

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

Материалы VI Республиканской
научной конференции
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 26 апреля 2017 года)

В трёх частях

Часть 1

Научное электронное издание



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union

Гомель
ГГУ имени Ф. Скорины
2017

УДК 530

Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс] : V Республиканская научная конференция студентов и аспирантов (Гомель, 26 апреля 2017 г.) : материалы : в 3 ч. Ч. 1. – Электрон. дан.(4.89 МБ). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: IBM-совместимый компьютер; Windows XP; ОЗУ 512 Мб; CD-ROM 8-х и выше. – Загл. с этикетки диска.

В материалах республиканской конференции рассматриваются актуальные общетеоретические и прикладные проблемы физики и техники. Издание состоит из трёх частей. В первой части представлены исследования новых материалов и технологий, даются рекомендации по использованию их в промышленности, медицине и народном хозяйстве. Во второй части обсуждаются вопросы моделирования физических процессов, а также методики преподавания физики в школе и вузе. Третья часть содержит материалы по проблемам использования информационных технологий в научных исследованиях, процессах и системах передачи, хранения и защиты информации.

Предназначены для студентов, учителей школ, гимназий, колледжей, преподавателей вузов.

Редакционная коллегия:

С. А. Хахомов (главный редактор),
О. М. Демиденко, И. В. Семченко,
А. Н. Сердюков, Ю. В. Никитюк,
А. Н. Купо (ответственный секретарь),
В. В. Андреев, Е. А. Дей, В. Д. Левчук, А. В. Воруев, В. Н. Мышковец,
В. Е. Гайшун, Е. Б. Шершнев, Т. П. Желонкина

УО «ГГУ имени Ф. Скорины»
246019, Гомель, ул. Советская, 104,
тел. (232) 57-16-73, 57-75-20
<http://www.gsu.by>

© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины», 2017

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Хахомов С. А. – ректор УО «ГГУ имени Ф. Скорины»,
канд. физ.-мат. наук, доцент

ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Семченко И. В. – проректор по учебной работе УО «ГГУ имени
Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, профессор

Демиденко О.М. – проректор по научной работе УО «ГГУ имени
Ф. Скорины», д-р техн. наук, профессор

Никитюк Ю.В. – проректор по воспитательной работе УО «ГГУ
имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, до-
цент

Крук А.В. – проректор по учебной работе УО «ГГУ имени
Ф. Скорины», канд. биол. наук, доцент

Максименко Н. В. – профессор кафедры теоретической физики
УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат.
наук, профессор

Бойко А.А. – проректор по научной работе ГГТУ им.
П.О. Сухого, д-р техн. наук, доцент

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Сердюков А. Н. – профессор кафедры оптики УО «ГГУ
имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, профес-
сор, член-корреспондент НАН Беларуси

ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Коваленко Д. Л. – декан факультета физики и информационных
технологий УО «ГГУ имени Ф. Скорины»,
канд. физ.-мат. наук, доцент

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Дерюжкова О. М. – заместитель декана факультета физики и ин-
формационных технологий УО «ГГУ имени
Ф. Скорины» по научной работе, канд. физ.-мат.
наук, доцент

Самофалов А. Л. – заместитель декана факультета физики и ин-
формационных технологий УО «ГГУ имени
Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

Алешкевич Н. А. – заведующий кафедрой оптики УО «ГГУ
имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

Андреев В. В. – заведующий кафедрой теоретической физики

- УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, доцент
- Левчук В. Д.** – заведующий кафедрой АСОИ УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. техн. наук, доцент
- Мышковец В. Н.** – заведующий кафедрой радиофизики и электроники УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент
- Шершнев Е. Б.** – заведующий кафедрой общей физики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. техн. наук, доцент
- Бабич А. А.** – заведующий кафедрой «Высшая математика» ГГТУ им. П.О. Сухого, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

- Купо А.Н.** – заместитель декана факультета физики и информационных технологий УО «ГГУ имени Ф. Скорины» по НИРС, канд. техн. наук

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

1. «Новые материалы и технологии»

Председатели:

Мышковец Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.
Алешкевич Николай Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

2. «Моделирование физических процессов»

Председатели:

Андреев Виктор Васильевич, д-р физ.-мат. наук, доцент.
Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

3. «Автоматизация исследований»

Председатели:

Левчук Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент.
Воруев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

4. «Методика преподавания физики»

Председатели:

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.
Желонкина Тамара Петровна, ст. преподаватель.

ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

26 апреля 2017 г.

9⁰⁰ – 11⁰⁰ – регистрация участников – корпус 5, фойе второго этажа (ул. Советская, 102).

11⁰⁰ – 12⁰⁰ – открытие конференции, пленарное заседание – корпус 4, ауд. 4-1 (ул. Советская, 102).

12⁰⁰ – 15⁰⁰ – работа секций.

МЕСТА РАБОТЫ СЕКЦИЙ

1. **«Новые материалы и технологии»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-11.
2. **«Моделирование физических процессов»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-25.
3. **«Автоматизация исследований»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-16.
4. **«Методика преподавания физики»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-28.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

1. Семченко И.В. д-р физ.-мат. наук, профессор, проректор по учебной работе УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

Открытие конференции

2. Рогачёв А.В. член-корреспондент НАН Беларуси, директор Научно-исследовательского физико-химического института УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

Плазмохимические методы формирования нанокomпозиционных покрытий

3. Самофалов А.Л. канд. физ.-мат. наук, заместитель декана факультета физики и информационных технологий УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

Участие факультета физики и информационных технологий в программе Erasmus+. Проект «Совершенствование магистерского образования в области физических наук в белорусских университетах»

4. Бекаревич Р.В. PhD Global Research Center for Environment and Energy based on Nanomaterials Science, National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan

La ordering in epitaxial $\text{Li}_{3x}\text{La}_{2/3-x}\text{TiO}_3$ films and its effects on Li-ion conduction

5. Сидский В.В. научный сотрудник ПНИЛ ПМ
УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

Получение золь-гель методом наноструктурированных материалов на основе танталата (танталата-ниобата) висмут-стронция для конденсаторных структур

Секция 1. Новые материалы и технологии

Председатели:

Мышковец Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент,
Алешкевич Николай Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

А.А. Азарова (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СВЕТОФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-Sm}_2\text{O}_3$

Стекла, активированные ионами Sm^{3+} , являются перспективным материалом для изготовления светофильтров, подавляющих суперлюминесценцию активных элементов (АЭ) неодимовых лазеров, так как они неплохо поглощают в области генерации этих лазеров и характеризуются высоким пропусканием в видимой области [1]. Введение же в такие стекла ионов церия позволяет отрезать фотохимически активное излучение накачки. Однако, прямым золь-гель методом оказывается невозможным получить Sm-содержащее стекло высокого оптического качества с большим (выше 1,5% масс.) содержанием легирующей добавки из-за плохой структурной совместимости ионов самария и кремнийкислородного каркаса. С целью повышения концентрации ионов самария и, как следствие, показателя поглощения k в области генерации неодимовых лазеров ($\lambda \approx 1,06$ мкм) использовался непрямой золь-гель метод получения стекол, активированных ионами лантаноидов. В качестве состава стекла предложен $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$, обеспечивающий лучшую термостойкость по сравнению со стеклом состава $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-La}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$.

Заготовки светофильтров из стекла состава $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ в виде дисков, пластин и трубок были получены непрямой золь-гель методом. По сравнению с методом холодного контейнера [2] температура плавления шихты понижается на $\sim 500^\circ\text{C}$ за счет использования золь-гель метода.

На рисунке 1 изображены спектры поглощения стекол системы $\text{SiO}_2\text{-Sm}_2\text{O}_3$ (прямой золь-гель метод, $N_{\text{Sm}} \sim 2,7 \times 10^{20}$ ионов/ см^3) и $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ (непрямой метод, $N_{\text{Sm}} \sim 2,7 \times 10^{21}$ ионов/ см^3) с близкими к предельным концентрациям активатора. Как видно, кварцевые гель-стекла ($N_{\text{Sm}} \sim 2,7 \times 10^{20}$ ионов/ см^3) характеризуются серией сравнительно узких ИК полос с натуральным показателем поглощения $k \approx 1,3 \text{ см}^{-1}$ при $\lambda = 1,06$ мкм и интенсивным поглощением при $\lambda < 800$ нм

(кривая 1). Эти полосы обусловлены f-f-переходами ионов Sm^{3+} , а нарастающее с уменьшением λ поглощение вызвано центрами рассеяния, появившимся из-за структурной несовместимости высококоординированных ионов Sm^{3+} с полиэдрами $[\text{SiO}_2]$ матрицы. Радикальное улучшение ситуации происходит при переходе к алюмосиликатному стеклу, которое позволяет значительно (на порядок) повысить концентрацию ионов самария при сохранении высокого светопропускания в области основных «рабочих» полос неодимовых лазеров (кривая 2). Показатель поглощения алюмосиликатного стекла с $N_{\text{Sm}} \sim 2,7 \times 10^{21}$ ионов/ см^3 при $\lambda = 1,06$ мкм составляет $k \approx 7,9 \text{ см}^{-1}$, что превышает одноименный показатель для стекла системы $\text{SiO}_2\text{-Sm}_2\text{O}_3$ (прямой золь-гель метод) в 7,5 раз. Кроме того, это стекло превосходит зарубежные аналоги [3] не только по своим спектральным характеристикам (показатель поглощения при $\lambda = 1,06$ мкм для светофильтров KSF-10 и KSF-5 составляет соответственно 1,0 и $0,5 \text{ см}^{-1}$ [2], что значительно ниже, чем у алюмосиликатного стекла, синтерированного непрямым золь-гель методом), но и имеет гораздо более высокую термостойкость.

Таким образом, стекла системы $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-Sm}_2\text{O}_3$, полученные непрямым золь-гель методом, могут быть использованы для изготовления светофильтров, превосходящих зарубежные аналоги. Эти светофильтры могут применяться для подавления суперлюминесценции неодимовых АЭ (рис.2). При облучении этих светофильтров импульсной ксеноновой лампой (10^6 вспышек, энергия 70 Дж/всп, $t \sim 1,5$ мс) в осветителе с плотной упаковкой соляризации стекла не обнаружено. Использование пластинки $75 \times 15 \times 1 \text{ мм}^3$ из такого стекла, помещенной между импульсной лампой и активным элементом, позволило увеличить КПД в моноимпульсном режиме на 20–25%.

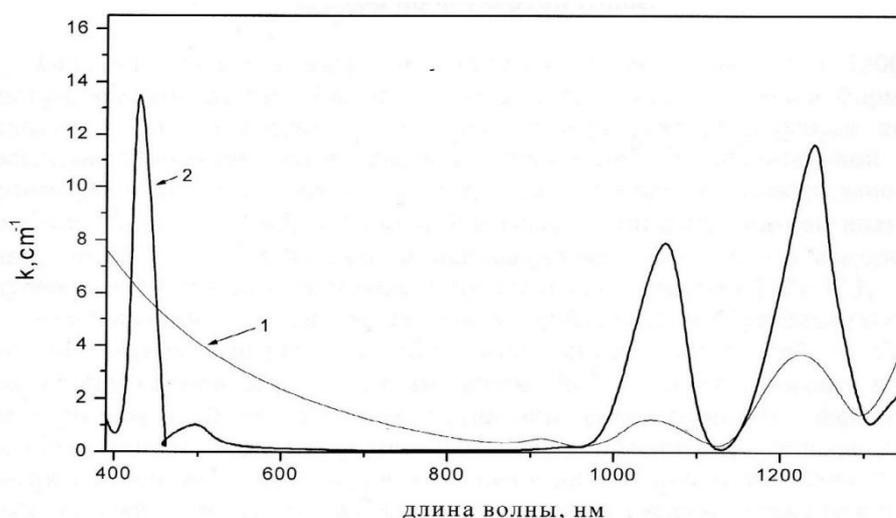


Рисунок 1 – Спектры поглощения стекол системы $\text{SiO}_2\text{-Sm}_2\text{O}_3$, $N_{\text{Sm}} \sim 2,7 \times 10^{20}$ ионов/ см^3 (1) и $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$, $N_{\text{Sm}} \sim 2,7 \times 10^{21}$ ионов/ см^3 (2).

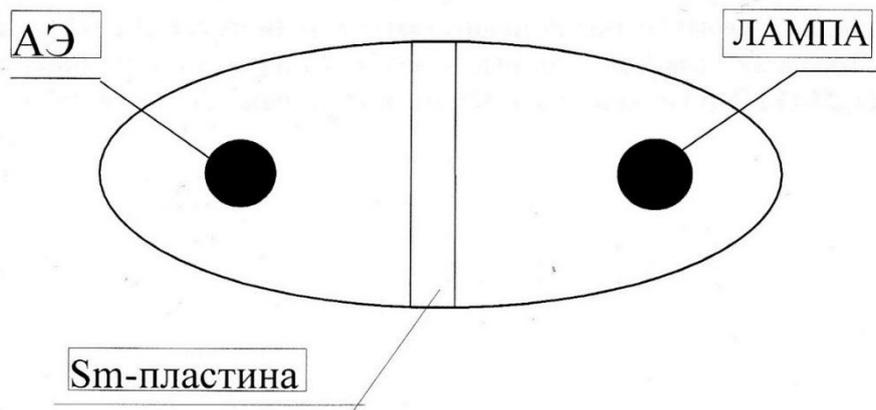


Рисунок 2 – Схема осветителя неодимового лазера с самариевым светофильтром

Литература

1. Проспект фирмы «Kirge, Inc.». Laser Pumping Chambers & Laser Cavity Filters. – 1993. – 12 p.
2. Богданова Г.С., Козельская Е.С. Стекла системы $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3$. М, 1971, с.49-50.
3. G.E. Malashkevich, E.N. Poddenezhny, I.M. Melnichenko, A.A. Boiko. Optical centers of cerium in silica glasses obtained by the sol-gel process.// J. Non-Cryst. Solids.- 1995. – V.188, №7. – P. 107–117.

В.А. Акулич, А.А. Михеев

(УО «Белорусская государственная академия связи», Минск)

Науч. рук. **М.П. Патапович**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ СТРЕССОВЫХ СИТУАЦИЙ

Каждый из микро- и макроэлементов, составляющих минеральный состав организма, выполняет свою незаменимую роль, поэтому тяжело найти, какой из них более важен для человека.

Все химические элементы в различной степени и в разные периоды жизненного цикла оказывают на организм большое влияние, так как вступают в соединение с органическими веществами, синтезируемыми

живыми клетками. Они влияют на рост и развитие, на процессы дыхания, кроветворения, оплодотворения, иммуногенеза, словом – на деятельность всех систем организма [1].

Выявление нарушений баланса макро- и микроэлементов в организме человека за длительный период времени представляет собой новый подход в медицинской диагностике различных стрессовых ситуаций. Отметим, что стресс является состоянием напряжения, которое дает о себе знать под влиянием значительных эмоциональных воздействий. Так организм неспецифически реагирует на неблагоприятные признаки внешней среды.

Становится все более очевидно, что при возникновении многих патологий возникает дисбаланс в распределении физиологически значимых макро- и микроэлементов элементов. В связи с этим особое значение приобретает разработка методов ретроспективной оценки накопления и распределения некоторых химических элементов как в организме человека, так и объектах окружающей среды.

Представляет интерес выбор объекта, который мог бы играть роль достаточно консервативного информатора об элементном составе внутренней среды человека. Широко распространено мнение, что волосы, как никакой другой биологический субстрат, отражают процессы, годами протекающие в человеческом организме, и поэтому могут служить средством диагностики ряда заболеваний, связанных с нарушениями элементного обмена.

Анализ элементарного состава волос дает важную информацию, которая, в комбинации с симптомами и остальными лабораторными данными может помочь врачу в диагностике физиологических нарушений, связанных с отклонениями в общем метаболизме и метаболизме токсических элементов [2].

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1, который предназначен для качественного, полуколичественного и количественного определения состава материалов посредством анализа эмиссионных спектров плазмы, возбуждаемой излучением двухимпульсного Nd:YAG-лазера с активной модуляцией добротности резонатора.

Лазер обладает широкими возможностями как для регулировки энергии импульсов (от 10 до 80 мДж), так и временного интервала между импульсами (от 0 до 100 мкс). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц и максимальной энергией излучения каждого из сдвоенных импульсов до 80 мДж на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между сдвоенными импульсами может изменяться с шагом 1 мкс. Лазерное излучение

фокусировалось на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 104 мм. Размер пятна фокусировки составляет примерно 50 мкм.

Прибор позволяет определять более семидесяти химических элементов, проводить математическую обработку результатов анализа и, кроме того, получать микрофотографию поверхности образца.

Для выбора оптимальных условий проведения эксперимента были зарегистрированы спектры при различных энергиях импульсов и временных междуимпульсных интервалах и проведены оценки влияния данных параметров на интенсивность линий химических элементов [3].

Анализировались суммарные результаты действия 30 последовательных лазерных импульсов (энергия 36 мДж, межимпульсный интервал 8 мкс) на точку для натуральных образцов волос, наклеенных на подложку из органического стекла. Натуральные образцы волос исследованы через 0,5 см (примерно соответствующий интервалу роста волос в половину месяца).

О сложности процессов, происходящих во время стрессовой ситуации, свидетельствуют данные, полученные для кальция. На рисунке 1 приведен пример изменения интенсивности линий данного элемента по длине волос людей, оказавшихся в различные моменты жизни в стрессовой ситуации.

Приведенный график отчетливо демонстрирует определенную закономерность между интенсивностью линий кальция и эмоциональным состоянием человека. Сопоставление событий в приведенном промежутке жизни и полученных нами результатов выявило, как оказалось, полную корреляционную связь между психологическим стрессом и падением уровня кальция в организме исследованных людей.

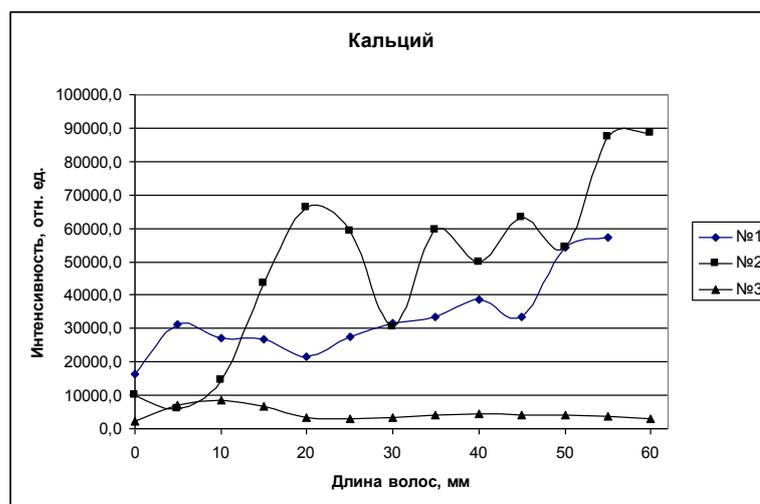


Рисунок 1 – Интенсивность спектральных линий кальция в последовательных точках по длине образцов волос человека (№ 1, № 2 и № 3)

Определение содержания основных макро- и микроэлементов может являться хорошим дополнительным индикатором для выявления причин существующего дисбаланса. Важно также и то, что эффективность проведенной коррекции может быть проконтролирована повторными анализами в реальном масштабе времени, вплоть до нескольких десятков минут.

Литература

1. Iyengar V., Woittiez J. Trace elements in human clinical specimens: evaluation of literature data to identity references values // Clin. Chem. – 1988. – Vol. 34, No. 1. – P. 474–481.

2. Ретроспективная оценка метаболизма жизненно необходимых элементов в организме человека по волосам методом атомно-эмиссионной многоканальной спектрометрии / М.П. Патапович, И.Д. Пашковская, Ж.И. Булойчик, Г.Т. Маслова, А.П. Зажогин // Вестн. Бел. гос. ун-та, Сер. 1. – 2014. – № 3. – С. 16–22.

3. Влияние гидроксидов К и Na на пространственное распределение Са, Mg и Al в высушенных каплях белка методом лазерной атомно-эмиссионной спектрометрии / Чинь Нгок Хоанг, М.П. Патапович, Фам Уиен Тхи, И.Д. Пашковская, Ж.И. Булойчик, А.П. Зажогин // Вестн. Бел. гос. ун-та, Сер. 1. – 2013. – № 1. – С. 29–33.

М.Ф.С.Х. Аль-Камали, Я.Т.А. Аль-Адеми (УО БГУИР, Минск)
Науч. рук. **И.А. Врублевский**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ПОЛУЧЕННОГО В ОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Пленки пористого анодного оксида алюминия, полученные методом электрохимического окисления алюминия в водных растворах органических кислот, благодаря своей регулярно упорядоченной нанопористой структуре могут быть использованы в качестве шаблона при создании наноструктурированных материалов. Большие перспективы может иметь также применение пленок пористого анодного оксида алюминия в качестве оптических фильтров, для которых подгонка параметров возможна как за счет изменения диаметра пор, так и толщины пористого слоя. Поэтому исследование оптических свойств пленок пористого анодного оксида алюминия является актуальной задачей.

Для получения пленок нанопористого оксида алюминия в экспериментах использовали алюминиевую фольгу (99,99 % чистоты) толщиной 100 мкм (AlfaAesar). Подготовленные образцы алюминиевой фольги анодировали в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты при 60 В и 0,3 М водном растворе гликолевой кислоты ($C_2H_4O_3$) при напряжении 180 В до полного окисления алюминия (двухстороннее анодирование). Процесс проводили в двухэлектродной ячейке объемом 0,25 л при постоянной температуре ($291,0 \pm 0,1$) К (термостат F 12 (Julabo)) с использованием источника постоянного тока Б5-50 (РИАП). В качестве катода использовали сетку из платины. Растворы интенсивно перемешивали с помощью магнитной мешалки. Оптические свойства пленок пористого анодного оксида алюминия (спектры пропускания) толщиной 130–140 мкм были исследованы на спектрофотометре Lambda 35.

Анодный оксид алюминия, полученный анодированием алюминия в гликолевой кислоте, имел темно-серый цвет. Изучение образцов на просвет с использованием лампочки от микроскопа МБС-9 показало, что анодный оксид является прозрачным для света и в проходящем свете имел светло-рыжую окраску. При анодировании алюминия в растворе гликолевой кислоты происходит как окисление, так и включение остатков гликолят-ионов в анодный Al_2O_3 . Остатки углеродсодержащих компонентов в анодном оксиде алюминия могут придавать такую характерную окраску пленкам.

На рисунке представлены спектры оптического пропускания образцов для исследуемых пленок пористого анодного оксида алюминия. Как видно из спектров пропускания, в области длин волн ниже 450–500 нм для пленки, полученной в щавелевой кислоте, наблюдается резкое уменьшение коэффициента пропускания. Такой эффект наблюдается вблизи фундаментального края поглощения. Это свидетельствует о наличии в образцах областей материала с шириной запрещенной зоны E_g около 2,5–2,75 эВ. В случае пленок полученных в гликолевом электролите уменьшение коэффициента пропускания наблюдалось в области длин волн ниже 650 нм, что соответствует наличию областей материала с шириной запрещенной зоны E_g около 1,9 эВ. Следует отметить, что такие низкие значения для ширины запрещенной зоны E_g являются нехарактерными для такого материала, как Al_2O_3 . Согласно данным литературы ширина запрещенной зоны оксида алюминия составляет более 6 эВ. Поэтому можно утверждать, что поглощение исследуемыми образцами света с энергией фотонов 1,9–2,5 эВ не является собственным и обусловлено либо дефектами, либо примесями, вводимыми из электролита анодирования в Al_2O_3 . Как было отмечено выше, анодный Al_2O_3 , полученный в растворе щавелевой и гликолевой кислоты, содержит углеродсодержащие компоненты и аморфный углерод, и свет, очевидно,

поглощается этими примесями. Дополнительно это подтверждается тем фактом, что аморфный углерод в зависимости от условий синтеза может поглощать свет в диапазоне энергий 2,5–5,6 эВ.

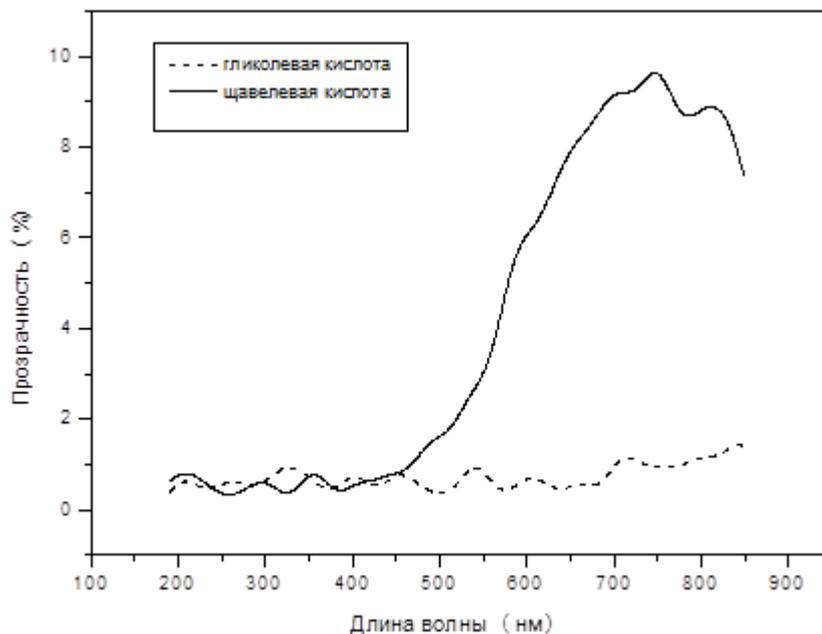


Рисунок – Спектры оптического пропускания пленок пористого анодного оксида алюминия для различных электролитов анодирования

М.Ф.С.Х. Аль-Камали, Я.Т.А. Аль-Адеми (УО БГУИР, Минск)
А.А. Повжик (ОАО Минский НИИ Радиоматериалов)
Науч. рук. **И.А. Врублевский**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИК-ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА АЛЮМИНИЕВОМ ОСНОВАНИИ С НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ИЗ УГЛЕРОДНОЙ НИТИ

В настоящее время системы инфракрасного нагрева нашли широкое применение в бытовых целях для обогрева помещений, в технологических процессах при подготовке и нанесению и сушки в пищевой промышленности, машиностроении и строительстве. Достоинством использования ИК-излучателей для процессов нагрева является бесконтактный способ передачи энергии от источника излучения к поверхности нагрева, малая инерционность, возможность создавать большие тепловые потоки на единицу площади поверхности, высокое постоянство потока излучения во времени. Однако современные системы ИК нагрева с использованием лучистой энергии имеют высокую неравномерность распределения теплового потока по облучаемой поверхности и, как следствие, значительные потери энергии из-за рассеивания теплового потока в окружающей среде.

Наличие неравномерности теплового излучения, генерируемого с поверхности излучателя, приводит к существенному усложнению конструкции и необходимости применения многоэлементной системы. В состав такой многоэлементной системы, как правило, входит источник излучения, зеркально или диффузионно отражающая поверхность, направляющие, устройства преломления излучения в виде линз или призм. Поэтому при проектировании ИК-излучателя приходится учитывать множество факторов, основными из которых являются размеры и форма источника излучения, оптические характеристики отражающих элементов, многократность отражения излучения в системе, коэффициенты поглощения и преломления всех элементов системы ИК-излучателя.

Перспективным направлением, направленным на улучшение характеристик ИК-излучателей, является использование плоской конструкции с высокой равномерностью испускания теплового потока с поверхности излучателя. В работе рассмотрены вопросы использования ленточного нагревателя в виде углеродной нити в корпусе из алюминия с нанопористым оксидом алюминия для плоского ИК-излучателя. Целью настоящей работы было исследовать скорость нагрева и формируемый профиль температуры на поверхности такого нагревателя.

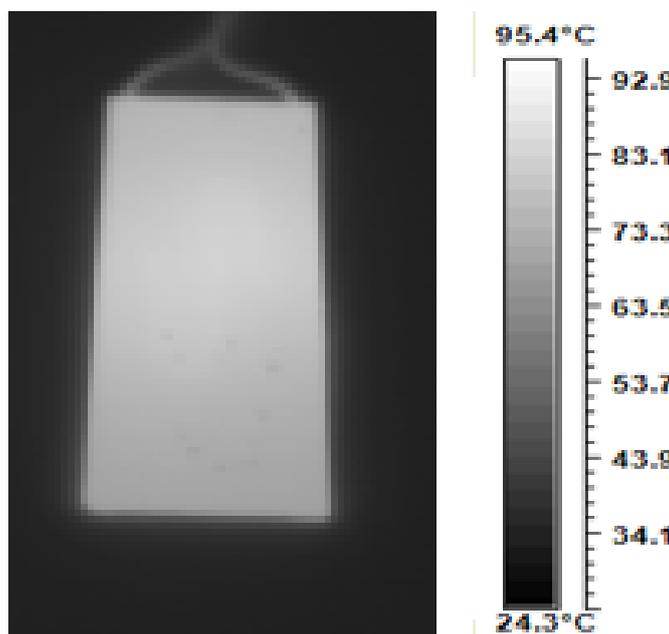


Рисунок – Термограмма поверхности ИК-излучателя на алюминиевом основании с нанопористым анодным оксидом алюминия и нагревательным элементом из углеродной нити через 60 сек нагрева

Пластина из алюминия имела размеры 60x24 мм, толщина – 0,5 мм. Формирование пленки нанопористого оксида алюминия использовалось для улучшения адгезии армированного клеящего слоя – препрега к

алюминию и получения диэлектрического слоя с хорошими изоляционными свойствами на поверхности алюминия.

Анодирование алюминия проводили в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты с постоянной плотностью тока 6 А см⁻² в течение 40 мин до достижения пленкой анодного оксида алюминия толщины 30 мкм. Для изготовления нагревательного элемента использовалась нить из углеродного волокна с размерами 80 мкм (толщина)*4 мм (ширина)*170 мм (длина). Концы нити из углеродного волокна металлизировались слоем меди (толщина 30 мкм, гальваническое осаждение) для последующей пайки в процессе сборки. Электрический нагреватель с нитью из углеродного волокна имел электрическое сопротивление 60 Ом и рабочее напряжение до 30 В.. Для исследования термограмм образцов использовали неохлаждаемый тепловизор (MobIR M4).

В.В. Амбражей, П.Г. Асинский (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **Д.А. Сасинович**, науч. сотр.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА ТИТАНА НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК Al-Ti

Пористые пленки оксида титана являются объектом пристального интереса ученых и инженеров благодаря высокому показателю преломления, химической стойкости, полупроводниковым свойствам и высокой каталитической активности. Помимо этого, биосовместимость титана и его оксида с тканями человеческого организма делают эти материалы перспективными с точки зрения медицинских технологий. Одна из наиболее оригинальных методик формирования пористых пленок оксида титана представлена в данной работе.

В качестве исходных подложек для создания пористых пленок использовали кремниевые пластины диаметром 100 мм. Пленки алюминий-титанового нанокompозита толщиной порядка 0,5 мкм формировались на кремниевых пластинах методом магнетронного распыления алюминиевой мишени, содержащей титановые вставки. Площадь вставок составляла около 25 % от всей рабочей площади мишени. Содержание атомов алюминия и тугоплавкого металла в осаждаемых пленках контролировалось при помощи Оже-спектрометра PHI-660 Perkin Elmer после ионной зачистки поверхности осажденной пленки. Средний процент содержания атомов титана в осажденной пленке составил 27 ат. %, то есть содержание атомов титана в исходной мишени и осажденной пленке сопоставимы с достаточной степенью точности. Спектроскопия также показала равномерное распределение атомов алюми-

ния и титана по всей толщине осажденной пленки. В дальнейшем полученные композитные пленки подвергались анодному окислению в 10 % водном растворе серной кислоты при напряжении формовки 50 В. Таким образом, пленка алюминиево-титанового нанокompозита была преобразована в композитную пленку, образованную оксидами алюминия и титана. Оже-спектроскопия проанодированной пленки выявила равномерность распределения атомов алюминия и титана, что говорит об однородности процесса анодирования алюминиево-титанового композита, а также тот факт, что содержащегося в пленке кислорода недостаточно для полного окисления металлов, содержащихся в пленке. Дефицит атомов кислорода можно объяснить формированием оксидов не стехиометрического состава, кислородными вакансиями, также, можно предположить, что часть атомов титана остается в неокисленном состоянии. Следующей операцией было селективное травление анодных пленок в травителе, содержащем 5 % H_3PO_4 и 2 % CrO_3 , при температуре 80 °С в течение 10-15 минут, в результате чего селективно вытравливался анодный оксид алюминия и таким образом формировалась пленка пористого оксида титана. Затем сформированная пористая структура подвергалась отжигу при температуре 450 °С в воздушной среде в течение 40 минут. Оже-спектроскопия пленки после проведения селективного травления оксида алюминия показала, что алюминий практически отсутствует, оставаясь на грани чувствительности спектрометра, то есть осталась только пленка оксида титана. Таким образом, анодирование алюминиево-титанового нанокompозита с последующим селективным травлением оксида алюминия и термообработкой позволило сформировать пористую пленку оксида титана. Структура сформированной пленки исследовалась методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (SEM и TEM соответственно).

На рисунке 1 представлена SEM фотография поверхности пористой пленки оксида титана, сформированной по описанной выше методике.

Как видно из фотографии, полученная пленка имеет губкообразную структуру с пористостью в диапазоне 60–70 %. Также на фотографии поверхности, помимо малых ненаправленных пор, можно различить направленные перпендикулярно поверхности более широкие поры (диаметром около 50 нм), которые являются аналогом вертикальных пор, формирующихся при пористом анодировании чистых пленок алюминия и некоторых других металлов. TEM фотография (рисунок 2) поперечного сечения пленки позволяет оценить минимальный размер элементов пористой структуры, который составляет порядка 10 нм.

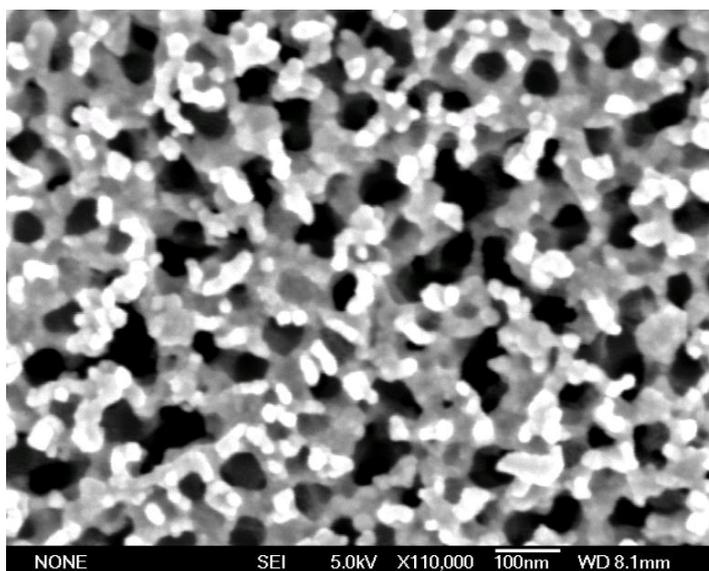


Рисунок 1 – SEM фотография поверхности пленки пористого оксида алюминиево-титанового нанокompозита после селективного травления оксида алюминия

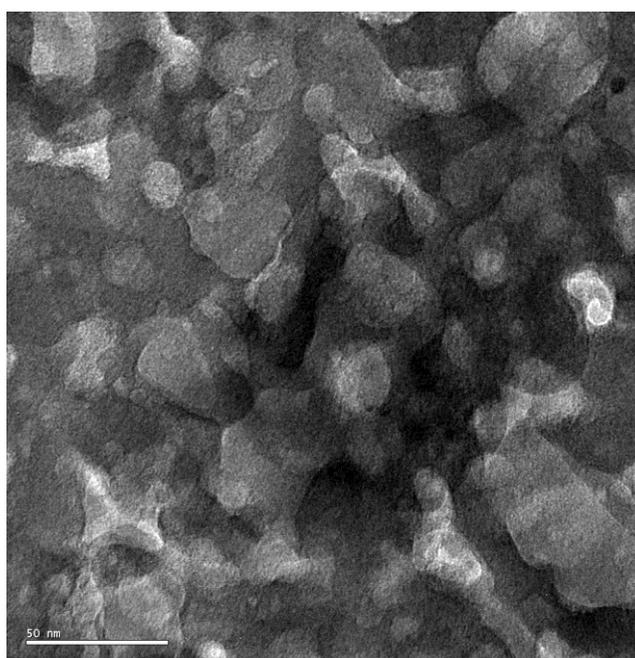


Рисунок 2 – ТЕМ фотография поперечного сечения пленки пористого оксида алюминиево-титанового нанокompозита после селективного травления оксида алюминия

В качестве заключения можно отметить, что представленная методика с некоторыми вариациями позволит формировать на различных подложках пористые пленки оксида титана и некоторых других металлов с толщиной до нескольких микрон и пористостью в диапазоне 30–70 %, для широкого спектра практических задач.

А.В. Баглов (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **В.Е. Борисенко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

Фотокаталитическое разложение органических загрязнений на поверхности полупроводниковых оксидов металлов, в частности, диоксида титана (TiO_2) и оксида цинка (ZnO), получило большое внимание в текущем десятилетии в качестве перспективной технологии для очистки воды и воздуха от органических соединений и бактерий [1-3]. Диоксид титана считается оптимальным полупроводниковым материалом для использования в качестве фотокатализатора благодаря его высокой химической стабильности, невысокой стоимости, широкой распространённости, низкой токсичности для человека и окружающей среды. Оксид цинка также находит широкое применение в современной технике: он является оптически прозрачным прямозонным полупроводником и используется для производства компонентов высокомоощных полупроводниковых приборов, УФ-фильтров, солнечных батарей. Относительная химическая и биологическая инертность ZnO позволяют использовать его в качестве фотокатализатора. Оксиды титана и цинка являются основными кандидатами на создание экологически дружелюбных систем фотокаталитической очистки воды от загрязнений. Это стимулирует разработку таких систем с использованием указанных материалов, обеспечивающих наилучшее соотношение их эффективности к стоимости. Для получения покрытий, соответствующих вышеперечисленным требованиям, мы формировали пленки TiO_2 и ZnO на алюминиевой фольге. Результаты исследования фотокаталитической активности полученных покрытий представлены в данной работе.

Эксперименты проводили на образцах размером 16×25 мм, толщиной 1 мм, вырезанных из технического алюминия марки А0. Предварительная подготовка поверхности металлической фольги включала промывание образцов в изопропиловом спирте ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) в течение 2 мин для удаления органических загрязнений, затем травление в водном растворе гидроксида натрия (NaOH , 111 г/л) для очистки от неорганических примесей. Каждую стадию обработки завершали промывкой образцов в дистиллированной воде и сушкой в потоке воздуха с температурой около 70°C .

Покрытия формировали золь-гель методом. Золь для покрытий из TiO_2 содержал 1 г тетраизопропоксида титана ($\text{Ti}(i\text{-OC}_3\text{H}_7)_4$) в качестве прекурсора, смесь 4,7 г этанола ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) и 4,7 г *n*-бутанола ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$)

в качестве дисперсионной среды, 0,21 г ацетилацетона ($C_5H_8O_2$) в качестве стабилизатора и 0,13 г дистиллированной воды для гидролиза прекурсора. Золь для покрытий из ZnO включал 3 г ацетата цинка ($ZnC_4H_6O_4$) в качестве прекурсора, 9,5 г изопропилового спирта (C_3H_8O) в качестве дисперсионной среды и 1,42 г моноэтаноламина (C_2H_7NO) в качестве стабилизатора. Образец погружали в золь со скоростью 1 см/с на 1 мин, затем извлекали с такой же скоростью. Излишки золя удаляли фильтровальной бумагой, после чего образец сушили при температуре 200 °С в течение 3 мин на воздухе. Операции погружения, извлечения и сушки повторяли 3-4 раза, для получения необходимого количества слоев. Затем образцы подвергали термообработке на воздухе при температуре 500 °С в течение 30 мин в муфельной печи. Состав покрытий и количество наносимых слоев приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики покрытий

Образец	Покрытие	Число слоев
№1	TiO ₂	4
№2	ZnO	4
№3	TiO ₂ +ZnO	3 для каждого покрытия
№4	ZnO+TiO ₂	3 для каждого покрытия

Фотокаталитическую активность полученных покрытий оценивали по степени разложения водного раствора органического красителя Родамина Б (10 мг/л) под УФ-излучением ртутной газоразрядной лампы (8 Вт, I-линия, $\lambda = 365$ нм). Для этого 3 г тестового раствора наливали в чашку Петри диаметров 35 мм, в которой испытуемый образец полностью погружался в раствор. Затем чашку размещали на расстоянии 40 мм от источника УФ-излучения. В процессе облучения раствор перемешивали электромеханическим встряхивателем с радиальной скоростью 180 об/мин. Концентрация красителя в растворе определяли по оптическим спектрам поглощения в диапазоне длин волн 330–900 нм. Регистрацию спектров проводили на одноканальном спектрофотометре Proscan MC122 при комнатной температуре.

Кинетика разложения тестового красителя представлена на рисунке 1. На графике наглядно отражена различная степень фотокаталитической активности полученных покрытий. Покрытия из диоксида титана или диоксида титана с подслоем оксида цинка имеют близкую активность и расположены в верхней части графика. За 2 ч экспонирования они снижают уровень красителя в растворе примерно на 50%. Такой результат объясняется тем, пленка диоксида титана достаточно тонкая,

прозрачная и имеет недостаточно развитую поверхность. Во время облучения пленка диоксида титана частично поглощает УФ-излучение.

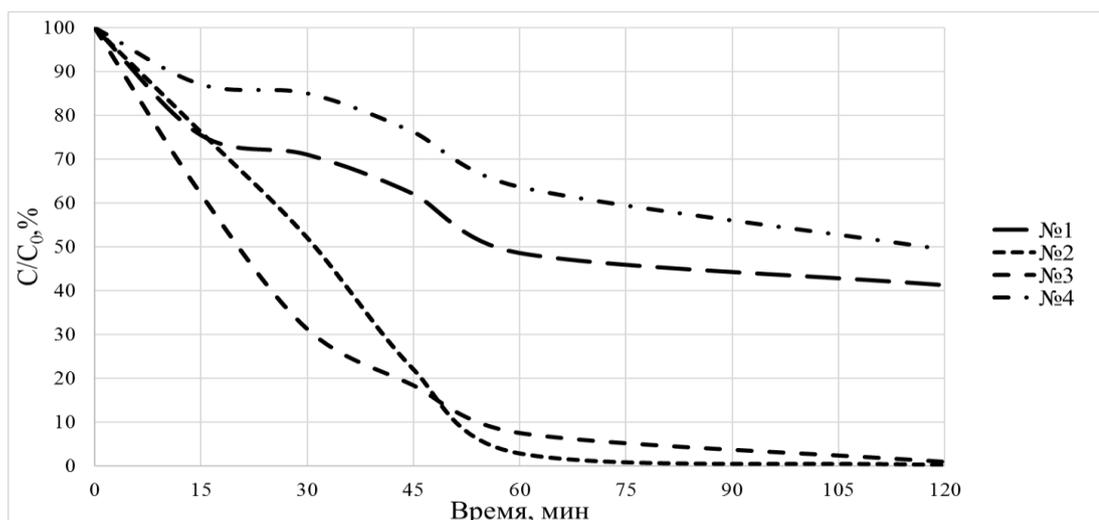


Рисунок 1 – Степень разложения тестового красителя

УФ-излучение, прошедшее сквозь тонкую пленку диоксида титана поглощается и отражается металлической подложкой. Отраженное излучение при повторном прохождении сквозь пленку диоксида титана увеличивает количество носителей заряда. Добавление подслоя оксида цинка увеличивает поглощение и, соответственно, уменьшает долю отраженного излучения, что понижает количество носителей заряда. Этим объясняется несколько худшая активность комбинированного покрытия $Al/ZnO/TiO_2$. Наилучшей фотокаталитической активностью обладает покрытие из оксида цинка: после 2 ч экспонирования концентрация красителя упала более чем на 99,5%. Наличие подслоя диоксида титана несколько уменьшает фотокаталитическую активность за счет эффекта, описанного выше.

Таким образом, золь-гель сформированные покрытия из оксида титана, оксида цинка их комбинации проявляют фотокаталитическую активность. Предпочтительно использование покрытий, состоящих из одного материала. Покрытия из ZnO демонстрируют на два порядка лучшую активность в сравнении с покрытиями TiO_2 за счет более развитой поверхности. Однако в долгосрочной перспективе использование покрытий из ZnO менее предпочтительно из-за худшей химической стойкости.

Автор выражает признательность профессору В.Е. Борисенко.

Литература

1. Gupta, S.M. A review of TiO_2 nanoparticles / S.M. Gupta, M. Tripathi / Chin. Sci. Bull. – 2011. – Vol. 56, No. 16. – Pp. 1639–1657.

2. Wang, Chien-Tsung. Titania nanocomposite thin films with enhanced photovoltaic efficiency: Effects of Ti-alkoxide sol and compact layer / Chien-Tsung Wang, Chen-Feng Yen / Surf. Coat. Technol. – 2012. – Vol. 206, Iss. 8–9. – P. 2622–2627.

3. Denisov, N.M. Preparation and antibacterial properties of composite nanostructures from titanium and copper oxides / N.M. Denisov, A.V. Baglov, V.E. Borisenko, E.V. Drozdova / Inorg. Mater. – 2016. – Vol. 52, Iss. 5. – P. 523–528.

А.В. Баглов, Е.С. Лисимова (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **В. Е. Борисенко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОКСИДОВ МЕДИ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Покрyтия на основе оксидов металлов представляют большой интерес для фотокаталитических приложений. Оксиды меди (CuO , Cu_2O) перспективны для фотокаталитического получения H_2 [1]. Чистый и легированный диоксид титана (TiO_2) один из наиболее широко используемых фотокатализаторов для очистки воды от органических загрязнений, например, остатков лекарственных средств [2]. Однако наиболее интересны комбинированные покрyтия из нескольких оксидных полупроводников. В комбинированных покрyтиях формируются массивы гетеропереходов, которые позволяют улучшить фотокаталитическую активность покрyтий и повысить их чувствительность к видимому диапазону излучения [3].

В настоящее время для получения наноструктурированных оксидов металлов все более широкое применение находит гидротермальный метод. Его использование позволяет управлять морфологией и составом получаемых материалов за счет варьирования параметров проведения синтеза (температуры, концентрации раствора, продолжительности процесса). В данной работе мы предлагаем простой способ получения покрyтий из оксидов меди на алюминиевых подложках гидротермальным методом для дальнейшего формирования комбинированных покрyтий с улучшенной фотокаталитической активностью.

Эксперименты проводили на образцах размером 16×25 мм, толщиной 1 мм, вырезанных из фольги технического алюминия марки А0. Поверхностные органические загрязнения удаляли путем промывания образцов в 2-пропанолe ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) в течение 2 мин. Неорганические загрязнения удаляли травлением в водном растворе гидроксида натрия (NaOH , 111 г/л). Каждая стадия обработки завершалась промыванием

образцов в дистиллированной воде и сушкой в потоке воздуха с температурой около 70 °С. Затем поверхность части образцов микроструктурировали химическим травлением согласно методике, изложенной нами ранее [4].

Покрытия из оксидов меди формировали гидротермальным методом. Для этого использовали 2,1 % раствор пятиводного нитрата меди ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), нагретый до 100 °С. Длительность синтеза оксидов меди составляла для образцов с микроструктурированной поверхностью 0,5, 1, 2 и 3 мин. Длительность синтеза покрытий на образцах с немодифицированной, т.е. без микроструктурирования, поверхностью составляла 6 мин. Оксид (II) меди формируется за счет химических реакций, которые упрощенно можно записать так:



Часть ионов Cu^{2+} в растворе восстанавливается до Cu^+ . Реакции с их участием формируют оксид (I) меди. Для полного окисления медных соединений в полученной пленке до меди (II) оксида проводили термообработку при 500 °С в течение 30 мин на воздухе.

Внешний вид полученных образцов после термообработки продемонстрирован на рисунке 1.

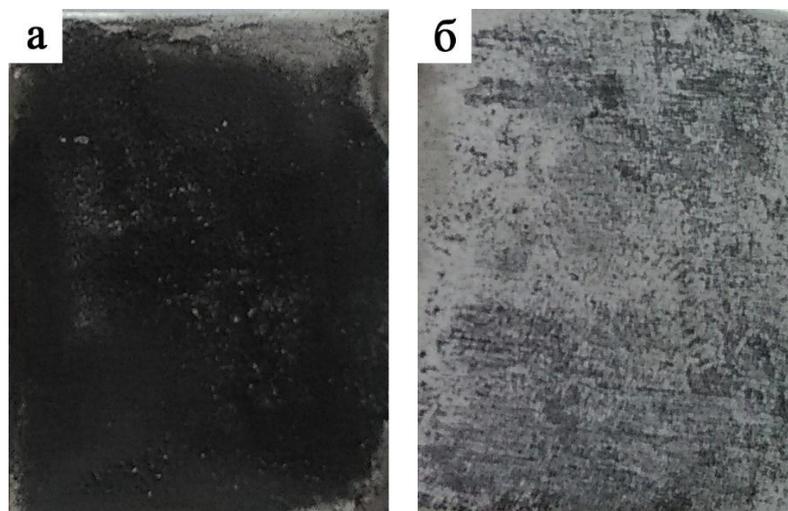


Рисунок 1 – Покрытие из оксидов меди на алюминиевых подложках после термообработки при 500 °С: а – длительность гидротермального синтеза 3 мин на микроструктурированной подложке; б – длительность гидротермального синтеза 6 мин на немодифицированной подложке

Покрытие из оксида меди, формируемое в течение 3 мин на микроструктурированной подложке, представляет собой сплошную пленку с дефектами в виде вздутий и трещин (рис. 1а). Уменьшение длительности

синтеза приводит к уменьшению толщины пленок, увеличивая их однородность и равномерность. Пленки, сформированные в течение 30 с практически не имеют дефектов и равномерно покрывают подложку.

Формирование оксидов меди на немодифицированных подложках проходит медленнее, чем на микроструктурированных подложках. На рисунке 1б хорошо заметно, что образования сплошной пленки не произошло. На подложке сформировались небольшие островки CuO размером менее 0,5 мкм. Их расположение определяется, по-видимому, локализацией примесей, выступающих в качестве центров нуклеации.

Повышенная скорость формирования оксидов меди на микроструктурированной поверхности алюминия обусловлена тем, что в процессе модификации на поверхности алюминиевой фольги остаются продукты химической реакции, такие как хлориды и гидроксиды алюминия. В нагретом до 100 °С растворе они диссоциируют и насыщают анионами тонкий слой жидкости вблизи поверхности. Это приводит к ускоренному протеканию реакций с осаждением оксидов меди на развитую поверхность.

Таким образом, установлено, что формирование оксидов меди на алюминиевой подложке гидротермальным методом может быть реализовано при атмосферном давлении при температуре, не превышающей 100 °С. Использование подложек с развитой поверхностью позволяет ускорить формирование на ней оксидов меди. Уменьшение длительности синтеза до 30 с позволяет получать равномерные покрытия на микроструктурированных подложках практически без дефектов. Такие покрытия представляют интерес для последующего формирования на них наноструктурированных пленок TiO_2 золь-гель методом.

Авторы выражают благодарность профессору В. Е. Борисенко за стимулирующую дискуссию и Л. С. Хорошко за помощь в подготовке образцов.

Литература

1. Barreca, D. The Potential of Supported Cu_2O and CuO Nanosystems in Photocatalytic H_2 Production / D. Barreca, P. Fornasiero, A. Gasparotto, V. Gombac, C. Maccato, T. Montini, E. Tondello / Chem. Sus. Chem. – 2009. – Vol. 2. – Iss. 3. – Pp. 230–233.

2. Koltsakidou, A. Photocatalytical removal of fluorouracil using TiO_2 -P25 and N/S doped TiO_2 catalysts: A kinetic and mechanistic study / A. Koltsakidou, M. Antonopoulou, E. Evgenidou, Konstantinou, A.E. Giannakas, M. Papadaki, D. Bikiaris, D.A. Lambropoulou / Sci. Total Environ. – 2017. – Vol. 578. – P. 257–267.

3. Yu, Jianguo. Photocatalytic hydrogen production over CuO-modified titania/ Jianguo Yu, Yang Hai, Mietek Jaroniec/ J. Colloid Interface Sci.– 2011. – Vol. 357. – Iss. 1. – P. 223–228.

4. Baglov, A.V. Formation of the microrelief on aluminum surface by chemical etching / A.V. Baglov, L.S. Khoroshko / Proceedings of the VIII International Conference «Electronics and Applied physics» (Kyiv, Ukraine, October 19–22, 2016). – 2016. – Pp. 59–61.

А.Д. Бокова (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **Я.А. Косенок**, ст. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ В ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЯХ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДАМИ АСМ И СЭМ

В настоящее время при решении технологических задач все больше внимания уделяется коллоидным дисперсиям на основе диоксида кремния. Изменение состава дисперсионной среды, добавления поверхностно-активных веществ, позволяет менять баланс поверхностных сил и таким образом управлять процессами сцепления, структурообразования, а, следовательно, и свойствами конечных материалов, получаемых с использованием этих дисперсий [1].

Для исследований были приготовлены водные дисперсии аэросила ОХ-50 (Degussa, Германия). В составе дисперсий применялись следующие химические вещества:

- 1) аэросил марки ОХ-50 – SiO_2 ;
- 2) вода бидистиллированная – H_2O ;
- 3) гидроксид натрия – NaOH ;
- 4) этилендиамин (ЭДА) – $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$;
- 5) глицерин – $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$;
- 6) карбоксиметилцеллюлоза – $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_2(\text{OCH}_2\text{COOH})]_n$.

Морфологию частиц SiO_2 в дисперсиях исследовали с помощью высокоразрешающего атомно-силового микроскопа (АСМ) SOLVER Pro 47 - PRO (производство фирмы «NT-MDT») и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) высокого разрешения "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия). Для обработки изображений, полученных на атомно-силовом и электронном микроскопах, использовалась программа Gwyddion.

В дисперсии на основе аэросила ОХ-50 без добавления стабилизаторов и ПАВ первичные частицы образуют достаточно стабильные агрегаты и агломеры (рисунок 1).

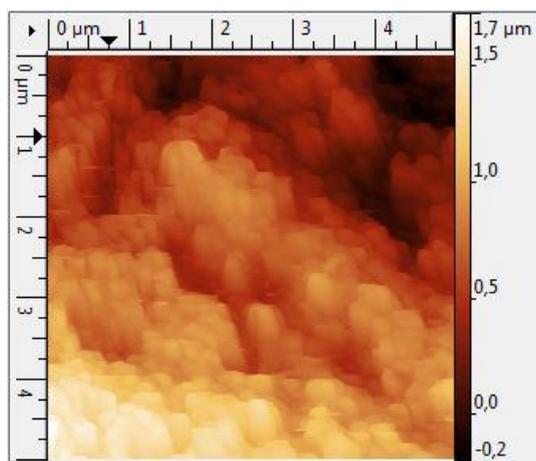
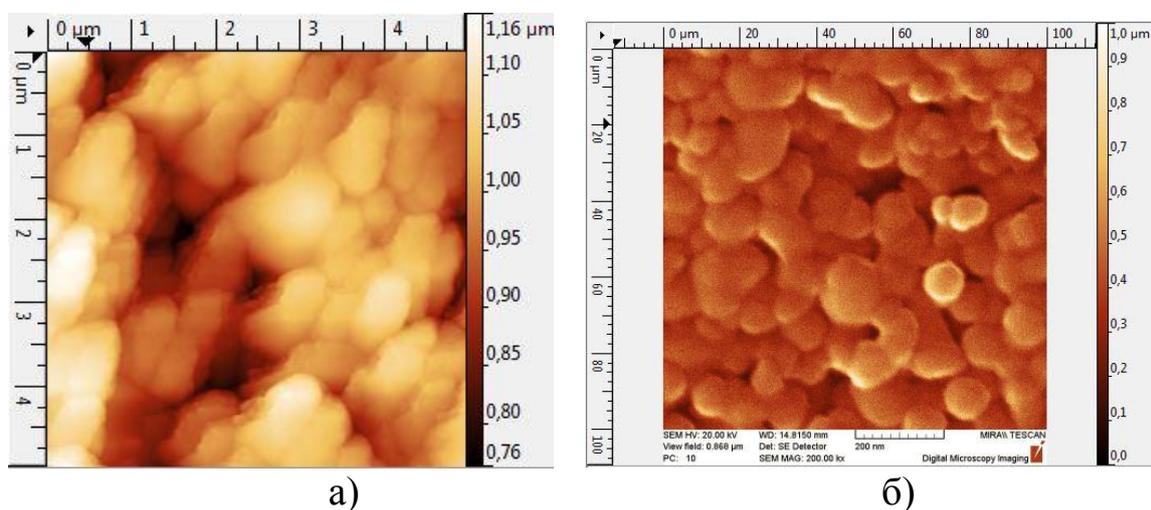


Рисунок 1 – АСМ-изображение высушенного остатка водных дисперсий на основе SiO_2

В дисперсии без добавления стабилизаторов и ПАВ наблюдается большое содержание частиц малого размера от 42 нм до 84 нм. Большое содержание мелких частиц от 42 нм до 100 нм и широкое распределение по размерам частиц говорит о низкой стабильности суспензии.

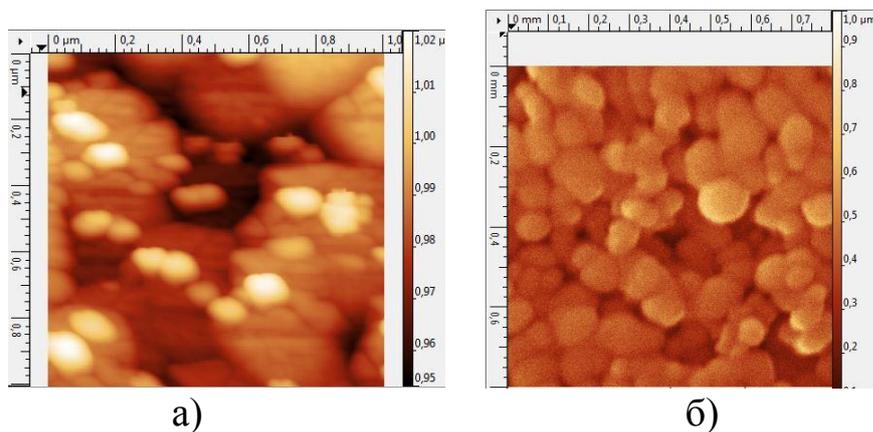
В дисперсии на основе аэросила ОХ-50 с добавлением NaOH частицы имеют правильную сферическую форму (рисунок 2). Наблюдается большое содержание частиц малого размера от 45 до 90 нм. Для таких дисперсий характерно содержание частиц большего диаметра (до 675 нм), чем в нестабилизированных водных дисперсиях.



а) АСМ-изображение; б) СЭМ-изображение

Рисунок 2 – Изображение высушенного остатка водных дисперсий на основе ОХ-50, стабилизированных NaOH

Для дисперсий, стабилизированных этилендиамином, характерен меньший размер агрегатов и более узкое распределение частиц по размерам (рисунок 3).

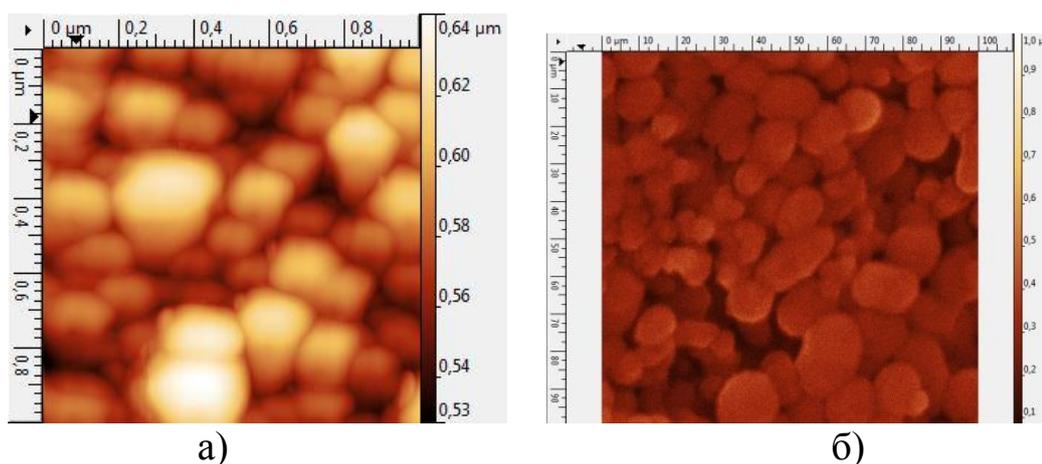


а) АСМ-изображение; б) СЭМ-изображение

Рисунок 3 – Изображение высушенного остатка водных дисперсий на основе ОХ-50, стабилизированных $C_2H_8N_2$

Содержание частиц малого размера (41–68 нм) больше, чем в дисперсиях, стабилизированных NaOH. Это можно объяснить процентным содержанием SiO_2 в дисперсии, в данном образце он составляет 26,5%. Стабилизация ЭДА приводит к появлению агрегатов меньших размеров, чем в случае стабилизации NaOH и эти агрегаты более устойчивы, так как ЭДА является более сильной щелочью для основания, чем NaOH.

В дисперсии на основе аэросила ОХ-50 с добавлением NaOH, $C_3H_5(OH)_3$ и КМЦ (ПАВ) (рисунок 4) наблюдается большое содержание частиц малого размера от 45 до 90 нм. Из вышеприведенных результатов, можно сделать вывод, что ПАВ является оптимальным решением для стабилизации водной дисперсии на основе SiO_2 .



а) АСМ-изображение; б) СЭМ-изображение.

Рисунок 4 – Изображение высушенного остатка водных дисперсий на основе ОХ-50, стабилизированных NaOH, $C_3H_5(OH)_3$ и КМЦ

Дисперсии на основе диоксида кремния широко применяются в химической, цементной, силикатной, керамической, горной,

металлургической, бумажной, текстильной, пищевой, кожевенной и других областях промышленности. Так, с дисперсиями или суспензиями имеют дело при растворении солей, выщелачивании, электрофоретическом осаждении твердой фазы при получении декоративных, антикоррозионных и электрофоретических дисплеев [2].

Литература

1. Исследование структурообразования в водных полирующих суспензиях на основе наноразмерного диоксида кремния для применения в электронике / Я.А. Косенок, В.Е. Гайшун, О.И. Тюленкова, В.В. Туров, Д.П. Савицкий // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – 33, спец. вып. – С. 41–47.

2. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностное явление и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. – М. : Химия, 1982. – 400 с.

Ю.С. Гайдук (БГУ, Минск)

Науч. рук. **А.А. Савицкий**, канд. хим. наук, доцент

СОСТАВ И СТРУКТУРА НАНОДИСПЕРСНЫХ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ $WO_3-In_2O_3$, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ–ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Методами порошковой рентгеновской дифрактометрии (РФА) и рамановской спектроскопии (спектроскопии комбинационного рассеяния, КР) исследовали нанокристаллические порошки композиции $WO_3-In_2O_3$. Ранее установлено, что материалы на основе данной композиции обладают значительно более высокой газовой чувствительностью по сравнению с исходными оксидами, в частности, более высокой чувствительностью к низким концентрациям оксида углерода и диоксида азота [1]. Вместе с тем, структура и физико–химические свойства композиции $WO_3-In_2O_3$ изучены недостаточно.

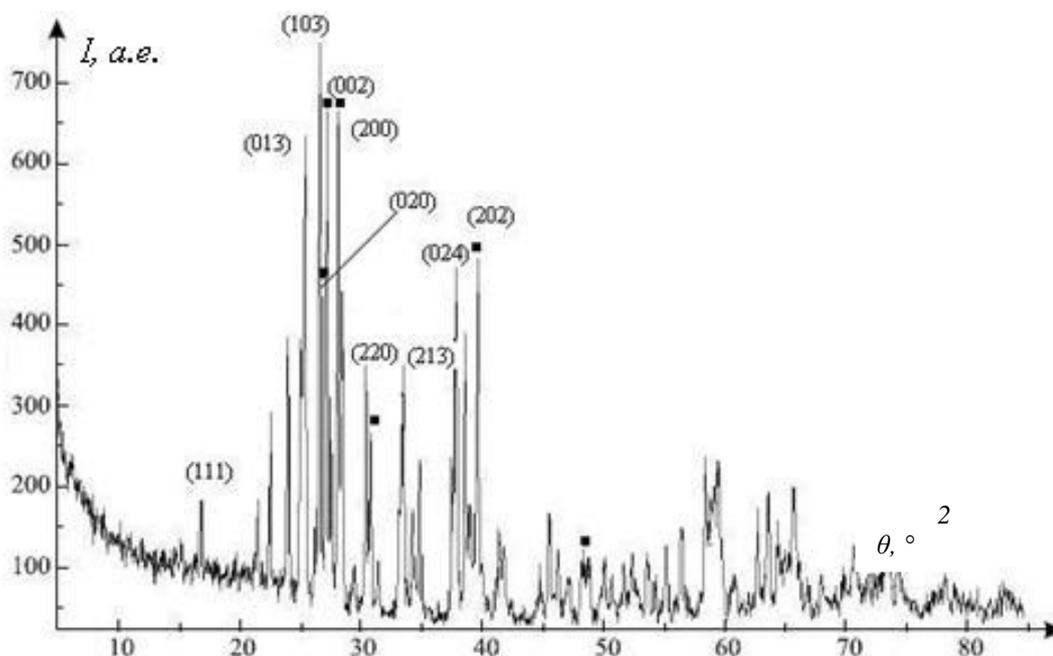
Методика эксперимента. Нанокристаллические порошки оксидов вольфрама, индия и их композиции получали по методике, описанной в работе [1]. Порошки для физико–химических исследований, содержащие 5, 25, 50, 75 % мас. In_2O_3 , а также чистых оксидов WO_3 и In_2O_3 , отжигали в интервале температур 200 – 900 °С (2 ч).

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили с использованием дифрактометра ДРОН–3 (Co– $K\alpha_1$ –излучение). Размеры областей когерентного

рассеяния (ОКР) In_2O_3 определяли из полученных дифрактограмм методом аппроксимации.

Спектры КР получали при комнатной температуре на конфокальном спектрометре Nanofinder High End (LOTIS ТП, Беларусь – Япония). Для возбуждения сигнала использовался твердотельный лазер (излучение 532 нм, мощность – 20 мВт). Излучение фокусировалось на поверхности образца объективом $50\times$ (числовая апертура 0,8), что определяло размер области возбуждения $d \sim 1$ мкм. Мощность лазерного излучения ослаблялась до 200 – 600 мкВт. Обратнорассеянное излучение диспергировалось дифракционной решеткой 600 мм^{-1} . Время накопления сигнала составляло 30 с. В качестве фотоприемника использовалась глубокоохлаждаемая кремниевая CCD–матрица.

Обсуждение результатов. Методом РФА установлено, что в интервале $200 - 800$ °С во всём интервале концентраций оксида индия система $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$ представляет собой двухфазный гетерогенный материал, содержащий моноклинную модификацию WO_3 [PDF 87–2404] и кубическую модификацию In_2O_3 [PDF 16–161]. При температурах отжига $800 - 900$ °С происходило образование фазы соединения $\text{In}_2(\text{WO}_4)$ (PDF 49-0337). Установлено, что наличие данного соединения приводит к значительному снижению электропроводности и газовой чувствительности материалов на основе $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$ (см. рис. 1).



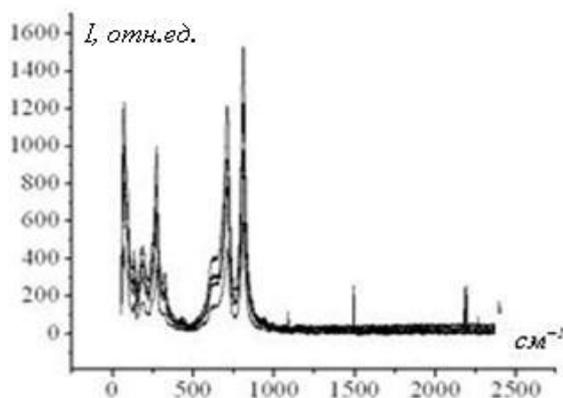
Значком ■ отмечены рефлексы, относящиеся к WO_3

Рисунок 1 – Рентгенограмма оксидной композиции $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$ (25 % мас. In_2O_3 , отжиг 800 °С, 2 ч)

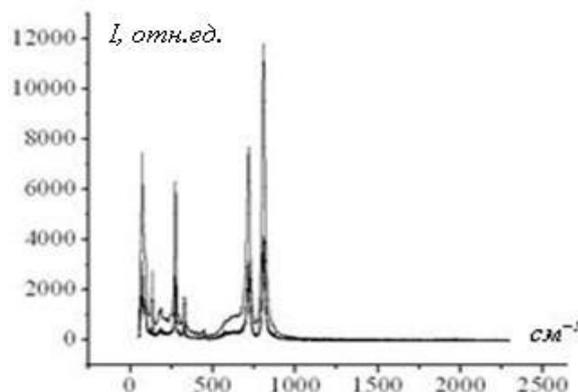
Установлено, что размер областей когерентного рассеяния (ОКР), содержащих 25, 50 и 75 % мас. In_2O_3 не зависит от соотношения оксидов и составляет ~ 50 нм (600°C , 2 ч). Для чистого WO_3 величина данного параметра в аналогичных условиях отжига составляет 100–110 нм, для In_2O_3 – 35 нм. Таким образом, введение добавки In_2O_3 способствует замедлению характерного для WO_3 быстрого роста зёрен с повышением температуры отжига. Установлена возможность получения стабильной микроструктуры в наногетерогенных композициях WO_3 – In_2O_3 .

Изменение фазового состава композиции и увеличение размера зёрен с ростом температуры отжига хорошо прослеживается на спектрах КР соответствующих порошков (рис. 2).

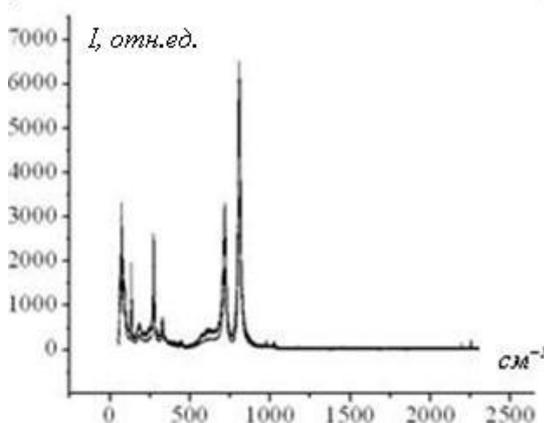
Согласно литературным данным [2], три интенсивные линии, соответствующие рамановским сдвигам при 270 , 715 и 805 см^{-1} , характерны для кристаллического WO_3 . При этом, как следует из рис. 2 (а–в), с увеличением роста зёрен, происходящем с увеличением температуры отжига, снижается интенсивность линий 270 и 715 см^{-1} по отношению к интенсивности линии 805 см^{-1} , что согласуется с данными РФА.



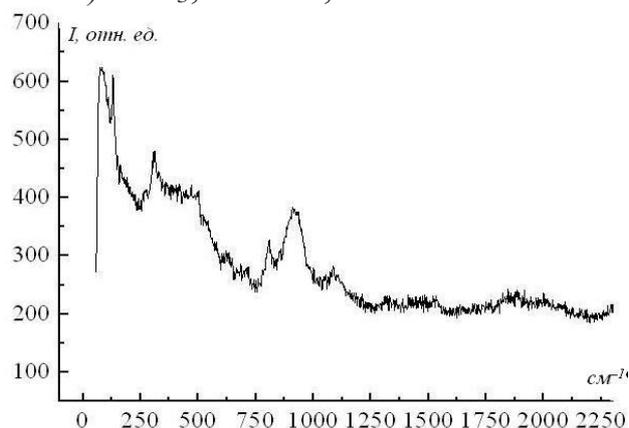
а) WO_3 , 300°C , 2 ч



б) WO_3 , 600°C , 2 ч



в) WO_3 , 850°C , 2 ч



г) In_2O_3 (91 % мас.)– Ga_2O_3 (4% мас.)– WO_3 (5 % мас.), 450°C , 2 ч

Рисунок 2 – Спектры комбинационного рассеяния WO_3 и WO_3 – Ga_2O_3 – In_2O_3

На рисунке 2 г представлен спектр КР композиции In_2O_3 (91 % мас.)– Ga_2O_3 (4 % мас.)– WO_3 (5 % мас.). Композиция WO_3 – In_2O_3 рекомендуется для применения в качестве чувствительного элемента двухэлектродных датчиков NO_2 с низкой рабочей температурой (~ 100 °С), композиция In_2O_3 (91 % мас.)– Ga_2O_3 (4 % мас.)– WO_3 (5 % мас.) показала высокие отклики к 10 ppm NO_2 в составе одноэлектродных керамических датчиков (максимум при токе нагрева 90 мА).

Литература

1. Ю.С. Гайдук, В.А. Ломоносов, А.А. Савицкий. Физико–химические свойства газочувствительной оксидной композиции WO_3 – In_2O_3 , полученной золь–гель методом. // Вестник БГУ. Серия 2. – 2016. – № 3 – С. 36–44.
2. E.I. Ross–Medgaarden, I.E. Wachs. Structural Determination of Bulk and Surface Tungsten Oxides with UV–vis Diffuse Reflectance Spectroscopy and Raman Spectroscopy. J. Phys. Chem. C 2007, 111, 15089–15099.

В.Ю. Галась, М.А. Попова (УО «БелГУТ», Гомель)
Науч. рук. **А.Н. Попов**, канд. техн. наук, доцент

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИУРЕТАНЕ

Для герметизации подвижных соединений гидросистем в основном применяют уплотнения с эластичным герметизирующим элементом. Распространенными из них являются различные манжеты, которые применяются для узлов прямолинейных и вращательных движений. [1]

В технике широко применяют уплотнительные элементы на основе эластомеров. Полиуретан обладает рядом технических преимуществ перед резинами и в современном мире получает все более широкое распространение при изготовлении уплотнительных манжет.

Поверхностное модифицирование полиуретана позволяет влиять на сложные процессы его набухания и изменение механических свойств при выдержке в гидравлическом масле. [2]

Целью работы являлось изучение влияния поверхностного модифицирования полиуретановых уплотнительных манжет покрытиями на основе углерода на их физико–химические и триботехнические свойства.

Для модифицирования поверхности использовались полиуретановые манжеты фирмы LONGLIVE, применяемые для уплотнения штока

гидравлических узлов. Полиуретан представлял собой термопластичный материал на основе полиолов сложных полиэфиров и метиленидифенилдиизоцианата. Проводилась поверхностная модификация путем нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами. Покрытия формировали с использованием серийной вакуумной установки УВНИПА-1-001.

Триботехнические испытания проводились на микротрибометре возвратно-поступательного действия по схеме сфера–плоскость при скорости скольжения 0,016 м/с и нагрузке 1,962 Н. Запись значений коэффициента трения в процессе испытания регистрировалась с интервалом 0,01 с. В качестве индентора использовался стальной шарик (ШХ-15) диаметром 6 мм.

Для обработки данных триботехнических испытаний использовался пакет программ, реализованный на высокоуровневом языке Python. Численные расчеты, анализ и визуализация производилась при помощи набора библиотек и программного обеспечения Python (x, y).

Результаты обработки данных представляются в виде цветовой гистограммы распределения значений коэффициента трения (КТ) по длине дорожки трения (участок 0-14 по оси X) в зависимости от количества пройденных циклов. Гистограмма для углеродного покрытия на полиуретане представлена на рисунке 1. В процессе испытания изнашивание покрытия начиналось на краях дорожки трения, где наблюдаются наибольшие значения КТ (участки 0-4, 10-14). Вероятно, такой эффект наблюдается из-за знакопеременных нагрузок при возвратно-поступательном движении индентора.

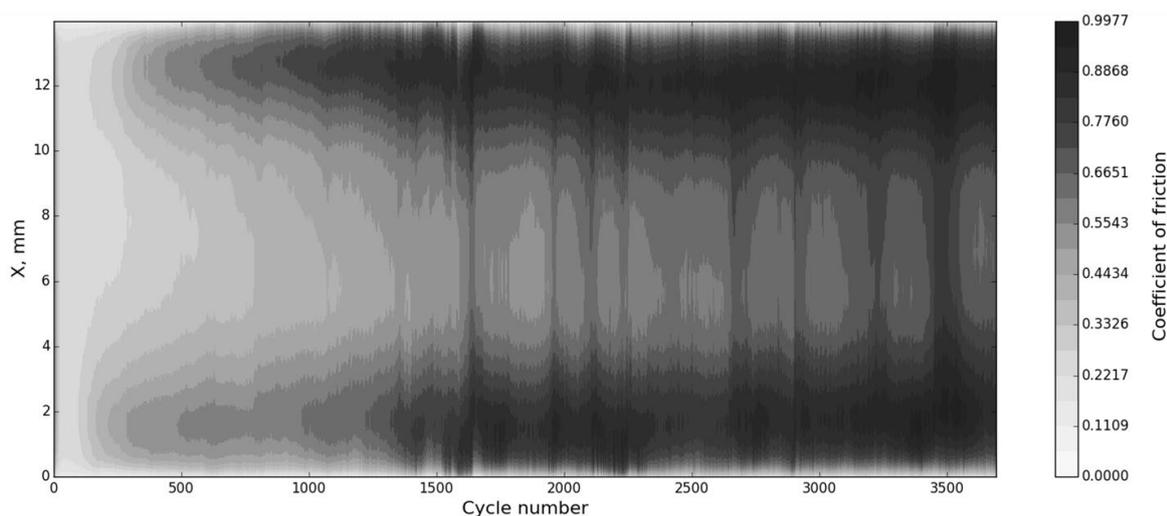


Рисунок 1 – Гистограмма распределения значений КТ для углеродных покрытий на полиуретане

Анализируя неравномерность распределения КТ по дорожке трения, можно судить о моменте отслаивания покрытия. Для этого необходимо построение кривых (рисунок 2):

- максимального значения КТ, т. е. по краям дорожки трения (maximum value);
- усредненного значения КТ центральной части дорожки (average for the central part of the track).

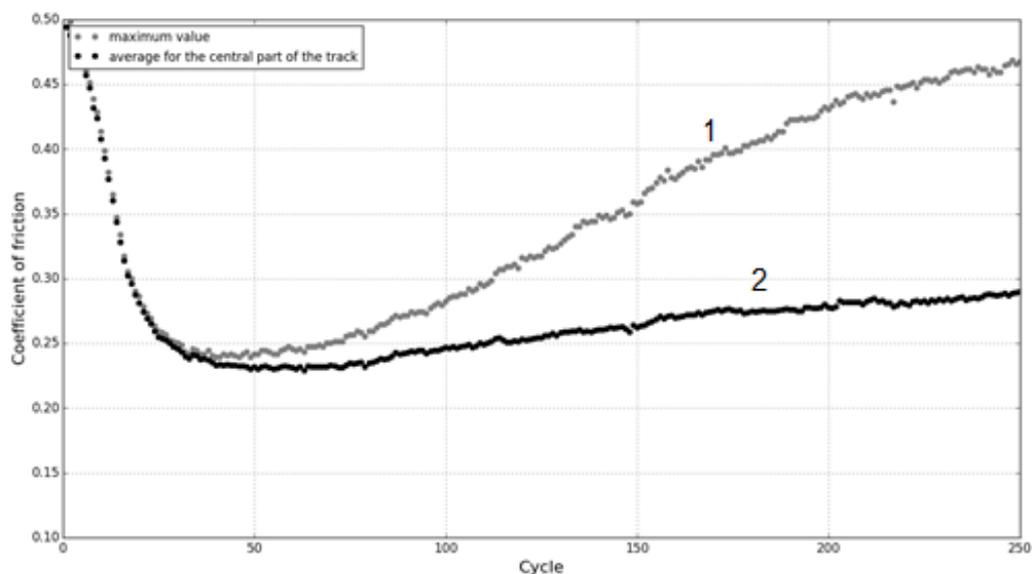


Рисунок 2 – Наибольшие (1) и усредненное значение (2) КТ за цикл

Следовательно, можно полагать, чем раньше происходит расхождение графиков на рисунке 2, тем раньше начинается изнашивание. Для удобства анализа результатов триботехнических испытаний различных типов покрытий производилось построение кривых разницы максимального и усредненного значения КТ (рисунок 3).

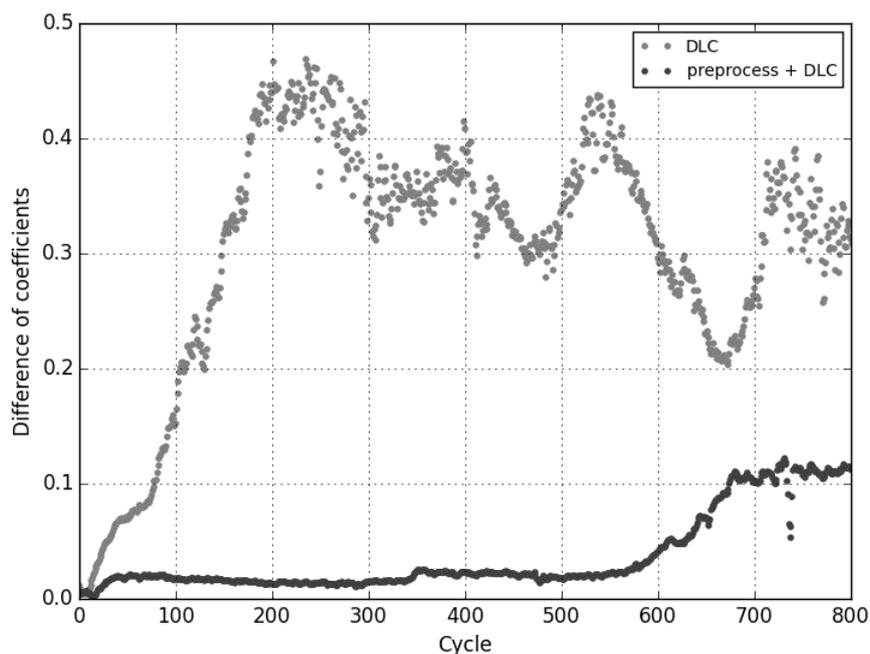


Рисунок 3 – Разница наибольших и усредненных значений КТ для различных покрытий на полиуретане

Для повышения адгезии и, соответственно, долговечности углеродных покрытий (DLC) к поверхности полиуретана была разработана технология предварительной обработки перед нанесением покрытий (preprocess + DLC). По нашему мнению, данная процедура позволяет удалить поверхностно активные вещества, которые в силу своей «маслянистой» структуры, препятствуют удовлетворительной адгезии к полиуретану.

Литература

1. Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика : справочное пособие / Т.М. Башта. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1971. – 672 с.

2. Попова, М.А. Влияние поверхностного модифицирования полиуретана на стойкость в гидравлическом масле / М.А. Попова // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы IV Респ. Науч.-тех. Конф. молодых ученых, Гомель, 10–11 нояб. 2016 г. / ИММС НАН Беларуси ; сост.: В.В. Шевченко. – Гомель, 2016. – С. 36–38.

Е.В. Гармилин (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

Интенсивное развитие микро- и нанoeлектроники является причиной большого внимания к разработке новых типов энергозависимой памяти. Поиск новых материалов, которые будут использоваться в качестве сегнетоэлектрических структур, является актуальной проблемой. Ранее основные исследования сегнетоэлектрического перовскита были сосредоточены на тонких пленках $PbTiO_3$ и $Pb(Zr, Ti)O_3$ [1]. Однако интерес к тонким пленкам $SrBi_2Ta_2O_9$ (SBT) усилился. Сегнетоэлектрические тонкие пленки $SrBi_2Ta_2O_9$ (SBT) считаются основными кандидатами для энергонезависимой оперативной памяти из-за их особых сегнетоэлектрических свойств [2]. Пленки $Sr(Bi_xTa_x)O_9$ известны хорошими усталостными характеристиками (дисплеи для поддержания поляризации, даже после многократных циклов переключения поляризации), поэтому слои SBT могут использоваться для приложений в энергонезависимых запоминающих устройствах, таких как FRAM. SBT-материалы имеют ряд преимуществ перед PZT-материалами, но их синтез намного сложнее.

Золь-гель пленки с общей формулой $SrBi_2Ta_2O_9$ (SBTL-пленка), и $SrBi_2Ta_2O_9:La^{3+}$ (SBTL-пленка) были синтезированы золь-гель методом.

В качестве исходных соединений мы использовали неорганические соли металлов с мольным соотношением (Sr:Bi:Ta) = (1:2:2) и толуол в качестве растворителя. Концентрация лантана составляла 0.5 мас.%. Пленки наносились на подслоях Pt/TiO₂/BPSG/SiO₂/Si методом центрифугирования покрытия на различных скоростях подложки (500–1000 об./мин) или путем погружения. Для достижения нужной толщины (200–300 нм), золь наносят 2–3 раза с последующей термической обработкой каждого слоя при температуре 700 °С. Отжиг SBT- и SBTL-пленок производят для формирования структуры перовскита, получаемой при 800 °С в течение 40 минут.

На рисунке 1 показаны петли гистерезиса пленок SBT (a) и SBTL (b), полученных золь-гель методом на поверхности монокристаллического кремния с платиновым подслоем ($T_{\text{heat}} = 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Петли сегнетоэлектрического гистерезиса показывают изменение электрической поляризации в зависимости от приложенного электрического поля для SBT и SBTL-пленок. Из результатов можно видеть, что обе пленки обладают сегнетоэлектрическими свойствами, но величина остаточной поляризации и форма петли гистерезиса пленки у SBTL лучше, чем у SBT-пленки. Полученная величина диэлектрической проницаемости у SBTL-пленки составляет 280.

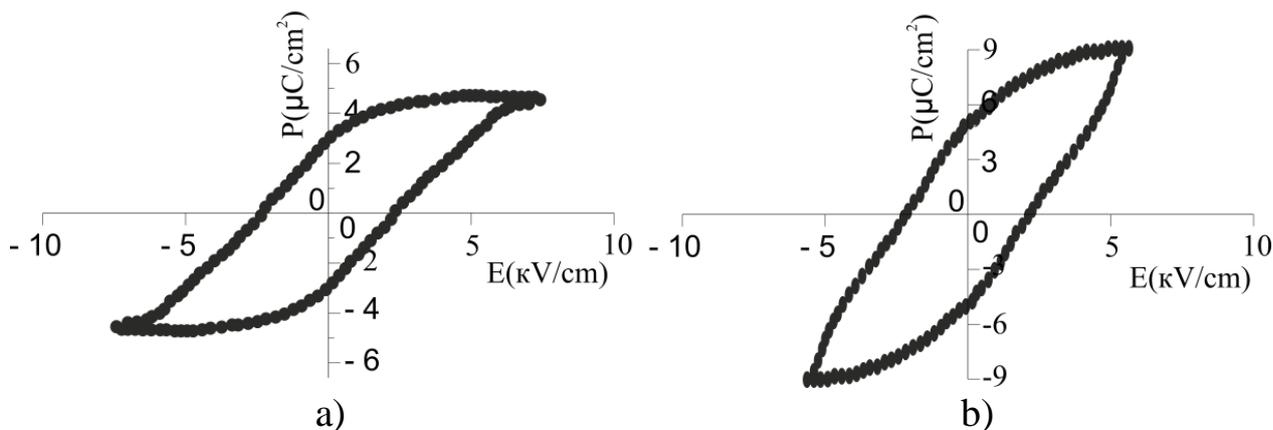


Рисунок 1 – Петли гистерезиса пленок SBT (a) и SBTL (b), предварительно обработанных золь-гель методом на поверхности монокристаллического кремния с платиновым подслоем ($T_{\text{heat}} = 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Таким образом, легирование SBT-пленки ионами лантана улучшает электрофизические свойства синтезированных золь-гель сегнетоэлектрических пленок. SBTL-пленки пригодны для использования в устройствах FRAM из-за высокой однородности структуры и толщины, приемлемого значения спонтанной поляризации, низкой коэрцитивности.

Литература

1. Ganpule, C.S. Imaging three-dimensional polarization in epitaxial polydomain ferroelectric thin films / C.S. Ganpule, V. Nagarajan, B.K. Hill, A. L. Roytburd, E. D. Williams // J. Applied Physics Letters – 2002. – vol. 91. – 1477 p.
2. Roelofs A. Depolarizing-field-mediated 180° switching in ferroelectric thin films with 90° domainset / A. Roelofs // J. Applied Physics Letters – 2002. – vol. 80. – 1424 p.

А.А. Грейбо, С.А. Тимошенко

(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМОМЕРА ТОПЛИВОРАЗДАТОЧНОЙ КОЛОННЫ

Введение. К технологическому оборудованию АЗС относят: средства заправки; средства хранения; технологические трубопроводы; средства замера количества горючего; средства контроля качества нефтепродуктов; вспомогательные средства [1, 2].

Для выдачи топлива и масел потребителям применяются топливораздаточные, смесераздаточные и маслораздаточные колонки различных конструкций. Основной задачей колонок является выдача потребителям задаваемых доз топлива или масла с требуемой точностью (погрешность отпуска дозы не должна превышать $\pm 0,5\%$) [3].

Несмотря на большое многообразие типов и конструкций топливораздаточных колонок, они содержат: клапан приемный; насос-моноблок с электроприводом; счетчик жидкости; счетное устройство; индикатор; раздаточный кран с рукавом [2].

Объёмомер спроектирован для точного измерения объёмов традиционных видов топлива, используя систему прямого вытеснения, состоит из алюминиевого корпуса, цилиндров, основания, боковых крышек цилиндров, корпуса золотника [1].

Наиболее распространенным дефектом объёмомера МА26 топливораздаточных колонок является подтекание топлива из-под уплотнительных колец.

В качестве материалов при производстве уплотнительных колец используются резиновые смеси на основе каучуков: акрилонитрил-бутадиеновых каучуков, фтор наполненные каучуки и резиновые смеси

на их основе, этилен-пропилен-диен-каучуки, силоксановые каучуки, полиуретаны [3]. Требования, предъявляемые к свойствам резины, которая используется для уплотнения, следующие: маслостойкость; температурная стойкость; термическая стойкость; химическая стойкость [4].

Целью представленной работы является разработка конструкторских и материаловедческих решений направленных на повышение надежности эксплуатации топливораздаточных колонн.

Методика исследований. Объектом исследований является объемомер МА26, который предназначен для точного измерения объемов традиционных видов топлива, используя систему прямого вытеснения.

В качестве герметизирующего материала использовали фторопласт (тефлон, политетрафторэтилен (ПТФЭ) (Polytetrafluoroethylene)), который получил чрезвычайно широкое распространение при производстве уплотнительных элементов.

Твердость по Шору А исследуемых образцов на основе ПТФЭ измеряли в относительных единицах с помощью твердомера типа ИПМ - 1К. Определение прочности при растяжении проводили на разрывной машине ИР 5047 – 50 производства ООО «ТОЧПРИБОР». Испытания проводили на прямоугольных образцах, изготовленных из резины (применяемой для производства уплотнительных колец объемомера МА26) и из ПТФЭ.

Бензостойкость к действию рабочей среды (бензин АИ-95) на уплотнительные кольца проводили при температуре 20 °С в течении 10 часов в соответствии с действующим стандартом [8].

Массу образцов определяли взвешиванием с предельной допускаемой погрешностью $\pm 0,001$ г на воздухе при (23 ± 2) °С. За результат испытаний принимали среднее арифметическое значение показателя, вычисленное из результатов испытаний не менее трех образцов, при допускаемом предельном отклонении каждого результата от среднего арифметического ± 10 %.

Для определения набухания использовали резиновые уплотнительные кольца для объемомера, и кольца, изготовленные из ПТФЭ, размеры колец – $\varnothing 13,6 \times 2,7$ мм.

Результаты и их обсуждение. В рамках данной работы предлагается заменить резиновые уплотнительные кольца объемомера топливораздаточной колонки на уплотнительные кольца, изготовленные из ПТФЭ.

Физико-химические свойства ПТФЭ позволяют эксплуатировать его в агрессивных средах при температуре от минус 269 °С до плюс 260 °С. Температура плавления около 327 °С. ПТФЭ обладает самым низким коэффициентом трения в условиях трения без смазочного материала по сравнению с другими полимерами. Низкий уровень поверхностной

энергии и межмолекулярного взаимодействия определяет многие свойства полимера и, в первую очередь, низкие уровни поверхностного натяжения и смачиваемости, адгезионную способность и, как следствие, хорошие антифрикционные свойства [7].

Анализ результатов испытания на твердость по Шору А показал, что значение твердости образца, изготовленного из ПТФЭ на 10 % выше, чем значение твердости применяемого резинового уплотнительного кольца.

Результаты проведенных исследований по определению прочности при растяжении показали, что значение прочности при растяжении для образцов, изготовленных из ПТФЭ в 2,14 раза выше, чем, для применяемых резиновых уплотнительных колец.

Результаты испытаний образцов на стойкость к действию бензина показали, что образцы, изготовленные из ПТФЭ не набухли в бензине АИ-95, в то время как образцы резиновых уплотнительных колец, применяемых в объемомере МА26 изменились по массе на 23 %, что свидетельствует о том, что материал, из которого они изготовлены не противостоит действию бензина и не является бензостойким. Следовательно, наиболее вероятной причиной подтекания топлива в объемомере МА26 связано с использованием некачественных уплотнительных колец.

Заключение. Таким образом, предлагаемая замена резиновых уплотнительных колец объемомера МА26 топливораздаточной колонки на уплотнительные кольца, изготовленные из ПТФЭ, позволит исключить преждевременный выход из строя объемомера, увеличить интервал технического обслуживания и продлить срок службы узла в целом.

Литература

1. Волгушев, А.Н. Автозаправочные станции / А.Н. Волгушев. – СПб. : ДНК, 2001. – 176 с.
2. Шалай, В.В. Проектирование и эксплуатация нефтебаз и АЗС: учеб. пособие / В.В. Шалай, Ю.П. Макушев. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 296 с.
3. Колонки топливораздаточные. Общие технические условия: ГОСТ 9018-89 – Введ. 01.07.1990 – М. : Издательство стандартов, 1998. – 12 с.
4. Земенков, Ю.Д. Хранение нефти и нефтепродуктов / Ю.Д. Земенков, В.Н. Антипьев, Г.В. Бахмат. – М. : Издательство «Нефть и газ» РГУ им. Губкина, 2003 – 560 с.
5. Коршак, А.А. Нефтебазы и АЗС : учебное пособие / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, Е.М. Муфтахов. – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2006 – 416 с.

6. Коршак, А.А. Основы транспорта, хранения и переработки нефти и газа / А.А. Коршак. – С-П : Феникс, 2016. – 365 с.

7. Паншин, Ю.А. Фторопласты / Ю.А. Паншин, С.Г. Малкевич, Ц.С. Дунаевская. – Л. : «Химия», 1978. – 232 с.

8. Резины. Методы испытаний на стойкость в ненапряженном состоянии к воздействию жидких агрессивных сред: ГОСТ 9.030-74 – Введ. 01.07.1975 – М. : Издательство стандартов, 2008. – 12 с.

Т.Х. Динь, В.В. Лобунов (УО БГУИР, Минск)

Науч. рук. **И.А. Врублевский**, канд. техн. наук, доцент

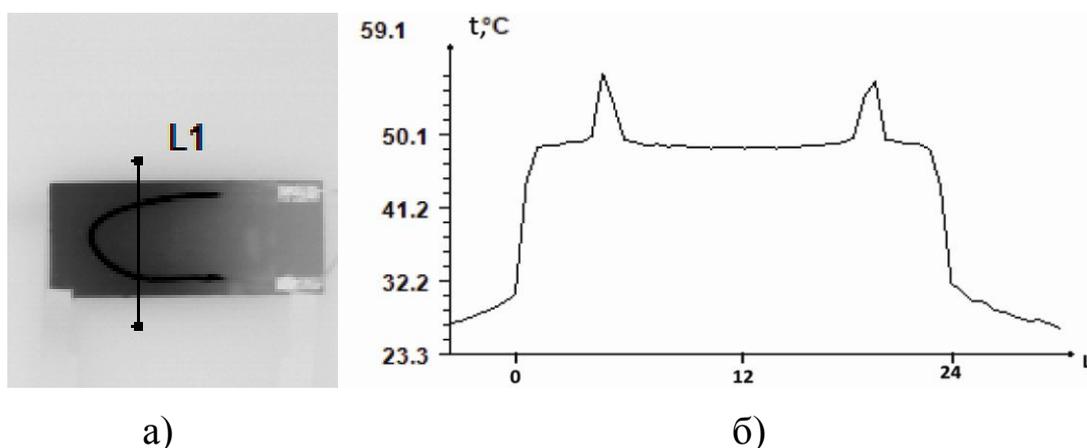
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕГРЕВА ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАТЫ ИЗ АЛЮМИНИЯ С НАНОПОРИСТЫМ ОКСИДОМ АЛЮМИНИЯ

Обеспечение требуемых тепловых режимов работы активных элементов радиоэлектронной аппаратуры является одной из важных задач при разработке конструкций плат с высоким тепловыделением. В настоящее время это особенно актуально для светодиодных модулей освещения в системах мощных излучателей и силовой электроники, используемой в источниках питания, инверторах, преобразователях постоянного – переменного напряжения, усилителях мощности и драйверах двигателей. Теплота, выделяемая при р-п переходе активного радиоэлектронного элемента, проходит от корпуса элемента к теплоотводу, а затем рассеивается в окружающем пространстве. Рассеиваемая мощность повышает температуру активного элемента. Если температура становится выше предельно допустимой, заданные характеристики элемента претерпевают изменения и в дальнейшем высокая вероятность повреждения и выхода из строя. Поэтому для плат с высоким тепловыделением очень важно максимальное рассеивание выделяемой теплоты. Решение этой задачи зависит от характеристик печатной платы, которые определяются, как конструктивными особенностями платы, так и материалом, из которого она изготовлена. Один из способов снижения уровня тепловой нагруженности плат и эффективного отвода тепла от электронных компонентов – использование печатных плат с металлическим основанием. Следовательно, исследование тепловых режимов работы тепловыделяющих элементов на поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия является актуальной задачей.

Основной целью использования металлических печатных плат в радиоэлектронной аппаратуре является улучшение теплопередачи от электронных теплонагруженных компонентов к системе обеспечения

теплового режима. Поэтому в данной работе в качестве параметра для контроля тепловых процессов было выбрано тепловое сопротивление в системе «активная структура–поверхность нанопористого анодного оксида алюминия».

В качестве активного элемента на плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия использовался ленточный микронагреватель в виде углеродной нити. Пластина из алюминия имела размеры 60x24 мм, толщина – 0,5 мм. Формирование пленки нанопористого оксида алюминия использовалось для получения диэлектрического слоя с хорошими электроизоляционными свойствами на поверхности алюминия. Анодирование алюминия проводили в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты с постоянной плотностью тока 6 А см^{-2} в течение 40 мин до достижения пленкой анодного оксида алюминия толщины 30 мкм. Для изготовления нагревательного элемента использовалась нить из углеродного волокна с размерами: 80 мкм (толщина), 4 мм (ширина), 170 мм (длина). Концы нити из углеродного волокна металлизировались слоем меди (толщина 30 мкм, гальваническое осаждение) для последующей пайки в процессе сборки. Электрический микронагреватель с нитью из углеродного волокна имел электрическое сопротивление 60 Ом. Для исследования теплового поля на поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия в режиме включения нагревательного элемента использовали неохлаждаемый тепловизор (MobIR M4).



(а) тепловая картина на поверхности алюминиевого основания с нанопористым оксидом алюминия и микронагревателем из углеродной нити (6,8 Вт) на 19 с нагрева;
 (б) профиль температуры вдоль линии L1

Рисунок – Результаты тепловых измерений

Как показано на рисунке, при мощности микронагревателя 6,8 Вт на 19 с нагрева температура углеродной нити была $(56 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ и температура

на поверхности нанопористого анодного оксида алюминия рядом с микронагревателем – в пределах (47 ± 1) °С. Следовательно, температурный градиент достигал величины около 9 °С при мощности микронагревателя 6,8 Вт.

Такой результат свидетельствует о хороших теплопроводящих характеристиках слоя нанопористого анодного оксида алюминия, который расположен между углеродной нитью (электронагревательный элемент) и алюминием.

М.А. Емельянович, М.П. Ермоленко
(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Введение. В процессе работы алмазного деревообрабатывающего инструмента неизбежно налипание на его поверхность древесной пыли, стружки и связующих веществ плитных материалов – синтетических смол. Так как инструмент имеет сложное геометрическое исполнение, механическая очистка поверхности не представляется возможной. Так же механическая очистка в некоторых случаях способствует образованию царапин путем попадания твердых частиц между очищаемой поверхностью и чистящим элементом. Так как корпус некоторых деревообрабатывающих инструментов имеет антиадгезионное покрытие, то его повреждение ведет к повышенному трению в зоне обработки при последующей эксплуатации. Поэтому наиболее перспективным способом очистки можно назвать ультразвуковую очистку инструмента. Она проводится под действием ультразвукового излучения на поверхность инструмента, находящегося в водяной ванне. Данный процесс является перспективным, имеет ряд положительных моментов, но, так же имеет и недостаток – почти не удаляется нагар, скопившийся на инструменте в процессе работы [1–2].

Главной задачей являлось определение технологических режимов и состава рабочей среды ультразвуковой ванны, которые позволят удалить нагар с поверхности инструмента, а также сохранение целостности его покрытия. Поэтому в работе определена цель – разработка технологических режимов ультразвуковой обработки деревообрабатывающего инструмента.

Методика исследований. Объектом исследований в представленной работе является высокопроизводительная алмазная фреза Leuco Diamax Z2+2 (рисунок 1) [3–4].

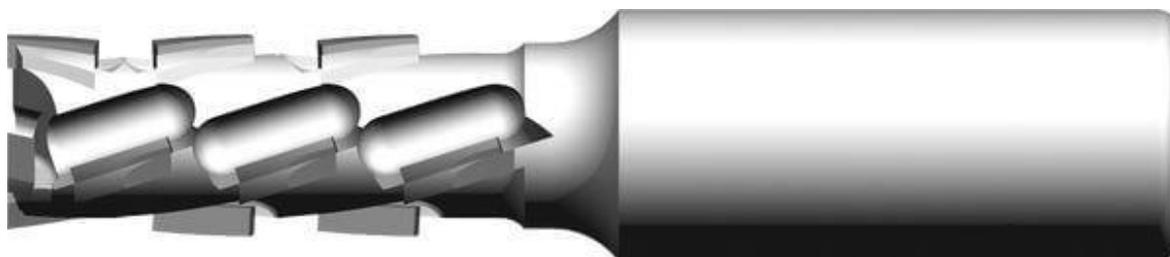


Рисунок 1 – Фреза Leuco Diamax Z2+2

Исследование было проведено на базе предприятия ООО «АРКалмаз» (Гродно), которое занимается сервисным обслуживанием деревообрабатывающего инструмента и использует для очистки ультразвуковую ванну «Сапфир» ТТЦ.

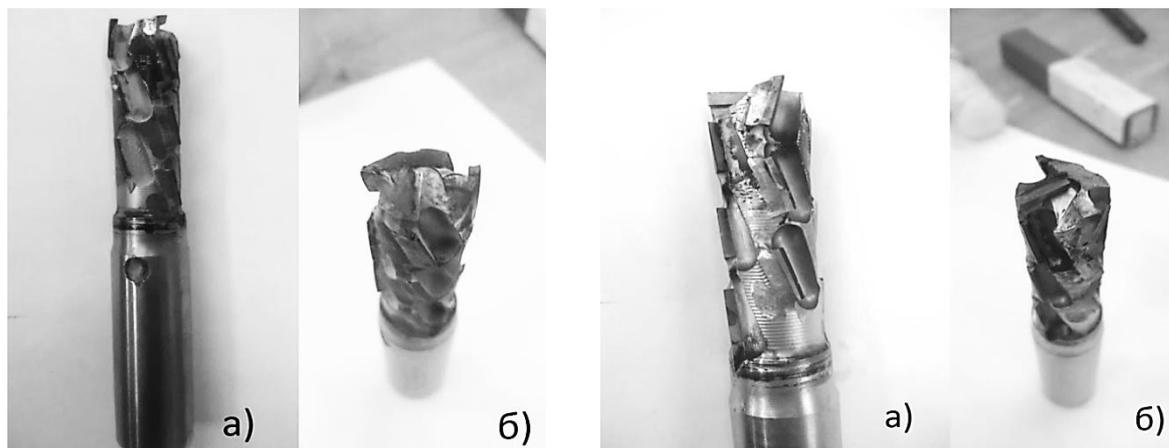
В ультразвуковых ваннах в качестве рабочей среды выступает вода, которая справляется с налипшей стружкой и смолами, однако избавиться от нагара не удастся. Было принято решение создать более агрессивную рабочую среду за счет добавления мелкодисперсного абразива, который, в сочетании с ультразвуковой кавитацией, позволил добиться полной очистки поверхности инструмента от нагара. В качестве наполнителя выступил кварцевый песок мелкой фракции ($d \leq 0.5$ мм.), применяемый в пескоструйных установках. Песок разбавляется с водой в таре малой емкости и помещается в корзину ультразвуковой ванны. Фреза помещается в нее таким образом, чтобы ее верхняя часть, наиболее подверженная нагару, была погружена в песок на дне емкости [5].

Для процесса обработки были подобраны следующие технологические режимы: температура рабочей среды – 35 °С; время обработки – 15 минут; частота генератора – 35 кГц.

Результаты и их обсуждение. В результате обработки в ультразвуковой ванне с использованием наполнителя был полностью удален нагар с верхней (врезной) части фрезы и частично с корпуса, чего не удавалось достичь при помощи традиционных методов очистки (рисунок 2).

После очистки фрезы в ультразвуковой ванне и заточки на электроэрозионном станке, были проведены натурные испытания на фрезерном станке с ЧПУ. После завершения цикла работы до следующей заточки были собраны данные по особенностям эксплуатации инструмента, очищенного предложенным методом. По результатам работы на операции обгонки плитного материала МДФ можно отметить повышение ресурса инструмента и возможность работы на повышенных режимах

резания, по сравнению с инструментом, восстановленным обычным способом.



фреза после эксплуатации

фреза после очистки

а) вид сбоку; б) вид сверху

Рисунок 2 – Характерный вид фрезы Leuco Diamax Z 2+2

Заключение. Сложное конструктивное исполнение инструмента не позволяет использовать традиционные механические способы очистки для удаления последствий налипания древесной пыли, синтетических смол плитных материалов, нагара. Поэтому для этих целей традиционно используется ультразвуковая очистка. Для усиления эффективности ультразвуковой очистки поверхностного слоя инструмента предложено создать более агрессивную рабочую среду за счет добавления мелкодисперсного абразива, который, в сочетании с ультразвуковой кавитацией, позволил добиться полной очистки поверхности инструмента от нагара. Результат удалось достичь благодаря сочетанию следующих технологических режимов: температура рабочей среды – 35 °С; время обработки – 15 минут; частота генератора – 35 кГц.

По результатам проведенных исследований предложено использование кварцевого песка в ультразвуковой ванне для очистки инструмента, применяемого в деревообрабатывающей промышленности, что позволило на 8 % повысить ресурс эксплуатации деревообрабатывающего инструмента фреза Leuco Diamax Z 2+2.

Литература

1. Амалицкий, В.В. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий / В.В. Амалицкий; под ред. В.И. Сапева. – М. : Экология, 1992. – 560 с.

2. Глебов, И.Т. Справочник по дереворежущему инструменту / И.Т. Глебов, Д.В. Неустроев. – Урал. гос. лесотехн. акад. : Екатеринбург, 2000. – 253 с.

3. АKE Cutting&Better [Электронный ресурс] / Деревообрабатывающий инструмент АKE. – Москва, 2010. – Режим доступа: <http://www.mi-tools.ru>. – Дата доступа: 25.11.2016.

4. FREUD Russia [Электронный ресурс] / Freud – деревообрабатывающий инструмент из Италии. – Москва, 2011. – Режим доступа: <http://www.freudtools.com>. – Дата доступа: 05.12.2016.

5. Леспром Информ [Электронный ресурс] / Ведущее издание по ЛПК в России. – Москва, 2008. – Режим доступа: <http://www.lesprominform.ru>. – Дата доступа: 26.10.2016.

М.П. Ермоленко, А.В. Севашко
(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

КОНСТРУКТИВНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ КАРДАНЫХ ВАЛОВ

Введение. Повышение качественных характеристик продукции машиностроительного назначения делает ее более конкурентоспособной на мировом рынке. Применительно к карданным валам важнейшим показателем наряду с конструкционной прочностью является достижение минимальных показателей по вибродинамическим нагрузкам. Ключевым фактором на пути достижения данного критерия является балансировка не только отдельных деталей, но и узла в целом. Стадия сборки узлов карданных валов является наиболее ответственной, поэтому представленная тема является весьма актуальной для машиностроительной отрасли [1, 3-5].

Обеспечение оптимальных условий сборки и наладки узла карданного вала с минимальными трудовыми и временными затратами будут получены за счет оптимизации конструктивного исполнения приспособления на стадии комплектации.

Методы исследования. В качестве объекта исследования и оптимизации выступает приспособление, предназначенное для сборки узла карданного вала (рисунок 1).

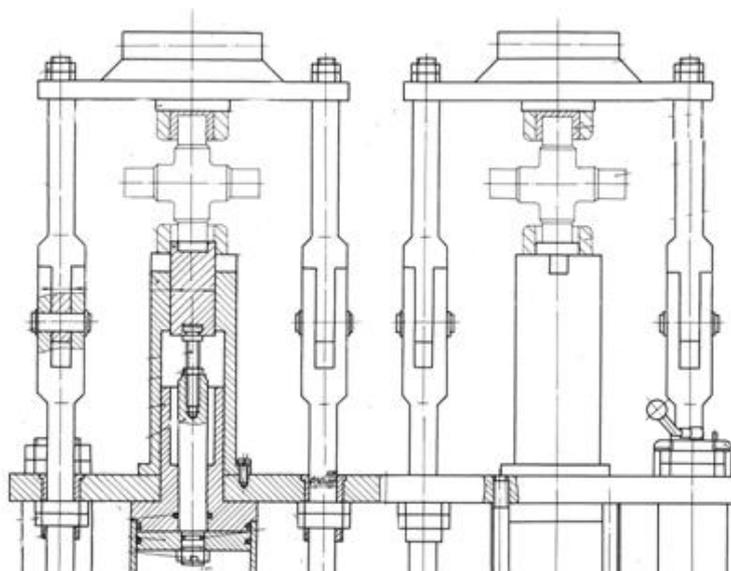


Рисунок 1 – Общий вид приспособления, предназначенного для сборки узла карданного вала

Для оформления конструкторской и технологической документации, оптимизации конструкции приспособления, предназначенного для сборки карданного вала, применяли методы компьютерного моделирования и проектирования технических объектов на базе программного продукта AutoCAD.

Результаты и их обсуждение. Новизна работы заключается в реализации инновационных решений на стадии конструирования технологической оснастки, которые позволят собирать на данном приспособлении карданные валы не только одного типоразмера, но и нескольких, за счёт быстрой переналадки (замены стоек и ложных подшипников для разных размеров фланцев). Помимо этого на приспособлении, представленном на рисунке 1, станет возможно чередование двух видов сборки: узловая сборка, совмещенная с общей сборкой карданных валов на одном приспособлении.

Благодаря предложенной технологической оснастке на приспособлении возможна сборка карданных валов с крестовиной и подшипниками в сборе модели 53205-2205025-10 с размерами по торцам подшипников равным 155 мм и наружным диаметром подшипника равным 50 мм. Например, карданные валы типа 64226-2201010-02, применяемые в приводах задних мостов в МАЗ-6317 (бортовой автомобиль), МАЗ-63031 (бортовой автомобиль), МАЗ-63171 (бортовой автомобиль), МАЗ-63038 (шасси), МАЗ-64225 (тягач-лесовоз), МАЗ-55165 (самосвал), МАЗ-64221 (седельный тягач), МАЗ-64228 (седельный тягач). Данный карданный вал относится к 7-му типоразмеру, характерный вид которого представлен на рисунке 2.

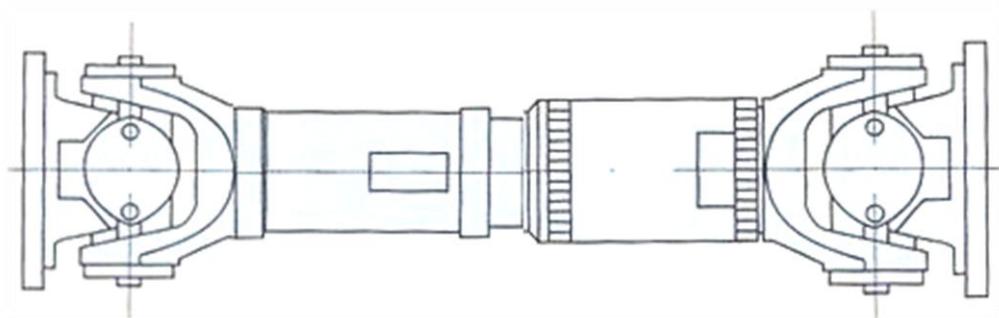


Рисунок 2 – Схема карданного вала 64226-2201010-02 со стопорными кольцами

Также, на данном приспособлении с новой технологической оснасткой, возможна сборка карданных валов типа 7522-2201010-02, которые служат для передачи крутящего момента от гидромеханической передачи (ГМП) до заднего моста спецтехники БелАЗ-540, -7522, -7540В, -7540Е, -7540З, -75405, -75407, -7542, -754851. В указанном выше карданном вале применяется крестовина с подшипниками в сборе 7522-2201025 с размерами по торцам подшипников равным 173 мм, наружным диаметром равным 62 мм. Схема карданного вала представлена на рисунке 3.

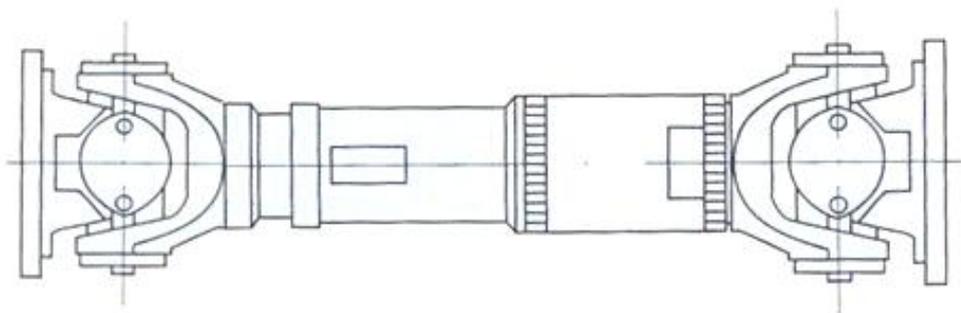


Рисунок 3 – Схема карданного вала типа 7522-2201010-02

Благодаря усовершенствованной конструкции появляется возможность сборки карданных валов типа 6520Г-2205011-01 с крестовиной 84-2205025 в сборе с подшипником, наружный диаметр которого равен 57 мм., расстояние по торцам подшипников 152 мм. Карданный вал 6520Г-2205011-01 служит для передачи крутящего момента от коробки передач до среднего моста автомобиля КамАЗ-6520.

Заключение. Таким образом, внесенные изменения в конструкцию приспособления, предназначенного для сборки карданного вала, а именно, в конструкцию направляющего стакана и оправки с применением новых исполнений скалки верхней и толкателей, можно констатировать, что приспособление приобрело большую универсальность и позволяет увеличить качество и скорость сборки широкого ассортимента карданных передач. Практическая значимость состоит в усовершенствовании

и упрощении процесса сборки узлов карданных валов, что обеспечивает более высокую производительность работу участков и повысит конкурентоспособность изделий за счет увеличения срока эксплуатации карданного вала.

Литература

1. Лукин, П.П. Конструирование и расчет автомобиля / П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В.Ф. Родионов. – М. : Машиностроение, 1984. – 376 с.
2. Шарипов В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов. – М. : МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.
3. Проектирование трансмиссий автомобилей // Справочник / под общ. ред. А.И. Гришкевича. – М. : Машиностроение, 1984. – 272 с.
4. Лустенков, М.Е. Планетарные шариковые передачи. Особенности расчета на прочность // Вестник машиностроения. – 2010. – № 9. – С. 13–17.
5. Савельев, В. А. Влияние неуравновешенных сил инерции второго порядка четырехцилиндрового рядного двигателя на изгибные колебания валов карданной передачи автомобиля // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. –2012. №5 (2). С. 197–200.

А.Г. Есин

(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Антонов** ст. преподаватель

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ ПОЛИАМИДОВ ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К ПРОЦЕССАМ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Введение. Разработка термостойких композиционных материалов на основе полимерных матриц является одной из важнейших фундаментальных задач химии высокомолекулярных соединений и полимерного материаловедения. Такие материалы должны сохранять свои свойства при воздействии высоких температур, агрессивных сред, влаги и других деструктивных факторов. Расширение областей применения термостойких полимеров зависит от ряда требований, предъявляемых к их эксплуатационным и техническим характеристикам, возможностям переработки современными промышленными методами. Важным является проблема исследования путей стабилизации полимеров и ингибирования процессов термической деструкции.

Одним из широко используемых конструкционных полимерных материалов в машиностроении является полиамид благодаря сочетанию комплекса свойств: высокой прочности, жесткости, износостойкости. Несмотря на то, что полиамиды относятся к одному из наиболее стойких в химическом отношении классов термопластичных материалов, они также подвергаются деструкции в процессе получения изделий и их последующей эксплуатации. При эксплуатации деструкция полиамидов обычно обусловлена их медленным окислением, инициированным действием коротковолнового излучения в видимой или УФ-области спектра. Заметное влияние на этот процесс оказывает присутствие паров воды.

Одним из основных решений проблемы стабилизации полимеров является поиск эффективных ингибиторов, или стабилизаторов, которые, будучи добавлены в полимер в очень малых количествах, не давали бы возможности развиваться нежелательному цепному процессу деструкции макромолекул [1–5].

Целью данной работы являлась разработка составов композиционных материалов на основе алифатических полиамидов, обладающих повышенной устойчивостью к процессам термической и термоокислительной деструкции.

Методика исследований. Объектом исследований выступали алифатические полиамиды различных марок: полиамид ПА6-210/310 низковязкий и трудновоспламеняемые композиционные материалы ПА6-ТГ, ПА6-СВ20-ТГ производства филиала «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот». В качестве модифицирующих добавок для стабилизации полимерных материалов применяли частицы формиата меди. Приготовление композиционных материалов на основе полиамидов осуществляли путём насыщения гранулированного материала матричного компонента в 10%-ом растворе формиата меди в течение 1, 5 и 10 часов. Экспериментальные образцы из разработанных составов композиционных материалов для определения деформационно-прочностных характеристик получали в виде лопаток и брусков литьем под давлением на термопластавтомате ДГ 3121-16П. Деформационно-прочностные характеристики композиционных материалов определяли на разрывной машине ИР5047-50-11. Определение показателя текучести расплава (ПТР) осуществляли на приборе ИИРТ-М.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения ПТР показали, что введение частиц формиата меди в матричный компонент композиционного материала приводит к существенному увеличению показателей реологических характеристик (таблица).

Таблица – Результаты определения ПТР композиционных материалов

Материал матрицы	ПТР, г/10 мин			
	без модификатора	10 % р-р формиата меди (1 ч.)	10 % р-р формиата меди (5 ч.)	10 % р-р формиата меди (10 ч.)
ПА6-210/310	19,5	25,6	28,7	21,3
ПА6-ТГ	24,7	26,3	28,4	22,6
ПА6-СВ20-ТГ	17,4	34,2	39,4	27,2

При определении показателей деформационно-прочностных характеристик композиционных материалов образцы подвергали термической обработке при температуре 150°C в течение 100 и 200 часов. Результаты исследования показали, что введение в состав композита частиц формиата меди приводит к стабилизации (сохранению свойств полимеров, подверженных деструкции, повышению устойчивости полимеров к старению) прочностных характеристик материала при воздействии повышенных температур. Для стабилизированных композиционных материалов на основе полиамида ПА6 наблюдается снижение прочностных характеристик на 10% в отличие от нестабилизированных, для которых характерно снижение прочности при растяжении на 20% при аналогичных условиях.

Заключение. На основании проведенных исследований деформационно-прочностных характеристик разработанных составов композиционных материалов на основе полиамидов, модифицированных 10 %-ым раствором формиата меди, можно сделать вывод о том, что при введении в композицию наночастиц меди вследствие разложения прекурсора (формиата меди) в расплаве матричного полимера образуются металлосодержащие соединения, выполняющие роль ингибитора термоокислительной деструкции.

Литература

1. Нельсон, У.Е. Технология пластмасс на основе полиамидов: пер с англ. / У.Е. Нельсон; пер. с англ. С.Г. Куличихина, Р.З. Маркович; под ред. А.Я. Малкина. – М. : Химия, 1979. – 256 с.
2. Кулезнев, В.Н. Химия и физика полимеров : учеб. пособие / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев – М. : КолосС, 2007. – 367 с.
3. Архиреев, В.П. Старение и стабилизация полимеров : учеб. пособие / В.П. Архиреев. – Казань : КГТУ, 2002. – 88 с.
4. Эмануэль, Н.М. Химическая физика молекулярного разрушения и стабилизации полимеров / Н.М. Эмануэль, А.Л. Бучаченко – М. : Наука, 1988. – 368 с.

5. Заиков, Г.Е. Горение, старение и стабилизация полимеров, полимерных смесей и композитов / Г.Е. Заиков // Известия высших учебных заведений. серия: химия и химическая технология. – 2011. – Т. 54, № 1. – С. 110–112.

Д.А. Зайцев (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **Н.Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

Алмазоподобные углеродные покрытия (АПП) привлекают особое внимание и имеют широкое практическое применение благодаря их таким свойствам, как высокая твердость, теплопроводность, оптическая прозрачность, химическая инертность, триботехнические и электрофизические свойства, прекрасная биосовместимость. АПП покрытие, как правило, является метастабильной формой углерода преимущественно со смесью графитоподобных sp^2 и алмазоподобных sp^3 связей. При этом свойства АПП покрытий определяются не только относительной долей sp^3 и sp^2 связей, но и организацией связанной сети (размером и степенью упорядоченности Csp^2 и Csp^3 кластеров, их распределением в слое и т. д.) [1].

Для получения АПП использовался метод импульсного катодно-дугового испарения, имеющий ряд преимуществ по сравнению с методом плазменно-химического осаждения из газовой фазы или методом распыления: он высокопроизводителен, недорогой и достаточно простой в реализации. При катодно-дуговом испарении генерируется углеродная плазма с высокой энергией и плотностью ионов, что обуславливает формирование с высокой скоростью роста покрытий, имеющих значительную долю sp^3 -фазы. Кроме того, при формировании АПП методом катодно-дугового испарения не требуется газа, для обеспечения химической реакции или рабочего газа. При катодно-дуговом испарении удается избежать побочных физико-химических процессов, связанных, в частности, с введением водорода в рабочую камеру. Промежуточные слои металла или нитрида металла и слой АПП формировались, как правило, в едином технологическом цикле[2].

Графитовая мишень химической чистоты 99,5 % используется в качестве одного из электродов импульсного катодно-дугового испарителя. Частота и число импульсов выбираются в диапазоне (3–20) Гц и 370–3 000 соответственно. В качестве подложек используются кристаллические пластины из n-Si, вырезанная параллельно кристаллографической плоскости. Во время осаждения покрытия угловая скорость вращения

держателя образцов составляет 2 об/мин⁻¹. Начальное давление в вакуумной камере не выше 6×10^{-4} Па.

Управление толщиной напыляемого покрытия производится посредством регулировки времени процесса и скорости напыления. Измерение скорости напыления осуществляется с помощью кварцевого измерителя. Отжиг нанесенных покрытий производился в течение 30 мин. в вакууме при давлении 2×10^{-3} Па и температуре 100–500 °С. Было получено два образца.

Оптические свойства синтезированных покрытий были исследованы двумя методами: метод спектральной эллипсометрии и спектрофотометрическим. Результаты измерений, полученные на спектральном эллипсометре: для АПП - 1 показатель преломления и коэффициент поглощения равны 2,47 и 0,00021 соответственно; для АПП - 2 показатель преломления и коэффициент поглощения равны 2,49 и 0,00038 соответственно. Рассчитали оптические постоянные по спектральной интерференционной кривой коэффициента отражения R: для АПП - 1 показатель преломления и коэффициент поглощения равны 2,66 и 0,00025 соответственно; для АПП - 2 показатель преломления и коэффициент поглощения равны 2,51 и 0,00035 соответственно.

По полученным данным можно сделать вывод о том, что данные расчёта и экспериментальные данные коррелируют.

Литература

1. Robertson, J. Mechanical properties and coordinations of amorphous carbons / J. Robertson // Phys. Rev. Lett. – 1992. – № 68. – С. 220–223.

2. А. Н. Довган, В. П. Колесник. Формирование алмазоподобных покрытий импульсными потоками плазмы, 2008. – С. 21–22.

Ю.А. Зыбко (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

СМЕСЕВЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ АВТОАГРЕГАТОВ

Введение. Одним из перспективных направлений развития современного материаловедения является создание и применение нанокomпозиционных материалов на основе смесей термопластов [1].

Наиболее эффективным методом защиты от изнашивания и коррозии является применение функциональных покрытий, которые, благодаря высокому уровню и оптимальному сочетанию эксплуатационных характеристик, локализуют процессы коррозионно-механического изнашивания в

поверхностных слоях контактирующих деталей, предотвращая их глубинное разрушение.

В конструкциях ряда узлов трения используют покрытия на основе полимерных матриц, снижающие коррозионно-механический износ сопряжения, предотвращающие образование задиров на поверхностях терния при недостатке или отсутствии внешней смазки, уменьшающие ударное взаимодействие элементов узла транспортного средства. В машиностроении наибольшее распространение получили полиамидные покрытия, обладающие оптимальным сочетанием параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик [2].

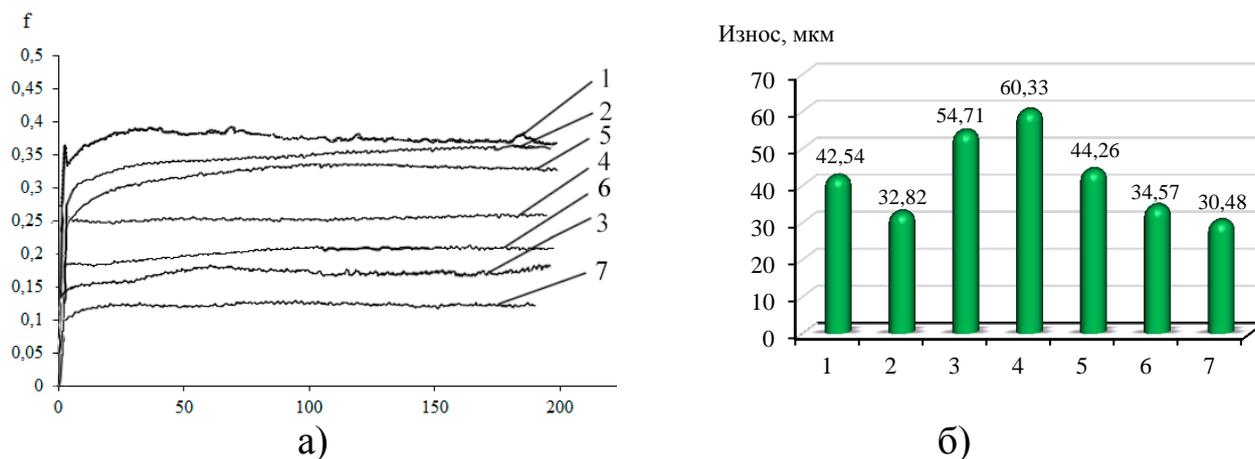
Целью исследований являлась разработка составов и технологий композиционных материалов на основе смесей алифатических полиамидов для функциональных покрытий автокомпонентов.

Методика исследований. В качестве объекта исследований выступали функциональные покрытия из алифатических полиамидов различных марок: ПА 6, ПА 6.6-Л, ПА 12, ПА 11. В качестве модификаторов композиционных материалов на основе смесей алифатических полиамидов использовали дисперсные, в т.ч. наноразмерные, частицы углеродсодержащих соединений – коллоидно-графитовый препарат С-1 и шихту детонационного синтеза баллистических порохов. Компоненты перемешивали в смесителе барабанного типа. Функциональные покрытия наносили на поверхность металлического образца методом псевдооживленного слоя порошка.

Определение прочности покрытий при ударе методом, основанном на деформации металлической пластинки с нанесенным на нее полимерным материалом при свободном падении груза на пластинку проводили при помощи прибора У1-А. Триботехнические характеристики определяли по схеме «три индентора – по неподвижному диску» на микротрибометре FT-2 при нагрузке $p = 20$ Н, линейной скорости $V = 0,016$ м/с и радиусе трения $r = 16$ мм. При изучении морфологических особенностей и топографии покрытий применяли методы оптической и атомно-силовой микроскопии.

Результаты и их обсуждение. Триботехнические испытания функциональных покрытий (рисунок 1) свидетельствуют о благоприятном модифицирующем действии на триботехнические характеристики покрытий углеродсодержащих наночастиц в количестве 0,5 мас. %.

Проведенные испытания на ударную прочность показали, что композиционные покрытия на основе смесей алифатических полиамидов, модифицированные 0,5 мас. % углеродсодержащими наночастицами, обладают достаточно высокими параметрами прочностных характеристик и выдерживают удар бойка, падающего с высоты 20 см.



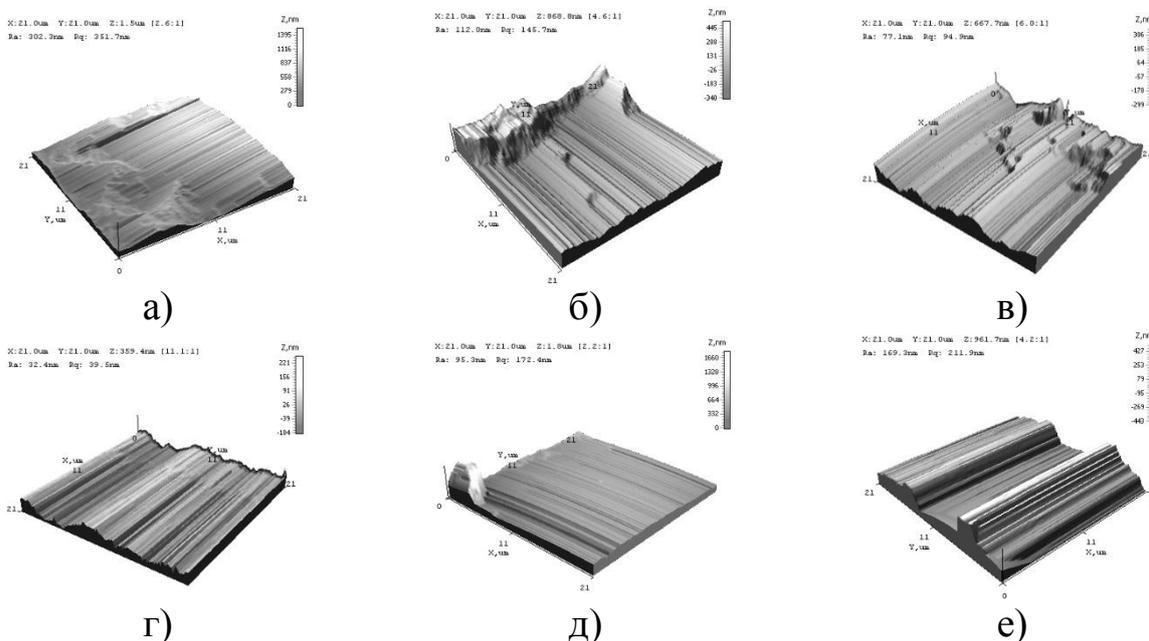
а) б)

1 – ПА 6; 2 – ПА 6.6; 3 – ПА 11; 4 – ПА 12;
 5 – ПА 6.6 (85 %) + ПА 6 (10 %) + ПА 12 (5 %); 6 – ПА 6.6 (84,5 %) +
 ПА 6 (10 %) + ПА 12 (5 %) + шихта (0,5 %); 7 – ПА 6.6 (84,5 %) +
 ПА 6 (10 %) + ПА 12 (5 %) + КГП С-1 (0,5 %)

а) – зависимость коэффициента трения от времени;
 б) – параметры износа

Рисунок 1 – Триботехнические характеристики покрытий из композиционных материалов на основе алифатических полиамидов

Морфологические особенности смесевых композитов показаны на рисунке 2.



а) – ПА 6; б) – ПА 6.6; в) – ПА 12; г) – ПА 6.6 (85 %) + ПА 6 (10 %) +
 ПА 12 (5 %); д) – ПА 6.6 (84,5 %) + ПА 6 (10 %) + ПА 12 (5 %) +
 шихта (0,5 %); е) – ПА 6.6 (84,5 %) + ПА 6 (10 %) + ПА 12 (5 %) +
 КГП С-1 (0,5 %)

Рисунок 2 – АСМ-изображения поверхности покрытий из алифатических полиамидов

Предположительным механизмом модифицирующего действия нанодисперсных наполнителей в разработанных составах композиционных материалов, проявляющемся в синергическом увеличении параметров эксплуатационных характеристик функциональных покрытий.

Результаты проведенных триботехнических испытаний и исследования эксплуатационных характеристик (адгезионно-прочностных, защитных) функциональных покрытий из разработанных составов композиционных материалов на основе смесей алифатических полиамидов показали эффективность использования в качестве модификатора полиамидных матриц углеродсодержащих наночастиц (коллоидно-графитового препарата С-1 и шихты детонационного синтеза баллистических порохов).

Заключение. Таким образом, исследования эксплуатационных характеристик покрытий из разработанных составов композиционных материалов показали возможность их эффективного применения в шлицевых соединениях карданных валов в качестве функциональных покрытий втулок шлицевых соединений карданных валов.

Литература

1. Кулезнев, В.Н. Смеси и сплавы полимеров / В.Н. Кулезнев. – СПб : Научные основы и технологии, 2013. – 216 с.
2. Довгяло, В.А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров / В.А. Довгяло, О.Р. Юркевич. – Минск : Наука и техника, 1992. – 326 с.

В.В. Каранкевич (УО «БНТУ», Минск)

Науч. рук. **С.А. Качан**, канд. техн. наук., доцент

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОНОМИЧНОСТИ И МАНЕВРЕННОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Парогазовые технологии находят все более широкое применение в энергетике многих стран, в том числе и Беларуси. Современные условия повышают требования к показателям экономичности и маневренности генерирующего оборудования ТЭС на органическом топливе. В Беларуси это связано с предстоящим вводом Белорусской АЭС, мощность которой составит практически 1/3 от необходимой мощности энергосистемы. В Западной Европе – с ростом доли «зеленой» энергетики (в первую очередь «ветровой») характеризующейся неравномерностью

и непредсказуемостью генерации в течение суток. Это требует привлечения ТЭС для регулирования графика нагрузки энергосистемы и стабилизации ее частоты.

Газотурбинные установки (ГТУ) традиционно рассматриваются как маневренные и в течение многих десятилетий используются в ряде стран как пиковые энергоисточники. Интенсивное развитие газотурбостроения сравняло тепловую экономичность современных ГТУ с экономичностью паротурбинных установок.

Так, в ГТУ LMS10™ фирмы General Electric мощностью более 100 МВт КПД по выработке электроэнергии превышает 46% [1]. Это достигнуто за счет повышения начальных параметров (температура газов перед турбиной около 1400°C, степень повышения давления 40) и усложнения тепловой схемы (применено промежуточное охлаждение сжимаемого в компрессоре воздуха во внешнем теплообменнике-охладителе). При этом испытания LMS100 в 2005 году в штате Огайо (США) показали исключительные маневренные качества этой ГТУ: 50% мощности установка набирает менее чем за 1 минуту, а на номинальный режим выходит спустя 10 минут.

До самого недавнего времени парогазовые установки (ПГУ), выполненные на базе передовых ГТУ с КПД до 60%, воспринимались как предназначенные для работы в базовой части графика нагрузок.

В настоящее время разрабатываются решения, позволяющие не только успешно привлекать такие ПГУ с трехконтурными котлами-утилизаторами (КУ) и промежуточным перегревом пара, к регулированию частоты и мощности энергосистемы, но и использовать их как пиковые энергоисточники. Так, для маневренных ПГУ класса мощности 400 МВт концерна Siemens предусматривается работа с практически ежедневными остановами в течение недели, а также на выходные дни (до 250 пусков/остановов в году) [2].

Рассмотрим основные решения проекта Siemens, получившего название FACY (FAst CYcling), и позволяющего увеличивать число пусков ПГУ и сокращать их продолжительность [3]. Отметим, что сокращение времени пуска не только обеспечивает высокую готовность ПГУ к «подхватыванию» мощности в энергосистеме, но и снижает потери экономичности и вредные выбросы при ее работе на низкой нагрузке.

Важная инновация – применение котла-утилизатора BENSON® с прямоточным испарителем высокого давления (ВД), в котором толстостенный барабан ВД заменяется на сепаратор с тонкими стенками [4]. Это позволяет сократить время прогрева и пуска КУ без снижения надежности установки.

Другие решения проекта FACY:

– оптимизация отдельных узлов (например, использование парохладителей с высокой производительностью и быстродействием ограничивающих температуру пара во время пуска) и программы эксплуатации ПГУ так, чтобы уменьшить циклическую усталость металла оборудования; поддержание давления и температуры в основных узлах во время остановов, с помощью плотных шиберов на газоходах, вспомогательного пара, который может использоваться для прогрева котла-утилизатора, паровой турбины и т. д.;

– оптимизация концепции автоматизации и управления: полная автоматизация «горячего» пуска паровой турбины без необходимости ручного управления – «Ready-for-operation»; гибкая концепция эксплуатации, позволяющая оператору прогнозировать износ узлов и выбирать время и темп пуска: режим пуска «экономичный» позволяет увеличить межремонтный период, а режим «быстрый» повышает требования по техническому обслуживанию;

Для повышения скорости и эффективности процесса пуска ПГУ, особенно из горячего состояния (после ночного останова), в дополнение к решениям первоначальной концепции FACU, была разработана технология параллельного пуска газовой и паровой турбин «Hot Start on the fly» [5]. Нововведением является ранний пуск паровой турбины и ускоренное ее нагружение без необходимости выдержки ГТУ.

Для обеспечения высокой эксплуатационной гибкости и надежности используется запатентованная система контроля и управления напряжениями турбины - Turbine Stress Controller (TSC) [6].

TSC состоит из системы оценки термических и механических напряжений, основанной на программе пуска паровой турбины, а также интерактивным счетчиком жизненного цикла. Программа вычисляет и контролирует напряжения во всех критических, толстостенных узлах паровой турбины (клапаны, корпус и ротор высокого давления и др.) для трех разных видов пуска: планового, ускоренного и быстрого. Функции TSC: сведение к минимуму усталости металла, а также вычисление кумулятивной усталости контролируемых деталей турбины.

TSC определяет соответствующее число эквивалентных пусков для каждого вида пуска (планового, ускоренного и быстрого), на основании чего оператор ПГУ может принимать взвешенные бизнес-решения о целесообразной программе эксплуатации установки.

В заключение отметим, что рассмотренные инновационные решения проекта FACU были реализованы на многих электростанциях Европы и показали отличные результаты для ПГУ как одновальной, так и многовальной конфигурации [2, 3, 5]. Первое поколение решений FACU сократило время горячего пуска ПГУ со 100 до 55 минут, а второе – до 40 минут и даже ниже. Повышение маневренности не снижает тепловую

экономичность установок, при этом ПГУ сохраняют свою работоспособность и высокую эффективность в режиме базовой нагрузки.

Литература

1. Michael J. Reale. New High Efficiency Simple Cycle Gas Turbine – GE's LMS100™ // GE Energy, GER-4222A (06/04).
2. Improving Flexibility of the Combined Cycle Power Plant Hamm Uentrop to Cover the Operational Profiles of the Future / Martin Buschmeier, Thomas Kleinwächter, Andreas Feldmüller, Philipp Köhn // POWER-GEN Europe 2014, Cologne.
3. Operational flexibility enhancements of combined cycle power plants / Norbert Henkel, Siemens Energy, Erich Schmid, Edwin Gobrecht // Reprint from Power-Gen Europe 2007
4. BENSON® Once-Through technology for Heat Recovery Steam Generators // Siemens Power Generation, Inc. – 2006.
5. Fast cycling and rapid start-up: new generation of plants achieves impressive results / Lothar Balling, Siemens, Erlangen, Germany // Modern Power Systems – January – 2010.
6. Combined Cycle Steam Turbine Operation / Leo Bize, Harry Martin: Siemens Westinghouse Power Corporation, Orlando FL; Norbert Henkel, Edwin Gobrecht: Siemens Power Generation, Muelheim, Germany //. Published for 2001 International Joint Power Conference, June 4–7, New Orleans, LO. JPGC2001/PWR-19127.

Ю.А. Кондратьева (БГУ, Минск)

Науч. рук. **М. Ю. Покотило**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЛОС КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В ЭПИТАКСИАЛЬНОМ КРЕМНИИ, ОБРАБОТАННОМ В ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

Методом комбинационного рассеяния света исследовалось состояние водорода в эпитаксиальном кремнии, обработанном в водородной плазме. Установлено, что именно после обработки наблюдаются полосы, связанные с рассеянием на колебаниях связей Si-H и Si-H₂. Дополнительная термообработка (275 °С, 20 мин) приводит к формированию плакет – микроскопических ассоциаций водорода с атомами кремния.

Известно, что гидрогенизация кремния при обработке в водородной плазме приводит к формированию дефектов различного типа, существенно влияющих на электрофизические и оптические свойства [1].

В этой работе приведены результаты исследования дефектов методом комбинационного рассеяния света (КРС).

Исследования проводились на кремниевых p/p^+ , где эпитаксиальный слой p -типа толщиной 50 мкм легирован фосфором ($\rho = 1 \text{ ом}\cdot\text{см}$). Спектры КРС записывались при комнатной температуре с помощью Nanofinder High End (Lotis III) – микрорамановского спектрометра, совмещенного с 3D сканирующим конфокальным микроскопом. Регистрация спектров осуществлялась по схеме обратного рассеяния, разрешение спектрометра составляло $0,3 \text{ см}^{-1}$. Подводимая к образцу мощность составляла 2 мВт, а диаметр возбуждающего пучка – около 1 мкм. Использовалось возбуждение излучением твердотельного лазера с длиной волны 532 нм.

Обработка образцов в водородной плазме осуществлялась при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10 часов.

На рис.1 представлен спектр КРС в исследуемом образце после обработке в плазме и отжиге. Видно, что наблюдается полоса 4153 см^{-1} , обусловленная колебанием связи Н-Н в молекуле водорода [1], так как эта частота совпадает с таковой для рассеяния в газообразном водороде.

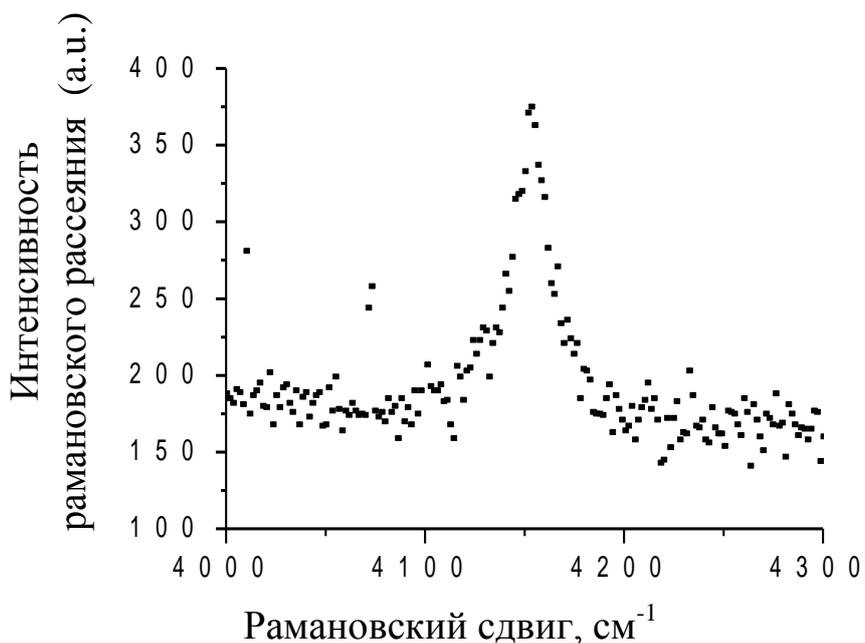


Рисунок 1 – Спектр КРС в образце обработанном в плазме и отожженом при $275 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 минут

На рисунке 2 представлены спектры КРС в исследуемых образцах после обработки в Н-плазме (1) и дополнительного отжига при $275 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 минут (2). Видно, что в первом случае наблюдается две перекрывающиеся полосы с максимумами при 2095 (Si-H) и 2129 см^{-1} (1). После дополнительного краткосрочного отжига проявляется одна

узкая полоса с максимумом при 2125 см^{-1} , соответствующая колебаниям связей (Si-H_2) в плателетах [1]. Следует отметить, что этот режим отжига соответствует режиму формирования в кремнии, имплантированном протонами, мелких водородосодержащих доноров в концентрации порядка 10^{16} см^{-3} [2]. Однако измерения удельного сопротивления исследуемых гидрогенизированных эпитаксиальных слоев путем выдержки в водородной плазме показали, что удельное сопротивление составляет 10^4 и $1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ после обработки в плазме и отжига соответственно. Высокое удельное сопротивление после обработки в плазме обусловлено образованием компенсирующих радиационных дефектов. Дополнительная термообработка приводит к отжигу основного радиационного дефекта донор-вакансия [2] и тем самым восстановлению электрической активности легирующего фосфора.

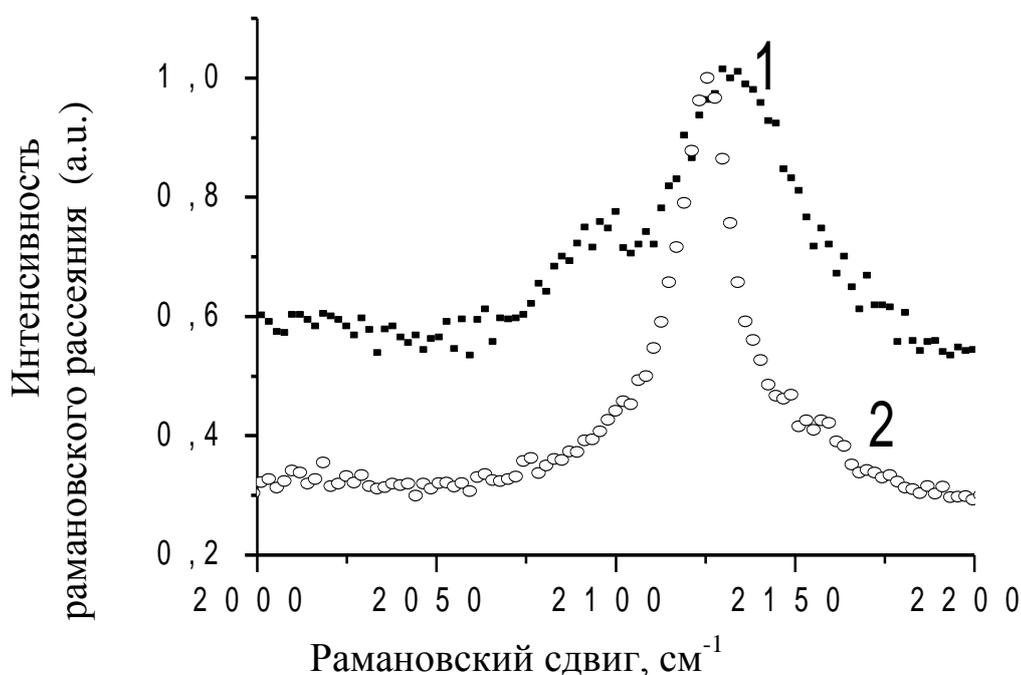


Рисунок 2 – Спектры КРС в исследуемых образцах после обработки в Н-плазме (1) и дополнительного отжига при $275 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 минут(2)

Литература

1. Ma Y., Huang Y.L., Job R., Fahmer W.R. // Phys.Rev. – 2005 – p. 085321.
2. Покотило Ю.М. и др.// Неорганические материалы – 2009. – Т. 45, № 11 – С. 1285.

Е. В. Короткевич (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)
Науч. рук. **А.Т. Бельский**, канд. техн. наук, доцент

УСЛОВИЕ УВЛЕЧЕНИЯ ПОРОШКА МЕТАЛЛА В ЗОНУ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ

Из анализа существующих гипотез соединения металлов в твердом состоянии [1, 2, 3] можно придти к выводу, что для протекания процесса схватывания необходимо сблизить контактируемые поверхности на расстояния, соизмеримые с параметрами кристаллической решетки, а также создать условия для протекания пластической деформации в зоне контакта.

В результате исследования производства биметаллов обработкой металлов давлением были получены сведения, которые предполагают рассматривать соединение металлов в твердом состоянии в условиях совместной пластической деформации, как комплексный процесс, который можно разделить на три стадии.

На первой стадии происходит развитие механической связи между слоями, обжатие неровностей поверхностных слоев, частичное разрушение оксидных пленок, а также контактирование локальных участков ювенильных поверхностей, в результате чего появляются узлы схватывания.

На второй стадии, в результате превращения узлов схватывания в мостики сцепления, наблюдается уменьшение свободной энергии контактирующих поверхностей и появление вблизи границы раздела зон с повышенной концентрацией вакансий, дислокаций и других дефектов строения металла.

На третьей стадии происходит превращение мостиков сцепления в межслойную границу в результате диффузионных процессов, вызванных воздействием температуры и появлением дефектов строения металлов вблизи границы раздела слоев.

Обеспечение трех стадий соединения металлов в твердом состоянии имеет место также и при формировании покрытия из порошка металла на длинномерном изделии в процессе волочения. Для протекания совместной пластической деформации проволоки и металлического порошка, применяемого для покрытия, необходимо обеспечить захват порошка проволокой и увлечение его в зону деформации.

Для получения зависимости, определяющей условие захвата порошка проволокой при ее движении, выделим элементарный объем порошкового материала ΔV , как это показано на рисунке 1.

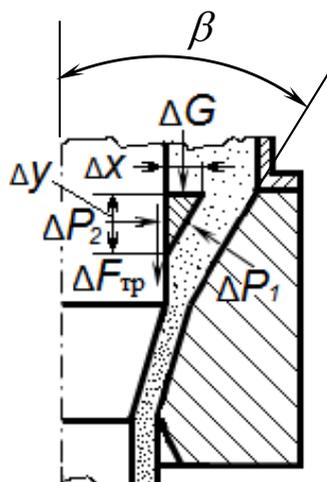


Рисунок 1 – Схема захвата порошка

Захват порошка металла покрытия и увлечение его в зону деформации произойдет в случае, если

$$\Delta F_{\text{тр}} + \Delta G \geq \Delta P_1 \sin \beta, \quad (1)$$

где 2β – угол входного конуса волокна;

ΔG – верхнее давление, обусловленное весом столба порошка;

ΔP_1 – сопротивление порошка сжатию в направлении, перпендикулярном образующей входного конуса волокна;

ΔP_2 – радиальная сила, действующая со стороны проволоки на порошок;

$\Delta F_{\text{тр}}$ – сила трения.

Учитывая, что $\Delta F_{\text{тр}} = f_2 \cdot \Delta P_2$ и $\Delta P_2 = \Delta P_1 \cos \beta$, получаем:

$$\sin \beta \leq f_2 \cos \beta + \frac{\Delta G}{\Delta P_1}, \quad (2)$$

где f_2 – коэффициент трения материала порошка о материал проволоки.

Верхнее давление ΔG и сопротивление порошка сжатию ΔP_1 представим в виде следующих зависимостей

$$\Delta G = q \cdot \Delta x; \quad \Delta P_1 = p \frac{\Delta y}{\cos \beta}, \quad (3)$$

где q – удельное давление на порошок в сечении захвата порошка проволокой;

p – удельное сопротивление порошка сжатию в момент захвата порошка проволокой.

Тогда зависимость (2) с учетом соотношений (3) примет вид:

$$\sin \beta \leq f_2 \cos \beta + \frac{q \cdot \Delta x}{p \frac{\Delta y}{\cos \beta}} . \quad (4)$$

По аналогии с теорией прессования металлических порошков можно принять, что:

$$\frac{q}{p \cos \beta} = \xi , \quad (5)$$

где ξ – коэффициент бокового давления.

Из рис. 1 видно, что:

$$\frac{\Delta x}{\Delta y} = \operatorname{tg} \beta . \quad (6)$$

Используя неравенство (4) с учетом выражений (5) и (6), получаем следующую зависимость для определения необходимого коэффициента трения f_2 для захвата порошка проволокой и увлечение его в зону деформации

$$f_2 \geq \operatorname{tg} \beta - \xi \sin \beta . \quad (7)$$

Литература

1. Семенов А.П. Схватывание металлов. – М. : Машгиз, 1958. – 280 с.
2. Гельман А.С. Основы сварки давлением. – М. : Машиностроение, 1970. – 312 с.
3. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. – М. : Машиностроение, 1986. – 280 с.

А.В. Кравченко (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
 Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРОЗРАЧНЫЕ ПРОВОДЯЩИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЯ

Главная особенность таких панелей заключается в использовании невидимого спектра солнечных лучей, его инфракрасной и ультрафиолетовой частей. При этом поглощение и «переработка» инфракрасного излучения имеют еще одно преимущество – минимизация теплового воздействия. Перегрев фотопанелей, из-за которого они нуждаются в дополнительном охлаждении, вызывает именно ИК-спектр. Прозрачные же модели поглощают ИК-лучи, и они не разогревают сами панели. Это означает, что появляется возможность отказаться от систем охлаждения и снизить общие расходы на установку гелиополя.

В настоящее время выпускаются прозрачные панели двух типов: на стеклянных основаниях и на гибких подложках. Гибкие варианты напоминают тонирующую пленку и предназначены для наклеивания на прозрачные конструкции (окна, панели остекления фасадов и т. д.). Их светопропускная способность достигает 70%, что фактически не сказывается на уровне освещенности помещения. Создаются они из гибкого композитного материала, схожего с пластиком. Использование современных разработок позволяет минимизировать затраты на производство подобных пленок и сделать их изготовление экономически выгодным.

Второй вариант прозрачных панелей – нанесение двухслойной пленки на основание из закаленного стекла. Для возведения фасадов применяются именно такие панели. На закаленную стеклянную подложку (нередко – триплекс) наносится тонкая пленка аморфного кремния последнего поколения. Сверху на нее напыляется прозрачная микропленка кремния. Аморфный кремний преобразует видимый спектр, а микропленка – ИК-лучи.

Одними из самых перспективных тонкопленочных покрытий являются прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов (цинка, олова, индия). Прозрачные проводящие оксиды (transparent conductive oxide, TCO) принадлежат к классу полупроводников с широкой запрещенной зоной и находят все более широкое применение в производстве плоских дисплеев, прозрачных электродов и нагревательных элементов, теплосберегающих технологиях и т. п. Легирование оксидов металлов различными химическими элементами (алюминием, галлием, фтором и т. д.) значительно улучшают электрофизические свойства напыляемых пленок. Однако оксид цинка рассматривается как наилучшая альтернатива дорогостоящим покрытиям оксида индий-олова. Наибольшее распространение получило легирование оксида цинка алюминием либо галлием, а оксида олова – фтором. Экспериментальные работы показали, что оксид цинка, легированный алюминием ($ZnO:Al$) или галлием ($ZnO:Ga$), обладает меньшим удельным сопротивлением и лучшими оптическими свойствами, по сравнению с оксидом олова, легированным фтором ($SnO:F$) [1] и является одним из самых перспективных тонкопленочных покрытий. Однако, разработанные к настоящему времени способы магнетронного распыления, обеспечивают получение TCO на основе ZnO с низким удельным сопротивлением только при температуре выше 200 °С, что ограничивает область их возможного применения. Например, напыление проводящих покрытий на полимерные подложки возможно при температурах, не превышающих температуру размягчения материала, которая для лавсана составляет 110 °С.

Рассмотрим электрофизические свойства ZnO -плёнок и $ZnO:Al$ -пленок, синтезированных золь-гель методом. Эти пленки могут

применяться, в частности, при создании перспективных устройств оптоэлектроники.

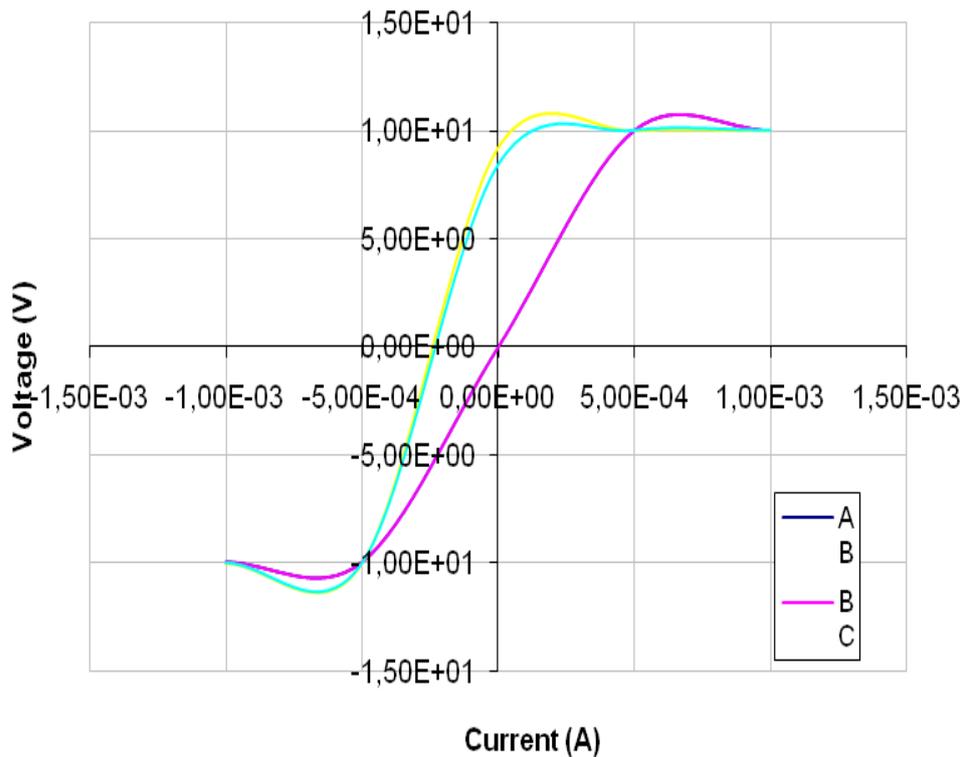


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика ZnO-содержащей золь-гель плёнки

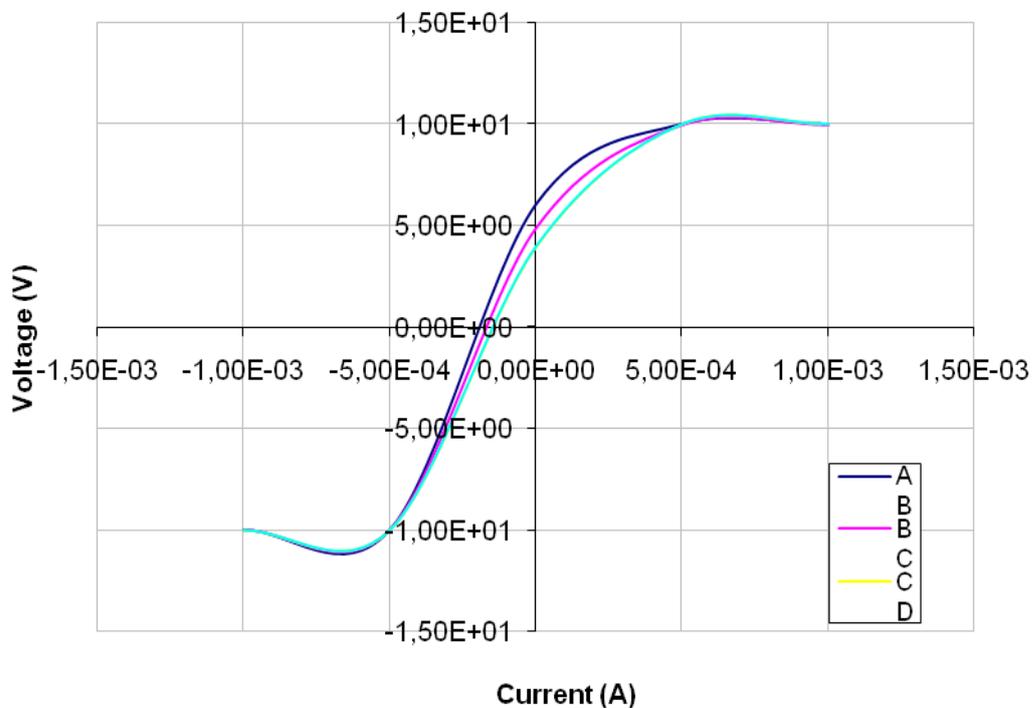


Рисунок 2 – Вольтамперная характеристика Al:ZnO-содержащей золь-гель плёнки

Характер кривых (рисунки 1 и 2) показывает, что УФ – освещение существенно увеличивает производство электронно-дырочных пар. По-

лученные тонкие пленки ZnO:Al могут быть использованы в качестве фотоэлектрического материала.

Измерение электрофизических свойств плёнок ZnO, ZnO:Al, проведенные при различном освещении образцов, показали, что УФ-освещение существенно увеличивает производство электронно-дырочных пар. Полученные тонкие пленки ZnO:Al могут быть использованы в качестве фотоэлектрического материала.

Литература

1. Transparent and conductive ZnO:Al films deposited by large area reactive magnetron sputtering / Szyszka B., Jiang X., Hong R.J., et al. // *Thin Solid Films*, 2003. – V.442. – P.179–183.

2. Котляревский М.Б., Георгобиани А.Н., Рогозин И.В., Мараховский А.В. Люминесценция ZnO со сверх-стехиометрическим содержанием кислорода. *ЖПС*, 2003. – т.70, №1. – С. 86–89.

3. Goncharova O., Gremenok V., Kravchenko V., Leonova T., Zaretskaya E., Bente K. Thin-film layers and multilayer nano-structures with controllable properties, *Phys.Stat. Sol.(c)*, 2009. – v.6, No.5. – P. 1174–1177.

А.Г. Кузнецов, К.В. Стяшкovich

(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ КИСЛОРОДНОГО ГАЗИФИКАТОРА

Введение. Для выполнения санитарно-гигиенических и технологических требований, а также требований директивных документов по энергосбережению здания медицинских организаций должны быть обеспечены различными инженерными системами. Наличие и состав инженерных систем определяется проектом в зависимости от назначения и мощности здания.

Системы медицинского газоснабжения предназначены для поставки медицинских газов. Они состоят из источника соответствующего газа, трубопроводов, транспортирующих газ, точек потребления газа и системы регулирования подачи газов[1–3].

Необходимым условием для систем жизнеобеспечения современной больницы является непрерывная работа оборудования. Для этого все источники, входящие в состав систем медицинских газов, дублируются

для возможности замены элементов без прекращения подачи газов в линии потребления.

В медицинских организациях используется кислород медицинский газообразный по ГОСТ 5583-78 и жидкий по ГОСТ 6331-78. В зависимости от количества потребляемого кислорода и местных условий (наличие газообразного или жидкого кислорода) источником кислородоснабжения может быть: кислородно-газификационная станция; 40-литровые баллоны кислорода с давлением газа 150 атм. и кислородный генератор (концентратор).

Кислородно-газификационная станция является наиболее распространенной системой снабжения кислородом и включает в себя теплоизолированную емкость с жидким кислородом, оснащенную устройствами подачи, регулирования и предохранительными элементами. От качества предохранительных устройств – клапанов зависит надежность и безопасность работы системы газоснабжения. К материалам элементов, работающих в среде кислорода, предъявляются особые требования [4].

Целью работы является изучение свойств материалов, используемых в системах герметизирующих устройств, и разработка системы уплотнений для предохранительных клапанов газификатора кислорода [1].

Методика исследований. В качестве объекта исследований рассматривали предохранительный клапан газификатора фирмы FEMА (Италия), предназначенный для криогенных емкостей при хранении сжиженных газов (кислорода, азота, аргона, двуокиси углерода) от повышения давления, изготавливаемых СП ООО «Белокрио» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Предохранительный клапан

В ниппельном соединении предохранительного клапана, установленного на криогенном газификаторе жидкого кислорода, используется прокладка в виде кольца из фторопласта.

Твердость образцов из фторопласта определяли с помощью установки для испытаний полимерных материалов и изделий ИПМ-1К. [1, 5]. Образцы меди исследовали на универсальной установке ИТ 5010-01, предназначенной для измерения твердости металлов и сплавов по методам Виккерса и Бринелля.

Результаты исследований. В процессе эксплуатации выявлен недостаток рассматриваемого соединения – с течением времени происходит разгерметизация, требуется дополнительное поджатие гайки. Установлено, что прокладка из фторопласта деформируется под действующими в соединении нагрузками, выдавливается из-под буртика трубы и происходит утечка целевого продукта – кислорода.

В качестве доступного, не дорогого, стойкого к воздействию кислорода материала для уплотнения ниппельного соединения предохранительного клапана газификатора предлагается использовать медь. Она обладает, по сравнению с ПТФЭ и композитами на его основе, повышенными механическими характеристиками, сохраняя их в широком интервале температур [3, 6].

В проведенных исследованиях были определена твердость образцов фторопласта-4 по методу Шора, твердость образцов меди по методу Бринелля при нормальных условиях. Твердость образцов фторопласта составила от 84,5 до 90,1 единиц по шкале А. Твердость образцов меди составила от 121,9 до 123 единиц НВ. Сравнить между собой полученные значения не представляется возможным, т.к. методы принципиально различные. В работе отмечено, что с повышением температуры предел текучести снижается, при температуре 80 К, примерно соответствующей температуре кипения жидкого кислорода, составляет около 120 МПа.

Механические свойства меди в большей степени зависят от её состояния и в меньшей – от содержания примесей [1]. Временное сопротивление литой меди при сжатии $[\sigma]_{сж}=1540$ МПа [5]. Предел текучести холоднокатанной меди повышается со снижением температуры и при температуре -183 °С составляет 420 МПа, что значительно превосходит предел текучести фторопласта-4 при соответствующих условиях.

Таким образом, наиболее оптимальным материалом герметизирующего уплотнения клапана криогенного газификатора является медь. Прокладки уплотнительные изготавливаются по ГОСТ 23358-87 из меди марки М1 ГОСТ 859-2001. Маркировка прокладки предлагаемой к использованию в газификаторе: прокладка G ½ М1 ГОСТ 23358-87 (внутренний диаметр 21 мм, наружный диаметр 26 мм, толщина 1,5 мм).

Заключение. Оптимизация системы уплотнения для предохранительных клапанов газификатора кислорода заключалась в замене материала прокладки на уплотнение из меди. В результате чего были снижены потери жидкого кислорода и более стабильная работа медицинского оборудования газоснабжения.

Литература

1. Архаров, А.М. Криогенные системы. Основы проектирования аппаратов и установок / А.М. Архаров, В.П. Беляков. – М.: Машиностроение, 1987. – 305 с.
2. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1989. – 418 с.
3. Беляков, В.П. Криогенная техника и технология / В.П. Беляков. – М.: Энергоиздат, 1982. – 272 с.
4. Блинов, И.С. Справочник технолога механосборочного цеха судоремонтного завода / И.С. Блинов. – М. : Транспорт, 1969. – 680 с.
5. Майер, Э. Торцовые уплотнения / Э. Майер; пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1978. – 288 с.
6. Машков, Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике / Ю.К. Машков. – М. : Недра. – 2004.

О.В. Купреева (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **А.А. Лешок**, канд. физ.-мат. наук

СОЗДАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Использование наноструктурированных материалов является наиболее энергетически дешевым, технически несложным и экологически безопасным методом стерилизации. Идея использования нанотехнологий для обеззараживания была высказана еще в 90-х годах прошлого века, однако до сих пор не проведены исчерпывающие исследования, позволяющие объективно оценить эффективность и границы применения метода. В результате окислительно-восстановительных реакций на поверхности наноструктурированных материалов, особенно оксидов тугоплавких металлов, происходит разложение органических загрязнителей до экологически безопасных составляющих – воды, углекислого газа, водорода, кислорода, азота. [1] Существенным стимулирующим фактором в этих процессах является фотоэлектрический катализ, протекающий

в условиях облучения солнечным светом или искусственным ультрафиолетовым излучением. Учитывая тот факт, что большую часть солнечного излучения, проходящего через атмосферу Земли, составляет излучение видимого диапазона, можно заключить, что наноструктурированный оксид титана, проявляющий фотокаталитическую активность при облучении излучением не только ультрафиолетового, но и видимого диапазона, является перспективным материалом для использования его в системах по очистке сточных вод.

Наноструктурированный оксид титана получили методом электрохимического анодирования титановой фольги в 0,3% растворе фторида аммония в этиленгликоле с добавлением 2 об.% воды при пониженной температуре электролита. Фотокаталитические свойства анодных пленок оксида титана оценивали, анализируя деградацию раствора органического красителя метиленового синего с течением времени при воздействии излучения ультрафиолетового и видимого диапазона. За нулевой уровень был принят спектр поглощения дистиллированной воды.

Проведенные нами исследования показали, что на фотокаталитическую активность оксида титана влияет площадь его активной поверхности. Увеличить площадь активной поверхности оксида титана можно путем получения оксида титана с двойными стенками трубок.

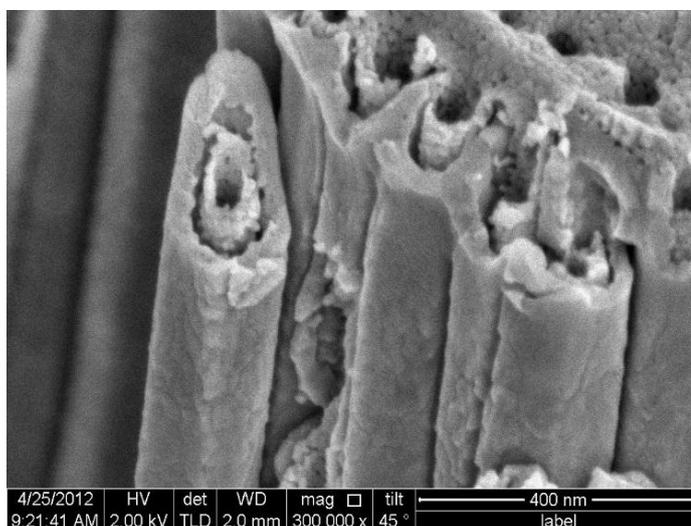


Рисунок 1 – Фотография трубчатого оксида титана, сформированного электрохимическим анодированием при напряжениях 75 В после отжига при 450 °С

Температура, при которой оксид титана подвергается термической обработке также влияет на его фотокаталитическую активность. Так было установлено, что фотокаталитическая активность оксида титана, отожженного на воздухе при температуре 600 °С, выше, чем у оксида титана, отожженного на воздухе при температуре 450 °С (рисунок 2).

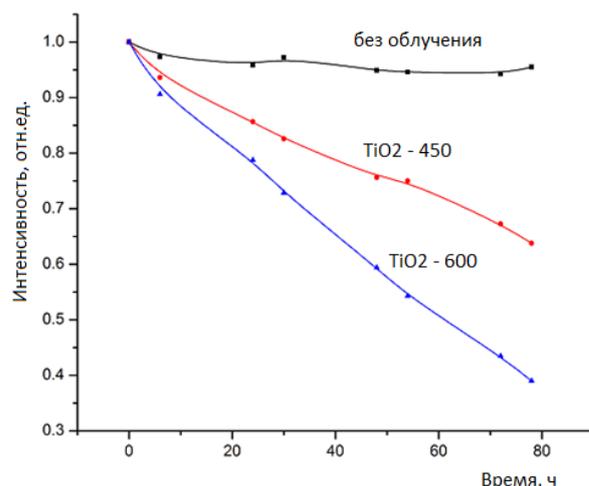


Рисунок 2 – Дegrаdация раствора органического красителя, подвергнувшегося воздействию излучения ультрафиолетового диапазона

Результаты проведенных нами исследований позволяют утверждать, что наноструктурированный оксид титана, легированный атомами углерода, в значительной степени ускоряет процесс разложения органического красителя метиленового синего под воздействием светового потока ультрафиолетового и видимого диапазонов.

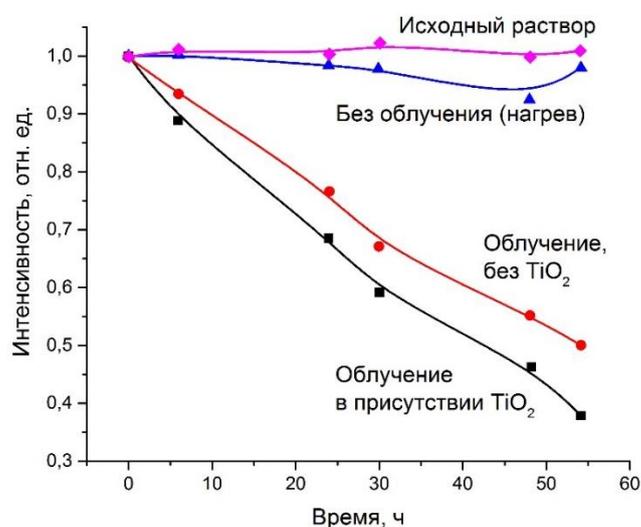


Рисунок 3 – Дegrаdация раствора органического красителя, подвергнувшегося воздействию излучения видимого диапазона

Примесный углерод образует подуровни внутри запрещенной зоны оксида титана, уменьшая ее эффективную ширину до 2,7–2,8 эВ (вместо 3,0–3,1 эВ в чистом TiO₂) [2]. Поэтому исследуемый материал способен поглощать свет как ультрафиолетового, так и видимого диапазонов, а генерируемые электронно-дырочные пары способствуют разложению органического материала, обеспечивая тем самым фотокаталитическую активность системы.

Таким образом, полученные результаты открывают новые возможности для использования оксида титана для очистки воды от органических загрязнений.

Литература

1. Н. Prakasam, К. Shankar, М. Paulose, et.al. / A new benchmark for TiO₂ nanotube array growth by anodization // J. Phys. Chem. C – Vol. 111 – 2007 – 7235 p.

2. Zhongbiao Wu, Fan Dong, Weirong Zhao et.al. / The fabrication and characterization of novel carbon doped TiO₂ nanotubes, nanowires and nanorods with high visible light photocatalytic activity // Nanotechnology – Vol. 20 – 2009 – 235701 p.

П.В. Курьянов (БНТУ, Минск)
Науч. рук. **С.А. Исаков**, м. техн. наук

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ КАК РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОДКИ

Согласно «Правилам устройства электроустановок» алюминиевая проводка может использоваться во временных зданиях и сооружениях, срок эксплуатации не превышает двух лет. В остальных случаях электропроводка должна выполняться медными проводами. По статистическим данным, пожары, возникающие из-за неисправностей в электропроводке в электроустановках, в которых использованы алюминиевые провода, случаются на 60% чаще, чем в электроустановках с использованием медных проводов [1].

Для алюминиевых проводов срок службы составляет примерно 10–15 лет, медных – 20–30. Но следует так же обращать внимание на условия эксплуатации проводов. Если провода систематически перегружаются, если на изоляцию воздействуют агрессивные условия внешней среды (дождь, жара, мороз, ультрафиолетовые лучи) то срок службы сокращается [2].

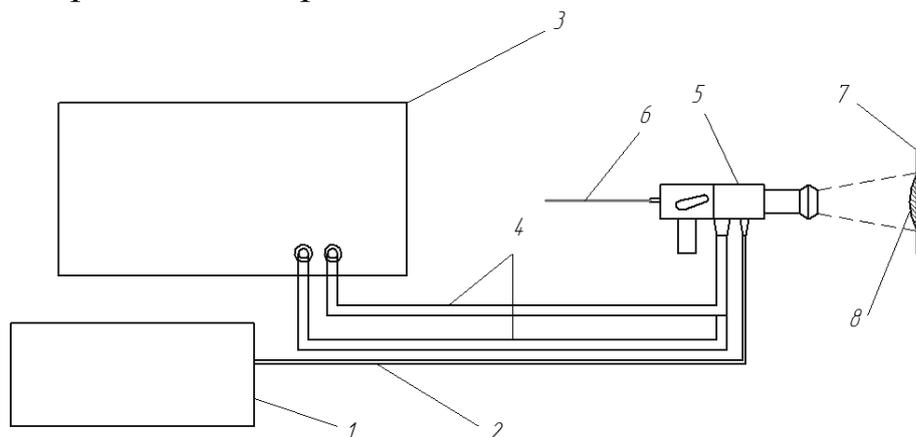
Из этих данных следует, что алюминий и медь, используемые в качестве проводов, подвергаются замене после определенного времени эксплуатации. Таким образом, целесообразно вторичное использование металлических проводов для увеличения их экономической эффективности в рамках программы ресурсосбережения.

Сокращение расхода ресурсов дает экономический и экологический эффекты. Значительны резервы ресурсосбережения при комплексной переработке сырья и использовании отходов. Энергоемкость производства алюминия из вторичного сырья в 20 раз ниже, чем из первичного [3].

Электродуговая металлизация – процесс нанесения металлического покрытия путем расплавления исходного материала (проволоки) электрической дугой и напылением его сжатым воздухом на поверхность детали. Схема установки, которая была собрана для получения металлических покрытий, отображена на рисунке 1 [4].

Поскольку в установке для получения металлических покрытий используется проволока, то эффективность использования проводки увеличивается за счет отсутствия необходимости применения операций обработки и подготовки вторичного материала непосредственно перед нанесением покрытия.

Метод электродуговой металлизации позволяет получать металлические покрытия из различных металлов. При использовании в установке разных металлов, на поверхности подложки возможно получение покрытий из их сплавов. Из этого следует, что электродуговая металлизация является наиболее эффективным и целесообразным методом использования отработанной проводки.



- 1 – компрессор; 2 – воздухопровод; 3 – источник питания;
4 – кабели; 5 – электродуговой металлизатор;
6 – проволока расплавляемого металла; 7 – стальная деталь;
8 – металлическое покрытие, полученное методом электродуговой металлизации.

Рисунок 1 – Схема установки для получения металлических покрытий

Выводы: Электродуговая металлизация, как технология ресурсосбережения, является наиболее экономически эффективным методом для вторичного использования металлической проводки. Использование

алюминиевой проволоки позволит получать антикоррозийные покрытия, что возможно использовать для нанесения покрытий на металлические детали кузовов автомобилей, при их обслуживании и ремонте. Алюминиевое покрытие обеспечит антикоррозийную защиту стальных образцов без его разрывов при динамической и циклической нагрузке, поскольку пластичность алюминия намного выше, чем стали.

Литература

1. Онлайн справочник мастера [Электронный ресурс] / Срок службы электропровода гарантийный и фактический. Режим доступа: <http://sdelalremont.ru/skolko-mozhet-prosluzhit-elektroprovodka.html>. Дата доступа: 22.03.2017.

2. Электрика в доме [Электронный ресурс] / Проводка алюминиевая – особенности, а также преимущества и недостатки ее использования. Режим доступа: <http://electricadom.com/preimushhestva-i-nedostatki-alyuminievoj-provodki-a-takzhe-sravnenie-s-provodkojj-sdelannojj-s-medi.html>. Дата доступа: 22.03.2017.

3. Переработка мусора (ТБО) – инвестиции в будущее [Электронный ресурс] / Ресурсосберегающие технологические процессы. Режим доступа: <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/pererabotka-promishlennix-otkhodov/resursosberegayushie-texnologicheskie-processi>. Дата доступа: 22.03.2017.

4. Исаков, С. А. Определение оптимальных параметров получения металлических покрытий методом электродуговой металлизации с использованием источника тока с падающей вольт-амперной характеристикой / С.А. Исаков, А.Г. Лежава // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: IV Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых, Гомель, 10–11 ноября 2016 г.– Гомель : ИММС НАНБ, 2016.– С.17–18.

Т.С. Лавицкая (БГУ, Минск)

Науч. рук. **Ю.М. Покотило**, канд. физ.-мат. наук, доцент,
А.Н. Петух, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией

КОНВЕКЦИЯ РАСПЛАВА КРЕМНИЯ В ПРОЦЕССЕ РОСТА СЛИТКОВ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО

Известно, что характер распределения примесей в объеме монокристалла достаточно объективно отражает гидродинамическую ситуацию

в расплаве. Поэтому получение полупроводникового материала с определенными характеристиками требует учета всего сложного комплекса физико-химических явлений, сопровождающий рост кристалла. Особое место среди них занимают процессы тепло- и массопереноса в расплаве. До настоящего времени остается невыясненным относительный вклад этих двух процессов в формирование распределения кислорода в слитках кремния, выращенных методом Чохральского на различных промышленных установках. Распределение концентрации кислорода и легирующих примесей (бора или фосфора) вдоль оси роста слитков измерялось методом ИК-поглощения [1].

На рисунке 1 приведены полученные зависимости концентрации кислорода (N_0) от высоты расплава. Хорошо видно, что наряду с монотонным уменьшением N_0 по мере падения уровня расплава обнаруживаются три участка с качественно разным характером временных осцилляций содержания кислорода. Хаотический режим осцилляций $N_0(t)$ на участке I сменяется квазипериодическим на участке II. Кроме того, при малых уровнях расплава может наблюдаться скачкообразное падение N_0 с сохранением практически постоянного значения при дальнейшем росте (участок III). Каждый из участков, представленных на рисунке 1 распределений был исследован с помощью корреляционного анализа [2].

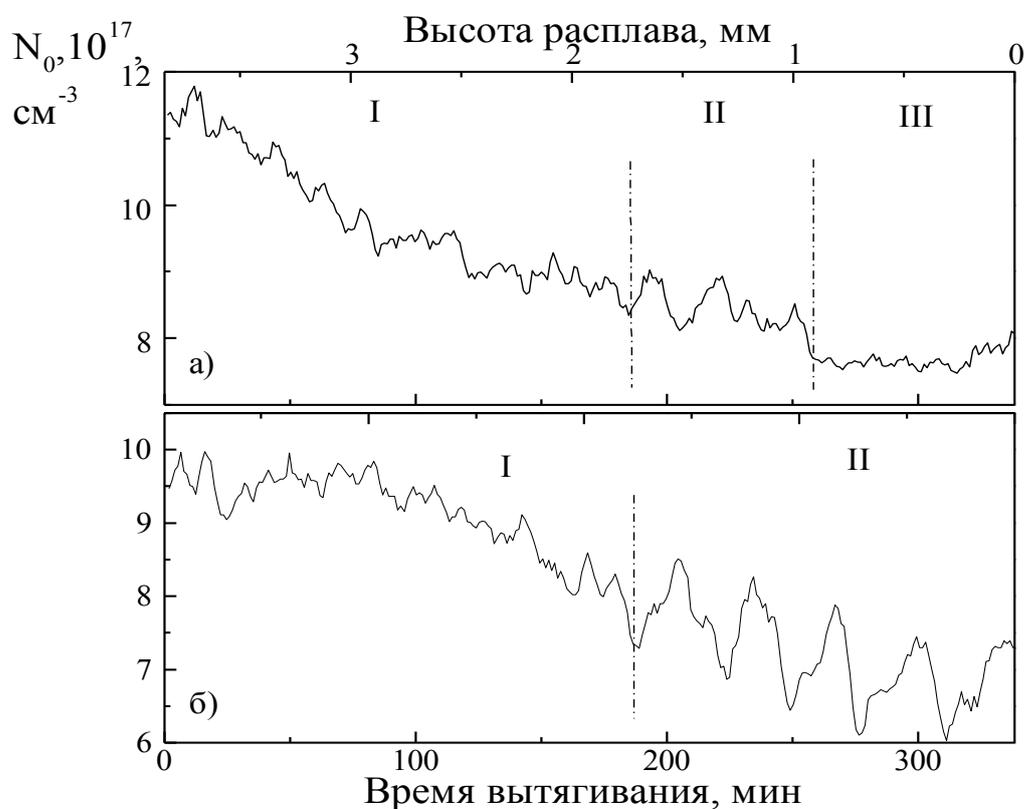


Рисунок 1 – Зависимость концентрации кислорода от времени вытягивания слитков кремния (КДБ-12) методом Чохральского

Корреляционный анализ временных осцилляций концентрации кислорода проводился в соответствии с процедурой [2]. Зависимость предельного угла наклона зависимостей корреляционного интеграла (m) от размерности фазового пространства (k) по данным рисунка 1 приведена на рисунке 2. Видно, что наклон m для участков I и II стабилизируется при разных значениях размерностей фазового пространства. В то же время для данных участка III такой стабилизации наклона не происходит вплоть до значений $k = 20$. Из рисунка определены значения $m = d_k$ и $k = d_c$, отвечающие началу насыщения зависимостей $m(k)$, которые указывают на корреляционную размерность аттрактора и размерность вложения фазового пространства системы соответственно. При этом полученная корреляционная размерность $d_k = 3,6$ для данных участка I указывает на присутствие в фазовом пространстве странного аттрактора, который является математическим образом турбулентного течения жидкостей. Динамика же осцилляций $N_0(t)$ на участке II характеризуется аттрактором с корреляционной размерностью $d_k = 2$, что соответствует движению в фазовом пространстве по двумерному тору. Небольшие же пульсации кислорода на участке III не показывают корреляции и связаны с шумом измерительной установки.

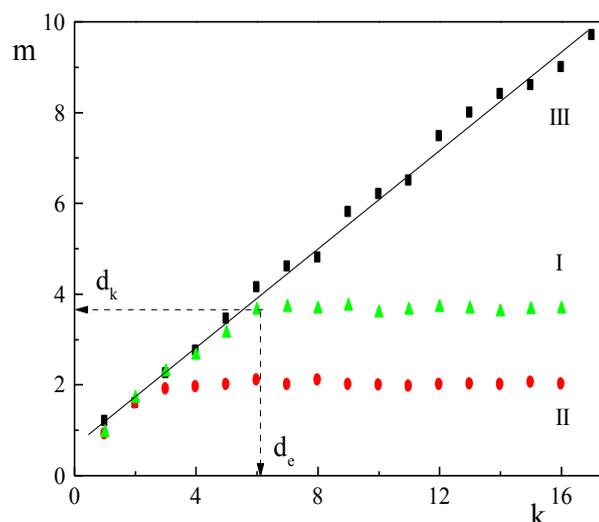


Рисунок 2 – Зависимость тангенса угла наклона (m) кривых $C(R)$ от размерности фазового пространства (k) пульсаций концентрации кислорода для 3-х участков (I, II, III) по данным рисунка 1

Литература

1. Ремизов О.А., Сальник З.А. // Электронная техника. – 1980.– Вып. 3, № 140. – С. 37–39.
2. Grassberger P., Procaccia J. Measuring the strangeness of strange attractors // Physica D.– 1983.– Vol. 9.– P. 3–15.

Ле Динь Ви, В.И. Грицков, Е.А. Масленкова (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **С.К. Лазарук**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ПИКОМ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЗЕЛЕННОЙ ОБЛАСТИ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

После того, как эффективная фотолюминесценция в видимом диапазоне в пленках пористого кремния [1] была обнаружена Кэнхеном, появилась надежда разработки на основе этого материала достаточно эффективных светоизлучающих приборов [2]. Особого внимания заслуживает формирование пористого кремния (ПК) с пиком фотолюминесценции в зелено-голубой части видимого спектра, так как время ее нарастания и спада находится в наносекундном временном диапазоне [3].

Поэтому, целью данной работы является формирование пористого кремния с пиком фотолюминесценции в зеленой части видимого спектра и поиск методов пассивации ПК, обеспечивающих стабилизацию зеленой фотолюминесценции этого материала.

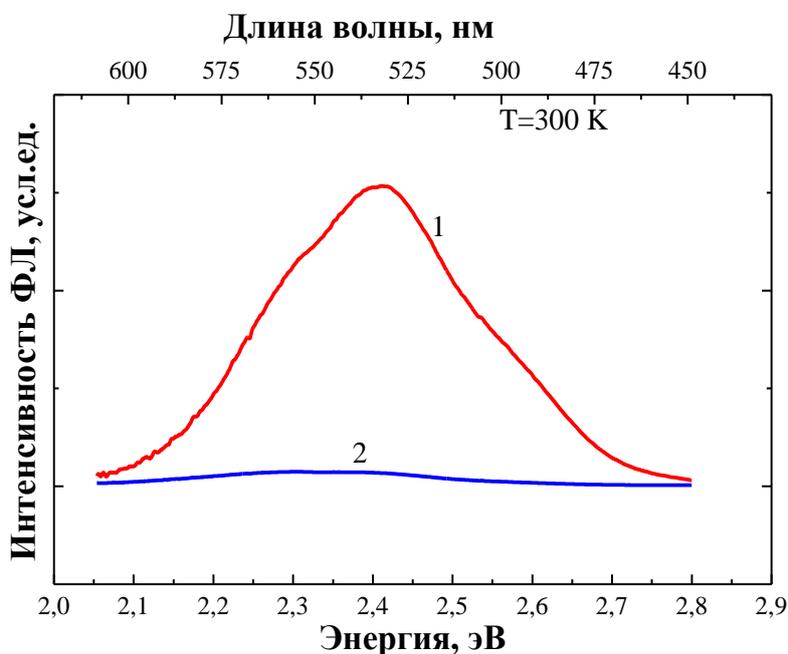
Для достижения поставленной цели были сформированы образцы ПК на кремниевых подложках КДБ-12. Анодирование проводили в 10 % водно-спиртовом растворе плавиковой кислоты, где концентрация этанола составляла 50 %. Плотность тока анодирования составляла 10 мА/см², продолжительность анодирования – 15 минут. Образцы разделили на три группы: (#0) не выдерживались в электролите, а (#10) и (#30) выдерживались в электролите в течение, соответственно, 10 и 30 минут. Образцы #0, #10 и #30 после анодирования и после выдержки в электролите, промыли в деионизированной воде, а после хранили на воздухе.

Далее проводили возбуждение спектра фотолюминесценции пористого кремния с помощью излучения непрерывного гелий-кадмиевого лазера ГККЛ30УМ(И) с длиной волны 325 нм. Излучение регистрировалось полихроматором «Carl Zeiss» (монохроматор МДР6У). Далее сигнал поступал на ПЗС линейку Sony и персональный компьютер, где производился пересчет на спектральную чувствительность линейки.

В группе образцов (#0) наблюдали пики фотолюминесценции, лежащие в красной области видимого диапазона. Причем интенсивность люминесценции образцов незначительно падает при хранении от 1 до 5 суток на воздухе, и наблюдается незначительный сдвиг пика ФЛ в длинноволновую часть видимого спектра.

Для образцов группы (#10) сразу после промывки наблюдалась оранжевая фотолюминесценция. Через несколько минут цвет фотолюминесценции образцов изменился до зеленого, причем ее интенсивность визуально не изменялась. Образцы хранились на воздухе в течение

суток, после чего были измерены их фотолюминесцентные характеристики (рисунок 1, кривая 1). Спектр люминесценции этих образцов ПК имеет характерный вид с максимумом в зеленой части видимого спектра (530 нм). Таким образом, нами зарегистрировано коротковолновое смещение фотолюминесценции в пленках ПК при естественном окислении образцов на воздухе.



1 – хранение на воздухе в течение одних суток,
2 – хранение на воздухе в течение пяти суток

Рисунок 1 – Спектры фотолюминесценции образцов группы #10:

Образцы (#10) продолжали выдерживать на воздухе 5 суток. Кривая 2 показывает спектр фотолюминесценции этих образцов. Видно, что интенсивность фотолюминесценции значительно уменьшается вплоть до уровня шума.

Образцы группы (#30) сразу после промывки излучали свет зеленого цвета, но через 3–5 минут интенсивность люминесценции значительно спадала и становилась полностью неразличимой глазом. А после суток хранения на воздухе не было обнаружено характерных для ПК спектров в видимом диапазоне.

Несколько образцов #10 были покрыты эпоксидной смолой после суток хранения на воздухе для стабилизации химического состава пленки ПК. В течение второго года они демонстрировали видимую для глаз интенсивную зеленую люминесценцию. На рисунке 2 приведены результаты измерения интегральной интенсивности фотолюминесценции образцов #10, #30, покрытых эпоксидной смолой.

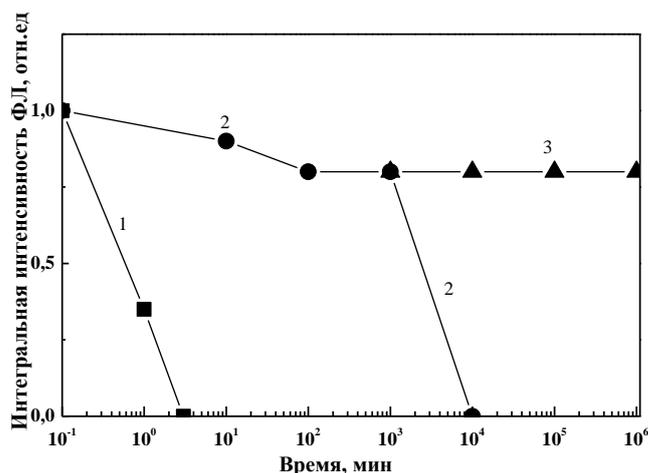


Рисунок 2 – Зависимость интегральной интенсивности фотолюминесценции образцов с пиком в зеленой области спектра от времени хранения: 1 – #30, 2 – #10, 3 – #10, покрытые эпоксидной смолой.

Таким образом, сформированные электрохимическим методом пленки ПК демонстрировали коротковолновое смещение пика фотолюминесценции при естественном окислении на воздухе. Полученная зеленая фотолюминесценция (пик 530 нм) сохраняла свои свойства на протяжении нескольких дней при хранении на воздухе. Измерение стабильности фотолюминесценции с двойной пассивацией не показали заметной деградации при хранении на воздухе в течение 2 лет.

Приведенные результаты открывают перспективы для использования исследуемого материала в кремниевой фотонике, в частности, для изготовления на их основе микродисплейных устройств и оптических межсоединений интегральных микросхем.

Литература

1. Canham L.T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers / L.T. Canham // Appl. Phys. Lett. №57 (1990) – p.1046–1048.

2. Лазарук, С.К. Лавинные светодиоды на основе наноструктурированного кремния для внутричиповых оптических межсоединений / С.К. Лазарук, А.А. Лешок, В.В. Дудич, В.Е. Борисенко // Сб. науч. тр. VII Международной научной конференции «Материалы и структуры современной электроники» (12–13 октября 2016 г.).– Минск. Изд. Центр БГУ, 2016. – С. 258–261.

3. Mizuno, H. Oxide-free blue photoluminescence from photochemically etched porous silicon / H. Mizuno, H. Koyama, N. Koshida // Appl. Phys. Lett. – 1996. – Vol. 69 – P. 3779–3781.

П.Р. Лобанов, М.П. Пуровский
(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОНТАЖНЫХ КОНУСОВ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

Введение. Интенсивное развитие всех отраслей промышленности обеспечило технический прогресс и в области строительных конструкций. Создана заводская база для изготовления конструкций, улучшаются прочностные характеристики материалов, появляются новые формы конструкций и их элементов (объемные блоки, пространственные конструкции), повышается степень их заводской готовности. Большое распространение получили железобетонные конструкции, наиболее широко применяемые в массовом строительстве.

Железобетонные конструкции имеют высокую прочность, долговечность, огнестойкость [1–3]. Из них можно создавать разнообразные конструктивные формы в зависимости от типа сооружения. Они не требуют больших эксплуатационных расходов.

Целью представленной работы является разработка технологии производства монтажных конусов для железобетонных плит перекрытия.

Следует отметить, что в качестве оформляющей и направляющей оснастки для формования сквозных отверстий в железобетонной плите традиционно служит стальной конус (вкладыш), изображенный на рисунке 1.

Методы и объекты исследований. Широкое применение нашли полимерные вкладыши. В отличие от стальных они обладают рядом преимуществ: стойкие к коррозии, легкие, просты в изготовлении, фиксируются при помощи магнитов [4]. Объектом исследования является монтажный конус (рисунок 1,а).



а)



б)

1 – монтажный конус; 2 – металлоформа

Рисунок 1 – Характерный вид монтажного конуса (а),
установленного в металлоформу (б)

Назначение монтажного конуса заключается в создании сквозных отверстий в железобетонной плите перекрытия, при формировании в металлической форме. Отверстия предназначены для строповки железобетонной плиты в горизонтальном положении. Процесс формирования происходит на горизонтальной металлической форме, на поддон которой устанавливаются четыре монтажных конуса, которые изображены на рисунке 1,б.

Результаты исследований. Схема строповки железобетонной плиты перекрытия показана на рисунке 2.

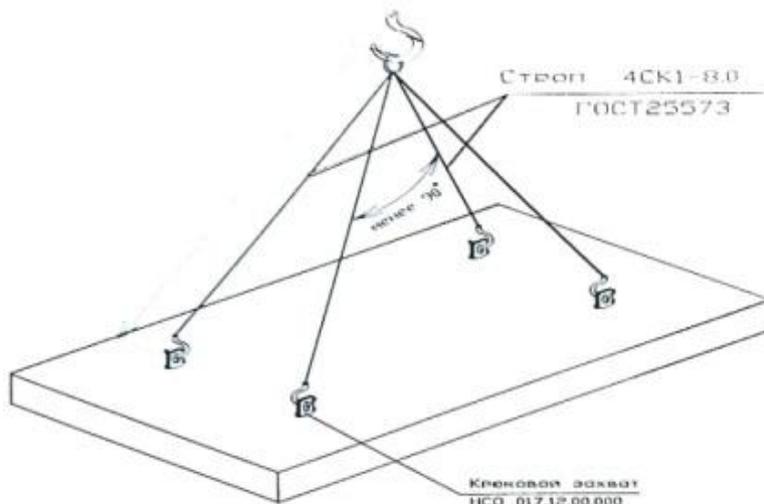
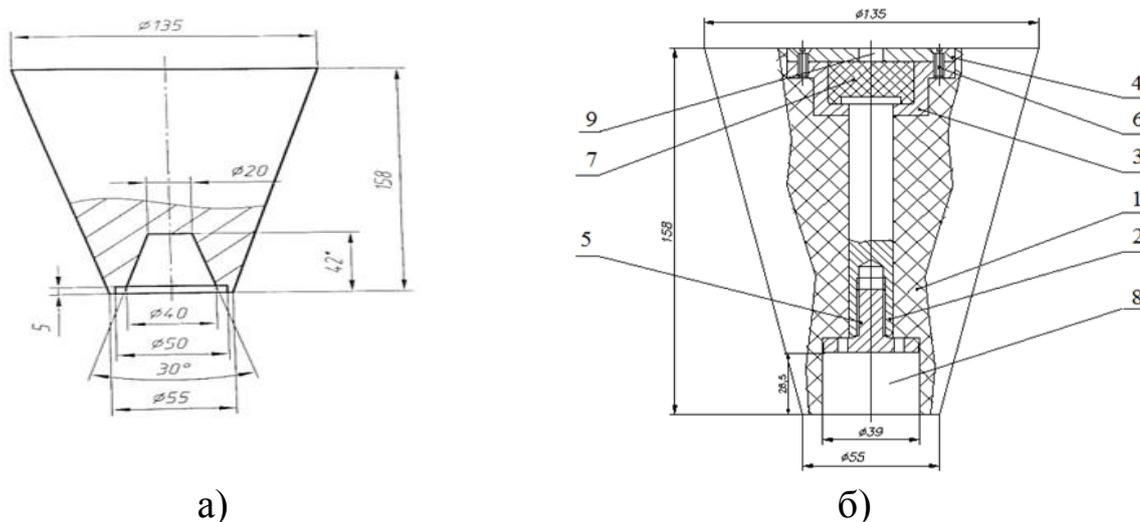


Рисунок 2 – Схема строповки железобетонной плиты перекрытия

Преимущества конусов следующие: способны использоваться многократно; легкосъёмные; за счет их полного погружения в смесь из железобетона, что упрощает использование инструмента – правила по поверхности смеси [1, 4]. Для обеспечения точности установки в форме в проектное положение съёмных вкладышей следует применять фиксирующий конус с углом наклона 30° . В местах примыкания зазоры не должны превышать 2 мм. Общий вид монтажного конуса приведен на рисунке 3, а.

Для снижения затрат на производство оформляющей оснастки в качестве материала конуса предлагается использование полиамида стержневого марки ПА – 6, рисунок 3,б.

Основанием конуса является стержень 2, предназначенный для закрепления крепежной шайбы 5, которая удерживает стакан 3. К стакану прикручивается крышка 4, с отверстием для демонтажа 9, которая закрепляется винтами 6. Поролон 7 ограничивает проникновения железобетонной смеси. Посадочное отверстие 8, предназначено для закрепления конуса в вертикальном положении, при помощи магнита.



- а) б)
- 1 – конус; 2 – стержень; 3 – стакан; 4 – крышка; 5 – шайба крепежная;
 6 – винт; 7 – поролон; 8 – посадочное отверстие для магнита;
 9 – отверстие для демонтажа

Рисунок 3 – Конус монтажный: а – металлический;
 б – металлополимерный

Выводы по работе. В работе изложены особенности технологии производства и конструирования монтажных конусов для железобетонных плит перекрытия. Конструктивными решениями для элементов оснастки определяют легкоъемность, легкость, сопротивление ударным нагрузкам. Предлагается изготовить легкоъемный, легкий, прочный монтажный конус для производства железобетонных изделий из капролона (ПА– б). Предложено новое конструктивное исполнение конуса.

Литература

1. Особенности конструирования форм [Электронный ресурс]. – / Назначение оснасток / Режим доступа: <http://msd.com.ua/texnologiya-betonnyx-i-zhelezobetonnyx-izdelii/osobennosti-konstruirovaniya-form/>. – Дата доступа: 01.10.2016.
2. Полимерные материалы в строительстве [Электронный ресурс]. – / Материалы и составы строительного назначения / Режим доступа: <http://perekos.net/sections/view/59/> Дата доступа: 01.10.2016.
3. Борзов, Б.М. Основы технологии машиностроения / Б.М. Борзов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
4. Косилова, А.Г., Мещеряков, Р.П. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.П. Мещерякова, А.Г. Сулова.– М. : Машиностроение, 2001. – 912 с.

С.Н. Мазырко, А.В. Македон
(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРЕХХОДОВОГО КРАНА Ду 50 ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Введение. Системы трубопроводов различного назначения используются в различных отраслях хозяйственной деятельности. По трубам из стали, чугуна, современных пластиков и других материалов транспортируются вода, газ, нефть, химические вещества, канализационные и промышленные стоки. Нормальная эксплуатация трубопроводной сети во многом зависит от качества материалов – труб и арматуры. В зависимости от своего назначения трубопроводная арматура может быть запорной, предохранительной, регулирующей, отводной, вспомогательной и т. д. Все виды трубопроводной арматуры имеют свои характерные особенности конструкций и производятся по соответствующим отраслевым стандартам. Для правильного подбора арматуры важно учитывать характеристики сети, соответствие оборудования условным проходам труб и номинальному рабочему давлению среды. Кроме того, следует исходить и из того, какую именно среду транспортирует тот или иной трубопровод.

К основным типам запорной арматуры относят: задвижки, вентили, клапаны (регулирующие, предохранительные, обратные), дисковые затворы [1].

В настоящее время наиболее распространенными элементами запорной арматуры являются краны.

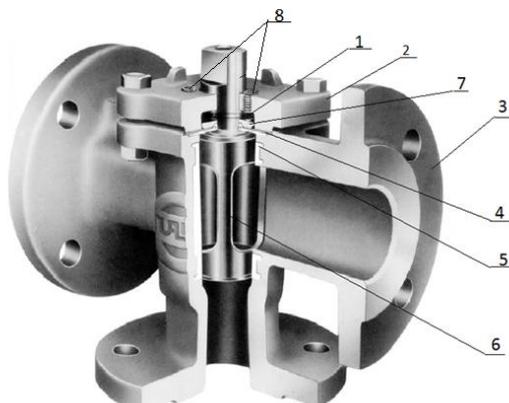
Материалы и составы, применяемые в запорной арматуре, должны соответствовать маркам, указанным в чертежах. Качество материалов должно быть удостоверено сертификатами завода-поставщика, а в случае отсутствия сертификата – лабораторными анализами и испытаниями [2, 3].

В качестве прокладок из неметаллических материалов в основном применяют паронит, резину и фторопласт [4].

Важную роль в бесперебойной работе вентильных устройств на ОАО «Гродно Азот» играют запирающие элементы. Для обеспечения герметичности необходимо, чтобы уплотнительная втулка крана под воздействием агрессивных сред не разрушалась. Это достигается путем замены из более стойкого материала, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики и продлевает срок службы.

Целью работы является разработка технологических решений по модернизации трехходового крана Ду 50 химических производств.

Методика исследований. Кран трёхходовой (рисунок 1) является распределительным устройством, предназначенным для перекрытия или перенаправления в трубопроводах потоков рабочей среды.



1 – упорное кольцо; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – прокладка;
5 – герметизирующая втулка; 6 – пробка; 7 – сальниковое кольцо;
8 – прижимные винты

Рисунок 1 – Характерный вид трехходового крана $D_y = 50$

Состоит из корпуса 3, в который запрессована герметизирующая втулка 5, пробка 6 прижимается к втулке крышкой 2 через прокладку 4. Прижимными винтами 8 через упорное кольцо 1 регулируется посадка запирающей пробки.

Объектом исследования является втулка (седло) трехходового конусного крана $D_y = 50$ мм, которая является уязвимым и ответственным элементом. Условия работы следующие: $P_y = 4$ МПа, рабочая среда – плав карбамида, $t = 160$ °С.

Для работы в данных условиях, втулку изготовили из композиционного материала Ф4К20, взамен существующей втулки из Ф4. При эксплуатации в данной среде, фторопласт подвергается износу, что нарушает герметичность крана с последующим нарушением производственного цикла.

Основными методами определения физико-механических характеристик является: определение плотности (ГОСТ 15139), прочности при разрыве (ГОСТ 11262) и износостойкости материала (ГОСТ 11012).

Результаты и их обсуждение. Основными причинами износа втулки является: механическая деформация материала с механическим разрушением и потерей функциональной способности, связанной с перепадами температуры и давления.

Материал Ф4К20 по сравнению с фторопластом Ф4 имеет в 600 раз большую износостойкость, на 30% выше разрушающее напряжение при 10%-ой деформации сжатия в диапазоне температур от минус 60 до

плюс 250 °С, наиболее универсален по применению, пригоден для работы в условиях высокого вакуума в среде углеводородных газов, сухого воздуха, жидких углеводородов, растворителей. Композиции с графитом стойкие к истиранию, химически стойки [5].

Полученные результаты исследования материалов показывают, что прочностные характеристики Ф4К20 выше, чем у фторопласта Ф4. Это доказывает, что использование герметизирующей втулки из Ф4К20 увеличит срок службы эксплуатации и надежности трехходового крана.

Испытание крана на герметичность (ГОСТ 356-80) в условиях ОАО «Гродно Азот», проводили на стенде PS 75 с пропорциональным зажимом фирмы «EFCO». Падение давления и утечек не обнаружено.

Для повышения ресурса эксплуатации крана необходимо, чтобы данный вид арматуры использовался исключительно в предельных значениях давления и температуры. Своевременное обслуживание и ремонт крана продлит его срок службы эксплуатации.

Заключение. Для повышения срока службы эксплуатации крана, было предложено использовать герметизирующую втулку из более прочного композиционного материала марки Ф4К20, вместо существующей из Ф4. Изучили методики определения механических характеристик, на основе которых провели исследования на прочность, плотность и износостойкость нововведенного материала. После обработки результатов убедились, что материал Ф4К20 имеет более высокие прочностные характеристики по отношению к фторопласту Ф4. Это доказывает, что использование герметизирующей втулки из материала марки Ф4К20 увеличит срок службы трехходового крана.

Литература

1. Гуревич, Д.Ф. Трубопроводная арматура: справочное пособие / Д.В. Гуревич. – 2-е изд. – Л. : Машиностроение. – 1987. – 368 с.
2. Имбрицкий, М.И. Справочник по трубопроводам и арматуре химических цехов электростанций / М.И. Имбрицкий. – М. : Энергия. – 1974. – 168 с.
3. Гошко, А.И. Арматура трубопроводная целевого назначения: Выбор. Эксплуатация. Монтаж / А.И. Гошко. – М. : Машиностроение. – 2003. – 336 с.
4. Кинжер, А.Х. Ремонт трубопроводной арматуры электростанций: учебное пособие для проф. обучения рабочих на производстве / А.Х. Кинжер. – М. : Высшая школа. – 1986. – 144 с.
5. Голубев, А. И. Уплотнения и уплотнительная техника : справочник / А.И. Голубев, Л.А. Кондаков, В.Б. Овандер; под общ. ред. А.И. Голубев, Л.А. Кондаков. – М. : Машиностроение. – 1986. – 464 с.

Л.С. Макарова (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **А.В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ПОРОШКА ФЕРРИТ-ДИЭЛЕКТРИК С УГЛЕРОДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

При разработке поглотителей электромагнитных волн используются различные материалы, обладающие способностью поглощать электромагнитные излучения в определенном диапазоне частот. Поглощение электромагнитной энергии происходит за счет диэлектрических, магнитных потерь и потерь на проводимость, которые пытаются максимизировать для достижения максимума эффективности экранирования. В то же время, при падении электромагнитных волн на материал, имеет место отражение от границы раздела сред. Чем больше несоответствие волновых сопротивлений сред, тем больше величина коэффициента отражения. При создании широкополосных поглощающих покрытий ключевой задачей является согласование поглощающей структуры с окружающим пространством, при котором интегральный эффект отражения минимален [1].

Методом химического осаждения получены частицы ферритов размерами 20–40 нм. Получение высокодисперсного магнетита заключалась в быстрой нейтрализации при постоянном перемешивании солей двух- и трёхвалентного железа избытком водного раствора аммиака. Наиболее качественные осадки ферритов получают при дополнительном прогревании реакционной массы на водяной бане при температуре 80–90 °С в течение двух часов и интенсивном перемешивании. На рисунке 1 представлено изображение магнитных наночастиц, полученное с помощью электронного микроскопа.

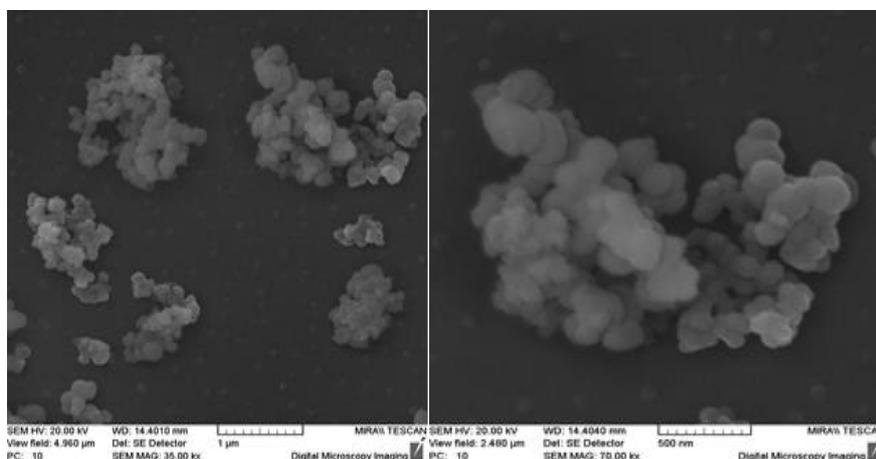


Рисунок 1 – Изображение магнитных наночастиц, полученное с помощью электронного микроскопа

Для получения сферических частиц кремнезема, покрытых наночастицами $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, была использована композиция из свежеприготовленного оксида железа и кремнезема, полученного золь-гель методом из тетраэтилортосиликата, с молярным соотношением 1:9. Гидролиз тетраэтилортосиликата проводился по стандартной схеме с использованием этилового спирта, воды и (0,1н) раствора соляной кислоты в качестве катализатора. Когда гидролизуемый раствор тетраэтилортосиликата становился слегка мутным, в него вливался водный раствор $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ при постоянном перемешивании. После 30 минут перемешивания добавляли несколько миллилитров раствора аммиака (25 %). Затем осадок отделяли и сушили при температуре 100 °С. Для получения магнитных частиц, покрытых оболочкой диоксида кремния, к водной дисперсии наночастиц $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ добавляли раствор тетраэтоксисилана в спирте и после 2-х часового перемешивания добавляли несколько миллилитров 10 % раствора фтористого аммония. Осадок отфильтровывали, тщательно промывали дистиллированной водой и сушили при температуре 100 °С. [2]. Для защиты частиц высокодисперсных магнитных материалов от окисления и предотвращения их коагуляции проводилась их стабилизация поверхностно-активными веществами (или полимерами) сразу после их образования. Для придания агрегативной и седиментационной устойчивости частицам ферритов были использованы: полиэтиленгликоль, карбоксиметилцеллюлоза и поливинилпирролидон. Схема изготовления порошков ферритов представлена на рисунке 2.

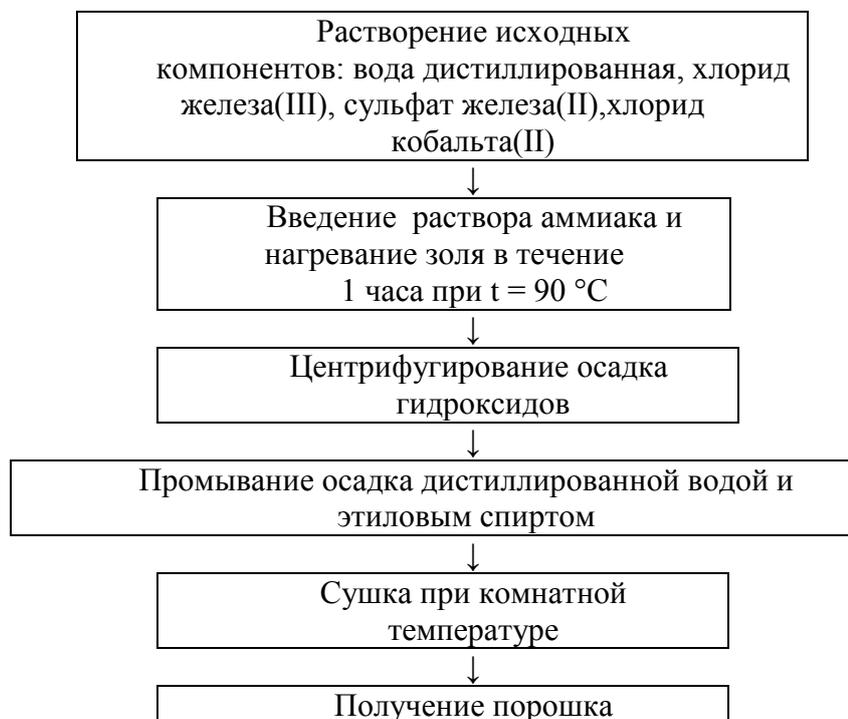


Рисунок 2 – Схема процесса для изготовления частиц ферритов

Были получены образцы с входным соотношением двухвалентных катионов $[Co^{2+}]/[Fe^{2+}]$ равным 0,2 и 0,4 соответственно. Для повышения эффективности поглощения ЭМИ были получены порошки феррит-диэлектрик с углеродным наполнителем.

Радиопоглощающий материал приготавливается путем механического смешивания компонентов непосредственно перед нанесением его на покрываемую поверхность.

Литература

1. Ковнеристый, Ю. К. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения / Ю. К. Ковнеристый, И. Ю. Лазарева, А. А. Раваев. М. : Наука, 1982. – 164 с.
2. Щука, А.А. Нанoeлектроника : учебное пособие / А.А. Щука. –2-е изд. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 342 с.

А.В. Македон, Е.Б. Галабурда
(УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЭФИРНЫХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ

Введение. Окрашивание порошковыми лакокрасочными материалами представляет собой одну из наиболее совершенных технологий получения покрытий, отвечающих требованиям сегодняшнего дня. Возникновение этой технологии – результат длительного развития и эволюции методов, связанных с нанесением жидких лакокрасочных материалов и напылением металлов.

Технология покрытий с применением порошковых красок по сравнению с окрашиванием жидкими материалами имеет следующие преимущества: порошковые краски поставляются потребителю в готовом к применению виде, отсутствует необходимость их приготовления смешением, разбавлением, отсутствует необходимость в регулировании вязкости. Получение покрытий, как правило, ограничивается однослойным нанесением. Легко обеспечивается утилизация краски и почти полный ее возврат в производственный цикл. Тем самым достигается более высокая экономичность производства.

Целью представленной работы является анализ влияния на составы порошковых композиций технологических режимов подготовки

композиций и совершенствование этапов формирования защитных покрытий при использовании метода электростатического осаждения.

Материалы и методы исследования. Исследование составов и влияния технологических параметров осуществляли на кольцевом участке для порошковой окраски, находящемся на ГП «Гроднооблсельстрой».

Кольцевой участок состоит из камеры напыления, которая служит для размещения деталей для последующей окраски, также для предотвращения разлета порошка и сбора остатков порошковой краски; камеры полимеризации, в которой непосредственно краска расплавляется и полимеризуется; верхней транспортной системы, основное назначение которой перемещение окрашиваемых изделий по линии порошковой окраски и пистолета-распылителя.

В качестве объекта исследования использовали полиэфирную порошковую краску «Amika П-ПЛ-1321». Фракционный состав порошка находился в диапазоне от 80 до 180 мкм (оптимизированный параметр), фракционный контроль осуществляли методом виброситового анализа.

Гидрофобность поверхности сформированных покрытий определяли по краевому углу смачивания. Адгезионную прочность оценивали методом решетчатых надрезов.

Испытания на ударную прочность проводили с помощью прибора «Удар-Тестер МТ».

Покрытие наносили на поверхность металлической подложки размером 15×15 см. Толщину покрытия оценивали с помощью толщиномера RICHMETERS модели RM-660.

Результаты и их обсуждение. Режимы формирования покрытий на основе состава «Amika П-ПЛ-1321» оптимизировали за счет изменения стадий технологического процесса. В частности перед нанесением покрытия производили очистку и обезжиривание поверхности субстрата. На предварительной стадии экспериментальным путем провели термообработку порошковых составов и определили оптимальные температурно-временные параметры обработки. Содержание конденсированной влаги в порошке составило не более 4,4%, что обеспечивает улучшенные характеристики электростатической зарядки порошка. Одним из решений на стадии проведения экспериментов является реализация подогрева подложки до 60°C, для обеспечения улучшенных характеристик адгезионной прочности к подложке из стали Ст3.

Для определения размера частиц был использован метод ситового анализа. Испытания показали, что в порошковой краске П-ПЛ-1321 содержится 1,8 % частиц с размером от 180 до 280 мкм, 29,8% с размером частиц от 80 до 180 мкм и 68,4% частиц размером менее 80 мкм соответственно.

Исследования адгезионных характеристик покрытий показали, что отличия по адгезионной прочности незначительны.

Результаты оценки гидрофобных характеристик поверхности образцов показывают, что после оптимизации режимов формирования покрытия увеличился краевой угол смачивания, то есть увеличилась гидрофобность покрытий (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты исследований гидрофобности покрытий

Покрытие на стали Ст3 с покрытием «Amika П-ПЛ-1321»	Краевой угол смачивания, град	
	Дистиллированная вода	Глицерин
без подогрева субстрата	78	83
с подогревом субстрата	88	89

Анализ результатов свидетельствует о том, что ударопрочность покрытий, сформированных по традиционной технологии, ниже ($0,8 \text{ кг/см}^2$), чем прочность покрытий, сформированных по предлагаемому оптимизированному решению (1 кг/см^2).

Показана прямолинейная зависимость толщины покрытий от фракционного состава используемого порошка (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты измерения толщины покрытия

Результат	Фракционный состав порошка более 180 мкм	Фракционный состав порошка 80–180 мкм
Среднее значение	111 мкм	69 мкм

При всех прочих показателях технологического процесса формирования покрытий наблюдается фактическое почти двукратное снижение толщины покрытия, а, значит, при достижении условия сплошности сокращается расход используемого состава.

Заключение. Оптимизированные режимы формирования защитного покрытия оказывают благоприятное влияние на показатели гидрофобности и адгезионную прочность защитного покрытия, на основе полиэфирной порошковой краски «Amika П-ПЛ-1321». По результатам исследований предлагаются следующие технологические рекомендации для сокращения расхода полимерных порошковых составов с сохранением функциональных характеристик покрытий:

- фракционирование составов: рекомендуется использование частиц с размером менее 80 мкм, в том числе для исключения дефектного признака по декоративному признаку – шагреню;

- предварительная термообработка поверхности субстрата при температуре 60 °С в течение не менее 30 минут;
- предварительная термообработка порошковых составов при температуре 60 °С в течение 60 минут для удаления адсорбционной влаги.

Литература

1. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А.Д. Яковлев. – Л. : Химия. – 1981. – 324 с.
2. Лаки и краски: Назначение и, эксплуатационные характеристики, режимы отверждения, рецептуры. – М. : Химия, – 1995. – 59 с.
3. Яковлев А. Д. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе / А.Д. Яковлев, В.Ф. Здор и др. – Л. : Химия, – 1979. – 256 с.
4. Решетников В. Методы оценки качественных характеристик порошковых красок // Промышленная окраска, – 2013. – С. 41–45.
5. Карякина М.И. Технология полимерных покрытий : учебное пособие для техникумов / М.И. Карякина, В.Е. Попцов – М. : Химия. – 1983. – 465 с.

А.И. Малыко (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **Е.В. Телеш**, ст. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК TiBN

Для получения пленочных структур с различными свойствами и для различных целей используется большое многообразие материалов. Покрытия из TiBN обладают уникальным сочетанием экстремальных термомеханических свойств, радиационной стойкости, электро-физических параметров в сочетании с высокой твердостью и прочностью, технологической и коммерческой значимостью [1]. Эти соединения также примечательны тем, что обладают целым набором свойств, которые необходимы при получении пленочных структур: тугоплавкость, химическая инертность и стойкость, высокие электро- и теплопроводность, износостойкость, пластичность [2]. Задачей данной работы является исследования влияния некоторых технологических факторов на удельное объемное сопротивление ρ_v и температурный коэффициент сопротивления (ТКС) пленок TiBN.

Формирование покрытий из TiBN осуществляли на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. В качестве ионного источника использовался двухлучевой плазменный ускоритель

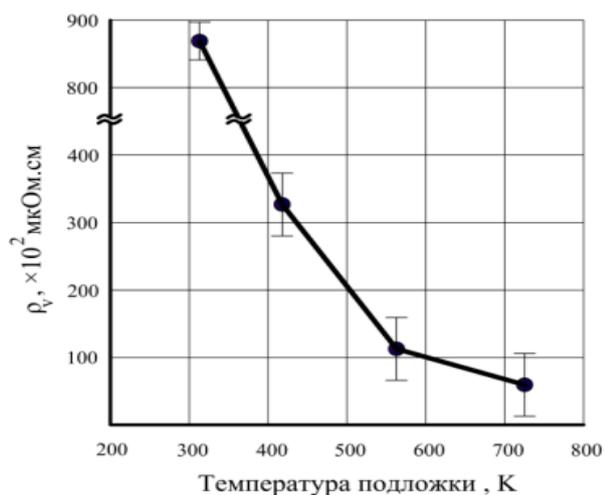
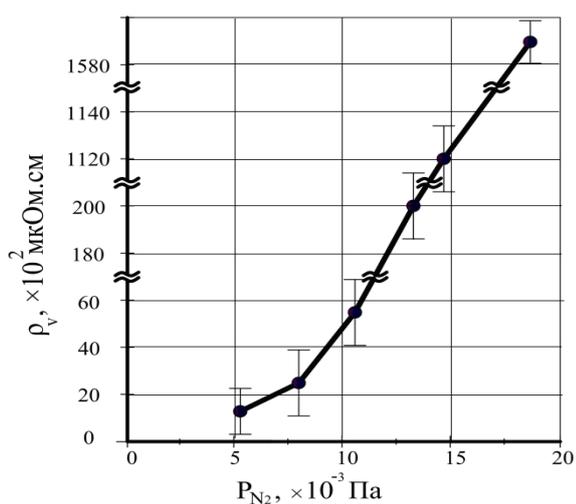
с анодным слоем. Он позволяет формировать два независимых пучка ионов: из верхней ступени в виде полого цилиндра и конусообразный из нижней ступени. Первый пучок предназначен для ионной очистки, второй – для распыления мишени. Вакуумный объём откачивался диффузионным насосом, что обеспечило получение остаточного вакуума $(2-3) \cdot 10^{-3}$ Па. Покрытия из TiBN наносились на подложки из стекла, окисленного кремния и кремния с использованием метода реактивного ионно-лучевого распыления мишени из TiB₂ в среде аргона и азота. В качестве рабочих газов использовались аргон газообразный, чистый марки «А», ГОСТ 10157-73 и азот ГОСТ 9293-74.

Скорость нанесения тонкоплёночных покрытий V_n является важным параметром, характеризующим как сам метод нанесения, так и наносимый материал. На скорость нанесения при ионно-лучевом методе оказывают параметры ионного пучка, а именно, энергия ионов и величина ионного тока, а также род рабочего газа. Исходя из данных, приведенных в таблице 1, скорость нанесения пленок сложным образом зависит от давления азота. Рост скорости нанесения объясняется формированием нитрида бора BN, который имеет низкую плотность (2,18 г/см³). Дальнейшее увеличение парциального давления азота приводит к снижению V_n из-за меньшей массы ионов азота, по сравнению с ионами аргона.

Таблица 1 – Результаты исследования влияния парциального давления азота на процесс нанесения покрытий из TiBN

№ образца	$P_{N_2}, \times 10^{-3}$ Па	$\rho_v,$ $\times 10^2$ мкОм·см	ТКС, К ⁻¹	$V_n, \text{нм} \cdot \text{с}^{-1}$
1	5,3	12,7	-3,8	2,2
2	8	24,9	-6,5	2,8
3	10,6	54,6	-7,3	3,3
4	13,3	198	-10,9	3,3
5	14,7	1120	-16,5	3,3
6	18,7	1590	-18,1	2,2

При увеличении давления азота удельное объемное сопротивление пленки TiBN сильно растет (рисунок 1, а). Это можно объяснить ростом фазы BN, что приводит к повышению удельного сопротивления. На рисунке 1, б представлена зависимость удельного объемного сопротивления пленок TiBN от температуры подложки T_p . Парциальное давление азота составляло $1,1 \cdot 10^{-2}$ Па. Установлено, что ρ_v монотонно снижается при повышении T_p . Это можно объяснить некоторым ростом размеров зерна, уплотнением структуры покрытия, десорбцией аргона и активных газов из пленки.

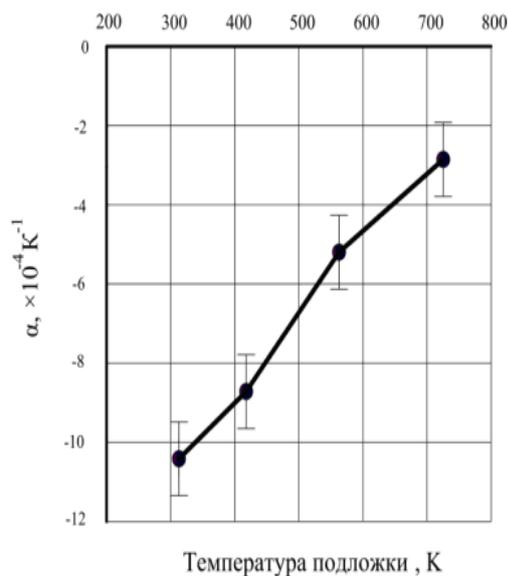
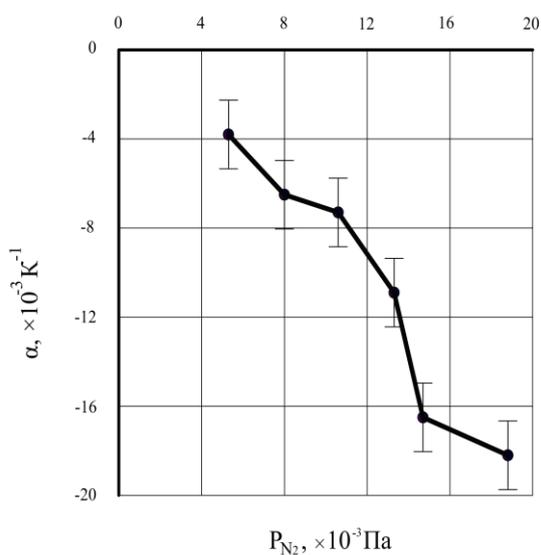


а)

б)

Рисунок 1 – Зависимость удельного объемного сопротивления пленок TiBN от парциального давления азота (а) и температуры подложки (б)

При увеличении давления азота абсолютное значение ТКС пленок TiBN увеличивается (рисунок 2, а). Этот результат, а также отрицательный знак ТКС, можно объяснить ростом диэлектрической фазы (BN). При увеличении температуры подложки ТКС пленок уменьшается. Это можно связать с упорядочением структуры покрытия, отжигом дефектов, ростом размеров зерна и как, следствие, уменьшением площади межзеренных границ.



а)

б)

Рисунок 2 – Зависимость ТКС пленок TiBN от парциального давления азота (а) и температуры подложки (б)

Следует отметить, что ТКС у TiBN имеет отрицательный знак и относительно небольшую величину, что делает эти материалы весьма перспективными для производства высокостабильных тонкопленочных резисторов.

Литература

1. Garcia-Gonzalez, L. Structure and mechanical properties of TiBN coatings fabricated by dc reactive sputtering technique / L. Garcia-Gonzalez, J. Hernandez-Torres, P.J. Garcia-Ramirez, J. Martinez-Castillo, A. Saucedo, A.L. Herrera-May, F.J. Espinoza-Beltran // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – V. 186. – PP. 362–366.

2. Mollart, T.P. Nanostructured titaniumboronitride coatings of very high hardness/ T.P. Mollart, M. Baker, J. Haupt, A. Steiner, P. Hammer, W. Gissler. // Surface and coatings technology. –1995. –V. 74–75. – PP. 491–496.

А.М. Минчуков (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **В.И. Кондратенко**, ст. преподаватель

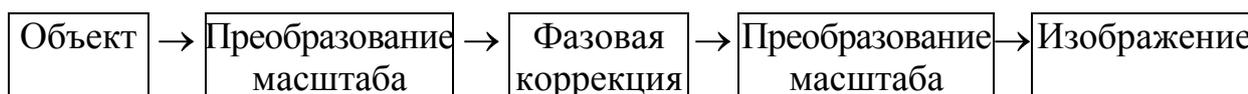
БЕЗЛИНЗОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Традиционные схемы формирования изображения могут быть математически представлены в виде преобразования Фурье. А, так как линзы осуществляют преобразование Фурье, либо операцию фазовой коррекции – это свойство и обуславливает традиционное применение линзовых систем к формированию изображения, в этих обстоятельствах операцию преобразования Френеля выполняют участки свободного пространства. Известно, что при определённых условиях преобразование осуществляемое свободным пространством над полем пространственно-ограниченного источника в некоторых случаях (дифракция Фраунгофера) может быть выражена в виде преобразования Фурье. Данный факт позволяет судить о возможности безлинзового формирования изображений, это широко известно на примере камеры – обскуры, с точки зрения когерентной оптики это может быть пояснено следующим образом. Если расположить малый объект на малом расстоянии, отвечающем условиям дифракции Фраунгофера в плоскости расположения диафрагмы, распределения поля отвечает преобразованию Фурье поля исходного объекта на поверхности малой кривизны. Диафрагма используется для выделения участка спектра, над которым осуществляется преобразование Фурье, и поле в плоскости экрана осуществляется связанным преобразованием масштаба с полем исходного объекта, при выполнении условий дифракции Фраунгофера для соотношения между

размером диафрагмы и расстоянием от плоскости диафрагмы до экрана. Диафрагма необходима, однако она обуславливает высокочастотную фильтрацию, что снижает разрешение получаемого изображения. Граничное условие на применение дифракции Фраунгофера имеет вид:

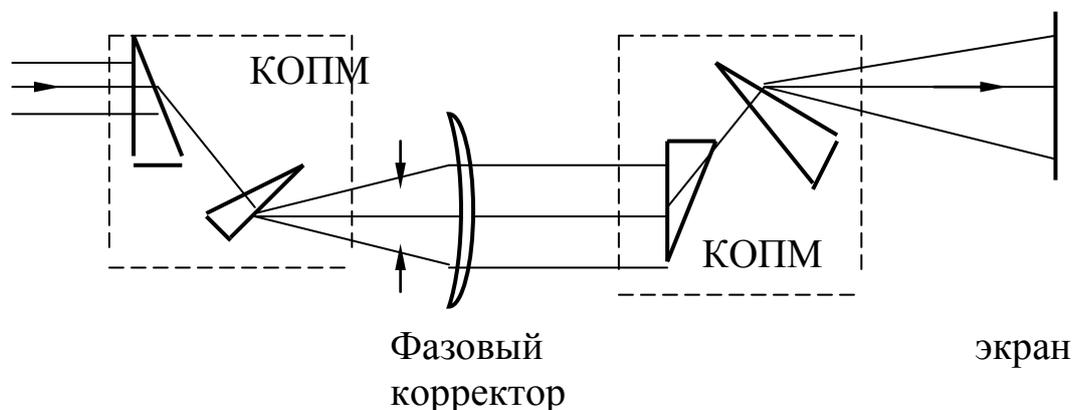
$$Z > \frac{d^2}{\lambda},$$

где d – апертура объекта; λ – длина волны излучения; Z – расстояние до плоскости изображения. Это даёт возможность оценить требуемое расстояние для реальных объектов, и оно оказывается весьма значительным. Возможно снижение размеров системы формирования изображения при применении оптического преобразования масштаба, как в плоскости объекта, так и в спектральной плоскости, однако тогда становится существенным влияние квадратичного искажения в спектре обусловленного так, что формируется на сферической поверхности, в центре которой находится эквивалентный источник соответствующий масштаб-преобразованному световому полю объекта. Поэтому требуется дополнительная операция фазовой коррекции в спектральной плоскости. Следовательно, схему формирования изображения можно представить в виде:



Полученное изображение не будет нуждаться в дополнительной фокусировке, коэффициент увеличения пропорционален расстоянию до экрана, а по мере удаления экрана качество изображения растёт. Масштаб преобразуется в сторону уменьшения в обеих плоскостях, при этом результирующее изображение может быть как увеличенным, так и уменьшенным в зависимости от расположения экрана, без изменения расположения апертурных элементов.

Для одномерного случая данную схему можно представить в следующем виде:



Важно отметить, вышеприведённая схема не является взаимной, т. е. если установить объект на место изображения, в плоскости объекта изображения не будет.

Ю.Ю. Наливайко (УО «БелГУТ», Гомель)
Науч. рук. **П.Н. Богданович**, д-р техн. наук, профессор

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПО ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Коленчатый вал – одна из наиболее нагруженных деталей двигателя, вследствие чего наиболее часто выходящий из строя. Кроме того, коленчатый вал и все детали, сопрягаемые с ним, являются одним из самых важных элементов двигателя внутреннего сгорания (ДВС). В процессе работы коленчатый вал воспринимает давление газов, возникающее в надпоршневой полости цилиндров, а также воспринимает силу инерции движущихся возвратно-поступательно и вращающихся деталей. Под действием этих сил вал вращается с переменной угловой скоростью и подвергается скручиванию, сжатию или растяжению, а также действию напряжений изгиба. Это приводит к износу шеек коленчатого вала. Кроме того, повышенный износ шеек наблюдается из-за повреждения вкладышей, явления усталости и деформации – искривление вала из-за перегрева.

Для того, чтобы снизить расходы на эксплуатацию и предотвратить преждевременный выход из строя ДВС необходимо повысить износостойкость сопряжения «коленчатый вал – вкладыш», которая в большинстве случаев определяется свойствами смазочного материалами.

Одним из условий безотказной работы будет являться обеспечение стабильного качества смазочного материала на протяжении всего времени работы узла трения. Таким образом, оптимизация состава смазочного материала позволит увеличить эксплуатационные характеристики и снизить износостойкость без существенного изменения конструкции.

Оптимизация будет заключаться в добавлении присадки, которая содержит наночастицы графита различной концентрации, к моторному маслу. Необходимо определить влияние присадки, ее концентрации на коэффициент трения при различных нагрузках.

Испытания проводились на машине трения СМТ-1. Моделирование узла «коленчатый вал – вкладыш» производили роликом из стали 45 и вкладышем из бронзы Броф10 – 1. Характерные размеры ролика: высота 10 мм, внутренний и наружный диаметр 16 мм и 40 мм соответственно; вкладыша: ширина 10 мм, длина дуги контакта – 20 мм.

Для определения влияния состава смазочного на триботехнические характеристики испытания проводили с использованием различного состава смазочных материалов: масло М8-В, масло М8-В + присадка

(3 масс. %), масло М8-В + присадка (5 масс. %), масло М8-В + присадка (10 масс. %). Испытания проводили при нагрузках: 50 Н, 100 Н, 150 Н, 200 Н, 250 Н, 300 Н, 350 Н, 400 Н.

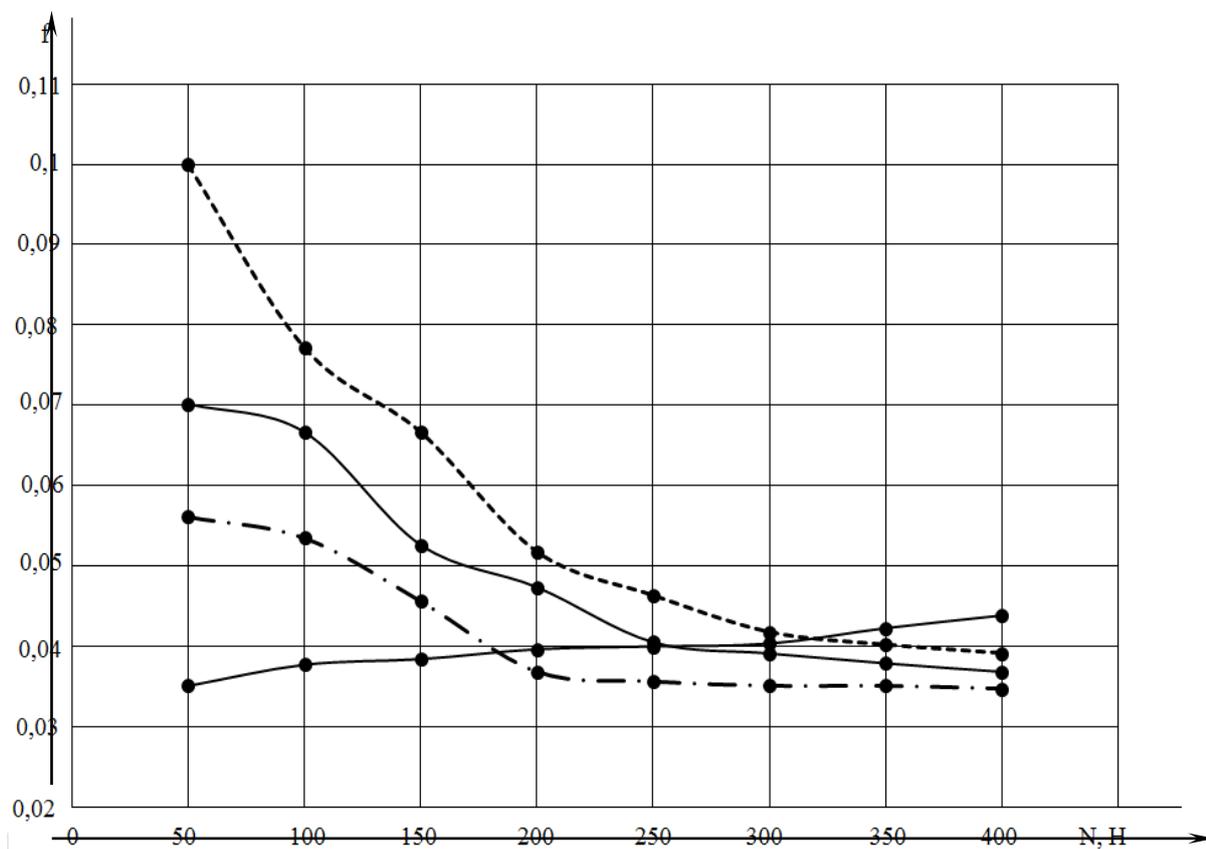
Все испытания проводили при скорости 0,75 м/с в течение 2 ч. Перед испытаниями была произведена приработка образцов в течение 2 ч.

Измерение момента трения M_{mp} осуществляли индукционным датчиком, установленным на валу машины трения. Коэффициент трения f рассчитывали по формуле:

$$f = \frac{M_{mp}}{N \cdot 0,02},$$

где N – нагрузка на ролик, Н.

Результаты полученных данных представлены на рисунке 1.



а – масло М8-В;

б – масло М8-В + присадка (3 масс. %);

в – масло М8-В + присадка (5 масс. %);

г – масло М8-В + присадка (10 масс. %).

Рисунок 1 – Зависимости коэффициента трения от нагрузки при различном составе смазочного материала

Зависимость коэффициента трения от нагрузки без добавления присадки представляет собой возрастающую кривую, а с добавлением присадки – убывающую.

Коэффициент трения повышается с увеличением нагрузки поскольку растет контактное давление и температура на пятне контакта, что оказывает влияние на толщину смазочного слоя, уменьшая ее. Тем самым вероятность образования ювенильных участков поверхности возрастает, а также возрастает вероятность образования мостиков сварки, сопротивление срезу которых вносит значительный вклад в силу трения и коэффициент трения увеличивается.

Как видно из графика, добавление присадки способствует снижению коэффициента трения, причем чем больше концентрация присадки в масле, тем большему снижению коэффициента трения она способствует. Повышение триботехнических характеристик при наличии присадки может быть связано с тем, что содержащиеся в присадке наноразмерные частицы графита способны заполняя впадины и микротрещины упрочнять рабочие поверхности, улучшая противоизносные свойства. Кроме того, поверхностно-активные вещества, которые образуют оболочку вокруг каждой частицы, увеличивают прочность масляной пленки, что препятствует уменьшению толщины смазочного материала при увеличении нагрузки. При добавлении присадки наблюдается образование пленки, обладающей высокой нагрузочной способностью и низким сопротивлением сдвигу, благодаря этому уменьшается вероятность образования прочных мостиков сварки.

Таким образом, добавление в смазочный материал присадки, которая содержит наноразмерные частицы графита, способствует снижению коэффициента трения и его стабилизации при повышенных нагрузках.

Литература

1. Богданович, П.Н. Трение, смазка и износ в машинах : учебник / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак, С.П. Богданович. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 527 с. : ил. – 1000 экз. – ISBN 978-985-458-219-1.

2. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей : учебник для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др.: под общ. ред. А.С. Орлна, М.Г. Круглова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.

Ю.Ю. Наливайко (УО «БелГУТ», Гомель)
Науч. рук. **П.Н. Богданович**, д-р техн. наук, профессор

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ПРИ СМАЗКЕ МАСЛОМ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Эксплуатационные расходы большинства узлов современных машин и оборудования обусловлены в основном преждевременным их выходом из строя в результате изнашивания. Поэтому снижение затрат на эксплуатацию таких узлов вследствие повышения износостойкости является важнейшей технической задачей.

Надежность и долговечность тяжело нагруженных узлов трения в общем случае будут определяться смазочными материалами. Известно, что улучшить свойства и продлить ресурс масла в процессе эксплуатации позволяет введение противоизносных, противозадирных и антифрикционных присадок.

Поскольку технические решения, которые позволяют повысить эксплуатационные характеристики различных узлов машин без существенного изменения их конструкции приобретают особую роль, то одним из таких решений может выступать изменение состава смазочного материала. Следовательно, необходима разработка такого состава, при котором будет наблюдаться увеличение износостойкости машин и механизмов вследствие повышения эксплуатационных характеристик, что будет являться актуальной задачей в машиностроении.

К тяжело нагруженным узлам трения относится сопряжение «коленчатый вал – вкладыш» двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Для этого узла важно определить влияние состава смазочного материала на интенсивность изнашивания при различных нагрузках.

Испытания проводились на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик – вкладыш». Ролик выполнен из стали 45 высотой 10 мм, внутренним диаметром 16 мм и наружным диаметром 40 мм. Вкладыш выполнен из бронзы БрФ10 – 1 шириной 10 мм и длиной дуги контакта 20 мм.

Для определения зависимости интенсивности изнашивания от нагрузки испытания проводили при нагрузках: 50Н, 150Н, 200Н, 250Н, 300Н, 350Н, 400Н, а для определения зависимости интенсивности изнашивания от состава смазочного материала испытания проводим используя масло М8-В, масло М8-В + 3 масс. % присадки, масло М8-В + 5 масс. % присадки, масло М8-В + 10 масс. % присадки. Присадка содержит наноразмерные частицы графита. Все испытания проводили при скорости 360 об/мин.

Время испытания для каждой нагрузки составляло 120 мин. Предварительно произвели приработку образцов в течение 2 ч.

Износ (по потере массы) регистрировали на аналитических весах ВЛР-200 с погрешностью, равной 0,0001 г. Интенсивность изнашивания определяли по формуле:

$$I_h = \frac{\Delta m}{\rho \cdot A_a \cdot v \cdot t},$$

где Δm – изменение массы образца в результате изнашивания;

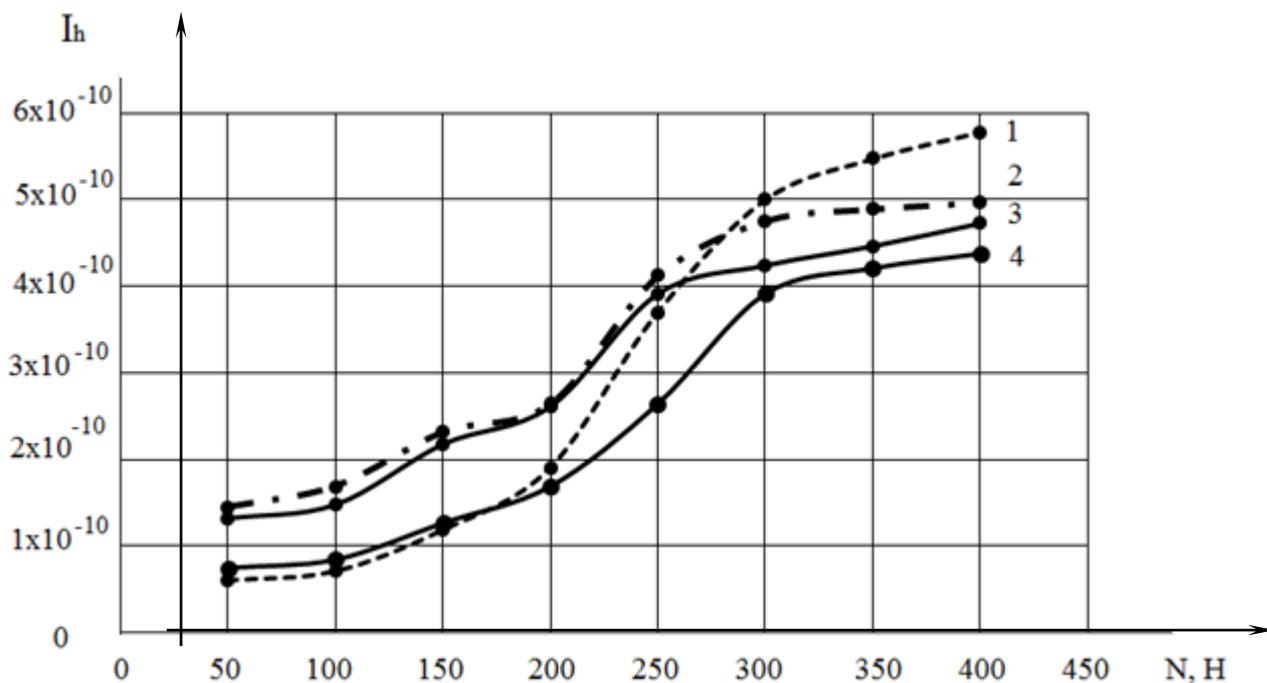
ρ – плотность материала исследуемого образца, для стали 45 – 7800 кг/м³, для бронзы БрОФ10 – 1 – 8760 кг/м³;

A_a – номинальная площадь поверхности трения, $2 \cdot 10^{-4}$, м²;

v – скорость вращения ролика, м/с ;

t – время динамического контакта, с.

По полученным данным строим график зависимости интенсивности изнашивания от нагрузки при различном составе смазочного материала.



1 – масло М8-В; 2 – масло М8-В + 3 масс. % присадки;
 3 – масло М8-В + 5 масс. % присадки;
 4 – масло М8-В + 10 масс. % присадки

Рисунок 1 – Зависимости интенсивности изнашивания от нагрузки при различном составе смазочного материала

Зависимость интенсивности изнашивания от нагрузки представляет собой возрастающую кривую. Это связано с тем, что при увеличении нагрузки увеличивается давление в пятне контакта и наблюдается уменьшение толщины смазочного слоя, что увеличивает вероятность разрушения граничного слоя между наиболее высокими выступами и

приведет к образованию прочных мостиков сварки, разрушение которых вносит значительный вклад в изменение массы. Кроме того, при высоких нагрузках вследствие многократных пластических деформаций будет повышаться температура в зоне контакта, благодаря этому произойдет снижение вязкости масла, возможна десорбция молекул и разрушение граничного слоя, в результате чего увеличится вероятность образования прочных мостиков сварки. Это приведет к увеличению изменения массы образцов, а следовательно, и к повышению интенсивности изнашивания.

Как видно на графике, добавление присадки, содержащей наноразмерные частицы графита, оказывает положительное влияние на интенсивность изнашивания при больших нагрузках. Кроме того, чем больше концентрация присадки, тем менее быстро увеличивается износ. Это может быть связано с тем, что присадка способствует образованию пленки на поверхностях трения, которая способна обеспечить высокую нагрузочную способность и низкое сопротивление сдвигу. На поверхности адсорбированной пленки может быть вторичная адсорбция полярных молекул. Благодаря этому сопротивление сдвигу между слоями становится значительно меньше сил адгезии к поверхности металла и снижается вероятность образования прочных мостиков сварки, поскольку уменьшается вероятность среза пленки и возникновения ювелирных участков поверхности. Кроме того, в результате упорядоченного расположения кристаллов присадки и благодаря поочередному разрушению межслойных связей при сдвиге и высокой адгезии к поверхностям трения, добавление присадки обеспечит хорошие смазочные свойства и высокую стойкость пленки к изнашиванию.

Таким образом, добавление присадки, содержащей наноразмерные частицы графита, в смазочный материал для тяжело нагруженных узлов трения позволит снизить интенсивность изнашивания и обеспечить более равномерное его распределение вдоль поверхностей трения.

Литература

1. Богданович, П.Н. Трение, смазка и износ в машинах : учебник / П. Н. Богданович, В.Я. Прушак, С.П. Богданович. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 527 с. : ил. – 1000 экз. – ISBN 978-985-458-219-1.

2. Покровский, Г.П. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Двигателя внутреннего сгорания» и «Автомобили и тракторы». – М. : Машиностроение. 1985. – 200 с., ил.

ПЛАНАРНЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ СВЧ СИГНАЛОВ

Электрически управляемые СВЧ ключи входят в целый ряд узлов современной аппаратуры: таких как СВЧ модуляторы, узлы защиты, коммутаторы СВЧ сигналов и др. При этом ключи не должны вносить существенного затухания сигнала во включенном состоянии и обеспечивать достаточную развязку в выключенном состоянии.

Обычно полупроводниковый СВЧ ключ строится на основе р-і-n диодов или СВЧ транзисторов. В любом случае имеются нежелательные параметры полупроводникового элемента в виде остаточного дифференциального сопротивления – r_s между замыкаемыми выводами и емкости – C_s – между размыкаемыми. Упрощенная эквивалентная схема полупроводникового ключевого элемента изображена на рисунке 1. – при последовательном включении полупроводникового элемента в линию передач, как показано на рисунке 2, паразитная емкость не позволяет получить достаточную развязку выключенного состояния уже на частотах в несколько ГГц. Использование элементов с меньшей C_s приводит к увеличению r_s и затухания сигнала во включенном состоянии. В связи с этим построение сверхширокополосных СВЧ ключей основано на комбинации последовательного и параллельного включений полупроводникового элемента в коммутируемую линию (рисунок 3).

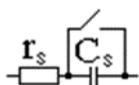


Рисунок 1



Рисунок 2

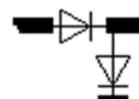


Рисунок 3

Подача положительного напряжения в точку соединения диодов переводит последовательный диод в выключенное состояние, а параллельный – во включенное. Шунтирование отключаемой линии параллельным ключом существенно улучшает развязку и позволяет строить СВЧ коммутаторы с рабочей полосой частот от долей до нескольких десятков ГГц [1]. Кроме того, подбором тока параллельного полупроводникового элемента удастся согласовать его остаточное сопротивление с волновым сопротивлением отключаемой линии и подавить возможные резонансные эффекты в ней [2].

Тем не менее, такое построение СВЧ ключа оптимально далеко не во всех случаях по следующим причинам. Добавление параллельного полупроводникового элемента за счет его r_s все же увеличивает затухание сигнала во включенном состоянии. Установка параллельного элемента

требует доступа к общей плоскости линии передач. Это нарушает компланарность конструкции, требует пробивку подложки, что связано с трудностями при использовании твердых подложек (ситалл, поликор и т. п.). Достижимая широкополосность ключа в несколько декад обычно не является его достоинством, поскольку реальные устройства работают в ограниченном частотном диапазоне, не более 10–20%.

При построении СВЧ переключателя 6 см. диапазона (4.3–5.3 ГГц) был обнаружен эффективный способ компенсации емкостной проводимости полупроводникового элемента, включенного последовательно в линию передач. Этот способ (рисунок 4) заключается в шунтировании полупроводникового элемента отрезком высокоомной линии передач.



Рисунок 4 – Схема шунтирования полупроводникового элемента

Длина и волновое сопротивление отрезка, названного нами обводной линией, могут быть оптимизированы на достижение максимальной развязки и широкополосности.

Известно, что отрезок линии передач, длиной меньше четверти длины волны, может выполнять роль индуктивного элемента, а его проводимость может компенсировать емкостную проводимость параллельно включенного полупроводникового элемента. Но таким способом можно получить только узкополосную (в относительной полосе 1–2%) компенсацию емкостной проводимости. Для получения широкополосной компенсации, в частотной полосе около 35% длина шунтирующего отрезка должна превышать четверть длины волны, а его волновое сопротивление удовлетворять определенному условию.

Опуская подробности расчетов приведем упрощенные формулы для оптимальной длины и волнового сопротивления отрезка «обводной линии». Длина отрезка l – это корень уравнения $\operatorname{tg}(x) = -x$, где $x = 2\pi l/\lambda$. Откуда

$$l = 0,323\lambda.$$

Волновое сопротивление Z_0 находится по формуле

$$Z_0 = 1,12/(\omega C_s)$$

В которой ω – центральная частота рабочего диапазона. При выполнении данных условий максимальная развязка реализуется на центральной частоте заданного диапазона.

На рисунке 5 показана топология СВЧ выключателя, построенного на р-і-п-диоде 2A543-5. Параметры данного диода: $r_s = 1,5$ Ом, $C_s = 0,22$ пф.

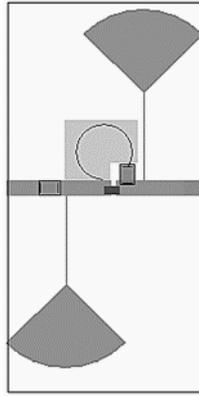


Рисунок 5 – Топология СВЧ выключателя

Все элементы выключателя: разделительные конденсаторы, диод, обводная линия расположены на верхней стороне подложки из поликора толщиной 1 мм. Отверстия в подложке не требуются. Сигнал управления подается на четвертьволновые секторы, которые блокируют на сигнальных частотах четвертьволновые дроссели в виде высокоомных линий. Диод включен в разрыв сигнальной линии, ширина которой 1 мм. Требуемое волновое сопротивление обводной линии равно 161 Ом. Получить такое волновое сопротивление на поликоровой подложке толщиной 1 мм невозможно. Поэтому обводная линия в виде проволоочки диаметром 0,15 мм расположена на пенопластовой прокладке толщиной 0,5 мм. На рисунке 5 прокладка показана, как светло-серый квадрат с вырезом под разделительный конденсатор.

При испытаниях данный выключатель показал следующие параметры: максимальные потери сигнальной мощности во включенном состоянии в диапазоне частот 4–6 ГГц – 0,3 дБ; Вносимое затухание в выключенном состоянии на частоте 5 ГГц – 37 дБ. Рабочий диапазон частот по уровню вносимого затухания в выключенном состоянии 30 дБ – 4–5,8 ГГц (36%).

На основе этого выключателя был создан СВЧ переключатель на два направления. Его топология приведена на рисунке 6.

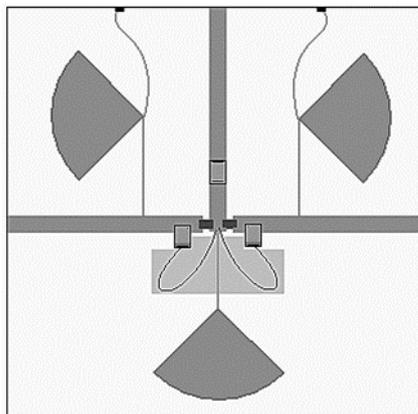


Рисунок 6 – Топология СВЧ выключателя на два направления

Изменение направления передачи сигнала с входной линии, расположенной на рисунке 6 вертикально, в одну из выходных, изображенных горизонтально, осуществляется изменение полярности управляющего напряжения. Это напряжение подается через токоограничивающий резистор в центр нижнего по рисунку четвертьволнового сектора. При испытаниях были получены следующие характеристики: Максимальные потери сигнальной мощности в диапазоне частот 4–6 ГГц – 0,5 дБ; полоса рабочих частот, определяемая по уровню развязки – 30 дБ – 4–5,6 ГГц.

Основным достоинством предлагаемого СВЧ ключа является его планарность – отсутствие отверстий в подложке и хорошие величины развязки и потерь сигнальной мощности. Полученные значения широкополосности (36%) не поражают воображение, в отличие от изделий указанных в [1, 2], но всегда удовлетворяют требованиям задач, возникающих на практике.

Поскольку емкостная проводимость полупроводникового элемента в данном ключе компенсируется, нет необходимости в ее минимизации. Это позволяет изготовителям п/п приборов оптимизировать их для различных частотных диапазонов по критериям минимизации потерь сигнальной мощности или достижения заданной полосы развязки СВЧ переключателей.

Литература

1. Белов Л. Переключатели сверхвысокочастотных сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2006. – № 1. – С. 20–25.
2. Devlin Liam. The Design of Integrated Switches and Phase Shifters // Proceedings of the IEE Tutorial Colloq. on «Design of RFICs and MMICs». Seattle, Washington, 1999. – P.1–9.

С.В. Перко, В.И. Грицков, В.В. Амбражей (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **С.К. Лазарук**, д-р физ.-мат. наук, профессор

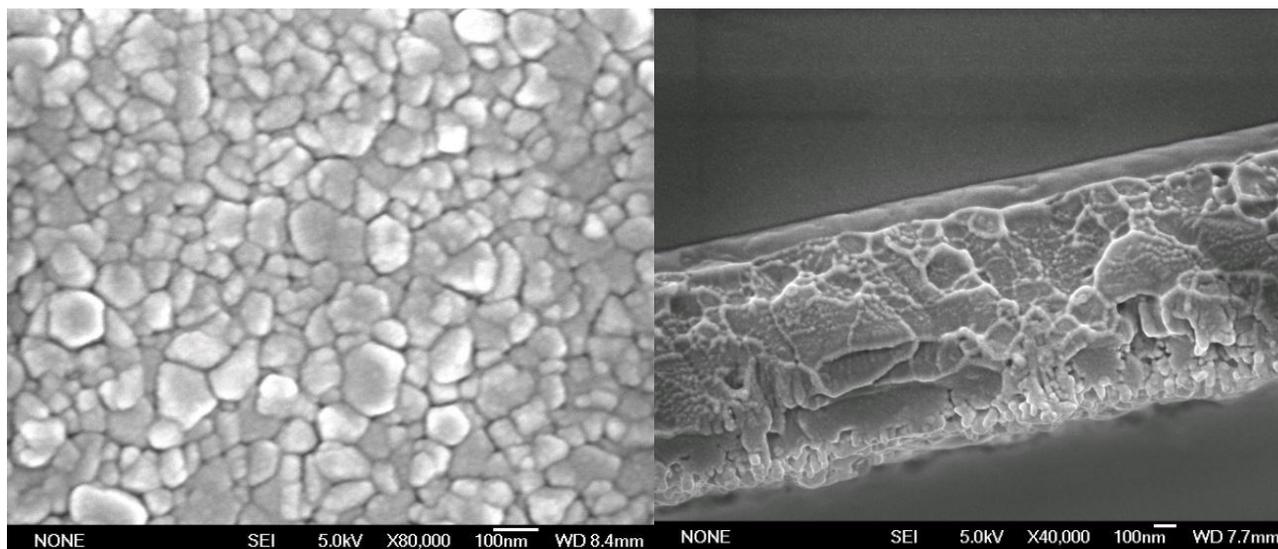
ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Разработан метод для формирования пористых наноструктурированных покрытий тугоплавких металлов.

Метод основан на совместном магнетронном распылении алюминия и тугоплавкого металла ряда Ti, W, Nb и др. Растворимость алюминия и тугоплавких металлов между собой ограничена, поэтому при охлаждении осажденных пленок наблюдается сегрегация атомов алюминия и

тугоплавкого металла. Следовательно, осажденные пленки являются композитными по своей структуре. Для того чтобы отделить атомы алюминия от атомов тугоплавкого металла использовалось селективное химическое травление, при котором атомы тугоплавкого металла, оставаясь на своих местах, формируют разветвленную пористую структуру.

Исследования проводились на основе тугоплавкого металла Ti. На рисунке 1 показаны микрофотографии композитной пленки алюминий-титан. Пленки состоят из зерен двух типов больших с размерами 50–200 нм и малых 5–20 нм.



а)

б)

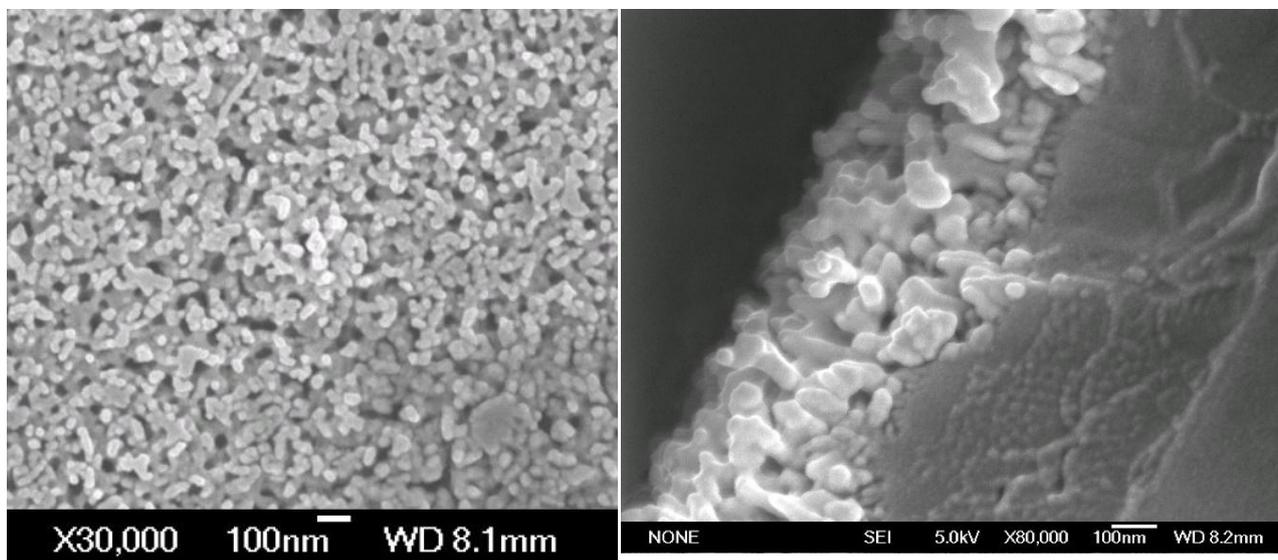
а – поверхность алюминиево-титановой пленки;

б - поперечное сечение алюминиево-титановой пленки;

Рисунок 1 – Микрофотографии композитной пленки алюминий – титан

Первый тип зерен типичен для магнетронно осаждаемых алюминиевых пленок, в то время как второй тип зерен наблюдается в магнетронно осаждаемых пленках тугоплавких металлов. Рентгеноспектральный анализ алюминиево-титановых пленок на границе больших зерен и внутри них показал повышенное содержание алюминиевых атомов на границе, в то время как повышенное содержание титановых атомов наблюдается внутри зерен. Похожая картина имеет место и в случае малых зерен. Проведенные исследования позволяют предложить механизм образования композитных пленок алюминий – тугоплавкий металл. Магнетронно распыляемые атомы алюминия и тугоплавкого металла достигают поверхности подложки равномерно. Из-за разной температуры перехода в твердое состояние вначале конденсируются атомы тугоплавкого металла. Имея более высокий атомный вес, атомы тугоплавкого металла выталкивают атомы алюминия к границам зерен, что и обеспечивает сегрегацию атомов двух металлов. Отметим, что полного

разделения атомов не происходит, а лишь наблюдаются области внутри зерен, обогащенные атомами тугоплавкого металла, и области на границах зерен, обогащенные атомами алюминия. Учитывая то, что размеры зерен находятся в нанометровом диапазоне, такие пленки можно отнести к нанокompозитным.



а) б)
а – поверхность пористого титана;
б – поперечное сечение пористого титана

Рисунок 2 – Микрофотографии пористых структур, полученных химическим травлением алюминия в нанокompозитных пленках алюминий – титан

На рисунке 2а представлены микрофотография пористой структуры на основе тугоплавких металла Ti, полученная химическим травлением алюминия в нанокompозитных пленках. Как видно из снимка «скелет» тугоплавкого металла представляет собой губкообразную сеть, напоминающую структуру пористого кремния р-типа проводимости.

На рисунке 2б представлены микрофотографии высокого разрешения поперечного сечения алюминиево-титановых пленок после вытравливания алюминия.

При термических обработках 400–500 С в среде, содержащей кислород, пористая структура тугоплавких металлов полностью окисляется, образуя пористый оксид.

Пленки наноструктурированных тугоплавких металлов ряда Ti, W, Ta могут быть использованы в качестве анодов литий-ионных аккумуляторов, а пленки пористого тантала перспективны для их использования в качестве покрытий имплантатов в медицине.

Т.Ю. Петрович (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **Н.Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ТОНКИХ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Тонкие оксидные пленки (толщиной от долей микрометра до нескольких микрометров), получаемые в вакууме, обладают уникальными свойствами и их применение позволяет эффективно решать научные и технические проблемы в целом ряде отраслей, в том числе и весьма перспективной и бурно развивающейся области – нанотехнологии. В связи с расширением возможностей применения таких покрытий, представляет интерес определения их оптических постоянных. Одним из наиболее широко применяемых методов определения таких постоянных является спектрофотометрических метод.

Для получения тонких оксидных пленок использовался метод электронно-лучевого испарения. Электронно-лучевые испарители позволяют получать тонкие пленки металлов, сплавов и диэлектриков. Хорошая фокусировка электронного пучка в этих испарителях позволяет получать большую концентрацию мощности (до $5 \cdot 10^8$ Вт/см²) и высокую температуру, что обеспечивает возможность испарения с большой скоростью даже самых тугоплавких материалов. Быстрое перемещение нагретой зоны в результате отклонения потока электронов, возможность регулирования и контроля мощности нагрева и скорости осаждения создают предпосылки для автоматического управления процессом. Метод позволяет получить высокую чистоту и однородность осаждаемой пленки, поскольку реализуется автотигельное испарение материала. Основные параметры, достижимые в электронно-лучевых испарителях: удельная скорость испарения – от $2 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ г/(см² · с); энергия генерируемых частиц – от 0,1 до 0,3 эВ; скорость осаждения частиц на подложке – от 10 до 60 нм/с [1].

Методом электронно-лучевого испарения в вакууме, были получены оксидные покрытия на основе SiO₂ и ZrO₂. Формирование оксидных покрытий осуществлялось с помощью установки вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенной источником электронно-лучевого испарения и системой контроля оптических характеристик.

После процесса очистки подложек, и их нагрева до температуры 200 °С осуществлялось нанесение покрытий на подложки испарением мишеней SiO₂ и ZrO₂ в вакууме при остаточном давлении $7 \cdot 10^{-3}$ Па.

Оптические постоянные полученных пленок были определены спектрофотометрическим методом. Данный метод основан на

измерении спектральных значений коэффициентов отражения R_λ или пропускания T_λ для ряда длин волн $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ выбранного участка спектра. Спектрофотометрические методы дают возможность получить дисперсионные характеристики показателей преломления и поглощения пленки во всем требуемом инфракрасном диапазоне спектра [2].

С помощью спектрофотометра Photon RT были получены спектральные кривые, по которым были определены показатель преломления и коэффициент поглощения, полученных оксидных покрытий. Полученные результаты для покрытия SiO_2 представлены в таблице 1, для покрытия ZrO_2 в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты определения показателя преломления и коэффициента пропускания покрытия SiO_2

SiO_2	Длина волны λ , нм						
	400	500	600	700	800	900	1000
Значение показателя преломления n	1,481	1,461	1,457	1,455	1,457	1,456	1,451
Значение коэффициента пропускания T , %	91,00	92,17	90,58	89,66	88,08	86,08	85,25

Таблица 2 – Результаты определения показателя преломления и коэффициента пропускания покрытия ZrO_2

ZrO_2	Длина волны λ , нм						
	400	500	600	700	800	900	1 000
Значение показателя преломления n	1,727	1,700	1,700	1,680	1,673	1,649	1,619
Значение коэффициента пропускания T , %	91,12	83,75	90,33	88,00	84,00	83,00	84,17

Используя спектральную интерференционную кривую коэффициента пропускания T покрытий SiO_2 и ZrO_2 и методику расчета оптических постоянных по спектральной интерференционной кривой коэффициента пропускания T , был произведен расчет показателя преломления и коэффициента поглощения. В результате, показатель преломления и коэффициент поглощения покрытия SiO_2 равны 1,469 и 0,332, покрытия ZrO_2 равны 1,712 и 0,670 соответственно.

Сравнив данные полученные экспериментально и данные полученные в результате расчета можно сделать вывод, что они фактически совпадают.

Литература

1. Волков, А.Н., Дьяченко, В.А., Клюкин, В.Ю. Вакуумная техника. Методы, технологические процессы и оборудование для нанесения покрытий: учебное пособие / А.Н. Волков, В.А. Дьяченко, В.Ю. Клюкин; М-во общего и проф. образования РФ, Санкт-Петербургский гос. технический ун-т. – Санкт-Петербург : СПбГТУ, 1996. – 43 с.

2. Котликов Е.Н., Андреев В.М., Новикова Ю.А. Определение оптических констант пленок на подложках из кремния / Сб. трудов Научная сессия ГУАП. – 2013. – ч. 1. – С. 167–170.

Е.В. Пивоварчик (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.Г. Лежава**, канд. техн. наук

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ ИЗ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ

В настоящее время ряд предприятий Республики Беларусь в качестве материала, используемого при изготовлении запорной или газовой арматуры, рекомендуют использовать медно-цинковые сплавы. Наибольшее распространение при изготовлении запорной арматуры получили сплавы марок ЛЦ40С и ЛЦ40Сд. Химический состав данных сплавов регламентирует ГОСТ 17711-93 [1]. При изготовлении вышеназванных изделий методом литья под давлением на поверхности отливок возникают дефекты, выраженные в появлении пятен на поверхности детали, что приводит к браку изделий по чистоте поверхности. К числу возможных факторов, способствующих появлению данного дефекта, следует отнести несоответствие химического состава шихтовых материалов, коррозию, технологические параметры заливки металла, чрезмерное смазывание поверхности пресс-формы и прессующего поршня минеральными маслами с добавлением порошкообразного графита.

В свою очередь точное определение химического состава выплавляемого сплава в значительной степени оказывает влияние на получение качественной отливки [2].

Установлено, что при определении химического состава с помощью икспрового эмиссионного спектрометра OBLF-QSW 750 и растрового электронного микроскопа TescanVEGAИLMU массовая доля основных компонентов практически одинакова, при этом разница в показаниях составляет в среднем 5 %. Также установлено, что использование данных приборов позволяет дополнительно определить вид и количество прочих примесей, присутствующих в расплаве (S, Cr, Co), что является

немаловажным аспектом при выборе рафинирующих флюсов и модификаторов.

Таблица 1 – Химический состав латуни марки ЛЦ40 по ГОСТ 17711-93

Наименование сплава	Марка сплава	Химический состав, %										
		Массовая доля основных компонентов и примесей, не более										
		Cu	Pb	Si	Sn	Sb	Mn	Fe	Al	P	Ni	Zn
Латунь свинцовая	ЛЦ40С	57–61	0,8–2,0	0,3	0,5	0,05	0,5	0,8	0,5	–	1,0	Остальное 33,4–38,6

Результаты исследования химического состава расплава представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования химического состава расплава латуни свинцовой марки ЛЦ40

Метод исследования	Массовая доля основных компонентов и примесей, %													
	Cu	Pb	Si	Sn	Sb	Mn	Fe	Al	P	Ni	Zn	S	Cr	Co
Стилоскоп «Спектр»	56,4	1,5	–	0,1	–	–	0,3	–	–	0,1	Остальное 41,6	–	–	–
Спектрометр OBLF-QSW 750	50,95	1,93	0,12	0,4	–	–	0,54	0,34	0,005	0,25	45,4	0,001	0,011	0,01
Растровый электронный микроскоп Tescan VEGAШLMU	52,5	1,8	0,13	0,35	0,05	0,13	0,44	0,31	–	–	44,29	–	–	–

Литература

1. Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки : ГОСТ 17711-93. – Переизд. – Взамен ГОСТ 17711-80; введ. 01.01.95 //

Москва, 2005. – Цветные металлы. Медь. Марки. Технические условия. – С. 18–23.

2. Немененок, Б.М. Контроль качества продукции металлургического производства : учеб. пособие / Б. М. Немененок, П. С. Гурченко, И. В. Рафальский. – Минск : БНТУ, 2007. – 407 с.

3. Латуни литейные в чушках. Технические условия : ГОСТ 1020-97. – Переизд. июнь 2013. – Взамен ГОСТ 1020-77; введ. РБ 01.01.2002. – Минск : Госстандарт, 2013. – 7 с.

В.С. Плисюк (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Петлицкий**, канд. физ.-мат. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР С ПЛЕНКАМИ ОКСИДА ДИСПРОЗИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СЛОЯ С ЛОВУШКАМИ ЗАРЯДА ДЛЯ ЯЧЕЕК ПАМЯТИ

Основным элементом любой современной интегральной схемы является МДП-транзистор, состоящий из областей истока и стока, сформированных в подложке монокристаллического кремния, и поликремниевого или металлического затвора, отделенного от подложки тонким слоем подзатворного диэлектрика. Существует большой класс интегральных схем, называемый запоминающими устройствами, основным элементом которых является запоминающая ячейка. Запоминающая ячейка представляет собой тот же МДП-транзистор, содержащий запоминающий слой, позволяющий сохранять записанную в ячейку памяти информацию. В качестве запоминающего слоя могут использоваться слои поликристаллического кремния, нитрида кремния, диоксида кремния с внедренными нанокристаллами германия. Постоянное совершенствование запоминающих устройств требует уменьшения размеров запоминающих ячеек памяти, в том числе и толщины диэлектрика. При этом появляется проблема утечки тока через тонкий диэлектрик.

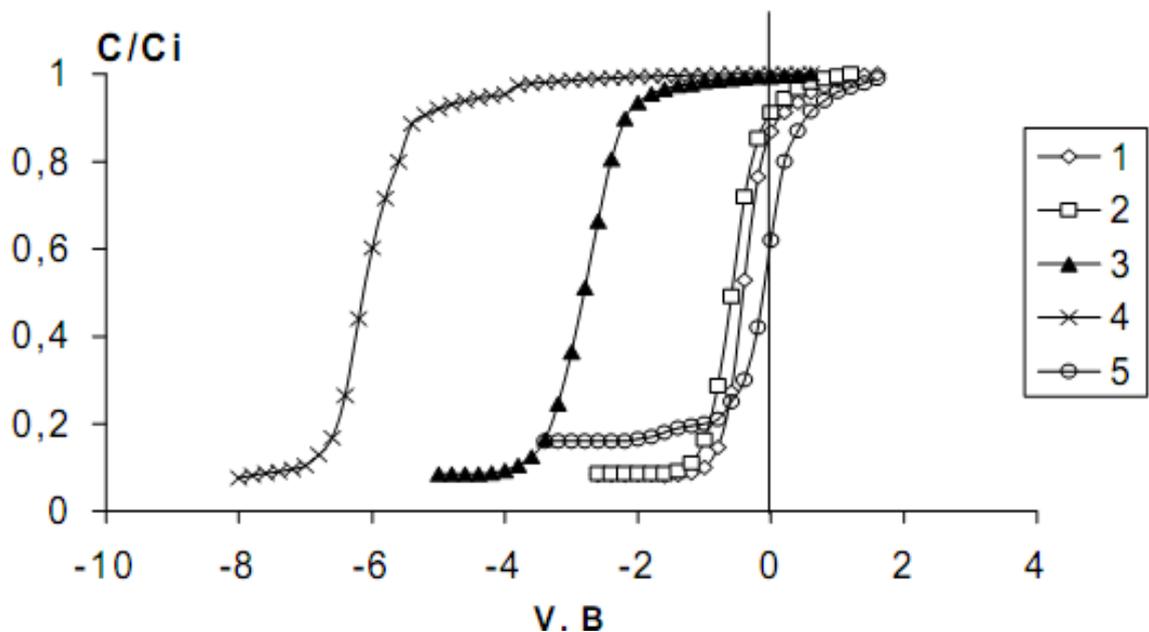
При уменьшении толщины окисла экспоненциально возрастает туннельная утечка между затвором и каналом. Помимо туннельной утечки, при уменьшении толщины наблюдаются и другие не очень желательные эффекты. В поликремниевом затворе вблизи границы раздела с окислом всегда существует область пространственного заряда, обедненная носителями, которая уменьшает емкость между затвором и каналом. Пока толщина этой области гораздо меньше, чем толщина окисла, ее влиянием можно пренебречь. Однако при уменьшении d_{ox} вклад ОПЗ затвора в эффективное расстояние между затвором и полупроводником и, как следствие, в рабочую емкость становится все более

значительным. В результате при том же напряжении на затворе глубина области инверсии в канале уменьшается, что приводит к падению тока I_{ON} открытого транзистора и возрастанию порогового напряжения V_T . При уменьшении в процессе масштабирования глубины ОПЗ в канале и возрастании электрического поля E_{eff} область инверсии становится настолько узкой, что начинают сказываться квантово-механические эффекты, приводящие к появлению в этой области дискретных разрешенных энергетических уровней. Это приводит к добавочному росту эффективной толщины диэлектрика, уменьшению емкости затвора и нагрузочной способности транзистора, а также к увеличению напряжения отсечки. Для решения этой проблемы в последнее время проводятся работы по использованию high-k диэлектриков в ячейках памяти.

Для high-k диэлектриков существует понятие эквивалентной толщины. Эквивалентной толщиной (EOT – Effective Oxide Thickness) называется такая толщина подзатворного SiO_2 , которая дает такую же емкость конденсатора C , что и рассматриваемая система с high-k диэлектриками. Благодаря большой физической толщине high-k диэлектрика имеет место подавление туннельного тока.

Было проведено исследование параметров МДП-структур с двухслойными пленками диоксида иттрия и диспрозия. Образцы для исследования изготавливались на кремниевых монокристаллических подложках марки КЭФ–5 с ориентацией (111). Пленки редкоземельных элементов наносились методом термического распыления редкоземельного металла в вакууме при давлении $(2-3) \cdot 10^{-5}$ Тор. На кремниевые подложки последовательно напылялись слои иттрия и диспрозия. Полученные слои окислялись в трубчатом кварцевом реакторе при температурах 500, 600, 700, 800 °С в течение 40 минут. Толщина каждого диэлектрического слоя оксида в исследуемых структурах лежала в пределах 350–450 Å. Контакты к диэлектрической плёнке изготавливались вакуумным термическим напылением алюминия через трафарет. С противоположной стороны кремниевой пластины наносился сплошной контакт из алюминия.

На рисунке показаны вольт-фарадные характеристики полученных МДП-структур. Одним из наиболее интересных материалов для использования в качестве high-k диэлектрика является оксид диспрозия, имеющий диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 18-20$, которая в 2 раза превышает диэлектрическую проницаемость нитрида кремния и в 5 раз превышает диэлектрическую проницаемость термического диоксида кремния. Пленки оксида диспрозия можно получать достаточно простым методом ионно-лучевого напыления металлического диспрозия и термическим окислением в кислороде при температурах (500–700) °С.



1 – 500 °С, 2 – 600 °С, 3 – 700 °С, 4 – 800 °С, 5 – идеальная ВФХ.

Рисунок 1 – Нормированные к емкости диэлектрика вольт-фарадные характеристики структур $\text{Al-Dy}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-nSi}$, полученных при различных температурах окисления двухслойной пленки РЗЭ

Как видно из рисунка, с повышением температуры окисления крутизна характеристик существенно не меняется, что свидетельствует о неизменной плотности быстрых поверхностных состояний на границе раздела полупроводник – диэлектрик. На графике наблюдается сдвиг экспериментальных вольт-фарадных кривых относительно идеальной, это свидетельствует о наличии встроенного положительного заряда в диэлектрике и на границе раздела полупроводник – диэлектрик.

Проведенные исследования показали, что оптимальными электрофизическими свойствами обладают МДП-структуры, в которых температура окисления пленок $\text{Dy}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ лежит в интервале от 500 °С до 700 °С.

Литература

1. Рожков В.А., Родионов М.А., Пашин А.В. Влияние температуры окисления двухслойной пленки из редкоземельных металлов на характеристики МДП-структур. // Вестник СамГУ, 2004. – Спец. выпуск. – С. 128–134.

А.С. Понедько (УО «МГУ им. А.А. Кулешова», Могилев)
Науч. рук. **Н.И. Стаськов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ДЛЯ НАКЛОННОГО ПАДЕНИЯ СВЕТА НА ПЛАСТИНУ СО СЛОЕМ

Спектрофотометрия отражения и пропускания является одним из наиболее перспективных методов неразрушающего оптического контроля толщины (h_f), дисперсии показателей преломления $n_f(\lambda)$ и поглощения $k_f(\lambda)$ интерференционного слоя, находящегося на миллиметровой стеклянной пластине. Для исследования таких структур используется либо неполяризованный свет [1], падающий нормально, либо ТЕ (s) и ТМ (p) поляризованный свет [2], падающий наклонно. При неограниченном фронте падающей волны суммирование геометрических прогрессий, учитывающих многократное отражение световых лучей от границ раздела приводит к простым выражениям для пропускательных и отражательных способностей пластины ($T_s(\lambda)$, $R_s(\lambda)$) и пластины со слоем ($T_t(\lambda)$, $R_t(\lambda)$, $R_{bt}(\lambda)$).

В случае безграничного фронта нормально падающей волны площадь сечения пучка света равна площади исследуемой зоны образца и все многократно отраженные или прошедшие лучи попадают на приемник спектрофотометра. Другими словами, в таком предельном случае наблюдается полное перекрытие падающих и прошедших или падающих и отраженных лучей. Частичное перекрытие этих пучков происходит из-за отражений и преломлений света на нижней грани толстой пластины [3].

В данном сообщении на примере слоя ZnO, который наносился на пластину К8 ($h_s=2.14$ мм), обсуждается возможность учета степени перекрытия пучков непосредственно для конкретного эксперимента при определении оптических характеристик слоя $n_f(\lambda)$ и $k_f(\lambda)$ двухугловым методом.

Для спектрофотометра Photon RT (ООО «ЭссентОптикс», г. Минск) минимальный угол падения (φ) света на образец равен 8^0 . Предположим, что перекрытие пучков в таком случае полное ($S 8^0 = 1$), а бугеровский коэффициент поглощения пластины $\alpha_s \lambda$ можно найти через выражение $\alpha_s \lambda = h_s^{-1} \ln (T_s \lambda + R_s \lambda^{-1})$. По физическому смыслу величина коэффициента $\alpha_s \lambda$ не зависит от угла падения. Поэтому, степень перекрытия пучков $S(\varphi)$ оценим по спектру $\alpha_s \lambda$ и спектрам $T_s(\lambda)$ и $R_s(\lambda)$, измеренным при другом угле падения.

Примем во внимание, что поглощательная способность структуры слой – подложка определяется суммой $A_t \lambda = A_f \lambda + A_s \lambda$. Тогда, при $\varphi > 8^0$ поглощение света слоем можно оценить по выражению

$$\alpha_f \lambda = \cos \varphi \frac{1}{h_f} \ln T_t \lambda + R_t \lambda^{-1} - \frac{S(\varphi)}{h_s} \ln T_s \lambda + R_s \lambda^{-1},$$

а спектр $k_f(\lambda)$ – по выражению $k_f \lambda = \alpha_f \lambda \lambda 4\pi^{-1}$.

С целью глубокой очистки поверхности пластин К8 были обработаны ионным пучком. Слой на открытой части пластины сформирован магнетронным ВЧ распылением мишени ZnO. Пластина с растущим слоем не подогревалась. Образцы после извлечения из вакуумной камеры допировались ионами Al.

ТЕ поляризованные спектры $T_s(\lambda)$, $R_s(\lambda)$ пластины без слоя и $T_t(\lambda)$, $R_t(\lambda)$, $R_{bt}(\lambda)$ пластины со слоем ZnO измеряли при углах падения 8^0 и 40^0 в спектральной области от 380нм до 950нм ($\Delta R R^{-1} = 10^{-3}$, $\Delta \lambda = 1.6$ нм). По экстремумам спектров $R_t(\lambda, 8)$ и $R_t(\lambda, 40)$ рассчитывались первые приближения $n_f(\lambda)$ и h_f [4]. По поглощательным способностям пластины $A_s(\lambda)$, пластины со слоем $A_t(\lambda)$ и слоя $A_f(\lambda)$ при двух углах падения рассчитывался спектр $k_f(\lambda)$. Эти приближения использовались при численном определении параметров структуры слой – пластина. На рисунке 1 приведены вышеперечисленные ТЕ экспериментальные (сплошные кривые) и рассчитанные (штриховые кривые) спектры ($\varphi = 40^0$).

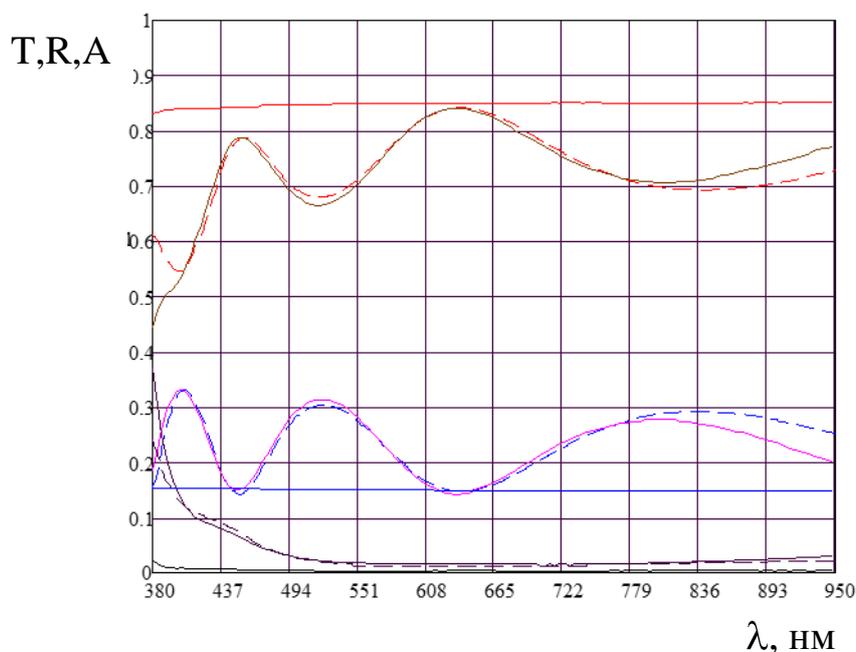


Рисунок 1 – Экспериментальные и рассчитанные спектры (сверху в низ): $T_s(\lambda)$ пластины; $T_t(\lambda)$ слоя ZnO на пластине; $R_t(\lambda)$ слоя ZnO на пластине; $R_s(\lambda)$ пластины; $A_t(\lambda)$ слоя ZnO на пластине; $A_s(\lambda)$ пластины и слоя $A_f(\lambda)$.

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Фотоника, опто- и микроэлектроника 1.3.03» (2016–2017 гг.).

Литература

1. Vriens, L. Optical constants of absorbing thin solid films on a substrate / L. Vriens, W. Rippens // *Applied Optics* – 1983. – V. 22. – № 24. – P. 4105–4110.

2. Minkov D. Computation of the optical constants of a thin dielectric layer on a transmitting substrate from the reflection spectrum at inclined incidence of light // *JOSA A*. 1991. – Vol.8, № 2. – P. 306–310.

3. Penzkofer, A. Optical constants measurement of single-layer thin films on transparent substrates / E. Drotleff, W. Holzer // *Optics Communications*–1998. – V. 158. – P. 221–230.

4. Филиппов В.В. Аналитический метод определения оптических постоянных и толщины поглощающих пленок по спектрам отражения // *Оптика и спектроскопия*. 1995. – Т.78, № 5. – С. 798–801.

А.В. Пуличев (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение. Важнейшей задачей, стоящей перед текстильной промышленностью, является улучшение качества и ассортимента изделий, которое в настоящее время возможно лишь при использовании новой прогрессивной техники и технологии. Повышение качества выпускаемой пряжи – важнейшая задача, решение которой будет зависеть от разработки и внедрения в производство нового технологического оборудования.

Эффективная работа текстильных предприятий, высокое качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции во многом зависят от технического состояния и работоспособности оборудования. Закупка нового оборудования всегда связана с большими капиталовложениями, а приобретение запасных деталей подчас проблематично, так как определенную долю машин на текстильных фабриках составляют зарубежные модели. В связи с этим возникает необходимость решения актуальной научной проблемы по разработке новых эффективных технологий ремонта текстильного оборудования и организации системы его сервисного технического обслуживания. Решение этой проблемы возможно на

основе разработки новых эффективных сборочных технологий и технологий восстановления работоспособности изношенных деталей машин с применением функциональных покрытий и современных комбинированных методов обработки, а также на основе проведения систематической оценки технического состояния оборудования [1, 2].

Целью исследований являлась разработка материаловедческих и технологических решений, повышающих эксплуатационный ресурс деталей и механизмов текстильного оборудования.

Методика исследований. В качестве объекта исследований выступали детали трибосопряжений ровничных машин – подвесная рогулька и шестерня вытяжного прибора.

На ровничной машине Zinser 668 устанавливаются рогульки фирмы HOLZ (Германия) модели UGKM. Нажимные пальцы рогульки (лапка рогульки) изготовлены из термически обработанной углеродистой стали с антистатической поверхностью.

В вытяжном приборе лента с ленточной машины вытягивается в ровницу. Наиболее быстроизнашивающимися элементами вытяжного прибора являются шестерни. На ровничных машинах фирмы Zinser модели 668 в вытяжном приборе применяют цилиндрические шестерни с косыми зубьями. Шестерни изготавливают из стали 45 с последующей термической обработкой – улучшением.

Для оценки параметров микроструктуры исследуемых сталей, подвергнутых различным видам термической обработки, использовали метод оптической микроскопии с помощью инвертированного металлографического микроскопа MDS. Триботехнические характеристики исследуемых материалов определяли по схеме «три индентора – по неподвижному диску» на микротрибометре FT-2.

Результаты и их обсуждение. На многих выпускаемых в настоящее время машинах используются подвесные рогульки и рогульки рамочного типа. Рогульки имеют полированную поверхность, что уменьшает трение ровницы о нее. Вторым направлением уменьшения трения и повышения износостойкости рогульки может быть применение антистатических полимерных покрытий на ее поверхности. Предложено в качестве материала износостойкого покрытия применять композиции на основе полиэфирной смолы, модифицированной частицами ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ), выпускаемого под торговой маркой «Форум». В данном случае матричный компонент обеспечит необходимые параметры прочности покрытия и электропроводности (придание антистатических свойств). Электропроводящие свойства покрытия позволят снимать статические электрические заряды с поверхности. Прочностные характеристики покрытия обеспечат стойкость к истиранию и воздействию механических нагрузок. Модификатор

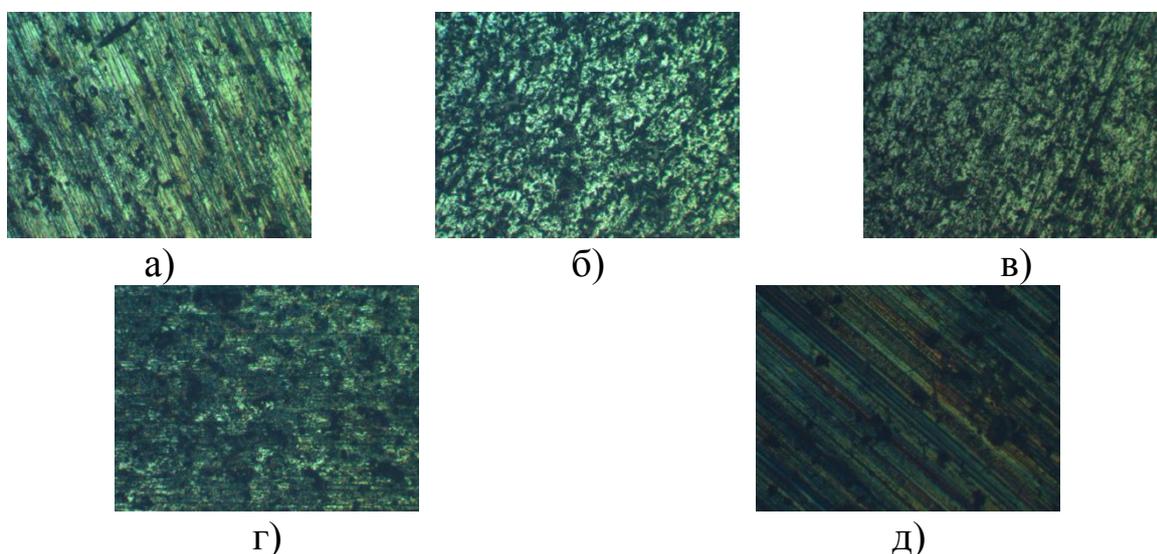
обеспечит низкий коэффициент трения и высокую износостойкость композиционного покрытия. В качестве технологии нанесения композиционного покрытия возможно применение метода электростатического напыления либо из псевдооживленного слоя порошка.

Особую роль в обеспечении высокой производительности работы ровничной машины и создании качественной продукции играет долговечность сменных и несменяемых шестерен, которые обеспечивают перевод оборудования на более высокие скоростные и силовые режимы. Выход из строя шестерен, чаще всего, связан с поломкой зубьев, износом их рабочих поверхностей из-за истирания и выкрашиванием.

Для повышения долговечности шестерен предложены следующие технологические и материаловедческие решения: 1) в качестве материала шестерни использовать сталь 3, подвергнутую криогенной обработке в среде жидкого азота, 2) в качестве материала шестерни использовать сталь пониженной прокаливаемости 60ПП, подвергнутую индукционному нагреву ТВЧ.

Результаты исследования микроструктуры сталей, используемых при создании шестерен вытяжного прибора ровничной машины, представлены на рисунке.

Исследования триботехнических характеристик образцов из стали 60ПП при различных видах технологического воздействия показали эффективность применения поверхностной закалки при нагреве ТВЧ.



- а) – сталь 3; б) – сталь 3 после криогенной закалки в течение 5 часов;
в) – сталь 3 после криогенной закалки в течение 5 часов;
г) – сталь 60ПП; д) – сталь 60ПП после закалки ТВЧ

Рисунок – Микроструктура сталей ($\times 125$)

Заключение. Таким образом, Эффективность использования предложенных решений подтверждена эксплуатационными испытаниями

шестерен, установленных в вытяжных приборах ровничных машин фирмы Zinser модели 668 на ОАО «Гронитекс», а также триботехническими испытаниями и металлографическими исследованиями модельных образцов.

Литература

1. Мнацакян, В.У. Технологические основы обеспечения точности и восстановления работоспособности деталей и узлов текстильных машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / В.У. Мнацакян; Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина. – Москва, 2006. – 423 с.
2. Гуляев, Е.С. Возможные решения проблемы износа деталей механических систем и исполнительных органов оборудования текстильного производства / Е.С. Гуляев, А.К. Прокопенко // Технология текстильной промышленности. – 2012. – № 1 (337). – С. 108–110.

В.О. Розмысл (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ ПОЛИАМИДОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕДИ

Введение. При разработке, создании и практическом применении наноматериалов и нанотехнологий необходим комплексный подход, основанный на междисциплинарных исследованиях, направленных на изучение структуры, свойств, энергетического состояния частиц наноразмерного диапазона [1].

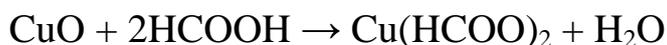
Одним из перспективных методов получения наночастиц металлов является термолиз металлосодержащих прекурсоров – солей неорганических и органических кислот, металлоорганических соединений. Данный метод широко используется для получения наноразмерных частиц металлов, оксидов в индивидуальном состоянии и в виде составных частей нанокомпозитов, в том числе и полимерсодержащих [2, 3].

В настоящее время для получения наночастиц из неорганических неметаллических материалов широко используется золь-гель метод. Самое существенное достоинство золь-гель метода заключается в том, что механические свойства золь и гелей позволяют применять их для получения волокон, пленок и композитов путем нанесения золя на подложку или пропитки пористого материала.

Целью данной работы являлась разработка технологии формирования композитов на основе алифатических полиамидов, модифицированных наночастицами, полученными золь-гель методом.

Методика исследований. В качестве объекта исследований выступали композиционные материалы на основе ПА 6 производства филиала «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот». Для улучшения эксплуатационных свойств функциональных полимерных покрытий из композиционных материалов на основе ПА 6 в качестве модификатора использовали наночастицы меди, полученные золь-гель методом.

Наночастицы меди получали термолизом формиата меди, образованного растворением оксида меди (II) CuO в муравьиной кислоте по следующей схеме:



Дальше получали частицы меди в виде геля:



Метод синтеза наночастиц меди включал получение золя с последующим переводом его в гель, т.е. в коллоидную систему, состоящую из жидкой дисперсионной среды, заключенной в пространственную сетку, образованную соединившимися частицами дисперсной фазы. Образование золя-геля осуществляли при следующих концентрациях компонентов: раствор желатина – 5–6 мл; аскорбиновая кислота – 250 мг; лимонная кислота – 30 мг; раствор формиата меди – 3–4 мл.

Формирование композиционных полимерных покрытий осуществляли в псевдооживленном слое порошка полиамида 6 с последующим распылением аэрозоля наночастиц меди, полученных золь-гель методом. Модификатор в виде геля вводили в расплав полиамида методом распыления с помощью пульверизатора.

Триботехнические характеристики покрытий определяли по схеме «три индентора – по неподвижному диску» на микротрибометре FT-2. При изучении морфологических особенностей и топографии покрытий применяли современные методы оптической и атомно-силовой микроскопии.

Результаты и их обсуждение. Исследования размерных характеристик покрытий, сформированных из разработанных составов смесевых композитов, показали, что толщина сформированного слоя покрытий варьируется в диапазоне 250 – 450 мкм.

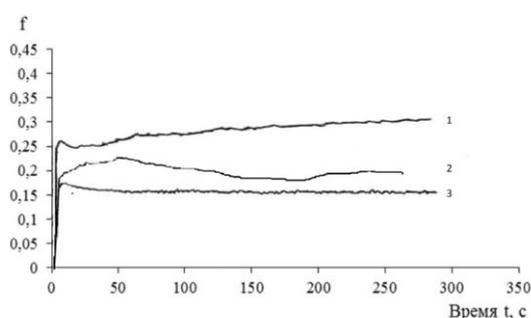
Результаты коррозионных испытаний показали, что введение наночастиц меди в состав функциональных покрытий из разработанных композиционных материалов на основе полиамида ПА 6 повышает стойкость против коррозии металлических образцов (изделий).

Измерения адгезионных характеристик полимерных покрытий свидетельствуют о том, что наилучшими значениями адгезионной прочности

обладает полиамид 11 и композит на основе полиамида ПА 6 с модифицирующей добавкой наночастиц меди, полученных золь-гель методом.

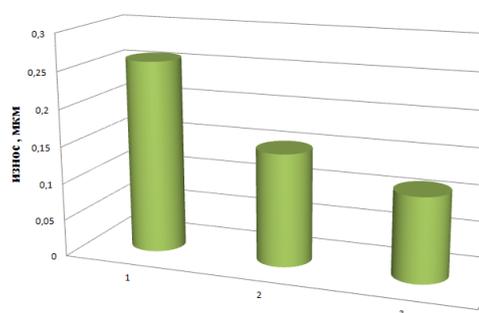
Триботехнические испытания функциональных покрытий (рисунки 1 и 2) свидетельствуют о благоприятном модифицирующем действии на триботехнические характеристики покрытий наночастиц меди. По параметрам триботехнических характеристик разработанный состав композиционного материала приближается к значениям параметров импортного аналога на основе полиамида ПА 11.

Результаты исследования морфологических особенностей покрытий из полиамида ПА 6 и композиционного материала на основе полиамида ПА 6, модифицированного наночастицами меди, полученными золь-гель методом, представлены на рисунке 3.



1 – ПА6; 2 – ПА6+Cu; 3 – ПА11

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трения от времени для полиамидных покрытий



1 – ПА6; 2 – ПА6+Cu; 3 – ПА11

Рисунок 2 – Величина линейного износа полиамидных покрытий



а) – ПА 6; б) – ПА 6 + Cu

Рисунок 3 – АСМ-изображения поверхности покрытий из алифатических полиамидов

Заключение. Таким образом, исследования адгезионно-прочностных, триботехнических и защитных характеристик покрытий из разработанных составов композиционных материалов на основе полиамида ПА 6, модифицированных наночастицами меди, полученными

золь-гель методом, показали возможность их эффективного применения в шлицевых соединениях карданных валов в качестве функциональных покрытий втулок шлицевых соединений карданных валов.

Литература

1. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М. : Физматлит, 2005. – 416 с.
2. Губин, С.П. Химия кластеров. Основы классификации и строения / С.П. Губин. – М. : Наука, 1987. – 263 с.
3. Помогайло, А.Д. Полимерные иммобилизованные металло-комплексные катализаторы / А.Д. Помогайло. – М. : Наука, 1988. – 303 с.

А.Г. Семашко (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ХОЛОДНО-ТВЕРДЕЮЩИХ ПЕСЧАНО-СМОЛЯНЫХ СМЕСЕЙ

В настоящее время в Республике Беларусь на предприятиях, занимающихся изготовлением отливок из черных и цветных сплавов, широкое применение находит технология изготовления форм и стержней из холодно-твердеющих смесей на смоляных связующих (ХТС-процесс). Это обусловлено такими технологическими преимуществами ХТС-процесса по сравнению с традиционным литьем в песчано-глинистые формы как: применение для изготовления форм и стержней единых компонентов (песок, смола, катализатор), высокая точность стержней и форм, возможность снижения вероятности образования пригара, отсутствуют дефекты отливок, связанные с подутием форм, их размывом, обрушениями, уменьшается количество газовых раковин; возможность получать отливки с высокой степенью точности и т. д. [1, 2].

Неотъемлемой частью технологии получения песчано-смоляных стержней является использование разделительных составов, которые существенно снижают действие сил адгезии между формой и стержнем и литейной оснасткой (соответственно между моделью и стержневым ящиком) в процессе формовки и как следствие уменьшают прилипаемость смеси к технологической оснастке. Разделительный состав после нанесения на модельную оснастку образует равномерную пленку, которая позволяет производить многократный съем при формовке, сохраняя геометрию форм без прилипания смеси к модели и стержневому ящику.

Целью настоящей работы является разработка состава разделительного покрытия, используемого при изготовлении песчано-смоляных стержней позволяющего уменьшить величину брака.

При разработке состава разделительного покрытия в качестве перспективных материалов была принята техническая олеиновая кислота марки Б14, соапсток (побочный продукт переработки растительных масел и жиров) и керосин технический КТ-1. Состав исследуемых разделительных покрытий на основе выбранных компонентов представлен в таблице 1. В качестве прототипа выступал состав: керосин технический 90 % с добавлением 10 % графита кристаллического литейного марки ГЛ-1.

Таблица 1 – Состав исследуемых разделительных покрытий на основе выбранных компонентов

Наименование компонента	Массовая доля основных компонентов в составе разделительного покрытия, %					
	1	2	3	4	5	6
Олеиновая кислота	50	70	90	–	–	–
Соапсток	–	–	–	50	70	90
Керосин	50	30	10	50	30	10

Нанесение составов разделительных покрытий на рабочую поверхность стержневого ящика осуществляли вручную с использованием щетки-сметки (квача), при этом не допускалось образование подтеков, наплывов и скоплений разделительного покрытия в углублениях, с целью, исключения возможности увлажнения поверхности стержня и снижения его поверхностной прочности. Время выдержки стержневой смеси в стержневом ящике, необходимое для затвердевания смеси составляло 10 мин. Температура затвердевания стержневой смеси составляла 18–20 °С. После выдержки и затвердевания стержневой смеси проводили извлечение стержня из оснастки вручную, посредством кантовки оснастки на 180°. Периодичность нанесения разделительного покрытия на поверхность стержневого ящика составляла 1 раз на 10 операций.

Качество изготовленного стержня контролировалось визуально на предмет обнаружения дефектов, таких как прилипимость стержневой смеси к литейной оснастке, появления на поверхности стержня сколов, трещин, подтеков, следов разделительного покрытия. При переходе к использованию следующего исследуемого состава разделительного покрытия поверхность стержневого ящика тщательно промывали керосином и затем, после удаления остатков стержневой смеси и смазки, протирали насухо ветошью. Исследования эффективности разработанных составов разделительных покрытий при изготовлении стержней проводили в

производственных условиях на ОАО «Лидский литейно-механический завод» (Беларусь) и оценивали по итоговому заключению о браке продукции, вызванному возникающими в процессе изготовления дефектами.

Установлено, что наименьшее число дефектов возникает при использовании разделительных составов с номерами 3 и 5. При этом наилучшими свойствами обладает состав номер 5. Данный состав на поверхность стержневого ящика хорошо наносится, не вызывая дефектов, извлечение стержня из литейной оснастки происходило свободно. Следует отметить, что нанесение данного состава на рабочие поверхности стержневого ящика можно осуществлять механизировано, путем распыления, ввиду невысокой вязкости.

Промежуточный результат показали составы с номерами 4 и 6. Сформованные и извлеченные стержни имели такие дефекты как прилипаемость, сколы, подтеки и следы разделительного покрытия на поверхности стержня. При этом дефекты в виде сколов проявлялись на ребрах стержня. Прилипание смеси к формирующим поверхностям стержневого ящика наблюдалось в углах стержневого ящика. Извлечение стержня требовало аккуратности во избежание откалывания крупных участков. За счет повышенной вязкости нанесение состава с номером 6 методом распыления не возможно. Худший результат получен при использовании прототипа, а также составов с номерами 1, 2. Установлено, что данные составы при их применении способствуют возникновению практически всех дефектов. Полученный результат можно объяснить тем, что данные составы ввиду незначительного количества основного смазочного компонента (олеиновая кислота, соапсток) не обеспечивают необходимой разделяющей способности, и тем самым вызывают прилипаемость стержневой смеси к технологической оснастке, которая в свою очередь приводит к возникновению большинства дефектов. За счет присутствия частиц графита в составе прототипе нанесение методом распыления разделительного состава затруднительно, при этом отмечается загрязнение частицами графита поверхности стержня.

В результате проведения исследований установлено, что в качестве разделительных составов, используемых при изготовлении стержней по ХТС-процессу, целесообразно использовать составы с номерами 3 и 5. Применение данных составов позволит уменьшить число дефектов, возникающих при изготовлении стержней, и как следствие способствует снижению брака и затрат на производство.

Литература

1. Болдин, А.Н. Литейные формовочные материалы. Формовочные и стержневые смеси и покрытия: Справочник / А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Семенов. – М. : Машиностроение, 2006. – 507 с.

2. Жуковский, С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник / С.С. Жуковский. – М. : Машиностроение, 2010. – 256 с.

3. Кукуй, Д.М. Теория и технология литейного производства: формовочные материалы и смеси / Д.М. Кукуй, Н.В. Андрианов. – Минск : БНТУ, 2005. – 361 с.

А.А. Симаньков (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **Е.В. Телеш**, ст. преподаватель

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛУПРОЗРАЧНЫХ МЕДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Для современных устройств отображения информации и оптоэлектроники (ЖК дисплеи, органические светодиоды, солнечные элементы, сенсорные панели и т. п.) требуется удельное поверхностное сопротивление s_s прозрачных электродов ниже 50 Ом/□. Прозрачные электроды с использованием оксида индия (ITO) давно и широко используются в промышленности и занимают 95% рынка прозрачных проводящих покрытий для сенсорных экранов и ЖК дисплеев [1]. Для снижения s_s можно применять серебряную нанопроволоку, медные и серебряные сетки, галогенид серебра. Эти технологические решения, по прогнозам, способны заполучить к 2017 году около 34% рынка. Для снижения s_s можно также использовать двухслойные композиции Ag/ITO и Cu/ITO [2].

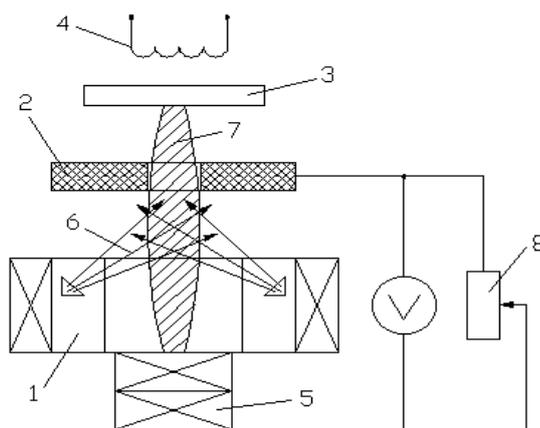
В последнее время в технологии отмечается тенденция отказа от слоя ITO, т.е. использование только полупрозрачных слоев металла, которые обычно наносят магнетронным распылением или химическим осаждением [3]. В данной работе будет исследовано формирование полупрозрачных медных слоев новым методом, использующим формирование ионного пучка металла с энергией 40...200 эВ, что обеспечивает отличную адгезию слоев к подложкам, микроструктуру с высокой плотностью, хорошую контролируемость процесса.

Формирование покрытий ионно-лучевым распылением в режиме ионно-пучкового фокуса проводилось с помощью модернизированного ионного источника на базе ускорителя с анодным слоем и коническим ионным пучком. Схема процесса генерации потока ионов меди из пучкового фокуса приведена на рисунке 1. Энергия конденсирующихся на подложку частиц возрастает с увеличением сопротивления резистора.

Проведены исследования влияния времени нанесения (толщины пленки), температуры подложки и напряжения на диафрагме на величину оптического пропускания на $\lambda = 555$ нм и удельное поверхностное

сопротивление медных электродов. Скорость нанесения составляла $\sim 0,07 \text{ нм}\cdot\text{с}^{-1}$ при неподвижной подложке из стекла К8. Толщина медной пленки варьировалась в пределах 2–12 нм.

На рисунке 2, а представлены зависимости пропускания медных электродов от времени нанесения и наличия напряжения на диафрагме U_d . С ростом толщины покрытия происходит монотонное снижение прозрачности с 83 до 45 % ($U_d = 0$, кривая 1)). При $U_d = 200 \text{ В}$ наблюдается небольшое повышение пропускания при $t > 1 \text{ мин}$ (кривая 2). Нагрев подложки практически не влияет на пропускание покрытия (рисунок 2, б).



1 – ионный источник; 2 – диафрагма из меди; 3 – подложка;
4 – нагреватель; 5 – дополнительный магнит; 6 – первичный ионный пучок; 7 – вторичный разряд; 8 – резистор

Рисунок 1– Схема процесса генерации потока ионов из пучкового фокуса

С ростом толщины медного слоя происходит уменьшение ρ_s до 20 Ом/□ (рисунок 3, а). Нагрев подложки, как правило, повышает адгезию покрытий, снижает механические напряжения в них, способствует увеличению проводимости металла. Поэтому для получения оптимального соотношения «пропускание–сопротивление» проведено нанесение электродов на нагретую подложку. Установлено, что это способствует снижению ρ_s до 14–16 Ом/□. Однако при $T_n > 473 \text{ К}$ происходит резкий рост сопротивления (рисунок 3, б). Это может быть связано с окислением меди, т.к. остаточный вакуум в процессе нанесения составлял всего $4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$. Наличие напряжения ($U_d = 200 \text{ В}$) на диафрагме позволило достичь $\rho_s = 11\text{--}12 \text{ Ом}/\square$ при $T_n = 365 \text{ К}$.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность разработанного метода и позволили определить оптимальные условия для формирования электродов с высокой прозрачностью и низким сопротивлением.

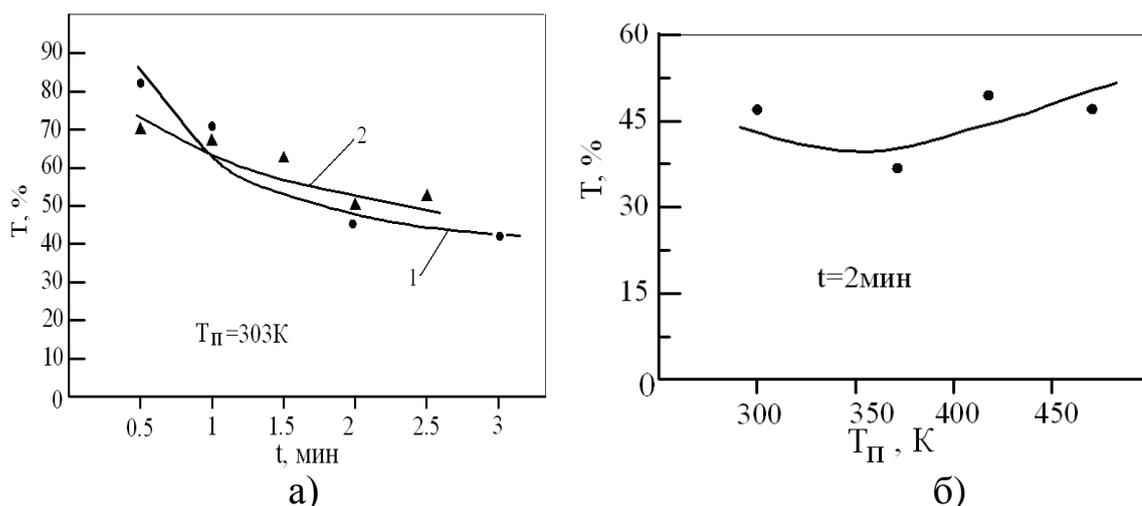


Рисунок 2 – Зависимость пропускания медных электродов от времени нанесения (а) и температуры подложки (б)

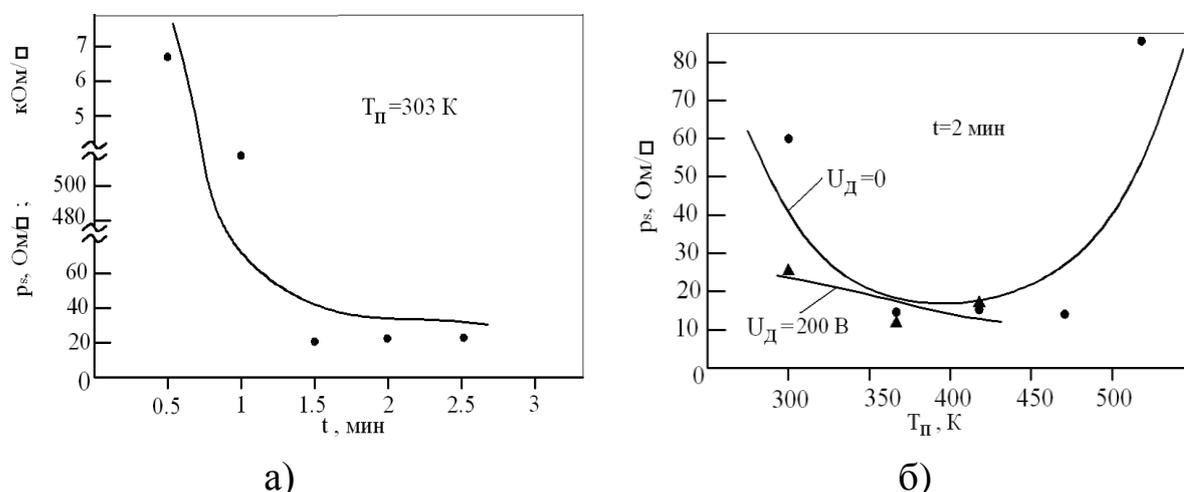


Рисунок 3 – Зависимость удельного поверхностного сопротивления электродов от времени нанесения (а) и температуры подложки (б)

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность разработанного метода и позволили определить оптимальные условия для формирования электродов с высокой прозрачностью и низким сопротивлением.

Литература

1. Singh, V. Indium Tin Oxide (ITO) films on flexible substrates for organic light emitting diodes / V. Singh, C.K. Suman and S. Kumar // Proc. Of Thirteenth International Workshop on The Physics of Semiconductor Devices. – 2006. – P. 388–391.
2. Kim, D. Properties of ITO/Cu/ITO multilayer films for application as low resistance transparent electrodes / D. Kim // Trans. Electr. Electron/Mater. – 2009. – V.10. – № 5. – P. 165–168.

3. Kang, M.-G. Semitransparent Cu electrode on a flexible substrate and its application in organic light emitting diodes/ M.-G. Kang, L.G.Guo // J. of Vac. Sci. and Technol. B. – 2007. – V. 25. – № 6. – P. 2637–2641.

Д.В. Слепенков (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **С.А. Хахомов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

КРЕМНИЙ И ЕГО СВОЙСТВА В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Обычно, кремний считается материалом используемым для систем, работающих в средней ИК-области спектра от 3 до 5 мкм, но фактически этот материал может использоваться в гораздо более широком диапазоне длин волн от 1,2 мкм до 1000 мкм и даже больше.

Задачей данного исследования является анализ свойств различных типов кремния, пригодных для использования в качестве подложки для размещения двумерного массива элементов, с целью получения поглощающего метаматериала в микроволновом диапазоне длин волн (в частности нас интересует область вблизи 300 мкм (1ТГц)). Такая подложка должна обладать высоким коэффициентом пропускания в выбранном диапазоне.

Рассмотрим три вида кремния:

- кремний оптический, выращенный методом Чохральского (OCz-Si),
- кремний оптический, выращенный методом зонной плавки (FZ-Si),
- кремний высокоомный оптический, выращенный методом зонной плавки (HRFZ-Si).

Выбор материала из этих трёх типов зависит от рабочего диапазона длин волн, толщины элемента и специфики применения образца. Рассмотрим кристаллы соответствующего типа (в зависимости от технологии изготовления, типа проводимости и сопротивления), чтобы достичь наилучшего пропускания в требуемой области спектра.

Надо отметить, что пропускание кремния не зависит от ориентации кристалла, так как кремний, имея кубическую симметрию, является изотропным кристаллом. На рисунке 1 показаны спектры пропускания кремния в ближнем и среднем ИК-диапазонах. Как видно, в диапазоне от 3 до 5 мкм нет практически никакой разницы в пропускании материалов всех используемых градаций и сопротивлений. Также все типы материалов имеют фоннные пики абсорбции, обусловленные решеточным поглощением в диапазоне от 6,5 до 25 мкм. Кремний, выращенный методом Чохральского, имеет пики на длинах волн 5,8, а также 9,1 и 19,4 мкм, индуцированные кислородным поглощением.

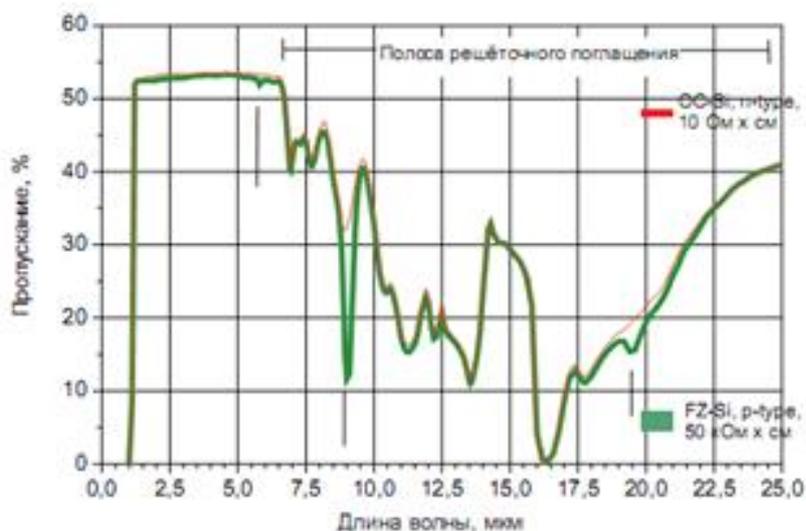


Рисунок 1 – Пропускание кремния в диапазоне 1–25 мкм (толщина образца 5 мм)

За счет гораздо меньшей концентрации кислорода (10^{16} см^{-3} вместо порядка 10^{18} см^{-3} в кремнии, выращенном методом Чохральского) кремний, выращенный методом зонной плавки, не имеет кислородных пиков и может использоваться для более критичных применений. Решёточное поглощение, так же как и кислородное поглощение, зависит от оптического пути луча внутри элемента (от толщины элемента), но не зависит от сопротивления. Таким образом, толщина элемента является достаточно критичным параметром в диапазоне 6–25 мкм.

В диапазоне от 3 до 5 мкм, обычно используемом в пирометрии и термографии, и даже до 6,5 мкм зависимость пропускания от толщины незначительна. Для больших длин волн поглощение становится существенным и пропускание сильно зависит от толщины. Для образца кремния, выращенного методом Чохральского, толщиной 5 мм среднее пропускание в диапазоне 8–10 мкм меньше 32% (для кремния, выращенного методом зонной плавки, около 38%) и только 18% в диапазоне 10–14 мкм (одинаково для кремния, выращенного методом зонной плавки и методом Чохральского).

Однако, кремниевые окна толщиной менее, либо около 1 мм могут быть успешно использованы во втором «атмосферном окне» от 7 до 14 мкм. В этом диапазоне среднее пропускание окна из кремния, выращенного методом Чохральского, с толщиной 0,5 мм превышает 51% и для кремния, выращенного методом зонной плавки, оно немного выше (около 51,9%) из-за отсутствия кислородной линии поглощения. Пропускание в дальнем ИК диапазоне показано на рисунке 2. Нужно обратить внимание на то, что, начиная с 21 мкм, нет разницы в пропускании

между кремнием, выращенным методом Чохральского и методом зонной плавки с одинаковым сопротивлением и типом проводимости. Для таких приложений (50 мкм и более) выгоднее использовать высокоомный кремний, выращенный методом зонной плавки, сохраняющий пропускание 50–54% до 1000 мкм. Максимальные размеры кристаллов, используемых для изготовления оптических приборов:

- кремний выращенный методом Чохральского – 300 мм;
- кремний выращенный методом зонной плавки – 150 мм;
- высокоомный кремний выращенный методом зонной плавки – 150 мм.

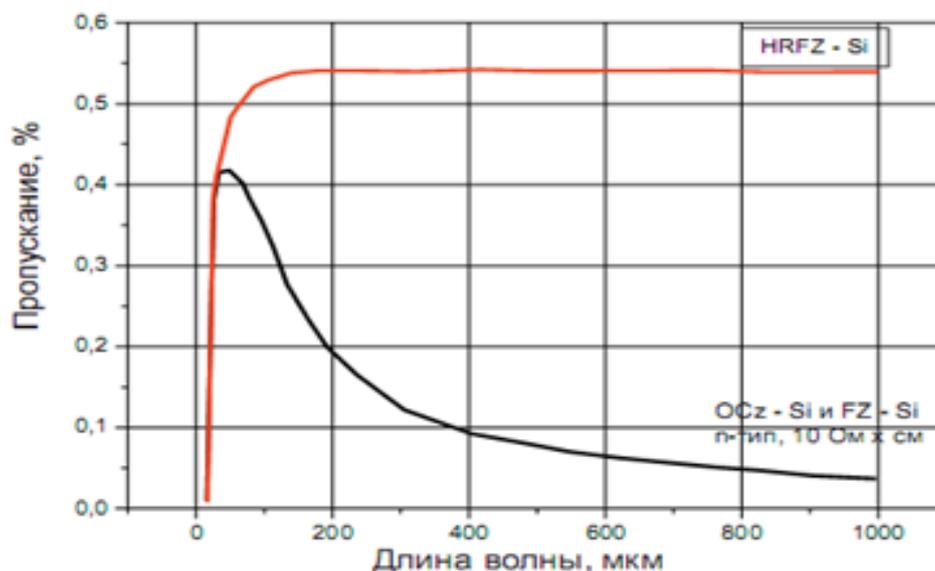


Рисунок 2 – Пропускание кремния, 16–1000 мкм (толщина образцов 5 мм)

Анализ трех типов кремния позволяет сделать вывод, что наибольшим коэффициентом пропускания в интересующем нас диапазоне длин волн является кремний высокоомный оптический, выращенный методом зонной плавки (HRFZ-Si).

Литература

1. Интернет портал компании ООО «Тидекс». – Санкт-Петербург 2017. – Режим доступа: <http://www.tydexoptics.com> /дата доступа: 18.04.2017.

2. Интернет портал компании ЗАО «Ай Эс Пи Оптика Санкт-Петербург» – Санкт-Петербург 2017. – Режим доступа: <http://www.ispoptics.ru> /. дата доступа : 18.04.2017.

Д.Ю. Слесарь (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Введение. В связи с бурным развитием аддитивного производства и методов быстрого прототипирования особый интерес для современных предприятий машиностроительного типа представляют 3D-принтеры. Сдерживающим фактором широкого применения в производстве 3D-принтеров наряду с металлообрабатывающим оборудованием является их низкая производительность, поэтому они в основном используются в условиях единичного и опытного производства, а также на стадиях проектирования новых изделий (концептуализации) и отработки их на технологичность путем изготовления макетов и прототипов [1, 2]. Исключительно важную роль методы быстрого прототипирования играют в промышленном дизайне при визуализации различных объектов. Основой для создания прототипов на базе 3D-принтеров служат методы трехмерного компьютерного моделирования [3, 4].

Целью исследований являлась визуализация и разработка прототипа ролика ленточного конвейера методами трехмерного моделирования и аддитивных технологий на базе 3D-принтера.

Методика исследований. В качестве объекта исследований использовали прототип ролика ленточного конвейера, выполненного из АБС-пластика методом послойного наращивания материала (FDM-технология). В качестве программной среды для создания 3D-моделей элементов конвейерного ролика использовали продукт SolidWorks 2014, основанный на твердотельном, поверхностном, каркасном и гибридном параметрическом моделировании. Создание сетки конечных элементов и инженерный анализ на напряженно-деформированное состояние элементов конвейерного ролика методом конечных элементов проводили в интегрированном SolidWorks CAE-модуле SolidWorks Simulation.

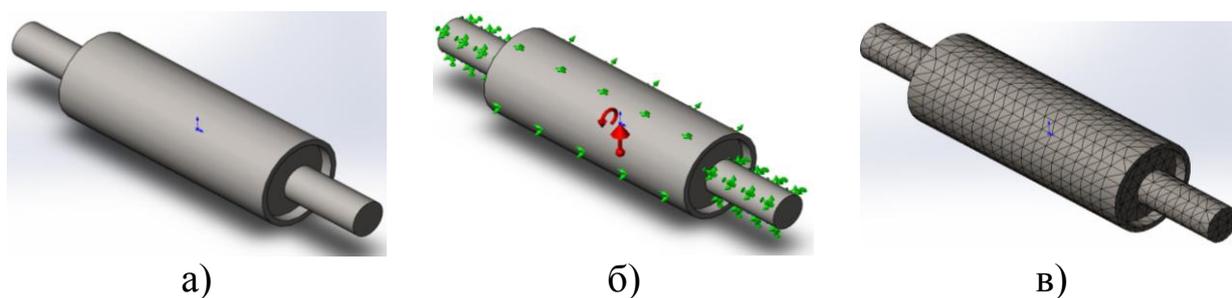
Создание макетов и трехмерных прототипов выполняли на базе аддитивных технологий с помощью 3D-принтера FlashForge Dreamer.

Результаты и их обсуждение. На сегодняшний день рынок аддитивных технологий в динамике развития опережает остальные отрасли производства. Наибольшая доля на рынке аддитивных технологий отводится методам быстрого прототипирования.

Процесс 3D-печати условно можно разделить на несколько этапов: 1) создание 3D-модели объекта (визуализация) вручную (в одной из систем САПР) либо автоматически с использованием одной из технологий 3D-сканирования с последующим сохранением ее в формате STL; 2) обработка stl-модели путем ее деления на слои (слайсинг); 3) печать объекта.

Нами предложена конструкция ролика ленточного конвейера, обладающая рядом преимуществ: быстросъемность и ремонтпригодность, технологичность производства комплектующих компонентов за счет отказа от процессов сварки, уменьшенная масса. Разработанные технические решения роликов были предложены на основании детальной проработки конструкции методом визуализации в среде трехмерного компьютерного моделирования SolidWorks и быстрого прототипирования путем создания макета ролика с помощью 3D-печати.

Исследование напряженно-деформированного состояния ролика проводили по критерию максимальных напряжений von Mises (статический анализ) в последовательности, представленной на рисунке 1.



а) – 3D-модель; б) – граничные условия; в) – сетка конечных элементов

Рисунок 1 – Последовательность выполнения виртуальных испытаний конструкции ролика ленточного конвейера

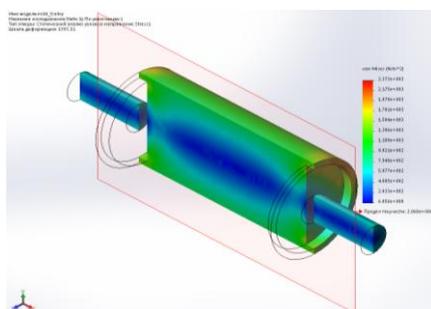


Рисунок 2 – Эпюра напряжений ролика ленточного конвейера



Рисунок 3 – Прототип ролика ленточного конвейера

Результаты виртуальных испытаний на напряженно-деформированное состояние ролика ленточного конвейера в виде эпюры напряжений представлен на рисунке 2. На рисунке 3 показан внешний вид полученного с помощью 3D-печати прототип ролика.

Заключение. Таким образом, применение средств трехмерного моделирования и технологий 3D-печати позволяют эффективно находить технические решения объектов промышленного дизайна на стадии проектирования за счет визуализации и детальной проработки их конструкции, а также создавать конкурентоспособную наукоемкую продукцию

высокого качества с минимальными экономическими затратами. Разработанные инновационные решения роликов ленточных конвейеров, представленные в данной работе, выполнены с применением средств трехмерного моделирования и быстрого прототипирования. Полученный прототип ролика можно использовать в качестве демонстрационного макета элемента автоматизированной системы перемещения грузов в рамках учебной дисциплины «Автоматизация производственных процессов».

Литература

1. Витязь, П.А. Оперативное макетирование и производство изделий сложной формы из композиционных материалов / П.А. Витязь, А.Ф. Ильющенко, М.Л. Хейфец // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2011. – № 2. – С. 3–8.
2. Филатов, С.А. Энергоэффективные аддитивные технологии / С.А. Филатов // Энергоэффективность-2014: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–16 октября 2014 г. / Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси; под общ. ред. В.М. Асташинского. – Минск, 2014. – С. 166–169.
3. Ившин, К.С. Принципы современного трехмерного моделирования в промышленном дизайне / К.С. Ившин, А.Ф. Башарова // Архитектон: Известия ВУЗов. – 2012. – № 39. – С. 101–113.
4. Водин, Д.В. Применение 3D-принтеров и 3D-печати для создания прототипа технических систем / Д.В. Водин, М.В. Соколов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы II междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 2016 г. /ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; под общ. ред. В.А. Немтинова; в 2 т. – Тамбов, 2016. – Вып. 2. – Т. 1. – С. 261–266.

Е.В. Столяревская, Н.Н. Курьян (УО «ГрГУ им. Янки Купалы», Гродно)
Науч. рук. **С.С. Ануфрик**, канд. физ.-мат. наук, профессор

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАТРИЯ В КРАСНОЙ ГЛИНЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Глина – мелкозернистая осадочная горная порода, пылевидная в сухом состоянии, пластичная при увлажнении [1]. Из глины можно изготавливать различные экологически чистые материалы, такие как посуда, чайники, плитка, кирпич, горшки для цветов и многое другое. Глины широко применяются в промышленности (в производстве керамической плитки, огнеупорных кирпичей, тонкой керамики), строительстве

(производство кирпича, керамзита и др. строительных материалов), для бытовых нужд, в косметике и как материал для художественных работ.

Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия (ЛИЭС) – один из методов атомно-эмиссионного спектрального анализа, в котором используют спектры плазмы лазерного пробоя (лазерной искры) для анализа твёрдых образцов, жидкостей, газовых сред, взвешенной пыли и аэрозолей [2]. Метод основан на возбуждении атомов элементов материала пробы импульсом лазерного излучения, сфокусированным на поверхность пробы, регистрации спектров излучения атомных элементов, измерении аналитических сигналов, пропорциональных интенсивности спектральных линий, и последующем определении массовых долей элементов с помощью градуировочных графиков. Рентгенофлуоресцентная спектрометрия (общепринятое обозначение – XRF, РФА, РФС) – метод анализа, используемый для определения концентраций элементов от серы (№ 16) до урана (№ 92) в диапазоне от 10^{-6} до 100 % в веществах и материалах различного происхождения [3].

В качестве объектов исследования были взяты образцы красной глины, используемой для изготовления облицовочной керамической плитки (ГОСТ 6141-91) на предприятии ОАО «Керамин». Для получения количественных данных использовался метод добавок [4]. В качестве добавки, в красную глину, использовалась поваренная соль (NaCl) содержащая 39,6 % натрия. Градуировочный график, для определения содержания натрия в пробе красной глины, представлен на рисунке 1. Из таблиц спектральных линий выбирались две наиболее интенсивные линии натрия $\lambda_1 = 588.984$ нм и $\lambda_2 = 589.581$ нм. Поскольку, увеличение концентрации добавки натрия, приводило к образованию пика обратного рассеяния, и соответственно к снижению интенсивности спектральной линии $\lambda_2 = 589.581$ нм, то в качестве аналитической спектральной линии была взята линия $\lambda_1 = 588.984$ нм. Экстраполируя, прямую для $\lambda_1 = 588.984$ нм, на ось абсцисс (концентрация добавки, %), была получена концентрация натрия в пробе – $C_{Na} \approx 0,26$ %.

Для уточнения результатов был проведен спектральный анализ элементного состава облицовочной керамической плитки с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора (Elva X). Анализ данных указывает на то, что в глине присутствует 32 химических элемента, из которых: 16 – составляют переходные металлы (Fe, T, Mn, V, Cr, Zn, Zr, Ni, Co, Cu, W, Cd, Mo, Nb, Y, Hg) 0,8 – 24459,9 мкг/г, 2 – щелочные металлы (K, Rb) 23,3–26339,3 мкг/г, 5 – другие металлы (Pb, Sn, In, Ga, Bi) 3,0 – 34,1 мкг/г, 2 – другие неметаллы (S, Se) 0,9 – 30146,2 мкг/г, 2 – полуметалла (Sb, Ge) 5,2 – 76,7 мкг/г, 4 – щелочноземельные металлы (Ca, Ba, Mg, Sr) 119,1 – 93522,1 мкг/г, 1 – галоген (Cl) 10737 – 21013,8 мкг/г.

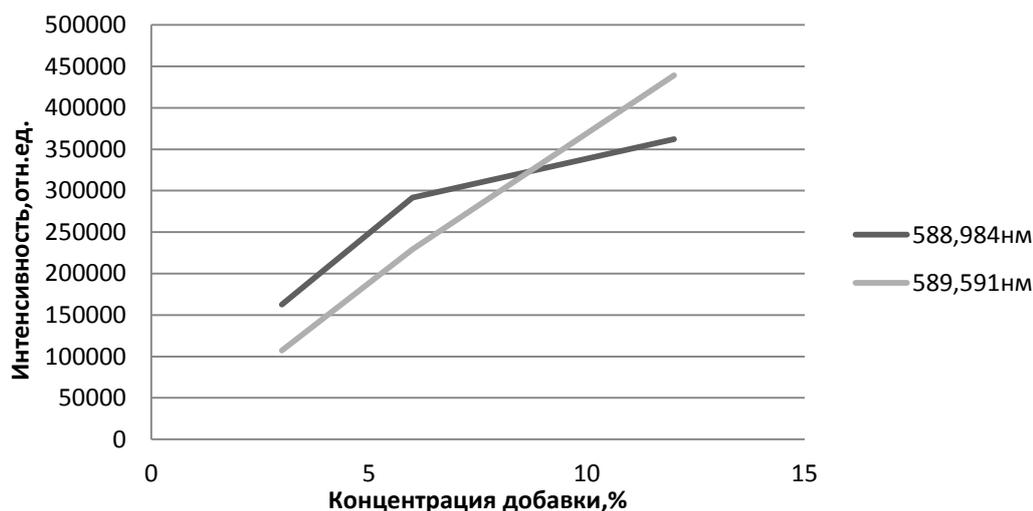


Рисунок 1 – Градуировочный график, для определения содержания натрия в пробе красной глины

Выводы. Были проведены лазерно-эмиссионный и рентгенофлуоресцентный спектральные анализы красной глины для изготовления облицовочной керамической плитки. Методом LIBS были определены интенсивности анализируемых спектральных линий 9 химических элементов (Na, Mg, Al, Si, Ca, K, Ti, Fe, S) с абсолютной погрешностью измерений ~ (25–2123) отн. ед. и относительной погрешностью измерений ~ (0.04–0.49) %. Сравнительный анализ результатов исследования элементного химического состава методом LIBS и РФА, указывает на то, что лазерно-эмиссионный анализ предпочтительно использовать для определения концентрации всех компонентов глины, кроме K, Ti, поскольку относительная погрешность измерений данных элементов выше в 8.2 раза (Ti) и в 2.2 раза (S). Из-за границ обнаружения химических элементов, прибор Elva X не может быть использован для определения концентраций элементов: Na, Mg, Al и Si.

Литература

1. Глина. [Электронный ресурс]. / Все о геологии / – Режим доступа: <http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0> – Дата доступа: 20.09.2016.
2. Радиемски, Л. Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия / Л. Радиемски, Д. Кремерс. – М.: Техносфера, 2009. – 306 с.
3. Ануфрик, С.С. Спектральный анализ элементного состава древесноволокнистой плиты / С.С. Ануфрик, К.Ф. Зноско, Н.Н. Курьян // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. – 2015. – № 3(199). – С. 83–92.
4. Зырин, Н.Г. Спектральный анализ почв, растений и других биологических объектов / Н.Г. Зырин, А.И. Обухов. – М.: Наука, 1977. – 200 с.

А.С. Строгова (УО БГУИР, Минск)

Науч. рук. **А.А. Ковалевский**, канд. техн. наук, доцент

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОКЛАСТЕРОВ КРЕМНИЯ, ГЕРМАНИЯ, ТВЕРДОГО РАСТВОРА КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЙ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В последнее время все большее применение в микроэлектронике находят энергонезависимые элементы памяти на МДП-структурах с плавающим поликремниевым затвором (Flash EEPROM) [1–8]. Для работы такого элемента (время хранения информации 10 лет) туннельный диэлектрик, входящий в состав Flash EEPROM, должен обладать свойствами, которые бы предотвращали потерю заряда на плавающем затворе при обычных условиях хранения и считывания информации. Для оксида кремния (SiO_2) с диэлектрической проницаемостью (ϵ), равной 3.9, толщина туннельного диэлектрика должна быть достаточно большой (~ 7 нм). Большая толщина туннельного оксида делает необходимым использование больших рабочих напряжений для инжекции заряда на плавающий затвор. Большие рабочие напряжения, в свою очередь, приводят к большей потребляемой мощности и отказам, вызванным деградацией туннельного диэлектрика вследствие инжекции горячих носителей заряда [3–5].

Электрофизические свойства самых новых диэлектрических пленок и границы раздела диэлектрик/кремний хуже, чем у SiO_2 и границы раздела SiO_2/Si , так как пленки диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью и граница раздела диэлектрик/кремний содержат большое количество дефектов. Очень высокое локальное электрическое поле в поликристаллических диэлектриках с высокой диэлектрической проницаемостью – TiO_2 ($\epsilon \sim 60\div 100$) и $(\text{Ba}, \text{Sr}) \text{TiO}_3$ ($\epsilon \sim 200$), приводит к снижению напряженности поля пробоя в пленках, а значит и к высоким токам утечек.

Исследования показали, что элементы памяти с толщиной туннельнотонкого SiO_2 (2.3 нм) имеют приемлемые характеристики программирования с довольно низким напряжением программирования, но теряют до $\sim 25\%$ накопленного заряда в процессе работы. Другими словами, при увеличении быстродействия элементов памяти уменьшается время хранения заряда за счет токов утечек. Таким образом, улучшать одновременно характеристики, как программирования, так и хранения информации очень трудно, так как обе эти характеристики зависят от величины тока через туннельнотонкий диэлектрик. Поэтому при производстве элементов памяти отдается предпочтение той или другой характеристике, в зависимости от того, для каких целей предназначается память, или же ищется компромисс между этими характеристиками.

Для дальнейшего развития технологии производства Flash EEPROM необходимы поиск новых перспективных материалов для подзатворного диэлектрика, глубокие знания о природе границы раздела диэлектрик/полупроводник и зависимости электрофизических свойств данной границы от условий получения, которые определяют возможность управления свойствами этой границы.

Одним из направлений создания Flash EEPROM является развитие технологии создания слоистых структур на основе нанокластеров кремния, германия, твердого раствора кремний-германий и редкоземельных элементов.

Нами получены и исследованы слоистые структуры на основе матриц диоксида кремния и оксидов редкоземельных элементов с внедренными в нее нанокластерами кремния, германия и твердого раствора кремний-германий (рисунок 1, 2).

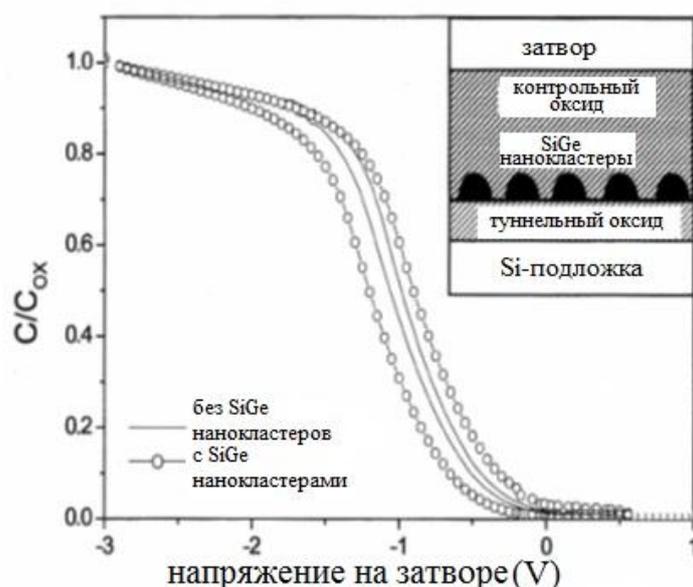


Рисунок 1 – Идеальная $C-V$ характеристика МДП-структуры с нанокластерами из твердого раствора кремний-германий и без них

Перенос носителей заряда в структурах с кластерами и без них объяснен по результатам снятых вольт-амперных характеристик (ВАХ) с учетом теории токов, ограниченных пространственным зарядом (ТОПЗ). В то же время для структур с кластерами перенос носителей осуществляется не только по механизму ТОПЗ, но также имеет место механизм туннельного переноса носителей между электронными уровнями кремниевых, германиевых и кремний-германиевых включений и зоной проводимости поликристаллической пленки кремния при приложении сильных электрических полей – порядка 10 В/мкм. Динамические ВАХ, снятые в диапазоне от 1 до 100 кГц для структур с кластерами и без них, показали, что в структурах без кластеров максвелловское

время релаксации (МВР) выше пролетного времени, поэтому для этих структур наблюдается более раннее заполнение ловушек и невозможность разрядить их, пока поле меняет направление.

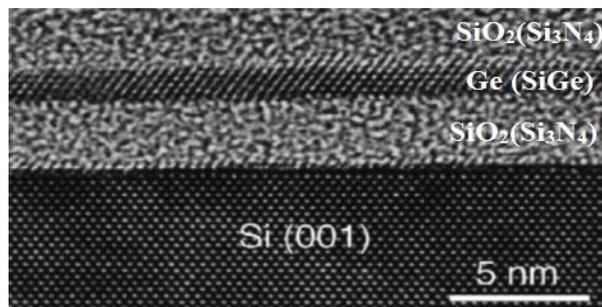


Рисунок 2 – Тестовая МДП структура

В структурах с кластерами МВР меньше, что, по-видимому, связано с тем, что состояния, которые создают кластеры, являются более быстрыми, и они успевают сбросить заряд, пока поле меняет знак.

Также были сняты спектры оптического поглощения для обоих типов структур. Из них было определено, что поглощение света в диапазоне длин волн 350–1200 нм различается для структур с кластерами и без них. Так, для структур с нанокластерами значение оптического поглощения по сравнению со структурами без кластеров на 50 % больше. Для структур с кластерами максимум оптического поглощения имеет место на длине волны 530 нм, что, скорее всего, связано с поглощением в слое нанокластеров. Аналогичный максимум для структур без кластеров находится на длине волны 550 нм и имеет меньшее значение.

Литературы

1. Жигулин, Д.В. Электрофизические свойства кремниевых МДП-структур с пленками оксида диспрозия / Д.В. Жигулин, Н.В. Бабушкина // Вести Национальной Академии Наук Беларуси, серия физико-математических наук. – 2006. – № 5. – С. 68–70.
2. Bu, J. Design considerations in scaled SONOS nonvolatile memory device / J. Bu, M.H. White // Solid state Electronics. – 2001. – V. 45. – P.113–121.
3. Zacharias, M. A comparative study of Ge nanocrystals in SiGe_yO_z and $\text{SiO}_x/\text{GeO}_y$ multilayers. / M. Zacharias, R. Weigand // J. Appl. Phys. – 1997. – V.81. – № 5. – P. 2384–2390.
4. King, Ya-Chin MOS Memory Using Germanium Nanocrystals Formed by Thermal Oxidation of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ / King Ya-Chin, King Tsu-Jae and Hu Chenming // IEEE Transaction on Electron Devices. – 1998. – V. 45. № 9. – P. 531–534.
5. Гриценко, В.А. Новый элемент памяти для электрически перепрограммируемого запоминающего устройства на основе диэлектрика

ткани в результате процесса диффузии и восстанавливает нормальный клеточный метаболизм в зонах гипоксии.

Лазерно-индуцированный метод разрушения комплекса карбоксигемоглобина в тканях может быть полезен в различных областях.

В медицинской практике особое место занимает контроль процесса газообмена между организмом и окружающей средой. Транспорт кислорода осуществляется гемоглобином путем микроциркуляции крови по кровеносным сосудам и капиллярам. Снижение объемного кровотока в биоткани (ишемия), или пониженное содержание кислорода в артериальной крови (гипоксемия) приводят к дефициту кислорода в ткани - гипоксии. Кислород является ключевым элементом в метаболизме клеток и его транспорт осуществляется гемоглобином (Hb) от легких ко всем тканям.

Аэробный метаболизм клеток является первичным в механизме обеспечения тканей энергией. Дефицит кислорода в ткани влияет на эффективность метаболизма клеток и затрудняет медикаментозное лечение. Восстановление концентрации кислорода до уровня, адекватного нормальному метаболизму клеток становится критичным и обычно достигается путем дополнительной оксигенации биоткани кислородом.

В клинической практике, для устранения нехватки кислорода в тканях используются различные методы, в частности, метод принудительной вентиляции легких чистым O₂ при атмосферном давлении. Эффективность насыщения тканей кислородом была существенным образом повышена с использованием технологии гипербарической оксигенации (ГБО), основанной на воздействии чистым кислородом, в специальной камере, при избыточном давлении O₂ над атмосферным [1]. В методе ГБО для устранения гипоксии приходится подвергать избыточному воздействию O₂ весь организм, что вызывает интоксикацию чистым кислородом.

Было установлено, что процесс отравления угарным газом организма человека связан с формированием комплекса гемоглобина с угарным газом. [2] Стабильность комплекса HbCO превышает стабильность комплекса с кислородом – оксигемоглобина крови, что вызывает гипоксию. Общим подходом в решении проблемы устранения гипоксии является локальное повышение концентрации O₂ в ткани путем его диффузии извне через кожный покров. Широко используется в практике метод – принудительной вентиляции легких чистым кислородом и метод ГБО.

В данной работе показано, что фотодеструкция карбоксигемоглобина крови *in vivo* позволяет устранить отравляющее действие угарного газа. Предложен и разработан лазерно-оптический метод фоторазрушения карбоксигемоглобина (HbCO) путем непосредственного воздействия лазерным излучением. Рассмотрены аспекты применения новой лазерно-оптической технологии в клинической практике.

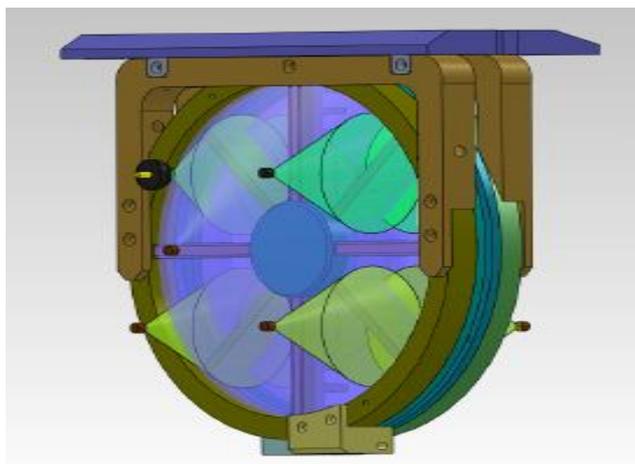


Рисунок – Кассета для облучения крови

Устройство предназначено для облучения крови оптическим излучением на длинах волн 530 нм, 540 нм и 570 нм с целью устранения отравляющего действия угарного газа.

Технические характеристики:

- Время установления рабочего режима установки после включения не более 5 мин.
- Скорость прокачки крови 5, 10 и 15 мл/мин.
- Погрешность скорости прокачки крови не более $\pm 20\%$.
- Спектральный диапазон излучения от 360 до 570 нм.
- Информация о режимах работы установки выводится на цифробуквенный дисплей.
- Экспериментальная установка оборудована системой защиты от вынимания кассеты во время работы.
- Время непрерывной работы установки не менее 8 ч.
- Напряжение питания 230 ± 22 В частотой 50 Гц.
- Потребляемая мощность не более 60 Вт.
- Габаритные размеры не более $260 \times 250 \times 143$ м.
- Масса установки не более 5 кг.

Установлено, что применение метода лазерно-возбуждаемой фотодеструкции позволяет устранить отравление угарным газом. Использование

данного метода с возбуждающими источниками с длиной волны 530, 540 и 570 нм обеспечивает возможность экстракорпоральное облучение крови, так как это излучение приходится на область прозрачности кровеносных сосудов и капилляров. Использование предлагаемого метода дает возможность эффективно устранять отравление монооксидом углерода.

Литература

1. Grim, P.S. Hyperbaric Oxygen Therapy / P.S. Grim // JAMA. – 1990. – Vol.263. – P. 2216–2220.
2. Отравляющие вещества / Александров В.Н., Емельянов В.И // М. : Военное издание, 1990. – 137.

И.А. Трофимчик (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВКИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ РЕМОНТА МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Одним из известных способов защиты металлических конструкций механических автотранспортных средств от негативного воздействия коррозии является лакокрасочное покрытие. В свою очередь лакокрасочное покрытие включает в себя лакокрасочные материалы такие как: шпатлевки, грунтовки, эмали, лаки. Каждый из материалов играет в формировании покрытия немаловажную роль, но основным является нанесение грунтовочного слоя, так как основное назначение грунта это защита от коррозии и изоляция металлической подложки от негативного воздействия окружающей среды. Реализация процесса состоит в нанесении на металлическую поверхность лакокрасочного материала согласно требований изготовителя данной продукции и после полного высыхания, образует прочную защитную пленку, обладающую хорошими адгезионными свойствами [1–3].

Целью данной работы является исследование адгезионной прочности различных марок грунтовки, при выполнении ремонтных работ.

Исследования прошли следующие составы грунтовочного покрытия: двухкомпонентный реактивный грунт PROTECT 340 (Wash Primer), двухкомпонентный эпоксидный грунт SOLL EP (S-EP1), двухкомпонентный акриловый грунт BASS 2K ACRYL FULLER HS, которые наносили на стальные пластины с размером 50×50 мм и толщиной 4 мм. С целью получения различной шероховатости поверхности стальных

пластин поверхность зачищали вручную, используя шлифовальные шкурки с зернистостью P80 (200–250 мкм), P120 (100–125 мкм), P180 (63–80 мкм). Измерение шероховатости поверхности подготовленных образцов проводили после обработки абразивным материалом, а затем после нанесения грунтовочного покрытия осуществляли, используя портативный профилометр модели SURFTEST SJ-210 по средствам трех измерений.

Нанесение жидких грунтовочных составов осуществлялось пневматическим распылением, при помощи краскопульта с гравитационным питанием модель HD 1016. Технические характеристики системы распыления грунтовочного материала HVLP (диаметр сопла – 1,6 мм, расход воздуха – 180 л/мин, размер факела – 160–230 мм). Двухкомпонентный реактивный грунт PROTECT 340 (Wash Primer), готовили в пропорции 1:1 (25 мг грунта PROTECT 340 и 25 мг отвердителя H 5910). При нанесении данного состава грунтовки соблюдались следующие параметры: диаметр сопла – 1,3 мм, давление воздуха в сети – 3 МПа, расстояние от окрашиваемой поверхности – 150 мм, количество слоев – 2, температура – 20 °С. Время высыхания первого слоя составило 7 мин, затем наносился второй слой. Время полного высыхания состава грунтовки составляло 30 мин. Температура сушки всех составов исследуемых грунтовочных покрытий 20 °С.

Приготовление двухкомпонентного эпоксидного грунтовочного состава SOLL EP (S-EP 1) осуществляли в пропорции 2:1 (40 мл грунта SOLL EP и 20 мл отвердителя). После тщательного перемешивания смеси добавляли разбавитель в количестве 10% от массы смеси. При нанесении грунтовочного состава соблюдались следующие параметры: диаметр сопла – 1,5 мм, давление воздуха в сети – 2,5 МПа, расстояние от окрашиваемой поверхности – 200 мм, количество слоев – 2, температура – 20 °С. Время сушки первого слоя грунтовочного состава составило 7 минут, затем наносился второй слой. Время полного высыхания грунтовочного покрытия на поверхности составило 12 часов.

Грунтовочную смесь на основе двухкомпонентного акрилового грунта BASS 2K ACRYL FULLER HS готовили в пропорции 5:1 (50 мл грунта и 10 мл отвердитель HS). При нанесении грунта соблюдались следующие параметры: диаметр сопла – 1,6 мм, давление воздуха в сети – 4 МПа, расстояние от окрашиваемой поверхности – 150 мм, количество слоев – 2, температура – 20 °С. Время высыхания первого и второго слоя составило 10 мин. Полное высыхание слоя грунтовки на поверхности образца происходило через 5 часов.

Определение адгезионной прочности грунтовочных составов осуществляли по стандартным методикам методом решетчатых надрезов. Исследования показали, что толщина грунтовочного слоя после сушки у

всех исследуемых образцов различна, изменяется в зависимости от технологических режимов нанесения грунтовки (диаметр сопла, давление воздуха в сети) находится в пределах от 21 до 103 мкм и не зависит от шероховатости поверхности образца. Максимальная толщина слоя грунтовки наблюдается при использовании состава BASS 2K ACRYL FULLER HS, минимальная при использовании грунта PROTECT 340 (Wash Primer), промежуточное значение получено при использовании грунта SOLL EP (S-EP 1).

Установлено, что адгезионная прочность грунтовочного состава BASS 2K ACRYL FULLER HS не соответствует требованиям, предъявляемым к адгезионной прочности грунтовки. Установлено, что во время проведения испытаний было потеряно больше 50% поверхностного слоя грунтовки, что не допустимо согласно требований, предъявляемых к грунтовке по ГОСТ 15140–78. Показано, что наилучшей адгезионной прочностью обладает двухкомпонентный акриловый грунт марки PROTECT 340 (Wash Primer). При этом адгезионная прочность возрастает по мере уменьшения шероховатости поверхности стального образца. Так для шероховатости поверхности образца 1,077 мкм адгезионная прочность составляет 1 балл. Максимальная адгезионная прочность получена при шероховатости образцов 0,622 мкм и 0,356 мкм (0 баллов). Максимальное значение адгезионной прочности для состава грунта SOLL EP (S-EP 1) составило 0 баллов при значении шероховатости поверхности образца 0,356 мкм.

Представленные в работе результаты исследований показали, что в качестве грунта при проведении ремонтных (покрасочных) работ кузовных элементов механических транспортных средств целесообразно использовать двухкомпонентный реактивный грунт марки PROTECT 340 (Wash Primer) вследствие наиболее высокой адгезионной прочности грунта к поверхности образца. Установлено, что оптимальное значение шероховатости образца перед нанесением состава грунтовки должно составлять не более 1,0 мкм, при следующих технологических параметрах нанесения, а именно давление воздуха в сети не менее 3 МПа, диаметр сопла не менее 1,3 мм, расстояние до поверхности образца 150–200 мм.

Литература

1. Розенфельд, И.Л. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями / И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн, К.А. Жигалова: Химия, 1987. – 224 с.
2. Ламбурна, Р. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика. Спб. : Химия, 1987. – 512 с.
3. Ваниев, М.А. Изучение технологических характеристик растворных лакокрасочных материалов и эксплуатационных характеристик покрытий на их основе. Метод. реком. к лаб. работе / М.А. Ваниев,

Н.В. Сидоренко, И.М. Гресь, Н.Г. Булычева. Волгоград : Волгоградский. гос. техн. ун-т. – 2010. – 12 с.

Ю.И. Турок (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ РЕЗАНИЕМ

Известно, что в процессе металлообработки железоуглеродистых сплавов (точение, сверление, зенкерование и т. д.) происходит сильное трение заготовки об режущий инструмент. В результате интенсивное трение вызывает преждевременный износ инструмента. С целью снижения износа режущего инструмента, повышения производительности оборудования и улучшения качества обработанной поверхности в технологических процессах обработки материалов используют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) [1–3].

Современные СОЖ представляют собой, как правило, сложные многокомпонентные соединения продуктов нефтяного и химического производства и используются для уменьшения тепловыделения, поглощения и отвода части выделяемой теплоты при обработке деталей. При этом чем выше теплоемкость и теплопроводность СОЖ, тем выше эффект охлаждения [1–2]. Выбор СОЖ при разработке технологии обработки заготовок из железоуглеродистых сплавов осуществляется исходя из конечной цели обработки, которую необходимо обеспечить по заданным технологическим, экономическим и эксплуатационным критериям [1–3].

Целью настоящей работы является разработка альтернативного состава СОЖ с высокими физико-химическими и потребительскими свойствами используемого при обработке резанием железоуглеродистых сплавов.

Приготовление экспериментального состава СОЖ на основе выбранных исходных компонентов (ПМС 100, неол, вода) проводили путем механического перемешивания выбранных материалов с использованием высокоскоростного лопастного смесителя.

Проведены сравнительные исследования физико-химических и потребительских свойств разработанного состава смазывающе-охлаждающих жидкости на основе ПМС 100 и состава VIKSOL EM–600 ТУ ВУ 100991292.004–2008.

Определение плотности СОЖ проводили по стандартной методике согласно ГОСТ 3900–85. Определение вязкости СОЖ проводили по стандартной методике по ГОСТ 33–2000. Для определения показателя рН разработанного состава СОЖ использовали рН-метр (рН-150) с погрешностью измерений не более $\pm 0,1$ ед. рН.

Определение коррозионного воздействия СОЖ осуществляем капельным методом водной эмульсии с массовой долей СОЖ 4 %, приготовленной на жесткой воде, при использовании железоуглеродистого сплава марки Ст 3 ГОСТ 1050–88. Определение седиментационной устойчивости разработанного состава СОЖ проводили по ГОСТ 6243–75.

На основе выбранных компонентов на кафедре материаловедения и ресурсосберегающих технологий УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» разработан альтернативный состав смазывающе-охлаждающей жидкости, состоящий из полиметилсилоксана, неионогенных поверхностно-активных веществ и воды с высокой седиментационной устойчивостью, при следующем соотношении компонентов, мас. %: ПМС 100 – 18–22, ПАВ (неонол АФ 9-12) – 3,0–3,5, вода – остальное. Результаты исследований по определению физико-химических и потребительских свойств составов СОЖ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические и потребительские свойства СОЖ на основе ПМС и VIKSOL EM–600

Наименование показателя	СОЖ на основе ПМС	VIKSOL EM–600
Внешний вид	Однородная маслянистая жидкость белого цвета	Однородная маслянистая жидкость от светло-коричневого до коричневого цвета
Плотность, кг/м ³	880	900
Вязкость кинематическая при температуре (40 ± 0,5) °С, мм ² /с	39	40
Показатель рН	8,9	9,1
Коррозионное воздействие к металлам (Ст 3 ГОСТ 1050–88)	Отсутствие коррозии	Отсутствие коррозии
Седиментационная устойчивость эмульсии в течение 6 месяцев	Стабильна	Стабильна

Исследования физико-химических свойств составов СОЖ показали, что значение плотности СОЖ на основе ПМС меньше на 2,3 %, чем значение плотности VIKSOL EM–600, значение кинематической

вязкости при температуре $(40 \pm 0,5)$ °С, $\text{мм}^2/\text{с}$ меньше на 2,6 %, показатель рН на 2,2 %. В результате коррозионного воздействия на металл СОЖ на основе ПМС выявлено, что разработанный состав СОЖ не вызывает коррозии стального образца.

Разработанный состав СОЖ на основе ПМС по физико-химическим и потребительским свойствам не уступает VIKSOL EM-600, и обладает следующими свойствами: высоким охлаждающим и смазывающим эффектом; отличным смачивающим свойством; стабильностью; высокими антикоррозионными свойствами.

Литература

- 1.Энтелис, С.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / С.Г. Энтелис, Э.М. Берлинер. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
- 2.Латышев, В.Н. Повышение эффективности СОЖ / В.Н. Латышев. – М. : Машиностроение, 1975. – 88 с.
- 3.Худобин, Л.В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л.В. Худобин, Е.Г. Бердичевский. – М. : Машиностроение, 1977. – 189 с.

Н.И. Тюленкова (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **В.Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СТОЛБЧАТЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА, СФОРМИРОВАННЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Оксид цинка (ZnO) представляет большой интерес для применения во многих областях науки, техники и медицины в качестве функционального материала. Нано- и микрочастицы ZnO используются в пьезоэлектрических устройствах, дисплеях, солнечных батареях, газовых сенсорах, катализаторах. В настоящее время активно разрабатывается целый ряд полупроводниковых устройств с использованием наноструктур оксида цинка в виде нанопроводов, наностержней, нанолент [1]. Большой интерес вызывают уникальные оптические, электрофизические, теплофизические, механические и другие свойства одномерных структур, отличающиеся от свойств объемных материалов и пленок.

На сегодняшний день существует большое количество методов получения нано- и микрочастиц оксида цинка, которые разделяют на твердофазные, газофазные и жидкофазные. Преимущества жидкофазных методов по сравнению с другими заключаются в относительной простоте их технической реализации, экологичности, экономичности, а

также относительной простоте контролирования размера и морфологии получаемых продуктов [2].

Среди жидкофазных методов получения наноструктур ZnO можно выделить гидротермальный. Для формирования столбчатых наноструктур оксида цинка использовались подложки с нанесенным затравочным слоем.

Выращивание столбчатых наноструктур оксида цинка происходило в два этапа. Первый этап: нанесение затравочного слоя на подложки. Равномерные тонкие слои ZnO наносились на поверхность подложек золь-гель методом. В качестве подложек использованы полированные пластины кремния и стеклянные пластины. Тонкие плёнки ZnO были получены при использовании золя, который был получен путём растворения 1,5 г ацетата цинка $Zn(CH_3COO)_2$ в 8 мл изопропилового спирта. Изопропиловый спирт использовался в качестве жидкой среды для поддержания стабильности раствора и создания необходимой вязкости. Плёнки ZnO на кремниевые и стеклянные подложки наносили методом центрифугирования. Частота вращения подложки составляла 2000 об/мин. После этого подложки помещались в муфельную печь и выдерживались при температуре 250 °C в течение 5 минут. Финишный отжиг, который проводился при температуре 350 °C в течение 60 минут в муфельной печи, приводил к формированию равномерного слоя ZnO на поверхности подложки. Типичная толщина одного слоя по данным электронной микроскопии составляла порядка 30–40 нм. Для некоторых образцов нанесение затравочного слоя проводилось дважды и трижды.

Второй этап: синтез ZnO столбчатых наноструктур. Для синтеза столбчатых наноструктур оксида цинка на подложках проводилось химическое осаждение из раствора. В реакционный стакан помещали 1 мл этилендиамина в 200 мл дистиллированной воды. Далее при постоянном перемешивании по каплям к раствору этилендиамина добавляли 0,2 молярный водный раствор ацетата цинка $(Zn(CH_3COOH)_2)$ до установления pH 8,5. В получившуюся смесь опускали образцы с нанесенным зародышевым слоем ZnO. Реакционный сосуд в закрытом виде помещали на 2 ч в сушильный шкаф при температуре 85–110°C. По окончании синтеза образцы осторожно промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе. Подложки располагались в реакционных сосудах вертикально. Время и температура выдержки аналогичны первому варианту. По окончании роста полученные образцы вынимались из раствора, промывались дистиллированной водой с целью смыть остаточные примеси с поверхности, и высушивались на воздухе.

Исследования образцов проводились методом растровой (РЭМ) электронной микроскопии. На рисунке 1 представлено изображение поверхности кремниевой пластины с сформированными на ней структурами оксида цинка, полученное с помощью (РЭМ).

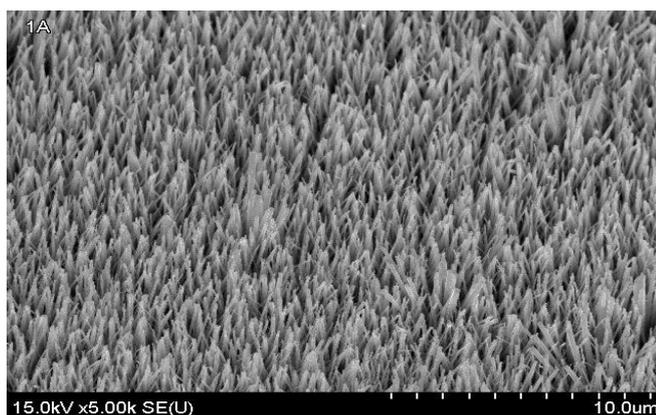


Рисунок 1 – РЭМ изображение упорядоченного массива наностержней ZnO, выращенного на подложке с затравочным слоем ZnO

Качество и морфология столбчатых наноструктур оксида цинка зависит от толщины зародышевого подслоя (наилучшие результаты получены при толщине подслоя 150 нм). Кроме того, установлено, что хорошее кристаллическое качество зародышевого слоя является необходимым для выращивания плотных массивов столбчатых наноструктур высокого качества, ориентированных перпендикулярно подложке. Было замечено, что температура гидротермального синтеза влияет на изменение роста столбчатых наноструктур оксида цинка. Чем выше температура – тем плотнее наностержни. На рисунке 2 представлено РЭМ изображение поперечного скола массива наностержней ZnO, синтезированных при температуре 90 °С.

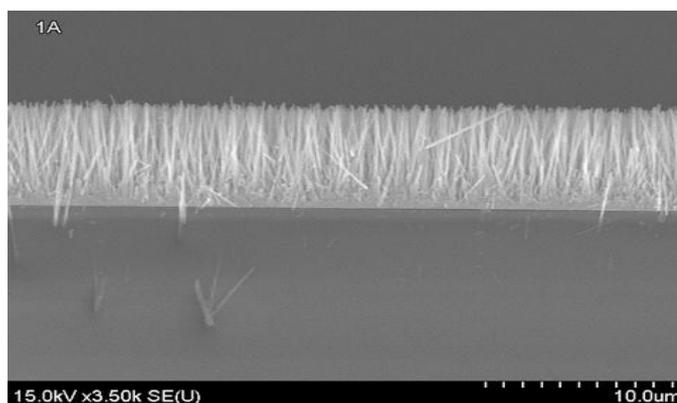


Рисунок 2 – РЭМ изображение поперечного скола массива наностержней ZnO, синтезированных при температуре 90 °С

Существенное влияние на свойства выращиваемых гидротермальным методом наноструктур ZnO может оказывать предварительный отжиг зародышевого слоя. Рост наностержней существенно улучшается при отжиге зародышевого слоя в атмосфере кислорода.

Литература

1. Грачева, И.Е. Наноматериалы с иерархической структурой пор : учеб. пособие / И.Е. Грачева, В.А. Мошников. – СПб. : «ЛЭТИ», 2011. – 106 с.
2. Золь-гель технология микро- и нанокompозитов : учебное пособие / В.А. Мошников [и др.] – СПб. : Лань, 2013. – 294 с.

Е.А. Фоминова (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **В.В. Сидский**, ассистент

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОРБЕНТОВ С МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Введение. В настоящее время активно ведутся работы по получению чистых силикагелей. Наиболее распространенным и изученным на сегодняшний день является алкоксидный способ, использующий в качестве исходных реагентов различные эфиры кремниевой кислоты – тетраэтилортосиликат (ТЭОС), тетраметилортосиликат (ТМОС) и др., причем, коллоидный кремнезем (золь) формируется в результате химических реакций гидролиза и поликонденсации, а гель - путем целенаправленной агломерации частиц золя.

В результате использования золь-гель технологии предоставляются широкие возможности по получению ксерогелей, высокопористых аэрогелей, стекол, пористых катализаторов, пленок.

На начальной стадии золь-гель процесса происходит растворение исходных компонентов (алкоксидов металлов) с образованием гомогенных водного или органических растворов. Далее наступает гидролиз и поликонденсация продуктов реакции, приводящая к образованию золя, а затем коллоидной фазы. Гидролиз протекает при кислотном (HCl) катализе.

На скорость реакций гидролиза и поликонденсации также оказывают влияние многочисленные технологические факторы, основными из которых являются наличие катализатора, температура, pH, концентрация растворителя и т. д. [1].

Вводимый аэросил представляет собой чистый диоксид кремния (SiO₂), рыхлый голубовато-белый порошок. В нашем случае в качестве наполнителя использовался аэросил марки Т-30 (ФРГ); в котором средний размер частиц от 5 до 10 нм, он уменьшает значительную усадку гелей при сушке.

Процесс кристаллизации фазопереходных компонентов зависит от степени дисперсности фазопереходного наполнителя и от присутствия в

нем неплавких добавок, таких как аэросил. При малом содержании наполнителя скорость кристаллизации возрастает, поскольку частицы наполнителя играют роль «зародышей» кристаллизации; с увеличением же концентрации наполнителя происходит торможение этого процесса, поскольку преобладающим становится увеличение вязкости системы.

Внесение в золь солей азотнокислого железа. В золь добавляли магнетит 20–50 масс. % при непрерывном перемешивании. Перемешивания продолжалось до равномерного распределения магнетита в золе (20 мин) при комнатной температуре.

Ультразвуковая обработка и центрифугирования. Следующей стадией золь-гель процесса является ультразвуковая обработка. Затем, чтобы удалить из золь-аэросильной дисперсии случайные технологические примеси и частицы аэросила, не подвергшиеся диспергированию, проводилось центрифугирование смеси 3000 об/мин, в течение 40–45 мин.

Литье золя и гелеобразование. Вопрос о механизме перехода золь-гель, о происходящих при этом механических процессах и структурных перестройках принадлежит к числу наиболее сложных и малоизученных. Этот переход завершается, когда золь превращается в двухфазный гель, состоящий из твердой и жидкой фаз, который может быть превращен в двухфазный ксерогель. Переход необратим, он протекает без изменения объема, проявляется в росте вязкости, но о нем нельзя достаточно определенно судить ни по значению вязкости, ни по изменению состава фаз, ни даже по исчезновению мономеров, поскольку не обнаружено корреляции между этими явлениями и временем гелеобразования [2].

Важен тот факт, что свойства и структура геля продолжают изменяться длительный период времени и после момента гелеобразования вследствие связывания мелких полимеров в единый кластер. Увеличение вязкости сетки сопровождается ростом модуля упругости и изменением других свойств. Эти структурные изменения называются старением геля, особенно интенсивно протекающим при больших количествах этанола.

В очищенный золь путем центрифугирования и ультразвуковой обработкой как и в «гибридном» методе добавляли магнетит и приливалось необходимое количество 0,1 N раствора аммиака при постоянном умеренном механическом перемешивании. При использовании «коллоидного» метода оптимальным временем гелеобразования в системе «золь-коллоид» является 5 минут. При получении композитов «коллоидным» методом увеличения времени гелеобразования в системе приводит к уменьшению выхода годных композитов.

Сушка гелей. В процессе сушки гелей можно выделить следующие стадии:

- удаление легколетучих растворителей;
- удаление физически адсорбированной воды;
- удаление остатков непрореагировавшего ТЭОСа;

– завершение процессов поликонденсации.

Сушка гелей ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 3 дня, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 3 часа) – наиболее критичная и самая длительная стадия в технологической цепочке получения ксерогелей (рисунок 1).

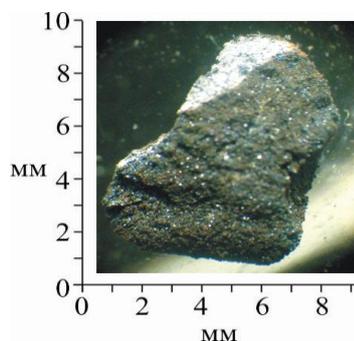


Рисунок 1 – Внешний вид ксерогеля, полученного золь-гель методом с использованием магнетита

Заключение. Получены золь-гель методом силикагели с сорбционными свойствами, путём введения в золь магнетита. Синтез силикагелей проводили с использованием «гибридного» золь-гель метода. Аэросил использовался как наполнитель, он уменьшает значительную усадку гелей.

Литература

1. Brinker, C.J. Hydrolysis and Condensation of Silicates: Effects on Structure // J. Non-Cryst. Sol. – 1988. – Vol. 100. – P. 31–50.
2. Новые материалы для экранов электромагнитного излучения / Л.М. Лыньков, В.А. Богущ, Н.В. Колбун и др. // Доклады БГУИР. – 2004. – Т. 2, № 5. – С. 152–167.

Е.А. Чекмарёв (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Е.А. Уткина**, канд. техн. наук, доцент

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ОСНОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЮМИНИЯ И ЕГО АНОДНЫХ ОКСИДОВ ДЛЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В современных системах преобразования солнечного излучения одной из главных задач является расширение спектра поглощения солнечного излучения фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Использование наноструктурированных оснований, а также новых материалов для формирования гетеропереходов позволит решить эту проблему.

Применение наноструктурированных оснований на основе пористого анодного оксида алюминия позволит значительно повысить эффективность поглощения солнечного излучения благодаря повышению

эффективной площади поверхности и расширению спектрального диапазона поглощения солнечного излучения [1]. Важным аспектом формирования наноструктурированного основания является морфология его поверхности. Метод анодного окисления алюминия позволяет, изменяя режимы процесса анодирования, получать структуру Al/пористый Al_2O_3 с различным диаметром и глубиной пор [2–4]. Для получения ПОА с различным диаметром пор использовали электролиты на основе фосфорной кислоты (диаметр пор свыше 100 нм), щавелевой кислоты (диаметр пор 25–75 нм) и серной кислоты (диаметр пор порядка 10 нм).

Известно, что сформированный ПОА содержит у основания пор изолирующий барьерный слой оксида алюминия. Для последующего осаждения полупроводника на полученную наноструктурированную подложку необходимо, чтобы барьерный слой был полностью удален для создания с ней низкоомного электрического контакта.

Для утонения и полного удаления барьерного слоя анодного оксида алюминия были разработаны следующие методы:

А – химическое травление в 4% H_3PO_4 1 ч 30 мин; катодное растворение барьерного слоя при напряжении -3.6 В в течение 5 мин 30 с; осаждение никеля при развертке напряжения до -2.6 В и при этом напряжении в течение 5 мин.

Б – химическое травление в 4% $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (30°C) в течение 3 ч 30 мин; электрохимическое растворение барьерного слоя при снижении напряжения до 4.8 В в течение 14 мин; осаждение никеля при развертке напряжения до -2.6 В и при этом напряжении в течение 7 мин.

В – химическое травление в 4% $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (30°C) в течение 3 ч 30 мин; катодное растворение барьерного слоя при напряжении -4.0 В в течение 10 мин; осаждение никеля при развертке напряжения до -2.6 В и при этом напряжении в течение 4 мин.

Г – катодное растворение барьерного слоя при -4.8 В в течение 10 мин; осаждение никеля при развертке напряжения до -2.6 В и при этом напряжении в течение 5 мин.

На рисунках 1 и 2 приведено изображение последовательности формирования структуры Ta/Al/ Al_2O_3 и СЭМ изображение скола этой структуры до (а) и после (б) удаления барьерного слоя:

Локальное электрохимическое растворение барьерного слоя только на дне пор проводилось при постепенном снижении потенциала анодирования (от 40 В) с постоянной скоростью.

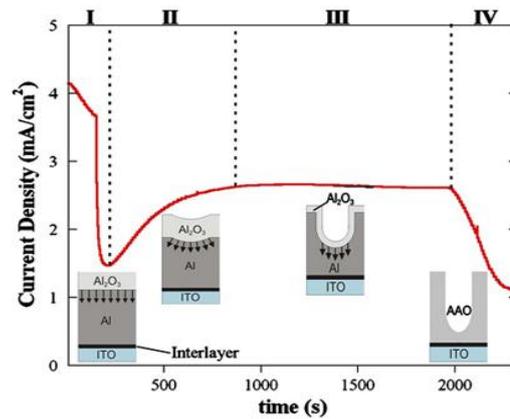


Рисунок 1 – Последовательность формирования наноструктурированного основания на основе пористого АОА: (I) падение тока вследствие роста оксида; (II) зарождение пор; (III) равномерный рост; и (IV) падение тока в результате увеличения удельного сопротивления

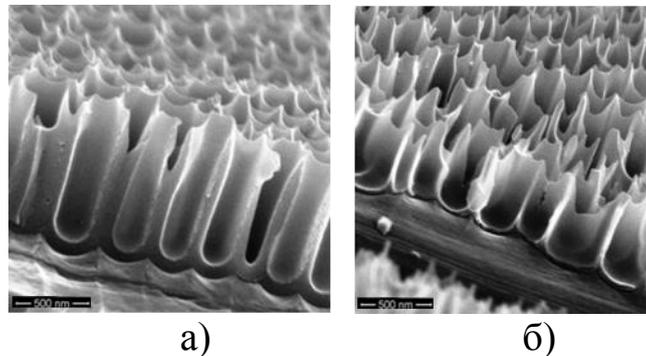


Рисунок 2 – СЭМ изображение скола структуры Ta/Al/Al₂O₃: а) после анодирования; б) после утонения барьерного слоя

Катодное растворение барьерного слоя проводили в электролите для электрохимического осаждения никеля непосредственно перед осаждением при напряжении (–3,5...–5,0) В в течение (5–10) мин. Прототипом данного метода является способ удаления барьерного слоя катодной поляризацией в 0,5 М растворе KCl (10°C) при напряжении (–3,0...–5,0) в течение 5–10 мин [1]. Во всех случаях утонение приводит к уменьшению потенциального барьера для электронов и туннелированию их через барьерный слой при более низких напряжениях в процессе осаждения металла на дно пор. Прямое туннелирование происходит через локальные области утонения барьерного оксида на дне пор, что облегчает токоперенос через остаточный барьерный слой. В результате такой обработки сглаживаются флуктуации толщины оставшегося барьерного слоя. Это способствует более однородному заполнению пор. В результате пористая матрица из ПОА может оставаться на пленке алюминия.

В процессе «утонения» происходит не только уменьшение толщины барьерного слоя, но и изменение морфологии поверхности барьерного

слоя (фронта анодирования). Поры расширяются у фронта анодирования, так как равновесное число пор на квадратный сантиметр обратно пропорционально квадрату потенциала анодирования [5, 6].

Таким образом, был разработан технологический процесс формирования наноструктурированного основания на основе пористого анодного оксида алюминия на стеклянной подложке, а также предложены методы удаления барьерного слоя оксида алюминия.

Литература

1. Zhao, L.-R. Anodic aluminum oxide films formed in mixed electrolytes of oxalic and sulfuric acid and their optical constants / L.-R. Zhao, J. Wang, C.-W. Wang, F. Zhou, W.-M. Liu // *B. Physica*. – 2010. – V. 405. – P. 456–460.

2. Masuda, H. Highly ordered nanochannel-array architecture in anodic alumina / H. Masuda, H. Yamada, M. Satoh, H. Asoh, M. Nakao, T. Tamamura // *Applied Physics Letters*. – 1997. – vol.71. – P. 2770–2772.

3. Oh, J. The role of electric field in pore formation during aluminum anodization / J. Oh, C.V. Thompson // *Electrochimica Acta*. – 2011. – V. 56. – P. 4044–4051.

4. Montero-Moreno, J.M. Self-ordered porous alumina by two-step anodizing at constant current: Behaviour and evolution of the structure / J.M. Montero-Moreno, M. Sarret, C. Müller // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2010. – V.136. – P. 68–74.

5. Воробьева, А.И. Однородное осаждение никеля в поры упорядоченного тонкого оксида алюминия / А.И. Воробьева, Е.А. Уткина, О.М. Комар // *Микроэлектроника* / – 2013. – Т. 42, № 2. – С. 105–115.

6. Li, A.P. Hexagonal pore arrays with a 50–420 nm interpore distance formed by self-organization in anodic alumina / A.P. Li, F. Müller, A. Birner, K. Nielsch, U. Gösele // *J. Appl. Phys.* – 1998. – V. 84. – P. 6023–26.

А.Г. Чернышей (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **Е.С. Ацецкая**, ассистент

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДВУХСЛОЙНОЙ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МОЩНОГО БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

При производстве мощных биполярных транзисторов для обеспечения уровней $U_{к.н}$, $U_{к.э}$ используется двухслойная эпитаксиальная структура (нижний слой – низкоомный – для снижения сопротивления кол-

лектора, верхний слой – для обеспечения требуемых уровней пробивных напряжений). Трудность обеспечения требуемых параметров двухслойной эпитаксиальной структуры заключается в отсутствии методики контроля параметров двух слоёв эпитаксии при наращивании эпитаксиальной структуры в одном техническом цикле.

Для расчетов удельного сопротивления слоев использовалась толщина эпитаксиального слоя, определяемая ИК-методом, а не на спутниках КДБ10 из-за невозможности измерить $d_{эс}$ на спутниках КДБ10 с необходимой точностью из-за плохого декорирования границы раздела слоев, что характерно для высокоомных слоев и трудностью определения $d_{эс}$ порядка 60мкм методом сферического шлифа.

Из-за отсутствия измерительного оборудования, позволяющего измерить удельное сопротивление верхнего высокоомного слоя и исходя из модели двухслойной эпитаксиальной структуры как двух параллельно включенных проводников, удельное сопротивление второго слоя рассчитывалось на основании измерений поверхностного сопротивления 4-х зондовым методом на спутнике единого процесса КДБ10 в центральной точке и рассчитанной толщины второго слоя на структуре следующим образом:

$$\rho_{эс} = R_{s2} \cdot d_{эс2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{R_{s2}} = \frac{R_{s1} - R_{общ}}{R_{s1} \cdot R_{общ}} d_{эс2} \quad (3)$$

$$R_{s2} = \frac{R_{s1} \cdot R_{общ}}{R_{s1} - R_{общ}} d_{эс2} \quad (4)$$

где R_{s1} – поверхностное сопротивление первого слоя по контрольному процессу, Ом/кв.

R_{s2} – поверхностное сопротивление второго слоя, Ом/кв.

$R_{общ}$ – поверхностное сопротивление на спутнике КДБ10 единого процесса, Ом/кв.

$d_{эс2}$ – толщина второго слоя на структуре, расположенной на подложкодержателе рядом со спутником, мкм, которая рассчитана следующим образом:

$$d_{эс2} = d_{эсобщ} - d_{эс1}, \text{ где } d_{эс2} \quad (5)$$

$d_{эсобщ}$ – общая толщина слоёв, мкм.

$d_{эс1}$ – толщина первого слоя по контрольному процессу первого слоя, мкм.

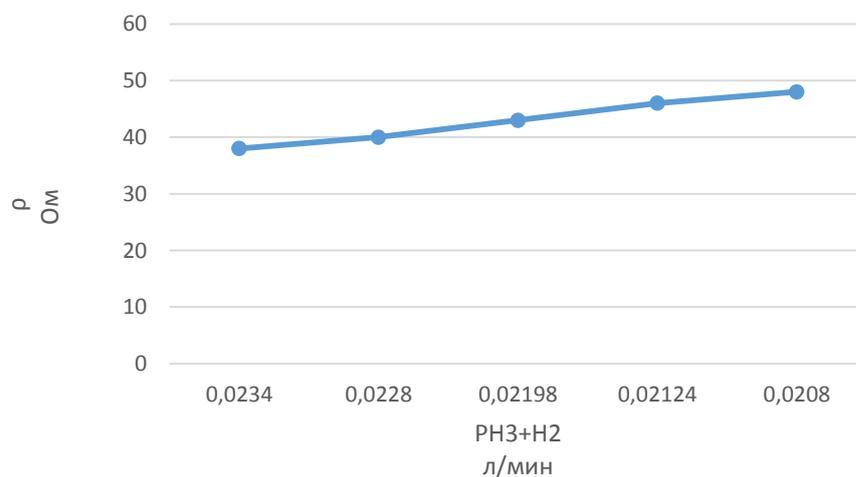


Рисунок 1 – График зависимости удельного сопротивления от лигатуры.

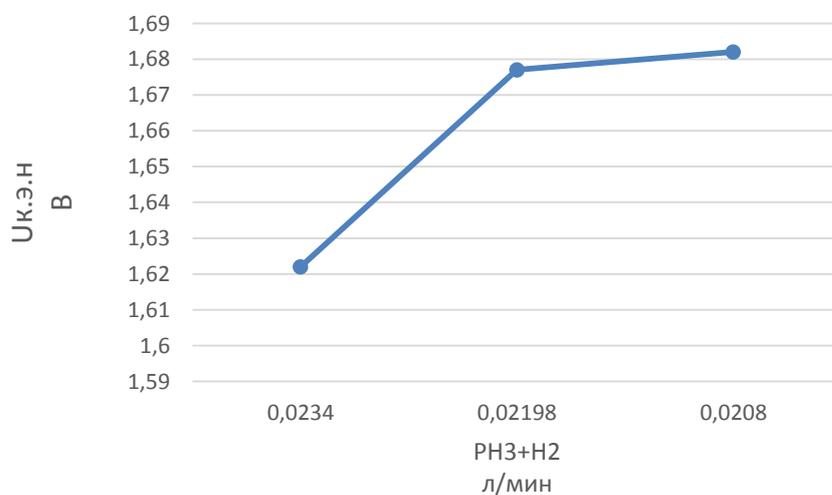


Рисунок 2 – График зависимости пробивных напряжений от лигатуры.

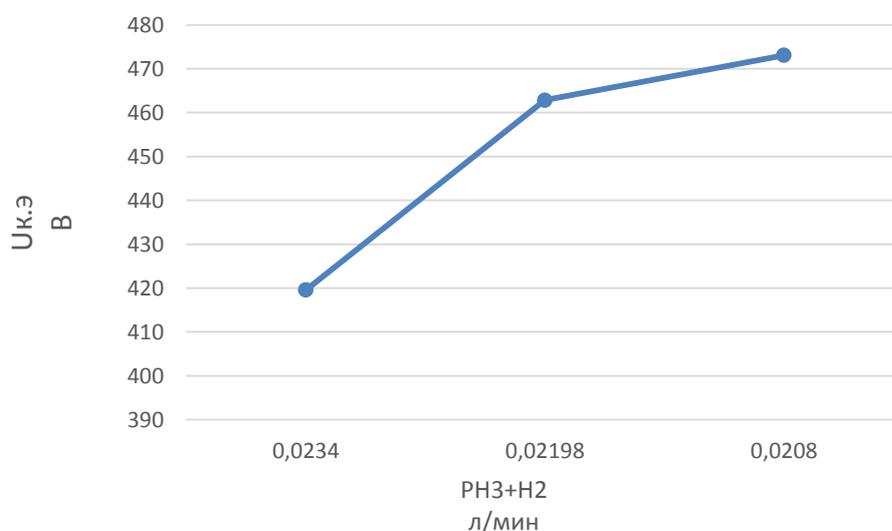


Рисунок 3 – График зависимости напряжения $U_{к.э}$ в режиме насыщения от лигатуры.

Для обеспечения требуемых уровней $U_{к.э.н}$ и $U_{к.э}$ необходимо было провести варьирование расхода лигатуры. Получены зависимости уровней $U_{к.э.н}$ и $U_{к.э}$ от технического режима осаждения лигатуры при неизменной толщине эпитаксиального слоя.

Литература

1. Ануфриев, Л.П. Технология интегральной электроники / С.В. Бордусов, Л.И. Гурский [и др.]; // под общ. ред. А.П. Достанко и Л.И. Гурского. – Минск : «Интегралполиграф», 2009. – 176 с.

2. Ченг, Л. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры Пер. с англ. / под ред. Л. Ченга, К. Плога. – М. : Мир, 1989. – 584 с.

Ю.В. Чуешков (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **А.А. Хмыль**, д-р техн. наук профессор

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

При изготовления печатных плат (ПП) широкое распространение получили электрохимические процессы формирования проводящего рисунка печатного монтажа, которые, в основном, определяют качественные характеристики и надежность печатных плат. Однако при производстве новых изделий возникают проблемы, связанные с равномерностью нанесения тонких пленок.

С целью улучшения равномерности наносимых слоев печатных плат нами разработан новый способ нанесения гальванических покрытий. Его сущность заключается в том, что печатную плату помещают в ванну между двумя электродами, к которым относительно изделия прикладывают два различных по величине напряжения в прямом и обратном направлениях. Изделие совершает между электродами возвратно-поступательное перемещение, синхронно с которым изменяется полярность прикладываемых напряжений при прохождении изделием среднего положения. Большее по величине напряжение прикладывают в прямом направлении к удаляющемуся от изделия электроду.

При подаче прямого напряжения между катодом (изделием) и анодом 1 (Рисунок 1, фаза 1) который удаляется, происходит процесс осаждения на катоде. При этом из теории электрохимического осаждения известно, что равномерность покрытия, наносимого на поверхность изделия, увеличивается при увеличении расстояния между анодом и катодом. Сближение анода и катода приводит к снижению равномерности

покрытия по поверхности. Для того чтобы этого не было, одновременно с прямым напряжением, между катодом и анодом 2 включается второе напряжение обратной полярности. Поэтому, когда между катодом и удаляющимся анодом 1 происходит процесс осаждения металла на одну поверхность катода, то между катодом и приближающимся анодом 2 происходит растворение металла. Растворение металла наиболее эффективно на тех участках поверхности катода, которые имеют большую толщину покрытия и наиболее приближены к аноду, т. е. происходит выравнивание поверхности.

Режим, соответствующий фазе 1, продолжается до тех пор, пока катод, достигнув крайнего правого положения, не начнет двигаться в обратном направлении и не пересечет линию, находящуюся на равном расстоянии между анодами (рисунок 1, фаза 2). В момент пересечения катодом этой линии меняется полярность на противоположную между катодом и анодом 1, катодом и анодом 2 (рисунок 1, фаза 3). Переключение полярности источников питания электродов в любой другой момент приводит к снижению положительного эффекта в равномерности покрытия. Далее процесс повторяется при движении катода в крайнее левое положение (рисунок 1, фаза 4).

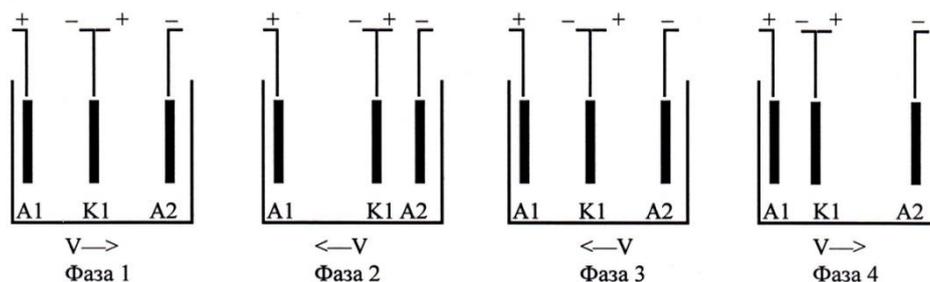


Рисунок 1 – Фазы перемещения ПП в электролите (пат. РБ №1336)

За счет движения катодов и переключения полярности напряжений, приложенных к аноду 1 и аноду 2 в соответствии с рис. 1 происходит равномерное распределение металла на каждой поверхности изделия. Положительный эффект достигается и при осаждении металла в отверстиях ПП. Это объясняется тем, что электролит со стороны растворяющейся поверхности катода обогащается ионами металла. Они затягиваются в отверстия при движении катода, обеспечивают их устойчивую концентрацию в этой зоне и высокую локальную электропроводимость. Кроме того, изменение полярности на аноде 1 и аноде 2 производит их деполяризацию, обогащение прикладной области ионами металла, что позволяет также увеличить равномерность покрытия. Для того чтобы процесс осаждения металла на одной стороне катода превалировал над

процессом его растворения на другой стороне катода выбраны соответствующие плотности токов.

Устройство, реализующее разработанный способ, содержит (рисунок 2):

1,2 – источники напряжения (тока); 3,4 – регуляторы напряжения; 5,6 – анодные ключи; 7,8 – ключи выбора секции анода; 9,10 – аноды секционные; 11 – катод; 12 – электролит; 13 – ванна; 14 – управляющее устройство; 15 – датчик центрального положения катода. При включении устройства в сеть и загрузке ПП в гальваническую ванну 2 прямое напряжение от положительного полюса источника напряжения 1 прикладывается через регулятор напряжения 3, нормально замкнутый анодный ключ 5, ключ выбора секции анода 7, секцию анода 9, электролит 12, катод 11 к отрицательному полюсу источника напряжения 1; и обратное напряжение от отрицательного полюса источника напряжения 2 прикладывается через регулятор напряжения 4, нормально замкнутый анодный ключ 6, ключ выбора анода 8, секцию анода 10, электролит 12, катод 11 к положительному полюсу источника тока 2. При этом катод 11 движется от анода секционного 9 к аноду секционному 10.

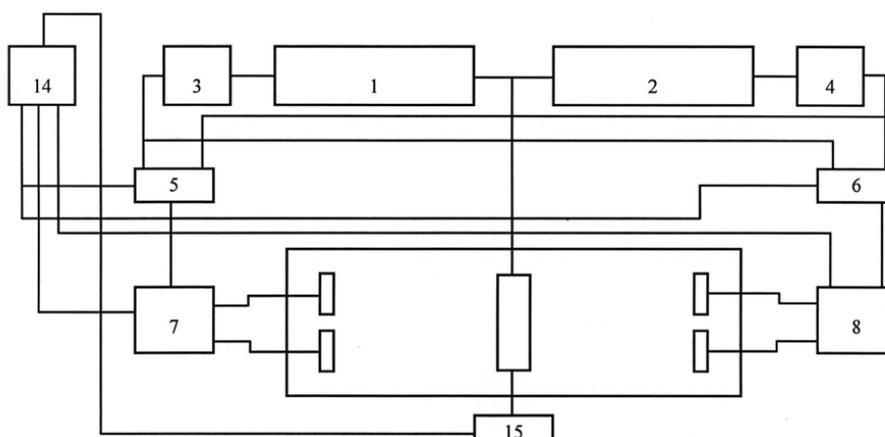


Рисунок 2 – Структурная схема устройства металлизации ПП

Таким образом, можно отметить, что использование данного устройства обеспечивает автоматическое управление процессом электролиза и гарантирует высокое качество получаемых покрытий.

Литература

1. Гири́н, О.Б. Новые рентгеноструктурные методы и их применение для совершенствования технологии гальванических покрытий // Тез. докл. к 8 Всес. совещ. «Соверш. техн. гальв. Покрытий» / Кировский политех. ин-т. – Киров, 1991. – С. 97–98.

2. Грицай, С.П. Исследование и разработка процесса электрохимического осаждения металлических пленок в магнитном поле и их применение в технологии электронной техники. Дис. к. т. н. 05.27.01. – Минск : 1981. – 159 с.

3. Груев, И.Д., Матвеев Н.И., Сергеева Н.Г. Электрохимические покрытия изделий радиоэлектронной аппаратуры. – М. : Радио и связь, 1988. – 304 с.

4. Кочергин, С.М., Леонтьев А.В. Образование текстур при электрокристаллизации металлов. – М. : Metallurgia, 1974. – 184 с.

5. Рашков С. Влияние плотности тока и температуры на морфологию и текстуру электроосаждённых медных покрытий. //Изв. отделения хим. наук Болг. АН – 1972, № 2. – С. 217–229.

Е.Г. Чупрего (УО «БелГУТ», Гомель)

Науч. рук. **П.Н. Богданович**, д-р техн. наук, профессор

ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ПРИ НАПЛАВКЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТРЕНИИ ИХ В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

Безопасность в производстве в значительной мере зависит от надежности функционирования деталей машин и механизмов, надежность которых в свою очередь зависит от степени износа пар трения. Изношенные детали восстанавливаются различными наплавочными материалами в различных газовых средах. Однако, на сегодняшний день не выявлены оптимальные составы этих материалов и их рациональное сочетание, которое бы обеспечивало наилучшие триботехнические характеристики.

Чаще всего при наплавке используют металл, из которого предварительно была изготовлена деталь. Однако такое решение не всегда является эффективным. Иногда целесообразнее получить на поверхности слой, который будет отличаться по свойствам от основного металла. Это связано с тем, что условия эксплуатации поверхностного слоя изрядно отличаются от условий эксплуатации нижележащих слоев изделия.

В большинстве случаев наплавкой можно получить покрытия, характеризующиеся высокой износостойкостью. Для этого используются легированные наплавочные материалы, различные комбинации газовых сред либо после наплавки, проводится поверхностное пластическое деформирование.

Испытания проводились на машине трения СМТ – 1 по схеме «ролик – вкладыш». Вкладыш (шириной 10 мм и длиной дуги контакта 20 мм) был изготовлен из серого чугуна СЧ15, а на поверхность ролика был нанесен наплавочный материал (после наплавки размеры ролика

составили: высота 10 мм, внутренний диаметр 16 мм и наружный 40 мм) в среде аргона, углекислого газа и на воздухе. Для первых двух случаев наплавка проводилась легированной сварочной проволокой СВ–08Г2С, а в третьем сварочным электродом.

Для определения зависимости коэффициента трения от нагрузки испытания проводились при нагрузках: 20 Н; 50Н; 100Н; 150Н. В качестве смазочного материала использовалось индустриальное масло И–8А. Все испытания проводились при скорости 360 об/мин. Длительность одного испытания составила 2 часа. Предварительно образцы были приработаны в течение 2 ч.

По измерению момента трения, который регистрировался с помощью электромагнитного датчика, встроенного в кинематическую схему машины был рассчитан коэффициент трения f по формуле:

$$f = \frac{M_{\text{тр}}}{N \cdot r};$$

где $M_{\text{тр}}$ – момент трения, Н·м;

N – нагрузка, Н;

r – радиус ролика, $r = 20 \cdot 10^{-3}$ м;

По полученным данным построены зависимости коэффициента трения от нагрузки для образцов наплавленных в среде углекислого газа и аргона сварочной проволокой, и образца наплавленного электродом в воздушной среде.

Основную роль при оценке коэффициента трения играет сопротивление сдвигу смазочного материала в граничном слое.

При первоначальной нагрузке давление на пятнах контакта выступов мало и недостаточно для разрушения граничных слоев, сила трения существенно не изменяется, поэтому в соответствии с формулой $f = \frac{F}{N}$ коэффициент трения принимает повышенные значения. При дальнейшем росте нагрузки граничный слой, продавливается только самыми высокими выступами поверхностей сопрягаемых тел.

Между ними образуются мостики сварки, сопротивление которых сдвигу увеличивает силу трения F , однако ее увеличение не успевает за ростом нормальной нагрузки N , что приводит к снижению коэффициента трения. В результате многократных пластических деформаций выступов температура в зоне контакта повышается, возрастает вероятность образования мостиков сварки, и как следствие растет коэффициент трения.

На графике видно, что наибольший коэффициент трения имеет ролик, наплавленный в воздушной среде электродом. Ролики наплавленные в среде аргона и углекислого газа сварочной проволокой СВ–08Г2С имеют близкие значения коэффициента трения.

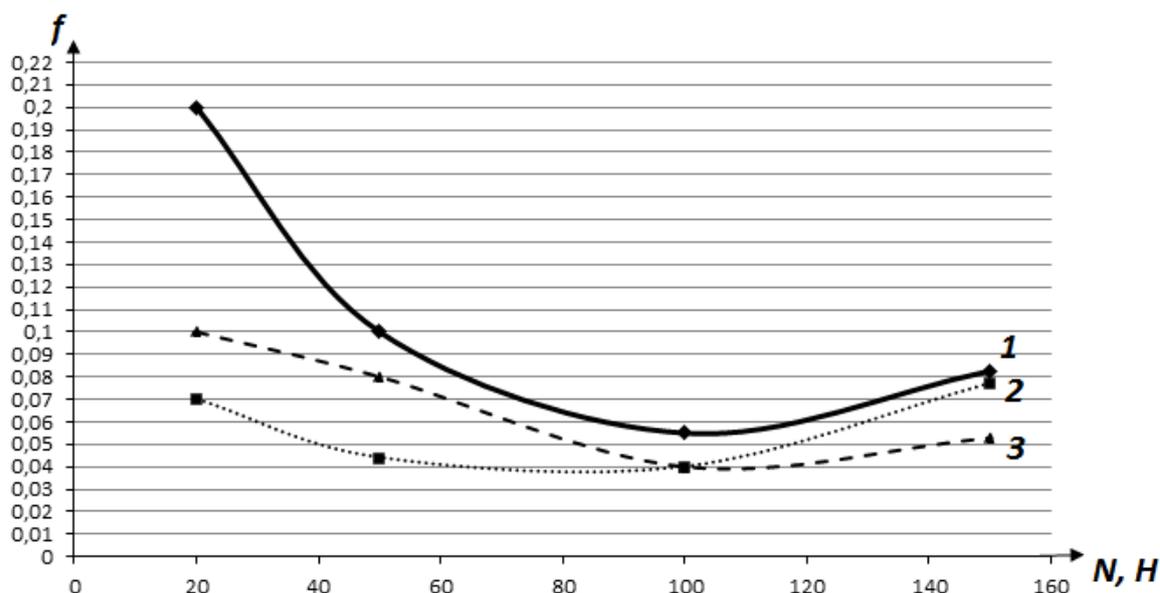


Рисунок 1 – Влияние нагрузки на коэффициент трения материалов, наплавленных в различных средах: 1 – в воздушной среде электродом; 2 – в среде аргона сварочной проволокой СВ–08Г2С; 3 – в среде углекислого газа сварочной проволокой СВ–08Г2С

Более высокое значение коэффициента трения у ролика наплавленного в углекислом газе по сравнению с аргоном, объясняется тем, что атомарный кислород, выделившийся при термической диссоциации CO_2 , вступает во взаимодействие с железом, углеродом и раскислителями, содержащимися в проволоке СВ–08Г2С. При этом возможно образование окиси железа FeO. Свободный кислород и окись железа вступают в соединения с марганцем, кремнием, углеродом и другими элементами и происходит выгорание этих элементов. Это снижает механические свойства наплавленного слоя.

При наплавке в аргоне, нежелательных для сварочного процесса соединений не образуется, т. к. он не вступает в химическую реакцию с расплавленным металлом. Поэтому, основываясь на результатах испытаний, можно сделать вывод, что в качестве защитной среды аргон является наиболее предпочтительным.

Литература

1. Богданович, П.Н. Трение, смазка и износ в машинах: учебник / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак, С.П. Богданович. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 527 с. : ил. – 1000 экз. – ISBN 978-985-458-219-1.
2. Федин, А.П. Сварка, наплавка и резка материалов : учебное пособие для студентов механических специальностей вузов железнодорожного транспорта / А. П. Федин. – Минск : Вышэйшая школа, 1972. – 272 с.

Е. Г. Чупрето (УО «БелГУТ», Гомель)
Науч. рук. **П. Н. Богданович**, д-р техн. наук, профессор

ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ

В процессе эксплуатации наблюдается выход из строя деталей машин и механизмов. Основной причиной неисправности является износ пар трения. Процесс изнашивания сопровождается изменением формы и размеров деталей, появлением вибраций и дополнительных динамических нагрузок, а также возникновением концентраторов напряжений.

В ряде случаев изготовление новых деталей нерационально в связи с высокой стоимостью материалов и трудоемкостью процесса. На средства, которые необходимы для покупки одной новой машины, можно отремонтировать 3,5 неисправных. Они же в свою очередь, в течение ближайших 3 лет смогут выполнять в 2–4 раза больший объем работы.

Таким образом, в настоящее время актуальной задачей является разработка и усовершенствование методов восстановления базовых деталей для увеличения ресурса работы, повышения надежности и срока эксплуатации машин.

Методы восстановления позволяют использовать материал и форму исходных деталей, остаточную долговечность, сократить потребление запасных частей, трудоемкость процесса, расход материалов и потребляемой энергии. В частности, для восстановления стальных валов чаще всего выбирают наплавку, как один из наиболее производительных и экономичных способов.

Пара трения «червяк-втулка» сверлильной головки работает при высоких скоростях скольжения, давление в зоне контакта достигает 10 МПа. В данном случае можно выделить два основных вида изнашивания: абразивное и усталостное. Меньший вклад вносят адгезионное и окислительное изнашивание.

Особый интерес для практики представляет долговечность наплавленного слоя, поэтому была изучена зависимость интенсивности изнашивания от нагрузки для образцов, наплавленных в среде углекислого газа и аргона сварочной проволокой, а также для образца наплавленного электродом в воздушной среде.

Моделирование фрикционного узла осуществлялось на машине трения СМТ – 1 по схеме «ролик – вкладыш». Вкладыш (шириной 10 мм и длиной дуги контакта 20 мм) был изготовлен из серого чугуна СЧ15, а на поверхность ролика был нанесен наплавочный материал (после наплавки размеры ролика составили: высота 10 мм, внутренний диаметр 16 мм и наружный 40 мм) в среде аргона, углекислого газа и на воздухе.

Для первых двух случаев наплавка проводилась легированной сварочной проволокой СВ–08Г2С, а в третьем сварочным электродом.

Для определения зависимости интенсивности изнашивания от нагрузки испытания проводились при нагрузках: 20 Н; 50Н; 100Н; 150Н. В качестве смазочного материала использовалось индустриальное масло И–8А. Все испытания проводились при скорости 360 об/мин. Длительность одного испытания составила 2 часа. Перед испытаниями проводилась приработка образцов в течение 2 ч.

Износ (по потере массы) регистрировался на аналитических весах ВЛР-200 с погрешностью 0,0001 г. Интенсивность изнашивания определялась по формуле:

$$I_h = \frac{\Delta m}{\rho \cdot A_a \cdot v \cdot t},$$

где Δm – изменение массы образца в результате изнашивания;

ρ – плотность материала исследуемого образца, наплавочного материала 7200 кг/м³;

A_a – номинальная площадь поверхности трения, $2 \cdot 10^{-4}$, м²;

v – скорость вращения ролика, м/с ;

t – время динамического контакта, с.

На рисунке 1 представлены зависимости интенсивности изнашивания от нагрузки. Видно, что увеличение нагрузки в области малых ее значений приводит к незначительному росту интенсивности изнашивания.

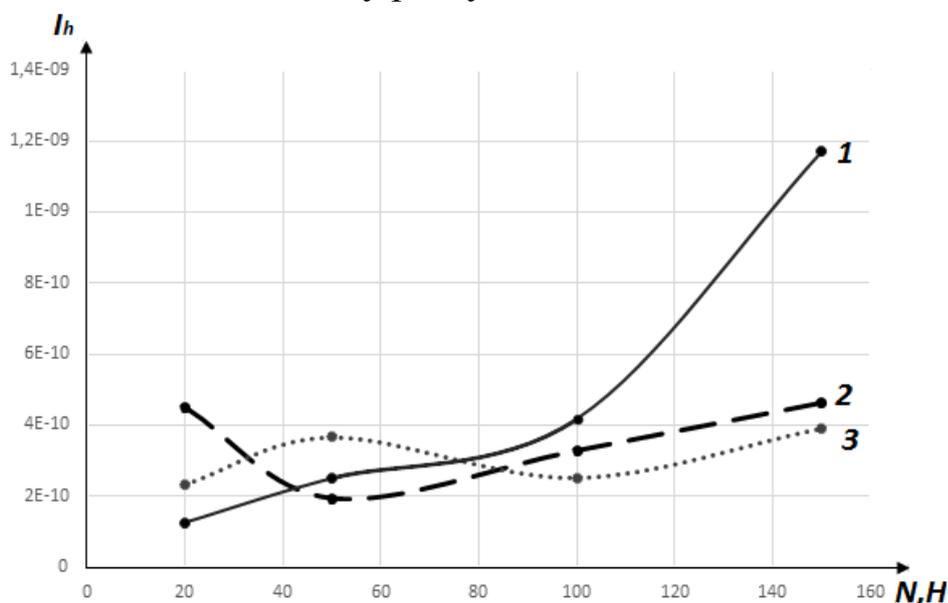


Рисунок 1 – Влияние нагрузки на интенсивность изнашивания материалов, наплавленных в различных средах:

1 – в воздушной среде электродом; 2 – в среде углекислого газа сварочной проволокой; 3 – в среде аргона сварочной проволокой

Это связано с тем, граничный слой образованный смазочным материалом продавливается только наиболее высокими выступами поверхностей сопрягаемых деталей. В этом случае фактическая площадь контакта медленно возрастает. С ростом нагрузки число вступающих в контакт выступов увеличивается, повышается также температура на пятнах фактического контакта и вероятность образования прочных мостиков сварки, сопротивление которых сдвигу вносит значительный вклад в изменение массы образцов и, как следствие, приводит к увеличению интенсивности изнашивания.

Из графика видно, что наибольшему износу из представленных роликов подвергся ролик наплавленный в воздушной среде электродом. Наибольшей износостойкостью обладает ролик наплавленный в среде аргона сварочной проволокой СВ-08Г2С. Вкладыш во всех случаях подвергся наименьшему износу.

Литература

1. Богданович, П.Н. Трение, смазка и износ в машинах: учебник / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак, С.П. Богданович. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 527 с. : ил. – 1000 экз. – ISBN 978-985-458-219-1.

2. Федин, А.П. Сварка, наплавка и резка материалов : учебное пособие для студентов механических специальностей вузов железнодорожного транспорта / А.П. Федин. – Минск : Вышэйшая школа, 1972. – 272 с.

П.Д. Шавирин (УО «ГрГУ имени Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **П.И. Шупан**, м. техн. наук, ст. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ И КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Вопросы экономии металлов, борьбы с коррозией и износом деталей машин и механизмов приобретают в настоящее время все большую актуальность. Решение этих вопросов связано с изменением свойств поверхностных слоев изделий. Для защиты от коррозии и придания изделиям специальных свойств с целью увеличения их долговечности и работоспособности используются покрытия, изменяющие свойства их поверхности.

Известно, что структура материала зависит от величины, формы, строения макромолекул, характера взаимодействия с частицами модификатора и обуславливает важнейшие физико-механические и эксплуатационные свойства.

С целью улучшения триботехнических, физико-механических и эксплуатационных характеристик изделий используют антифрикционные покрытия, содержащие в своем составе модификаторы [1].

Покрытия получали с использованием порошка полиамида 6 (дисперсность частиц 80 – 180 мкм.). В качестве модификатора применяли олигомалеимидоаминофенилен (ОМИАФ) и олигомалеимидогидроксифенилен (ОМИГФ), которые в количестве 0,3 масс. % добавляли в полиамид 6. Покрытия наносились на металлические подложки круглой формы из стали 40Х псевдооживленным методом.

Триботехнические испытания проводили на микротрибометре FT-2, предназначенном для исследования параметров трения и изнашивания материалов по схеме «сфера-плоскость» без смазочного материала с нагрузкой 20 Н [2].

Согласно проведенным триботехническим испытаниям было установлено, что добавление модификаторов в исходный ПА 6 приводит к изменению значений коэффициентов трения. Результаты триботехнических испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты триботехнических испытаний

Образец	Значение коэффициента трения
Полиамид 6	0,329
Полиамид 6+ ОМИАФ	0,265
Полиамид 6+ ОМИГФ	0,353

Уменьшение коэффициента трения на 15,5 % у покрытия, модифицированного ОМИАФ связано со снижением шероховатости поверхности трения, повышением площади фактического контакта и уменьшением вследствие этого удельной нагрузки в зоне контакта; очевидно, что модификатор в полиамидном покрытии играет роль твердой смазки. Увеличение значения коэффициента трения у образца на 6,8 %, модифицированного ОМИГФ связано с большей шероховатостью и низкой прирабатываемостью трущихся поверхностей.

Коррозионные испытания коррозионной стойкости базовых и модифицированных полиамидных покрытий оценивали по [3]. Испытания проводились в так называемой камере солевого тумана при повышенных температурах (использовали морскую соль концентрацией 10%, температура – 35 ± 5 °С); время испытания – 246 часа. Степень коррозионного поражения покрытий определяли по методу В [3].

Степень поражения X_c в процентах вычисляли по формуле:

$$X_c = \frac{n_c}{N_c} * 100\%,$$

где n_c – число квадратов с ржавчиной;

N_c – общее число квадратов на поверхности образца.

Результаты коррозионных испытаний показали, что добавленные модификаторы оказывают положительное воздействие на коррозионную стойкость полиамидного покрытия (таблица 2). Баллы степени поражения выбираются по [3, табл. 2].

Таблица 2 – Результаты коррозионных испытаний

Образец	Степень поражения	Балл
Полиамид 6	6,8	4
Полиамид 6 + ОМИАФ	1,3	6
Полиамид 6 + ОМИГФ	0,7	7

Таким образом, экспериментально установлено, что модификаторы в полиамидном покрытии приводят к изменению поверхностной структуры, повышению коррозионной стойкости и улучшению триботехнических характеристик, что, в свою очередь, говорит о перспективности применения данных покрытий в машиностроении.

Литература

1. Пат. 15323 РБ, МПК С08L 61/28, С08L 67/08. Имидосодержащая меламиналкидная композиция: / А.И. Глоба [и др.]; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» – № а 20101151, заявл. 28.07.2010; опубл. 28.02.12.

2. Гаврилова, В.В. Триботехнические и композиционные материалы. Часть I. Триботехнические материалы. Лабораторный практикум / В.В.Гаврилова, А.С.Антонов, С.А. Плескач. – Гродно : ГрГУ, 2013. – 48 с.

3. ГОСТ 9.308-85 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний». – Введ. 1989 – 01 – 01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 20 с.

Э.Б. Шеров (УО БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С.И. Сиротко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВМЕСТИМОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ НА РЕЦЕПТОРНОМ УРОВНЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДРУГ С ДРУГОМ

Наиболее значительным и распространённым видом воздействия на организм больного человека является фармакотерапия – воздействие лекарственными средствами. В настоящее время различные производители –

фармакологические компании выпускают широчайший ассортимент лекарственных средств. Поскольку значительная часть лекарственных средств предлагается в свободной продаже, и их применение не требует явного назначения врачом, то возможность ориентироваться в их номенклатуре оказывается актуальной не только для специалистов-медиков, но и для широкого круга потребителей.

Цель: Автоматизировать подбор аналогов и анализ совместимости лекарственных средств с использованием технологий BIG DATA.

Для достижения цели нужно выполнить ряд задач:

1. Провести разбор и анализ различных источников.
2. Сбор первичной информации о лекарственных средствах (наполнение БД).
3. Написание парсера.
4. Применение алгоритмов машинного обучения.
5. Визуализация результатов.

В настоящее время имеются несколько главных онлайн источников, откуда люди могут узнать различную информацию о лекарственных средствах Республики Беларусь:

- 1) Tabletka.by – сайт, где можно найти лекарства в аптеках, включая аналоги по международному непатентованному названию;
- 2) Arteka.103.by – сайт, где можно найти лекарства той же нозологии и международному непатентованному названию;
- 3) Vidal.by – справочник лекарственных средств Республики Беларусь.

Для проведения исследования загружены различные базы данных из открытых источников (база данных FDA, drugBank.com, справочник Vidal).

Разработан и написан на языке Python парсер для обработки базы данных fda, т.к. она имеет очень большой размер, данные в ней хранятся в неструктурированном виде (формат XML), и поэтому не открывается простым редактором. База данных drugBank.com загружена в json формате. Организация баз данных различна, поэтому потребовалось сделать выборку необходимых полей из всех трёх баз данных.

В качестве хранилища использовалась СУБД MongoDB, которая классифицируется как NoSQL.

Было применено несколько подходов и алгоритмов с использованием полученных данных. Применен один из контролируемых алгоритмов машинного обучения – алгоритм многоклассовой классификации[1]. В качестве базиса для обучения сделана выборка по лекарствам каждой фармакологической группы с каждым действующим веществом.

Модель получает на вход множество лекарственных средств, у каждого из которых есть определенное действующее вещество, формирует

множество внутренних состояний, отражающих взаимодействия каждого с каждым, а на выход выдаёт множество возможных побочных эффектов.

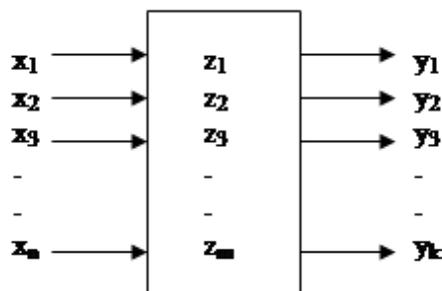


Рисунок 1 – Обобщенная модель реализации классификаторов

Задача совместимости лекарств рассмотрена не на тератогенном уровне действия, а на рецепторном взаимодействии друг с другом.

Тератогенное действие – нарушение эмбрионального развития под воздействием тератогенных факторов – некоторых физических, химических (в том числе лекарственных препаратов) и биологических агентов (например, вирусов) с возникновением морфологических аномалий и пороков развития. [2]

При помощи библиотеки D3 языка Javascript отображены и визуализированы полученные результаты по аналогам лекарственных средств.

Результаты исследования:

В ходе исследования получены теоретические и практические знания в областях Big Data, биоинформатики и фармакологии. Спроектирована модель, обеспечивающая выявление и поиск совместимости побочных эффектов по данным. Также получены практические знания разработки приложений с использованием методов индуктивного машинного обучения, реализованных программными библиотеками NumPy, pandas и Bio на языке Python.

На основе полученных результатов разрабатывается программный комплекс, способный осуществлять быстрый или более детальный точный аналогичных лекарственных средств, и проведён анализ совместимости лекарств с различным действующим веществом.

В дальнейшем планируется более масштабное тестирование и внедрение результатов, а также рассмотрение задачи совместимости на тератогенном уровне с учётом ряда различных факторов.

Литература

1. Andreas C. Müller, Sarah Guido (2016) Introduction to Machine Learning with Python.
2. Википедия – Тератогенное действие [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тератогенное_действие.

А.В. Шилов (УО «МГУ им. А.А. Кулешова», Могилев)
Науч. рук. **А. Б. Сотский**, д-р физ.-мат. наук, профессор

МОДОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИКАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ТГц ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

В силу существенного поглощения электромагнитного излучения терагерцового (ТГц) диапазона всеми известными материалами (за исключением воздуха) создание направляющих его волноводов составляет непростую задачу. К настоящему времени предложен ряд конфигураций волноводов ТГц диапазона. Их общим недостатком является значительное затухание передаваемого сигнала. Наиболее перспективными в плане минимизации этого затухания считаются полимерные волноводы с полый сердцевинной. В них энергия передаваемого излучения локализуется в сердцевине за счет его отражений от оболочки, представляющей собой двумерный фотонный кристалл. Актуальным является исследование возможностей оптимизации структуры поперечного сечения таких волноводов. В настоящем докладе под этим углом зрения анализируются модовые характеристики волокон в виде колец различного числа капилляров.

Исследование данного типа волокон представляет сложную дифракционную задачу. Для её решения применен строгий метод функций Грина [1]. На рисунке 1 приведены поля основных мод волокон. Характерные параметры такой структуры: R и l – толщина и внутренний радиус оболочки, b и d – внешний радиус и толщина стенки капилляра.

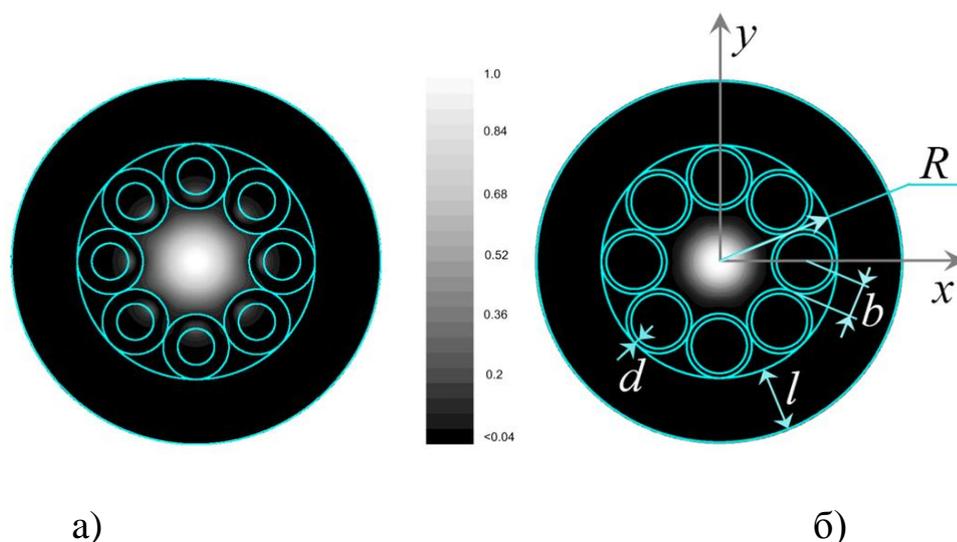


Рисунок 1 – Рассчитанная интенсивность поля основной моды 8-капиллярного волокна с толщиной стенок капилляров:
а) $d = 176 \mu\text{m}$, б) $d = 59 \mu\text{m}$

Исследования показали, что уменьшение толщины стенки капилляра ведет к увеличению ширины полос пропускания, а также к смещению их в коротковолновую область.

В НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва) методом терагерцовой спектроскопии во временной области были измерены дисперсионные зависимости в диапазоне частот $0 \text{ THz} < f < 2.5 \text{ THz}$ 8-капиллярного волокна с параметрами $d = 176 \mu\text{m}$, $R = 1.435 \text{ mm}$ и $l = 790 \mu\text{m}$, изготовленного из полипропилена с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2.229 - i0.0039$. Сравнение этих зависимостей с теоретическими расчетами приведено на рисунке 2. Как видно из рисунка 2, имеется качественное согласие между рассчитанными и экспериментальными дисперсионными кривыми основных мод. Высшие моды волокна (рисунок 2а, пунктирные кривые) имеют затухание на порядок большее, чем основные (рисунок 2а, серые кривые), что позволяет сделать вывод об одномодовости данного волновода применительно к ТГц спектроскопии.

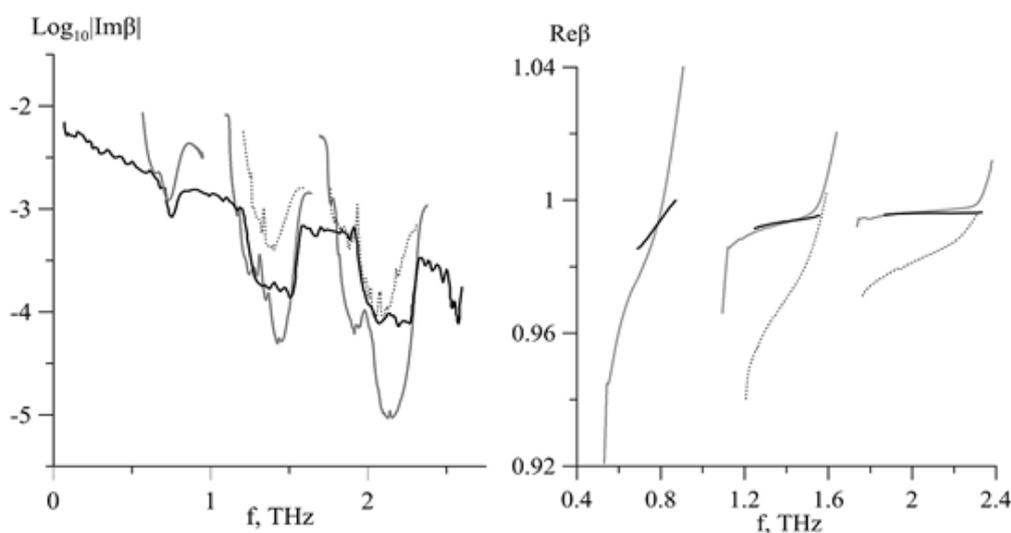


Рисунок 2 – Дисперсия эффективного показателя преломления β мод восьмикapиллярного волокна. Черные сплошные линии – эксперимент, серые и пунктирные кривые – расчет для основной и первой высшей мод, соответственно

Детально изучен вопрос об оптимальном выборе числа соприкасающихся капилляров в оболочке, количество которых влияет на затухание ТГц сигнала. При расчетах кольцо капилляров помещалось в капроновую оболочку, изолирующую волокно от окружающей среды. Полученные результаты иллюстрируются рисунком 3, где $L = 5.26 + \log_{10} |\text{Im} \beta|$.

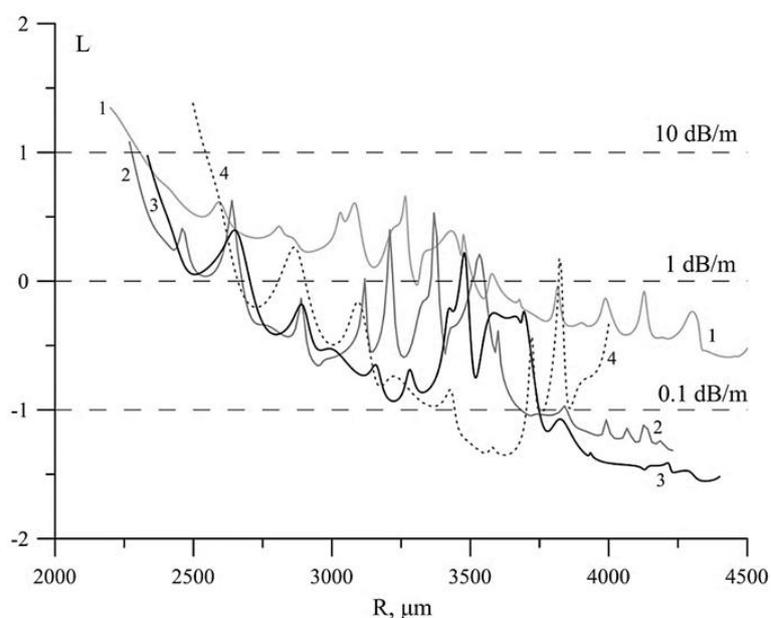


Рисунок 3 – Влияние внутреннего радиуса оболочки R на потери передаваемого сигнала L . Кривая 1 соответствует кольцу из 6 капилляров, 2 – из 7 капилляров, 3 – из 8, 4 – из 10 капилляров

Согласно рис.3, увеличение числа капилляров от шести до восьми позволяет уменьшить потери от 1dB/m до 0.1dB/m при $R = 3250\mu\text{m}$. Кроме того, из рис.3 можно сделать вывод о том, что дальнейшее увеличение числа капилляров приводит к меньшим потерям при большем внешнем радиусе оболочки, что объясняется ростом степени проникновения излучения в стенки капилляров при уменьшении их толщины.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант F15R-138).

Литература

1. Сотский, А.Б. Теория оптических волноводных элементов : монография / А.Б. Сотский. – Могилев: УО «МГУ им. А.А. Кулешова», 2011. – 456 с.: ил.

Содержание

Секция 1. Новые материалы и технологии

Азарова А.А. Светофильтры на основе стекол системы $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-Sm}_2\text{O}_3$	7
Акулич В.А., Михеев А.А. Применение методов лазерной атомно-эмиссионной многоканальной спектрометрии в медицинской диагностике стрессовых ситуаций	9
Аль-Камали М.Ф.С.Х., Аль-Адеми Я.Т.А. Исследование спектров оптического пропускания пористого анодного оксида алюминия полученного в органических электролитах	12
Аль-Камали М.Ф.С.Х., Аль-Адеми Я.Т.А., Повжик А.А. Исследование температурных характеристик ик-излучателя на алюминиевом основании с нагревательным элементом из углеродной нити.....	14
Амбражей В.В., Асинский П.Г. Формирование пористых пленок оксида титана на основе нанокompозитных пленок Al-Ti	16
Баглов А.В. Фотокаталитическая активность золь-гель сформированных полупроводниковых оксидов металлов	19
Баглов А.В., Лисимова Е.С. Гидротермальное формирование оксидов меди на алюминиевых подложках	22
Бокова А.Д. Исследование морфологии и размеров частиц в водных дисперсиях на основе диоксида кремния методами АСМ и СЭМ	25
Гайдук Ю.С. Состав и структура нанодисперсных газочувствительных материалов на основе композиции $\text{WO}_3\text{-In}_2\text{O}_3$, полученных золь-гель методом	28
Галась В.Ю., Попова М.А. Методика обработки триботехнических испытаний покрытий на полиуретане.....	31
Гармилин Е.В. Электрофизические свойства золь-гель материалов с высокой диэлектрической проницаемостью.....	34
Грейбо А.А., Тимошенко С.А. Совершенствование герметизирующих параметров объеммера топливораздаточной колонны	36
Динь Т.Х., Лобунов В.В. Исследование перегрева тепловыделяющих элементов на поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия	39
Емельянович М.А., Ермоленко М.П. Влияние дисперсных частиц на эффективность ультразвуковой очистки деревообрабатывающего инструмента	41

Ермоленко М.П., Севашко А.В. Конструктивная модернизация унифицированного приспособления для сборки карданных валов	44
Есин А.Г. Композиционные материалы на основе алифатических полиамидов повышенной устойчивости к процессам термоокислительной деструкции	47
Зайцев Д.А. Синтез и оптические свойства углеродных алмазоподобных покрытий	50
Зыбко Ю.А. Смесевые композиты для триботехнических покрытий автоагрегатов	51
Каранкевич В.В. Инновационные решения по повышению экономичности и маневренности газотурбинных и парогазовых установок	54
Кондратьева Ю.А. Трансформация полос комбинационного рассеяния света в эпитаксиальном кремнии, обработанном в водородной плазме	57
Короткевич Е.В. Условие увлечения порошка металла в зону деформации для формирования покрытия.....	60
Кравченко А.В. Прозрачные проводящие золь-гель покрытия ..	62
Кузнецов А.Г., Стяшкович К.В. Обеспечение условий герметизации предохранительных клапанов кислородного газификатора	65
Купреева О.В. Создание наноструктурированных материалов для обеззараживания воды	68
Курьянов П.В. Электродуговая металлизация как ресурсосберегающий метод нанесения покрытий из использованной металлической проводки	71
Лавицкая Т.С. Конвекция расплава кремния в процессе роста слитков методом Чохральского	73
Ле Динь Ви, В.И. Грицков, Е.А. Масленкова Формирование пористого кремния с пиком фотолюминесценции в зеленой области видимого диапазона	76
Лобанов П.Р., Пуровский М.П. Применение полимерных материалов при производстве монтажных конусов для железобетонных плит перекрытия.....	79
Мазырко С.Н., Македон А.В. Материаловедческая модернизация трехходового крана Ду 50 химических производств	82
Макарова Л.С. Разработка методики приготовления золь-гель методом порошка феррит-диэлектрик с углеродным наполнителем	85

Македон А.В., Галабурда Е.Б. Повышение функциональных характеристик полиэфирных покрытий, формируемых методом электростатического нанесения.....	87
Малыко А.И. Исследование электрофизических характеристик пленок TiBN	90
Минчуков А.М. Безлинзовое формирование изображений	93
Наливайко Ю.Ю. Оптимизация состава смазочного материала по триботехническим характеристикам	95
Наливайко Ю.Ю. Закономерности изнашивания деталей тяжело нагруженных узлов трения при смазке маслом с наноразмерными частицами	98
Никитин С.А. Планарный переключатель СВЧ сигналов	101
Перко С.В., Грицков В.И., Амбражей В.В. Формирование наноструктурированных пленок тугоплавких металлов	104
Петрович Т.Ю. Определение оптических постоянных тонких оксидных пленок спектрофотометрическим методом	107
Пивоварчик Е.В. Контроль качества отливок, изготавливаемых из медно-цинковых сплавов.....	109
Плисюк В.С. Исследование структур с пленками оксида диспрозия для использования в качестве слоя с ловушками заряда для ячеек памяти.....	111
Понедько А.С. Обратная задача спектрофотометрии для наклонного падения света на пластину со слоем	114
Пуличев А.В. Материаловедческие и технологические решения элементов машин текстильного производства	116
Розмысл В.О. Технология композиционных покрытий на основе алифатических полиамидов, модифицированных наночастицами меди	119
Семашко А.Г. Разделительные покрытия для изготовления стержней из холодно твердеющих песчано-смоляных смесей....	122
Симаньков А.А. Формирование полупрозрачных медных электродов для изделий оптоэлектроники	125
Слепенков Д.В. Кремний и его свойства в микроволновом диапазоне длин волн	128
Слесарь Д.Ю. Использование аддитивных технологий при конструировании технических объектов	131
Столяревская Е.В., Курьян Н.Н. Определение концентрации натрия в красной глине методом лазерно-эмиссионного спектрального анализа	133
Строгова А.С. Получение и исследование слоистых структур на основе нанокластеров кремния, германия, твердого раствора кремний-германий и редкоземельных элементов	136

Таболитч А.А. Лазерно-индуцированная фото деструкция карбоксигемоглобина для устранения отравления угарным газом ...	139
Трофимчик И.А. Исследование адгезионной способности грунтовок при осуществлении ремонта механических транспортных средств	142
Турок Ю.И. Смазочно-охлаждающие жидкости для обработки железоуглеродистых сплавов резанием	145
Тюленкова Н.И. Столбчатые наноструктуры на основе оксида цинка, сформированные золь-гель методом	147
Фоминова Е.А. Исследование характеристик сорбентов с магнитными свойствами, синтезированных золь-гель методом	150
Чекмарёв Е.А. Наноструктурированные основания с использованием алюминия и его анодных оксидов для фотовольтаических элементов	152
Чернышей А.Г. Исследование влияния режимов получения двухслойной эпитаксиальной структуры на повышение качества мощного биполярного транзистора	155
Чуешков Ю.В. Формирование тонкопленочных систем металлизации при изготовлении печатных плат	158
Чупрето Е.Г. Влияние газовой среды при наплавке деталей при трении их в условиях граничной смазки	161
Чупрето Е.Г. Особенности изнашивания восстановленных деталей при граничном трении	164
Шавирин П.Д. Исследование триботехнических и коррозионных свойств композиционных полимерных покрытий	166
Шеров Э.Б. Применение технологий Big Data для оценки совместимости лекарственных средств на рецепторном уровне взаимодействия друг с другом	168
Шилов А.В. Модовые характеристики мультикапиллярных волокон для ТГц диапазона частот	171

Научное электронное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

Материалы VI Республиканской
научной конференции
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 26 апреля 2017 года)

В трёх частях

Часть 1

Подписано к использованию 1.09.2017.

Издатель:

учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.