

**Программируемый источник питания та-
кими основными характеристиками:** выходное
напряжение 0–200 В; выходной ток 0–60 А; вы-
ходное сопротивление 0–13 Ом; функции фор-
мирования импульсов согласно требованиям ISO
16750-2, SAEJ1113-11, DIN40839.

Генератор испытательных импульсов, фор-
мирующий импульсы – 1, 2а, 3а, 3б, разработанный
в соответствии с требованиями ГОСТ 7637-
2-2015 [1], обладающий следующими характери-
стиками: сеть питания тестируемого устройства –
12, 24 В; максимальный ток потребления тестиру-
емого устройства – 50 А; в соответствии с требо-
ваниями стандарта ГОСТ 7637-2-2015. Проверку
формирования генератором испытательных им-
пульсов 1,2а,3а,3б на соответствие с требований
стандарта ГОСТ ISO 7637-2-2015 проводят по
схеме, приведенной на рисунке 1.

Особенностью разработанного комплекта кон-
трольно-измерительной аппаратуры для оценки
ЭМС в цепях управления и питания транспорт-
ных средств специального и двойного назначения
является малые габариты в сравнении с аналогич-
ным, оборудованием, производимым в ближнем
зарубежье, более низкая цена, возможность фор-
мировать импульсные сигналы 1, 2а, 3а, 3б в со-
ответствии с требованиями последних редакций
международных стандартов ЭМС как для транс-
портных средств с питанием 12 В так и 24 В.

Заключение. Создание комплекта кон-
трольно-измерительной аппаратуры для оценки

электромагнитной совместимости в цепях управ-
ления и питания транспортных средств специаль-
ного и двойного назначения – важная задача для
обеспечения надежности и безопасности работы
современных автомобилей и техники. Современ-
ные технологии позволят разрабатывать эффек-
тивные решения, которые помогут свести к мини-
муму влияние электромагнитных помех на работу
электронных систем, что в свою очередь повысит
уровень безопасности и эксплуатационных харак-
теристик транспортных средств.

Оценка электромагнитной совместимости
в цепях управления и питания транспортных
средств является важным шагом для обеспечения
их надежной работы в условиях воздействия элек-
тромагнитных помех. Стандартизация тестов,
применение современных приборов и методик
позволяют обеспечить высокое качество и без-
опасность транспортных средств, что особенно
критично для машин специального назначения,
а комплексный подход к оценке ЭМС и приме-
нение наилучших практик в разработке этих систем
позволит минимизировать риски неисправностей
и увеличить срок службы оборудования.

Литература

1. ГОСТ ISO 7637-2-2015. Транспорт дорожный.
Помехи кондуктивные, емкостные и индуктивные.
Часть 2. – Введ. 01.07.2016. – М.: Стандартинформ,
2015. – 45 с.

УДК 621.793.184

НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИОКСИДА ТИТАНА

Телеш Е. В.¹, Сафронов Н. В.², Перепечко Е. Ю.¹, Курбако Е. Г.¹

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»

Минск, Беларусь

Аннотация. Разработан новый метод формирования покрытий из диоксида титана прямым осаждением из ионного пучка. Исследовано влияние парциального давления кислорода на характеристики покрытий. Установлено, что увеличение давления кислорода приводило к росту оптического пропускания, коэффициента преломления и износостойкости покрытий.

Ключевые слова: покрытия из диоксида титана, прямое осаждение из ионного пучка, давление кислорода, оптические характеристики, коэффициент преломления, коэффициент трения

A NEW METHOD FOR SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE COATINGS

Telesh E. V.¹, Safronov N. V.², Perepechko E. Y.¹, Kurbako E. G.¹

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

²OJSC Minsk Research Institute of Radiomaterials

Minsk, Belarus

Abstract. A new method for forming titanium dioxide coatings by direct ion beam deposition was developed. The effect of oxygen partial pressure on the coating properties was studied. It was found that increasing oxygen pressure resulted in increased optical transmittance, refractive index, and wear resistance of the coatings.

Keywords: titanium dioxide coatings, direct ion beam deposition, oxygen pressure, optical properties, refractive index, coefficient of friction.

Адрес для переписки: Телеш Е. В., ул. П. Бровки, 6, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: etelezh@bsuir.by

Диоксид титана (TiO₂) является одним из пер-
спективных материалов среди прозрачных окси-
дов. Тонкие пленки TiO₂ широко используют

в разных фотоэлектрических приборах благодаря
их высокой прозрачности в видимой области длин
волн и электрическим свойствам, которые изме-

няются в широких пределах в зависимости от технологических условий [1]. Значительный интерес к исследованию свойств тонких пленок диоксида титана обусловлен возможностью их использования в высокоэффективных тонкопленочных солнечных элементах и информационно-измерительных приборах. Для изготовления тонких пленок TiO_2 используют ряд технологических методов: реактивное магнетронное распыление, электронно-лучевое испарение, осаждение из газовой фазы, пульверизация с последующим пиролизом, термическое окисление и т. п. [2].

Нами предложен новый метод синтеза пленок диоксида титана – прямое осаждение из ионных пучков, формируемых ускорителем с анодным слоем в режиме ионно-пучкового фокуса [3]. Ионный источник 1 включал в себя соленоид 2, анод 3, дополнительный магнит 4, диафрагму из титана 5. Первичные пучки ионов аргона и кислорода 6 при наличии магнитных полей генерировали вторичный ионный пучок 7, который конденсировался на подложке 8 (рисунок 1).

Покрывают наносили на подложки из стекла и кремния. Остаточный вакуум составлял $(3,0\text{--}4,7) \cdot 10^{-3}$ Па, давление рабочего газа (аргон и кислород) – $(3,2\text{--}4,3) \cdot 10^{-2}$ Па. Мощность пучка варьировалась в диапазоне 110–130 Вт, напряжение U_d на диафрагме отсутствовало. Температура подложек составляла 313–323 К.

Измерение оптического пропускания покрытий осуществлялось в диапазоне 350–900 нм с помощью спектрофотометра PROSCAN. На рисунке 2 приведен спектр пропускания покрытия, полученного при парциальном давлении кислорода $\sim 2,1 \cdot 10^{-2}$ Па.

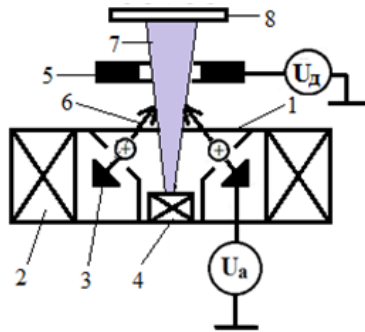


Рисунок 1 – Схема прямого осаждения пленок TiO_2

Установлено, что увеличение парциального давления кислорода способствовало росту оптического пропускания на $\lambda = 555$ нм (рисунок 3) и коэффициента преломления (рисунок 4). Последний измерялся на эллипсометре ЛФ-3. Следовательно имело место значительное окисление титана даже при невысоких давлениях кислорода.

Трибологические характеристики измерялись с использованием микротвердомера МТ-4. Рост давления кислорода привел к снижению коэффициента трения k с 0,65 до 0,36, что можно объяснить увеличением микротвердости по сравнению

с чистым титаном. Микроструктура покрытий исследовалась с применением атомно-силового микроскопа Ntegra Prima. На рисунке 5 приведено АСМ-изображение поверхности пленки TiO_2 на подложке из кремния, полученной при давлении кислорода $2,1 \cdot 10^{-2}$ Па. Покрытие имело очень плотную микроструктуру – средняя шероховатость составила всего лишь 0,867 нм.

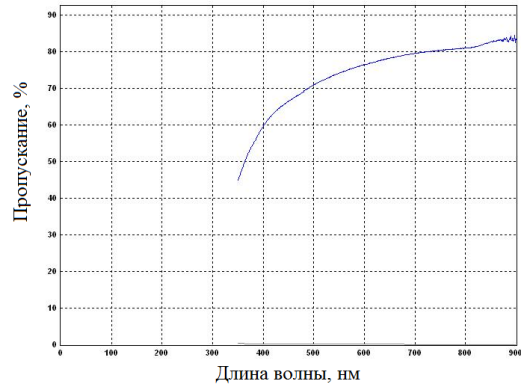


Рисунок 2 – Спектр пропускания пленок диоксида титана при парциальном давлении кислорода $2,1 \cdot 10^{-2}$ Па

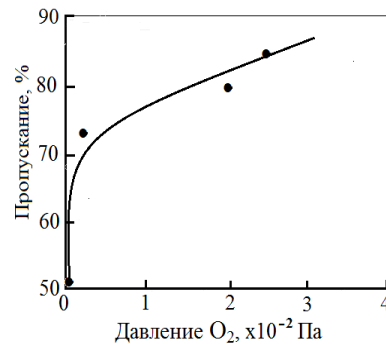


Рисунок 3 – Зависимость пропускания на $\lambda = 555$ нм от парциального давления кислорода

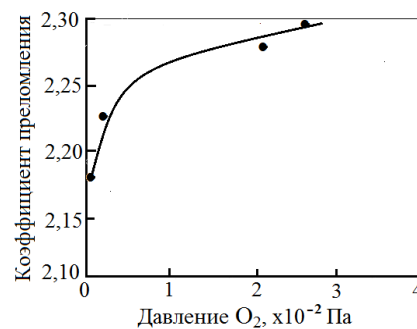


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента преломления от давления кислорода

Измерение адгезии покрытий методом отрыва липкой ленты показало, что покрытия нанесенные на стеклянные подложки успешно прошли тесты во всем диапазоне давлений кислорода. При нанесении покрытий на кремниевые подложки имело место растрескивание пленки из-за высоких механических напряжений, т. к. температура конденсации была низкой.

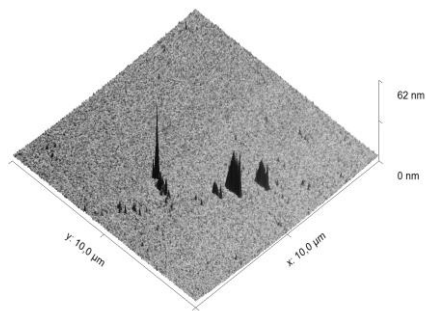


Рисунок 5 – Микроструктура покрытия из диоксида титана

Таким образом, проведенные исследования показали, что разработанный метод синтеза пленок

TiO_2 позволяет получать качественные покрытия в высокими прозрачностью, плотностью и износостойкостью даже при низких температурах подложки.

Литература

1. Enhancing the photoelectrochemical properties of titanium dioxide by thermal treatment in oxygen deficient environment / A. P. Singh, N. Kodan, B. R. Mehta // *Applied Surface Science*. – 2016. – Vol. 372. – P. 63–69.
2. Reactive sputtering deposition of photocatalytic TiO_2 thin films on glass substrates / C. J. Tavares, J. P. Leitao, J. A. Sans [et al.] // *Journal of Materials Science and Engineering B*. – 2007. – Vol. 138. – P. 139–143.
3. Ионно-плазменные системы в технологии тонких пленок / А. П. Достанко, С. И. Мадвейко, Е. В. Телеш [и др.] // *Доклады БГУИР*. – 2024. – № 2. – С. 20–31.

УДК 621.315.592

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИН КРЕМНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБРАБОТКИ В DC ПЛАЗМЕ ВОДОРОДА

Францкевич А. В., Францкевич Н. В., Мартинович В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Пластины монокристаллического р-типа 10 Ωcm Cz-Si обрабатывались в DC плазме водорода при разности потенциалов 1, 2,5 и 5 кэВ. Температура во время обработки составляла 250 и 400 $^{\circ}\text{C}$. Длительность обработки 60 и 120 минут. В результате проведенных обработок в приповерхностном слое кремния формируется дефектный слой, испытывающий сжимающие напряжения. В зависимости от условий плазменной обработки в данном слое возможно накопление молекулярного водорода.

Ключевые слова: комбинационное рассеяние, дефекты в кремнии, водородная плазма.

SURFACE MODIFICATION OF SILICON WAFERS BY HYDROGEN DC PLASMA TREATMENT

Frantskevich A. V., Frantskevich N. V., Martinovich V. A.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. Wafers of single-crystal p-type 10 Ωcm cm Cz-Si were treatment in DC hydrogen plasma at potential differences of 1, 2.5 and 5 keV. The temperature during processing was 250 and 400 $^{\circ}\text{C}$. The duration of processing was 60 and 120 minutes. As a result of the processing, a defective layer is formed in the near-surface silicon layer, which experiences compressive stresses. Depending on the plasma processing conditions, molecular hydrogen may accumulate in this layer.

Keywords: raman scattering, defects in silicon, hydrogen plasma.

Адрес для переписки: Францкевич А. В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: n_frantskevich@bntu.by

Введение. Гидрогенизация или обработка в плазме водорода разного типа, широко используется в технологии производства солнечных элементов, светодиодов, элементов памяти и других микроэлектронных структур на основе кремния. Основная цель данных обработок - улучшение качества конечных изделий. Однако хорошо известно, что присутствие водорода в количестве 5–7 атомных процентов в объеме технологических материалов приводит к образованию протяженных дефектов [1]. На базе этого явления реализована технология по формированию структур кремний на изоляторе [2] (Smart-Cut). В отличие от исследований, направленных на изучение пассивацией водородом дефектов, главная тема проводимых исследований – управляемое формирование дефектов в объеме и на поверхности

пластин кремния обусловленное локальным присутствием водорода. Необходимая концентрация водорода в локальном месте достигается ионной имплантацией. Конечная цель формирования дефектов – синтез на их месте структур состава Si_xO_y или Si_xN_y , в результате геттерирования на дефектах кислорода или азота, вводимых в кремний из плазмы [3–5].

В кремниевой технологии существует ряд технологий, когда структурированные диэлектрические слои необходимо получить не в объеме, а на поверхности или приповерхностной области кремниевой пластины. В этом случае, необходимую локальную концентрацию водорода (и соответственно дефектов), в принципе, возможно получить обрабатывая пластины кремния в плазме водорода. Цель проведенных исследований – изучить