

СЕКЦИЯ 4. ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ И НАНОСТРУКТУРЫ

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ION TREATMENT EFFECT ON THE ELECTRICAL AND TOPOLOGICAL SURFACES CHARACTERISTICS

А.Д.Купцов, / alex-kouptsov@yandex.ru
С.В.Сидорова

A.D. Kuptsov, S.V.Sidorova

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

Описывается технологический модуль подготовки подложек и материально-техническая база проведения экспериментальных исследований. Изучается сопротивление и шероховатость поверхности проводящей подложки и диэлектрических покрытий с предварительной обработкой источником ионов и без обработки.

The technological module – an ion source (IS) for the preparation of substrates and the technical base of experimental research are described. The resistance and roughness of the surface of the conductive substrate and dielectric coatings are studied with and without preliminary treatment with an IS.

Ключевые слова: технологический модуль, шероховатость поверхности, источник ионов.

Key words: technological module, roughness of the surface, ion source.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной науки, техники и технологий порождает развитие элементарных единиц и комплексов оборудования и устройств. Изобретаются различные элементы контроля и управления. Например, традиционным элементом датчиков термосопротивления является планарная подложка [1], однако ее форма может быть отлична от плоской [2-4]. Также в последние года большой интерес появляется к наноразмерным системам, микрокластерам и ультратонким пленкам [5-8].

В таком случае влияние наноразмерных вакансий концептуально влияет на качества и свойства получаемых покрытий.

Целью работы является изучение влияния предварительной ионной обработки подложки на свойства и качество диэлектрических покрытий.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В качестве материально-технической базы используется установка МВТУ-11-1МС. Структурно-компоновочная схема установки показана на рис.1.

Энергообеспечение установки происходит через распределительный шкаф 12. Управление кинематикой установки (шаговый двигатель вращения подложкодержателя, сервоприводы вращения заслонки технологических источников и заслонки, дросселирования откачки турбомолекулярного насоса) осуществляется с компьютера 5. Установка предварительно откачивается форвакуумным насосом 9 XDS-10,

расположенным на раме 8 с атмосферы до давления 2,0 Па за 15-20 минут. Контроль давления в форвакуумной магистрали осуществляется с помощью датчика Пирани 2. Далее включается турбомолекулярный насос 10 nEXT-240D, который откачивает камеру 4 до высокого вакуума 0,005 Па. Контроль давления осуществляется с помощью широкодиапазонного датчика WRG 3. На верхний фланец подложкодержатель 11 возможно установить до трех подложек диаметром 76 мм. Подача питания на источник ионов 6 и источник магнетронного распыления 7 производится с блоков питания для соответствующих модулей, расположенных в шкафу 13. С баллонов газа 1 подается поток рабочих газов.

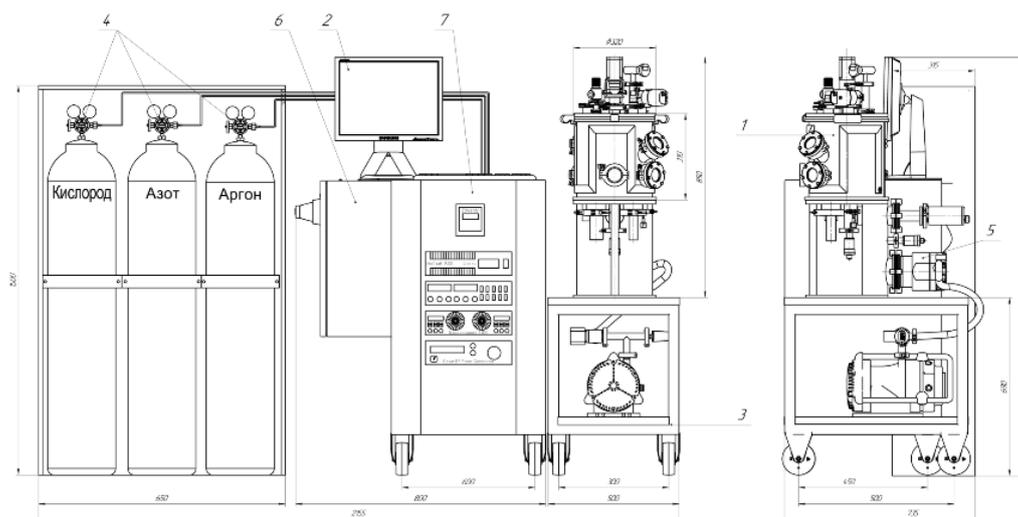


Рис.1.1 Установка MBTU-11-1МС.

Для проведения экспериментальных исследований использовался технологический модуль – источник ионов (ИИ) (рис.2). Использование ИИ позволяет воздействовать на качество покрытий, а именно – на адгезию наносимого покрытия к подложке. ИИ повышает скорости осаждения металлических покрытий при ионном ассистировании [9], увеличивает плотность упаковки осаждаемой пленки [10], очищает и активирует поверхность перед нанесением покрытий [11-14].

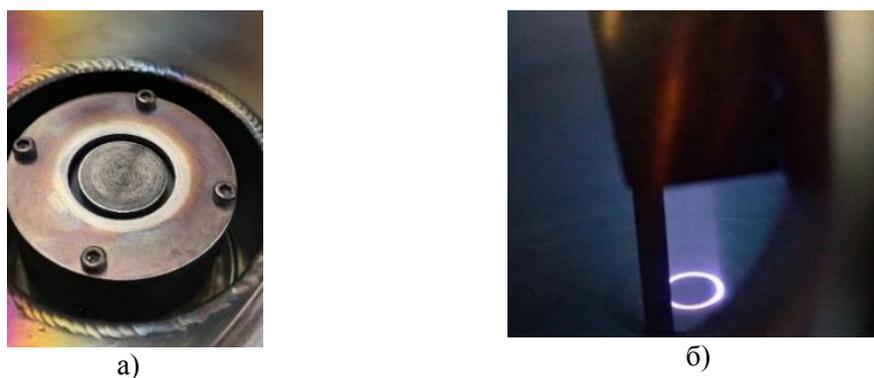


Рис.2.2 Источник ионов. а – ИИ в камере; б – ИИ в работе.

ИИ предназначен для получения цилиндрического пучка ионов и использования в вакуумных установках (по типу MBTU-11-1МС) для проведения процессов ионной очистки и ассистирования. ИИ генерирует и испускает пучок ионов в форме цилиндра со слабым расхождением к конической форме. ИИ рассчитан на наружное фланцевое

присоединение к стенкам рабочих камер. Технические характеристики источника: ток разряда до 30 мА, напряжение разряда до 3 кВ, рабочее давление в вакуумной камере 0,1 Па и ниже.

Отработаны режимы работы ИИ. При испускании плазмы ионов снимаются значения выходного напряжения при увеличении выходного тока на блоке питания источника с шагом 1 мА. По полученным данным построена вольт-амперная характеристика (ВАХ) ИИ (рис.3).

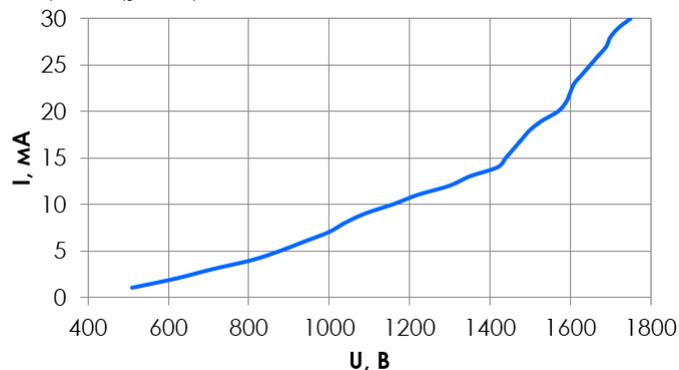


Рис.3. ВАХ системы ИИ.

Расход рабочего газа аргона – 0,12 л/ч. Рабочее давление в камере в процессе работы ИИ – 0,038 Па. При давлении выше, чем 0,1 Па, ИИ не работает – ВАХ имеет ступенчатый характер с 0 до 30 ... 50 мА при напряжении от 350 до 400 В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОДЛОЖКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Проводится эксперимент по изучению влияния предварительной ионной очистки подложек перед формированием покрытий. В вакуумную камеру устанавливается 4 металлические подложки. Два образца подвергаются предварительной обработке ИИ, два – нет. Процесс очистки ИИ длится 10 минут. После чего в едином вакуумном цикле наносится диэлектрическое покрытие на основе оксида и нитрида кремния методом ионно-плазменного осаждения [15, 16].

Образцы с нанесенным покрытием показаны на рисунке 4.

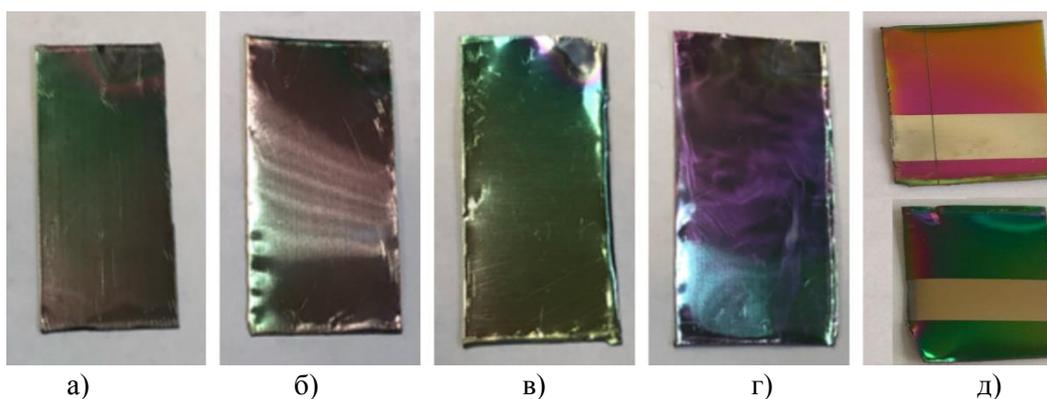


Рис.4. Экспериментальные образцы. а – г – образцы с покрытием Si_xN_y ;
д – образец с покрытием SiO_x (сверху до обработки ИИ, снизу – после)

При формировании покрытия нитрида кремния варьируется соотношение компонентов аргона (17,3 и 10,6 см³/мин) и азота (2,4 и 12,0 см³/мин). Формирование происходит из мишени кремния реактивным магнетронным осаждением. Оксид кремния

формируется из цельной мишени при мощности RF блока питания 50 Вт. Толщина диэлектрических пленок 500 ± 15 нм. Измеряется сопротивление покрытия нитрида кремния и оксида кремния. Результаты измерения показаны на рис.5.

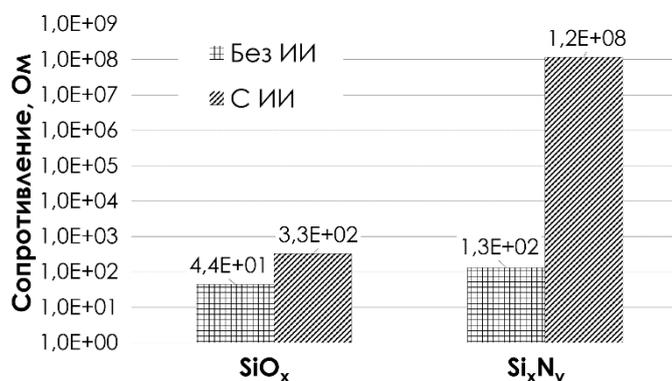


Рис.5. Результаты измерения сопротивления.

Предварительная обработка подложек ИИ позволяет повысить сопротивление диэлектрических покрытий на металлических поверхностях.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Методом АСМ измеряется шероховатость поверхности металлических подложек до обработки ионным лучом и после, также исследованы покрытия оксида кремния и нитрида кремния до и после обработки.

В качестве оборудования используется сканирующий зондовый микроскоп Solver Next. Измерения проводятся в полуконтактном режиме. Размер сканирующей области 100×100 мкм. Количество точек сканирования 512×512 пикс. В качестве зонда используется кремниевый кантилевер NSG01 с радиусом вершины 6 нм.

Результаты измерения топологий поверхностей до и после обработки ионным лучом показаны в таблице 1.

Таблица 1.

АСМ-изображения топологии подложек и покрытий

Исследуемая поверхность	Подложка (металл)	Оксид кремния	Нитрид кремния
До обработки			
После обработки			

Изображения проходят предварительную обработку, в процессе которой убираются артефакты (наклон поверхности, столбчатые выбросы), изображения сглаживаются.

Измерения шероховатости происходят на области 100x100 мкм, при этом в пяти точках значения шероховатости показываются в области 15x15 мкм для исключения артефактов, которые не удается устранить.

Данные по измерениям представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты измерения шероховатости поверхностей

№ измерения	Подложка		Покрытие			
			SiO _x		Si _x N _y	
	До обработки и ИИ	После обработки и ИИ	До обработки и ИИ	После обработки и ИИ	До обработки и ИИ	После обработки и ИИ
Ra ₁ , нм	15,8	17,7	22,7	34,5	38,8	16,1
Ra ₂ , нм	21,0	25,0	48,6	22,1	39,3	13,2
Ra ₃ , нм	14,6	29,3	27,6	51,9	54,6	10,5
Ra ₄ , нм	26,8	35,9	42,4	19,5	33,4	18,3
Ra ₅ , нм	25,1	31,2	21,6	19,6	40,6	21,2
\overline{Ra}, нм	20,66	27,82	32,58	29,52	41,34	15,86

Ионная обработка позволяет увеличить шероховатость подложки за счет удаления нано- и микрочастиц с поверхности заготовки. Среднее значение шероховатости увеличилось на 7,16 нм. Следует отметить, что ионная обработка проводилась под углом 90 градусов к поверхности образца. Для такого расположения системы характерно распыление впадин микрорельефа подложки, что согласуется с полученными результатами об увеличении шероховатости.

Измерение шероховатости покрытия показывает, что влияние работы ИИ уменьшает шероховатость поверхности: на 3,06 нм и 25,46 нм соответственно для оксида и нитрида кремния. Уменьшение шероховатости покрытий связано с процессом полирующего травления покрытия при воздействии плазмы ионов рабочего газа – аргона. В этом случае происходит травление приповерхностного слоя покрытия даже под углом 90 градусов к поверхности образца.

ВЫВОДЫ

Предварительная обработка подложек ионным лучом при ускоряющем напряжении до 2 кВ и токе разряда до 30 мА повышает сопротивление покрытия изоляционного диэлектрического слоя нитрида кремния в 10⁶ раз за счет очистки и активации поверхности подложки. Влияние ионной обработки увеличивает сопротивление пленки оксида кремния почти на порядок до 30 Ом. Малое значение сопротивления может быть вызвано наличием углеродосодержащих компонентов в структуре покрытия.

Ионная обработка позволяет увеличить шероховатость подложки за счет удаления нано- и микрочастиц с поверхности заготовки. Среднее значение шероховатости увеличивается на 7,16 нм. Измерение шероховатости покрытий показывает, что влияние работы ИИ уменьшает шероховатость поверхности: с 32,58 нм до 29,52 нм для оксида кремния и с 41,34 нм до 15,86 нм для нитрида кремния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волохов И. В. Технологические методики повышения стабильности параметров тонкопленочных тензорезистивных датчиков давления: дис. – Волохов ИВ–Пенза, 2008. – 21 с, 2008.
2. Применение тонкопленочных термосопротивлений (Thin Film RTD) для измерения температуры и скорости потока. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://efosensor.ru/storage/design/articles/Primeneniye_tonkoplenochnykh_termosoprotivleniy_\(ThinFilmRTD\)_dlya_izmereniya_temperatury_i_skorosti_potoka.pdf](http://efosensor.ru/storage/design/articles/Primeneniye_tonkoplenochnykh_termosoprotivleniy_(ThinFilmRTD)_dlya_izmereniya_temperatury_i_skorosti_potoka.pdf) – Заглавие с экрана. – (дата обращения: 07.12.2019).
3. Kagerer E., Königer M. E. Ion beam sputter deposition of thin film sensors for applications in highly loaded contacts //Thin solid films. – 1989. – Т. 182. – №. 1-2. – С. 333-344.
4. Schmaljohann F. et al. Thin-film sensors with small structure size on flat and curved surfaces //Measurement Science and Technology. – 2012. – Т. 23. – №. 7. – С. 074019.
5. Губин С.П. Химия кластеров. М.: Наука, 1987.
6. Морохов И.Д., Трусов С.П., Чижик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. М.: Атомиздат, 1997. 264 с.
7. Козик В.В., Егорова Л.А., Ильин А.П., Борило Л.П. Некоторые свойства металл-оксидных КМ на основе высокодисперсного алюминия: "Физикохимия УДП". Томск: Изд-во ТПИ, 1990. Ч.1.С. 28-36 .
8. Козик В.В., Кашапов Р.Г., Егорова Л.А., Борило Л.П. Исследование процессов формирования оксидного каркаса и окисления дисперсного композиционного материала Al-SiO₂·Y₂O₃ // Журнал прикладной химии, 1991. № 1. С. 75-79.
9. Бобрович О. Г., Ташлыков И. С., Тульев В. В. Влияние параметров ионно-ассистированного осаждения на формирование Me/si-структур //Труды БГТУ. Серия 3: Физико-математические науки и информатика. – 2014. – №. 6 (170).
10. Терещук О. И. и др. Ионное ассистирование при нанесении вакуумно-плазменных электродуговых покрытий на эндопротезы. – 2016.
11. Kaufman H. R., Harper J. M. E. Ion-assist applications of broad-beam ion sources //Advances in Thin Film Coatings for Optical Applications. – International Society for Optics and Photonics, 2004. – Т. 5527. – С. 50-68.
12. Лучкин А. Г., Лучкин Г. С. Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 15.
13. Галяутдинов Р.Т. Аномальный тлеющий разряд в вакууме в процессе изготовления высокоотражающих стоматологических зеркал / Р.Т. Галяутдинов, М.В. Елхин, Н.Ф. Кашапов // Казань, Вестник КГТУ, № 2, 2010г. - С 335-339.
14. Luchkin G.S., Galyautdinov R.T. and N.F. Kashapov "Formation of protective coatings for aluminium mirrors by magnetron sputtering" Welding International, 2003, 17, (8) 655 - 658.
15. Купцов А. Д. Металлические тонкопленочные покрытия для солнечных панелей. XXV Научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов. // «Вакуумная наука и техника». Судак, 16 – 22 сентября 2018 г. – С. 187-192.
16. Sidorova S V, Kouptsov A D and Pronin M A, Problems and Solutions of Automation of Magnetron Sputtering Process in Vacuum // Lecture Notes in Electrical Engineering, 2020.