

Физико-математическое направление

УДК 538.911; 539.211

DOI 10.24411/2409-3203-2020-12344

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ МОЛИБДЕНОВЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТЫЛЬНЫХ КОНТАКТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОСЕНСОРОВ

Барайшук Сергей Михайлович

к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой практической подготовки студентов
Белорусский государственный аграрный технический университет
Беларусь, г. Минск

Туравец Антон Иванович

аспирант
Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка
Беларусь, г. Минск

Долгий Валерий Казимирович

к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой физики
Белорусский государственный аграрный технический университет
Беларусь, г. Минск

Аннотация: В работе приведены результаты изучения структуры Mo покрытия, осаждаемого в качестве тыльного контакта методом ионно-ассистированного нанесения покрытия в условиях облучения собственными ионами. Такая методика нанесения покрытий обеспечивает перемешивание атомов подложки и атомов покрытия, отсутствие примесей ассистирующих газов в покрытии, позволяет получить высокую адгезию между осажденной пленкой и материалом подложки, а также получать проводящие слои меньшим количеством дефектов. Данный метод влияет на: структуру, плотность упаковки, адгезию, шероховатость поверхности, получаемого покрытия, позволяя повысить качество сенсорных систем, сформированных на тонкопленочном покрытии.

Ключевые слова: Материалы для сенсоров, нанесение покрытий, структура поверхности, атомно-силовая микроскопия, качество покрытия, тыльный контакт.

STUDY OF THE INFLUENCE OF FORMATION CONDITIONS ON THE MICROSTRUCTURE OF MOLYBDENUM THIN-FILM REAR CONTACTS USED FOR THE CREATION OF BIOSENSORS

Baraishuk Siarhey M.,

Ph.D., associate professor, head of the department of practical training of students
Belarusian State Agrarian Technical University, Belarus, Minsk

Turavets Anton I.,

graduate student
Belarusian State Pedagogical University. M. Tanka, Belarus, Minsk

Dolgy Valery K.

Ph.D., associate professor, head of the department of Physics
Belarusian State Agrarian Technical University, Belarus, Minsk

Abstract: The paper presents the results of studying the structure of a Mo coating

deposited as a back contact by the method of ion-assisted coating under conditions of irradiation with its own ions. This technique of coating deposition provides mixing of the substrate atoms and coating atoms, the absence of impurities of assisting gases in the coating, allows obtaining high adhesion between the deposited film and the substrate material, as well as obtaining conductive layers with fewer defects. This method affects: structure, packing density, adhesion, surface roughness of the resulting coating, allowing to improve the quality of sensor systems formed on a thin-film coating.

Keywords: Materials for sensor, coating, surface structure, atomic force microscopy, coating quality, back contact.

В настоящее время в передовых странах мира, особенно в США, Японии и странах Западной Европы, высокими темпами развивается индустрия сенсорной техники. Активность работ в данной наукоемкой области прогрессивных технологий во многом обеспечивается за счет синтеза новых материалов с высокими физико-механическими, электро- и теплофизическими свойствами. Более того, проводится разработка материалов, позволяющих выполнять интеграцию сенсорных структур с микроэлектронными и микромеханическими системами на физическом и технологическом уровне. Изучению процессов получения тонких пленок металлов в качестве проводящих слоев, и их свойств (в том числе при введении легирующих добавок) в технологии микроэлектроники традиционно уделяется значительное внимание. Со временем разработка и исследование таких сенсорных структур может стать одним из ведущих направлений в создании новейших технологий мониторинга и диагностики объемных и глобальных систем. При этом в качестве объектов, подвергаемых контролю с помощью многофункциональных и многопараметровых сенсорных структур, выступают подсистемы природной, биологической, технологической среды и другие сложные образования.

Наиболее распространенная конструкция сенсоров подразумевает нанесение на подложку промежуточного проводящего слоя – тыльного контакта, непосредственно перед формированием на его поверхности сенсорного слоя [1]. В качестве тыльного контакта для сенсоров, по аналогии с солнечными элементами применяются различные материалы [2]. В частности, молибден (Mo) в этом качестве имеет хорошую адгезию к к подложке; возможность омического контакта с сенсорным слоем р-типа проводимости; низкое удельное сопротивление; высокая температура плавления, исключая смешивание с сенсорным слоем и подложкой при термической обработке; химическая устойчивость к широкому спектру веществ. Известно, что при использовании в качестве тыльного контакта для фотосенсоров Mo пленка создает центры роста зерен поглощающего слоя [3].

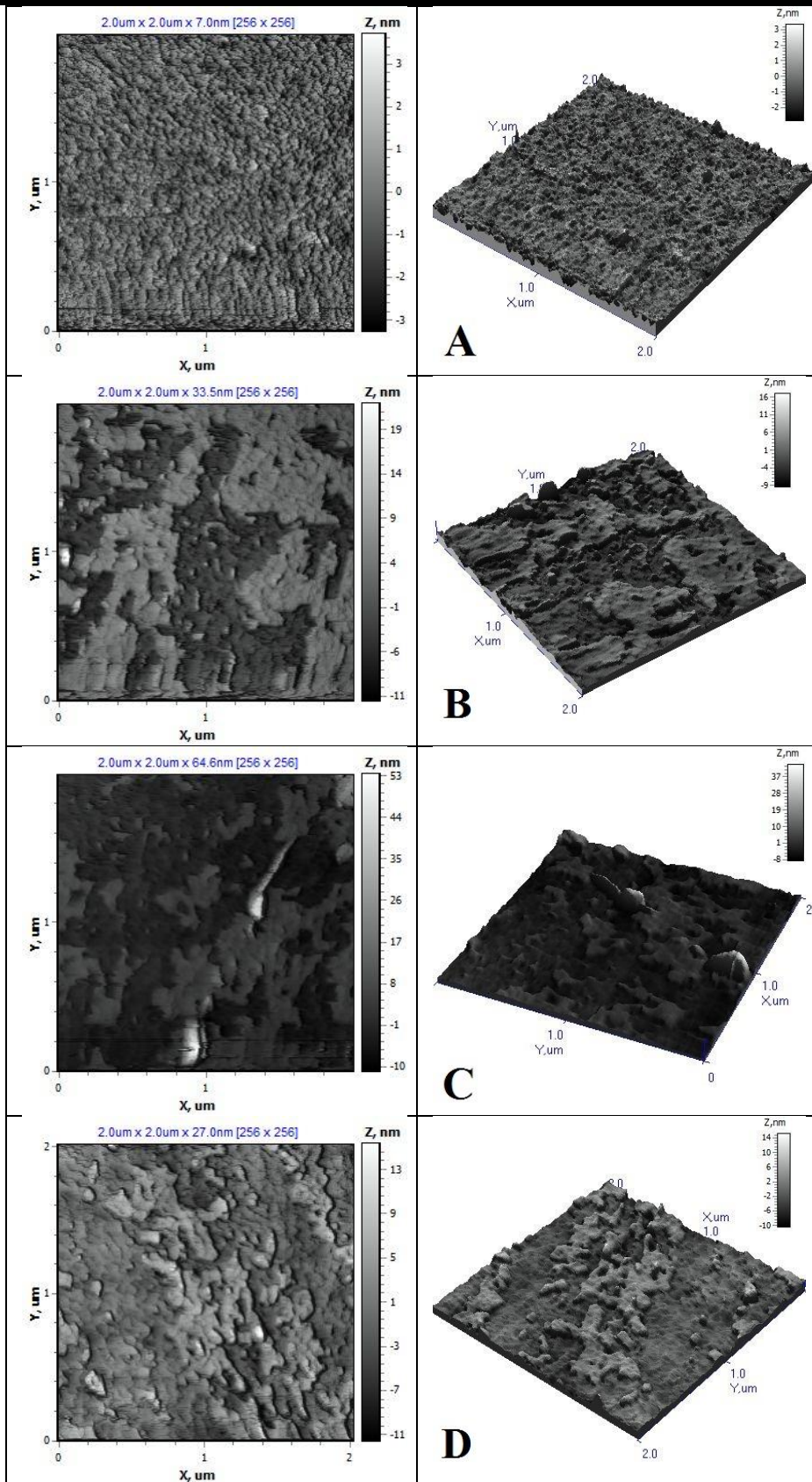
Методика эксперимента

Покрyтия наносились с использованием резонансного ионного источника вакуумной электродуговой плазмы с использованием Mo электродов для формирования покрытия и ассистирующих ионов [4]. Ускоряющее напряжение составляло 5 – 15 кВ. Время нанесения составляло от 15 мин до 5 часов.

Морфология поверхности систем изучалась, с использованием атомно-силового микроскопа NT-206, в контактном режиме (зонды CSC21) и сканирующую электронную микроскопию, в сочетании с энергодисперсионным рассеянием электронов. Обработка экспериментальных данных силовой микроскопии проводилась с помощью программы «Surface Explorer».

Результаты и их обсуждение

При изучении поверхности исходной подложки и подложки с сформированным с Mo покрытием, были получены данные о топографии и шероховатости поверхности. Топография поверхности изображена на рисунке 1.



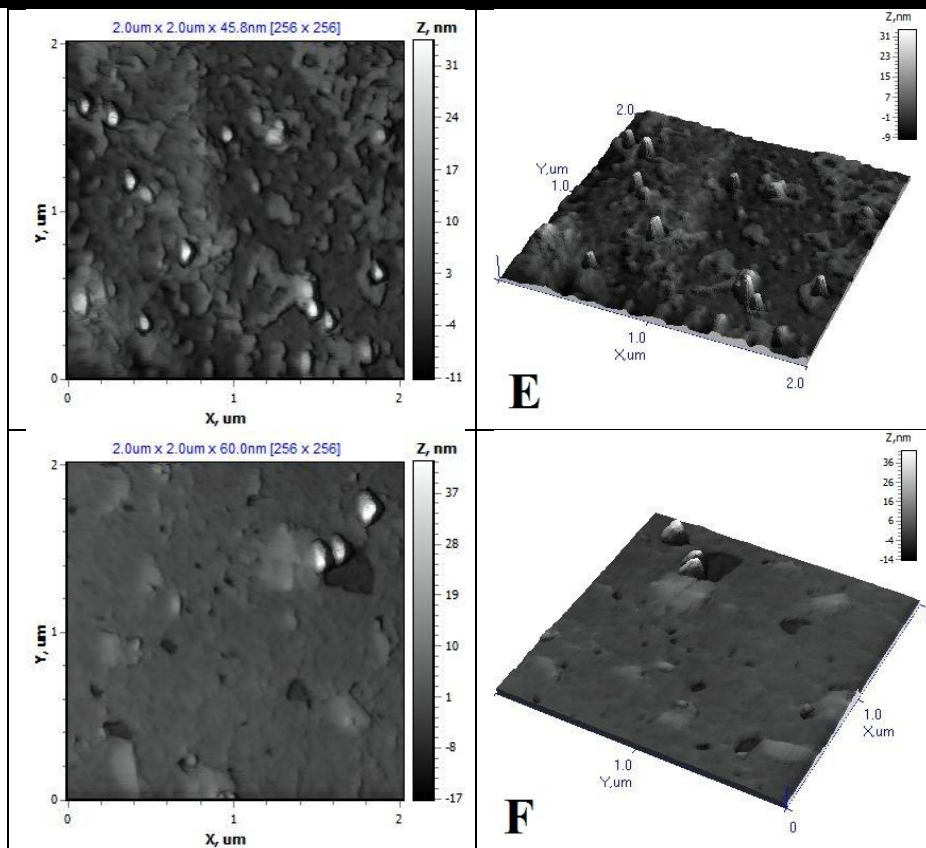


Рисунок 1 – 2-х и 3-х мерные изображения топографии поверхности исходной подложки (А), и модифицированной ионно-ассистированным нанесением Мо с интегральным потоком ионов $1,2 \cdot 10^{16}$ (В), $3,2 \cdot 10^{16}$ (С), $5,2 \cdot 10^{16}$ (D), $8,1 \cdot 10^{16}$ (Е), $1,1 \cdot 10^{17}$ (F) ион/см²

На рисунке видно, что используемые в данном эксперименте режимы позволяют получить равномерное и сплошное покрытие (рис.1) только при интегральных потоках $1,1 \cdot 10^{17}$ ат/см² более, при меньших интегральных потоках (таблица 1) на поверхности образуется островковое покрытие. Равномерность покрытия при данном интегральном потоке получило подтверждение и при анализе карты распределения элементов по поверхности покрытия полученных методом обратного рассеяния электронов при проведении СЭМ. Согласно данным качественного описания эволюции тонких пленок синтезированных на аморфных и поликристаллических подложках, мы наблюдаем островковый механизм роста. Вещество с самого начала образует на поверхности многослойные конгломераты атомов. Проведением анализа проекций площадок различных высот с использованием инструментов Surface Explorer нами было установлено, что средние диагональные размеры островка колеблются в диапазоне 4–7 мкм. Средняя высота островков ~ 200 нм, что хорошо коррелирует с моделью островкового роста пленки [6].

Таблица 1. Параметры морфологии.

Параметры	Исходное стекло	Интегральный поток F, ат/см ²				
		$1,2 \cdot 10^{16}$	$3,2 \cdot 10^{16}$	$5,2 \cdot 10^{16}$	$8,1 \cdot 10^{16}$	$1,1 \cdot 10^{17}$
Ra, нм	2.2	1.8	2.0	2.7	2.3	2.3
Zmean, у.е.	221.7	245.9	280.6	273.3	282.0	279.8
% образования покрытия		56.9	33.6	34.5	48.1	96.5
Разность высот, нм		7.2	6.0	4.6	3.0	3.0

Следующие шаги в процессе роста пленки: появление островков роста,

столкновение и слияние островков, развитие непрерывного структуры. Построив в программе SX гистограммы распределения высот и сечения 2D рисунков топографии на наиболее часто встречаемых высотах. Было установлено насколько сплошным является покрытие и его толщину. Оценивая % образования покрытия, установлено снижение с 56,9% до 33,6% при малых интегральных потоках наносимого покрытия. По-видимому это обусловлено тем, что наблюдаемая разноуровневая поверхность на АСМ снимках отображает только поверхность покрытия неравномерно осаждаемого на различных участках поверхности, а не поверхностью покрытия и подложки. Таким образом на АСМ снимках мы видим не поверхность подложки (более низкий уровень), а поверхность ранее осажденного покрытия, что подтверждается данными СЭМ. Об этом свидетельствует, в частности, снижение разности высот с 7,2 нм до 3 нм при увеличении времени нанесения покрытия и соответственно интегрального потока.

Начиная с интегральных потоков $3,2 \cdot 10^{16}$ ат/см² происходит стабилизация шероховатости поверхности и увеличение площади покрытия. Полученная функциональная зависимость значения шероховатости поверхности от времени нанесения может быть объяснена в рамках существующих теорий роста металлических пленок [7]. По-видимому, при увеличении времени нанесения пленки наряду с островковым механизмом образования пленки включается и ее послойный рост (рост Франка – ванн дер Мерве). Таким образом, происходит замедление роста островковых структур, и металлическая пленка начинает заполнять области между островками. Послойный рост покрытия имеет место, когда взаимодействие между подложкой и слоем атомов больше, чем между ближайшими атомами в слое [8].

Зависимость средней шероховатости поверхности Ra от величины интегрального потока имеет вид, который согласовывается с ранее проведенными исследованиями влияние облучения ионами Xe⁺ на структуру графита[9].

В процессе нанесения покрытия структура топографии поверхности заметно меняется. В отличие от исходного образца снижается количество небольших неоднородностей, поверхность подложки становится более гладкой. Незначительный рост шероховатости обусловлен разностью высот покрытия и подложки, а также многочисленностью островков зарождения покрытия с увеличением интегрального потока. Рост шероховатости достигает максимума в 2,7 нм при интегральном потоком ионах $5,2 \cdot 10^{16}$ ион/см². При дальнейшем увеличении интегрального потока ионов, площадь покрытия растет, что приводит к снижению шероховатости до 2,3 нм.

Заключение

Проведено исследование влияния осаждения Mo покрытия, полученного методом ионно-ассистированного осаждения покрытий в условиях облучения собственными ионами на топографию и структуру поверхности. Установлено, что интегральные потоки менее $1,1 \cdot 10^{17}$ ат/см² не позволяют получить равномерное и сплошное покрытие. В данном случае наблюдаются первоначальные этапы формирования тонкой пленки тыльного контакта. Подтверждена равномерность покрытия по составу и морфологии для превышающих потоков. Определено значение порогового интегрального потока ионов ($5,2 \cdot 10^{16}$ см⁻²), превышение которого ведет к снижению и стабилизации средней шероховатости поверхности.

Список литературы:

1. Chakravarty D. Sundararajan G. Microstructurc, mechanical properties and machining performance of spark plasma sintered Al2O3-ZrO-TiCN nanocomposites // Journal of the European Ceramic Society, 2013. -vol. 33. - pp. 2597-2607.
2. Гременок, В.Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский; – Минск: Издательский центр БГУ, 2007. – 221 с.
3. Orgassa, K. Alternative back contact materials for thin film Cu(In,Ga)Se2 solar

cells / K. Orgassa, H.W. Schock, J.H. Werner // *Thin Solid Films*, 2003. – V.431-432. – P. 387–391.

4. Способ нанесения покрытий: пат. 1 С1 ВУ, , МКИ С 23 С 4/12, С 4/18, С 14/16. / И.С. Ташлыков, И.М. Белый ; – №2324; Заявл. 30.03.1994; Зарег. 16.03.1998 // *Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь*. – 1999. – №1. – С. 30.

5. Ташлыков, И.С. Элементный состав, топография и смачиваемость поверхности графита, модифицированного ионно-ассистированным осаждением покрытий / И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук // *Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. – 2008. – №1. – С. 30–35.

6. Petrov, I. Microstructural evolution during film growth / I. Petrov [et al] // *J. Vac. Sci. Technol.* – 2003. – A 21.5. – P. 117–128.

7. Surface topography of precursors Cu-Zn-Sn electrochemically deposited on Mo/glass and Mo-foil / A.I. Turavets , S.M. Baraishuk , T.M. Tkachenka , M. Wiertel , M. Budzynski A.V. Stanchik , V.F. Gremenok , S.A. Bashkirov / *Scanning Probe Microscopy. Abstract Book of Int. Conference (Ekaterinburg, August 26-29, 2018)*

8. Л. Фельдман, Д. Майер. Основы анализа поверхности тонких пленок. Мир, М. (1989). 344 с.

9. Tashlykov, I.S. Influence of Xe⁺ Irradiation on Topography and Wettability of Graphite Surface / I.S. Tashlykov, A.I. Turavets, P. Zukowski // *Acta Physica Polonica A*. – 2011. – №1. – P. 115–117.

