

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ Mo НА ПОДЛОЖКЕ Si ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ИК-ИЗЛУЧАТЕЛЯ

О.М. Михалкович¹⁾, С.М. Барайшук²⁾, Т.М. Ткаченко²⁾

¹⁾Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка,
ул. Советская 18, Минск 220030, Беларусь, Phyzbober@tut.by

²⁾Белорусский государственный аграрный технический университет,
пр. Независимости 99, Минск 220012, Беларусь, bear_s@rumbler.ru

В работе представлены исследования композиционного состава, топографии поверхности и удельного сопротивления структур пленка на основе Mo/кремний изготовленных комбинацией различных методов (осаждение покрытий ассистированное собственными ионами (ОПАСИ) и магнетронного распыления) и режимов нанесения. Конструкции и состав полученных систем делают возможным их применение в качестве тонкопленочных ИК-излучателей на основе MoSi₂ крайне важных, при создании оптических газоанализаторов, построенных на принципе бездисперсионной ИК спектроскопии. Установлено, что получаемая методом ОПАСИ Mo пленка содержит атомы кремния, углерода, кислорода и водорода. Показано, что получаемое покрытие достаточно гетерогенно, с достаточно низким удельным сопротивлением и при соответствующей толщине может быть использовано в качестве источника ИК излучения.

Ключевые слова: тонкие пленки; композиционный состав; структура поверхности; ИК-излучатель.

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF Mo-BASED FILM ON Si SUBSTRATE FOR PREPARE OF THIN-FILM IR EMITTER

O.M. Mikhalkovich¹⁾, S.M. Baraishuk²⁾, T.M. Tkachenko²⁾

¹⁾Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank,
18 Sovetskaya Str., 220030 Minsk, Belarus, phyzbober@tut.by

²⁾Belarusian State Agrarian Technical University,
99 Nezavisimosti Ave., 220023 Minsk, Belarus, bear_s@rumbler.ru

In this paper a composite structure, surface topography and resistivity of Mo film/silicon structures prepared by combination of various methods (self-ion-assisted deposition (SIAD) of coating and magnetron sputtering) and deposition modes are discussed. Rutherford backscattering of He⁺ ions and computer program RUMP were applied to investigate a composition of surface. Atomic Force Microscopy surface observations were used to investigate the topography of modified surfaces. Self-ion-assisted deposits on silicon were prepared using 5 kV ions irradiation during the deposition molybdenum neutral fraction generated from vacuum arc plasma. The deposition of the covering has occurred at the vacuum in the working chamber ~10⁻² Pa. The exposition time varied from 1 to 12 hours. The density of ionic current at the deposition of the covering has changed in the range of 3 to 5 μA/cm². It is established, that coatings composition includes atoms of the molybdenum (average 7 at. %), atoms of silicon from the substrate (average 4.5 at. %), atoms of technological impurity hydrogen (5-10 at. %), carbon (50-55 at. %) and oxygen (25-30 at. %). It has been determined that the penetration of metal atoms into the interior of the sample occurs as a result of radiation-stimulated diffusion, of silicon atoms due to interdiffusion. It is shown that the resulting coating is sufficiently heterogeneous, with a sufficiently low resistivity and, with an appropriate thickness, can be used as an IR emitter.

Keywords: thin films; composition; surface structure; IR emitter.

Введение

Проектирование и изготовление сенсоров, регистрирующих в воздухе различных газовых примесей, таких как угарный (CO) и углекислый (CO₂) газы, метан

(CH₄), аммиак (NH₃) и других газов, является важной и актуальной задачей. Проблема становится особо значимой в связи с высоким уровнем загазованности среды, а с учетом необходимости импортозаме-

шения делает актуальной разработку элементов сенсорных систем. Многие газы имеют характерные полосы поглощения в инфракрасной области спектра длин волн, обусловленные изменением колебательно-вращательного состояния молекул газа под действием ИК-излучения [1]. Конструкции, состав и технология получения тонкопленочных ИК-излучателей на основе MoSi_2 , при создании оптических газоанализаторов построенных на принципе без дисперсионной ИК спектроскопии крайне важны. Дисульфид молибдена является подходящим высокотемпературным материалом для использования в таких приложениях, поскольку он имеет высокую температуру плавления (2030°C), относительно низкую плотность ($6,24 \text{ г/см}^3$), высокую теплопроводность ($52 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), переход от хрупкого к пластичному около 1000°C , он имеет высокую температуру плавления, обладает стабильностью в различных агрессивных и окислительных средах. Плазменное напыление является очень эффективным методом получения композиционных покрытий MoSi_2 сформированных распылением компонентов [2]. Метод ОПАСИ обеспечивает адгезию пленки к подложке на атомном уровне [3].

Экспериментальная часть

Подготовка подложек осуществлялась осаждением пленок на основе Мо на кремний ОПАСИ. Ускоряющее напряжение составляло 5 кВ. Плотность ионного тока варьировалась в пределах $50\text{--}100 \text{ }\mu\text{А/см}^2$. Вакуум в мишенной камере области держателя образцов составлял $1\cdot 10^{-2}$ Па. Время экспозиции составляло 1, 3, 6 и 12 часов. После чего на поверхность наносилось покрытие методом магнетронного распыления. Элементный послойный анализ конструкций пленка/кремний выполняли, используя резерфордское обратное рассеяние (РОР) ионов гелия He^+ с $E_0 = 1.95 \text{ МэВ}$ и геометрией рассеяния $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=12^\circ$, $\theta=168^\circ$, где θ_1 , θ_2 и θ - углы влета, вылета и рассеяния

соответственно, и компьютерное моделирование экспериментальных спектров РОР по программе RUMP [4]. Поверхность пленок исследовали с использованием атомно-силового микроскопа NT 206 (Microtestmachines Co) в контактном режиме. Резистивные свойства поверхности исследовались с использованием ПИУС-1УМ-К.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные спектры РОР ионов гелия от Si модифицированного осаждением Мо пленки, методом ОПАСИ при ускоряющем потенциале 5 кВ в течении 6 часов, показаны на рис. 1.

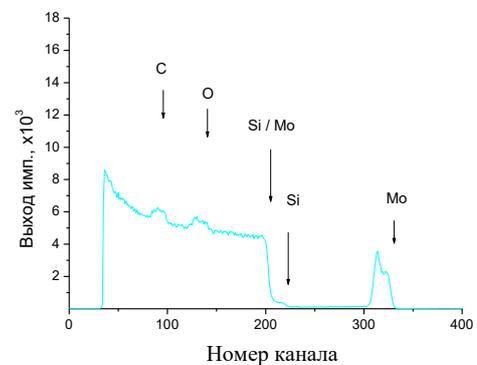


Рис. 1. Спектры ОР ионов гелия с $E_0=1.95 \text{ МэВ}$ от Si модифицированного ионно-ассистированным осаждением Мо пленки при $U_{\text{acc}}=5\text{кВ}$ и $t_{\text{эсп}}=6\text{ч}$

На спектре РОР ионов гелия от структуры Мо пленка/Si, рис. 1 наблюдается сдвиг сигнала от кремния в область меньших номеров каналов (220-225 каналы), свидетельствующий о том, что на поверхности кристаллов кремния образуется тонкая пленка. Сигнал, имеющийся в области 330 – 355 каналов также подтверждает наличие Мо в осаждаемой на Si плёнке толщиной 200 нм. Увеличение сигнала выхода в области 100 и 150 каналов свидетельствует о присутствии в осажденных на Si пленок атомов С и О. В области 222-224 каналов формируется ступенька. Её появление отражает тот факт, что в состав пленки, осаждаемой на поверхность Si образца. Результаты послойного анализа состава сформированной методом ОПАСИ структуры Мо пленка/кремний представлены на рис. 2.

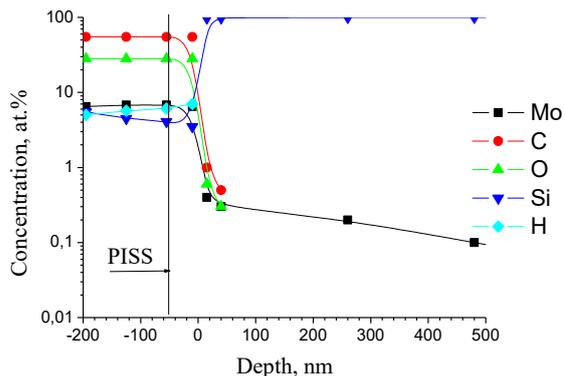


Рис. 2. Распределение элементов по глубине в структуре Мо пленка/кремний, сформированной методом ОПАСИ ассистированием при $U_{\text{асс}}=5\text{kВ}$ и $t_{\text{эксп}}=6\text{ч}$

Распределение элементов в массиве пленки практически равномерное. Концентрация атомов Мо, Si, C, O, H в пленке составляет в среднем 7, 4.5, 55, 28, 6 ат.% соответственно. Мо в кремнии идентифицируется на глубине в 800-1000 нм с концентрацией 0.05 ат.%. Атомы C и O проникают в Si на сравнительно малую глубину в 40 нм с концентрацией 0.6 и 0.3 ат.% соответственно. Наличие кремния в пленке с концентрацией порядка 5 ат. % свидетельствует о его диффузии в пленку в составе силицида, в то время как, C, O, H идентифицируются из гидроксильной группы вакуумного масла.

Примеры изображения поверхности Мо пленки по результатам атомно-силовой микроскопии и приведены на рис. 3.

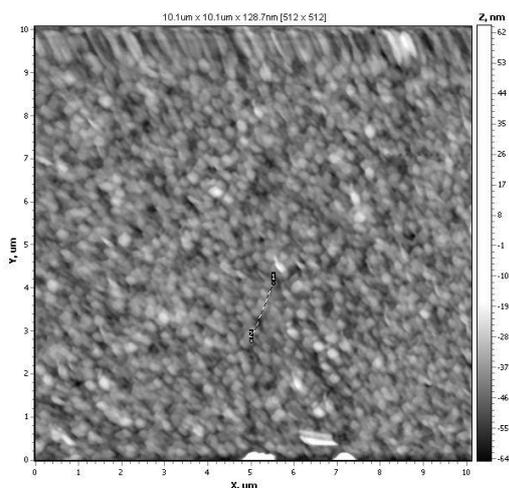


Рис. 3. Пример АСМ-изображения участка поверхности полученных покрытий

На рис. 3 видно образование зеренной структуры на поверхности Si после магнетронного формирования Мо пленки, результаты оценки размеров таких структур показывают, длину 50-70 нм шириной 30-50 нм, а анализ их распределения по поверхности показывает преимущественную ориентацию в одном направлении.

Измерение удельного сопротивления полученных пленок непосредственно после нанесения показали средние значения $5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, с незначительным разбросом по площади. После циклического нагрева до 500° (100 циклов) удельное сопротивление незначительно выросло до $5.4 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, все еще позволяя использовать такое покрытие в качестве ИК излучателя.

Заключение

В работе получены структуры покрытия подложка, содержащие силициды молибдена, имеющие равномерное распределение по поверхности достаточную термостабильность сопротивление позволяющие предположить, возможность формирования конструкции пленка/подложка для ИК излучателя и сенсора ИК излучения, групповым методом на единой Si-пластине.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь № ГР 20211394 и № ГР 20211250.

Библиографические ссылки

1. Mao J., Ding S., Li S., Li Y., Lin F., Zeng X. [et. al] Preparation and investigation of MoSi_2/SiC coating with high infrared emissivity at high temperature *Surface & Coatings Technology* 2019; 358: 873-878.
2. Peters M.I, Vaidya R. U., Castro R. G., Petrovic J.J., Hollis K.J., Gallegos D. E. Functionally graded $\text{MoSi}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ tubes for temperature sensor application. *Materials Research Society Bulletin* 1993; XVIII35.
3. Tashlykov I.S., Belyj I.M. Coating methods: patent BY 2324. Published 16.03.1998 (in Russian)
4. Doolittle L.R. A semiautomatic algorithm for Rutherford backscattering analysis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. B, Beam Interactions with Materials and Atoms.* 1986; 15(1): 227-231.