

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ НАНОПЛЕНОК MoO₃/Mo (111) НА ИХ СВОЙСТВА

Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова, Э. Раббимов, Ш.А. Толипова, С.Т. Гулямова, З.М. Собиров
Tashkent State Technical University, 100095, st. University, 2, Tashkent, Uzbekistan, ftmet@rambler.ru

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к тонким пленкам оксидов Мо прежде всего связан с широким применением их в создании новых видов дисплеев, органических солнечных элементов, сенсоров, транзисторов, интегральных схем и др. [1 – 4]. Эти пленки в основном получены термическим испарением порошкообразного MoO₃ на подложки из стекла и анодным оксидированием [5, 6].

Поэтому в настоящее время хорошо изучены оптические, эмиссионные и электрофизические свойства тонких пленок оксида Мо и их изменение при облучении фотонами, электронами и ионами [7 – 10]. Результаты наших исследований, проведенные в последние годы показали, что низкоэнергетическая имплантация ионов в сочетании с отжигом является эффективным средством создания сверхтонких наноструктур на поверхности материалов различной природы. В частности в работе имплантацией ионов O₂⁺ в Si с последующим отжигом получены сплошные однородные нанопленки SiO₂ с толщиной d = 20 – 300 Å.

В данной работе приводятся результаты исследования по формированию наноразмерных фаз и пленок MoO₃ при термическом окислении и имплантации ионов O₂⁺ в монокристаллические образцы Мо (111).

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты проводились в сверхвысоковакуумном (P ≈ 10⁻⁷ Па) приборе состоящем из двух камер. В первой камере проводился термический отжиг, ионная бомбардировка, термическое окисление Мо, а во второй камере проводились исследования состава, структуры и свойств исследуемых образцов с использованием методов оже-электронной и фотоэлектронной спектроскопии, вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС) и измерения энергетических зависимостей коэффициента вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) σ, квантового выхода фотоэлектронов. Профили распределения атомов по глубине образцов измерялись методом ОЭС в сочетании с травлением поверхности ионами Ar⁺. Перед термическим окислением и ионной имплантацией образцы Мо(111) очищались температурным отжигом, сначала при T = 1700 – 1800 К в течение 20 – 25 часов, затем многократным кратковременным прогревом до T ≈ 2200 К. Результаты ВИМС измеренные до отжига показали, что на поверхности Мо наряду с интенсивными пиками Н, О, С и их соединений с кислородом четко выделяются пики тяжелых масс Mo₂, MoO₃ и MoO₄ (рис. 1).

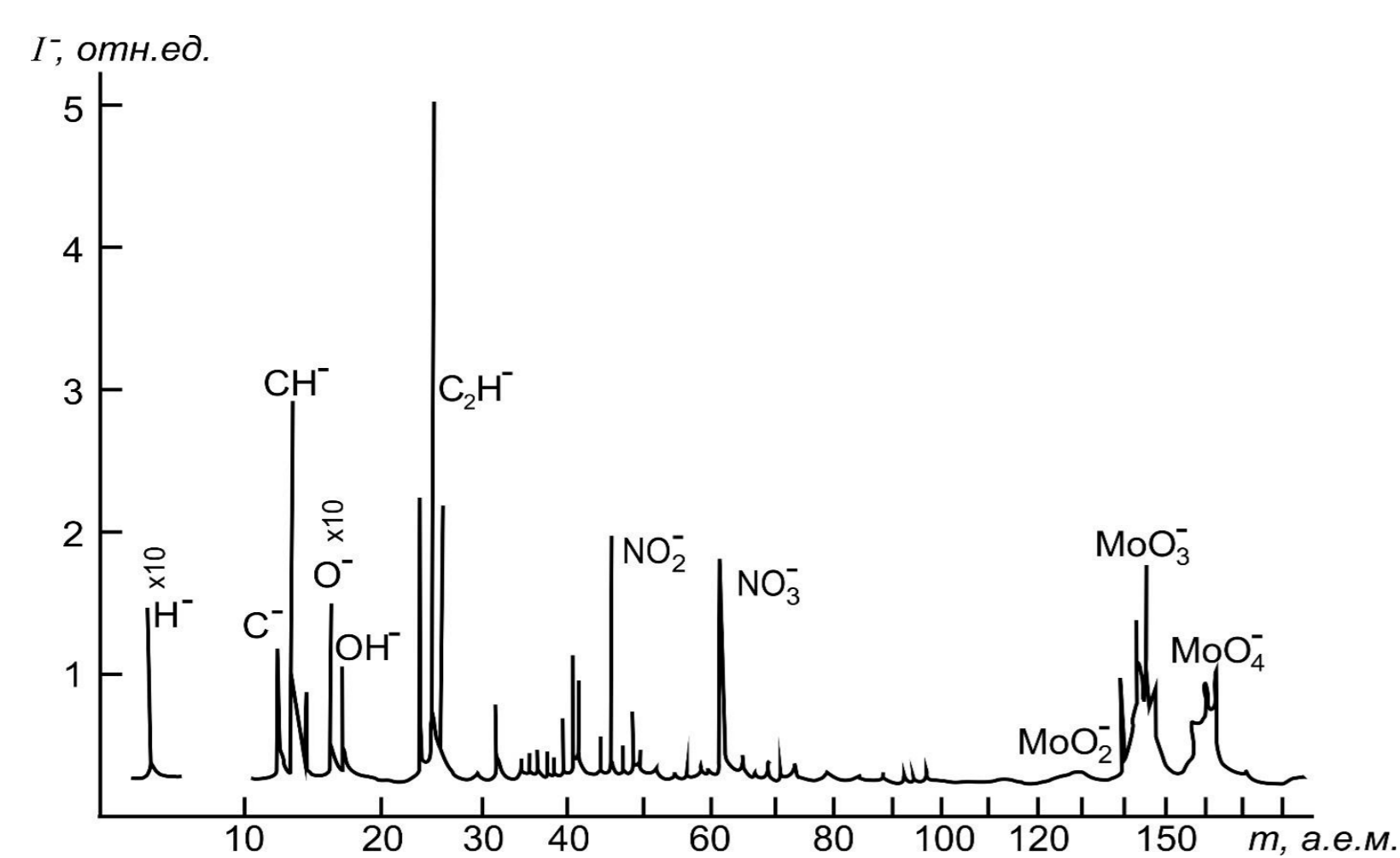


Рис. 1. Масс спектр отрицательных вторичных ионов, распыленных с поверхности Мо (111) ионами Ar⁺ с E₀ = 13 кэВ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 приведена зависимость толщины d пленки MoO₃ от времени t термического окисления Мо(111) в атмосфере кислорода с давлениями 10⁻² и 10⁻³ Па. В обоих случаях однородное окисление наблюдалось начиная с d ≈ 15 – 20 Å. В случае P = 10⁻³ Па в интервале t = 5 – 50 мин d растет практически линейно, скорость роста составляла ~ 1.5 Å/мин.

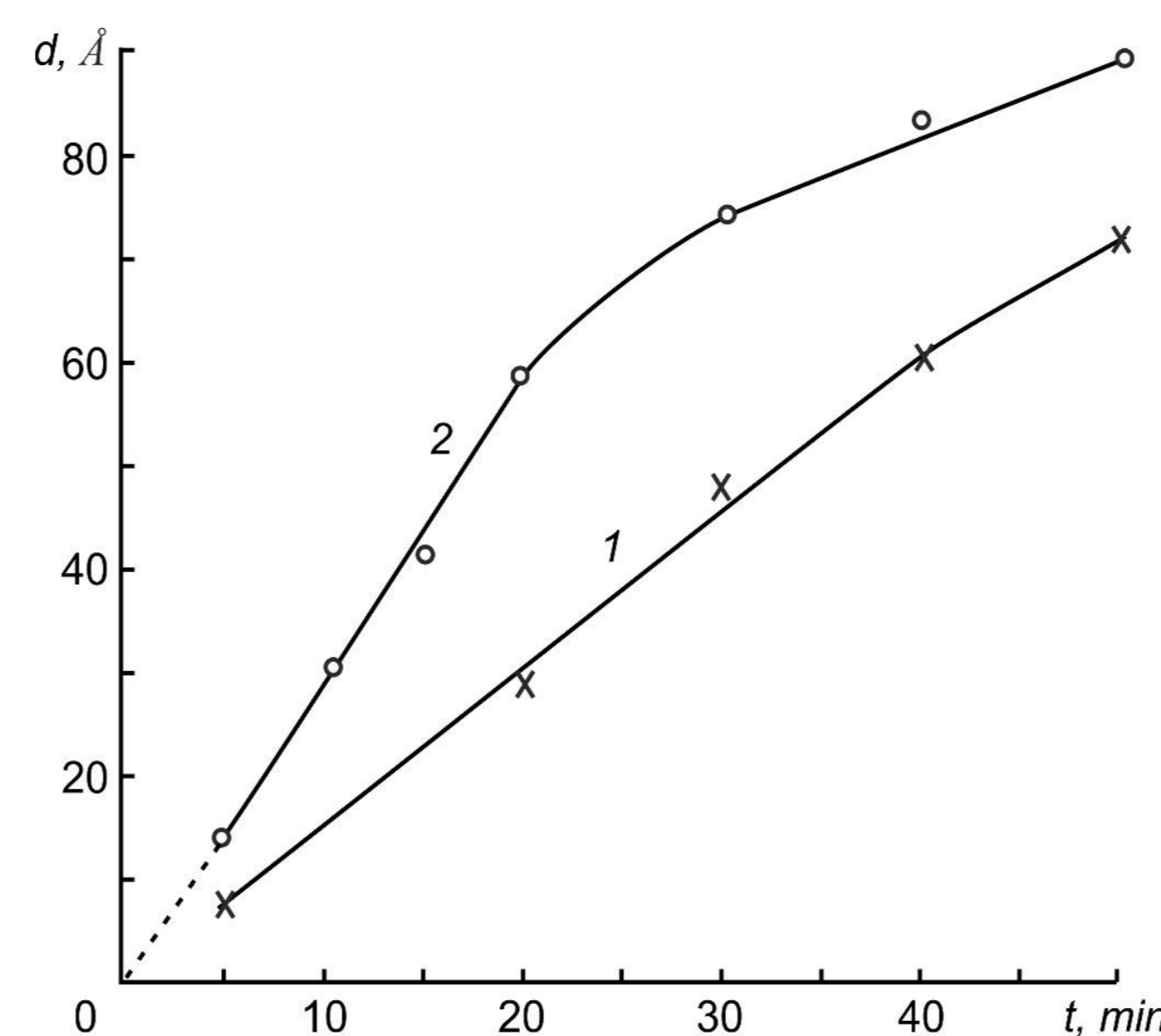


Рис. 2. Зависимость толщины пленки MoO₃ от времени термического окисления Мо (111) в атмосфере кислорода с давлением P_{O₂}, Па: 1 – 10⁻³, 2 – 10⁻².

На рис. 3 приведена зависимость Q поверхности Мо оксидом MoO₃ при имплантации O₂⁺ с E₀ = 1 кэВ от дозы облучения. Видно, что до D ≈ 10¹⁵ см⁻² значение Q линейно растет до ~ 0.5, затем скорость роста замедляется и при D ≈ 10¹⁷ см⁻² достигнет 1, и с дальнейшим ростом D практически не меняется.

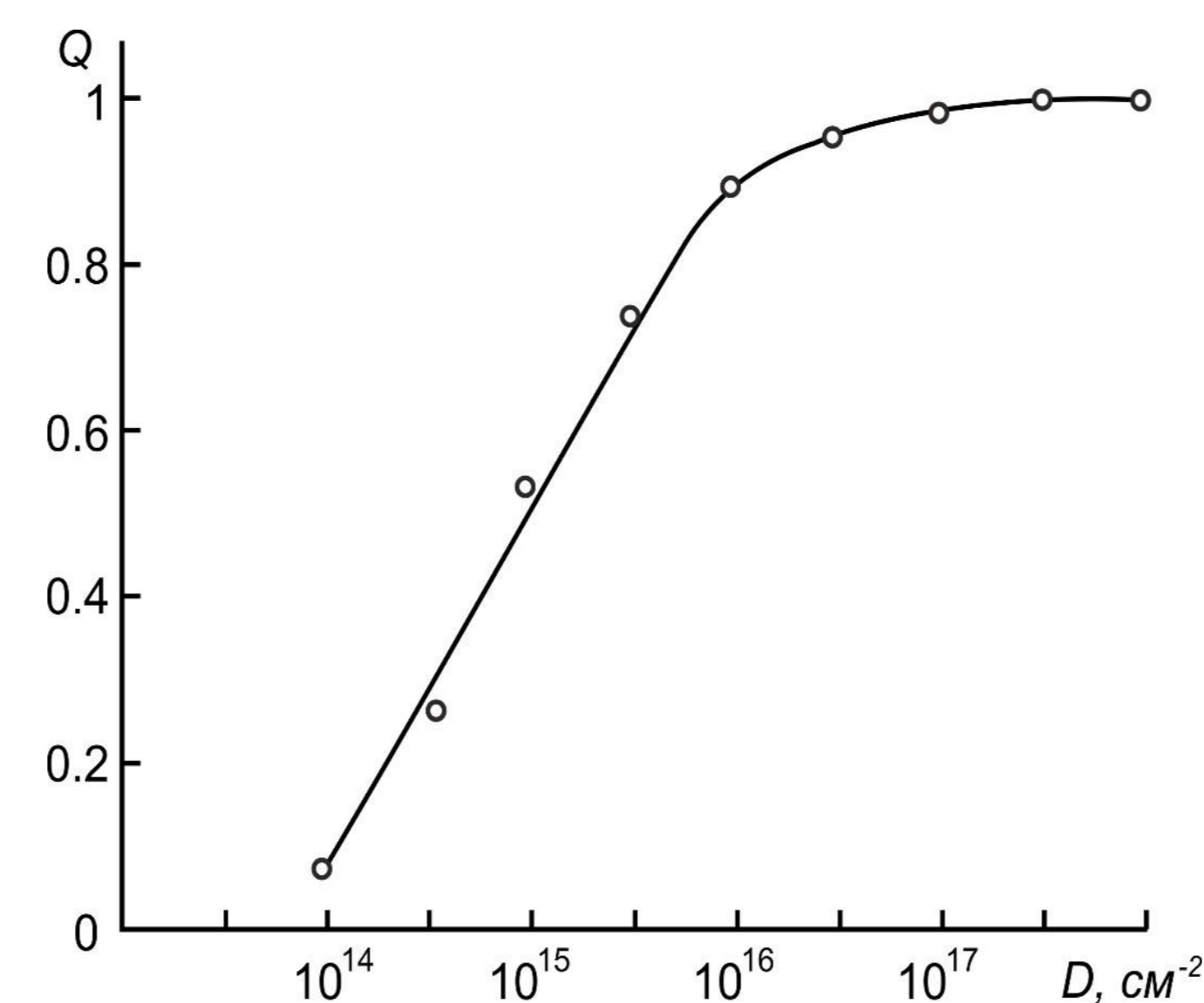


Рис. 3. Зависимость степени покрытия поверхности молибдена пленкой MoO₃ от дозы облучения ионов кислорода. Энергия ионов E₀ = 1 кэВ, температура подложки 850 К.

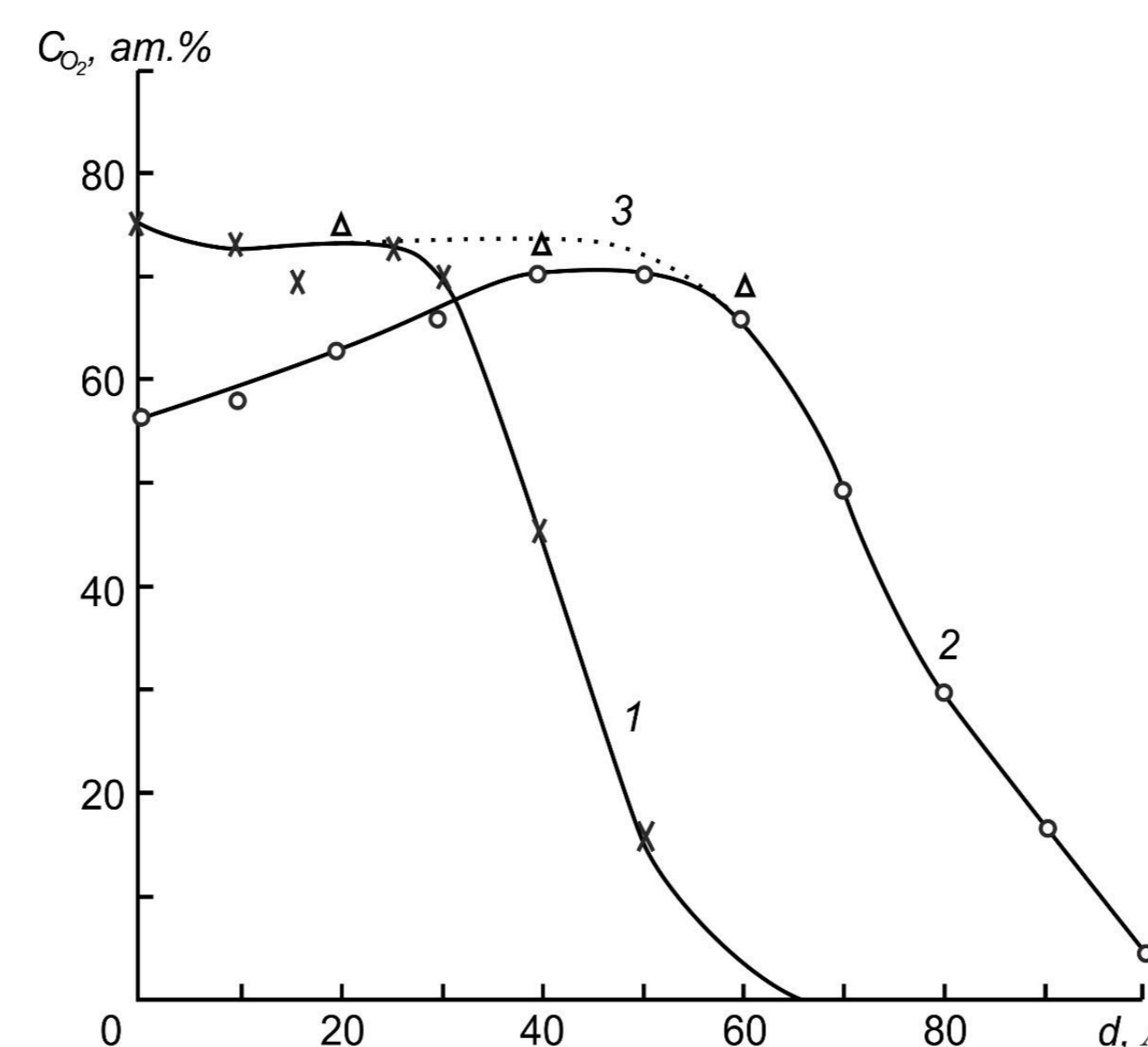


Рис. 4. Концентрационные профили распределения атомов кислорода по глубине пленок MoO₃ разной толщины, полученных имплантацией ионов кислорода в Мо с E₀, кэВ: 1 – 1; 2 – 3; 3 – 3 и 1; D = 2·10¹⁷ см⁻².

На рис. 4 приведены профили распределения атомов кислорода по глубине Мо, имплантированного ионами O₂⁺ с E₀ = 1 и 3 кэВ при D = D_n ≈ 2·10¹⁷ см⁻². Имплантация проводилась при температуре подложки 850 К.

Из таблицы видно, что коэффициент отражения света с увеличением толщины пленки уменьшается, что связано с влиянием подложки: R_{Mo} > R_{MoO₃}. Значение σ_m и E_{pm} при d ≤ 300 Å с ростом d существенно увеличивается. Начиная с d ≈ 300 Å значения σ_m и E_{pm} заметно не меняется. При этом глубина выхода ИВЭ достигает своего максимального значения, которая называется глубиной зоны выхода ИВЭ x'. Значения x' = 250 Å удовлетворительно согласуются с расчетными данными определяемыми по формуле:

$$x'^{(CM)} = \frac{5.2 \cdot 10^{-6} A (Z_{эфек})}{\rho \cdot Z_{эфек}} \cdot E_{pm}^{1.4}$$

Таблица
Значения σ_m, E_{pm}, R и λ для MoO₃/Mo(111)

Параметры	d, Å (термическое окисление)				d, Å (ионная имплантация)		
	60	100	300	600	30	60	90
σ _m	2.2	2.6	3.2	3.4	1.9	2.3	2.6
E _{pm} , эВ	650	700	800	800	600	650	700
R (при λ = 600 нм)	–	0.1	–	0.06	0.15	–	0.1
x', Å	–	–	250	250	–	–	–

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом в результате проведенных исследований установлено, что термическим окислением можно получить однородные с хорошей стехиометрией пленки MoO₃ с толщиной от 50 – 60 Å до 600 – 700 Å, а ионной имплантацией от 25 – 30 Å до 100 Å. Показано, что глубина зоны выхода истинно-вторичных электронов для MoO₃ составляет ~ 250 Å; максимальное значение коэффициента ВЭЭ – 3.4; коэффициента отражения света с длиной волны λ = 600 нм – 0.06.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов С.А., Белов А.Н. Электрохимические процессы в технологии микро- и нанoeлектроники. М.: Высшее образование. 2009. 272 с.
2. Суевой Э.П., Борисова Н.В. // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2120. <https://elibrary.ru/item.asp?id=11533000>
3. Yang Y.A., Cao Y.W., Loo B.N., Yao J.N. // J. Phys. Chem. B. 1998. V. 102. P. 9392. <https://doi.org/10.1021/jp9825922>
4. Arnoldussen, Thomas C. // J. Electrochem. Sol.: Solid-State Science and technology. 1976. V. 123. P. 527 – 531.
5. Scanlon D.O., Watson G.W., Payne D.J., Atkinson G.R., Egdell R.G., Law D.S.L. // J. Phys. Chem. C. 2010. V. 114. P. 4636. <https://doi.org/10.1021/jp9093172>
6. Donaev S.B., Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A. // Technical Physics. 2015. Vol. 60. No. 10. p. 1563. <https://doi.org/10.1134/S1063784215100138>
7. Эргашов Ё.С., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2017. № 4. С. 104. DOI: 10.7868/S0207352817040084
8. Yusupjanova M.B., Tashmukhamedova D.A., Umirzakov B.E. // Technical Physics. 2016. Vol. 61. No. 4. P. 627. DOI: 10.1134/S1063784216040253
9. Эргашов Ё.С., Ташмухамедова Д.А., Раббимов Э. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2015. № 4. С. 38. DOI: 10.7868/S0207352815040083
10. Бронштейн И.М., Фрайман Б.С. Вторичная электронная эмиссия. М.: Наука. 1969. 305с.