

Научная статья
УДК 538.9
DOI 10.18101/2306-2363-2024-1-14-18

РОСТ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА РАСПЫЛЕНИЕМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

© **Халганов Василий Эдуардович**

студент,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
gangsterman318@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрено выращивание тонких пленок оксида цинка (ZnO) методом распыления ионными пучками. Рост покрытий осуществляли при распылении мишени оксида цинка (ZnO) пучком ионов аргона (Ar⁺) в вакуумной установке с плазменными ионными источниками. Исследованы особенности ростовых процессов. Проведено моделирование, были вычислены теоретические коэффициенты распыления согласно теории Зигмунда. Эксперимент и расчеты позволили рекомендовать оптимальные параметры ростовых процессов.

Ключевые слова: тонкие пленки, оксид цинка, рост, моделирование, ионные пучки.

Для цитирования

Халганов В. Э. Рост тонких пленок оксида цинка распылением ионным пучком // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2024. Вып. 1. С. 14–18.

Введение

Оксид цинка является многофункциональным оксидным материалом, который широко используется в различных областях, в частности в технологиях микро- и нанoeлектроники. Тонкие пленки ZnO применяются для создания чувствительных сенсорных элементов для микро- наносенсорики. Широкое практическое использование тонких пленок оксида цинка обусловлено их уникальными оптическими и электрическими свойствами: прозрачностью в области видимого диапазона шкалы электромагнитных волн, малым электрическим сопротивлением, большой шириной запрещенной зоны, малой работой выхода электронов, стойкостью к истиранию. Поэтому рост покрытий ZnO и исследование их свойств имеют большую актуальность.

В работе осуществлены рост тонких слоев оксида цинка с помощью ионно-лучевого метода, а также расчет коэффициентов распыления, что позволило предложить некоторые оптимальные параметры ростовых процессов.

Экспериментальные и теоретические результаты

Выращивание тонких пленок оксида цинка было проведено в установке с двумя плазменными ионными источниками [1]. На рисунке 1 показан общий вид устройства. Мишени из оксида цинка распылялись пучками ионов инертного газа (аргона). При распылении мишени из спеченного порошка ZnO пучком ионов аргона наблюдался кратер травления.

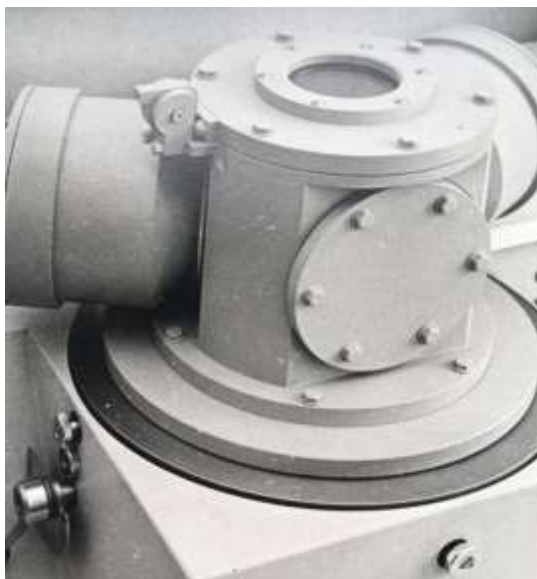


Рис. 1. Общий вид вакуумной установки с плазменными ионными источниками

На рисунке 2 приведены контуры кратера в продольной и поперечной плоскостях при травлении в течение 15 часов. В продольной плоскости кратера (кривая 1) наблюдается деформированное распределение Гаусса. Форма кратера в поперечной плоскости (кривая 2) менее деформирована. Центр кратера совпадал с направлением поступающих ионов.

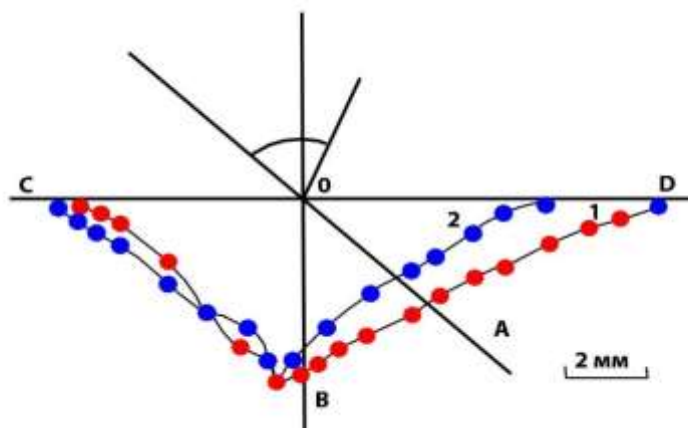


Рис. 2. Продольный (1) и поперечный (2) контуры сечения кратера

На рисунке 3 приведен электронно-микроскопический снимок поверхности мишени оксида цинка, подвергнутой распылению. На зернах оксида цинка наблюдается множество конусов травления, размеры которых у основания составляют единицы микрон.



Рис. 3. Электронно-микроскопический снимок поверхности оксида цинка, подвергнутой распылению

Важнейшей характеристикой ростовых процессов является угловое распределение распыленных частиц. Угловое распределение оценивалось по изменению толщины осаждаемой пленки. Угловое распределение распыленных частиц представлено на рисунке 4.

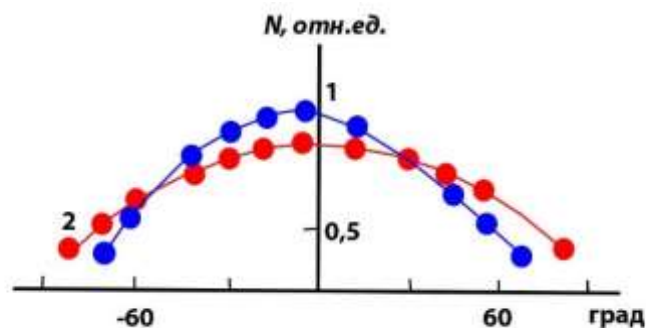


Рис. 4. Зависимость углов распыления частиц мишени, рассеянных во взаимно перпендикулярных плоскостях:
1 — в направлении падения ионов; 2 — в перпендикулярной плоскости

Эксперимент показал, что максимальный угол распыления составляет -15° (кривая 1). В перпендикулярной плоскости углы вылета распыленных частиц симметричны нормали (кривая 2). Отрицательные углы вылета, на наш взгляд, обусловлены формированием рельефа.

Ориентация конусов травления коррелирует с направлением падения распыляющих ионов. На поверхности отдельного зерна наблюдалась различная густота конусов. При таком рельефе частицы вылетают в основном навстречу ионному пучку. Поэтому можно предложить разместить подложки параллельно распыляемой мишени на близком расстоянии.

Важнейшей характеристикой распыления является коэффициент распыления S , который характеризует число выбитых из мишени атомов одним падающим ионом.

Экспериментальный коэффициент распыления оксида цинка определялся с учетом потери массы мишени в процессе распыления, величины ионного тока, времени распыления, атомного веса вещества. В частности, при распылении мишени из ZnO пучком ионов аргона с энергией 10 кэВ экспериментальный коэффициент распыления равен: $S_{\text{экс.}}(\text{ZnO})=3,2$.

Полный теоретический коэффициент распыления оксида цинка рассчитывали по теории Зигмунда [2]. Результаты проведенных расчетов [3] даны на рисунке 5.

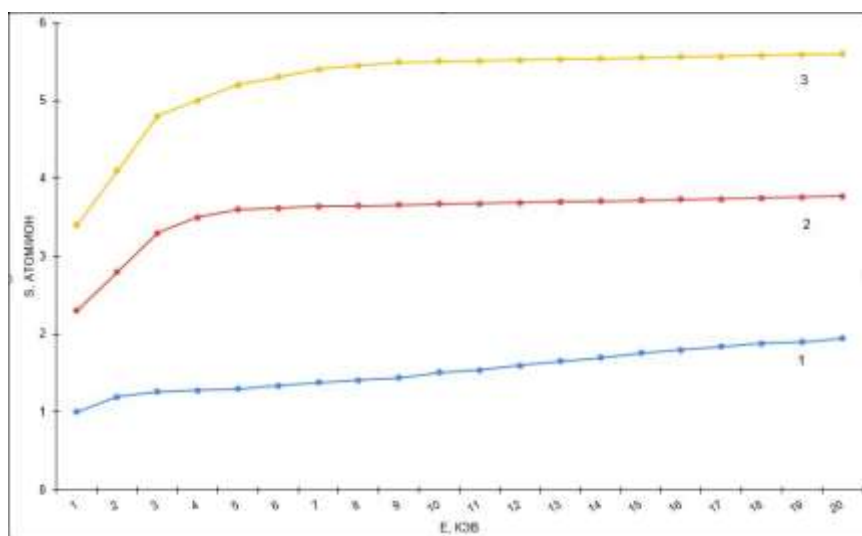


Рис. 5. Зависимости теоретических коэффициентов распыления ZnO-мишени от энергии распыляющих ионов аргона: коэффициент распыления цинка (1-я кривая); коэффициент распыления кислорода (2-я кривая); полный (суммарный) коэффициент распыления (3-я кривая)

Полный теоретический коэффициент распыления оксида цинка суммировался из парциальных коэффициентов распыления цинка и кислорода. В расчетах учитывались атомные массы распыляемого образца и падающих ионов, энергии упругого торможения ионов, энергии поверхностной связи, углы падения ионов.

Сравнительный анализ полученных экспериментальных и теоретических данных показывает, что столь большое различие между теоретическими и экспериментальными результатами обусловлено изменением рельефа поверхности мишени под действием ионного пучка. Образование кратеров травления приводит к тому, что распыляющие ионы падают не на плоскую поверхность мишени, а на поверхность кратера, причем многие ионы могут перераспыляться на склонах кратера, что весьма существенно влияет на коэффициент распыления. Также зерна мишени оксида цинка под действием ионного пучка приобретают конусы травления, что также влияет на коэффициент распыления. Состав поверхности мишени, подвергавшейся распылению, в процессе эксперимента не изменялся.

Заключение

Проведенные в работе экспериментальные и теоретические исследования роста тонких слоев оксида цинка с помощью ионно-лучевого метода позволили предложить некоторые оптимальные параметры ростовых процессов. Экспериментально было показано, что максимальный угол распыления при наличии кратера и конусов травления является отрицательным и составляет -15° , что значительно влияет на коэффициент распыления. В связи с этим были предложены изменения в конструктивные схемы эксперимента. Анализ проведенных расчетов позволил определить диапазон энергий распыляющих ионов с максимальными значениями коэффициентов распыления, что может существенным образом сократить число экспериментов.

Литература

1. Семенов А. П., Халтанова В. М. Устройство с двумя ионными плазменными источниками для нанесения тонких пленок // Приборы и техника эксперимента. 1990. № 6. С. 188–190. Текст: непосредственный.
2. Sigmund P. Theory of sputtering. *Phys. Rev.* 1969; Vol. 184, № 2: 383–416.
3. Халтанов В. Э. Тонкие пленки оксида цинка ZnO: моделирование роста распылением ионным пучком // Актуальные вопросы научных исследований: материалы IX Международной научно-практической конференции. Саратов: Цифровая наука, 2023. С. 34–38. Текст: непосредственный.

Статья поступила в редакцию 22.12.2023; одобрена после рецензирования 18.01.2024; принята к публикации 23.01.2024.

GROWTH OF THIN FILMS OF ZINC OXIDE BY ION BEAM SPUTTERING

Vasiliy E. Khaltanov

student,

Dorzhi Banzarov Buryat State University
24a Smolina St., 670000 Ulan-Ude, Russia
gangsterman318@gmail.com

Abstract. The article discusses the growth of thin films of zinc oxide (ZnO) using ion beam sputtering. Coating growth was carried out by sputtering a zinc oxide (ZnO) target with a beam of argon ions (Ar⁺) in a vacuum setup with plasma ion sources. The features of the growth processes were investigated. Modeling was conducted, and theoretical sputtering coefficients were calculated according to the theory of Sigmund. The experiment and calculations allowed for the recommendation of optimal parameters for the growth processes.

Keywords: thin films, zinc oxide, growth, modeling, ion beams.

For citation

Khaltanov V. E. Growth of Thin Films of Zinc Oxide by Ion Beam Sputtering. *Bulletin of Buryat State University. Chemistry. Physics.* 2024; 1: 14–18 (in Russ.).

The article was submitted 22.12.2023; approved after reviewing 18.01.2024; accepted for publication 23.01.2024.