

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЁНОК ОКСИДА ЦИНКА ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ОКСИДНОЙ И МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИШЕНЕЙ

Потылкин А.Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Завадский С.М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Экспериментально исследовано различие свойств и особенностей формирования диэлектрических слоев оксида цинка, полученных ионно-лучевым распылением оксидной и металлической мишеней.

Ключевые слова: оксид цинка, реактивное ионно-лучевое распыление, коэффициент преломления, элементный состав.

Введение. Среди полупроводниковых материалов, находящих применение в фотонике и электронике, оксид цинка выделяется уникальным набором физико-химических свойств (высокий коэффициент пропускания в оптическом и ближнем ИК диапазоне, проявление пьезо- и термоэлектрического эффектов, приемлемая электропроводность) [1]. На данный момент пленки из данного материала нашли применение в качестве основного материала сенсоров как газочувствительного слоя, также эти покрытия используются в составе солнечных элементов, в наногенераторах (за счет пьезоэлектрических свойств). Перспективно применение данного материала для создания полупроводниковых лазеров [2].

Данная работа посвящена исследованию процессов формирования тонкопленочных покрытий из оксида цинка ионно-лучевым распылением двух различных мишеней.

Основная часть. Формирование оксидных слоев ZnO осуществлялась на экспериментальной вакуумной установке ВУ-2Мп, оснащенной ионно-лучевым источником.

В качестве подложек использовались фрагменты монокристаллических кремниевых пластин, подложки из стекла размером 2 на 4 см толщиной 2 мм.

Основной целью проводимых исследований является установление различий в свойствах и особенностях формирования диэлектрических слоев оксида цинка реактивным ионно-лучевым распылением. Для этого было решено проводить формирования слоев в два этапа:

- 1 этап – формирование слоя ZnO из металлической (Zn) мишени;
- 2 этап – формирование слоя ZnO из оксидной (ZnO) мишени.

Перед нанесением покрытий вакуумная камера откачивалась до остаточного давления 2×10^{-3} Па. После этого в течении 10 мин проводилась ионная очистка подложек при помощи ионного-лучевого источника. Рабочий газ аргон, напряжение разряда 2500 В, ток разряда 50 мА. После очистки на образцы наносился слой оксида цинка. Для всех образцов режимы нанесения выбирались из областей предпочтительной работы, и составляли напряжение разряда $U_p=4,5$ кВ, ток разряда $I_p=120-150$ мА; ток соленоида $I_c=8$ А; расстояние мишень-подложка 27 см; время формирования слоев из цинковой мишени 20 мин, из оксидной мишени – 30 мин. Область предпочтительной работы выбрана исходя из технических характеристик распылительного оборудования, так, чтобы с одной стороны обеспечить минимальный уровень загрязнений в наносимой пленке, а с другой приемлемую скорость нанесения покрытия.

В процессе нанесения, от образца к образцу изменялось процентное содержание O_2 в рабочей смеси газов. Шаг изменения содержания составлял 2 мл/мин, что составляло величину порядка 10%.

Коэффициент поглощения n нанесенных слоев определялся методом эллисометрии на эллисометре ЛЭФ-3М, состав полученных покрытий определялся на энергодисперсионном спектрометре типа AVALON 8000 фирмы *Princeton Gamma-Tech*.

Для каждого из этапов исследований был проведен анализ элементного состава пленок ZnO . Анализ проводился для 3-ех образцов из группы соответствующих минимальному, среднему и максимальному значению содержания кислорода в смеси рабочих газов.

По полученным экспериментальным данным были построены зависимости коэффициента преломления и атомного отношения для каждого класса покрытий, представленные на рисунках 1, 2. Также на рисунке 3 представлено изменение скорости нанесения и коэффициента пропускания.

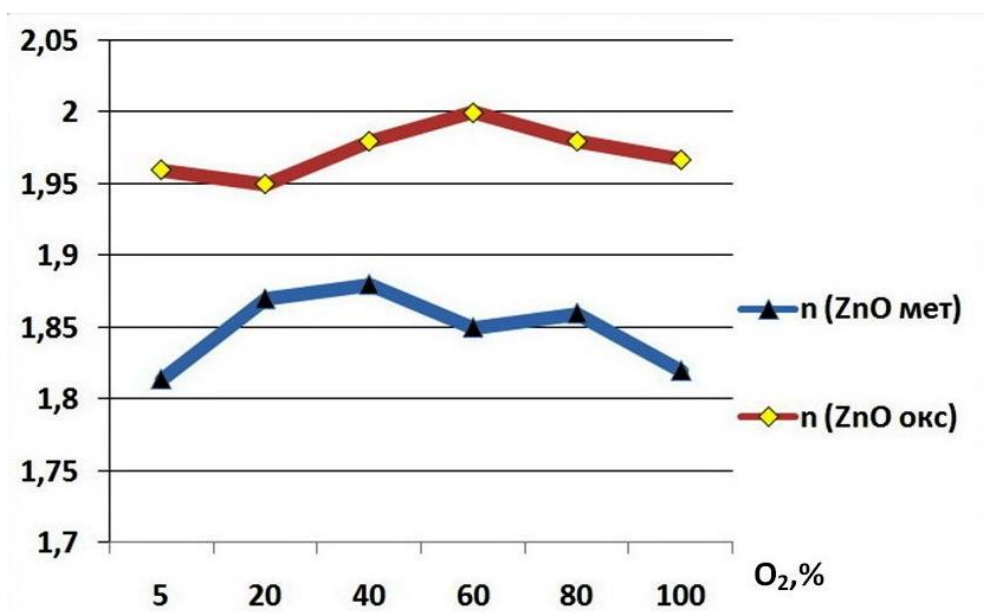


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента преломления n от содержания O_2 в смеси рабочих газов, где $n(ZnO_{мет})$ – коэффициент преломления пленки ZnO , полученной из металлической мишени, $n(ZnO_{окс})$ – из оксидной мишени.

Коэффициент преломления для пленок оксида цинка ($n = 2,1$ [3]), полученных из мишеней ZnO практически не меняется при изменении процентного содержания кислорода в смеси рабочих газов и колеблется около значения 1,95 - 2,0. Коэффициент преломления пленок, полученных из металлической мишени, не превышал значения 1,87. Это свидетельствует о том, что состав сформированных покрытий отличался от стехиометрического.

Элементное соотношение между металлом и кислородом ($Zn:O$) для пленок, полученных из оксидной мишени колебалась около значения 1:1, а для пленок, нанесенных из металлической мишени минимальное отношение составляло 1,3:1, т.е. в пленках, нанесенных из металлической мишени, присутствовал избыток металла и соответственно недостаток кислорода. Также следует отметить, что при распылении оксидной мишени (ZnO) даже при отсутствии кислорода в смеси рабочих газов формировались пленки с составом и коэффициентом преломления близкими к объемному материалу.

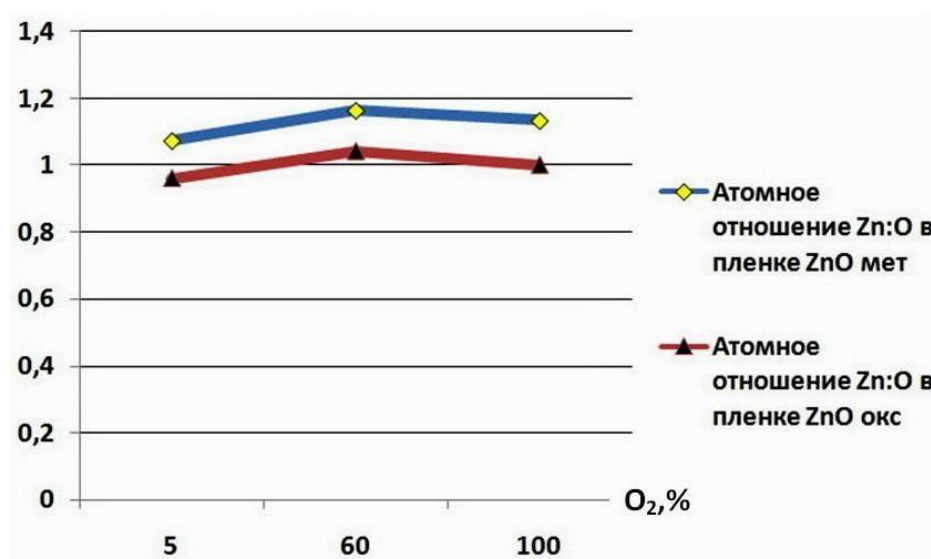


Рисунок 2 – Зависимость атомного отношения $Zn:O$ в пленке оксида цинка от содержания O_2 в смеси рабочих газов, полученных из металлической ($ZnO_{мет}$) и оксидной ($ZnO_{окс}$) мишени.

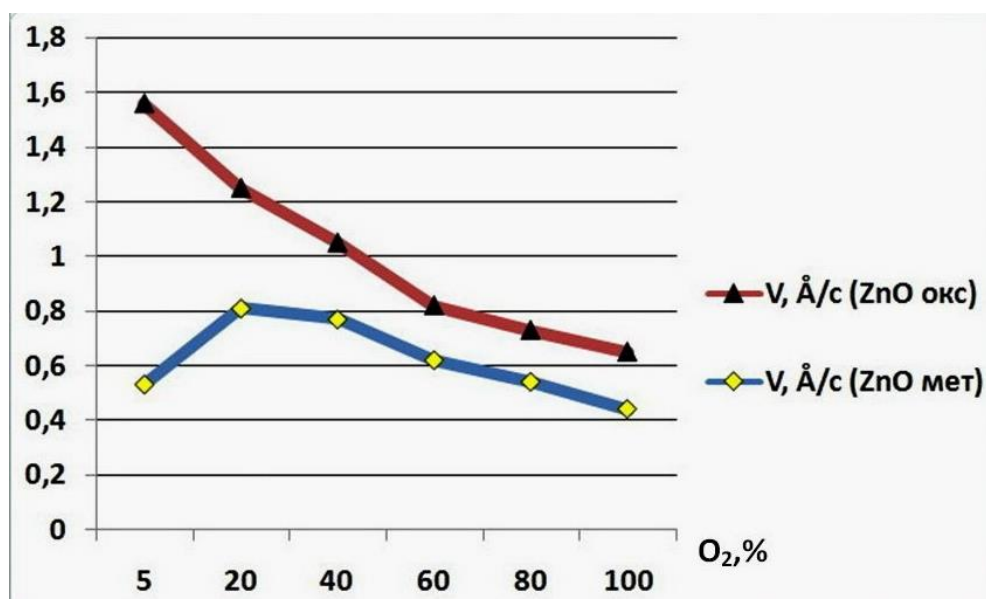


Рисунок 3 – Зависимость скорости нанесения V от содержания O_2 в смеси рабочих газов, где $V(ZnO_{мет})$ – скорость нанесения пленки ZnO , полученной из металлической мишени, $V(ZnO_{окс})$ – из оксидной мишени.

Скорость формирования пленок оксида цинка из металлической и оксидной мишени при увеличении содержания кислорода монотонно уменьшается. При этом скорость распыления оксидной мишени выше скорости распыления металлической мишени в 1,3 раза, что согласуется с литературными данными по значениям коэффициента распыления оксида цинка [5,6].

Заключение. Проведенные исследования позволили сделать выводы о неоднозначности процесса распыления оксидных мишеней, о необходимости более детального исследования процесса нанесения тонкопленочных слоев при распылении оксидных мишеней (исследование влияния энергии ионов, изменения газовой среды при распылении, изменение температур и режимов нанесения покрытия). В зависимости от

назначения формируемого оксидного слоя, его нанесение можно осуществлять тремя способами:

- формирование из металлической мишени – предпочтителен для нанесения с высокой скоростью защитных, диэлектрических, декоративных слоев;
- формирование из оксидной мишени – предпочтителен для нанесения слоев со свойствами близкими к свойствам объемного материала (пониженная скорость);
- формирование с дополнительным ассистированием.

Список литературы

1. Формирование тонких пленок оксида цинка комбинированным методом гидротермального и послойного атомного осаждения / Е.Б. Чубенко, В.П. Бондаренко, В.А. Пилипенко, К. Топали, А.К.Окяй // Докл.БГУИР. – 2016. – №4(98). – С. 28–34.
2. Оксид цинка: многообещающий полупроводник будущего [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electricschool.info/spravochnik/material/2928-oksid-cinka-mnogoobeschayuschiy-poluprovodnik-buduschego.html>. Дата доступа: 11.02.2025.
3. Справочник химика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://chem100.ru/>. Дата доступа: 04.02.2025.
4. Seed layer assisted hydrothermal deposition of low-resistivity ZnO thin films / E.Chubenko, V. Bondarenko, A. Ghobadi, G. Ulusoy, K. Topali, A.K. Okyay // MRS Advances. – 2017. – Vol. 2, iss. 14. – P. 799–804.
5. Angstrom Sciences, Inc., Sputtering Yields (<https://angstromsciences.com/sputtering-yields>) Дата доступа: 11.02.2025.
6. 15. Laegreid N., Wehner, G. K. Sputtering yields of metals for Ar⁺ and Ne⁺ ions with energies from 50 to 600 eV // J. Appl. Phys. - 1961. - Vol. 32. - p. 365–369.

UDC 621.793.79

FORMATION OF ZINC OXIDE FILM BY ION-RAY SPRAYING WITH OXIDE AND METAL TARGETS

Potylkin A.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Zavadski S.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. Experimentally investigated the difference of properties and features of formation of dielectric layers of zinc oxide obtained by ion-ray spraying of oxide and metal targets.

Keywords: zinc oxide, reactive ion-ray dispersion, refractive coefficient, elemental composition.