

ОСОБЕННОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ–ОЛОВА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

© 2020 г. В. А. Лузанов*

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
пл. Введенского, 1, Фрязино, Московской обл., 141190 Российская Федерация*

**E-mail: valery@luzanov.ru*

Поступила в редакцию 27.08.2019 г.

После доработки 27.08.2019 г.

Принята к публикации 19.09.2019 г.

Поликристаллические прозрачные проводящие слои оксида индия–олова выращены методом магнетронного реактивного распыления на постоянном токе при комнатной температуре подложки. Проведенные исследования полученных пленок показали, что в области повышенной бомбардировки растущей пленки отрицательными ионами кислорода происходит рост наиболее низкоомных прозрачных пленок с поликристаллической структурой.

DOI: 10.31857/S0033849420030110

Прозрачные проводящие пленки широко используются в различных оптоэлектронных приборах, таких как солнечные батареи, жидкокристаллические дисплеи, электролюминесцентные приборы, электрохромные устройства. Оксид индия–олова является наиболее популярным и исследованным благодаря своей химической стабильности, хорошей адгезии к подложкам и отличным электрическим и фотохимическим свойствам. Для нанесения покрытий из оксида индия–олова используется масса различных методов: магнетронное распыление [1], химическое осаждение из паровой фазы [2], золь–гель-метод [3], распылительный пиролиз [4], ионное осаждение [5] и т.д. Среди них особо привлекательным является метод магнетронного распыления из-за хорошей воспроизводимости, высокой скорости осаждения и возможности масштабирования технологического процесса. Часто возникает необходимость осаждения пленок оксида индия–олова при комнатной температуре. Однако недостаточная степень рекристаллизации приводит к плохим структурным и электрическим свойствам [6]. А использование более простой и дешевой технологии магнетронного распыления на постоянном токе при комнатной температуре, как правило, приводит к формированию аморфных слоев оксида индия–олова с высоким удельным электрическим сопротивлением [7]. Для улучшения параметров получаемых пленок в работе [8] использовали ионный источник для бомбардировки растущего слоя ионами рабочей смеси газов.

В данной работе для осаждения пленок оксида индия–олова был выбран метод магнетронного реактивного распыления на постоянном токе, аналогичный использованному в работе [9]. В качестве распыляемой мишени использовался диск из смеси оксидов $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{SnO}_2$ (10% SnO_2) диаметром 120 мм. Расстояние от мишени до плоскости подложки составляло 50 мм. Полученные пленки исследовали методом рентгеноструктурного анализа на автоматизированном двухкристальном дифрактометре ДРОН-3. Ток и напряжение на трубке при съемке составляли 30 мА и 30 кВ соответственно. Использовали кварцевый монохроматор и излучение $\text{CuK}\alpha_1$ ($\lambda = 0.154056$ нм). Удельное поверхностное электрическое сопротивление измеряли с использованием четырехзондового метода. Была проведена оптимизация параметров распыления (давление в камере, соотношение компонентов в газовой смеси, скорости осаждения) для получения максимально низкоомных и прозрачных пленок. В результате при давлении в камере 0.4 Па и 3% кислорода получены пленки с прозрачностью в видимой области спектра 86% и удельным поверхностным сопротивлением 20 Ом на квадрат. Структура пленок была поликристаллической (рис. 1, кривая 1).

Далее было измерено распределение удельного поверхностного сопротивления по площади подложки и обнаружено, что указанное распределение имеет радиальную симметрию (рис. 2, кривая 1). При этом зона с минимальным сопротивлением имеет форму кольца и расположена в области подложки, находившейся при напылении напро-

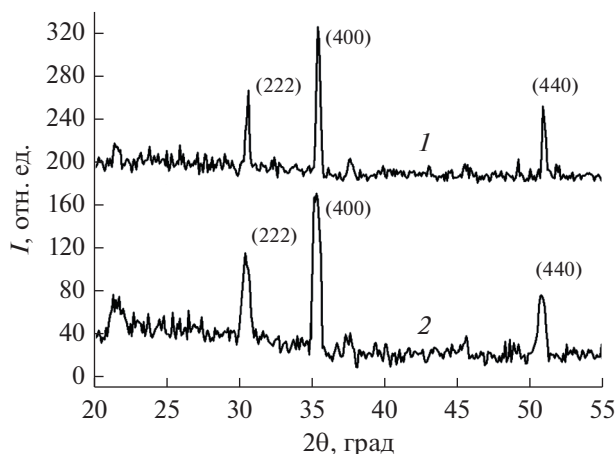


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма пленки In–Sn–O в области подложки, располагавшейся напротив центра мишени (1) и напротив зоны повышенной бомбардировки (2).

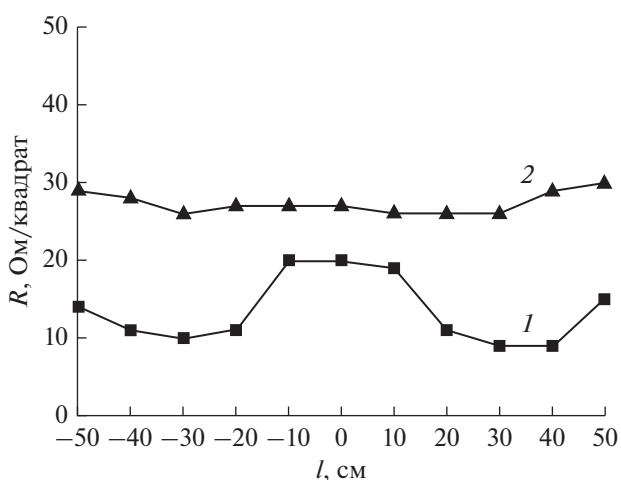


Рис. 2. Изменение удельного поверхностного сопротивления пленки In–Sn–O, выращенной в смеси кислорода и аргона (1) и в чистом аргоне (2), в зависимости от расстояния от центра подложки l .

тив кольцевой зоны магнетронного разряда. Рентгеновская дифрактограмма в этой области приведена на рис. 1, кривая 2. Можно заметить существенное уширение дифракционных пиков, что обусловлено уменьшением областей когерентного рассеяния за счет повышения концентрации дефектов в пленке. Как отмечалось в [10] и позже в [11], кольцевая зона распыления при магнетронном разряде в присутствии кислорода характеризуется повышенной бомбардировкой растущей пленки высокоэнергетичными отрицательными ионами кислорода. Это было показано применительно к росту пленок оксида цинка, в которых наблюдалось появление наклона оси текстуры, в частности, из-за повышенного дефектообразования.

Осаждение пленок оксида индия–олова, видимо, также происходит в сопровождении бомбардировки растущего слоя отрицательными ионами кислорода. Для проверки этого предположения было проведено осаждение пленки оксида индия–олова в чистом аргоне. Измерение распределения удельного поверхностного сопротивления по площади подложки показало, что в данном случае почти отсутствуют “провалы” в области напротив зоны распыления (рис. 2, кривая 2). Но прозрачность пленки оказалась заметно меньше из-за недостатка кислорода.

Таким образом, можно сделать вывод, что бомбардировка отрицательными ионами кислорода, характерная для магнетронного разряда в присутствии кислорода, может создать в растущей пленке

повышенную плотность дефектов, обеспечивающих генерацию свободных носителей.

Работа выполнена в рамках государственного задания, а также при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 19-07-00432, 18-29-19047, 18-07-00729).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee H.-C., Seo J.-Y., Choi Y.-W., Lee D.-W. // *Vacuum*. 2004. V. 72. P. 269.
2. Sears W.M., Gee M.A. // *Thin Solid Films*. 1988. V. 165. № 1. P. 265.
3. Hjiri M. // *Sensors and Transducers*. 2014. № 27. P. 198.
4. Pommier R., Marucchi C.G.J. // *Thin Solid Films*. 1981. V. 77. № 1–3. P. 91.
5. Machet J., Guille J., Saulnier P., Robert S. // *Thin Solid Films*. 1981. V. 80. № 1–3. P. 149.
6. Quaas M., Steffen H., Hippler R., Wulff H. // *Surface Sci*. 2003. V. 540. № 2–3. P. 337.
7. Kurdesau F., Khripunov G., da Cunha A.F. et al. // *J. Non-Crystalline Solids*. 2006. V. 352. P. 1466.
8. Krylov P.N., Zakirova R.M., Fedotova I.V. // *Semiconductors*. 2013. V. 47. № 10. P. 1412.
9. Лузанов В.А. // *РЭ*. 2017. Т. 62. № 10. С. 1018.
10. Kotelyanskiy I.M., Krikunov A.I., Luzanov V.A., Sinelnikova V.V. // *Proc. 10th Japan-USSR Electronics Symp. “Electronical and Optical Properties of Semiconductors and Their Applications to Devices”*, Tokyo, 1984. P. 39.
11. Лузанов В.А., Алексеев С.Г., Ползикова Н.И. // *РЭ*. 2018. Т. 63. № 9. С. 1015.