

Проведены процессы термообработки покрытий, полученных при парциальном давлении кислорода $1,3 \cdot 10^{-4}$ и $2 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. Для этого использовалась ИК печь «Изоприн». Отжиг осуществлялся в атмосфере кислорода при 400 и 500°C в течение 20 мин. После такой термообработки покрытия становились прозрачными. На рисунке 6 приведены рентгенограммы пленок PbO, полученных окислением слоя свинца при 270°C в течение 5; 15 и 40 часов.

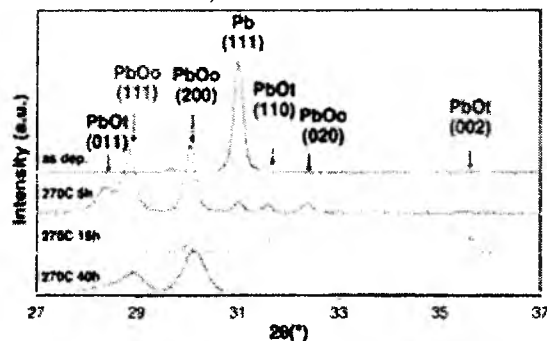


Рисунок 6—Рентгенограммы пленок PbO после отжига в кислороде [3]

Пики Pb(111) исчезают лишь поле 15-ти часового отжига. Следовательно, для более

быстрого отжига следует повышать его температуру.

1. Martos, M Electrochemical properties of lead oxide films obtained by spray pyrolysis as negative electrodes for lithium secondary batteries/ M.Martos, J Marales et. al// Electrochemical Acta,—2001.—v.46.—P.2439–2448.
2. Venkataraj, S Structural and optical properties of thin lead oxide films produced by reactive direct current magnetron sputtering / S.Venkataraj, J.Geurts, H.Weis, O. Kappertz, W. K. Njoroge, R. Jayavel, M. Wuttig// J.Vac. Sci. Technol. A 19, 2870 (2001).
3. Droessler, L.M. Thermally deposited lead oxides for thin film photovoltaics/ L.M. Droessler, H. E. Assender, A. A.R. Watt// Materials Letters. —V. 71.— 2012. — P. 51–53
4. Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионно-лучевые, ультразвуковые /А.П.Достанко [и др.]; под ред.А.П.Достанко; Белорус. гос.ун-т информатики и радиоэлектроники.—Минск: Бестпринт, 2009.—199 с.

УДК 621.793.16

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ОЛОВА, СУРЬМЫ, ЦИНКА И АЛЮМИНИЯ

Гуревич О.В., Ядренцева Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время одними из самых перспективных тонкопленочных покрытий являются прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов (цинка, олова, индия) [1]. Прозрачные проводящие принадлежат к классу полупроводников с широкой запрещенной зоной и находят все более широкое применение в производстве плоских дисплеев, прозрачных электродов фотовольтаических ячеек и нагревательных элементов, в теплосберегающих технологиях и т.п. ZnO -прямозонный полупроводник n-типа с шириной запрещенной зоны 3,3 эВ. Тонкие пленки ZnO нашли применение как прозрачный проводящий электрод в фотоэлектричестве и вместо дорогого олова, легированного In₂O₃ (ITO)[2]. Легируя пленки ZnO алюминием, галлием, индием и германием, можно улучшить их электрические свойства. Легированные алюминием пленки ZnO были широко изучены и установлено, что они имеют низкое удельное сопротивление $(2-5) \cdot 10^{-4}$ Ом·см, что сопоставимо с пленками из ITO.

Кроме оксидов индия пленки SnO₂ можно легировать и оксидом сурьмы. Однако в научно-технической литературе практически отсутствует информация по таким покрытиям. Установлено, что добавка Sb₂O₅ приводит к снижению ширины запрещенной зоны SnO₂ [3].

Формирование пленок оксидов осуществляли на модернизированной установке УРМ 3.279.017 (рисунок 1).

Было проведено формирование прозрачных электропроводящих покрытий из SnO₂+9,5%Sb₂O₅. Использовалось ионно-лучевое распыление порошковой мишени. Режимы нанесения были следующими: остаточное давление в камере – $(2-3) \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.; рабочее давление – $(5-6) \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст.; ускоряющее напряжение – (2,8–3,8) кВ; ток мишени–25 мА; температура подложки из стекла – 40 и 300°C; скорость нанесения – 0,43 нм/с. Содержание кислорода в рабочем газе (Ar+O₂) составляло $(4-8) \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.. Удельное сопротивление пленок, нанесенных при 40°C, составило $98 \cdot 10^3$ Ом·м. Покры-

тия были прозрачны в видимом диапазоне (рисунок.2).



Рисунок 1 – Внешний вид подколпачного устройства установки УРМ 3.279.017

Было проведено исследование процессов ионно-лучевого распыления керамических мишеней различного состава из оксидов цинка и алюминия. Мишени имели состав $ZnO:(1-5\% Al_2O_3)$ и представляли собой диск диаметром 60 мм и толщиной 10 мм.

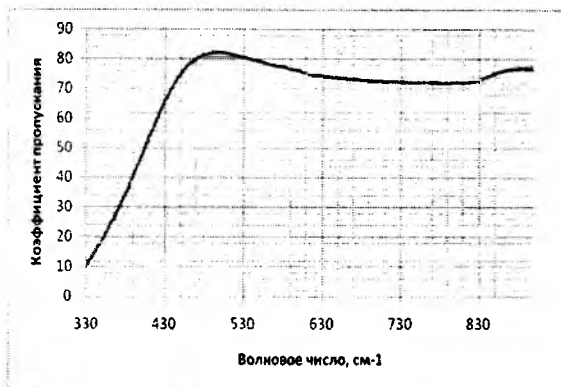


Рисунок 2 – Спектральная зависимость пропускания пленок $SnO_2+9,5\%Sb_2O_5$

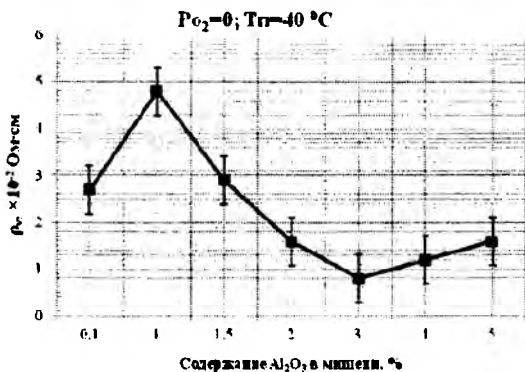


Рисунок 3 –Зависимость удельного объемного сопротивления пленок от состава мишени

Скорость нанесения составила около 0,28 нм/с и практически не зависела от состава мишени. Распыление мишеней с разным содержанием оксида алюминия показало, что наименьшим удельным сопротивлением обладали покрытия, полученные из мишени состава $ZnO:3\% Al_2O_3$ (рисунок .3).

Поэтому дальнейшие исследования проводились только с мишенью такого состава. Установлено, что добавка кислорода к аргону приводила к росту удельного сопротивления пленок (рисунок 4).

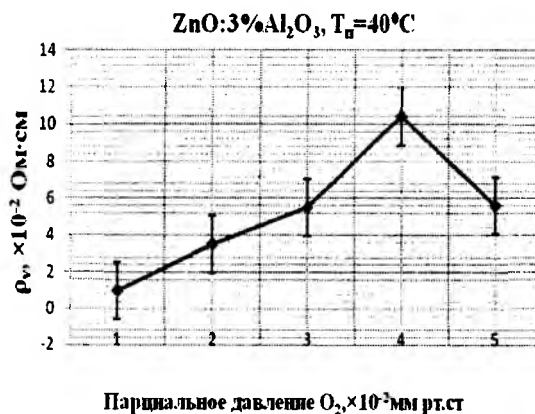


Рисунок 4 –Зависимость удельного объемного сопротивления пленок от содержания кислорода

На рисунке 5 приведена зависимость удельного объемного сопротивления покрытий, сформированных при разных температурах подложки. Минимальный уровень сопротивления наблюдается при температуре 150°C.

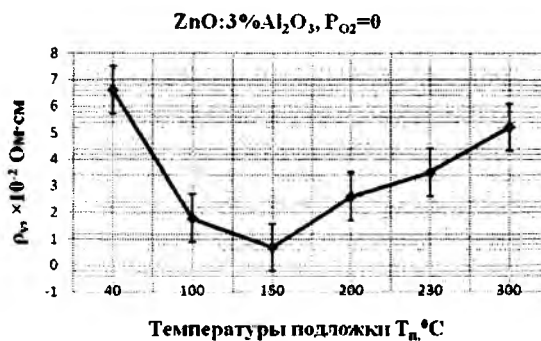


Рисунок 5–Зависимость удельного объемного сопротивления пленок от температуры подложки

Покрытия были прозрачны в видимом диапазоне. На рисунке 6 представлены спектральные зависимости пропускания покрытий, нанесенных на подложку из стекла К8 при температуре последней 150°C.

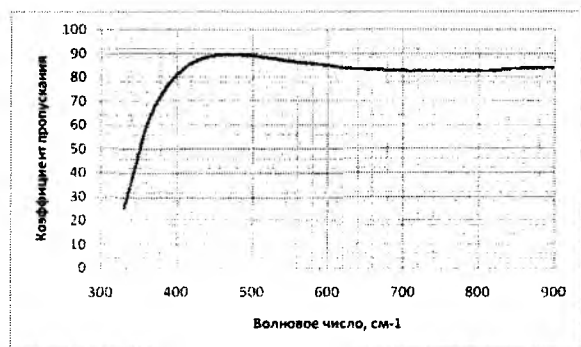


Рисунок 6 – Спектральная зависимость коэффициента пропускания покрытий из ZnO: 3% Al₂O₃

На рисунке 7 изображена микроструктура пленки ZnO: 3% Al₂O₃, нанесенной на стекло.

Покрытия из ZnO:3%Al₂O₃ обладали ярко выраженным p-типом проводимости. Тест на адгезию пленки к стеклянной подложке помощью липкой ленты дал положительные результаты.

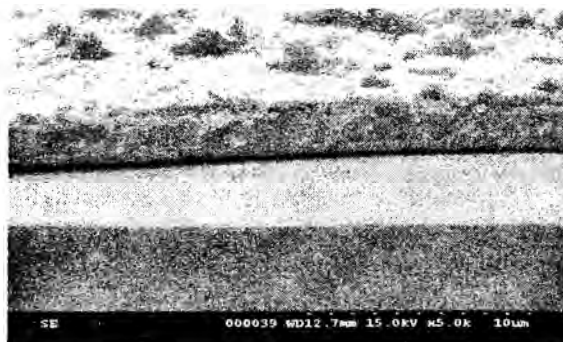


Рисунок 7 – Микроструктура пленки ZnO: 3% Al₂O₃, нанесенной на стекло

1. Чопра, К. Тонкопленочные солнечные элементы / К. Чопра, С. Дас. – М.: Мир, 1986. – 450с.
2. Czernastek, H. ZnO thin films prepared by high pressure magnetron sputtering/ H.Czernastek// Opto-electronics review. – 2004. – v.12(1). – P.49–52.
3. Kuznetsov, V.L. Electrical and optical properties of transparent conducting In₄+xSn–2xSb_xO₁₂ thin films / V.L. Kuznetsov, D. H. O’Neil, M. Pepper, and P.P. Edwards// J. Appl. Phys. 110, 033702 (2011).

УДК 535.34, 535.37

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЧИП ЛАЗЕРА НА КРИСТАЛЛЕ Tm:KLuW

Гусакова Н.В.¹, Ясюкевич А.С.¹, Кисель В.Э., Кулешов Н.В.¹, Павлюк А.А.², Гапоненко М.С.³

¹НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ, Минск, Республика Беларусь

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

³University of Neuchâtel, Neuchâtel, Switzerland

Данная работа посвящена определению спектроскопических параметров кристалла Tm:KLu(WO₄)₂ (Tm:KLuW) характеризующих эффективность ап-конверсионных и кросс-релаксационных механизмов переноса энергии, разработке математической модели лазера с продольной диодной накачкой работающего в непрерывном режиме с учетом кооперативных процессов, получению генерации в микрочип конфигурации на основе данного кристалла.

Лазерная генерация на кристалле Tm:KLuW была получена в геометрии продольной накачки. Наличие положительной термической линзы возникающей в кристалле при распространении излучения накачки вдоль оси N_g позволило получить генерацию в микрочип конфигурации, кроме того при такой ориентации кристалла сечения поглощения и стимулированного испускания максимальны. Схема микрочип лазера представлена на рис. 1. Пропускание выходного зеркала плоскопараллельного резонатора на длине волны генерации составляло T=1.7%. Полная длина резонатора – 2.5 мм. Ла-

зер работал без системы принудительного охлаждения. Система накачки состояла из AlGaAs 800 нм лазерного диода с волоконным выводом излучения, M² = 40.

Зависимость выходной мощности лазера от поглощенной мощности накачки имела линейный характер и представлена на рис.2. Генерируемое излучение лазера поляризовано вдоль оси оптической индикатрисы кристалла N_m.

При поглощенной мощности накачки 2.2 Вт максимальная выходная мощность лазера составила 732 мВт, абсолютный КПД лазера, относительно поглощенной мощности накачки, составил 33%, дифференциальный КПД – 45%, относительно поглощенной мощности накачки. Центральная длина волны выходного излучения составляла 1965 нм.

Измерение профиля пучка выходного излучения микрочип лазера для двух направлений, параллельных осям оптических индикатрис кристалла N_p и N_m, показало, что анизотропия термооптических искажений возникающих в плоскости N_m-N_p незначительна. Лазер работал в ре-