

05;06

Исследование свойств пленок CdO

© А.М. Баранов, Ю.А. Малов, С.А. Терёшин, В.О. Вальднер

Государственный научно-исследовательский институт
вакуумной техники им. С.А. Векшинского

Поступило в Редакцию 14 апреля 1997 г.

Исследованы пленки CdO, полученные магнетронным распылением кадмиевой мишени в смеси азота с кислородом. Установлено, что данные пленки имеют более низкое удельное сопротивление, чем пленки, получаемые другими методами. Сделан вывод о целесообразности практического использования пленок CdO в качестве прозрачных электродов.

Интерес к прозрачным электропроводящим оксидам возник в середине 60-х годов и не ослабевает до настоящего времени. Прозрачные электропроводящие оксиды используются в качестве электродов в дисплеях на жидких кристаллах, фотодиодах, солнечных батареях и других устройствах.

Число известных токопроводящих широкозонных оксидов невелико [1]. Наиболее широко известными являются оксид индия (In_2O_3) и оксид олова (SnO_2). Оба материала имеют n -тип проводимости и оптическую ширину запрещенной зоны $E_g > 3 \text{ eV}$. Для получения низкого удельного сопротивления пленки In_2O_3 необходимо выращивать при температуре около 400°C или проводить последующий отжиг [2]. Это не всегда возможно. Пленки SnO_2 были получены с минимальным сопротивлением при комнатной температуре. Однако удельное сопротивление пленок SnO_2 ($\approx 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$) на порядок выше, чем у оксида индия [3]. Поэтому актуальной является задача изучения свойств новых прозрачных проводящих покрытий. Одним из таких материалов является CdO.

Оксид кадмия (CdO) представляет собой малоисследованный материал [4,5]. Он является широкозонным полупроводником класса A_2B_6 , и его свойства отличаются от свойств широко применяемых оксидов In_2O_3 и SnO_2 . Из [4 и 5] следует, что этот материал может обладать проводимостью n -типа, низким удельным сопротивлением ($\approx 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$) и достаточно высоким коэффициентом пропускания в видимой части

спектра. Оптическая ширина запрещенной зоны (E_g) CdO варьируется от 2.3 до 2.7 eV.

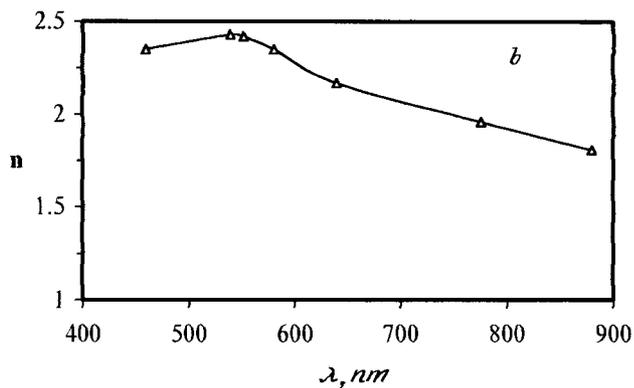
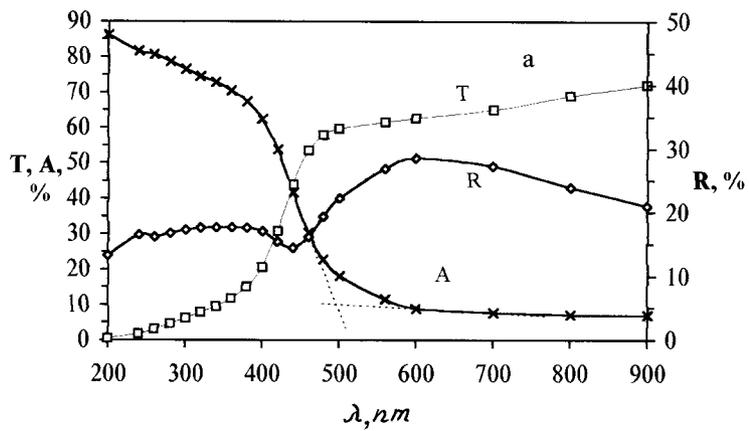
Задачей настоящей работы было создание и исследование тонких пленок CdO.

Пленки CdO были получены магнетронным распылением кадмиевой мишени в смеси азота (N_2) с кислородом (O_2). Давление в вакуумной камере было постоянным и составляло $2.5 \cdot 10^{-3}$ mm Hg. Парциальное давление кислорода изменялось от $3 \cdot 10^{-4}$ до $12 \cdot 10^{-4}$ mm Hg. Осаждение проводилось на подложки из кварца и кремния при комнатной температуре.

У полученных пленок были измерены оптические и электрические характеристики.

Спектры пропускания и отражения полученных пленок CdO были измерены на двухлучевом спектрофотометре SPECORD-M40. Эти зависимости показаны на рисунке, *a*. В диапазоне 500–900 nm коэффициент пропускания света (T) больше 60% и слабо изменяется с ростом длины волны падающего света λ . При $\lambda < 500$ nm T резко уменьшается, что связано с собственным поглощением света в CdO. Однако в диапазоне длин волн от 200 до 400 nm уменьшение T с уменьшением λ замедляется. На этом же рисунке представлена зависимость коэффициента отражения от длины волны. Значения коэффициента отражения R не одинаковы при разных λ , что является следствием интерференции света в пленках CdO. По положению максимума и абсолютному значению коэффициента отражения в максимуме были определены толщина пленки d и коэффициент преломления n (на этой длине волны) [6]. Толщина пленки и n составляли 600 Å и 2.25 соответственно. Далее, зная d , из спектров пропускания и отражения была рассчитана зависимость коэффициента преломления от длины волны $n = f(\lambda)$ (см. рисунок, *b*) [6]. По абсолютным значениям n пленки CdO достаточно хорошо подходят для создания антиотражающих покрытий на кремнии в интервале длин волн 500–900 nm.

Используя условие сохранения энергии, было найдено поглощение (A) света в пленке $A = 1 - (R + T)$. Видно, что зависимость $A = f(\lambda)$ для CdO можно разделить на три области. В диапазоне 600–900 nm (область I) поглощение слабо растет, но не превышает 10%. При уменьшении длины волны от 600 до 400 nm (область II) поглощение резко возрастает до 60%. Далее при $\lambda < 400$ nm (область III) начинается плавное возрастание поглощения. Экстраполяция участков I



Зависимости пропускания T , отражения R и поглощения A от длины волны падающего света λ (a) и зависимость $n = f(\lambda)$ (b).

и II графика $A = f(\lambda)$ до их пересечения дает оптическую ширину запрещенной зоны $E_g = 2.5$ eV.

Измерение удельного сопротивления (ρ) пленок CdO проводилось четырехзондовым методом. Полученные результаты представлены в таблице.

Парциальное давление кислорода, mm Hg	Удельное сопротивление, $\Omega \cdot \text{cm}$
$3 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$
$4.5 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$
$5.2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
$7.6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
$1.2 \cdot 10^{-3}$	1.2

Из таблицы следует, что удельное сопротивление сильно зависит от парциального давления кислорода в камере. Минимальное значение удельного сопротивления $\rho = 7 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ соответствует значению парциального давления кислорода в камере $P = 5.2 \cdot 10^{-4} \text{ mm Hg}$. Снижение давления кислорода менее $4 \cdot 10^{-5} \text{ mm Hg}$ приводит к резкому уменьшению коэффициента пропускания и увеличению удельного сопротивления вследствие существования в пленке недоокиси кадмия. Данные пленки имели металлический цвет. Коэффициент пропускания и значения E_g пленок CdO, полученных при давлении кислорода более $4 \cdot 10^{-5} \text{ mm Hg}$, не зависят от значения парциального давления. В то же время ρ не остается постоянным. Увеличение парциального давления кислорода приводит к резкому росту ρ .

Такое поведение ρ может быть объяснено тем, что проводимость пленок CdO осуществляется благодаря кислородным вакансиям, существующим из-за недостатка кислорода в пленке [7]. Если атомов кислорода не хватает для связывания всех атомов Cd, то не связанный атом Cd может отдавать один или два своих электрона в зону проводимости. В случае если все атомы кадмия будут связаны с кислородом, то такая пленка не будет проводящей.

Таким образом, пленки CdO, полученные в данной работе, обладают более низким удельным сопротивлением не только по сравнению с ранее полученными пленками CdO, но и по сравнению с широко применяемыми пленками SnO₂. В целом результаты работы позволяют сделать вывод о целесообразности использования пленок CdO в качестве прозрачных электродов в различных устройствах, особенно в солнечных элементах на основе Si, для которого он является очень хорошим антиотражающим покрытием.

Список литературы

- [1] *Hartnagel, Dawar A.L., Jain A.K.* et al. // *Semiconducting Transparent Thin Films*. 1995. P. 358.
- [2] *Singh S.P., Sharma A.K.* // *Thin Solid Films*. 1982. V. 105 (2). P. 131.
- [3] *Webb G.B., Williams D.F.* // *Appl. Phys. Lett.* 1981. V. 39. P. 640.
- [4] *Chu T.L., Chu Shirley S.* // *J. of Electr. Mater.* 1990. V. 19. N 9.
- [5] *Scavani C., Reddy K.T.R.* // *J. of Alloys and Compounds*. 1994. V. 215. P. 239–243.
- [6] *Кондрашов В.Е.* // *Оптика фотокатодов*. М.: Наука, 1976. 208 с.
- [7] *Креггер Ф.* // *Химия несовершенных кристаллов*. М.: Мир, 1969. 660 с.