

ОКСИДНАЯ ПРОЗРАЧНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
Баранов О.Ю., Торокова Е.Л., Меркушев Ф.Ф.
Научный руководитель доктор техн. наук Патрушева Т.Н.
Сибирский федеральный университет

Интерес к прозрачным проводникам можно проследить с 20 века, когда впервые появились сообщения о CdO пленках. Первый прозрачный проводящий оксид (transparent conductive oxide TCO) обнаружил Бадекег (1907) и это был CdO в форме тонкой пленки [1].

Термин «прозрачная электроника» появился в 1997 году, когда в журнале Nature вышла статья японского исследователя Кавазое (Kawazoe) с соавторами, в которой говорилось о получении прозрачной, высоко проводящей оксидной пленки CuAlO_2 с проводимостью p – типа. В том же номере Nature была напечатана работа Сомаса (Thomas), в которой на основе результатов работ Кавазое обсуждалась перспектива создания так называемых невидимых электронных цепей, дающих новое применение проводящим оксидным материалам, которые до этого использовались только в качестве пассивных элементов электронных схем [1, 2].

Понятие прозрачная электроника, в первую очередь, базируется на использовании прозрачных в видимом диапазоне излучения подложек: стекол, кварца, полимеров.

Наиболее широко изучаемыми и используемыми в электронике прозрачными проводящими оксидными материалами (ППО) являются оксид индия, оксид индия легированный оловом (ITO), оксид цинка и оксид олова. Электрические свойства этих материалов приведены в табл.1.

Таблица 1 – Электрические характеристики прозрачных проводящих оксидов

Материал	Ширина запрещенной зоны (эВ)	Проводимость (См см^{-1})	Концентрация электронов (см^{-3})	Подвижность ($\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$)
In_2O_3	3.75	10000	$> 10^{21}$	35
ZnO	3.35	8000	$> 10^{21}$	20
SnO_2	3.6	5000	$> 10^{20}$	15

Стоит отметить, что все три материала, включенных в таблицу, имеют n-тип проводимости и являются сильно вырожденными полупроводниками, т.е. концентрация электронов в них существенно превышает эффективную плотность состояний в зоне проводимости [1]. Кроме того, все хорошо известные и коммерчески используемые ППО также имеют n-тип проводимости. Поэтому, с точки зрения создания работающих структур (диодов, транзисторов), необходимо научиться выращивать пленки с дырочным типом проводимости. ППО p-типа являются относительно новым феноменом и их проводимость значительно хуже по сравнению с ППО n-типа проводимости.

Наиболее важным является применение оксидов металлов в конструкции жидкокристаллических дисплеев (LCD)

На рис.1. приведена послойная конструкция ЖК дисплея. Так слой 1 – это вертикальный поляризатор, слой 2 – стеклянная подложка с ITO электродами, слой 3 –

закрученный нематический жидкий кристалл, слой 4 – стеклянная подложка с ITO электродами, 5 – горизонтальная фильтрующая пленка для блокировки/пропускания света, 6 – отражающая поверхность.

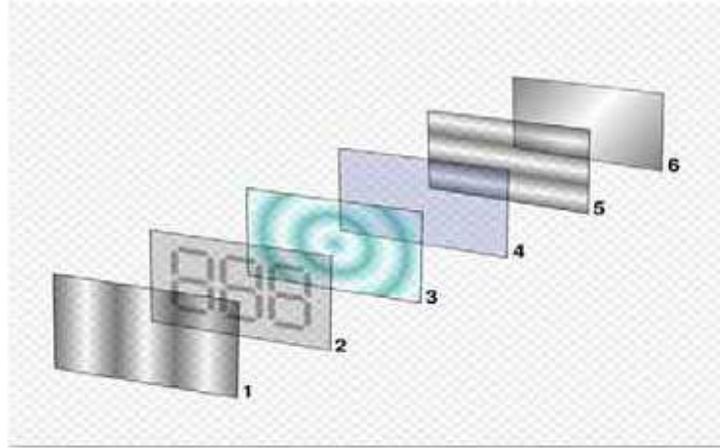


Рис. 1. Конструкция жидкокристаллического дисплея с использованием скрученного нематика

Оксидные материалы используются и в конструкциях солнечных элементов на основе моно- и поликристаллического кремния. Прозрачные проводящие оксиды, используются в качестве тыльных и лицевых контактов, а также антиотражающих слоев [3]. На рисунке 2 приведены некоторые конструкции солнечных элементов, в которых используются прозрачные оксидные пленки.

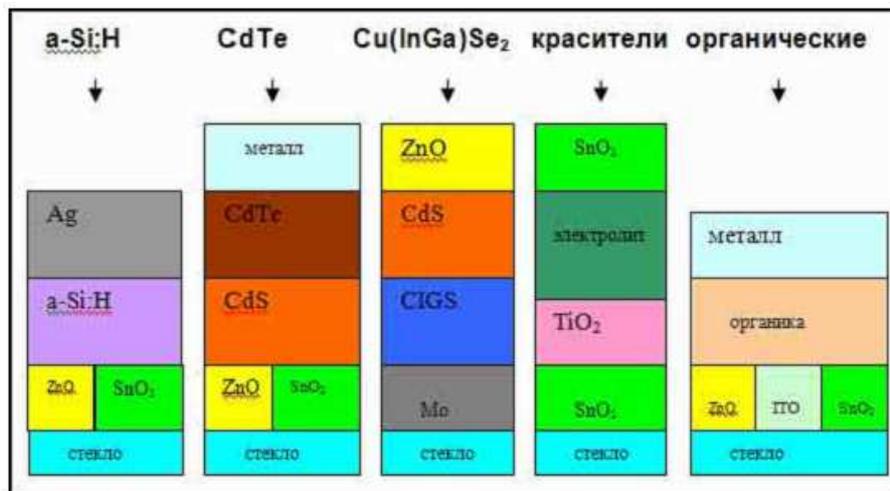


Рис. 2. Схематические конструкции солнечных элементов с прозрачными оксидными материалами

Новые изделия электроники на базе полимерных материалов в сочетании с неорганическими материалами, которые появятся в ближайшем десятилетии, революционным образом изменят условия эксплуатации электронного оборудования,

расширят возможности информационных технологий, создадут предпосылки перехода на новые принципы организации, обучения, быта и развлечений. Задача украинской науки - "не прозевать" этот рывок и достойным образом включиться в развитие прозрачной электроники.

Для развития прозрачной электроники важно разработать новые методы нанесения прозрачных проводящих и оптических пленок, которые соответствуют современным требованиям, в частности снижения стоимости и покрытия поверхностей различных размеров и форм.

Примером создания таких пленок является получение пленок Cd-Sn-O.

Нами для получения пленок Cd-Sn-O использован экстракционно-пиролитический метод. В качестве экстрагента использованы карбоновые кислоты, которые не смешиваются с водой, и в то же время находятся в жидком состоянии. Такими кислотами являются капроновая, каприловая, энантовая и пеларгоновая. Полученные в результате экстракции карбоксилаты кадмия и олова $(RCOO)_2Cd$, или мыла, нетоксичны.

Для уточнения концентрации металлов в экстрактах получены реэкстракты, которые исследованы методом атомной абсорбции на приборе ААМ-1С. Рабочие растворы были приготовлены смешиванием экстрактов в заданном соотношении 1:1, 2:1, 4:1, 6:1, 8:1. Расчет проводился по пропорциям: $c_1V_1S_1 = c_2V_2S_2$.

Были получены прозрачные желтого цвета пленки различного состава 1:1, 2:1, 4:1, 6:1 и 8:1. В таблице 2 приведены значения поверхностного сопротивления пленок CdSnO в зависимости от их состава и толщины.

Таблица 2 – Поверхностное сопротивление полученных пленок Cd-Sn-O

Количество нанесенных слоев	Поверхностное сопротивление, $k\Omega/cm^2$ при соотношении компонентов Cd:Sn				
	1:1	2:1	4:1	6:1	8:1
4	150000	3000	5	4	4
5	65000	300	3,5	1,8	1,6
6	50000	300	2	0,95	1,3
7	35000	150	1,5	0,755	1
8	30000	40	1,1	0,66	0,75
9	30000	40	0,8	0,5	0,64
10	30000	30	0,6	0,435	0,455
11			0,575	0,25	0,33
12			0,525	0,22	0,31
13			0,5	0,2	0,273
14			0,45	0,235	0,245
15			0,4	0,235	0,200

Из данных таблицы следует, что поверхностное сопротивление пленок Cd-Sn-O снижается с увеличением толщины пленок. Повышение содержания кадмия в составе оксида Cd-Sn-O приводит к снижению поверхностного сопротивления. Наилучшими проводящими свойствами обладают оксидные пленки из растворов экстрактов кадмия и олова в соотношениях 4:1 ($R = 400 \Omega/cm^2$), 6:1 ($R = 235 \Omega/cm^2$) и 8:1 ($R = 200 \Omega/cm^2$). Для

применения в прозрачной электронике, в частности, в составе солнечных батарей можно использовать состав Cd_4SnO .

Экстракционно-пиролитическим методом нами были получены прозрачные диэлектрические тонкие пленки $SrTiO_3$ на стеклянных подложках для создания антиотражающих покрытий. Для этого экстракты стронция и титана были смешаны в соотношении 1:1 и полученный раствор разбавлен до концентрации 2 %, которая оптимальна для получения пленок с хорошей адгезией. Равномерность пленок по толщине достигнута использованием вращения подложки со смачивающей пленкой со скоростью 1500 об/мин (метод spin-coating). После подсушивания пленки подвергали пиролизу при температуре 600 °С для получения слоя $SrTiO_3$.

Согласно РФА фаза сложного оксида формируется после пиролиза смеси экстрактов в тигле при 600–700 °С. В тонких пленках фазообразование происходит быстрее и при пониженных температурах.

Исследования спектров отражения стекол с пленками $SrTiO_3$ с различной толщиной проводились на приборе Specord M400 и представлены на рис. 3.

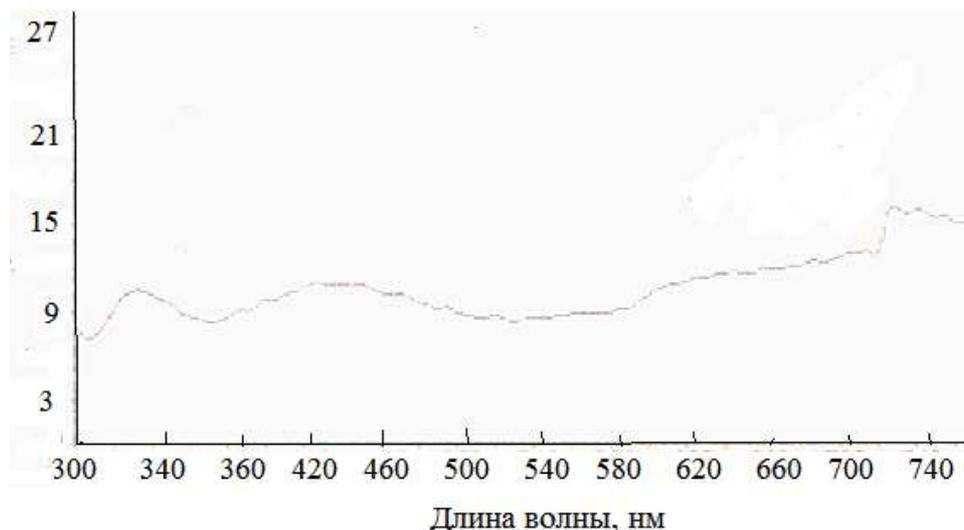


Рис. 3. Спектры отражения

Пленки толщиной 90, 150 и 300 нм (3,5 и 10 слоев) показали практически идентичные результаты отражения на уровне 10 %, тогда как чистое стекло отражало на уровне 15 %. Таким образом, эффект антиотражения был достигнут.

Список литературы

1. Jogh F.Wagner, Douglas A. Keszler, Rick E. Presley “Transparent electronics” / Springer Science+Business Media, LLC. - 2008, - 217 p.
2. Satischara B. Ogale “Thin films and heterostructures for oxide electronics” / Springer Science+Business Media, Inc. – 2005, - 416 p.
3. Thin film solar cells: fabrication, characterization, and application // edited by Jef Poortmans and Vladimir Archipov, - John Wiley and Sons Inc., - 2007, - 504 p.