

¹Т.Н. Патрушева, ¹Н.Ю. Снежко, ²Ф.В. Барон

¹Сибирский федеральный университет

²НПО Радиосвязь

Прозрачные проводящие пленки для СВЧ электроники

Представлены результаты разработки растворного экстракционно-пиролитического метода получения оксидных покрытий для создания прозрачных проводящих резистивных покрытий для СВЧ-электроники

Ключевые слова: экстракционно-пиролитический метод, прозрачные проводящие оксидные пленки.

Успехи современной электроники и техники основаны на широком использовании тонких пленок неорганических материалов с особыми электрическими и оптическими свойствами. Их изучение создаёт основу для конструирования материалов с особыми электрооптическими свойствами и использования их в устройствах современного приборостроения или в других технических сферах.

За последнее десятилетие применения прозрачных проводящих покрытий растут стремительными темпами. ТСО находят широкое применение для производства разнообразных оптико-электронных приборов, таких как дисплейные электроды для тонких органических электролюминесцентных, жидкокристаллических, плазменных телевизоров, и мониторов с сенсорным экраном, автомобильных навигационных систем и мобильных телефонов [1].

Три крупнейших применения тонких покрытий прозрачного проводящего оксида (ППО), это солнечные батареи, электрохромное стекло и термоизолирующее стекло. В оконном стекле, как правило, проводимость не имеет значения, но высокая инфракрасная отражательная способность нужна для того, чтобы получить хорошее светопропускание в видимом диапазоне, при сведении к минимуму передачи тепла. Покрытие ИТО отражает инфракрасные лучи подобно металлическому зеркалу, что даёт возможность использовать её в качестве теплозащитного покрытия. [2,3].

ППО используются для создания проводящих покрытий на материалах, защищающих от электростатических зарядов [4]. ППО наносятся на прозрачные материалы, используемые для рабочих поверхностей и дверей кабинетов, особенно в чистых помещениях, используемых для сборки электроники, в целях предотвращения вредного накопления статического заряда. В этом применении относительно высокое сопротивление поверхности может допускаться [5].

ППО покрытия могут быть использованы в качестве защитных для уменьшения электромагнитных помех и обеспечения визуального доступа. Они могут быть также использованы для предотвращения излучения от корпуса, мешающего другим устройствам, или чтобы избежать ввода излучения в корпус, создающего помехи электронным устройствам изнутри. Одним из возможных примеров является окно бытовых микроволновых печей, которое изготавливается из перфорированного металлического экрана, предотвращающего визуальное наблюдение. Утечка СВЧ-излучения должна быть сведена к минимуму, чтобы предотвратить вред пользователям, а также исключить помехи от беспроводных устройств, использующих электромагнитные волны в диапазоне 2,45 ГГц.

Хотя прозрачные проводящие покрытия были предложены пятьдесят лет назад, попытки ввести микроволновые окна с покрытиями ППО на рынок не были успешным, в связи с высокой стоимостью. В связи с широкой востребованностью ППО покрытий требуется разработка недорогого метода их изготовления.

Традиционные методы магнетронного и электронного напыления, газофазного осаждения и др., применяемые для получения прозрачных покрытий осложнены использованием вакуума, дорогостоящего оборудования и небольшим объемом реакционных камер. Кроме того, используемые для синтеза чистые реактивы имеют либо высокую стоимость, либо требуется их специальная очистка, поскольку на функциональные характеристики наноструктурных материалов большое влияние оказывает наличие примесей. Важными требованиями, предъявляемыми к технологии получения функциональных покрытий, являются использование стабильных, недорогих исходных веществ и методов синтеза, обеспечивающих высокую химическую и фазовую однородность.

Покрытия $\text{In}_2\text{O}_3(\text{SnO}_2)$ ИТО обычно получают на аморфных стеклянных подложках, а использование в качестве подслоя $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ (YZO) улучшает кристаллизацию ИТО. YZO также является теплозащитным материалом, улучшающим работу электронных устройств.

Для получения наноструктурных прозрачных проводящих покрытий высокой чистоты ИТО и YZO заданной стехиометрии из недорогих исходных веществ нами использован экстракционно-пиролитический метод [6]. Метод заключается в экстракции металлов из растворов их неорганических солей с целью очистки от примесей и перевода ионов металла в органическую фазу. Полученные экстракты – соли органических кислот – хорошо смачивают подложки любого типа и образуют самоорганизующиеся тонкие слои. Для получения ИТО и YZO покрытий экстракты металлов In, Sn, Zr, Y и др. смешивают в необходимой стехиометрии In:Sn=9:1, Zr:Y=9:0,7 в растворе после уточнения концентрации металлов в экстрактах методом атомной абсорбции. Покрытия были нанесены накатыванием слоя экстракта на подложку из стекла, которая была предварительно очищена. После подсушивания подложка со смачивающей пленкой помещалась в печь для пиролиза на воздухе. Пиролиз смачивающей пленки приводит к формированию многочисленных центров кристаллизации и наноструктурных оксидных покрытий, которые в результате отжига образуют заданные фазы сложного оксида.

Для получения наносистем в большинстве случаев используют растворы. При газофазном маршруте разными способами получают пересыщенный пар, а затем обеспечивают снятие пересыщения пара с образованием конденсата из наночастиц на стенках реактора или на специальных коллекторах. При жидкофазном маршруте смешивают растворы реагентов, и переводят вещество из раствора в ультрадисперсное состояние. При синтезе в гетерогенных системах создают условия образования наночастиц в растворе, диспергированных в инертной жидкости, в объеме мицелл, на подложках или в объеме пористых носителей. Формирование тонких пленок также целесообразно осуществлять путем нанесения металлсодержащего органического раствора на твердый или жидкий субстрат с образованием моно- или мульти слоев, в которых происходит самоорганизация частиц.

Исследована морфология ИТО покрытий, полученных экстракционно-пиролитическим методом. Размер зерна и однородность материала играют важную роль в их функциональной

активности. ITO покрытия толщиной 300 нм после отжига при 600 °С имели однородную структуру, размер зерна около 6 нм и шероховатость в пределах 5 нм. На рисунке 1а, представлено электронно-микроскопическое изображение, а на рисунке 1б, картина дифракции электронов.

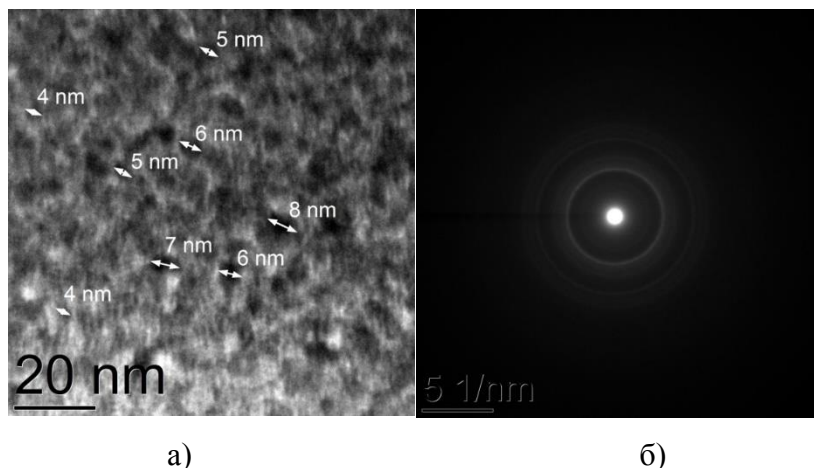


Рисунок 1. – Электронно-микроскопическое изображение ITO покрытия (а), картина дифракции электронов (б)

Средний размер кристаллических зерен составляет 6 ± 2 нм. Кристаллические зерна однородны по размерам, благодаря используемому растворному методу, в котором формируются многочисленные центры кристаллизации, и зарождение твердой фазы происходит в узком диапазоне температур.

Одной из основных характеристик прозрачных проводящих покрытий является коэффициент оптического пропускания.

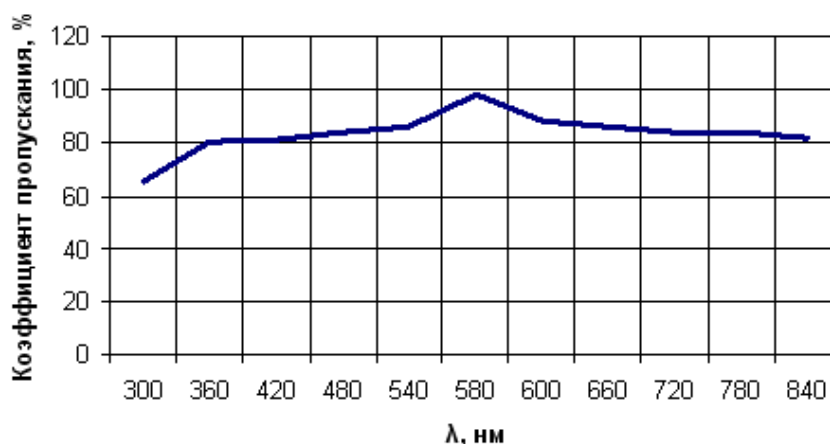


Рисунок 2. – Спектры пропускания стекла с ITO покрытием

Измерения на спектрофотометре СФ-М400 пленки ITO с вычетом поглощения подложки (рисунок 2) характеризовались более чем 80 %-ным коэффициентом пропускания света в видимом диапазоне. При этом на длине волны видимого света 580 нм коэффициент пропускания близок к 100 %, что очень важно для практических применений прозрачных проводящих покрытий, например, в оптоэлектронике.

Тонкие резистивные пленки широко применяются в СВЧ [7]. Резистивные пленки на плоских диэлектрических подложках используются в волноводной технике в качестве нагрузок, фиксированных и переменных аттенуаторов, а также в высокочастотных поляризационных аттенуаторах. Основой коаксиальных нагрузок являются цилиндрические резисторы (сопротивления). На цилиндрических и шайбовых резисторах созданы коаксиальные аттенуаторы в диапазоне от постоянного тока до нижней границы СВЧ-диапазона. Тонкие резистивные пленки используются в качестве поглощающих элементов в составе СВЧ гибридно-интегральных схем, в устройствах для непосредственного измерения мощности в СВЧ-диапазоне. Такие пленки на диэлектрических подложках применяются в качестве узлов связи в волноводных направленных ответвителях для обеспечения равномерности переходного ослабления и коэффициента направленности. Тонкие резистивные пленки нашли применение в конструкциях микрополосковых линий передачи в качестве элементов подавления высших типов волн. Применение тонких резистивных пленок на диэлектрических подложках в круглых, эллиптических и прямоугольных волноводах явилось прорывом в создании наиболее распространенных устройств СВЧ и КВЧ широкополосных коаксиальных аттенуаторов.

Растворным методом, позволяющим нанести покрытия на изделия сложных форм, получены наноструктурные прозрачные резистивные покрытия [8], свойства которых можно регулировать посредством изменения толщины и условий термообработки.

Библиографический список

1. Lewis, B. G. Locations and processing of transparent conducting oxides / B. G. Lewis and D. C. Paine // – MRS Bulletin. – 2000. – Vol. 25. – №. 8. – pp. 22–27.
2. Look, D. C. Progress in Compound Semiconductor Materials IV-Electronic and Optoelectronic Applications / D. C. Look and B. Claflin // – Materials Research Society Symposium Proceedings.– 2005 – Vol. 829.. – pp. B8.6.1.
3. Fortunato, E. Transparent Conducting Oxides for Photovoltaics / E. Fortunato, D. Ginley, H. Hosono, and D. C. Paine // – Materials Research Bulletin. – 2007. – Vol. 32, No. 3, March, pp. 242-247.
4. Joseph, M. p-Type Electrical Conduction in ZnO Thin Films by Ga and N Codoping / M. Joseph, H. Tabata, T. Kawai, Jpn. // – Appl. Phys., –1999. – Part 2. – Vol.38. – №11A. – L1205–L1207.
5. Katayama-Yoshida, H. Materials design for new functional semiconductors by ab initio electronic structure calculation / H. Katayama-Yoshida et al. // – Mater. –1999. – Vol.38. № 2. – pp 134–143.
6. Холькин, А. И. Экстракционно-пиролитический метод получения оксидных функциональных материалов / А. И. Холькин, Т. Н. Патрушева // М.: КомКнига. – 2006. – 276 с.
7. Рудоясова Л.Г. Тонкие резистивные пленки в устройствах СВЧ и КВЧ / Л.Г. Рудоясова, Г.И. Шишков, В.В. Щербаков // – Радиотехника, системы телекоммуникаций, антенны и устройства СВЧ. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева 2012. – Вып. 97. – № 4. – С.21-31.
8. Патрушева Т.Н. Способ получения прозрачной проводящей пленки InSnO. / Т.Н. Патрушева, Н.Ю. Снежко, Патрушев В.В. // Патент РФ № 2491372 по заявке 2912111841 от 27.03.2012 .