

Формирование тонких пленок ИТО методом магнетронного распыления для применения в солнечных элементах

Е.В. Гончаров¹, А.В. Саенко¹, С.П. Малюков¹, А.В. Палий²

¹Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, Шевченко 2, Таганрог, Россия, 347900

²Политехнический институт (филиал) Донского государственного технического университета, Петровская 109а, Таганрог, Россия, 347900

Аннотация

Методом магнетронного распыления сформированы тонкие пленки ИТО на стеклянных подложках при комнатной температуре в бескислородной среде и проведены исследования их электрофизических и оптических свойств. Тонкие пленки ИТО были получены при работе магнетрона в импульсном режиме со средней частотой 100 кГц. Мощность плазменного разряда и рабочее давление составляли 150 Вт и $2 \cdot 10^{-3}$ мбар соответственно. Время напыления варьировалось от 2 до 8 мин. Получены тонкие пленки ИТО толщиной от 62 до 405 нм. Минимальное удельное сопротивление составило $5,21 \cdot 10^{-4}$ Ом·см (объемная концентрация носителей заряда $3,69 \cdot 10^{20}$ см⁻³, подвижность носителей заряда 32,4 см²/В·с) для пленки ИТО толщиной 405 нм, что является результатом улучшенной однородности и высокой концентрации кислородных вакансий, обеспечивающих наличие электронов проводимости. Среднее оптическое пропускание тонких пленок ИТО составило около 80 % в видимой области спектра, что является хорошим результатом для использования в качестве оптически прозрачных электродов в солнечных элементах.

Ключевые слова

Пленка ИТО, магнетронное распыление, толщина, удельное сопротивление, оптическое пропускание.

1. Введение

Тонкие прозрачные электропроводящие пленки широко применяются в оптоэлектронике и нанофотонике в качестве оптически прозрачных электродов для солнечных элементов и фотодиодов на стеклянных и полимерных подложках. Для данных применений требуются оксидные полупроводники с шириной запрещенной зоны около 3,7 эВ, обладающие одновременно прозрачностью в видимом спектральном диапазоне (более 80 %) и высокой проводимостью ($\sim 10^4$ Ом⁻¹см⁻¹) [1]. Легированный оловом оксид индия (In₂O₃:Sn, ИТО) обладает уникальным сочетанием высокой электропроводности, оптической прозрачности и является широкозонным вырожденным полупроводником n-типа с высокой концентрацией и подвижностью свободных носителей заряда.

Физические свойства пленок ИТО, такие как удельное сопротивление и оптическое пропускание, сильно зависят от метода и режима нанесения. Для получения тонких пленок ИТО применяются следующие методы: газофазное осаждение, лазерное осаждение, золь-гель метод, RF/DC магнетронное распыление. Метод магнетронного распыления представляет наибольший интерес, поскольку не требует использования высоких температур для формирования пленок ИТО и позволяет использовать в качестве подложек различные материалы, в том числе гибкие подложки. В процессе магнетронного распыления возможно точное управление параметрами растущей пленки путем изменения мощности магнетрона и состава газовой смеси в камере [2].

В настоящее время проблема управления электрофизическими и оптическими свойствами пленок ИТО, полученными магнетронным распылением, остается актуальной из-за большого

числа влияющих технологических факторов: давление и состав газовой смеси, режим распыления, природа и температура подложки.

Целью данной работы является формирование тонких пленок ITO на стеклянных подложках методом магнетронного распыления при комнатной температуре в бескислородной среде и исследование их электрофизических и оптических свойств.

2. Методика эксперимента

Тонкие пленки ITO были получены на стеклянных подложках при работе магнетрона в импульсном режиме со средней частотой 100 кГц (режим MF) на установке VSE-PVD-DESK-PRO. Перед напылением вакуумная камера откачивалась до $1 \cdot 10^{-5}$ мбар и затем заполнялась газообразным аргоном. Распыляемая мишень из сплава 90 % In_2O_3 и 10 % SnO_2 (чистота 99,99 %) имела диаметр 76 мм. Мишень предварительно распылялась в течение не менее 5 мин. для удаления загрязнений с ее поверхности, а стеклянные подложки подвергались ионно-плазменной обработке в атмосфере аргона при токе разряда 100 мА в течение 3 мин. Расстояние между мишенью и подложкой составляло около 7 см. Время напыления варьировалось от 2 до 8 мин. при комнатной температуре в бескислородной среде. Мощность плазменного разряда и рабочее давление составляли 150 Вт и $2 \cdot 10^{-3}$ мбар соответственно. Получены тонкие пленки ITO толщиной от 62 до 405 нм на стеклянных подложках.

Измерение электрофизических параметров пленок ITO осуществлялось системой ЭДС Холла Escoria HMS-3000, а оптическое пропускание в видимой области спектра (400-700 нм) измерялось с помощью спектрофотометра СФ-26.

3. Заключение

Методом магнетронного распыления сформированы пленки ITO на стеклянных подложках при комнатной температуре в бескислородной среде. Показано, что при увеличении времени напыления толщина пленок ITO увеличивается линейно, при этом удельное электрическое сопротивление значительно уменьшается, а оптическое пропускание практически не изменяется. Уменьшение удельного сопротивления с увеличением толщины пленки ITO связано с улучшением её однородности и повышением концентрации кислородных вакансий, обеспечивающих наличие электронов проводимости [2]. Минимальное удельное сопротивление $5,21 \cdot 10^{-4}$ Ом·см получено для пленки ITO толщиной 405 нм, которая имеет наибольшую объемную концентрацию носителей заряда $3,69 \cdot 10^{20}$ см⁻³ и их подвижность 32,4 см²/В·с. Показано, что оптическое пропускание в видимой области спектра практически не зависит от толщины пленки ITO, так пленка толщиной 62 нм имеет среднее оптическое пропускание 81%, а пленка толщиной 405 нм – 78%. Незначительное уменьшение оптического пропускания в видимой области спектра связано с рассеянием света, которое может быть вызвано повышением концентрации кислородных вакансий. Таким образом, среднее оптическое пропускание тонких пленок ITO составило около 80% в видимой области спектра, что является хорошим результатом для использования в качестве оптически прозрачных электродов в солнечных элементах.

4. Литература

- [1] Амосова, Л.П. Магнетронное напыление прозрачных электродов ITO из металлической мишени на холодную подложку / Л.П. Амосова, М.В. Исаев // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, № 10. – С. 127-132.
- [2] Бажин, А.И. Влияние режима магнетронного распыления и состава реакционного газа на структуру и свойства пленок ITO / А.И. Бажин, А.Н. Троцан, С.В. Чертопалов, А.А. Стипаненко, В.А. Ступак // Физическая инженерия поверхности. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 342-349.