

УДК 539.231

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ИТО ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Елизавета Ильинична Малеванная⁽¹⁾, Валерий Павлович Родин⁽²⁾

Студент 4 курса⁽¹⁾, студент 3 курса⁽²⁾,

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.М. Мусеев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Ключевые слова: оксид индия-олова (*indium-tin oxide*), магнетронное распыление (*magnetron sputtering*), поверхностное сопротивление (*surface resistance*), коэффициент пропускания (*transmission coefficient*).

Аннотация: В статье проведен анализ влияния параметров процесса нанесения покрытия магнетронным распылением на выходные характеристики покрытия. Проведены эксперименты по нанесению покрытия ИТО, варьируя время нанесения и температуру подложки. Проведены измерения толщины, поверхностного сопротивления и прозрачности покрытий. Составлен план дальнейших экспериментов по отработке режимов нанесения покрытия для повышения тока многослойной структуры.

Введение

Тонкие пленки оксида индия-олова (ИТО) нашли свое широкое применение в микроэлектронике. Благодаря сочетанию таких свойств, как высокая электрическая проводимость и прозрачность пленок в видимом диапазоне длин волн, покрытие на основе ИТО используется при создании различных оптоэлектронных приборов, тонкопленочных солнечных элементов, а также применяется в светоизлучающих диодах [1]. Именно в таких диодах используются светоизлучающие кристаллы AlGaInN, омический контакт которых к области проводимости р-GaN выполняется на пленках ИТО. В кристаллах подобной конструкции свет выводится через полупрозрачный контакт. Если изначально в качестве контактов использовали тонкие слои Ni/Au или пленки Pt, Pd [2], что приводило к падению квантового выхода светодиода из-за потерь излучения, то использование пленок ИТО решило эту проблему. Вследствие большой распространенности светодиодов вопрос формирования кристаллов с высокой квантовой эффективностью выхода излучения является актуальной проблемой. Необходимо добиться максимальной прозрачности пленок ИТО в видимом диапазоне спектра и низкого поверхностного сопротивления.

Целью работы является выявление влияния температуры нагрева подложек перед нанесением пленок ИТО и времени формирования методом магнетронного распыления на прозрачность формируемых пленок и их поверхностное сопротивление, а также составление плана последующих экспериментов для улучшения выходных характеристик покрытия ИТО.

Выбор варьируемых параметров процесса

Для работы с пленками оксида индия-олова необходимо добиться максимальных значений коэффициента пропускания и проводимости. Эти качественные показатели покрытий связаны с их физическими параметрами, формируемыми в процессе нанесения – толщиной и структурой пленки. Для нахождения области, в которой выходные качественные параметры пленок будут иметь наилучшие показатели, необходимо провести исследования с варьированием нескольких факторов процесса, тесно связанных с физическими параметрами покрытий. Изучение литературы по проблематике формирования пленок ИТО на начальном

этапе привело к выбору двух варьируемых факторов процесса: времени нанесения пленки и температуры нагрева подложки перед нанесением покрытия, как наиболее существенно влияющих на физические параметры пленок и, как следствие, на их качественные параметры [3]. После нахождения области, в которой выходные параметры будут иметь наилучшие показатели, можно будет варьировать другие параметры процесса, влияющие на прозрачность и проводимость покрытий уже в меньшей степени. Составлен план экспериментов (табл. 1), согласно которому берется два значения времени (4 минуты и 8 минут) и два значения температуры нагрева подложки (комнатная и 200°C).

Таблица 1. План экспериментов

Режим источника	Т		
	τ	-1 (комн. (~22°C))	1 (200°C)
DC	-1 (4 мин)	№1	№3
	1 (8 мин)	№2	№4

Время выбрано из следующего соображения: при первом пробном запуске магнетрона с мишенью ITO была выявлена приблизительная скорость осаждения материала, которая составила около $V_{ос}=24,7$ нм/мин. Для различных оптических применений пленки обычно наносятся в четверть длины волны [4]. Поскольку нас интересует видимая часть спектра электромагнитного излучения, находящаяся в диапазоне длин волн от 400 нм до 800 нм, требуется получить пленки толщиной в 100 нм и 200 нм. Благодаря известному значению приблизительной скорости осаждения пленок ITO для получения этих толщин выбраны значения времени 4 минуты и 8 минут. Температура подложек перед нанесением покрытий берется двух значений: комнатной (т.е. подложки не нагреваются) и температура в 200°C, при которой согласно литературным источникам получаются пленки с высоким коэффициентом пропускания [5].

Эксперименты по формированию пленок ITO

Эксперименты по нанесению покрытия ITO проводились на установке ВУП-11М (рис. 1) [6]. Из-за наличия у магнетрона косвенной системы охлаждения хрупкая керамическая мишень оксида индия-олова устанавливалась на магнетрон с индией прокладкой для улучшения контакта мишени с поверхностью магнетрона.



Рис. 1. Лабораторная установка ВУП-11М

Для уточнения приблизительной скорости осаждения, найденной при первых запусках магнетрона с мишенью ИТО, при нанесении покрытий на стеклянный образец накладывалась ситалловая маска для образования при формировании покрытия ступеньки. Нагрев подложек осуществлялся в камере посредством излучения с помощью лампового нагревателя (рис. 2). Пленки наносились на стеклянные образцы для удобства дальнейшего исследования на пропускание света.

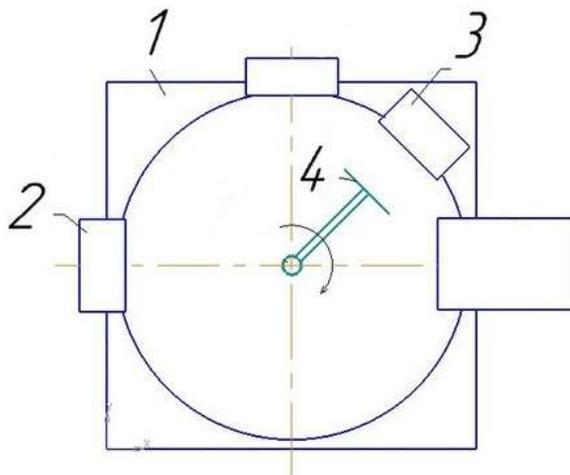


Рис. 2. Схема проведения эксперимента (вид сверху): 1 – камера; 2 – магнетрон с мишенью ИТО; 3 – ламповый нагреватель; 4 – подложкодержатель

Перед нанесением покрытия стеклянные образцы были очищены по следующей методике:

1. Очистка в УЗВ при температуре 60-70°C в слабощелочном растворе А1 – 3 минуты;
2. Очистка в УЗВ при температуре 60-70°C в изопропиловом спирте – 5 минут;
3. Очистка в УЗВ при температуре 50-60°C в дистиллированной воде – 3 минуты;
4. Промывка стекла под струей дистиллированной воды комнатной температуры.

При первых запусках магнетрона с мишенью оксида индия-олова было выявлено, что разряд без труда загорается в режиме на постоянном токе. Поэтому все дальнейшие эксперименты проводились именно в этом режиме на мощности источника питания 120 Вт. Поток рабочего газа в камеру устанавливается равным 1,56 л/ч. Режимы нанесения покрытий представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры экспериментов

Постоянные параметры					
Параметр		Обозначение	Единица измерения	Значение	
Режим источника		-	-	DC	
Мощность		P	Вт	120	
Поток аргона		Q_{Ar}	л/ч	1,56	
Время тренировки мишени		$t_{тр}$	мин	8	
Расстояние до мишени		L	мм	120	
Параметры процесса					
Номер эксп-та	Время нанесения, мин	Температура нагрева, °C	Напряжение, В	Давление, мбар	
				остаточное ($\cdot 10^{-5}$)	рабочее ($\cdot 10^{-3}$)
1	4	-	301	5,5	2,5
2	8	-	301	5,5	2,5
3	8	200	300	4,3	от 3,4 до 2,4
4	4	200	300	4,3	от 3,4 до 2,4

У полученных образцов измерено поверхностное сопротивление четырехзондовым методом. Измерение толщины пленок на АСМ провести не удалось в связи с неисправностью оборудования. Для нахождения коэффициента пропускания пленок образцы предполагалось исследовать на спектрофотометре, что не было проведено из-за проблем в работе прибора. Результаты измерения поверхностного сопротивления представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты измерения образцов

№ образца	Поверхностное сопротивление, кОм/□
1	2,2
2	1,6
3	1,0
4	0,7

Выводы

Из результатов измерения поверхностного сопротивления следует, что:

- С увеличением времени осаждения и, как следствие, толщины пленки уменьшается поверхностное сопротивление получаемого покрытия, что является подтверждением изученной литературы;
- Нагрев подложки перед нанесением покрытия вызывает уменьшение поверхностного сопротивления, что, также, подтверждает данные более ранних исследований по этой теме;
- Отсутствие данных по коэффициенту пропускания полученных образцов не позволяет определить направление дальнейшего варьирования температуры и времени нанесения для достижения максимальных значений проводимости и прозрачности пленок оксида индия-олова.

Заключение

В дальнейшем планируется:

- Провести измерение толщины полученных образцов для уточнения скорости осаждения покрытия;
- Сузить область исследования зависимости сопротивления пленок и их прозрачности от времени нанесения и температуры нагрева подложек, найти оптимальный с точки зрения выходных параметров режим нанесения покрытия;
- Исследовать влияние напуска кислорода в камеру при формировании пленок ИТО.

Литература

1. Семикина, Т.В. Оксидная электроника как одно из направлений прозрачной электроники / Т.В. Семикина, В.Н. Комащенко, Л.Н. Шмырева // Электроника и связь, тематический выпуск "Электроника и нанотехнологии. – 2010. — № 3. — С. 20-28.
2. AlGaInN-светодиоды с прозрачным р-контактом на основе тонких пленок ИТО / И.П. Смирнова [и др.] // Физика и техника полупроводников. — 2012. — т.46. — Вып. 3. — С. 384-388.
3. Панфилов, Ю.В. Электронные, ионные и плазменные технологии: учебное пособие / Ю.В. Панфилов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 34 с.