

Литература:

1. Magazine-svet. URL: <http://www.magazine-svet.ru/review/33101/> (дата обращения 25.02.14)
2. Теплицы.ру. URL: <http://www.greenhouses.ru/Sistemy-dosvechivaniya> (дата обращения 25.02.14)
3. Шуберт Ф.Е. Светодиоды – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 262 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАНЕСЕНИЯ ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО СЛОЯ НИЗКОЭМИССИОННОГО ПОКРЫТИЯ

Сиделёв Д.В.
E-mail: Dimas167@tpu.ru

Научный руководитель: Юрьев Ю.Н., Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Использование низкоэмиссионных покрытий при остеклении бытовых построек позволяет существенно снизить тепловые потери [1]. Наиболее простой структурой такой многослойной пленки является композиция диэлектрик-металл-диэлектрик, технические требования к которой следующие: высокий коэффициент пропускания в видимой области спектра (порядка 0,8) и высокое отражение в инфракрасной области (0,85-0,9). Функция сохранения тепла ложится на полупрозрачный слой металла (Cu, Ag). Высокая прозрачность всего теплоотражающего покрытия достигается за счет нанесения просветляющих слоев оксидов металлов (TiO_2 , SnO_2 , ZnO).

Основа проблем теплоотражающих покрытий заложена в осаждении качественных просветляющих слоев, что обусловлено непостоянством технологических параметров напылительного оборудования в присутствии реакционного газа в рабочей камере [2]. Для магнетронного распыления, преимущественно используемого для осаждения оптических покрытий, характерны следующие недостатки: нестабильность электрических параметров разряда, отравление мишени, электрические пробои и т.д. Поэтому актуальными задачами становятся: исследование влияния типа магнетронных распылительных систем на процесс осаждения просветляющих пленок; определение оптимальных режимов работы МРС с целью обеспечения стабильности электрических характеристик магнетронного разряда.

В настоящей работе в качестве модельного материала металла будет использована Cu, просветляющий слой – TiO_2 .

Экспериментальная часть

Нанесение тонкопленочных покрытий осуществлялось на установке «Яшма» [3]. В качестве подложек использовались стеклянные образцы ГОСТ 9284-75 размером 75x25x1 мм. Предварительно, производилась их очистка при помощи ионного источника с холловским дрейфом электронов. Осаждение пленок TiO_2 происходило в среде Ag и O_2 при помощи дуальной (рис. 1) и планарной МРС при общем давлении в камере 0,12 Па. Дуальный магнетрон был подключен к биполярному источнику питания с трапециевидной формой импульса с частотой 66 кГц. Для планарной МРС - униполярный источник питания с прямоугольной формой импульса (166 кГц). Размер мишеней: планарной МРС - 100x700 мм, дуальной - 94x200 мм. Нанесение слоя Cu осуществлялось при помощи планарной МРС при давлении $8 \cdot 10^{-2}$ Па.

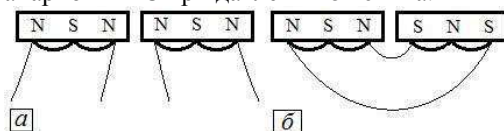


Рисунок 1. Модификации дуальной МРС: а - с незамкнутым полем; б - с замкнутым полем

Для обеспечения равномерности покрытия по толщине подложка перемещалась в области магнетронного разряда с постоянной скоростью. Поэтому, для оценки скорости осаждения будем употреблять термин «проход», который означает однократное перемещение подложки под любым из плазменных устройств. Измерение и контроль толщины покрытий осуществлялись при помощи

кварцевого измерителя «Микрон-5». Исследования спектра пропускания света полученных многослойных покрытий производилось на спектрофотометре СФ-2000 в диапазоне длин волн 400-800 нм.

Результаты работы и их обсуждение

Как уже упоминалось ранее, качественное низкоэмиссионное покрытие не только хорошо отражает ИК излучение ($R_{ИК}$), но и обладает высоким пропусканием в видимой области света (T_B). Поэтому, выбор толщины (h_M) металлического слоя происходит на при сравнении спектров $R_{ИК}(h_M)$ и $T_B(h_M)$. Согласно [1], формирование сплошной пленки Cu, удовлетворяющим вышеперечисленным условиям, происходит при наименьшей толщине, равной 9 нм. На основании чего, был подобран следующий режим осаждения: $U = 360$ В, $I = 3$ А, $W = 1,1$ кВт, $v_{Cu} = 9$ нм/проход.

Выбор оптимального режима напыления пленок TiO_2 происходил на основе обеспечения максимальной скорости осаждения (v_{TiO_2}) и стабильности магнетронного разряда в течение всего процесса напыления, что обусловлено требованиями применения данных технологий в производстве. Магнетронное распыление в среде реакционного газа (в случае O_2) связано с целым рядом проблем за счет окислительных процессов: проблема «исчезающего анода», гистерезис рабочих параметров разряда и т.д. [5]. Суммарно все это приводит к изменениям параметров разряда и, как следствие, изменению характеристик пленок: толщины, химического и фазового состава. На начальном этапе работы были исследованы ВАХ (рис. 2) и гистерезис электрических параметров разряда (рис. 3).

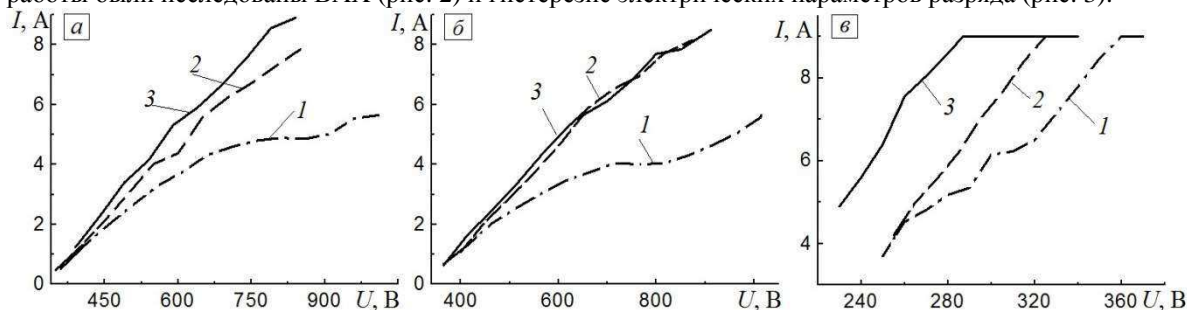


Рисунок 2. ВАХ разряда: а - дуальная MPC с незамкнутым полем; б - дуальная MPC с замкнутым полем, в - планарная MPC; 1 - 5% O_2 в смеси, 2 - 20% O_2 в смеси; 3 - 60% O_2 в смеси

Для реактивного осаждения пленок TiO_2 характерен S-образный вид ВАХ [4]. В эксперименте были получены практически линейные зависимости тока от напряжения разряда для трех различных модификаций MPC, что связано с поддержанием постоянного общего давления при изменении состава напускаемого газового потока [5]. Различия в расстояниях между кривыми ВАХ для разных содержаний O_2 в смеси определяются степенью окисленности мишени. В случае замкнутого поля дуальной MPC обеспечивается больший ионный ток на мишень и, соответственно, её полное окисление происходит при больших долях O_2 в смеси: переходная область разряда расширяется. Данный результат более детально представлен в работе [6].

Поддержание постоянного давления в камере за счет плавного уменьшения потока Ag пропорционально увеличению потока O_2 обуславливает отсутствие ярко выраженной области отрицательного динамического сопротивления разряда и, как результат, происходит снижение гистерезиса электрических параметров разряда. Это позволяет производить осаждение стехиометрических пленок TiO_2 в переходной области разряда. В эксперименте получено, что в случае дуальной MPC начиная с 20% доли O_2 в смеси достигается стабильность характеристик разряда, для планарного MPC – с 60%. Как видно из рис. 3а, в дуальной MPC с зеркальным полем эффект гистерезиса отсутствует полностью. В двух других конструкциях (рис. 3б, 3в) проявляется в виде петли небольшой площади, что не оказывает сильного влияния на параметры осаждения.

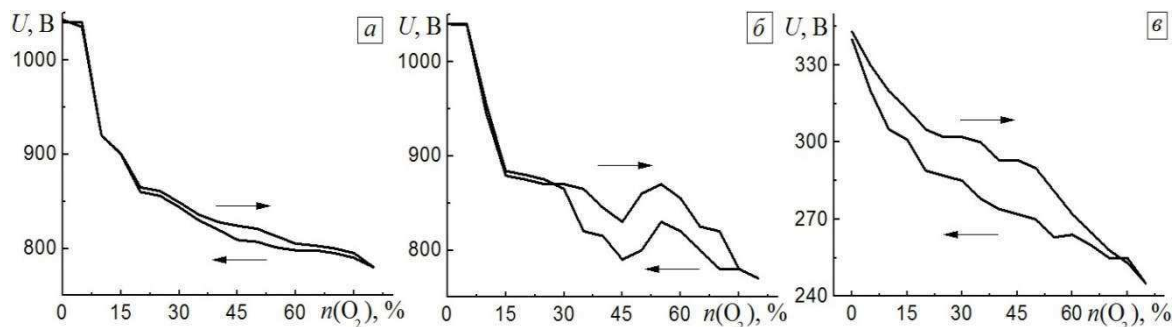


Рисунок 3. Гистерезис рабочих параметров: а - дуальная МРС с незамкнутым полем; б - дуальная МРС с замкнутым полем; в - планарная МРС. Стрелками указано направление изменения напуска O_2

Следующий этап работы состоял в определении оптимальных рабочих режимов, обеспечивающих максимальные скорости осаждения пленок TiO_2 (Таблица 1). Увеличение ширины переходной области для дуальной МРС с замкнутым полем обуславливает более высокие значения параметров разряда при одинаковом содержании O_2 в смеси и, соответственно, скорости осаждения. При расчете v_{TiO_2} к плотности мощности ($S_{мишени} \cdot W$) видно, что дуальный магнетрон обеспечивает скорости осаждения на порядок больше, чем планарный.

Таблица 1. Оптимальные режимы МРС при нанесении пленок TiO_2

	Дуальный МРС с зеркальным полем	Дуальный МРС с замкнутым полем	Планарный МРС
$U, В$	830	890	340
$I, А$	7,5	8	9
$W, кВт$	4,4	5	2,8
$v_{TiO_2}, нм/проход$	3,1	3,8	0,7
$v_{TiO_2}/(S_{мишени} \cdot W),$ $нм/(проход \cdot Вт \cdot см^2)$	$3,75 \cdot 10^{-6}$	$4,04 \cdot 10^{-6}$	$3,57 \cdot 10^{-7}$

Толщина просветляющих слоев пленок TiO_2 была определена при помощи математического моделирования трехслойной пленки в программе IMD [7] и составила 50 нм для верхнего и нижнего слоя. Полученный результат хорошо коррелирует с результатами в работе [1].

Спектры пропускания низкоэмиссионных покрытий $TiO_2(50нм)-Cu(9нм)-TiO_2(50нм)$ показаны на рис. 4. Отличия T_B для различных типов МРС определяются разнообразием микроструктуры пленок TiO_2 при их послойном осаждении. Интегральный коэффициент пропускания в случае «а» составил 65%, «б» - 59%, «в» - 50%.

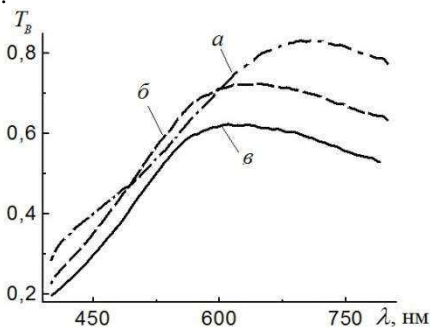


Рисунок 4. Спектры пропускания: а - дуальная МРС с незамкнутым полем; б - дуальная МРС с замкнутым полем; в - планарная МРС

Низкая прозрачность низкоэмиссионных покрытий в случае «в» связана с осаждением просветляющих слоев TiO_2 с более низким коэффициентом преломления n в видимом спектре. Снижение интегрального T_B при изменении типа магнитного поля дуальной МРС, по-видимому, характеризуется структурными изменениями в пленке за счет увеличения ионного тока на подложку. Данный аспект работы требует более детального изучения.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено:

- стабилизация электрических параметров дуальных МРС в реакционной среде достижима даже в переходном режиме;
- при изменении конфигурации магнитного поля с зеркальной на замкнутую происходит увеличение ширины переходного режима работы дуального магнетрона;
- дуальная МРС обеспечивает более высокие скорости осаждения пленок TiO_2 по сравнению с планарной МРС;
- использование дуальной МРС с незамкнутой конфигурацией магнитного поля позволяет повысить прозрачность теплоотражающего покрытия (увеличение интегрального T_B на 15%).

Список литературы

- 1.Захаров А.Н. и др. // Перспективные материалы, № 2, с. 62, (2012).
- 2.Вольпян О.Д., Кузьмичёв А.И., Самокиш А.С. // Электроника и связь, № 5, с. 5, (2008).
- 3.Ананьин П.С., Байнов Д.Д., Косицын Л.Г., Кривобоков В.П., Легостаев В.Н., Юдаков С.В. // Приборы и техника эксперимента, № 4, с. 137, (2004).
- 4.Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. - М: Техносфера, 2010. - 528 с.
- 5.Varoch P. and all // Surface and Coating Technology, v.193, p. 107, (2005).
- 6.Сиделёв Д.В., Юрьев Ю.Н. // Известия вузов. Физика, т. 57, № 3/3, с. 248, (2014).
- 7.Windt D.L. // Computers in Physics, v.12, № 4, p. 360, (1998).

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ИЗ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ С ЦЕЛЬЮ ПРИДАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Станкевич К.С., Мамонтова Е.М.
E-mail: xenia_stankevich@mail.ru

*Научный руководитель: д.х.н., профессор, Филимонов В.Д., кафедра БИОХ
к.ф.-м.н., доцент, Твердохлебов С.И., кафедра ТИЭФ ФТИ НИ ТПУ*

Введение

Модификация поверхности материалов на основе полимолочной кислоты с целью придания им биологической активности является актуальной задачей для современной науки. За последнее время было разработано несколько стратегий функционализации поверхности материалов из полимера, позволяющих привить активные группы как ковалентно с помощью методов «мокрой» химии, использования УФ-облучения, так и нековалентно путем плазменной обработки, введения мигрирующих добавок (гидролиз/аммонолиз), нанесения покрытий на поверхность полимолочной кислоты. [1] Однако, применение таких методов имеет существенный недостаток, заключающийся в деструкции полимерных цепей, приводящей к уменьшению молекулярной массы полимера на поверхности, и как следствие, влияющей на ее механические характеристики [2]. Прямая химическая модификация также не всегда возможна, так как поверхность материалов на основе полимолочной кислоты довольно инертна в виду отсутствия реакционноспособных функциональных групп [3]. Одним из перспективных методов модификации является инкапсуляция биологически активных веществ в поверхностном слое полимера за счет его набухания в смеси растворитель/нерастворитель [4]. Было показано, что таким образом можно привить к поверхности пленок из полимолочной кислоты такие вещества, как полиэтиленгликоль, полилизин [5], хитозан, желатин, альгинат натрия [6]. Однако, стоит отметить, что в приведенных работах используется полимолочная кислота, средняя молекулярная масса которой не превышает 10^5 г/моль.

Целью данной работы является разработка метода модификации поверхности пленок из высокомолекулярной полимолочной ($1,6 \cdot 10^6$ г/моль) кислоты с использованием методологии «хороший/плохой растворитель».