

УДК 621.373.825:539.2

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНЕТРОННОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Бурмаков А.П., Зайков В.А., Комаров Ф.Ф., Людчик О.Р., Солодухо Д.А.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены различные модификации установки для импульсного лазерного и магнетронного осаждения тонкопленочных структур с контролируемыми условиями формирования плазменного потока и возможностью исследования параметров плазмы. Предложены варианты для совместного и отдельного осаждения слоев. Разработанная установка расширяет энергетический, зарядовый и элементный состав формируемой плазмы как основной компоненты при осаждении тонкопленочных покрытий. (E-mail: lyudchik@tut.by)

Ключевые слова: магнетрон, осаждение, лазер, плазма, спектроскопия.

Введение

Импульсное лазерное осаждение (ИЛО) является динамично развивающимся методом формирования тонких пленок из широкого класса материалов. Это связано как с непрерывным развитием лазерной техники и созданием мощных импульсных лазеров, так и с постановкой ряда новых материаловедческих задач, связанных с получением тонких пленок многокомпонентных материалов, в том числе наноструктурированных [1, 2]. Положительные особенности метода ИЛО: практически мгновенное испарение тонкого слоя вещества мишени, при этом стехиометрия испаренного вещества соответствует стехиометрии исходной мишени [3]; процесс осаждения пленок можно проводить в широком диапазоне давлений рабочего газа – от глубокого вакуума до давлений порядка 100 Па; конструктивная простота метода и отсутствие ограничений на вид испаряемого вещества, что позволяет оперативно получать пленки из материалов с различными свойствами (проводники, полупроводники, диэлектрики) без каких-либо конструктивных изменений в напылительном оборудовании.

Магнетронное распыление является хорошо изученным базовым методом формирования покрытий и имеет ряд преимуществ. К ним относятся: высокие скорости осаждения (до 10 мкм/мин) и хорошая адгезия получаемых покрытий; высокие однородность и

плотность покрытий; хорошая управляемость и долговременная устойчивость процесса [4]; возможность нанесения покрытия сложного состава из металлических мишеней реактивным распылением в газовых смесях инертного и химически активного газов; относительно низкая стоимость процесса осаждения.

В настоящей работе обсуждаются технологические возможности двух модификаций установки ИЛО (рисунок 1): вариант совместного магнетронного и лазерного (рисунок 2) и вариант установки для отдельного магнетронного и ИЛО тонких пленок (рисунок 3). Одновременное использование плазмы магнетронного разряда и лазерной плазмы в процессе осаждения покрытий расширяет энергетический, элементный и зарядовый состав плазмы, что позволяет формировать многокомпонентные покрытия с улучшенными механическими, оптическими и электрическими свойствами. Исследования в этой области начали развиваться в последнее десятилетие [5, 6].

Установка импульсного лазерного осаждения тонких пленок

Для нанесения покрытий композиционно сложных материалов нами предложена и реализована схема классического применения установки ИЛО тонких пленок (рисунок 1).

В качестве источника лазерного излучения используется лазер LS-2134D – частотный двух-

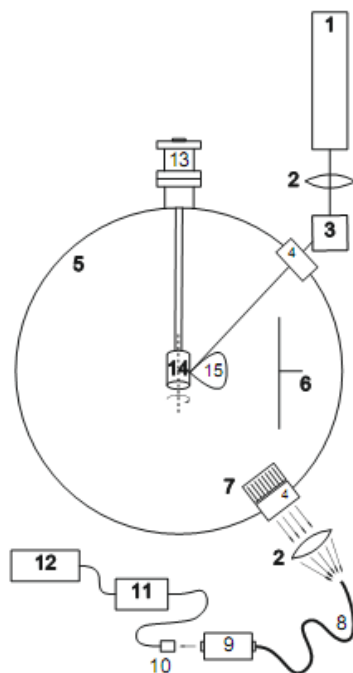


Рисунок 1 – Установка ИЛО тонких пленок: 1 – лазер LS-2134D; 2 – фокусирующие линзы; 3 – сканирующее устройство; 4 – кварцевые окна вакуумной камеры; 5 – вакуумная камера; 6 – подложкодержатель; 7 – коллимирующее устройство; 8 – оптическое волокно; 9 – монохроматор МДР-12; 10 – ФЭУ-100; 11 – усилитель; 12 – осциллограф; 13 – мотор; 14 – цилиндрическая мишень; 15 – лазерный факел

импульсный лазер с модуляцией добротности на АИГ 1. Излучение через фокусирующую линзу 2 при помощи призменного сканератора 3 через кварцевое стекло 4 направляется в вакуумную камеру 5. Излучение падает на поверхность вращающегося цилиндра 14 диаметром 40 мм. Подложка расположена на расстоянии 60 мм от поверхности мишени под углом 45° к падающему лазерному лучу. Сканирование излучения проводилось в двух направлениях: перпендикулярно оси цилиндра таким образом, что линейный размер зоны эрозии составлял 12 мм, и в направлении параллельном оси цилиндра – размер зоны эрозии 45 мм. Таким образом, достигалась равномерность нанесения покрытия на подложке диаметром 50 мм.

Излучение лазерной плазмы 15 выводится из камеры через окно 4 из кварцевого стекла. С целью предохранения осаждения частиц плазмы на поверхность окна используется коллимирующее устройство 7, представляющее собой набор трубок диаметром

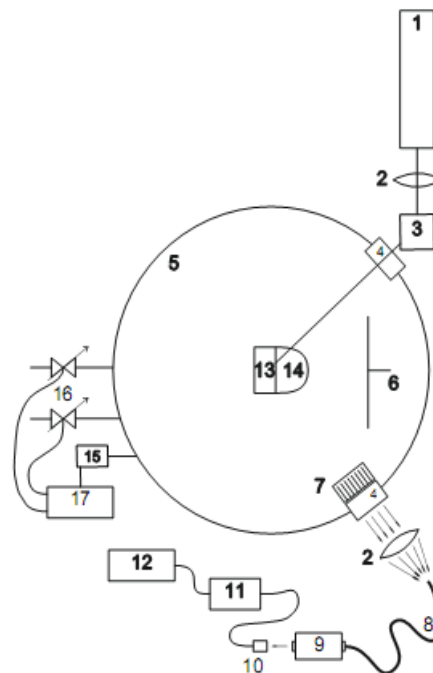


Рисунок 2 – Установка для совместного магнетронного и лазерного осаждения тонких пленок:

1 – лазер LS-2134D; 2 – фокусирующие линзы; 3 – сканирующее устройство; 4 – кварцевые окна вакуумной камеры; 5 – вакуумная камера; 6 – подложкодержатель; 7 – коллимирующее устройство; 8 – оптическое волокно; 9 – монохроматор МДР-12; 10 – ФЭУ-100; 11 – усилитель; 12 – осциллограф; 13 – магнетронный распылитель; 14 – плазма магнетронного распылителя; 15 – датчик давления; 16 – натекатели аргона и реактивного газа; 17 – система управления расходом газов

около 1 см. С помощью фокусирующей линзы излучение заводится в кварцевое оптическое волокно 8 и затем попадает в спектрометр S100 или монохроматор 9 МДР-12 с дифракционной решеткой 1200 штрихов/мм. Для изучения динамики изменения плазмы в режиме реального времени излучение из монохроматора падает на фотоприемник 10, в качестве которого используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-100. Сигнал с ФЭУ-100 усиливается усилителем 11 и регистрируется осциллографом 12. Для регистрации спектров используется широкодиапазонный спектрометр S100, имеющий спектральное разрешение около 1 нм, или вместо выходной щели монохроматора и ФЭУ-100 устанавливается ПЗС-линейка с количеством пикселей 3648, что позволяет улучшить спектральное разрешение до 0,1 нм. С помощью S100 регистрируется спектр излучения в диапазоне

длин волн 200–1000 нм. С помощью монохроматора с ПЗС-линейкой спектр излучения регистрируется по участкам шириной 75 нм.

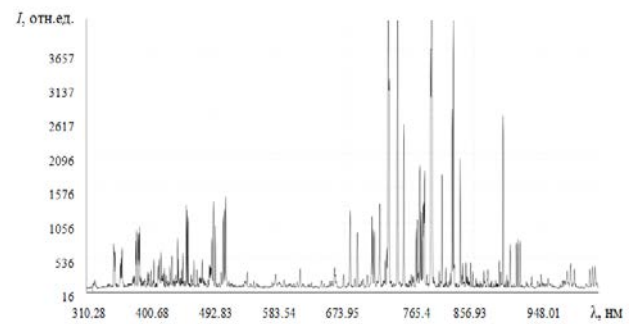
Модификация установки импульсного лазерного осаждения для совместного магнетронного и лазерного осаждения тонких пленок

Модификация установки ИЛО для совместного магнетронного и лазерного осаждения выполнялась путем замены лазерной мишени на магнетронный распылитель 13, катод которого одновременно является и лазерной мишенью. Соответствующая схема системы изображена на рисунке 2. Такой подход позволяет использовать магнетронное осаждение в широком диапазоне парциальных давлений реактивного газа. Дополнительным источником ионов в плазменном потоке, из которого формируется покрытие, в этом случае является плазма материала катода магнетрона, полученная при облучении лазерным излучением катода. Для управления расходом газов в процессе нанесения покрытий, исследования и контроля параметров магнетронной и лазерной плазмы используются оптические системы эмиссионной спектроскопии.

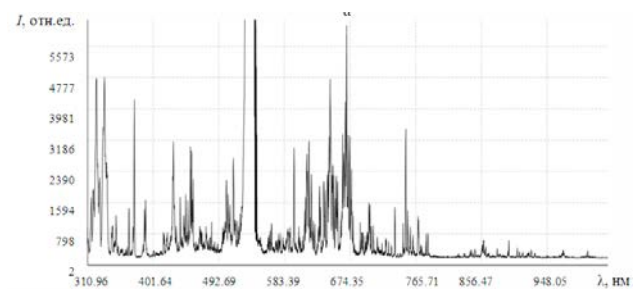
Сравнительный анализ плазмы титана показал, что линии спектра плазмы при ИЛО в диапазоне длин волн 300–700 нм имеют интенсивный и уширенный характер, свидетельствующий о высокой плотности плазмы и наличии в ее составе значительной доли ионной компоненты по сравнению с плазмой магнетронного разряда (рисунок 3). Лазерная плазма была сформирована при плотности мощности лазерного излучения около $2 \cdot 10^9$ Вт/см². Основными особенностями совместного лазерного и магнетронного осаждения является возможность осаждения в условиях повышенного вакуума, а также расширение энергетического и зарядового диапазона частиц плазмы.

Модификация установки импульсного лазерного осаждения для раздельного магнетронного и лазерного осаждения тонких пленок

Модификация установки ИЛО для раздельного лазерного и магнетронного осаждения изображена на рисунке 4.



а



б

Рисунок 3 – Полученные с помощью спектрометра S100 спектры плазмы, образованной при ИЛО и магнетронном осаждении: а – при магнетронном осаждении; б – при ИЛО

В вакуумной камере находится магнетрон и мишень для ИЛО. Последовательное зажигание плазмы магнетрона и лазерное облучение мишени позволяют осаждавать на подложке многослойную структуру. Одновременная реализация этих процессов применяется для расширения компонентного состава плазмы магнетронного разряда. Количество вещества испаряемого одним сфокусированным лазерным импульсом может варьироваться от 10^{14} до 10^{16} атомных частиц. Контролируемая в процессе осаждения толщина отдельных слоев, полученных магнетронным осаждением, – до 50 нм. ИЛО позволяет регулировать компонентный состав плазмы в широких диапазонах, что достигается применением многокомпонентных и/или составных мишеней из нескольких элементов.

Как и в предыдущем случае, для управления расходом газов в процессе нанесения покрытий, исследования и контроля и параметров магнетронной и лазерной плазмы используются оптические системы эмиссионной спектроскопии.

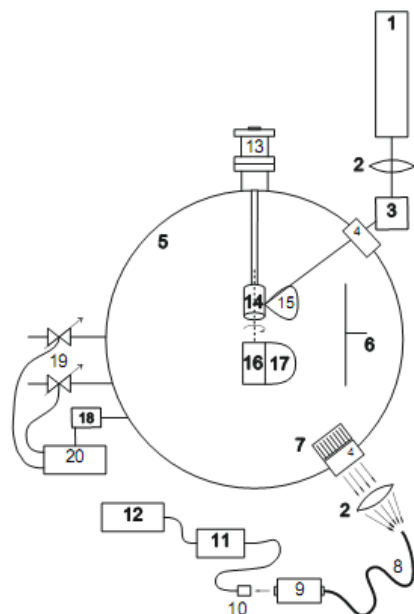


Рисунок 4 – Установка для раздельного магнетронного и лазерного осаждения тонких пленок: 1 – лазер LS-2134D; 2 – фокусирующие линзы; 3 – сканирующее устройство; 4 – кварцевые окна вакуумной камеры; 5 – вакуумная камера; 6 – подложкодержатель; 7 – коллимирующее устройство; 8 – оптическое волокно; 9 – монохроматор МДР-12; 10 – ФЭУ-100; 11 – усилитель; 12 – осциллограф; 13 – мотор; 14 – цилиндрическая мишень; 15 – лазерный факел; 16 – магнетронный распылитель; 17 – плазма магнетронного распылителя; 18 – датчик давления; 19 – натекатели аргона и реактивного газа; 20 – система управления расходом газов

Заключение

Разработаны и созданы модификации экспериментальной установки для исследования комбинированного плазменного потока, образованного магнетронным распылением и частотно-

импульсным лазерным воздействием на различные материалы в газах низкого давления.

Данная установка позволяет:

- исследовать и контролировать параметры плазмы при осаждении многослойных наноразмерных структур;
- расширить компонентный состав плазмы магнетронного разряда за счет частиц лазерной плазмы;
- выполнять магнетронное осаждение тонких слоев с лазерной стимуляцией магнетронного разряда для работы при давлениях, значительно ниже традиционно используемых.

Список использованных источников

1. Дьюли, У. Лазерная технология и анализ материалов / У. Дьюли. – М.: Мир, 1986.
2. Гончаров, В.К. Определение оптической ширины запрещенной зоны алмазоподобных углеродных пленок, полученных лазерно-плазменным осаждением / В.К. Гончаров [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2007. – Т. 74. – № 5. – С. 637–641.
3. Быковский, Ю.Ф. Лазерная масс-спектрометрия / Ю.Ф. Быковский, В.Н. Неволин. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Бурмаков, А.П. Монохроматизация излучения для спектрального контроля плазменных процессов / А.П. Бурмаков, А.А. Лабуда, Н.Н. Никифорова // ЖПС. – 1998. – Т. 65. – № 4. – С. 587–589.
5. Zabinski, J. Magnetron Sputter-pulsed laser deposition system and method / J. Zabinski [et al.] // Patent USA, US H1933H. – 2001.
6. Jelínek, M. Hybrid Laser-Magnetron Technology for Carbon Composite Coating / M. Jelínek [et al.] // Laser Physics. – 2009. – Vol. 19. – No. 2. – P. 149–153.

Burmakov A. P., Zaikov V. A., Komarov F.F., Lyudchik O.R., Saladukha D.A.

Device for investigation of magnetron and pulsed-laser plasma

Various modifications of complex pulsed laser and magnetron deposition thin-film structures unit are presented. They include joint and separate variants of layer deposition. Unit realizes the plasma parameters control and enhances the possibility of laser-plasma and magnetron methods of coatings deposition. (E-mail: lyudchik@tut.by)

Key words: magnetron, deposition, laser, plasma, spectroscopy.

Поступила в редакцию 02.03.2012.