

## УСТАНОВКА КОМБИНИРОВАННОГО МАГНЕТРОННО-ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.П. БУРМАКОВ, В.Н. КУЛЕШОВ, К.Ю. ПРОКОПЧИК

*Белорусский государственный университет  
пр-т Независимости, 4, г. Минск, 220030, Республика Беларусь  
burmakov@bsu.by*

Рассматривается структура установки для формирования и исследования комбинированного плазменного потока, образованного магнетронным распылителем и одновременным частотно-импульсным лазерным воздействием на различные материалы в газах низкого давления. Приводятся результаты исследования особенностей формирования комбинированного потока.

*Ключевые слова:* магнетронное распыление, эрозионная лазерная плазма, осаждение пленок, характеристики комбинированного потока.

Магнетронная и импульсная лазерная плазма существенно отличается своими энергетическими и временными характеристиками. Комбинация указанных плазменных потоков позволят создать особые условия для формирования пленочных покрытий. Проведенные к настоящему времени исследования по магнетронно-лазерному осаждению немногочисленны и связаны с получением уникальных по механическим свойствам композиционных покрытий на основе многослойных металлокерамических структур типа  $Ti-Ti_xC_y$  на керамике [1], пленок  $SiC_x$  [2],  $TiC$  и  $TiCN$  [3], нанокристаллических соединений углерода и алмазоподобных пленок [4].

Реализация магнетронно-лазерного метода нанесения пленочных покрытий предполагает не только расположение магнетронного распылителя, мишени для лазерного воздействия и подложки в одном вакуумном объеме, но и создание системы контроля и управления параметрами лазерной и магнетронной плазмы, а также системы контроля и управления условиями осаждения (состав газовой среды, давление в вакуумной камере и т.д.). Для решения указанных задач нами создана установка, в которой можно выделить следующие основные части: вакуумная камера с устройствами откачки, контроля и поддержания давления, магнетронный распылитель с устройствами задания и контроля напряжения и тока разряда, система управления расходом рабочих газов, импульсно-частотный лазер с устройством фокусировки и сканирования лазерного луча, система регистрации эмиссионных оптических спектров.

В качестве вакуумной части использовалось оборудование промышленной вакуумной установки УРМ 3279013 с механическим и диффузионным насосами. Магнетронный распылитель с плоским катодом диаметром 5 см питался источником постоянного тока при типичной для магнетронных распылителей величине средней плотности мощности на катоде 25–75 Вт/см<sup>2</sup>. Крепление магнетрона в вакуумной камере позволяло ориентировать его относительно подложки путем изменения расстояния и углового положения. Подложкодержатель позволял закреплять на нем различные подложки диаметром не более 5 см и имел устройство нагрева подложек. Для регистрации изменений тока и напряжения магнетронного разряда при формировании лазерной плазмы, а также динамики ее излучения использовался цифровой осциллограф В-483 с временным разрешением 50 нс. Управление расходом газов в процессах магнетронного и комбинированного осаждения покрытий проводилось оптической системой на основе малогабаритного спектро-

метра S100 [5]. Рабочим газом являлся аргон или смесь аргона с реактивным газом (кислород, азот, углеродсодержащий газ) соответственно для процессов формирования пленок чистых материалов или пленок оксидов, нитридов, карбидов.

Лазерная плазма формировалась с помощью двухимпульсного лазера LS-2134D на кристалле АИГ:Nd<sup>3+</sup>, работающего в однократном и частотном режиме 1–10 Гц на длине волны 1064 и 532 нм с длительностью отдельного импульса 12 нс и его энергией до 120 мДж. Система управления лазерным излучением позволяла задавать энергию накачки лазера, частоту следования импульсов в частотном режиме, временной интервал между двумя импульсами в двухимпульсном режиме. Изменение плотности мощности лазерного излучения на мишени проводилось фокусирующей линзой. Для сканирования луча по поверхности мишени применена механическая система, состоящая из двух последовательно расположенных призм полного внутреннего отражения, каждая из которых может независимо поворачиваться с помощью отдельного шагового двигателя. Характеристики плазменных потоков исследовались методом оптической эмиссионной спектроскопии с помощью спектрометра S100 и монохроматора МДР-12, на выходе которого помещалась ПЗС линейка.

С использованием аппаратуры оптической спектроскопии показана возможность управления плотностью ионной компоненты лазерной плазмы не только путем задания плотности мощности излучения на поверхность мишени, но и путем задания временной задержки между импульсами для двухимпульсного режима генерации. Определено влияние плотности мощности и давления рабочего газа на эмиссионно-спектральные характеристики лазерной плазмы. Установлено, что формирование комбинированного магнетронно-лазерного плазменного потока при плотности мощности лазерного излучения более 0,5 ГВт/см<sup>2</sup> сопровождается образованием импульсного дугового разряда, который шунтирует магнетронный разряд и влияет на характеристики комбинированного потока, приводя к росту интенсивности спектральных линий атомов и ионов аргона, атомных и ионных линий материала катода. Установлено, что процесс комбинированного осаждения покрытий можно проводить при низких давлениях в вакуумной камере, когда самостоятельное горение магнетронного разряда не реализуется. В этом случае лазерная плазма инициирует импульсный дуговой разряд, который приводит к зажиганию несамостоятельного магнетронного разряда в парах материала катода.

Созданная установка позволяет реализовать как методики комбинированного осаждения, так и методики раздельного осаждения в остаточной атмосфере и в среде различных газов с возможностью достаточно широких вариаций технологических параметров и имеет необходимый набор средств контроля и управления для воспроизводимого проведения процесса.

#### Список литературы

1. Krzanowski J.E., Nainaparampil J.J., Phani A.R. // Journal of Vacuum Science & Technology A. 2003. Vol. 21. № 6. P. 1829–1836.
2. Jelinek M., Kocourek T., Zemek J. et. al // Applied Physics A. 2008. Vol. 93, № 3. P. 633–637.
3. Jelinek M., Kocourek T., Kadlec Ja., et. al // Laser Physics. 2009. Vol. 19, № 2. P. 149–153.
4. Voevodin A.A., Capano M.A., Safriet A.J. et. al // Applied Physics Letters. 1996. Vol. 69. № 2. P. 188–190.
5. Бурмаков А.П., Кулешов В.Н. // Журнал прикладной спектроскопии. 2007. Т. 74, № 3. С. 412–416.