

## ЗАВИСИМОСТЬ ТОЛЩИНЫ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНЫМ МЕТОДОМ, ОТ УСЛОВИЙ ИХ ОСАЖДЕНИЯ

В.К. Гончаров, Г.А. Гусаков, М.В. Пузырев  
НИУ «Институт прикладных физических проблем  
им. А.Н. Савченко БГУ», Минск

**Введение.** Лазерное напыление углеродных пленок открывает большие возможности для получения новых материалов с необычными свойствами. При осаждении этих материалов очень большую роль играют энергетические запасы частиц углеродной плазмы, под воздействием которых образуются новые перспективные структурные формы (тетраэдрический углерод, нанокристаллический углерод и т.д.).

Алмазоподобные углеродные пленки химически инертны и чрезвычайно прочны. Лазерный метод обладает преимуществом по сравнению с другими способами осаждения тонких пленок, т.к. при нанесении покрытий этим методом проще контролировать технологический режим получения осаждаемого покрытия. Кроме того, само лазерное излучение «стерильно» [1]. Данные преимущества дают возможность использовать лазерный метод осаждения алмазоподобных углеродных пленок на медицинские инструменты.

**Методика эксперимента.** Для осаждения углеродных пленок применялся YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер фирмы Lotis-TII. Лазерное излучение длиной волны  $\lambda = 1064$  нм и длительностью импульса  $\tau = 20$  нс фокусировалось на графитовую мишень, расположенную в вакуумной камере при давлении около  $2,6 \times 10^{-3}$  Па. Диаметр лазерного пучка во всех экспериментах составлял 2 мм. Плотность мощности излучения варьировалась в диапазоне  $(1 - 5) \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> при постоянном диаметре лазерного пучка. Частота следования лазерных импульсов составляла 5 Гц. Количество лазерных импульсов в экспериментах изменялось от 4000 до 10000. Мишени были изготовлены из графита МГ10СЧ и высокоориентированного пиролитического графита марки УПВ1-ТМО. Они устанавливались под углом 45° к оси лазерного пучка. Для предотвращения образования на поверхности мишени эрозивного кратера производилось сканирование лазерного пучка по поверхности мишени со скоростью 2 мм/с. В результате взаимодействия лазерного излучения с графитом происходило испарение поверхностного слоя и формировался плазменный факел. Частицы углерода, содержащиеся в факеле, осаж-

дались на подложках, расположенных параллельно мишени на расстоянии 100 мм от нее. В качестве подложек использовались пластины, изготовленные из кварцевого стекла, кремния КДБ10 и бронзы марки БРОФ06-15. Температура подложек в процессе осаждения варьировалась в диапазоне от 300 до 500 К. Толщина покрытий определялась при помощи профилометра Talystep (США).

**Результаты и обсуждение.** На рис. 1 приведены зависимости толщины углеродных пленок, осажденных при температурах 300 и 500 К, от плотности мощности лазерного излучения. Видно, что толщина осаждаемых покрытий увеличивается с ростом плотности мощности. Полученные зависимости хорошо описываются полиномами второй степени. Скорость осаждения углеродных пленок уменьшается с ростом температуры подложки. Подогрев подложки до 500 К в процессе нанесения вызывает снижение уровня внутренних напряжений в получаемых покрытиях и увеличение размеров кристаллитов  $sp^2$ - и, возможно,  $sp^3$ -связанного углерода. Плотность мощности лазерного излучения влияет на эффективность формирования на подложках кластеров  $sp^2$ - и  $sp^3$ -связанного углерода. При больших плотностях мощности происходит больший вынос вещества с поверхности мишени в основном за счет присутствия в лазерном факеле, наряду с ионами углерода, также его кластеров. Присутствие кластеров увеличивает концентрацию  $sp^2$ -связанного углерода и толщину покрытий. При плотности мощности менее  $2 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> во всем исследованном интервале температур подложки в структуре пленок преобладают кластеры алмазоподобного углерода [2].

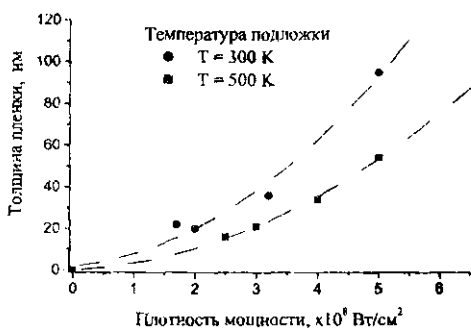


Рис. 1. Зависимости толщины углеродных пленок, осажденных при температурах 300 и 500 К, от плотности мощности лазерного излучения. Мишень — графит МГ10СЧ. Количество лазерных импульсов — 4000

Толщина также зависит от типа графитовой мишени, что связано с их теплофизическими характеристиками (рис. 2).

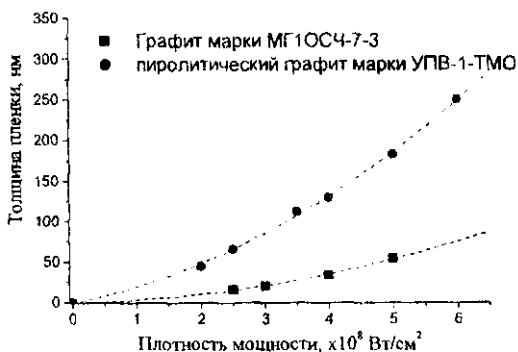


Рис. 2. Зависимость толщины углеродных пленок, осажденных при  $T = 500$  К, от плотности мощности лазерного излучения для разных типов графитовых мишеней. Количество лазерных импульсов — 4000

При осаждении алмазоподобных углеродных пленок образуется область перекрытия эрозионного факела, который образуется за время  $10^{-9} - 10^{-8}$  с, с лазерным излучением, продолжающим действовать до  $10^{-7}$  с. Воздействующее лазерное излучение, направленное под углом  $45^\circ$  к поверхности мишени, частично перекрывает факел вблизи поверхности мишени, причем область перекрытия по сечению оказывается неоднородной, что приводит к смещению максимума диаграммы разлета, изменению его формы и образованию в факеле области, насыщенной высокоэнергетичными ионами. В связи с чем образуется неоднородная по толщине пленка вдоль подложки. Вверху подложки толщина пленки меньше, внизу — больше (рис. 3). Как видно из рис., толщина пленки практически линейно зависит от количества лазерных импульсов, воздействующих на графитовую мишень.

**Выводы.** Эксперименты показали, что зависимость толщины напыляемых покрытий от количества импульсов близка к линейной. Кроме того, толщина зависит от плотности мощности воздействующего лазерного излучения, температуры подложки, а также расположения подложки по отношению к направлению разлета эрозионного факела. Экспериментально также установлено, что толщина покрытия слабо зависит от типа используемой подложки.

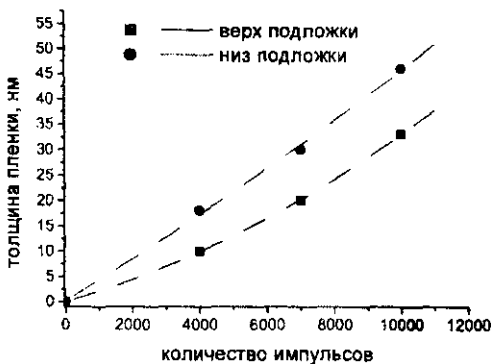


Рис. 3. Зависимость толщины алмазоподобной углеродной пленки от количества воздействующих на графитовую мишень лазерных импульсов.

Мишень — графит МГ10СЧ, плотность мощности воздействующего лазерного излучения —  $1,5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, температура подложки — 500 К

#### Литература

1. Amorphous-tetrahedral diamondlike carbon layered structures resulting from film growth energetics / M. P. Siegal and [a.t.] // *Appl. Phys. Lett.* — 1998. — Vol. 73, № 6. — P. 759 — 761.
2. Влияние структуры графитовой мишени на параметры углеродных пленок, полученных лазерно-плазменным методом / И.И. Азарко [и др.] // *ЖПС.* — 2008. — Т. 75, № 4. — С. 539 — 546.

УДК 621.793:536.2

## ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ ТИТАНА НА МИКРОСВАРКУ ЕГО ЧАСТИЦ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Р.П. Быков, О.О. Кузнецик, К.Е. Белявин

*ГНУ «Институт порошковой металлургии НАН Беларуси», Минск*

**Введение.** Создание новых материалов с уникальными физико-механическими и структурными свойствами из порошков титана, а также технологий их получения является актуальной задачей для порошковой металлургии. Эта задача может решаться с помощью лазерной микросварки порошков, обеспечивающей получение материалов с открытой поровой структурой для фильтрации жидкостей и газов, а также для имплантации в