

УГЛЕРОДНЫЕ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ  
ИМПУЛЬСНОЙ КОНДЕНСАЦИЕЙ В ВАКУУМЕ

А.В. Станишевский, Э.И. Тоцицкий

В последние годы был разработан ряд устройств для получения углеродных пленок с алмазоподобными свойствами методом импульсной конденсации ускоренной плазмы вакуумного электродугового разряда [1, 2]. Для этого метода характерны высокая плотность потока частиц, их средняя энергия в диапазоне 10–100 эВ, что позволило получить углеродные пленки, обладающие высокой твердостью, износостойкостью, низким коэффициентом трения. Это обусловило успешное применение таких „алмазоподобных“ пленок для упрочнения инструмента [3]. Вместе с тем, оценка дальнейших перспектив использования импульсного осаждения для получения пленок различного функционального назначения затруднено из-за отсутствия данных о многих свойствах и структуре пленок, их зависимости от условий осаждения.

В работе [4] было предположено, что пленки, полученные импульсным осаждением, обладают высокодисперсной структурой со средним размером упорядоченных областей 0,5–1,5 нм и характеризуются определенным соотношением атомов углерода с  $sp^3$ ,  $sp^2$  и  $sp$  гибридизацией электронов валентных оболочек, характерной для алмаза, графита и карбина соответственно.

В данной работе обобщены результаты проведенных исследований свойств и структуры углеродных пленок, полученных с помощью импульсных ускорителей плазмы различного типа [1, 2].

Пленки осаждались при мощности дугового разряда 5–150 Дж, мгновенной скорости осаждения 25–2500 нм/с на подложки из различных материалов.

Полученные при различных условиях конденсации пленки характеризовались низким содержанием примесей, высокой прочностью сцепления с подложкой и в значительной степени различались по свойствам и структуре. На рис. 1 представлены некоторые свойства полученных углеродных пленок в сравнении с другими углеродными материалами. Незаштрихованные области на рисунке показывают диапазон изменения свойств.

Было установлено, что изменение свойств углеродных пленок при импульсном осаждении определяется не только режимами конденсации, но и расположением подложки относительно оси диаграммы направленности потока. Как показали исследования, местоположение подложки является существенным фактором, влияющим на свойства и структуру пленок. Это связано с высокой неравномер-

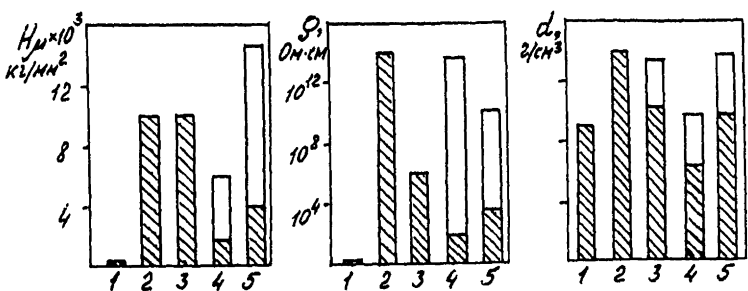


Рис. 1. Некоторые свойства пленок и кристаллических модификаций углерода: 1 - графит, 2 - алмаз, 3 - карбин, 4 - углеводородные  $\alpha$ -C:H пленки, 5 - пленки, полученные импульсной конденсацией.

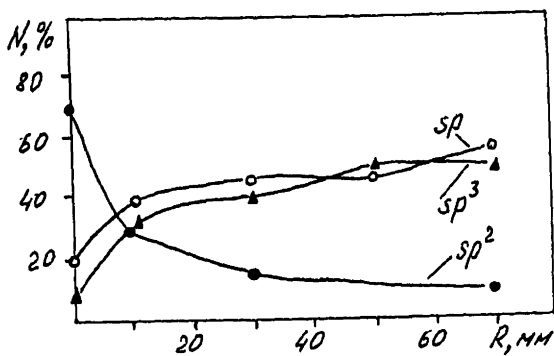


Рис. 2. Относительное содержание  $sp^3$ ,  $sp^2$  и  $sp$  типов химических связей в углеродных пленках.

ностью распределения плотности и энергии частиц по сечению плазменного сгустка в изученных конструкциях плазменных ускорителей. Эта неравномерность обусловлена, в частности, как показано авторами работы [5], влиянием магнитного поля, сжимающего поток плазмы и взаимодействующего с ним.

Неоднородность конденсирующегося потока вещества приводит к образованию конденсата, обладающего различной структурой в зависимости от выбранного участка поверхности подложки. На рис. 2 приведено характерное распределение атомов, образующих  $sp^3$ ,  $sp^2$  и  $sp$  типы химических связей в пленках, в зависимости от расстояния выбранного участка подложки до оси потока плазмы. Подложки были расположены перпендикулярно потоку в плоскости максимальной осевой плотности потока.

Установленная зависимость удовлетворительно коррелирует с изменением свойств пленок, например, величина удельного электрического сопротивления изменяется от  $10^4$  до  $10^{10}$  Ом·см при изменении расстояния от точки измерения на подложке до оси потока с 0 до 70 мм. Наблюдаемый эффект изменения структуры от расположения подложки отмечается во всем исследованном диапазоне энергий разряда, причем с ростом энергии разряда наблюдается увеличение дисперсности конденсата.

Полученные результаты позволяют утверждать, что методом осаждения потоков плазмы импульсного электродугового разряда в вакууме возможно получение углеродных пленок с широким диапазоном изменения свойств, однако проблемой остается получение пленок с одним заданным типом химических связей между атомами и определенной структурой. Необходима также оптимизация конструкций импульсных ускорителей плазмы для повышения равномерности плазменного потока по плотности и энергии частиц.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Маслов А.И., Дмитриев Г.К., Чистяков Ю.Д. // Приборы и техника эксперимента. 1985, № 3. С. 146-149.
- [2] Тоцицкий Э.И., Капустин И.А., Станкевич Е.В., Селифанов О.В., Зеленковский Э.М., Кунавин В.В. Метод и устройство для нанесения тонких пленок и покрытий в вакууме. Минск: БелНИИНТИ. Инф. лист. № 89-115. 1989.
- [3] Бенуа Э.Ф., Великих В.С., Гончаренко В.П., Дмитриев Г.К., Маслов А.И. // Электронная промышленность. 1983, № 6. С. 50-51.
- [4] T o c h i t s k y E. I., S t a n i s h e v s k i i A. V., A k u l i c h V. V., S e l i f a n o v O. V., K a p u s t i n I. A. // Mattech'90, The 1st European East-West Symposium on Materials and Processes, June 10-18, 1990. Finland. Oral presentations. P. 56.
- [5] Клубович В.В., Егоров В.Д., Батвинок В.А., Нестерко В.Н. // ДАН БССР. 1990. Т. 34, № 2. С. 137-140.

Институт электроники АН БССР,  
Минск

Поступило в Редакцию  
6 июля 1990 г.