



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
İyun
June 2005
Июнь

səhifə
page 839-840
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

ПЛАЗМЕННЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК.

ГАСАНОВ И.С., ОРУДЖОВ В.А.

*Институт Физики НАН Азербайджана, Баку.
пр.Г.Джавид-33 AZ 1143 Баку, Азербайджан, physic@physic.ab.az*

Приводится расчет параметров генератора углеродной плазмы для синтеза аморфных алмазоподобных покрытий в вакуумных условиях. На основе выполненных оценок разработана, изготовлена и испытана конструкция с электронно-лучевым нагревом графитового катода и водяным охлаждением анодной камеры. Предлагаемая методика позволяет выработать оптимальные режимы ионного осаждения пленок.

Синтез аморфных алмазоподобных покрытий в вакуумных условиях широко используется в научных и промышленных целях. Магнетронное распыление графитовых мишеней позволяет получать пленки высокого качества и на большой площади [1]. Наибольшей скоростью осаждения пленок обладает способ вакуумного дугового разряда на постоянном или импульсном токе, при котором получают покрытия с микротвердостью, близкой к микротвердости природного алмаза [2]. Однако данный метод обладает существенным недостатком: в катодном пятне происходит эрозия графита, и образующиеся микрочастицы различного размера ухудшают качество выращиваемых пленок [3]. Из различных способов устранения мелкодисперсной фазы наибольшие надежды возлагаются на плазмооптическую сепарацию плазменного потока, при которой ионная компонента направляется на подложку, а микрочастицы высаживаются на стенки плазмовода [3,4]. Указанная методика достаточно сложна и не позволяет получать однородные потоки на большой площади.

В настоящей работе рассматривается возможность осаждения бездефектных алмазоподобных пленок посредством плазмы разряда с электронно-лучевым нагревом графитового катода. Предотвращение генерации микрочастиц на поверхности катода предполагается за счет контроля мощности электронного луча [5,6]. В вакуумной дуге с катодным пятном такой контроль невозможен.

Для оценки параметров ионного осаждения необходим расчет всех узлов устройства, характеристики которых в определенной степени взаимосвязаны. В результате проведенных оценок и пробных экспериментов разработан и изготовлен

генератор углеродной плазмы, схема которого представлена на рис.1.

Разряд поджигается между графитовым катодом и охлаждаемой анодной камерой цилиндрической формы. Графит испаряется в результате нагрева торца катода сфокусированным электронным лучом. Разрядная плазма через отверстия в крышке камеры проникает в область ионного осаждения перед подложкой, температура которой контролируется термодарой. На подложку подается отрицательный потенциал величиной до 100 вольт для вытягивания из плазмы положительных ионов углерода. Внутренний диаметр разрядной камеры равен 50 мм, что позволяет осажать пленки площадью до 20 см². Устройство монтируется внутри промышленной вакуумной установки типа ВУ-1 с диффузионной откачкой и предельным вакуумом в камере 3x10⁻⁶ мм рт. ст.

Для испарения графита требуется достаточно высокая удельная мощность электронного пучка. Стандартный электронно-лучевой испаритель установки ВУ-1 с магнитным поворотом луча на 180° не позволяет осуществлять достаточно высокое сжатие пучка в поперечном направлении. Поэтому было применено прямолинейное ускорение электронов посредством квазипирсовой системы электродов [7]. В этой системе коническая форма ограничивающего электрода обеспечивает создание радиального электрического поля, которое приводит к фокусировке ускоряемого электронного пучка. Энергия электронов равна 6 кэВ, ток пучка можно увеличивать до 0,5 А, регулируя ток накала вольфрамовой нити диаметром 0,5 мм. Катод представляет собой стержень длиной 120 мм и диаметром 6 мм из графита оптической чистоты.

Квазипирсовая система фокусировки позволила полностью локализовать электронный луч на торце нагреваемого катода.

Как известно, давление паров графита 10^{-2} мм рт. ст. достигается при его температуре $2600-2700^{\circ}\text{C}$. При таком давлении легко поджигается разряд на постоянном токе. Столь высокая температура катода обуславливает существенные потери энергии на излучение, а также на нагрев держателя катода.

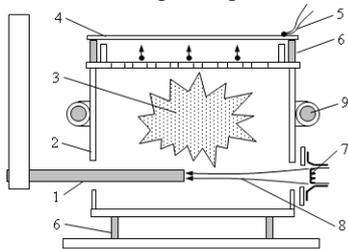


Рис.1. Схема генератора углеродной плазмы: 1- графитовый катод; 2-анод; 3-разрядная плазма; 4-подложка; 5-термопара; 6-изолятор; 7-термокатод; 8-электронный луч; 9-охлаждение.

По формуле Стефана-Больцмана можно вычислить величину мощности излучения

$$W_1 = \varepsilon_T \sigma T^4 S, \quad (1)$$

где $\varepsilon_T=0,52$ -коэффициент серости графита. При температуре катода 2800 K и эффективной площади нагрева 100 мм^2 мощность излучения составляет 180 Вт .

Конструкция катодного держателя состоит из двух соединенных частей: охлаждаемого медного цилиндра и стальной неохлаждаемой цанги. Допуская нагрев медного цилиндра до 50°C , стальной цанги – до 350°C , получим, что для этого необходима площадь поперечного сечения цанги в $1,5\text{ см}^2$. При этом тепловой поток от нагретого конца графита до медного держателя определяется уравнением теплопроводности

$$W_2 = \lambda \frac{\Delta T}{l}, \quad (2)$$

где λ -усредненный коэффициент теплопроводности, l -длина стержня. В данных условиях тепловой поток имеет величину 20 Вт .

Таким образом, общая мощность, локально вводимая в катод, должна составлять

$$W = W_1 + W_2 \approx 200\text{ Вт}.$$

Проведенные эксперименты подтвердили, что при мощности электронного луча 250 Вт происходит заметное испарение графита, достаточное для поджигания разряда в рабочей камере.

Для синтеза алмазоподобных покрытий необходима достаточно высокая степень ионизации углеродной плазмы. В противном случае нейтральная компонента будет способствовать образованию графитовой пленки. Для оценки степени ионизации разрядной плазмы разработана следующая методика расчета.

Концентрация ионов в плазме определяется из формулы Бома для ионного тока насыщения [8]

$$j_i = 0,4en_i \sqrt{\frac{2kT_e}{M_i}}, \quad (3)$$

где T_e -температура электронов плазмы, M_i -масса ионов. Ионный ток насыщения измеряется по вольт-амперной характеристике промежутка анодная плазма-подложка при постоянном токе разряда и мощности электронного пучка. В разрядах подобного рода температура электронов не превышает 10 эВ .

Поток атомов испаряемого вещества является функцией температуры испарителя

$$q = n_s \vartheta \exp(-Q/kT), \quad (4)$$

где $n_s \sim 2 \times 10^{15}\text{ см}^{-2}$ – поверхностная плотность атомов, $\vartheta \sim 5 \times 10^{12}\text{ с}^{-1}$ – типичная частота атомных осцилляций, Q – энергия испарения графита. Зная объем разрядной камеры, по формуле (4) можно оценить среднюю концентрацию паров графита при фиксированном значении температуры катода (мощности электронного луча). Степень ионизации плазмы в данном случае определяется как отношение концентрации ионов к начальной концентрации нейтральных частиц. Следуя указанной процедуре, устанавливается зависимость степени ионизации плазмы от параметров разряда: ток, напряжение, температура катода. После осаждения пленок будет определена связь между их физико-механическими характеристиками и степенью ионизации разрядной плазмы. Это позволит отработать оптимальные режимы синтеза аморфных алмазоподобных покрытий в данных экспериментальных условиях.

Работа выполнена при поддержке фонда CRDF-AMEF (грант №3101).

- | | |
|--|---|
| <p>[1]. В.F.Coll. <i>Thin Films</i>. Ed. by G.Hecht, F.Richter, J.Hahn. Proc. of the joint TATF'94 and HVITF'94, Dresden, March 7-11, (1994), p. 3-17.</p> <p>[2]. I.I.Aksenov, V.E.Strelitskiy. "The synthesis hydrogen-free films of diamond-like carbon", Proceeding of 12-th International Symposium "Thin films in electronics", 23-27 April, 2001, Kharkov, Ukraine, p. 96-105.</p> <p>[3]. И.И.Аксенов. "Вакуумно-дуговые источники фильтрованной плазмы: история, теория, практика, перспективы", Сб. докл. 6 Межд. конф. "Вакуумные технологии и оборудование", 21-26.04 2003 г., Харьков, Украина, с.238-258.</p> <p>[4]. A. Anders //Surf. and Coat. Techn. 1999, v. 120-121, p. 319.</p> | <p>[5]. И.С.Гасанов, И.И.Гурбанов. "Осаждение углеродных пленок из плазмы дугового разряда без катодного пятна". Прикладная физика, 2004, №3, с.28-29.</p> <p>[6]. И.С.Гасанов, В.А. Оруджев. "Вакуумное осаждение алмазоподобных пленок". Fizikanın aktual problemləri. III resp. elmi konfr. mat. Bakı, 2004, s.100-101.</p> <p>[7]. М.Силады. "Электронная и ионная оптика". Москва. Мир, 1990, 639 с.</p> <p>[8]. М.Д.Габович, Н.В.Плешивцев, Н.Н.Семашко. "Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей". Москва, Энергоатомиздат, 1986, 263 с.</p> |
|--|---|

