РЕАКТОР ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Н.В. Леонович, А.И. Занько
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П. Бровки 6, Минск, Беларусь, nickxz51@gmail.com, kotov@bsuir.by, zanko.andrei@inbox.ru

В данной работе представлены результаты разработки технологического комплекса по получению алмазоподобных углеродных покрытий с структурным составом ta-C:H методом химического осаждения из газовой фазы в индуктивно-связанной плазме. С целью достижения равномерного осаждения и однородности плотности плазменного разряда в процессе разработки были сделаны расчеты геометрических параметров газораспределителя и внешнего аксиального магнитного поля в программном комплексе Comsol Multiphysics. Также в данном программном комплексе был произведен расчет эффективности системы охлаждения разработанного подложкодержателя, для исключения его нагрева выше 150 °C. Для оценки равномерности осаждения алмазоподобных углеродных покрытий проведены экспериментальные исследования по получению данных покрытий с различным расходом рабочего вещества.

Ключевые слова: алмазоподобное углеродное покрытие; ta-C:H; плазма высокой плотности; индуктивно-связанная плазма; аксиальное магнитное поле.

REACTOR FOR PLASMA-CHEMICAL DEPOSITION OF DIAMOND-LIKE CARBON COATINGS

N.V. Leonovich, A.I. Zanka
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 P. Brovki Str., Minsk, Belarus, nickxz51@gmail.com, kotov@bsuir.by, zanko.andrei@inbox.ru

This paper presents the results of the development of a technological complex for obtaining diamond-like carbon coatings with the structural composition ta-C:H by chemical vapor deposition in inductively coupled plasma. In order to achieve uniform deposition and homogeneity of the plasma discharge density during the development process, the geometric parameters of the gas distributor and the external axial magnetic field were calculated using the Comsol Multiphysics software package. The gas distribution system is of an annular type and is designed in such a way that the working substance is supplied to the plasma formation zone. The external axial magnetic field is formed by two electromagnets. Also, in this software package, the efficiency of the cooling system of the developed substrate holder was calculated in order to avoid it overheating more than 150 °C. Heat removal in the cooling system of the substrate holder is water. To assess the uniformity of the deposition of diamond-like carbon coatings, experimental studies were carried out to obtain these coatings with different flow rates of the working substance.

Keywords: diamond-like carbon coating; ta-C:H; high density plasma; inductively coupled plasma; axial magnetic field.

Введение

Проблема нанесения тонкопленочных оптических защитных покрытий включает в себя научно-технические аспекты, относящиеся как к физике, так и к химии. Реализация этих требований напрямую зависит от достижений в конструировании оборудования и совершенствования технологических процессов получения тонких пленок [1]. В настоящее время одним из перспективных направлений в методах формирования алмазоподобных углеродных покрытий является технология плазмо-химического осаждения из плазмы высокой плотности [2]. Преимуществом такого метода по сравнению традиционными химическими являются экологическая безопасность, высокая чистота технологического процесса, качество продукции, гибкое управление параметрами высокоплотной плазмы и как следствие задание не только состава, но и структуры формируемого слоя.

Экспериментальный комплекс

Для реализации технологии получения алмазоподобных углеродных покрытий методом химического осаждения из газовой фазы в плазме высокой плотности нами был разработан реактор цилиндрический формы диаметром 280 мм. Реактор был разработан на базе вакуумной установки ВУП-5, схема реактора представлена на рисунке 1. В верхней части ректора соосно расположены плоский источник индуктивно-связанной плазмы, система газораспределения, система внешнего магнитного поля и охлаждаемый подложкодержатель в низу рабочей камеры. Источник плазмы представляет из себя плоский индуктор диаметром 200 мм в виде четырехзаходной спирали, работающий на частоте 13.56 МГц и питающийся от ВЧ генератора GL-13.2. Так же используется блок ВЧ-согласования IZOVAC AMIL-3000. Питание смещения на подложкодержатель осуществляется с применением блока согласования – AMCL-3000, и ВЧ генератора GL-13.1. Создание и поддержание вакуума осуществляется совместной работой пластинчато-роторного и турбомолекулярного насосов VALUE VRD-48 и Edwards STP-iXR 1606 соответственно. Для работы источника индуктивно-связанной плазмы на давлениях ниже одного паскаля в реакторе предусмотрено создание внешнего аксиального магнитного поля [3].

Рабочее вещество подается через систему газораспределения, а расход газа регулируется регулятором расхода газа — РРГ-12.

Результаты и их обсуждение

Данный вид конструкции выбран для достижения равномерного осаждения материала на подложках диаметром до 200 мм, на что влияет ряд параметров: газораспределение и равномерность генерации плазменного пучка над плоскостью антенной системы. Для

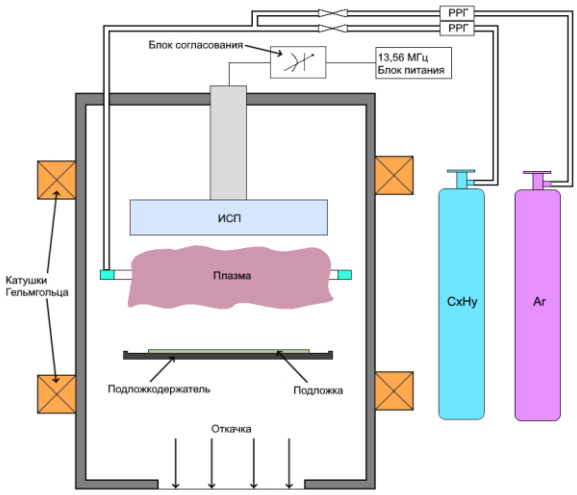
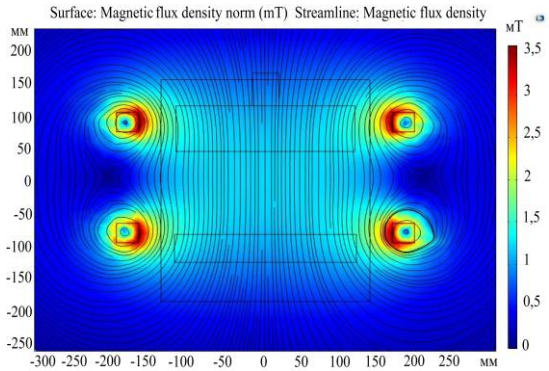
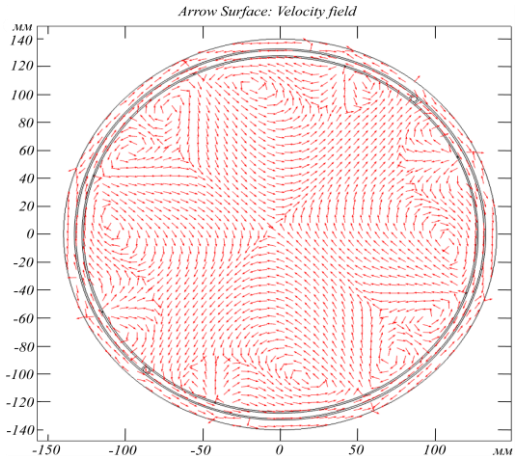


Рис. 1. Схематическое изображение реактора осаждения алмазоподобных углеродных покрытий

достижения поставленных задач был произведен расчет геометрических параметров газораспределителя и магнитного поля в студенческой версии программного комплекса Comsol Multiphysics. Результаты расчета представлены на рис. 2(а, б).



(а)



(б)

Рис. 2. Результаты расчетов: а – величины магнитной индукции внутри рабочей камеры; б – на подложкодержателе

Также проводился расчет эффективности охлаждения разработанного подложкодержателя в программном комплексе Comsol Multiphysics. Результаты расчета представлены на рисунке 3. При расчете, в качестве граничных условий, мощность ионного потока на подложку составляла 4 Вт/см^2, что соответствует мощности разряда 1 кВт.

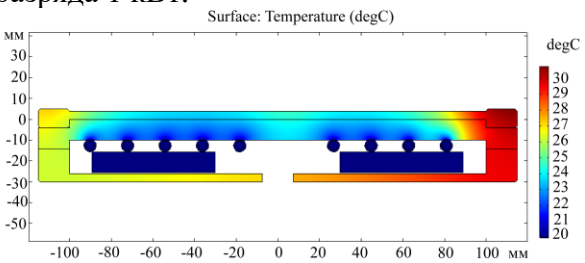


Рис. 3. Распределение температурных полей охлаждаемого подложкодержателя

Охлаждаемый подложкодержатель необходим для предотвращения формирования различных углеродных наноструктур и температурных дефектов в структуре осаждаемого алмазоподобного углеродного покрытия.

Для оценки равномерности осаждения алмазоподобных углеродных покрытий проведены экспериментальные исследования по получению данных покрытий с различным расходом рабочего вещества. На рисунке 4 представлена зависимость диаметра равномерного осаждения DLC пленки от расхода рабочего вещества.

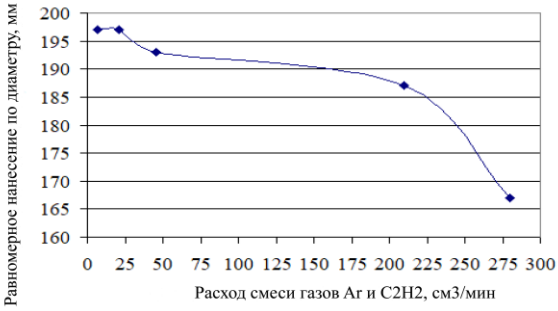


Рис. 4. Зависимость диаметра равномерного осаждения DLC покрытия от расхода рабочего вещества

Заключение

Разработанный комплекс позволяет осаждать алмазоподобные углеродные покрытия с использованием источника плазмы высокой плотности с высокой равномерностью по толщине при суммарном расходе рабочего вещества не более 150 см^3/мин. Для данного метода эффективной конфигурацией положения газораспределителя является пространство между индуктором и подложкодержателем с подачей рабочего газа в область, соответствующую зоне генерации плазмы. Такая конфигурация обеспечивает ламинарный поток вещества над поверхностью подложкодержателя и его равномерное распределение в зазоре между подложкодержателем и стенками рабочей камеры.

Библиографические ссылки

1.Плазменные покрытия (методы и оборудование): учебное пособие / В.П. Кривобоков, Н.С. Сочугов, А.А. Соловьёв. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 104 с.

2. Шустин Е.Г., Исаев Н.В., Клыков И.Л., Песков В.В., Поляков В.И., Руковишников А.И. [и др.] Синтез углеродных пленок в плазмохимическом реакторе на базе пучково-плазменного разряда. *Журнал технической физики* 2013; 83(2): 97-103.

3.Ясюнас А.А., Котов Д.А. Влияние распределения магнитного поля на разрядные параметры источника индукционного разряда. *Молодежь в науке – 2014 приложение к журналу «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»:* Минск, 2015. Ч. 3: 49-53.