

щается процедура выбора аппроксимирующих функций. Во-вторых, привлечение связей не требует от самих координатных функций выполнения внутренних и поверхностных условий. Разбиение конструкции на отдельные элементы связано только с условием задачи (выделение особенностей задачи и т.д.), но не является необходимым.

В качестве примера рассмотрим растяжение квадрата двумя сосредоточенными силами (плоская деформация). Для выделения особенности в окрестности приложения силы (с учетом симметрии задачи) фигуру представляем в виде двух квадратов: 1×1 и $0,2 \times 0,2$ (с вырезом).

Привлекая поверхностные статические связи, гарантируем точное выполнение граничных условий, за исключением локальной области вблизи приложения силы (рис. 1).

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМОТРОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С МЭВ В ПРОЦЕССАХ ОСАЖДЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНОК

*Каролинский В.Г., Сазонов М.И.
Брестский политехнический институт*

Потенциальные возможности использования алмазных пленок в различных областях науки и техники базируются на уникальных свойствах алмаза: высокая теплопроводность (~ 20 Вт/см·К), высокое напряжение пробоя ($\sim 10^7$ В/см), высокая твердость по сравнению с известными материалами ($10000-12000$ кг/мм² по Виккерсу), низкий коэффициент трения (~ 0.02) и т.д.

В силу уникальных свойств алмазных (углеродных) пленок они стали широко применяться в таких областях науки и техники, как микроэлектроника и машиностроение, оптоэлектроника и аэрокосмическая промышленность.

В машиностроении алмазные пленки в основном используются для увеличения износостойкости различного инструмента и пар трения.

Поскольку алмазные пленки имеют большую теплопроводность, они могут с успехом применяться для поглощения и отвода тепла с большой площади. По причине относительно большой ширины запрещенной зоны, высокой теплопроводности и химической инертности алмазные пленки можно использовать в производстве полупроводниковых приборов, их компонентов и т.д.

Согласно выводам, сделанным в работе [1], алмазные пленки найдут широкое применение в микроэлектронике и оптике, если технология их получения из газовой фазы (CVD-метод) может обеспечить следующие условия осаждения: 1) скорость роста покрытия >100 мкм/ч, 2) температура подложки $<500^\circ\text{C}$, 3) площадь подложки, на которой равномерно осаждается пленка, должна быть >10 см², 4) пленки не должны иметь загрязнения материалами стенок реактора, электродов и т.д.

Существует целый ряд CVD-технологий, позволяющих получать алмазные пленки на различных подложках, например, метод накаливаемых нитей, разряд постоянного тока, химическое осаждение из паровой фазы с использованием плазмы высокочастотного (ВЧ) и сверхвысокочастотного (СВЧ) разрядов, метод интенсификации СВЧ-разряда электронноциклотронным резонансом.

Наиболее производительным и адаптируемым к вышеперечисленным требованиям из перечисленных CVD-методов являются ВЧ и СВЧ-разряды. Однако, эти методы обладают, на наш взгляд, существенным недостатком: высокой стоимостью установки и ограниченной мощностью. Последнее не позволяет достичь высокой скорости покрытия подложек при площади их поверхности ~ 10 см².

Для реализации требований, сформулированных в работе [1], мы предлагаем вакуумную установку (см. рис. 1) с высокоэнтальпийным плазмотроном постоянного тока, позволяющую осаждать алмазные пленки при давлении в реакторе $(2\div 8)\cdot 10^3$ Па.

Одним из основных элементов установки является плазмотрон постоянного тока с межэлектродной вставкой (МЭВ), позволяющий генерировать сверхзвуковую плазменную струю, в которую вводятся различные химические реагенты (H_2 , CH_4 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, CH_3OH и т.д.). Ввод химических реагентов можно производить как посредством кольца 4 с отверстиями, которое охватывает плазменную струю, так и непосредственно в канал плазмотрона через штуцер 3. Данный плазмотрон позволяет получить высокоэнтальпийную струю мощностью 5-30 кВт. В конструкции плазмотрона предусмотрена возможность оперативной замены электродов, изготавливаемых из различных материалов (вольфрам, хром, плагина, графит и т.д.). Установка позволяет варьировать давление газа в реакторе в диапазоне $2\cdot 10^3\div 8\cdot 10^3$ Па, что оказывает существенное влияние на регулирование скорости роста пленок.

Изменяя конструкцию анода, диаметр разрядной камеры плазмотро-

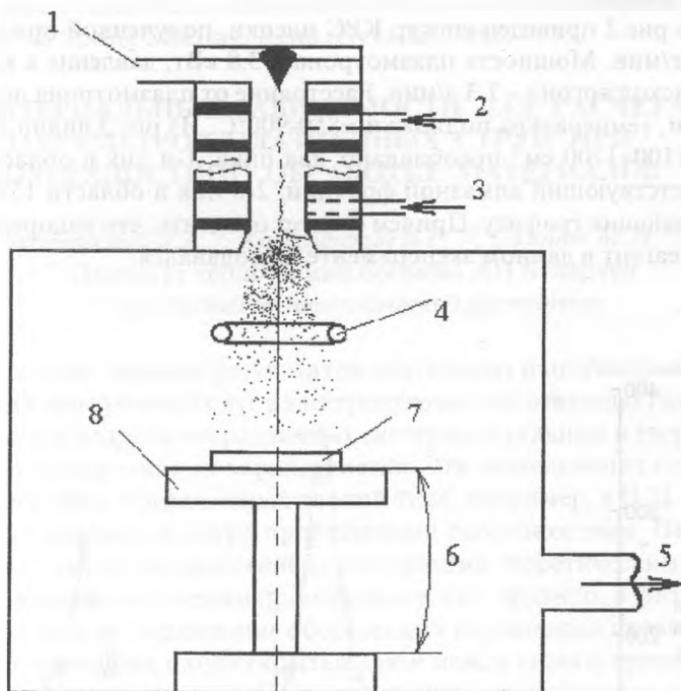


Рис. 1. Принципиальная схема плазменной установки пониженного давления с плазмотроном с МЭВ для осаждения углеродных пленок:

1 – подача рабочего газа в плазмотрон, 2 – подача газа между секциями

МЭВ для защиты, 3 – подача химических реагентов, 4 – кольцо,

5 – насос, 6 – регулируемое расстояние, 7 – подложка,

8 – подложкодержатель.

на и давление газа в реакторе, можно регулировать площадь зоны осаждения пленок.

На рис.2 приведен спектр КРС пленки, полученной при расходе CH_4 0.107 г/мин. Мощность плазмотрона – 3.8 кВт, давление в камере - $6 \cdot 10^3$ Па, расход аргона – 7.3 л/мин. Расстояние от плазмотрона до подложки – 160 мм, температура подложки ~850-900°C. Из рис.2 видно, что в диапазоне $1100 \div 1700 \text{ см}^{-1}$ преобладают два пика, 1-й пик в области 1332 см^{-1} , соответствующий алмазной фракции, 2-й пик в области 1580 см^{-1} , соответствующий графиту. Причем следует отметить, что водород как отдельный реагент в данном эксперименте не подавался.

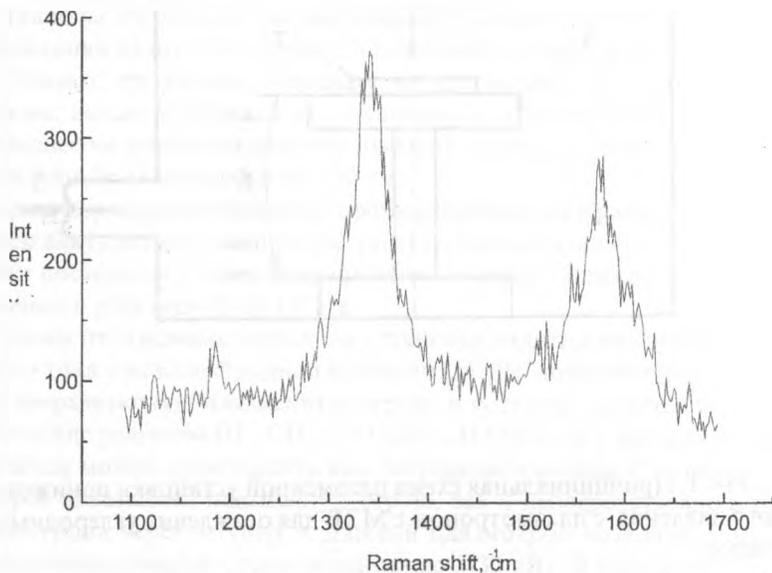


Рис.2. Спектр КРС пленки.

В настоящее время проводятся исследования по осаждению пленок и изучению их свойств в зависимости от параметров работы установки.

Литература

1. Bachmann P. et al. // Ext. Abstracts-Diamond and Diamond like Materials Synthesis. MRS Spring Meeting, Reno (Nevada), 1988. P. 99.

**КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА
ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ ПРИ
ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

Бублиевский Д.А.^{)}, Каролинский В.Г.^{**)}, Сазонов М.И.^{**)}*

^{*)} Институт тепло- и массообмена АН Беларуси

^{**)} Брестский политехнический институт

Одним из существенных результатов длительных и целенаправленных исследований электрических дуг в электродуговых нагревателях газа (плазмотронах) стала разработка различных экспериментальных и теоретических методов определения их характеристик. Эти исследования отражены в ряде монографий, посвященных данной теме, например, в [1,2]. Подобные работы отличаются двумя проблемными особенностями. Первая из них связана с тем, что определение характеристик теоретическими, в частности, численными методами производится, как правило, в физических переменных, хотя использование обобщенных переменных позволяет сократить их количество, найти скрытые связи между ними и привести расчеты в определенную систему. Существует лишь эмпирическое решение этого вопроса, требующее большого числа экспериментальных данных. Вторая особенность заключается в отсутствии комплексного подхода, направленного на установление взаимосвязи между параметрами плазменных струй и потоков, с одной стороны, и характеристиками дуги, с другой.

Некоторые предложения по решению затронутой проблемы в случае сильноточных малорасходных электрических дуг рассмотрены ниже.

В работе [3] разработана так называемая анизотропная модель электрической дуги в канале, позволившая аналитическим путем получить критериальные выражения для расчета ее характеристик. Она основана на использовании степенной аппроксимации зависимости электропроводности σ от приращения "потенциала" теплопроводности ΔS с различными показателями степеней для продольной и поперечной составляющих этого приращения, появляющихся при разделении переменных. Допускается $C_p/\lambda = \text{const}$, $\rho V_z = \text{const}$.