

Многомодульный нанотехнологический комплекс по выращиванию углеродных нанотрубок

Комаров И.А., Левин Д.Д., Кондрашев В.А

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный институт электронной техники (технический университет)"

Современные тенденции в создании новых материалов обуславливают необходимость в создании оборудования, позволяющего выращивать новые материалы. Одним из новейших конструкционных материалов являются нанотрубки. Рост нанотрубок может производиться различными методами, такими как лазерная абляция, дуговой разряд и химическое осаждение из газовой фазы (CVD). Наиболее перспективным методом в плане интеграции нанотрубок в устройства является CVD. Был создан многомодульный комплекс, реализующий различные подвиды CVD технологии в рамках единой системы.

Комплекс состоит из следующих блоков:

- Вертикальный реактор для синтеза углеродных нанотрубок;
- Проточный реактор (горизонтальный) для синтеза углеродных нанотрубок;
- Реактор синтеза углеродных нанокolleц методом высоковольтного разряда;
- Источник парогазовой смеси (ПГС);
- Вакуумная система;
- Система распределительных клапанов.

Вертикальный реактор (рис.1) предполагает возможность производства углеродных нанотрубок и нановолокон как на катализаторах произвольной формы, так и на пластинах диаметром до 75 мм, с предварительно сформированным рисунком катализатора. Модуль вертикального реактора состоит из реакторной печи и электронного блока. В модуле реализована система контроля температуры и давления.

Камера печи является основным рабочим объемом данного модуля и предназначена для производства в ней углеродных нанотрубок. Внутренняя часть печи состоит из кварцевой керамики с малой теплопроводностью, а внешняя стенка из жаропрочной стали. Для контроля температуры непосредственно у рабочего столика размещена термопара (3). Напуск ПГС осуществляется через натекаль (1). Для активной подачи ПГС используется испарительный модуль. Откачка реактора производится через клапан (6). Нагрев производится муфельным нихромовым нагревателем (2)

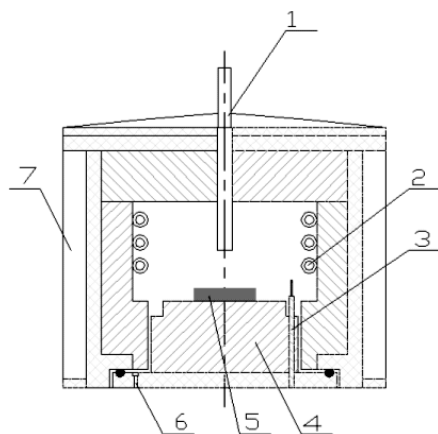


Рис.1 Схема вертикального реактора:

1 - канал напуска ПГС, 2 - нагревательный элемент, 3 – термопара, 4 - рабочий столик, 5 - предметный столик, 6 - канал к насосу, 7 - теплоотвод

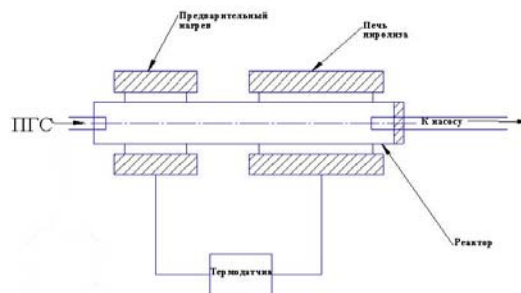


Рис.2 Схема проточного реактора

Максимальная температура нагрева реактора равна 1200 °С. Остаточное давление в реакторе при работе насоса равно 1 кПа.

Электронный блок предназначен для программирования и контроля режимов работы данного модуля: задается и контролируется температура процесса, скорость нагрева, время отжига и скорость охлаждения, а также контролируется давление в камере. Энергонезависимая память позволяет сохранять до 100 пользовательских программ. Максимальная скорость нагрева равна 150 °С/мин.

Проточный реактор (рис.2) предполагает возможность роста углеродных нанотрубок на отдельных кристаллах размером до 5 x 5 мм с предварительно сформированным рисунком катализатора. Модуль проточного реактора состоит из реакционной камеры и блока электроники. Камера реактора является основным рабочим объемом и предназначена для синтеза углеродных нанотрубок на кристаллах с предварительно сформированным рисунком катализатора. Внутренняя часть реактора представляет собой кварцевую трубу со свободно размещаемой в ней подложкой. Внешняя часть выполнена из жаропрочной керамики. Реакционная камера имеет в своем составе 2 нагревателя: предварительный нагреватель (до 250 °С) и основной нагреватель (до 1050 °С). В модуле реализована система контроля температуры.

Реактор синтеза углеродных наноконечий методом высоковольтного разряда состоит из реакторной камеры (рис. 3), электронного блока и системы подачи углеродсодержащей парогазовой смеси (ПГС). В модуле реализована возможность контроля температуры и давления ПГС, а также контроль параметров разряда.

Реакционная камера является основным рабочим объемом и предназначена для производства в ней углеродных наноконечий. Камера выполнена из толстостенной стали с термостойким покрытием. Напуск ПГС осуществляется через накататель (1). Откачка реактора производится через канал (6). Предварительный нагрев производится муфельным нихромовым нагревателем (2)

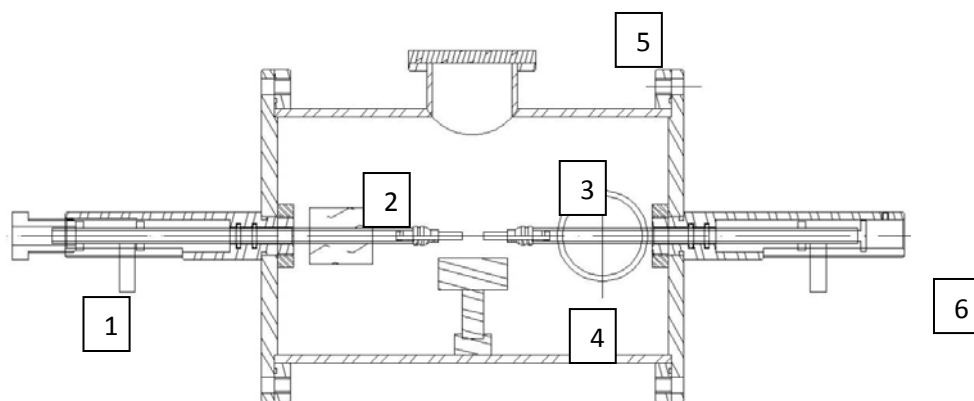


Рис. 3 Схема реактора синтеза углеродных нанотрубок: 1- канал напуска ПГС, 2 - нагревательный элемент, 3 - высоковольтные электроды, 4 - предметный столик, 5 - смотровое окно, 6 - канал к насосу

Максимальная температура нагрева напускного тракта равна 800 °С. Остаточное давление в реакторе при работе насоса равно 1 кПа.

Электронный блок позволяет контролировать температуру процесса, частоту разряда, мощность разряда и давление в камере. Также контролируется расстояние между электродами. Предельная мощность разряда 200 Вт, предельная частота 1 кГц, максимальное расстояние между электродами 25 мм.

За счет использования в качестве источника углерода этилового спирта, повышается безопасность комплекса, в том числе и для окружающей среды. Кроме того, снижается риск разрушения установки во время техпроцесса по сравнению с установками, использующими водород и метан в качестве парогазовой смеси.

Были реализованы технологии использования различных катализаторов роста углеродных нанотрубок. Так в комплексе возможен рост углеродных нанотрубок на «золь-гель» катализаторе на тонких металлических пленках (Ni, Fe), и на многослойных каталитических структурах. Были проведены исследования по росту углеродных нанотрубок на всех вышеуказанных катализаторах. Была показана возможность направленного роста на многослойных каталитических структурах.

Основными преимуществами созданного нанотехнологического комплекса по сравнению с другими установками роста нанотрубок являются:

- Низкие энергозатраты;
- Возможность использования стандартных полупроводниковых пластин;
- Однородность потока парогазовой смеси во всех модулях комплекса;
- Малые затраты углеродсодержащей смеси;
- Получение различных нанотрубных материалов в едином техпроцессе.

Таким образом, был разработан многомодульный комплекс по выращиванию углеродных нанотрубок, позволяющий в одном техпроцессе создавать различные виды нанотрубного материала и обеспечивающий интеграцию углеродных нанотрубок в стандартные процессы микроэлектроники.