

УДК 541.64

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ НА ПРОЦЕСС ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНООБЪЕКТОВ

© А.В. Платенкин, В.П. Шелохвостов, С.Н. Баршутин

Ключевые слова: плазмохимический синтез; углеродные наноструктуры; фуллерены; электромагнитные поля; резонансно-туннельная структура.

Разработано устройство воздействия электромагнитными полями на процесс плазмохимического синтеза нанобъектов. Разработанный метод и устройство его реализующие позволяет повысить процент выхода синтезируемых нанобъектов с заданными свойствами.

Одной из перспективных технологий получения нанобъектов является плазмохимический синтез. В связи с тем, что при синтезе углеродных нанобъектов в конечных продуктах содержится большое разнообразие различных структур (нановолокна, нанотрубки, фуллерены), но их суммарное количество не превышает 7 % (фуллеренов – 1–3 %) – исследованию способов воздействия, для получения заданного вида нанобъектов, уделяется много внимания. Одним из возможных способов влияния на процесс плазмохимического синтеза является внешнее электромагнитное поле.

В этой связи в работе была поставлена задача увеличения доли заданных нанобъектов, например фуллеренов, путем внешнего электромагнитного воздействия на зону их синтеза в объеме плазмы.

Плазма формировалась путем пропускания аргона через дуговой разряд. Графитовый порошок подавался в плазменный канал дозирующим устройством с использованием транспортирующего газового потока

(аргона). Технологический газ с продуктами синтеза барботированием пропускали через стеклянную колбу, заполненную водой. Далее, путем центрифугирования в течение 10 мин. осуществляли отделение частиц более 100 нм, а оставшиеся частицы выделяли путем выпаривания жидкости и проводили дальнейшие исследования этого остатка с помощью электронного микроскопа.

В зоне синтеза нанобъектов с помощью устройства внешнего воздействия генерировали электромагнитное поле.

Известно, что для достижения устойчивости нанобъектов в плазме необходимо создать условия сброса энергии возбуждения нанобъектов. Анализ показал, что из всего многообразия плазменных процессов для формирования нейтральных нанобъектов наиболее приемлемыми являются два процесса. Во-первых, это неупругое взаимодействие электрона с ионом с передачей высвободившейся энергии третьему электрону:

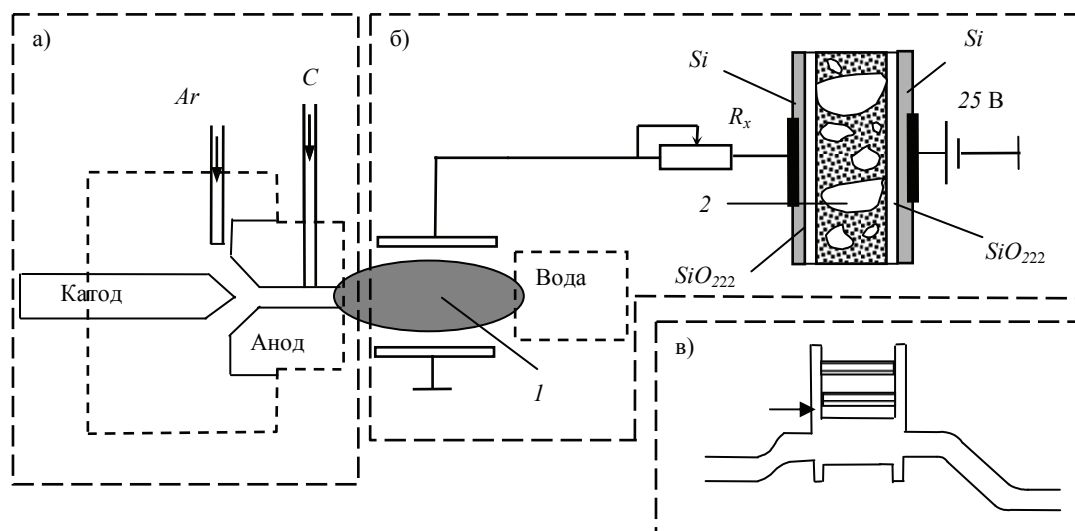
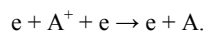
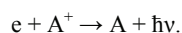


Рис. 1. Синтез углеродных нанобъектов: а – схема плазменного устройства; б – устройство внешнего воздействия (I – объем плазмы, 2 – структура тест-объекта); в – зонная структура полупроводникового преобразователя (квантовая яма)



Во-вторых, неупругое взаимодействия электрона с ионом путем излучения лишней энергии в виде фотона:



Было разработано устройство внешнего воздействия (рис. 1б), которое состоит из двух электродов, формирующих электромагнитное поле в зоне синтеза, источника питания с возможностью регулировки напряжения и туннельно-резонансной структуры. Эта структура выполнена в виде двух диэлектрических слоев, между которыми располагается слой заданных нанообъектов (тест-объектов). С внешних сторон диэлектрических слоев для осуществления электрического контакта располагаются слои диэлектрика и металла.

Между электродами через зону синтеза происходит дрейф носителей заряда n -типа с энергиями, соответствующими возбужденным состояниям нанообъектов туннельно-резонансной структуры. Возникающий при этом ток описывается через характерные для туннельно-резонансной структуры параметры [2] и может представиться в виде:

$$I_{\Sigma} \approx \sum_{i=0}^l \frac{|e|mS}{4\pi\hbar^2\tau_n} \left(\mu - E_i + |e|\frac{V}{2} \right) \left(\begin{array}{l} \text{sign}\left(\mu - E_i + |e|\frac{V}{2}\right) + \\ + \text{sign}\left(E_i - |e|\frac{V}{2}\right) \end{array} \right),$$

где e – заряд электрона, S – площадь сечения структуры, m – масса электрона, E_i – энергия квазистационарного состояния в квантовой яме, μ – уровень Ферми, i – номер уровня возбужденного состояния нанообъектов, l – количество возбужденных состояний, V – напряжение на эмиттере, τ_n – время релаксации импульса электрона на n -ом уровне. Как видно из этого соотношения, на коллекторе резонансно-туннельной структуры с нанообъектами наблюдается ток I_{Σ} , формируемый носителями n -типа с энергетическим спектром E_i квазистационарных уровней квантовой ямы (рис. 1в), которая, в нашем случае, формируется слоем нанообъектов.

Происходит селективное стимулирование устойчивости образовавшихся в плазме нанообъектов, которые по структуре соответствуют тест-объектам в туннельно-резонансной структуре устройства внешнего воздействия.

Сравнивали доступный для исследования состав продуктов синтеза, полученных при проведении технологического процесса без внешнего и с внешним электромагнитным воздействием.

Продукты синтеза до центрифугирования по данным электронной микроскопии содержали аморфную составляющую, углеродные конгломераты до 0,5 мкм, в которых просматриваются нанотрубки диаметром 40–60 нм и длиной два-три диаметра, ориентированные в разных направлениях от места начала синтеза. Состав и структура продуктов для сравниваемых процессов практически не отличаются.

Был поставлен эксперимент, в котором электродуговым методом формировали плазму ($U = 50$ В, $I = 300$ А),

в качестве катода использовали вольфрам с напылением лантана, для плазмообразования применяли аргон (расход 50 л/мин.). В плазму с помощью транспортирующего газа (расход 20 л/мин.) подавали углерод в виде графитового порошка, который предварительно подготавливали путем диспергирования в спирте, высушивания, истирания и просеивания через сито 63 мкм. Расход порошка устанавливали на уровне 0,5 г/мин. Затем на зону синтеза дополнительно воздействовали внешним устройством с тест-объектом в виде фуллеренов, повышая энергию реакции до уровня их ионизации.

Возбуждение электронов до энергий ионизации фуллеренов добивались путем формирования на эмиттере туннельно-резонансной структуры постоянного напряжения 25 В. Это напряжение перекрывает энергетический ряд, который аналогичен возбужденным квазистационарным уровням фуллерена [1] и не превышает пробивное напряжение туннельно-резонансной структуры.

За время синтеза через плазму было пропущено 40 г подготовленного графитового порошка. Далее, остаток, полученный из водной суспензии, растворяли в толуоле, фильтрацией отделяли осадок сажи и экстрагировали. В результате экстракции образовывалась черная субстанция, в которой практически не обнаруживались углеродные нанотрубки и нановолокна, а основная масса, по размерам, находилась за пределами разрешения электронного микроскопа ($d \sim 0,2$ нм). По комплексным показателям поведения в модифицированных материалах продукт следует отнести к группе фуллеренов.

Масса полученного материала составила 2,453 и 3,476 граммов для синтеза без внешнего и с внешним воздействием соответственно.

Таким образом, предложена модель и разработано устройство внешнего электромагнитного воздействия на процесс плазмохимического синтеза, проведены сравнительные эксперименты по выявлению их эффективности. Показано, что применяемое внешнее воздействие повышает содержание заданных нанообъектов в конечном продукте на 40–55 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов А.А., Дайнигер Д., Дюжев Г.А. Перспективы развития промышленных методов производства фуллеренов // Журнал технической физики. 2000. Т. 70. Вып. 5. С. 1.
2. Демиковский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000. 248 с.
3. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Кн. 1: Вводный том / под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2000. 585 с.

Поступила в редакцию 14 ноября 2009 г.

Platenkin A.V., Shelohvostov V. P., Barshutin S.N. Working out of the device of influencing by electromagnetic fields on a process plasma-chemical synthesis of nano-objects.

The device influencing by electromagnetic fields on process plasma-chemical synthesis of nano-objects is developed. The developed method and device realizing it allows raising percent of production of synthesized nano-objects with the set properties.

Key words: plasma-chemical synthesis; carbon nanostructures; fullerene; electromagnetic fields; resonant-tunnel structure.