

ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Рудь А. Д.*, Перекос А. Е., Чуистов К. В., Шпак А. П., Уваров В. Н.,
Войнаш В.З., Огенько В. М.⁽¹⁾, Кускова Н. И.⁽²⁾, Ищенко Ж. Н.⁽²⁾

Институт металлофизики НАНУ, булв. ак. Вернадского, 36, 03142, Киев, Украина

⁽¹⁾Институт общей и неорганической химии НАНУ, пр. ак. Палладина, 32/34, 03142, Киев, Украина

⁽²⁾Институт импульсных процессов и технологий НАНУ, пр. Октябрьский, 43а, 54018, Николаев, Украина

* Факс: 38 (044) 424 2561 E-mail: rud@imp.kiev.ua

Введение

Уникальные физико-химические и механические свойства новых углеродных форм углерода, таких как фуллерены и нанотрубки, вызывают значительный интерес исследователей с момента их открытия. Несмотря на значительное число работ в этой области, актуальными остаются проблемы эффективности синтеза углеродных наноматериалов (УНМ), их разделения и очистки.

В настоящей работе изучалась возможность получения УНМ (фуллеренов, нанотрубок, аморфного углерода и др.) методами высокоэнергетического плазмо-химического синтеза, а именно – методами электрического взрыва проводников (ЭВП) и электроискрового диспергирования (ЭИД).

Результаты и их обсуждение

Для получения УНМ методами ЭВП и ЭИД были использованы химически чистые исходные материалы (99,99%). Рентгеновские исследования выполнены на стандартном дифрактометре HZG-4 в Cu K_α излучении. Электронная микроскопия проведена на микроскопе Hitachi H-800 с рабочим напряжением 200 кВ. Масс-спектроскопические исследования методом полевой десорбции проводили на масс-спектрометре высокого разрешения MX-1320.

На Рис. 1–4 и приведены результаты исследований продуктов ЭВП. В Табл. 1 сведены результаты масс-спектроскопических исследований продуктов ЭВП различных материалов. Типичные рентгеновские дифрактограммы продуктов взрыва графита и никеля в толуоле показаны на Рис. 1 и Рис. 2, соответственно. На малых углах на этих дифрактограммах кроме максимумов, характерных для графита и никеля, видны дополнительные пики. Этот факт свидетельствует о наличии новых композиций в продуктах взрыва. Фазовый анализ полученных веществ позволил отнести их к

фуллереноподобным структурам типа C_{60} – C_{70} . На электронных микрофотографиях как жидкой фракции, так и депозита видны дисперсные наноразмерные частицы аморфного углерода, скопления нанотрубок и отдельные нанотрубки (Рис. 3).

Табл. 1. Масс-спектральный состав фуллереноподобных кластеров, полученных ЭВП различных материалов в толуоле при напряжении взрыва 4,5 кВ

№	Материал взрыва	Спектральный состав
1	C	463, 493, 542, 576, 658, 740, 768, 852, 875, 919
2	Fe	304, 316, 328, 344, 356, 368, 721, 864
3	Ni	532, 560, 589, 623, 860

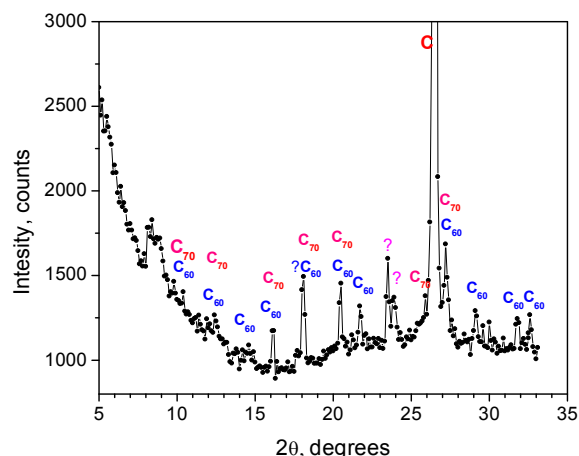


Рис. 1. Фрагмент дифрактограммы продуктов взрыва графита в толуоле при напряжении взрыва 4,5 кВ.

Интересен факт получения фуллеренов без использования графита как материала синтеза (Табл. 1, Рис. 2). Такой результат может быть объяснен деструкцией окружающей органической жидкости (толуол, бензол, бензин, спирт и др.) с последующей

формированием из продуктов деструкции УНМ в условиях высокоэнергетического плазмохимического синтеза (температура и давление достигают значений 10^4 К и 300-500 МПа, соответственно). Подбор материала среды и параметров взрыва позволяют эффективно варьировать состав синтезируемых материалов. Интересна возможность получения алмазоподобных наноматериалов в этих условиях. Ряд пиков на рентгенограммах синтезированных нами материалов соответствуют пикам алмаза. Однако это предположение требует дальнейших исследований другими методами, т.к. угловые положения наиболее интенсивных рентгеновских пиков графита и алмаза близки.

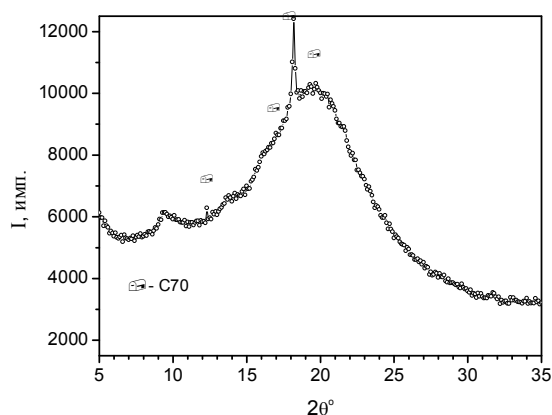


Рис. 2. Фрагмент дифрактограммы продуктов взрыва никеля в толуоле при напряжении взрыва 4,5 кВ

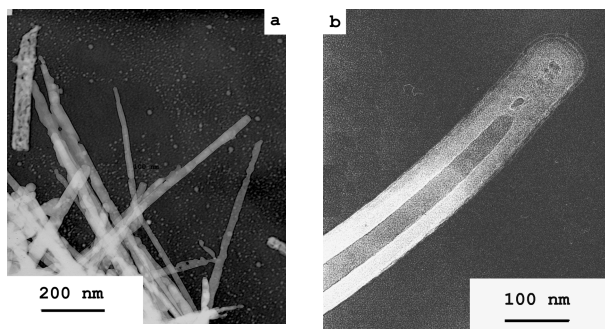


Рис. 3. Электронная микрофотография продуктов взрыва:

- а) скопление нанотрубок,
- б) отдельная многостенная нанотрубка

Отметим, что продукты ЭВ графита во многих случаях обладают ферромагнитными свойствами. Типичная для этих материалов температурная зависимость удельной намагниченности показана на (Рис.4).

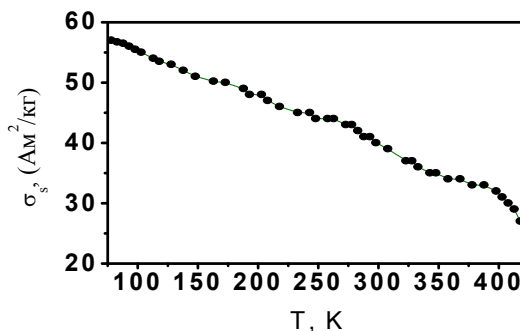


Рис. 4. Температурная зависимость удельной намагниченности продуктов взрыва графита

В работе также исследовалась возможность получения УНМ методом ЭИД. Этот метод достаточно продуктивен и может быть использован для в промышленных условиях. Масс-спектральный состав материалов, полученных электроискровой эрозией графитового электрода в различных средах, представлен в Табл. 2. Видно, что метод ЭИД также позволяет получать широкий спектр фуллереноподобных структур.

Таблица 2. Масс-спектральный состав фуллереноподобных кластеров, полученных методом ЭИД.

№	Среда	Масс-спектральный состав
1	этанол	363, 376, 390, 404, 418, 432
2	бензин	447, 474, 477, 502, 532, 558
3	толуол	477, 506, 533, 561, 604, 828, 858, 881, 885

Выводы

1. Развита методы получения новых углеродных материалов (фуллеренов, нанотрубок, углеродных нанокластеров) методами электрического взрыва проводников и электроискрового диспергирования графита и металлических материалов (железо, никель, медь) в органических средах.

2. Эти методы позволяют получать широкий спектр фуллереноподобных материалов, включая массивные C_{70} и выше (до 1338 а.м.е. в нашем случае). Получены фуллерены без использования графита, как материала синтеза. Показана возможность эффективного управления масс-спектральным составом продуктов синтеза варьированием энергетических параметров, материалов проводников и рабочей среды.