

РОСТ УПОРЯДОЧЕННЫХ МАССИВОВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ПРОФИЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

К.Е. Бачурин, Е.А. Воробьева, А.В. Макунин, Н.Г. Чеченин

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

E-mail: kirillzd@gmail.com, indox.kirill@gmail.com

Упорядоченные массивы углеродных нанотрубок (УНТ) представляют большой интерес для различных приложений. В данной работе представлена методика роста упорядоченных массивов УНТ.

Один из методов осаждения упорядоченных массивов УНТ является осаждение катализатора на поверхность исходной подложки упорядоченным образом, например, путем магнетронного напыления через отверстия заранее подготовленной маски. В данной работе в качестве маски были использованы медные сеточки с размером ячеек квадратной формы $250 \times 250 \text{ мкм}^2$.

Упорядоченное расположение УНТ также может достигаться осаждением на поверхности подложки с нанесенным катализатором, профилированным с помощью различных литографических процессов.

В НИИЯФ МГУ в соответствии с программой ПНР введен в действие новый сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) TESCAN LYRA3 FEG XMU, имеющий, в том числе, приставку системы фокусированного ионного пучка (ФИП или FIB). На базе возможностей этого СЭМ нами разработан новый метод литографической подготовки поверхности подложки и каталитической подложки – метод ионно-пучковой литографии (ИПЛ).

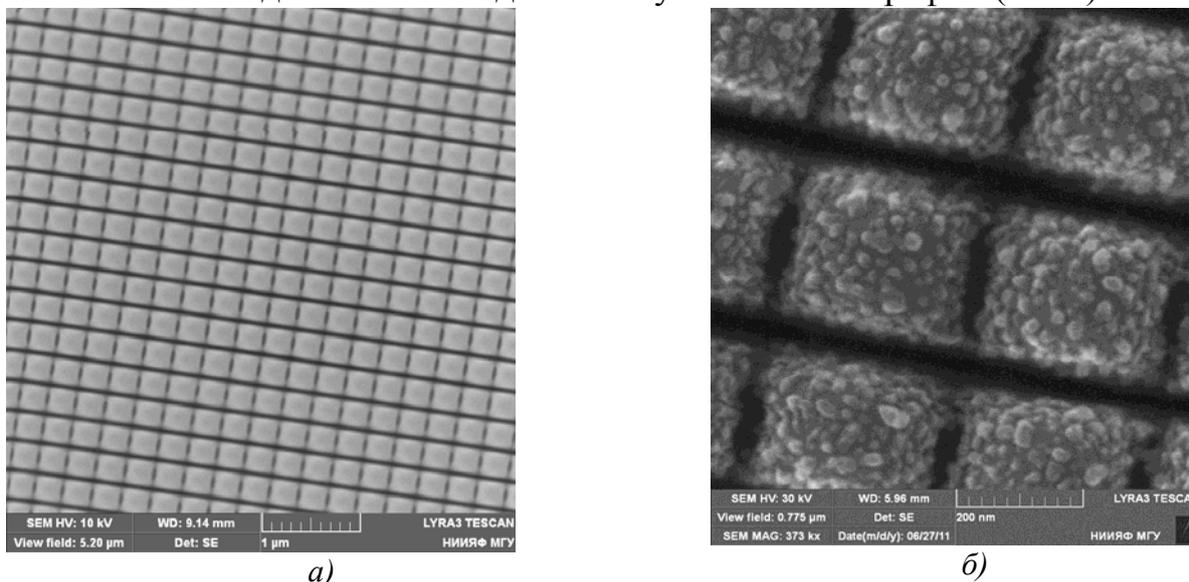


Рис.1 – СЭМ- изображение поверхности, профилированной сфокусированным ионным пучком (ФИП или FIB) а) профилированная поверхность кремниевой подложки, б) та же поверхность после осаждения катализатора (Fe, 1.6 нм)

Сфокусированные ионные пучки в СЭМ предоставляют несколько уникальных возможностей профилирования и литографии для получения упорядоченных массивов УНТ программным образом заданного профиля.

На *рис.1а)* представлено, в качестве примера, изображение СЭМ поверхности подложки кремния, профилированной ФИПом с самым простым рисунком в виде сетки с квадратными ячейками размером 200 нм x 200 нм.

На профилированную таким образом поверхность можно осадить катализатор, что и было сделано, см. *рис.1б)*. Далее каталитическую поверхность можно вторично профилировать, «зачистив» «ненужные» участки и оставив «нужные», и после этого осадить УНТ. Однако, менее трудоемкий метод – профилировать поверхность с уже нанесенным катализатором и произвести осаждение УНТ на профилированную каталитическую поверхность. И, наконец, с помощью ФИПа можно профилировать поверхность с уже осажденными УНТ.

Разработанные нами методы осаждения упорядоченных массивов УНТ включают два основных этапа: осаждение катализатора на исходную подложку с формированием профиля каталитической поверхности и осаждение УНТ. Для осаждения катализатора использовался метод магнетронного напыления, который оказался наиболее эффективным, по сравнению, скажем, с методом электрохимического осаждения катализатора. Для осаждения УНТ использовалась установка пиролитического газофазного осаждения (ПГО) [1].

На *рис.2* представлено изображение массива упорядоченных скоплений УНТ, выращенных на каталитической поверхности, полученной прямым осаждением катализатора через маску. Видно, что УНТ растут в виде сгустков, располагающихся на участках покрытых катализатором, и не растут на свободных от катализатора местах. В результате скопления УНТ формируют структуру, заданную маской, *рис.1а)*. То, что скопления состоят из УНТ демонстрируется на *рис.2б)*. Видно, что это витые, переплетающиеся УНТ, типичной морфологии для роста методом ПГО [1,2]. Ввиду сложной формы УНТ, каждое из скоплений также приобретает нерегулярный рельеф.

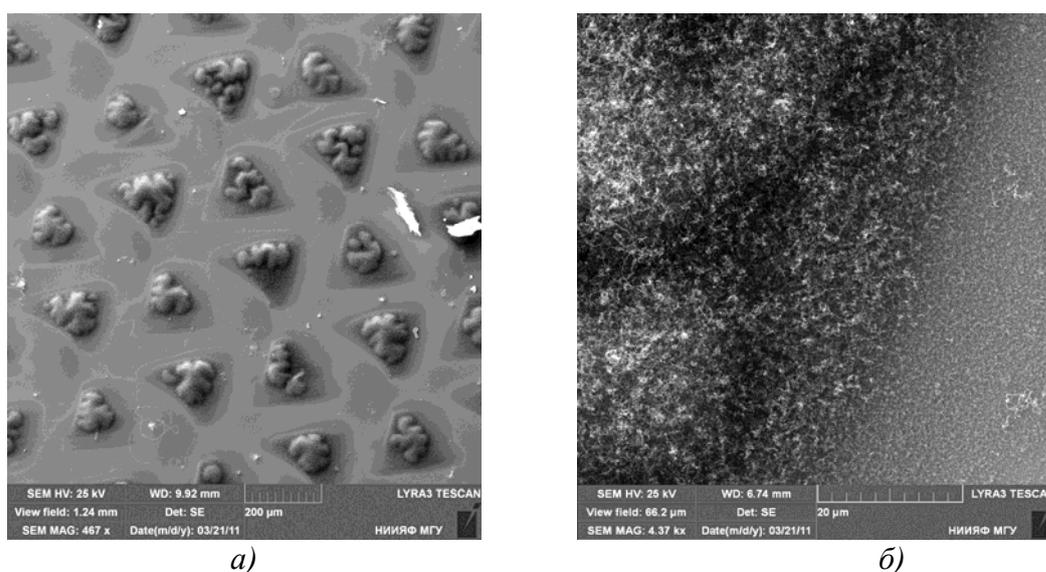


Рис.2 – а) Массив упорядоченных скоплений УНТ, выращенных на каталитической поверхности, полученной прямым осаждением катализатора через маску; б) – скопление УНТ при более высоком увеличении СЭМ.

Также был произведен синтез УНТ на каталитической поверхности, профилированной методом ионной литографии.

Процесс ионной литографии производился при помощи FIB приставки к микроскопу LIRA 3. Осаждение УНТ на подготовленную ионно - литографическим способом каталитическую поверхность производился методом ПГО. Результаты такого осаждения представлены на *рис.3*.

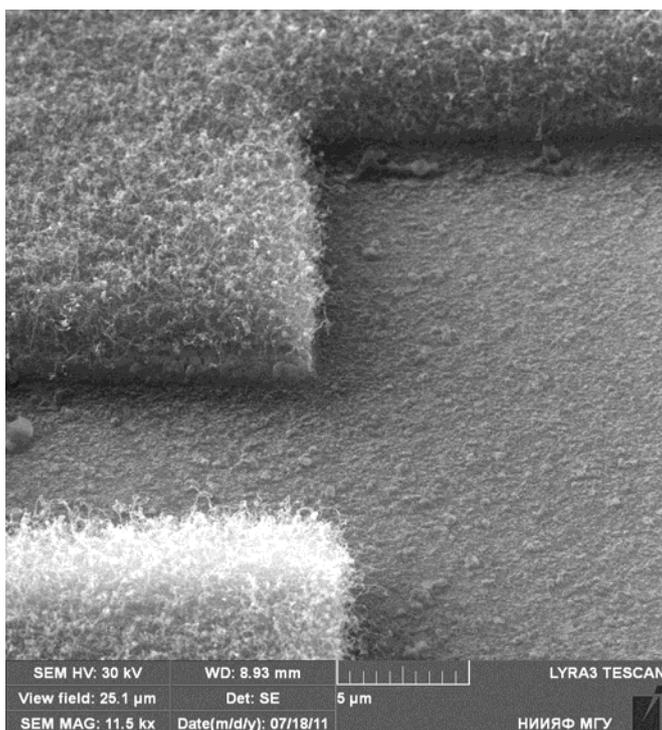


Рис.3 – Изображение СЭМ УНТ, выращенных на поверхности катализатора, профилированной методом ионной литографии.

Рис.3 иллюстрирует возможности метода ионной литографии для создания упорядоченных массивов УНТ. Видно, что УНТ формирует четкие границы на субмикронном уровне. УНТ заполняют только участки, покрытые катализатором.

1. А.В. Макунин, Н.Г. Чеченин, А.А. Сердюков, К.Е. Бачурин, Е.А. Воробьева. Технологические аспекты синтеза наноструктур электродуговым и газопиролитическим методами. Физика и химия обработки материалов, 2010, №6, с. 38-41.

2. А.В.Макунин, К.Е.Бачурин, Е.А.Воробьева, А.А.Сердюков, М.А.Тимофеев, Н.Г.Чеченин. Морфологические различия строения углеродных наноструктур, синтезированных различными методами. Физика и химия обработки материалов, 2011, №4, с. 66-70.