

## НАНОСФЕРНАЯ ЛИТОГРАФИЯ (Nanospher Lithography)

«Сфера – геометрическое место точек, расстояние которых от центра не превышает заданной величины».

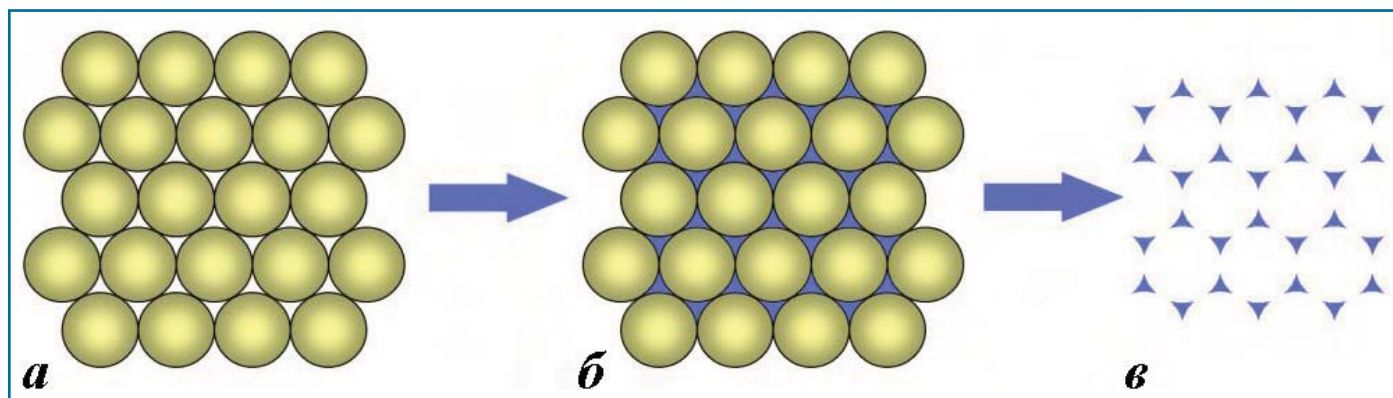
Из школьного учебника

Как известно, наноматериалы термодинамически нестабильны, поэтому их получение зачастую требует использования нестандартных синтетических приемов, особенно, когда речь идет о создании из наночастиц различных упорядоченных структур. Иногда можно использовать различные методы «ручной» сборки, в которых оператор с помощью некоторого устройства последовательно ловит наночастицы и переносит в заданные места (см. *Нанопинцет, Оптический пинцет, Сканирующая зондовая микроскопия*). Но что делать, если речь идет о тысяче и даже миллионе строго упорядоченных наночастиц? К сожалению, универсальных подходов к решению этой проблемы пока не существует, однако в некоторых случаях задача становится вполне выполнима, если воспользоваться методом известным как наносферная литография (НЛ).

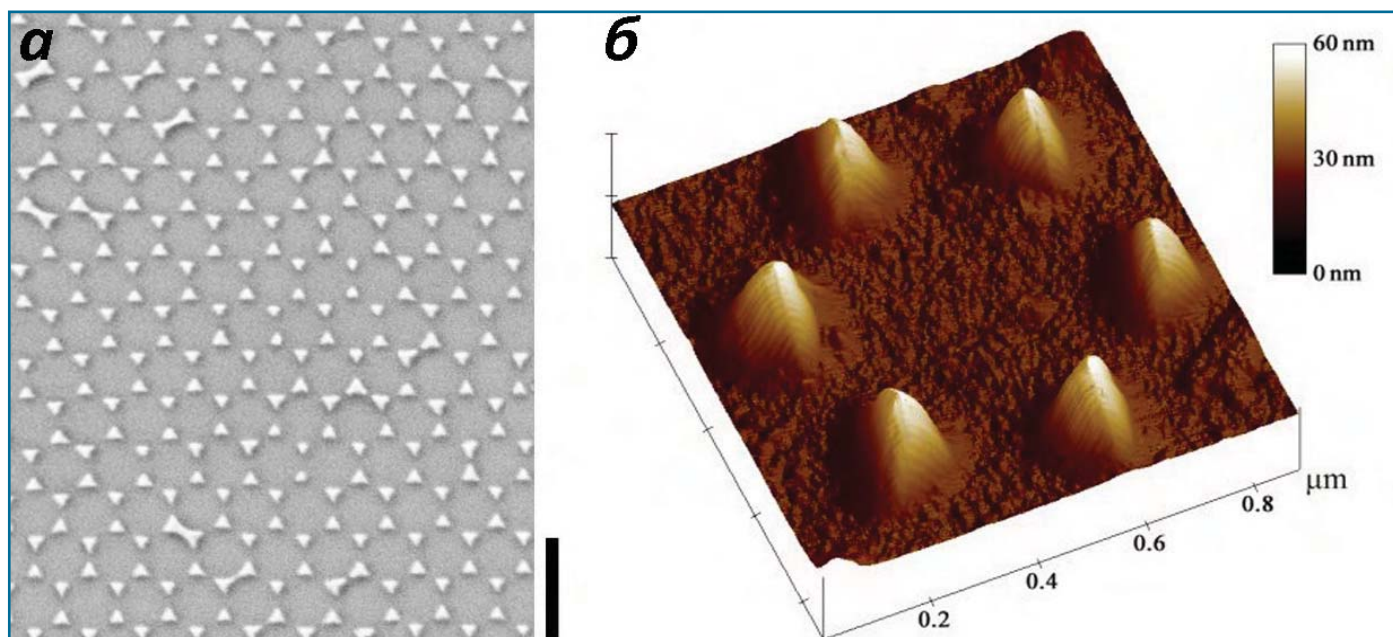
Метод НЛ был предложен в 1981 г. Фишером (Fisher) и Цингсхаймом (Zingsheim) и первоначально его называли «естественной литографией» (natural lithography). Суть НЛ заключается в

формировании массивов упорядоченных наночастиц при помощи структур, образованных значительно более крупными коллоидными частицами, которые упорядочить гораздо проще.

Схема метода НЛ приведена на рис. 1. На первом этапе близкие по размерам сферические коллоидные частицы (их средний размер может составлять от 200 нм до 1 мкм) «упаковывают» на требуемой подложке – как правило, на атомно-гладкой поверхности монокристаллического кремния – в виде плотноупакованного монослоя (см. *Самосборка*). Несмотря на то, что коллоидные сферы плотно прижаты одна к другой, монослой содержит систему эквидистантных пустот треугольной формы (рис. 1а). На втором этапе на монослой напыляют тонкий слой требуемого вещества, как правило, толщиной < 100 нм, которое не проникает в области, «затененные» коллоидными частицами, и достигает подложки только в открытых местах. В результате этой процедуры на подложке возникает система упорядоченных наночастиц требуемого вещества, разделенных



**Рис. 1.** Схема НЛ: а – монослой сферических коллоидных частиц, б – пустоты между частицами заполнены требуемым веществом, в – упорядоченный массив наночастиц требуемого вещества, полученный в результате удаления исходных коллоидных сфер

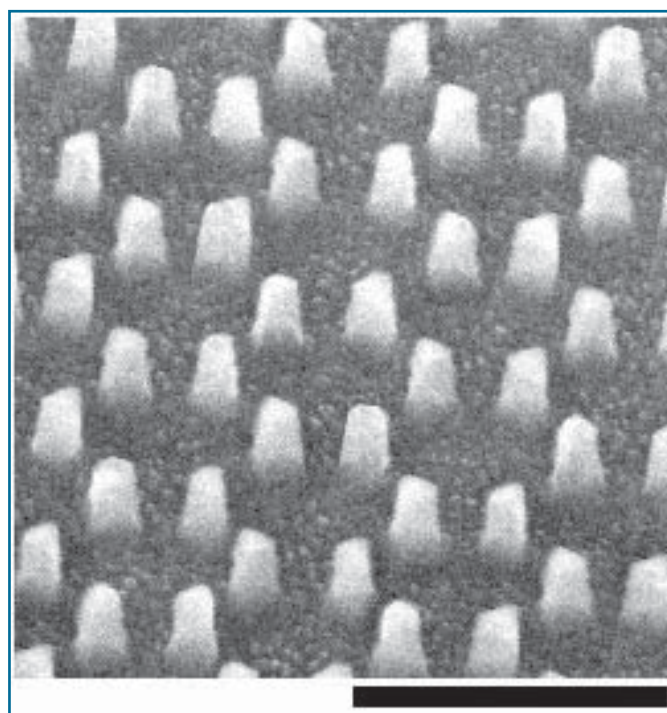


**Рис. 2.** Упорядоченные наночастицы хрома на поверхности кремния (сканирующая электронная микроскопия (а)– шкала 1 мкм и атомно-силовая микроскопия (б)) (ФНМ МГУ им. М.В. Ломоносова)

коллоидными сферами (рис. 1б). На последнем этапе коллоидные частицы удаляют путем растворения в соответствующем растворителе (рис. 1в). В качестве примера на рис. 2 представлены микроскопические изображения наночастиц хрома, полученных методом НЛ.

К несомненным достоинствам НЛ относятся возможность получения структурированных наночастиц практически любых материалов, исходно создавая упорядоченные системы из значительно более крупных микрочастиц, работать с которыми проще; возможность покрытия наночастицами подложек любой площади. Оксидные наночастицы можно синтезировать окислением соответствующих металлических наночастиц в атмосфере кислорода. Впрочем, недостатки метода НЛ также очевидны – невозможно независимо варьировать размер наночастиц и расстояние между ними, создавать структуры отличной от гексагональной геометрии.

С использованием метода НЛ можно получать не только двумерные, но и трехмерные структуры. Действительно, если в методе НЛ система коллоидных сфер используется в качестве маски для напыления на подложку требуемого вещества, то почему бы не использовать систему полученных таким образом наночастиц в качестве маски для травления самой подложки? Например, если структуру, показанную на рис. 2 (наночасти-



**Рис. 3.** Упорядоченные Si нанокolonны, угол обзора–45°, шкала– 1 мкм (ФНМ МГУ им. М.В. Ломоносова)

цы хрома на поверхности кремния) поместить в агрессивную среду, то травление кремния начнет происходить только в областях, «защищенных» наночастицами хрома, в результате чего можно будет сформировать систему упорядоченных кремниевых нанокolonн (рис. 3).

#### Литература:

1. Hulteen J.C., Van Duyne R.P. J. Vac. Sci. Technol. 1995. Vol. A 13(3). P. 1553–1558.