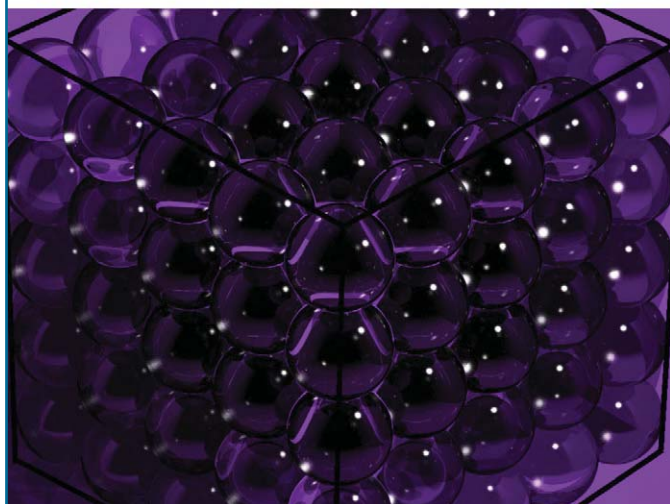


САМООРГАНИЗОВАННЫЕ МАССИВЫ (Superlattices)

*«Мы кирпич за кирпичом
Всей бригадой строим дом...»*

Е.А. Гудилин



Читатели, знакомые с технологиями получения упорядоченных массивов *наночастиц*, согласятся с тем, что эту статью следует начать с аналогии поведения сферических наночастиц с обычными шариками. Многие из вас, наверное, помнят игру в бильярд и укладку шаров в «пира-

миду» – в замкнутом объеме шары сами образуют равносторонний треугольник, причем исключительно одним способом. Если же их «насыпать» в большой ящик и немного потрясти, то они самопроизвольно образуют практически идеально упорядоченную структуру. В некоторых случаях атомы одного сорта также можно рассматривать в виде однородных по размеру шаров, которые аналогичным образом упорядочиваются в ограниченном объеме. В химии и кристаллографии даже существует термин «плотнейшая шаровая упаковка».

Подобно атомарным ансамблям и макросферам сферические наночастицы способны спонтанно собираться в упорядоченные агрегаты (сверхрешетки). Основными причинами такого «слипания» наночастиц являются различные слабые силы (электростатические и капиллярные взаимодействия, поверхностное натяжение), которые, в целом, стремятся уменьшить общую

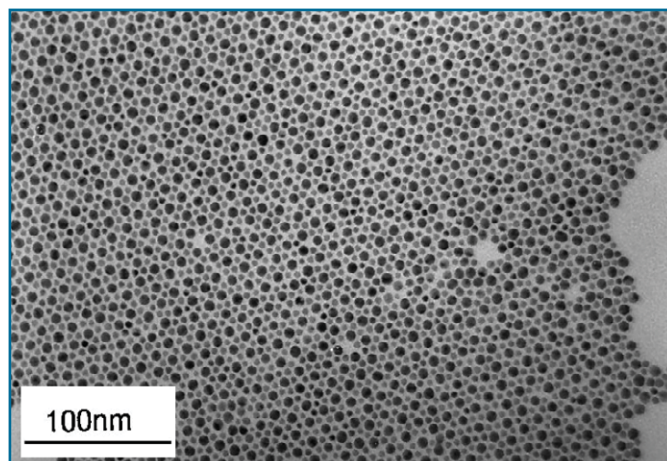


Рис. 1. Упорядоченный массив наночастиц золота

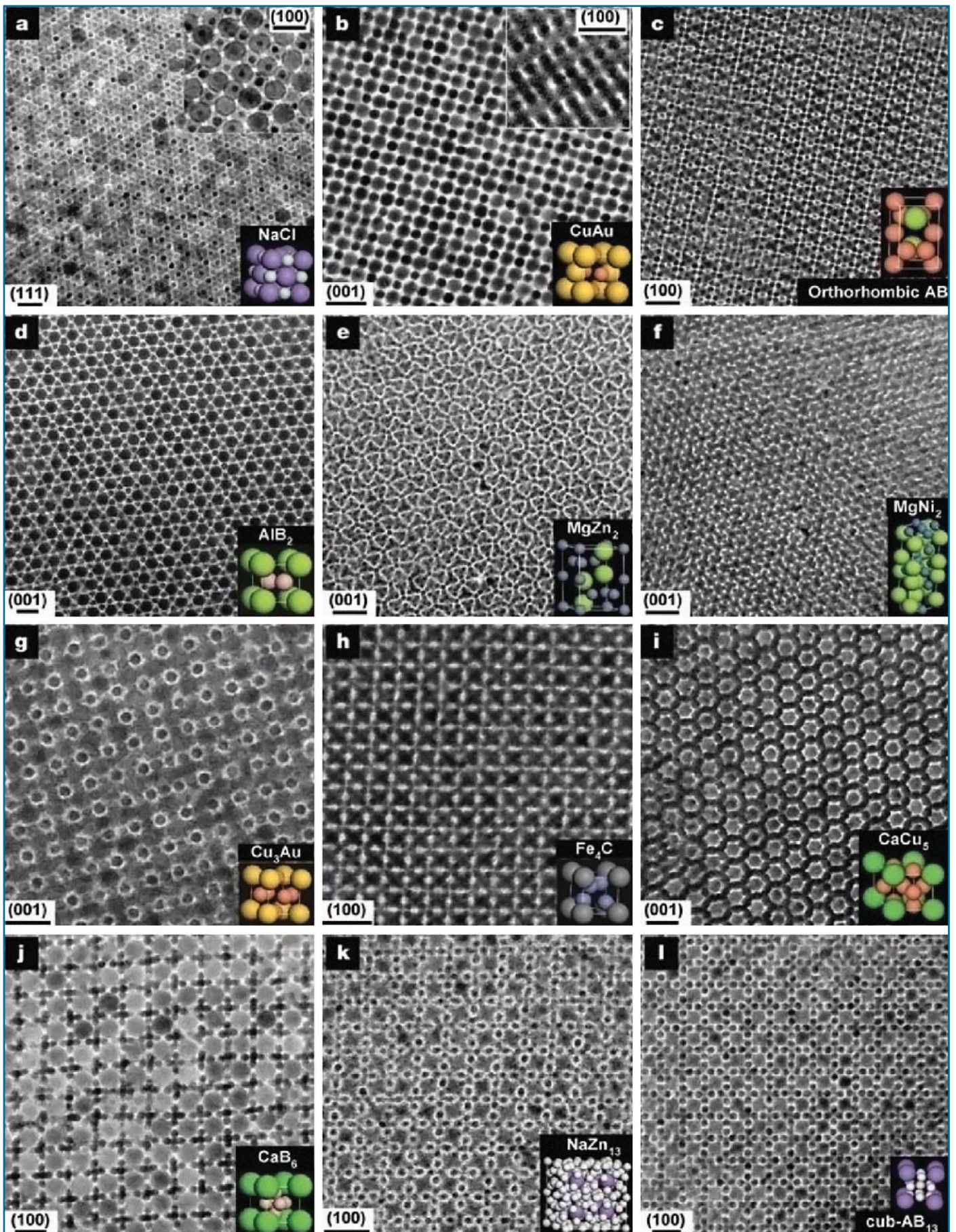


Рис. 2. Микрофотографии характерных проекций бинарных сверхрешеток, образованных различными наночастицами, и модельные элементарные ячейки соответствующих трехмерных структур

площадь поверхности наночастиц и, следовательно, их поверхностную энергию. Впервые упорядоченные массивы наночастиц золота диаметром ~4 нм в оболочке алкилтиолов были получены в 1995 г. медленным упариванием растворителя, а двумя месяцами позже удалось «уложить» монодисперсные пятинанометровые частицы селенида кадмия. Чем однороднее были исходные наночастицы, тем «правильнее» становилась их упаковка в массиве.

На сегодняшний день синтезированы две трехмерные организованные массивы нанокристаллов Pt, Pd, Ag, Au, Fe, Co, FePt, Fe₃O₄, Co₃O₄, CoO, CdS, CdSe, CdTe, PbSe, сплавов Fe–Pt, Au–Ag, наноструктур «ядро в оболочке» CdS/CdSe, CdSe/CdTe, Pt/Fe, Pd/Ni и других, стабилизированных *поверхностно-активными веществами* (рис. 1, 2). Кроме того, для анизотропных наночастиц удалось добиться формирования ориентационно-упорядоченных массивов. Однородные по размеру наночастицы можно «собрать» в пространственно-упорядоченные структуры, представляющие собой одномерные «нити», двумерные плотно упакованные слои, трехмерные массивы или «малые» кластеры. Тип организации наночастиц и структура образующегося массива зависят от условий синтеза, диаметра частиц, природы поверхностно-активного вещества и даже от дисперсионной среды.

Однако давайте вернемся к плотнейшим упаковкам: если в ящик «насыпать» два типа шаров с определенным соотношением размеров, можно получить сложные, организованные структуры,

подобные атомным решеткам кристаллических соединений, типа NaCl, AlB₂ и т.д. Для формирования аналогичных структур на наноуровне используют коллоидные растворы с бимодальным распределением наночастиц. При этом варьирование размеров *нанокристаллов*, концентрации, природы растворителя, температуры и скорости осаждения позволяет подобрать оптимальные условия для образования трехмерных ансамблей нанокристаллов, изоструктурных известным интерметаллическим соединениям (рис. 2). Возможность управления процессом организации наночастиц в пространственно-упорядоченные сверхрешетки во многом определяется стабильностью золь наночастиц в процессе испарения растворителя. Подбор растворителя для обеспечения медленной дестабилизации позволяет получать трехмерные сверхрешетки нанокристаллов с дальним порядком (до 100 мкм).

Сегодня пространственно-упорядоченные массивы еще не нашли широкого использования в технике, однако уже рассматриваются вопросы их применения для *устройств хранения информации* со сверхвысокой скоростью записи, оптических позиционно-чувствительных *на-носенсоров* и люминесцентных панелей. К тому же, согласно даже самым скромным оценкам развитие подходов самосборки и технологическое применение самоорганизованных массивов наноструктур позволит выйти на качественно новый уровень в развитии *наноиндустрии* и информационных технологий.

Литература:

1. Poole C.P., Owens F.J. Introduction to Nanotechnology. Wiley-Interscience, 2003. P. 400
2. Rotello V. Nanoparticles: Building Blocks for Nanotechnology (Nanostructure Science and Technology), Springer, 2003. P. 300.
3. D.Talapin C.Murray // Science, 2005, 310, 86-89