

НАНОСТЕРЖНИ (Nanorods)

«...Отец приказал сыновьям, чтобы жили в согласии; они не слушались. Вот он велел принести веник и говорит:

– Сломайте! Сколько они ни бились, не могли сломать. Тогда отец развязал веник и велел ломать по одному пруту.

Они легко переломали прутья поодиночке. Отец и говорит:

– Так-то и вы: если в согласии жить будете, никто вас не одолеет; а если будете ссориться да все врозь – вас всякий легко погубит».

Сказка

Наномир богат широким спектром одномерных структур, и первыми в этом ряду, несомненно, являются наностержни. Почему именно они? Да хотя бы потому, что из всех одномерных наноструктур для наностержней характерно самое малое отношение длины к диаметру: порядка 10, при этом длина находится в интервале от 1 до 100 нм. В отличие от *нанонитей*, наностержни являются более жесткими, и в тоже время, более упругими нанообъектами. Кроме того, часто они имеют огранку подобно *нанокристаллам*. Наглядно наностержни отличаются от нанонитей так же, как карандаши от проволоки.

Для получения металлических (Au, Fe, Cu, Ag и т.д.) и полупроводниковых (ZnO, GaN, TiO₂, SnO₂ и т.д.) наностержней, как правило, используют те же приемы, что и для прочих одномерных наноструктур: *вискеров*, *нанонитей* и т.д. Наностержни обладают всеми свойствами объемного материала, вместе с тем, анизотропная форма, а также возможность получать упорядоченные, одинаково ориентированные массивы наностержней с контролируемой длиной, формой и диаметром сечения, а также плотностью расположения на подложках определенного типа (рис. 1) создает дополнительные преимущества для конструирования устройств на их основе.

Малое число атомов в наностержнях и геометрическая анизотропия приводит к появлению у них свойств, характерных для 1D систем (см. *Размерные эффекты*).

Области применения наностержней самые разнообразные. Так, в биомедицинской диагно-

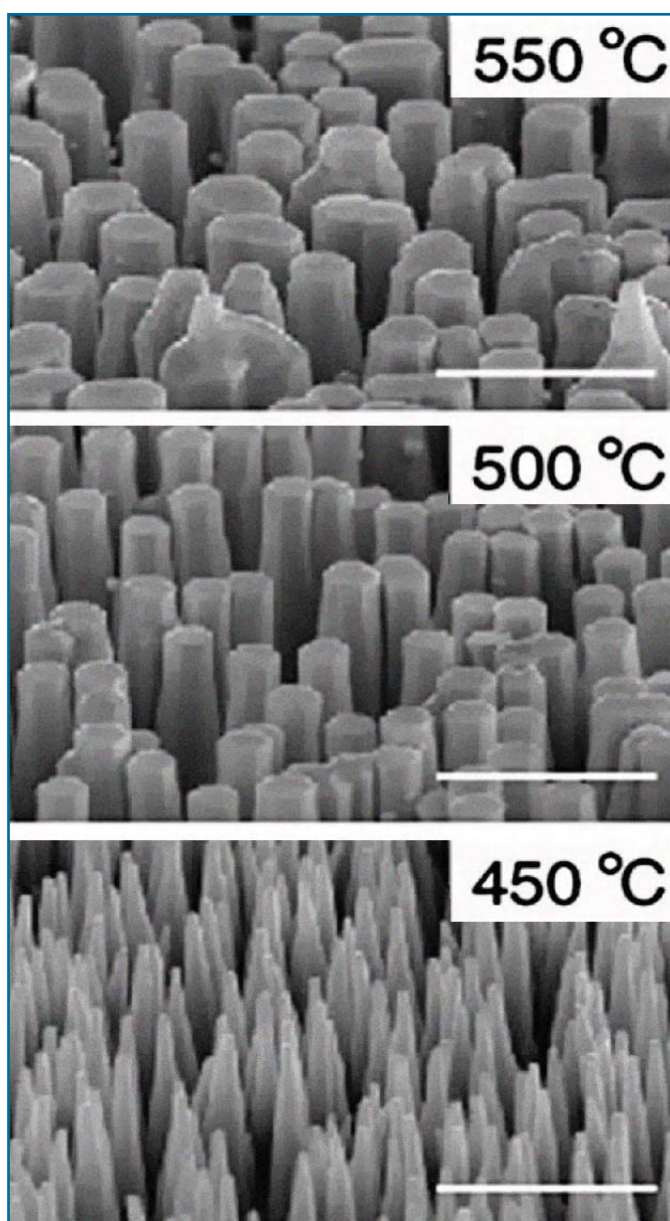


Рис. 1. Контролируемый рост упорядоченных наностержней GaN: зависимость морфологии наностержней от температуры роста. Масштабная метка: 500 нм

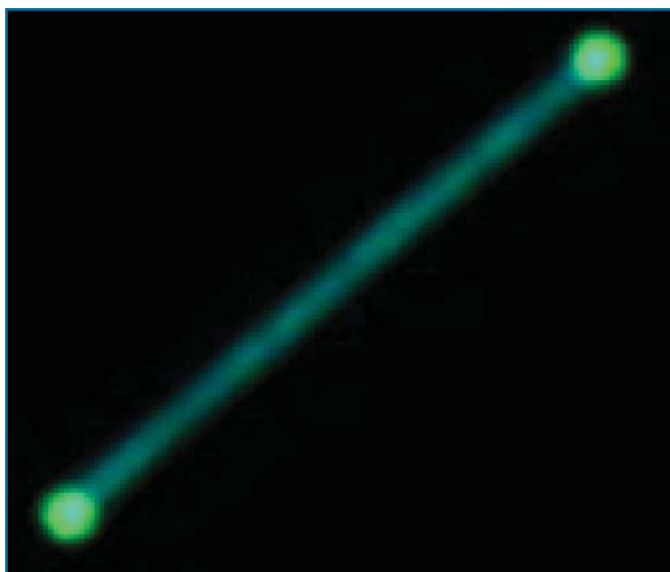


Рис. 2. Фотолуминесценция отдельного наностержня CdS

стике наностержни можно использовать в качестве маркеров. Например, при облучении лазером золотые наностержни светятся в 60 раз сильнее, чем флуоресцентные красители, используемые в стандартных методах визуализации. Наличие двух характеристических размеров (диаметра и длины стержня) приводит к появлению двух резонансных частот в спектрах поглощения металлических наностержней (см. *Плазмонный резонанс*) и спектрах испускания полупроводниковых наностержней, что может быть использовано в оптических переключателях и штрих-кодах. Кроме того, наностержни можно использовать для создания лазеров, фотодетекторов, преобразователей частот, волноводов и в солнечных элементах. Так, на основе наностержней CdS

были созданы солнечные батареи. Наностержни помещали в слой полимерного полупроводника, который, в свою очередь, находился между двумя электродами. Общая толщина такой системы составила 200 нм, что примерно на порядок меньше толщины традиционной кремниевой солнечной батареи. Еще одно необычное применение связано с анизотропными оптическими свойствами наностержней. Изменяя ориентацию наностержня по отношению к прикладываемому электрическому полю, можно регулировать отражательную способность стержня, что делает возможным производство дисплеев со значительно улучшенным качеством картинки. Каждый элемент изображения (пиксель) на таком дисплее состоит из остроконечного устройства нанометрового масштаба и характеризуется более ярким свечением (рис. 2).

Недавно стало известно о возможности использования золотых наностержней для усовершенствования жидкокристаллических дисплеев (ЖКД). Одно из неудобств ЖКД – искажение изображения и цвета при определенном угле обзора. Использование золотых наностержней позволяет создать ЖКД, поглощающие свет, тогда как традиционные ЖКД построены на принципе изменения фазы световой волны. Интересным является и тот факт, что при осаждении наностержней, в зависимости от их концентрации в растворе, могут образовываться как изотропные, так и упорядоченные структуры, подобные жидким кристаллам: двумерные нематические, двумерные смектические и трехмерные нематические (рис. 3), что может в значительной степени определять свойства такого упорядоченного материала. Поэтому, глядя на наностержни, так и хочется сказать: «Вместе они – сила!».

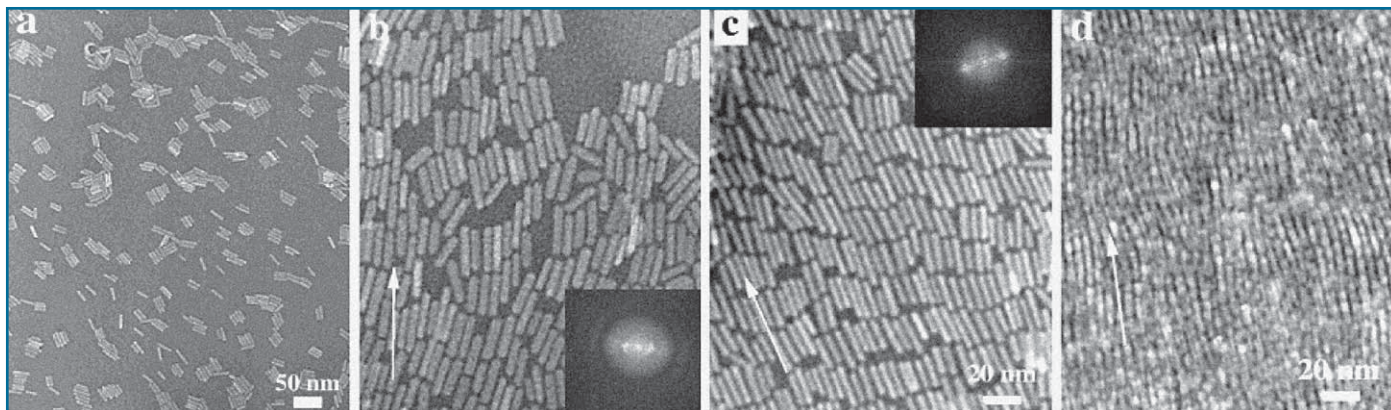


Рис. 3. Пространственно-упорядоченные массивы наностержней $BaCrO_4$

Литература:

1. Kim H.-M., Kang T.W., Chung K.S., Hong J.P., Choi W.B. Chem. Phys. Lett. 2003. Vol. 377. P. 491–494.