



ДОСТИЖЕНИЯ КИТАЯ В СФЕРЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

CHINA'S ACHIEVEMENTS IN FIELD OF NANOTECHNOLOGY

Ж. Чжун* / zry1988510@126.com
R.Zhong*

Нанотехнологии формируют новый мир электронных, магнитных и оптических приборов, в которых используется наноразмерный эффект. Китайские ученые активно участвуют в развитии наноиндустрии. В данной статье описаны некоторые достижения в сферах, связанных с исследованиями наноструктур, получением наноматериалов и созданием наноприборов.

Nanotechnology creates a new world of electronic, magnetic and optical devices that use nanoscale phenomena. Chinese scientists are actively involved in nanotechnology development. This article describes some achievements in areas related to the studies of nanostructures, nanomaterials and the creation of nanodevices.

На сегодняшний день более 50 университетов, 20 институтов Китайской академии наук (CAS), а также 300 компаний занимаются исследованиями и развитием нанотехнологий. В частности, центры исследований и разработок в сфере нанотехнологий открыты в Китайской академии наук, Университете Цинхуа, Пекинском университете, Наньцзинском университете, Восточно-Китайском университете науки и технологий.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР

Последние достижения в наноиндустрии и нанотехнологиях в значительной степени связаны с новой возможностью измерять и изменять структуры на наноуровне. Сканирующие зонды, оптические пинцеты, электронные микроскопы и другие доступные современным исследователям устройства и инструменты позволяют создавать новые структуры, регистрировать новые эффекты и исследовать передовые технологии.

Группа исследователей в Институте химии Китайской академии наук разработала собственные конструкции сканирующего туннельного микроскопа (STM), сканирующего атомно-силового микроскопа (AFM), микроскопа баллистической электронной эмиссии (BEEM – ballistic electron emission microscope), низкотемпературного сканирующего туннельного микроскопа (LT-STM), сверхвысоковакуум-

ного сканирующего туннельного микроскопа (UHV-STM), ближнепольного оптического микроскопа (SNOM) и других приборов, которые интенсивно используются для исследования структур в нанодиапазоне [1]. В Пекинском университете разработаны и сконструированы система UHV-SEM-STM-EELS (UHV – сверхвысоковакуумный, SEM – сканирующий электронный микроскоп, STM – сканирующий туннельный микроскоп, EELS – спектроскопия характеристических потерь энергии электронами) и низкотемпературный ближнепольный оптический микроскоп (LT-SNOM). Также там создана система, сочетающая ближнепольную спектроскопию и классические оптические методы, что позволило исследовать структуру раковых клеток.

Институт химии и Лаборатория вакуумной физики Китайской академии наук еще в начале 1990-х годов начали исследовать с помощью сканирующих туннельных микроскопов поверхностные литографические процессы в нанодиапазоне и даже в атомном диапазоне [1, 2]. Например, они создали надпись "CAS" и изображение карты Китая с записанным иероглифами названием страны (см. рисунок). Эти достижения способствовали популяризации исследований в сфере нанотехнологий.

В конце 1990-х годов группа ученых из Института химии Китайской академии наук достигла хороших результатов в самосборке органических молекул [3]. Группа ученых из

* Российский Университет Дружбы Народов / People's Friendship University of Russia.

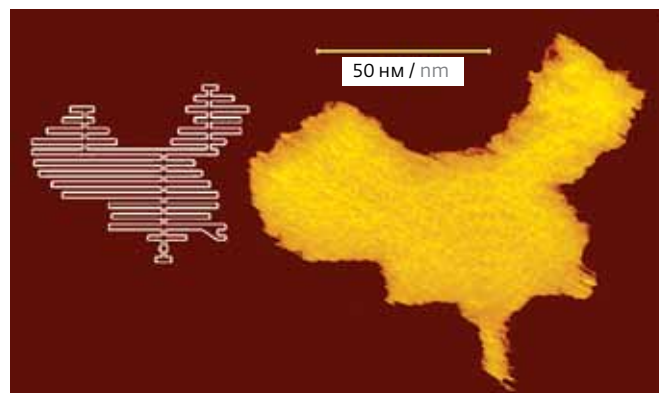
Университета наук и технологий Китая исследовала молекулу фуллерена C_{60} с помощью сканирующего туннельного микроскопа при сохранении позиционного и ориентационного порядков [4].

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В сфере синтеза наночастиц интересно достижение Института физики твердого тела Китайской академии наук, который получил наноксид на основе кремния SiO_{2-x} с удельной поверхностью $640 \text{ м}^2/\text{г}$ и в сотрудничестве с частными компаниями организовал производство мощностью 100 тонн. Восточно-Китайский университет науки и технологий создает производство $CaCO_3$ мощностью 150 тыс. тонн в год, в основе которого была пилотная производственная линия мощностью 3 тыс. тонн. Пекинский университет достиг хороших результатов в получении нанопорошка никеля и совместно с крупнейшим китайским производителем элементов питания изучает возможности применения данного материала [5]. Разработки Университета Тяньцзинь сделали Китай второй страной, где промышленным путем был изготовлен металлический нанопорошок. Университет химической инженерии Циндао накопил богатый опыт исследования и разработки медного катализатора.

В настоящее время в Китае эксплуатируются более 20 линий мощностью не менее нескольких тонн по производству нанопорошков. В их число входят наноксиды (ZnO , TiO_2 , SiO_2 , ZrO , MgO , Co_2O_3 , NiO , Cr_2O_3 , MnO_2 , Fe_2O_3 , и т.д.), нанометаллы и наносплавы (Ag , Pd , Cu , Fe , Co , Ni , Ti , Al , Ta , $Ag-Cu$, $Ag-Sn$, $In-Sn$, $Ni-Al$, $Ni-Fe$, $Ni-Co$ и т.д.), нанокarbonаты (W_2C_3 , SiC , TiC , ZrC , NbC , B_4C_3 , и т.д.), нанонитриды (Si_3N_4 , AlN , Ti_3N_4 , BN , и т.д.).

В области синтеза полупроводниковых материалов, ученые в Университете науки и технологий Китая разработали способ гидротермального



Цянь Лулу. Модель карты Китая, выполненная из ДНК (источник: Китайский Научный Бюллетень, декабрь 2006, т. 51, № 24) Qian Lulu. Analogic China map constructed by DNA (source: Chinese Science Bulletin. Dec 2006. Vol. 51, No. 24)

синтеза кристаллов нитрида галлия [6]. В частности, при температуре 300°C был получен кристалл нитрида галлия размером 30 нм. Группа исследователей также создала экономически эффективный метод каталитического пиролиза алмазного порошка [7]. Посредством реакции, локализованной в нанотрубке, группа исследователей из Университета Цинхуа создала "одномерную" нанопроволоку нитрида галлия, которая имеет диаметр от 4 до 50 нм и длину до 25 мкм [8]. Также возможен синтез других нитридных нанопроволок посредством схожих реакций, локализованных в нанотрубке.

Группа ученых из Института исследования металлов Китайской академии наук методом электроосаждения синтезировала нанокристаллы меди высокой чистоты и плотности [9]. Удлинение выше 5000% без возникновения напряжений наблюдалось, когда образец медного нанокристалла деформировали при комнатной температуре. Этот эффект демонстрирует новые возможно-



сти для научных и технологических достижений в сфере нанокристаллических материалов.

ПРОИЗВОДСТВО НАНОУСТРОЙСТВ

Несколько групп в Китае изучали туннелирование электрона, в том числе одноатомных соединений, эффект блокады Кулона при комнатной температуре с использованием сверхвысоковакуумного микроскопа и высокоэффективных оптоэлектрических детекторов. Университет Цинхуа создал устройства MOS-типа размером 100 нм, а также ряд интегрированных сенсоров, микродвигателей и микронасосов на кремниевой базе [10]. Также разработаны новые устройства и микросистемы с использованием 3D-литографии. Институт полупроводников Китайской академии наук разработал сенсоры, основанные на поглощении инфракрасных квантовых точек, а также полупроводниковый лазер на квантовых точках [11]. Прототип полевого эмиссионного дисплея (field emission display) на основе нанотрубок был создан в Университете транспорта г. Сянь. Он уже прошел испытания длительностью 3,8 тыс. ч.

В сотрудничестве с Пекинским университетом Китайская академия наук исследовала устройства хранения информации со сверхвысокой плотностью записи на основе органических материалов. Диаметр элементов полученной тонкой органической пленки NBPDA составил 1,3 нм в 1997 году, 0,7 нм в 1998 году, и, наконец, 0,6 нм в 2000 году [12]. Эти результаты были на порядок лучше, чем достигнутые учеными из других стран. Научные группы из Пекинского университета применили бинарный композитный материал ТЕА/ТСNQ в качестве материала для хранения данных и получили элементы диаметром 8 нм. Университет Фудань создал высокоскоростное запоминающее устройство, используя бистабильные тонкие пленки, и синтезировал несколько запатентованных органических мономеров в качестве материалов для интегральных схем.

В заключение можно отметить, что правительство Китая уделяет большое внимание развитию нанотехнологий. Однако нередко финансирование оказывается недостаточным, поэтому ожидается, что в будущем инвестиции будут расти. Уже создан Национальный руководящий комитет по нанотехнологиям, в который входят специалисты из Министерства наук и

технологий, Государственной комиссии по развитию и планированию, Министерства образования, Китайской академии наук, Инженерной академии Китая, Национального фонда естественных наук Китая и других организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bai C.L. Scanning tunneling microscopy and its applications. – Springer Verlag, Second Edn., Heidelberg, 2000. P. 73–109.
2. Wang C., Bai C.L. Evidence of diffusion characteristics of field emission electrons in nanostructuring process on graphite surface. – Applied Physics Letters, 1997. P. 348–350.
3. Qiu X., Wang C., Zeng Q.D., Xu B., Yin S.X., Wang H.N., Xu S.D., Bai C.L., Chem J.Am. Growth of WS₂ Nanotubes Phases. – Soc, 2000. Vol. 122. P. 5550–5556.
4. Hou J.G., Yang J.L., Wang H.Q., Li Q.X., Zeng C.G., Yuan L.F., Wang B., Chen D.M., Zhu Q.S. Topology of two dimensional C₆₀ domains. – Nature, 2001. Vol. 409. P. 304–394.
5. Center for Nanochemistry, Peking University. [Электронный ресурс] URL: <http://www.chem.pku.edu.cn/cnc/cn/xjcg/zl/index.shtml>.
6. Xie Y., Qian Y.T., Wang W.Z., Zhang S.Y., Zhang Y.H. Large-scale synthesis of single-phase, high-quality GaN nanocrystallites. – Science, 1996. Vol. 272. P. 1926.
7. Li Y.D., Qian Y.T., Liao H.W., Ding Y., Yang L., Xu C.Y., Li F.Q., Zhou G. A reduction-pyrolysis-catalysis synthesis of diamond. – Science, 1998. Vol. 281. P. 246–247.
8. Han W., Fan S., Li Q., Hu Y. Use of id semiconductor materials as chemical sensing materials, produced and operated close to room temperature. – Science, 1997. Vol. 277. P. 1287–1289.
9. Lu L., Sui M.L., Lu K. Anomalous Fatigue Behavior and Fatigue-Induced Grain Growth in Nanocrystalline Nickel Alloys. – Science, 2000. Vol. 287. P. 1463–1465.
10. Institute of Microelectronics of Tsinghua University. [Электронный ресурс] URL: <http://dns.ime.tsinghua.edu.cn/yjkf/kycg.htm>.
11. Pan D., Zeng Y.P., Kong M.Y., Wu J., Zhu Y.Q., Zhang C.H., Li J.M., Wang C.Y. Differential matched filter architecture for spread spectrum communication systems. – Electronics Letters 1996. Vol. 32. P. 1726–1728.
12. National Center for Nanoscience and Technology. [Электронный ресурс] URL: <http://www.nanoctr.cas.cn/kycg/cgjs/>.