

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Сверхпроводимость и квантовая информатика

Большинство кандидатов на роль физических носителей квантовых битов (кубитов) представляют собой микроскопические объекты (электроны, атомы, ионы) или фотоны. Сверхпроводниковые же кубиты, которым посвящен недавний обзор [1] (Франция, США), напротив, являются макроскопическими системами (рис. 1А), основанными, впрочем, на сугубо квантовых явлениях: сверхпроводимости (бездиссипативном протекании электронов, объединенных в куперовские пары) и эффекте Джозефсона (туннелировании куперовских пар через диэлектрический барьер). Джозефсоновский контакт приносит нелинейность и превращает сверхпроводящий контур в “искусственный атом” с дискретными уровнями энергии (рис. 1В), формирующими базисные состояния кубита. В зависимости от формы потенциальной энергии как функции потока магнитного поля через площадь контура различают зарядовый, потоковый, фазовый и другие типы кубитов (рис. 1С).

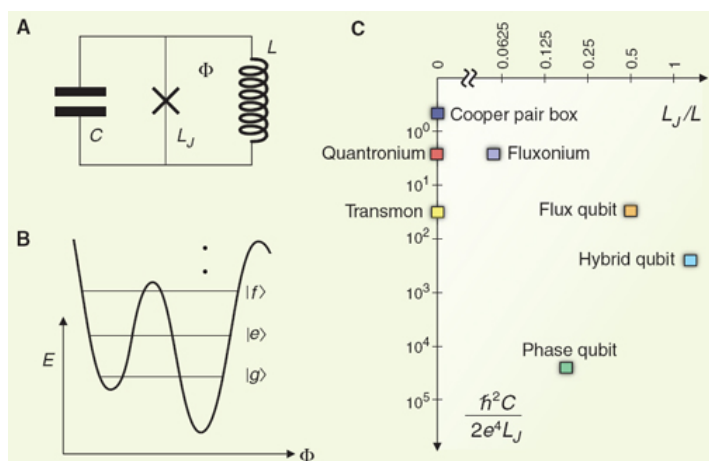


Рис. 1. А - Сверхпроводниковый кубит можно рассматривать как простую электрическую цепь с параллельно включенными емкостью C , джозефсоновским туннельным элементом (крестик) и индуктивностью L . Φ – поток магнитного поля через контур. В - Потенциальная энергия E как функция потока Φ и энергетические уровни кубита. С - Тип кубита определяется формой кривой $E(\Phi)$, которая, в свою очередь, зависит от конкретных величин емкости C и индуктивностей L_J , L .

Сверхпроводниковые кубиты сохраняют когерентность в течение ~ 100 мкс. За это время с ними можно выполнить несколько сотен или даже тысяч операций. Одной из основных проблем на пути создания из них реальных многокубитных устройств является неизбежная (чисто технологически) вариация параметров от кубита к кубиту – в отличие от, например, ионов в магнитной ловушке, которые все абсолютно идентичны, потому что созданы Природой, а не нашими руками. Будем надеяться, что эту проблему удастся так или иначе решить. В остальном же достигнутый за последние годы прогресс впечатляет (рис.2).

И далее ...

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Фрустрация в квантовых точках

ГРАФЕН

Получение бездефектного графена методом химической эксфолиации

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 3 Нанопористые кристаллы
- Электронные свойства семейства бобовых

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 5 Наноструктуры в природе. Почему у моллюска такие крепкие зубы?

МАГНИТЫ

- 6 Магнитная рыбалка для “левых” и “правых” молекул

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Переход с изменением валентности в YbAgCu_4 по данным XAS и XMCD

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Нанокompозит на основе полипропилена с добавкой УНТ

- 8 КОНФЕРЕНЦИИ

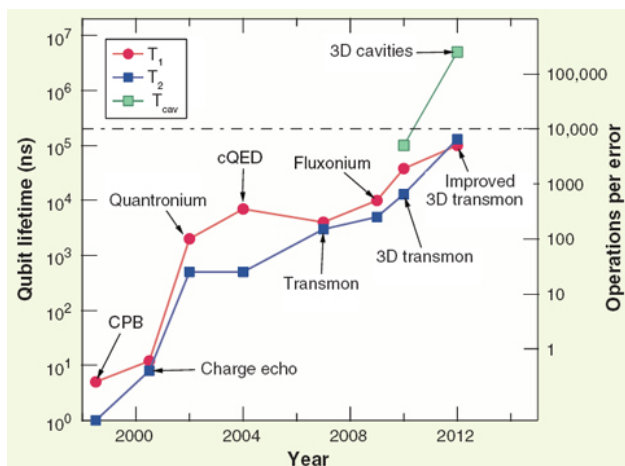


Рис. 2. Аналог закона Мура для сверхпроводниковых кубитов: экспоненциальное увеличение времени жизни кубитов и количества операций с ними за это время.

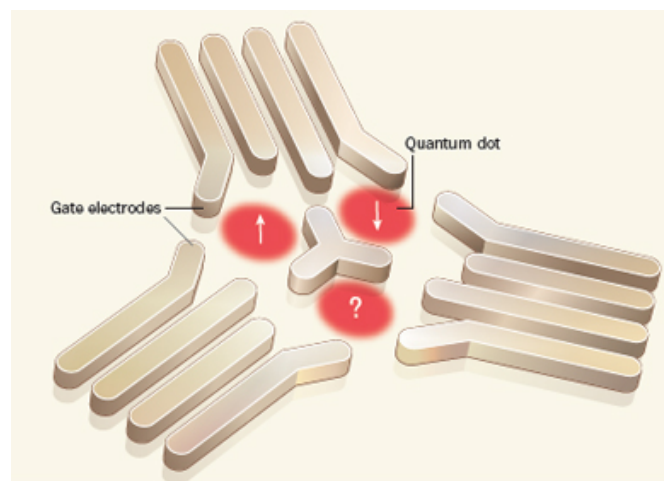
Л.Опенев

I. M.H.Devoret, R.J.Schoelkopf, Science 339, 1169 (2013).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Фрустрация в квантовых точках

Состояние фрустрации возникает, когда взаимно противоречивые требования не могут быть удовлетворены одновременно (классический пример: осел находящийся строго посередине между двумя абсолютно одинаковыми стогами сена, не может решить, к какому из них ему подойти, и остается голодным). Фрустрация имеет место во многих физических и биологических объектах: нейронных сетях, белках и пр. В твердых телах она наблюдается у магнитных материалов с конкурирующими взаимодействиями между локальными магнитными моментами (спинами).



Геометрическая фрустрация в равностороннем треугольнике из трех квантовых точек. При антиферромагнитном взаимодействии спинам двух соседних квантовых точек энергетически выгодно ориентироваться в противоположных направлениях. Но тогда спин третьей точки оказывается фрустрирован, так как не может быть направлен противоположно каждому из двух других спинов.

В работе [1] экспериментально исследованы свойства простейшей фрустрированной твердотельной системы – трех равноудаленных друг от друга квантовых точек (см. рис.). В такой системе основное состояние шестикратно вырождено, и поэтому энтропия при $T \rightarrow 0$ отлична от нуля. Из-за сложности контроля электронных спинов в квантовых точках авторы [1] изучали фрустрацию зарядовых состояний (изоспинов), определяющихся четностью количества носителей заряда в каждой точке. Детальный анализ систем такого рода позволит лучше понять и свойства макроскопических фрустрированных систем, включая спиновый лед, квантовые спиновые жидкости и пр.

По материалам заметки "A frustrated trio", S.Andergassen, Nature 495, 321 (2013).

I. M.Seo et al., Phys. Rev. Lett. 110, 046803 (2013).

ГРАФЕН

Получение бездефектного графена методом химической эксфолиации

Возможность реализации огромного потенциала прикладного использования графена в электронике и других современных высокотехнологичных направлениях определяется тем, насколько эффективно удастся производителям образцов графена справиться с проблемой структурных дефектов. Наличие дефектов снижает подвижность носителей в графене, лишая графен тех привлекательных особенностей, которые делают его незаменимым элементом будущих наноэлектронных систем. Кроме того, электронные характеристики различных образцов графена, содержащих структурные дефекты, отличаются друг от друга даже в том случае, если эти образцы имеют одинаковые размеры. По этим причинам проблеме получения графеновых листов с минимальным содержанием дефектов уделяется значительное внимание.

Некоторого продвижения на этом пути достигли сотрудники Jawaharlal Nehru Univ. (Индия) [1], которые разработали способ получения бездефектного монослойного графена в результате химической эксфолиации. В качестве исходного материала использовали высокоориентированный пиролиитический графит (HOPG), небольшие кусочки которого помещали в органический растворитель, в состав которого входили тетрагидрофуран (THF), N,N-диметилформамид (DMF) и пропиленкарбонат (PC), имеющие существенно различные температуры кипения (70°C, 160°C и 200°C, соответственно) и диэлектрические постоянные (7, 40 и 64, соответственно). В результате обработки ультразвуком и последующего центрифугирования полученной эмульсии однослойные и малослойные чешуйки графена оказывались на поверхности, в то время как более массивные частицы осаждались на дно сосуда. Капли суспензии, содержащие чешуйки,

Перст, 2013, том 20, выпуск 6

наносили на подложку, которую в течение 30 мин нагревали при температуре, превышающей точку

кипения растворителя. Это приводило к испарению растворителя.

Растворитель	Положение D-пика, см ⁻¹	Ширина D-пика, см ⁻¹	Положение G-пика, см ⁻¹	Ширина G-пика, см ⁻¹	Положение 2D-пика, см ⁻¹	Ширина 2D-пика, см ⁻¹	Отношение интенсивностей I _D /I _G	Отношение интенсивностей I _G /I _{2D}
PC	1340	31	1591	45	2677	56	0.25	0.39
DMF	1340	69	1577	75	2718	77	0.44	0.47
THF	Нет	Нет	1580	32	2692	44	Нет	0.63

Число слоев в графеновых хлопьях определялось на основании анализа микрофотографий, которые отличались друг от друга контрастом изображения для различного числа слоев, а также на основании спектров комбинационного рассеяния (КР). Эти же спектры использовали для анализа содержания дефектов в образцах. Параметры указанных спектров приведены в таблице. Как видно из представленных в таблице данных, образцы, выделенные при использовании в качестве растворителя THF, практически не содержат дефектов. Это следует из отсутствия в спектре КР D-пика, наличие которого указывает на присутствие дефектов. Такой результат может быть обусловлен низкой температурой кипения THF и, соответственно, температурой термообработки, при которой не происходило образования дефектов в структуре графена. Кроме того, возможно, что относительно низкая диэлектрическая постоянная THF способствует бездефектному росту графеновых слоев, поскольку в этом случае минимально влияние поляризации пограничных областей графена.

С целью создания конфигурации полевого транзистора графеновые хлопья переносили стандартным способом на подложки Si и SiO₂. В качестве электродов стока в таком приборе служили медные полоски длиной 2 и шириной 5 мкм, наносимые методом электроннолучевой литографии. Затворное напряжение подавали через сильно легированный Si в геометрии обратного затвора. Все электрические измерения проводили в условиях умеренного вакуума (10⁻² мбар). Обработка результатов этих измерений показывает, что концентрация носителей в образцах, полученных при использовании в качестве растворителя THF, составляет ~ 10¹² см⁻², в то время как для растворителя PC величина этого параметра достигает 10¹³ см⁻². Такое различие связано с высокой степенью функционализации графена в PC, полученного при более высокой температуре.

А.Елецкий

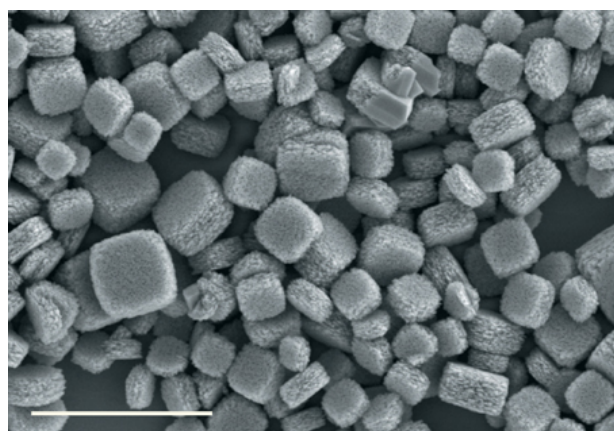
1. P.K.Srivastava, S.Ghosh, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 043102 (2013).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Нанопористые кристаллы

Для изготовления солнечных батарей требуются материалы с большой удельной площадью поверхности и высокой электропроводностью. Первому условию

удовлетворяют композиты из частиц нанометровых размеров. Но границы раздела наночастиц сильно подавляют электронный транспорт. В работе [1] сотрудников Univ.of Oxford (Великобритания) предложено сетку наночастиц заменить монокристаллами с порами диаметром ~ 10 нм. Авторы [1] разработали технологию изготовления таких кристаллов и опробовали ее на примере TiO₂ (см. рис.).



Нанопористые монокристаллы TiO₂. Длина масштабной линейки 5 мкм.

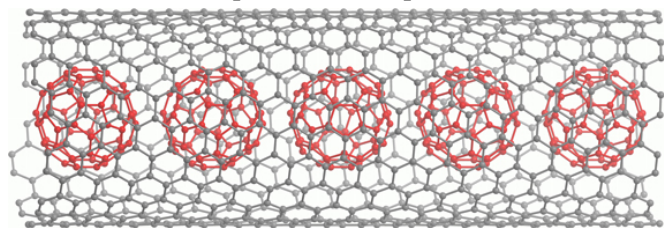
Сконструированные ими солнечные батареи имеют рекордный коэффициент преобразования световой энергии в электрическую (7.4 %). Есть надежда, что путем надлежащего допирования TiO₂ удастся создать приборы, работающие не только в ультрафиолетовом, но и в видимом диапазоне спектра.

1. E.J.W.Crossland et al., *Nature* **495**, 215 (2013).

Электронные свойства семейства бобовых

Пиподы (peapods – горошины в стручках) – один из самых необычных классов гибридных наноматериалов, впервые открытый (синтезированный экспериментально) в 1998 г. [1]. Они представляют собой эндоздральные комплексы из квазиодномерных наноструктур – углеродных нанотрубок, во внутренней полости которых размещены квазинульмерные системы – фуллерены (см. рис.). Очевидно, что такая сложная молекулярная комбинация должна обладать специфическими для данного класса соединений характеристиками, отличными от свойств, как изолированных фуллеренов, так и углеродных нанотрубок. В работе [2] затрагиваются электронные свойства пиподов. Авторам удалось получить отдельные образцы, состоящие из полупроводниковых нанотрубок и фуллеренов C₆₀, ко-

торые они в дальнейшем исследовали с помощью ряда экспериментальных методик (рамановская спектроскопия и магнитотранспортные измерения), а также компьютерного моделирования.



Углеродный пипод: упорядоченный одномерный ансамбль фуллеренов C_{60} , инкапсулированный в углеродную нанотрубку с хиральностью (10,12)

В результате оказалось, что внедрение фуллеренов существенно влияет на электронные свойства нанотрубок, по сути, превращая изначально полупроводниковые нанотрубки в металлические наноструктуры. Дальнейшие эксперименты по влиянию ультрафиолетового лазерного излучения на характеристики пиподов продемонстрировали, что ультрафиолет вызывает частичную интеграцию фуллеренов внутри нанотрубки в более крупные кластеры. Тем самым, нарушается периодичность в их расположении, что приводит к резкому падению проводимости образцов. Таким образом, допирование углеродных нанотрубок фуллеренами и возможность изменения их проводимости посредством излучения может оказаться полезным при создании различных электронных устройств.

М.Маслов

1. B.W.Smith et al., *Nature* **396**, 323 (1998).

2. V.Prudkovskiy et al., *Carbon* **57**, 498 (2013).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Наноструктуры в природе. Почему у моллюска такие крепкие зубы?



Биологические системы создали иерархически структурированные материалы, которые по механическим свойствам часто превосходят композиты, сделанные человеком. О некоторых “уроках природы” уже рассказывалось в ПерсТе – например, о сверхпрочной паутине [1] или мощной конечности рака-богомла [2]. Другой, не менее интересный образец природного нанокомпозита – прочные зубы панцирного моллюска *Cryptochiton Stelleri*, показанного на фотографии. Американские ученые детально исследовали, какие фазовые и структурные преобразования происходят при формировании этих зубов, содержащих магнитный минерал магнетит [3].

Криптохитон Стеллера – самый крупный моллюск. Длина некоторых экземпляров достигает 30 см, а вес – 2 кг. Он обитает на каменистых грунтах и ска-

лах у берегов Тихого океана в Охотском, Японском и Беринговом морях. Раковина криптохитона состоит из восьми пластинок, обросших мантией. С помощью мускулистой ноги (кстати, съедобной) моллюск плотно прикрепляется к камням. Для соскребания и измельчения водорослей и другой подобной пищи в ротовой полости имеется специальный аппарат – радула (рис. 1). Это длинная лента (подобная ленте конвейера), на которой находится 70-80 параллельных рядов зубов. Передние ряды зубов постепенно изнашиваются, но сзади непрерывно растут новые! Таким образом, на радуле представлены все стадии развития зуба, и это дает идеальную модельную систему для исследований динамики биоминерализации.

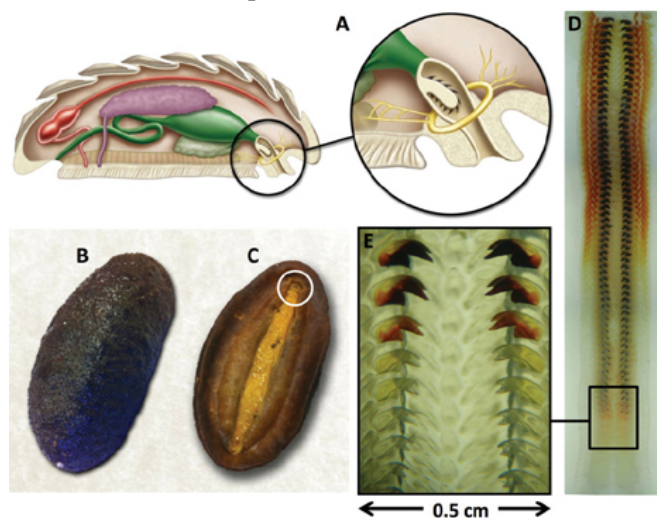


Рис. 1. *Cryptochiton Stelleri*. А – схематический вид сборки; кружком выделена радула. В, С – фотографии верхней и брюшной сторон моллюска, соответственно; кружком выделена радула. D – фотография радулы целиком. E – часть радулы с зубами на ранней стадии минерализации. [3]

Магнетит был впервые идентифицирован в зубах хитона Х.Ловенстамом (H.Lowenstam) в 1962 г.*[4]. Это было очень важное открытие, ведь весьма вероятно, что именно магнетит определяет чувствительность животных к геомагнитному полю. Однако в течение многих лет специалисты утверждали, что этот минерал может образоваться только при высоких температурах и давлениях, и объясняли его присутствие в зубах хитона поступлением неорганических частиц из окружающей среды. Только последующие систематические исследования биоминерализации, которые проводили Х.Ловенстам и его ученики, доказали, что магнетит образуется в самом организме. (Правда, пока считается, что магнетит зубам хитона нужен преимущественно для твердости, но, возможно, впереди новые открытия...).

Применение современных методик с использованием рентгеновского синхротронного излучения, а также методов электронной микроскопии позволило авторам [3] получить новые данные о фазовых и структурных превращениях, приводящих к образо-

ванию магнетита во внешней оболочке зуба (рис. 2-4). Ученые выделили 4 стадии развития зуба. Сначала образуется органический структурный каркас из хитиновых волокон. Затем на этом каркасе вырастают агрегаты нанокристаллов ферригидрита. Третья стадия – твердофазное превращение ферригидрита в магнетит (в первую очередь на передней, режущей кромке зуба). На четвертой стадии происходит дальнейший рост нанокристаллов магнетита и образование параллельных наностержней, что и определяет твердость и прочность минерализованных зубов. Хитиновый матрикс в этом тоже играет важную роль, т.к. влияет на плотность агрегатов нанокристаллов магнетита, а также на диаметр и кривизну образующихся наностержней.

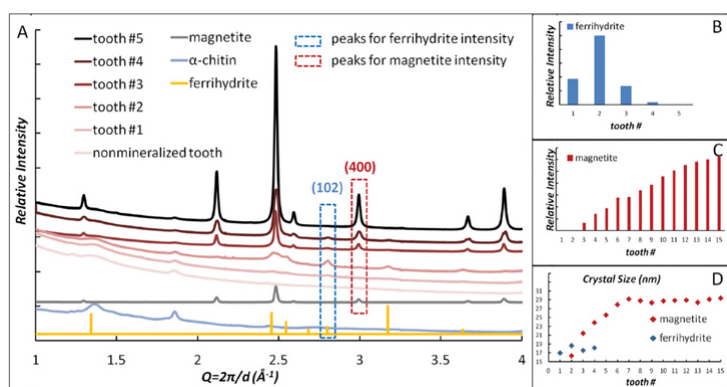


Рис. 2. Качественная картина фазовых переходов на ранних стадиях минерализации радулы. А – дифракционные пики для неминерализованного зуба и пяти последующих зубов. В, С – относительные интенсивности ферригидрита и магнетита, соответственно. D – изменение размеров нанокристаллов ферригидрита и магнетита в зубах с разной степенью минерализации.

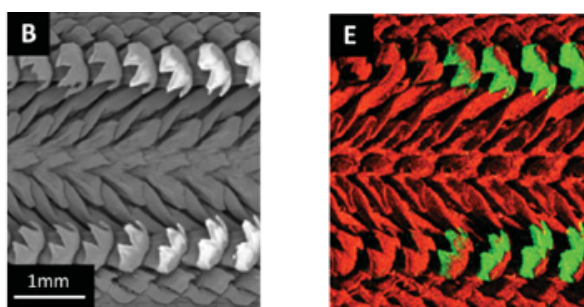


Рис. 3. SEM изображение (В) и данные энергодисперсионного анализа (Е), показывающие распределение С и Fe (зеленый цвет) при переходе зуба в частично минерализованное состояние

Авторы исследований обнаружили, что рост размеров нанокристаллических агрегатов сопровождается уменьшением диаметра волокнистого матрикса. На рис. 4А, В видно, что на волокнах начинают формироваться нанокристаллы диаметром ~ 41 нм. Их размер резко (до 74 нм) возрастает для зуба №2 (рис. 4С, D), в котором по данным рентгеновской микроскопии и дифракции (с использованием синхротронного излучения) начинается фазовое превращение ферригидрит – магнетит. Рост агрегатов продолжается до 90 нм для зуба №3 (рис. 4Е, F) и

107 нм для зуба №4 (рис. 4G, H). В полностью минерализованном зубе №5 из этих агрегатов образуются параллельные наностержни диаметром 171 нм (рис. 4I, J). Диаметр органических волокон уменьшается от 37 нм в зубе №1 до 20 нм в зубе №4. В полностью минерализованном зубе их нельзя различить с помощью SEM.

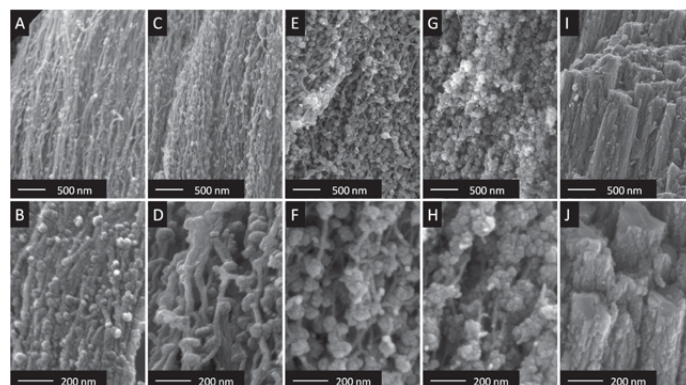


Рис. 4. Последовательные стадии образования наностержней магнетита при минерализации зуба. SEM изображения части поверхности зуба №1(А, В); №2(С, D); №3(Е, F); №4(Г, H); №5(І, J).

Н. Lowenstam и др. авторы ранних исследований считали, что магнетит практически равномерно распределен по оболочке зубов моллюска. В работе [3] показано, что минерализация и образование магнетита начинается на передней, режущей кромке зубов, что и определяет ее более высокую прочность по сравнению с задней кромкой. Таким образом, зуб криптохитона – нанокомпозит с разными механическими свойствами в разных частях твердой оболочки. Формирование этого удивительного материала происходит при комнатной температуре, в условиях окружающей среды. Авторы [3] надеются, что результаты исследований помогут им создавать различные неорганические кристаллические наноструктуры и керамику с требуемым градиентом твердости.

** Интересна история этого открытия. Работая в Калифорнийском технологическом институте, Х. Ловенстам изучал известняки в зоне прилива и обнаружил на них следы разрушения – параллельные полосы от зубов хитона. Это было странно, т.к. известняк гораздо тверже хитина, из которого, как считалось, состоит радула моллюсков. При внимательном осмотре зубов радулы Ловенстам обнаружил твердый темный материал, который позже идентифицировал как магнетит [4].*

О.Алексеева

1. ПерсТ 19, вып.17, с.2 (2012).
2. ПерсТ 19, вып.19, с.3 (2012).
3. Q.Wang et al., Adv. Funct. Mater. Online 16 Jan. 2013 DOI: 10.1002/adfm.201202894 (2013)
4. Дж. Киривинк и др., Биогенный магнетит и магниторецепция. М.: Мир, 1989.

МАГНИТЫ

Магнитная рыбалка для “левых” и “правых” молекул

Известно, что энантиомеры (хиральные молекулы) обладают идентичными физическими и химическими свойствами, исключая оптическое вращение. Поэтому разделение энантиомеров является нетривиальной задачей. Наиболее распространенные методы разделения хиральных молекул заключаются в использовании хроматографии и техники электроразделения, являющейся весьма дорогой, как по стоимости оборудования, так и по необходимым для подготовки образцов времени и усилиям. Эта же процедура может быть осуществлена проще и имеет большие преимущества в случае использования магнитных наночастиц.

Разделение энантиомеров с помощью магнитного поля оказалось возможным благодаря сферическим частицам силикагеля радиусом 270 нм, содержащим магнетит Fe_3O_4 (magnetic silica nanoparticles (MSNPs)) [1, 2]. Ввиду схожести процесса с рыбалкой (где разные рыбы клюют на разную приманку) магнитную селекцию молекул авторы назвали рыбалкой (рис. 1). Процесс селекции энантиомеров заключается в том, что используют два вида наночастиц: магнитные и немагнитные. При этом “правые” энантиомеры (рис. 2b) прилипают к магнитным частицам, а левые (рис. 2a) – к немагнитным. Это происходит в силу разной поверхностной анизотропии наночастиц, покрытых двуокисью кремния.

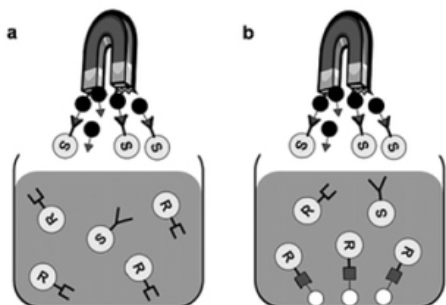


Рис. 1. Избирательная абсорбция наночастиц, притянувших “левые молекулы”.

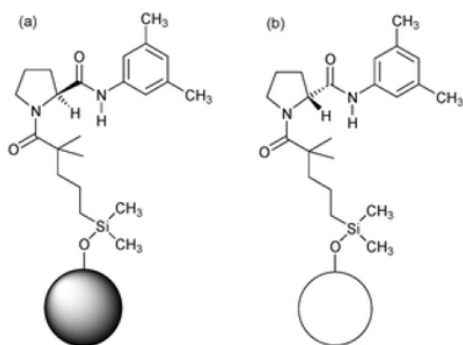


Рис. 2. Структуры хиральных левых (a) и правых (b) молекул CBDMPC (целлюлоза-2,3-бис(3,5-диметилфенилкарбамат)), селективно выбираемых из смеси с помощью магнитных наночастиц.

Результат поочередного “окутывания” наночастиц сначала в шубу силикагеля, а затем и “налипание”

хиральных молекул показан на рис. 3, из которого видно увеличение диаметра частицы по мере добавления внешних слоев органических веществ.

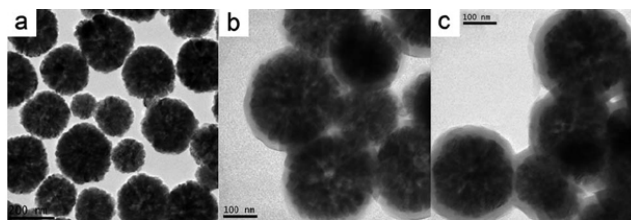


Рис. 3. Изображения наночастиц в электронном микроскопе: a – Fe_3O_4 ; b – $\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{SiO}_2$; c – $\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{SiO}_2+\text{CBDMPC}$.

Отметим, что окончательного понимания физических механизмов магнитной селективности у авторов нет, поскольку абсорбция управляема электродипольными ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями и, строго говоря, должна быть нечувствительна к наличию магнитного поля. Это делает тем более интересным данное направление, поскольку оставляет простор для поиска и понимания физических принципов “магнитной рыбалки”.

О.Коплак

1. H.J.Choi, M.H.Hyun, *Chem. Commun.* No.42, 6454 (2009).

2. Y.Wei et al, *J. Mater. Chem.* 22, 8499 (2012).

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Переход с изменением валентности в YbAgCu_4 по данным XAS и XMCD

Соединение YbAgCu_4 известно как тяжелофермионная система с эффективной массой $\sim 60m_0$ и температурой Кондо $T_K \sim 70\text{--}200\text{ K}$. Ранее магнитные измерения в сильных полях до 50 Тл при низких температурах обнаружили широкий метамгнитный переход, который ассоциировался с возможным валентным переходом. Однозначное экспериментальное доказательство этому получено недавно в работе [1], где сообщается об XMCD исследованиях (рентгеновский магнитный круговой дихроизм) YbAgCu_4 в сильных импульсных магнитных полях до 35 Тл. На рис. 1 показаны спектры поглощения YbAgCu_4 вблизи L_3 -края Yb, из которых видно, что доля состояний Yb^{+2} уменьшается с ростом температуры.

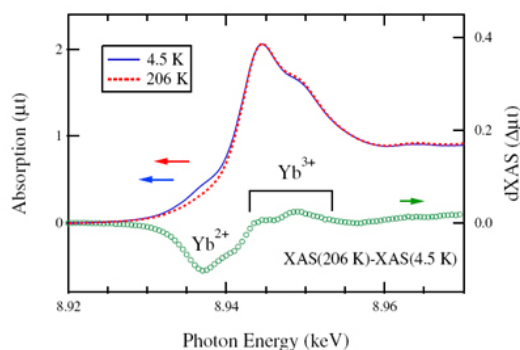


Рис. 1. Спектры поглощения YbAgCu_4 вблизи L_3 -края Yb при двух температурах (левая шкала) и их разность (правая шкала).

На рис. 2 показаны спектры магнитного кругового дихроизма при разных величинах внешнего поля. Внизу изображен спектр поглощения в нулевом поле, показывающий, что XMCD наблюдается в области белой линии поглощения ионов Yb^{+3} , сигнал XMCD положителен и растет с величиной магнитного поля пропорционально намагниченности. Ион Yb^{+3} характеризуется конфигурацией f^{13} , полным моментом $J=7/2$, спином $S=1/2$, и орбитальным моментом $L=3$. В тоже время Yb^{+2} характеризуется конфигурацией f^{14} , полным моментом $J=0$, спином $S=0$ и орбитальным моментом $L=0$. Слабый отрицательный сигнал XMCD в области энергий 8.932 кэВ мог бы быть приписан состояниям Yb^{+2} , но этот вариант отпадает, поскольку пик поглощения для Yb^{+2} лежит при 8.936 кэВ. Теоретический анализ в рамках однопримесной модели Андерсона привел авторов [1] к выводу о квадрупольной природе слабого отрицательного пика XMCD.

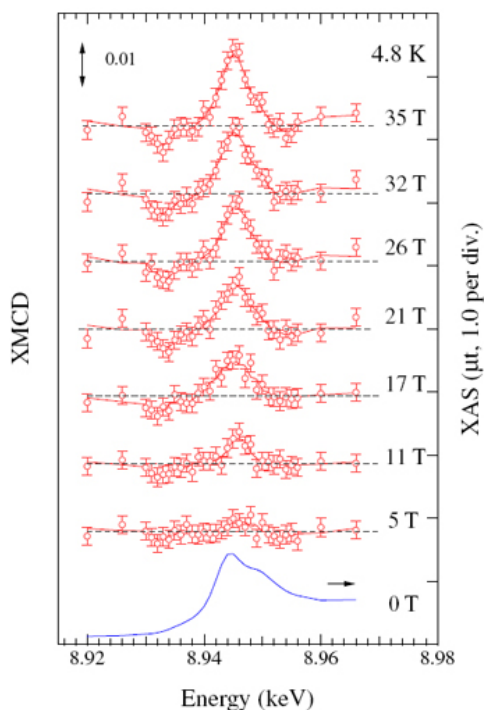


Рис. 2. Спектры XMCD YbAgCu_4 вблизи L_3 -края Yb при различных величинах магнитного поля; внизу спектр XAS в отсутствие поля.

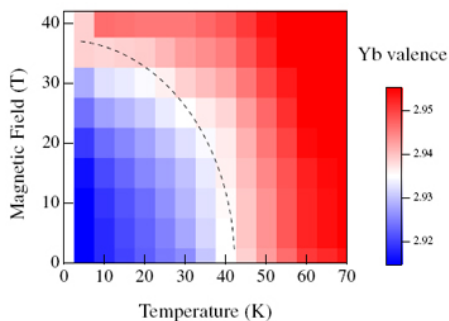


Рис. 3. Карта распределения валентности ионов Yb на плоскости (температура - магнитное поле), полученная из данных рентгеновской спектроскопии. Пунктиром показана разделительная линия, найденная из температурной зависимости намагниченности во внешнем магнитном поле.

На рис. 3 показана карта распределения валентности в зависимости от температуры и магнитного поля, найденная из анализа спектров рентгеновского поглощения (XAS) и XMCD. Видно, что граница перехода с изменением валентности совпадает с результатами магнитных измерений.

С.Овчинников

I. T.Nakamura et al., J. Phys. Soc. Jpn. 81, 114702 (2012).

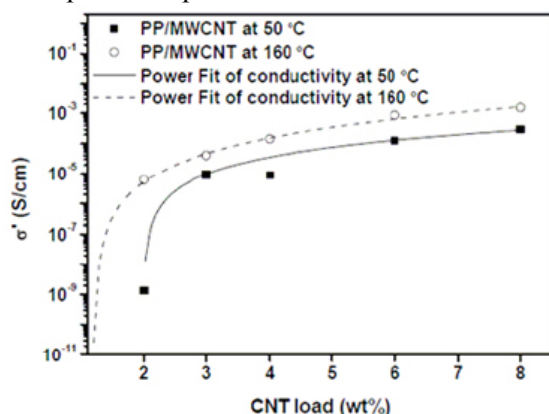
ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Наноккомпозит на основе полипропилена с добавкой УНТ

Как известно, присадка к полимеру небольшого количества углеродных нанотрубок (УНТ) придает материалу новые качества, что открывает возможности новых применений. В частности, уже нескольких процентов УНТ достаточно, чтобы перевести материал из класса диэлектриков в класс проводников. Кроме того, добавление УНТ, обладающих рекордными прочностными характеристиками, может существенно улучшить как механические, так и оптические свойства материала. Широкому распространению композитных материалов на основе полимеров с присадкой УНТ препятствуют два обстоятельства. Во-первых, улучшение механических свойств материала за счет присадки УНТ достигается только в том случае, если осуществляется достаточно прочный контакт между поверхностью нанотрубки и полимерной матрицей. В противном случае нанотрубка в полимере ведет себя подобно волосу в пироге, и ее присутствие не столько улучшает, сколько ухудшает механические свойства композита. Наряду с движением нанотрубок внутри матрицы, вызванным механической нагрузкой, возможно также движение слоев нанотрубки друг относительно друга, что также не способствует повышению механической прочности композитного материала. Во-вторых, для успешной модификации электрических, механических и оптических характеристик композита в результате присадки УНТ необходимо обеспечить эффективное диспергирование нанотрубок в объеме материала. Этому препятствует тенденция нанотрубок к образованию жгутов, наличие которых вряд ли способствует улучшению механических свойств материала. Кроме того, в силу относительно малой длительности процесса полимеризации и высокой вязкости полимеров в жидком состоянии, решение проблемы диспергирования наталкивается на значительные технические трудности. Преодолеть указанные трудности удастся лишь небольшому ряду исследовательских групп из огромного числа коллективов, вовлеченных в проблему создания композитов с присадкой УНТ.

Многие аспекты указанных выше проблем детально анализируются на основании экспериментов, выполненных недавно в Univ. of San Sebastian (Испа-

ния) [1]. С целью получения композита к тщательно высушенному (вакуум, 80°C, 2 ч) порошку коммерческого изостатического полипропилена со средней молекулярной массой 440000 добавляли просушенный (вакуум, 100°C, 2 ч) порошок многослойных УНТ диаметром 30-50 нм и длиной 10-20 мкм. Мелкодисперсную однородную смесь перемешивали в течение 10 мин при 180°C и частоте 100 об/мин, после чего изготавливали образцы в виде таблеток, которые охлаждали до комнатной температуры. Результаты исследований образцов композита, выполненных методом дифференциальной сканирующей калориметрии, указывают на слабую зависимость кинетики кристаллизации композита от содержания присадки.



При измерениях электрических свойств материала использовали образцы толщиной 0.4 мм. Измерения проводили при постоянном напряжении 1 В, а также при напряжении, меняющемся с частотой 20 Гц. На рисунке показаны зависимости электропроводности образцов композита σ от содержания УНТ φ , измеренные при различных температурах. Эти зависимости хорошо согласуются со стандартным выражением $\sigma = \sigma_0(\varphi - \varphi_c)^t$, которое описывает явление перколяционной проводимости. Здесь σ_0 – эмпирический параметр, φ_c – перколяционный порог проводимости, величина которого составляет 1.2% и 2% (по массе) для температур 160°C и 50°C, соответственно, а показатель степени $t = 2.7$ и 1.8 для указанных температур. Результаты измерений указывают на существенную температурную зависимость электропроводности композита. Поскольку температура 160°C превышает точку кристаллизации полимера (~120°C), такую зависимость можно объяснить снижением степени однородности рас-

пределения УНТ по материалу в результате кристаллизации.

А.Елецкий

1. A.Huegun et al., *Nanomaterials* 3, 173 (2013).

КОНФЕРЕНЦИИ

V Euro-Asian Symposium “Trends in Magnetism”: Nanomagnetism (EASTMAG-2013), 15-21 September 2013, Vladivostok, Russia

Topics:

- Fundamental Properties and Cooperative Phenomena
- Magnetic Nanostructures and Films
- Low-Dimensional Magnetism and Nanomaterials
- Magnetism of Strongly Correlated Electron Systems
- Magnetotransport and Magneto-optics
- Magnetoelectronic Materials and Effects
- Dynamics of Domain Structures and Domain Walls
- Spin Polarized Transport and Spin Transfer Torque
- Spin Dynamics, Spin Waves, Spin-Wave Resonance
- Spin Reorientation Phase Transitions
- Spin-Orbit and Exchange Interactions, Magnetic Anisotropy and Magnetostriction
- Magnetic Microscopy, Imaging, and Advanced Experimental Techniques
- Magnetic Memories, Sensors, MEMS and Magnetic Devices
- Biomagnetism

Important Dates

April 30, 2013 - deadline for registration and Abstract submission.

E-mail: eastmag5@gmail.com

Web: <http://eastmag.wl.dvfu.ru/>

Eighth International Conference on Magnetic and Superconducting Materials (MSM13), 2-5 September 2013, Hammamet, Tunisia

Topics

- A - Superconductivity
- B - Magnetism, nano-magnetism, surface and interface phenomena

Important Dates

Abstract submission deadline: **April 19, 2013**

E-mail: msm13.tunisia@gmail.com

Web: <http://msm-2013.com>

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой
ИФТТ РАН и НИЦ «Курчатовский институт»

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: irina@issp.ras.ru

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, А.Елецкий, О.Коплак,

М.Маслов, С.Овчинников, Л.Опенков,

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а