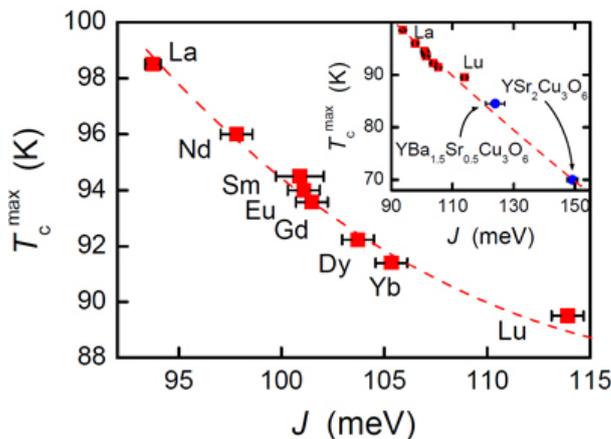


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Нечувствительность критической температуры купратных ВТСП к магнитным взаимодействиям

Если справедлива гипотеза о магнитном механизме спаривания носителей заряда в купратных ВТСП, то энергия спаривающих бозонов $\hbar\omega_B$ должна определяться величиной энергии $J \sim 100$ мэВ антиферромагнитного обменного взаимодействия спинов на ближайших атомах меди. Так как $\hbar\omega_B$ тем больше, чем больше J , а критическая температура (по крайней мере, в пределе слабой связи) $T_c \sim \hbar\omega_B$, то логично ожидать увеличения T_c с ростом J . Однако эксперимент рисует диаметрально противоположную картину: выполненный в работе [1] (Италия, Германия, Новая Зеландия) систематический анализ взаимосвязи T_c и J в купратных ВТСП $\text{LnA}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ с $A = \text{Ba, Sr}$ и $\text{Ln} = \text{La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Yb, Lu}$ показал, что T_c , напротив, уменьшается с ростом J (см. рис.).



Антикорреляция максимальной (соответствующей оптимальному допированию) критической температуры ВТСП $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ с различными Ln и обменной энергии антиферромагнитного взаимодействия.

Однако отбрасывать магнитный механизм сверхпроводимости ВТСП пока рано, поскольку авторы [1] поступают не вполне корректно, сравнивая критические температуры T_c оптимально допированных ($\delta \approx 0$) образцов с обменными энергиями J в недопированных ($\delta = 1$) образцах. А ведь известно, что допирование купратов приводит к очень существенному (в несколько раз) уменьшению J , причем масштаб этого уменьшения для разных ВТСП может оказаться разным, в результате чего характер зависимости T_c от J изменится качественно.

Л. Опенов

I. V. Mallett et al., E-print at LANL, [arXiv:1202.5078v1](http://arxiv.org/abs/1202.5078v1)

И далее ...

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Трехкубитная коррекция квантовых ошибок в сверхпроводниковой цепи

ГРАФЕН

Мембраны из оксида графена

- 3 “Немножко недвумерный” графен

Еще один способ вырастить графен

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 4 Туннельный полевой транзистор из графеновой гетероструктуры

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 5 Наночастицы диоксида титана в пищевых добавках

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- 6 Сегнетоэлектричество в биологических тканях

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- 7 Определение молекулярных потенциалов

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 8 Угловое распределение электронов при холодной полевой эмиссии углеродных нановолокон
- 9 Прозрачные проводящие пленки на основе нанотрубок

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

Нанoeлектроника

- 10 КОНФЕРЕНЦИИ

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Трехкубитная коррекция квантовых ошибок в сверхпроводниковой цепи

По мере увеличения количества кубитов в квантовых вычислительных устройствах возрастает и вероятность ошибки. Для регистрации и исправления этих ошибок предложены специальные алгоритмы [1]. Один из таких алгоритмов, основанный на применении операции Тоффли к запутанному трехкубитному состоянию, использован в работе [2] (США, Нидерланды) для коррекции квантовых ошибок в системе из сверхпроводниковых потоковых кубитов. Корректирующая операция осуществляется за время 68 нс, а ее точность составляет около 80%.

1. P.W.Shor, *Phys. Rev. A* **52**, 2493 (1995).

2. M.D.Reed et al., *Nature* **482**, 382 (2012).

ГРАФЕН

Мембраны из оксида графена

Графен и его производные рассматриваются как перспективные материалы для изготовления мембран, используемых в фильтрах и сепараторах. В работе [1] (Великобритания, Китай) исследовано проникновение различных газов и жидкостей через мембраны из пленок оксида графена (graphene oxide, GO) толщиной $h = (1 \div 10)$ мкм. Эти пленки имеют слоистую структуру и состоят из плоских кристаллитов с поперечными размерами L несколько микрон и расстоянием между ними $d \approx 1$ нм (рис. 1).

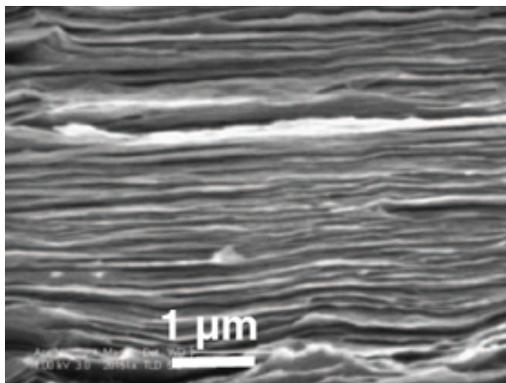


Рис. 1. Поперечное сечение пленки GO.

Эксперимент проводили так. Пленку GO наносили на медную фольгу, стравливали медь в области, имеющей форму круга диаметром около 1 см (в результате чего получалась мембрана из GO), и плотно закрывали этой мембраной металлический контейнер. Заполняя контейнер различными газами (He , H_2 , N_2 , Ar) с небольшим избыточным давлением $\Delta P < 100$ мбар, авторы [1] обнаружили, что в пределах погрешности измерений величина ΔP остается неизменной в течение нескольких суток, то есть мембраны из GO являются практически непроницаемыми для газов. Например, для гелия пропускающая способность мембраны из GO субмикронной толщины как минимум на четыре порядка меньше, чем у стеклянной мембраны толщиной 1

мм. При исследовании проникновения через мембрану молекул жидких веществ контейнер заполняли жидкостью и измеряли его вес как функцию времени. Если бы испаряющаяся жидкость проникала через мембрану, то вес контейнера уменьшался бы. Но для всех изученных жидкостей (этанол, гексан, ацетон, декан, пропанол) вес оставался неизменным в течение 7 суток. Как ни странно, единственное исключение из этого правила составила обычная вода. Скорость ее испарения из контейнера с мембраной из GO толщиной $h = 1$ мкм была практически такой же, как из открытого контейнера (рис. 2).

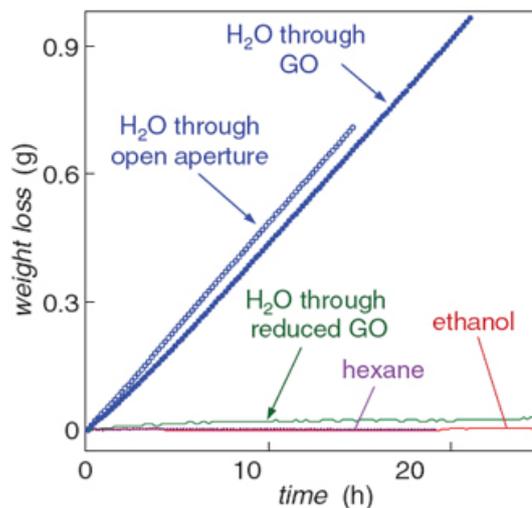


Рис. 2. Потеря веса контейнером с мембраной из GO толщиной 1 мкм при испарении различных жидкостей. Приведены также данные для испарения воды из открытого контейнера и из контейнера с мембраной из восстановленного GO. $T = 300$ К.

Только при увеличении h до нескольких микрон наблюдалось некоторое уменьшение скорости испарения, которая, тем не менее, оставалась на 10 порядков больше, чем для гелия. Частичное восстановление GO путем отжига при 250°C в смеси водорода и аргона ведет к уменьшению скорости испарения приблизительно в 100 раз (рис. 2).

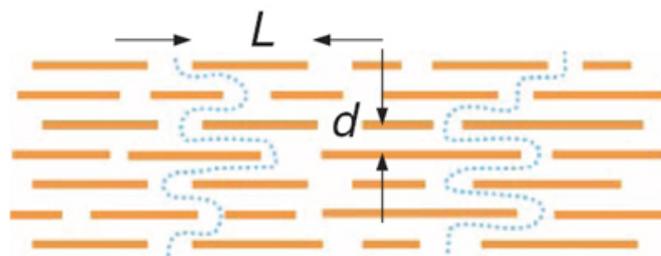


Рис. 3. Схематическое изображение предполагаемого пути проникновения воды через мембрану из GO. $L/d \sim 1000$.

При этом межслоевое расстояние d в GO уменьшается от 1 нм до 0.4 нм. Детальные исследования показали, что резкое изменение проницаемости GO для воды происходит при $d \approx 0.7$ нм. Эффект является полностью обратимым по отношению к изменению d . Для объяснения полученных результатов авторы [1] высказывают предположение, что не-

окисленные участки графена образуют в GO системе капилляров, через которые (при условии их достаточной ширины) и проникает вода, формируя в них монослой,двигающийся сквозь мембрану почти без трения (рис. 3). Мембраны из GO могут, таким образом, использоваться не только как барьерные пленки, но и для селективного удаления воды из различных газов и жидкостей.

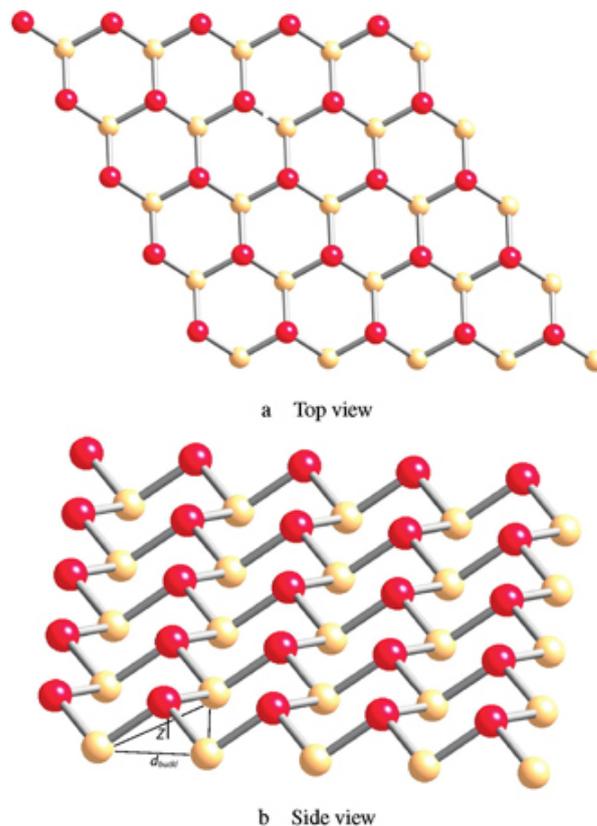
Л.Опенюв

1. R.R.Nair et al., *Science* **335**, 442 (2012).

“Немножко недвумерный” графен

В 30-х годах прошлого века Пайерлс и Ландау показали, что 2D кристаллы термодинамически неустойчивы, поскольку короткодействующие тепловые флуктуации приводят к очень большому (сравнимому с межатомными расстояниями) сдвигу атомов в поперечном направлении. Позже это утверждение было сформулировано как теорема Мермина-Вагнера. Экспериментальный синтез монослоев графена (а также его кремниевого и германиевого аналогов – силицена и германена) требует сделать выбор: или общепризнанная теория неверна, или графен “не совсем двумерный”. Обычно для разрешения этого противоречия предполагается, что либо 2D кристаллиты находятся в метастабильном состоянии, либо структура графена стабилизируется длинноволновыми (~ 10 нм) поперечными смещениями с небольшой амплитудой. В работе [1] (Россия, Великобритания) предложен альтернативный вариант примирения теории с экспериментом: поперечные смещения *соседних* атомов углерода в противоположных направлениях. Используя модель Изинга на гексагональной решетке с взаимодействием между ближайшими и следующими за ближайшими соседями (направления спинов ассоциируются с направлениями атомных смещений), авторы [1] показали, что при уменьшении температуры в графене последовательно происходят структурные переходы беспорядок-порядок и порядок-беспорядок. Упорядоченное состояние имеет полосковую структуру (см. рис.). Электронный энергетический спектр при этом остается бесщелевым. При низких температурах формируется состояние спинового стекла, когда дальний порядок в смещениях атомов отсутствует. Все сказанное относится, однако, лишь к “свободному” (suspended) графену. Если же графен находится на подложке, но не очень сильно с ней взаимодействует, то вертикальные смещения атомов могут при определенных условиях привести к возникновению диэлектрической “минищели” шириной 10–40 мэВ. Минищель появляется также и в перпендикулярном электрическом поле. Следствием наличия минищели является ряд интересных эффектов, таких как генерация постоянного электрического тока при воздействии СВЧ-излучения со смесью двух различных гармоник. В [1] предсказано также существование в графене с

минищелью “миниэкситонов” и фермиевских “миниполяритонов” нового типа. Теперь остается только экспериментально подтвердить “недвумерность” графена и родственных ему материалов. Уже имеющиеся в литературе данные [2, 3] представляются весьма обнадеживающими.



“Почти двумерная” структура графена стабилизируется за счет вертикальных смещений соседних атомов в противоположных направлениях относительно плоскости монослоя.

Л.Опенюв

1. A.O’Hare et al., *Nano Lett.* **12**, 1045 (2012).
2. A.Luican et al., *Phys. Rev. Lett.* **106**, 126802 (2011).
3. B.Aufray et al., *Appl. Phys. Lett.* **96**, 183102 (2010).

Еще один способ вырастить графен

Задача контролируемого синтеза графеновых слоев высокого качества является приоритетной для многих научных коллективов со всего мира. Еще один способ получения монокристаллических образцов графена изложили китайские исследователи [1]. Субмиллиметровые монослои авторы синтезировали при атмосферном давлении химическим осаждением из газовой фазы на медную фольгу. Подход достаточно традиционный, используемый и раньше, однако изюминка метода состоит в особой обработке подложки. Медную фольгу предварительно длительно отжигали с последовательным применением аргоно-водородной смеси и метана для подавления образования многочисленных центров кристаллизации. По мнению авторов, такая технология обеспечивает рост крупных монокристаллических образцов и позволяет контролировать сам процесс

синтеза, варьируя концентрацию газовой смеси, температуру и время отжига, скорость охлаждения. Полученные таким способом образцы исследователи подвергали окислению на воздухе. После такой процедуры яркие, покрытые графеном области становились видными невооруженным глазом на более темном фоне окисленной меди (рис. 1).

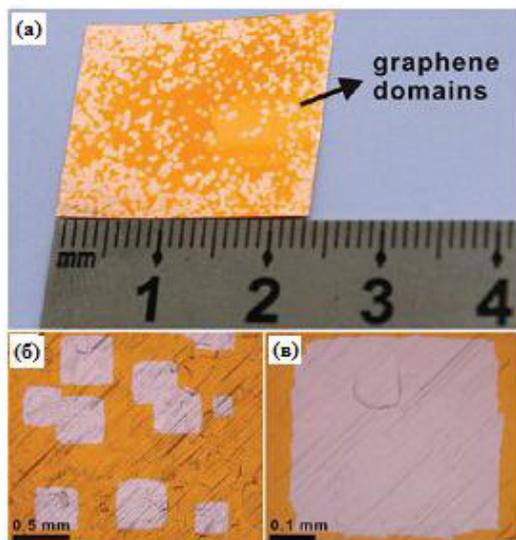


Рис. 1. Фотография листов графена на медной фольге (а). Увеличенные изображения графеновых листов, полученные с помощью оптического микроскопа (б, в).

Более детальные исследования продуктов синтеза и контроль их качества проводили с помощью сканирующей электронной микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, рамановской спектроскопии. В основном, полученные листы графена имеют форму квадрата с неровными зубчатыми краями, а их размеры достигают $0.4 \times 0.4 \text{ мм}^2$ (рис. 2), но авторы рассчитывают, что предлагаемый способ синтеза в дальнейшем можно адаптировать и для получения графенов другой формы, например, гексагональной.

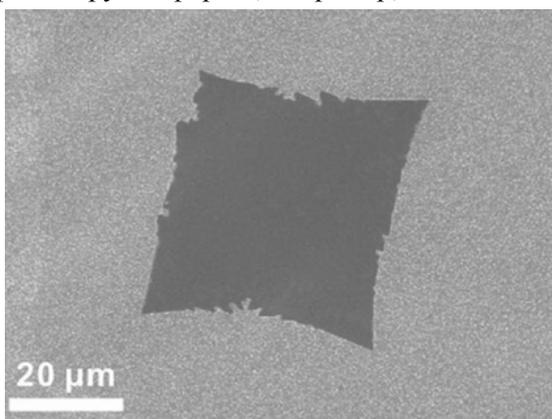


Рис. 2. Изображение образца графена, полученное с помощью сканирующей электронной микроскопии.

М. Маслов

1. H.Wang et al., *J. Am. Chem. Soc.* **134**, 3627 (2012).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Туннельный полевой транзистор из графеновой гетероструктуры

Из-за отсутствия в графене запрещенной энергетической зоны отношение токов I_{on}/I_{off} в открытом и закрытом состояниях транзисторов на основе графена очень мало и не превышает 10 при комнатной температуре. Этого достаточно для высокочастотных устройств и аналоговой электроники, но для цифровых (логических) интегральных схем такие транзисторы не годятся. Чтобы индуцировать в графене диэлектрическую щель, предлагалось использовать двухслойный графен, графеновые наноленты, различные химические модификации графена и пр. Однако особых успехов на этом пути достигнуто не было, поскольку ширина запрещенной зоны получалась слишком малой. В очередной работе группы Новоселова-Гейма [1] предложен альтернативный вариант графенового полевого транзистора, работа которого основана на квантовом туннелировании электронов из графенового электрода через тонкий ($\sim 1 \text{ нм}$) слой гексагонального нитрида бора $h\text{BN}$ (рис. 1А). Специфический линейный закон дисперсии электронов в графене (рис. 1В) приводит к тому, что плотность электронных состояний вблизи дираковской точки оказывается очень низкой, и поэтому при подаче на затвор напряжения V_g (рис. 1С), энергия Ферми в графеновом электроде E_F увеличивается гораздо быстрее, чем в обычном двумерном электронном газе с квадратичной дисперсией.

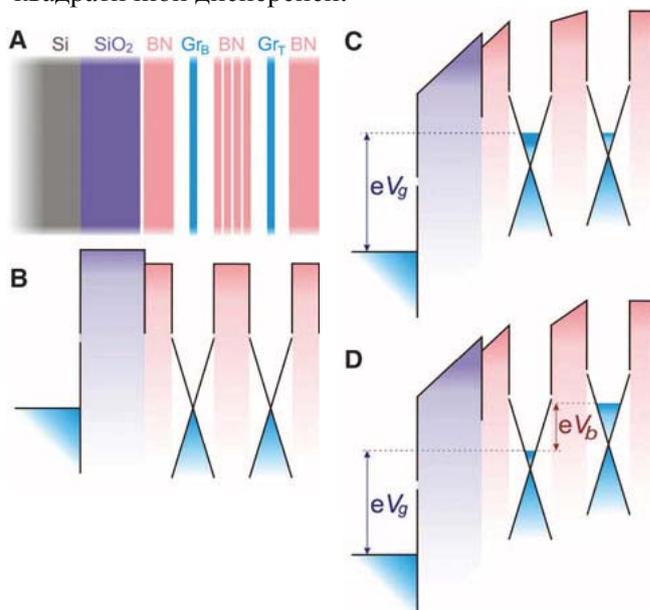


Рис. 1. (А) Схематическое изображение полевого транзистора с графеновыми электродами и затвором из гексагонального нитрида бора. (В-Д) Зонная структура в отсутствие напряжения на затворе; при конечном напряжении на затворе и нулевом напряжении смещения; при конечных значениях напряжения на затворе и напряжения смещения.

при конечном напряжении на затворе и нулевом напряжении смещения; при конечных значениях напряжения на затворе и напряжения смещения.

Туннельный ток, возникающий при конечном напряжении смещения V_b между графеновыми электродами Gr_B и Gr_T (рис. 1D), демонстрирует типичную для обычных полевых транзисторов зависимость от V_b (рис. 2).

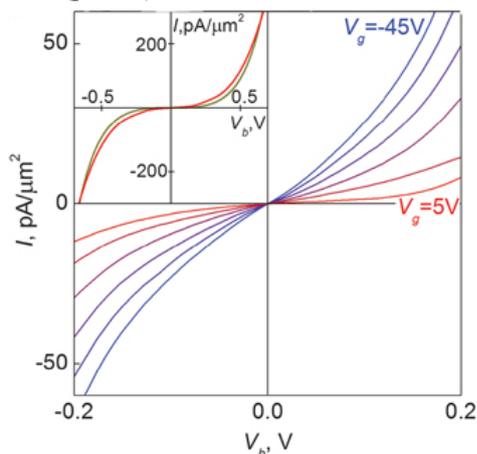


Рис. 2. Туннельные ВАХ гетероструктуры графен/ hBN с туннельным барьером hBN толщиной 6 ± 1 атомных слоев. Напряжение на затворе V_g изменяется с шагом 10 В. На вставке – сравнение экспериментальной (красная кривая) и теоретической (зеленая кривая) ВАХ при $V_b = 5$ В.

Следует отметить, что использование графена в качестве наружного электрода Gr_T обусловлено только удобством эксперимента, и в дальнейшем этот электрод может быть заменен на металлический. При $T = 300$ К отношение I_{on}/I_{off} составляет около 50 и практически не изменяется после охлаждения до температуры жидкого гелия, что объясняется большой (намного превышающей тепловую энергию) высотой туннельного барьера $\Delta \approx 1.5$ эВ, обусловленного наличием слоя hBN . Один из возможных путей дальнейшего увеличения I_{on}/I_{off} заключается в замене hBN на диэлектрик с чуть более узкой запрещенной зоной. Так, для транзисторов из графена с барьером MoS_2 ($\Delta \approx 1.3$ эВ) в [1] получено $I_{on}/I_{off} \approx 10^4$ при комнатной температуре. Этого уже вполне достаточно для транзисторов в логических схемах. Однако следует напомнить, что в современных кремниевых полевых транзисторах отношение I_{on}/I_{off} превосходит 10^7 . Кроме того, в предлагаемой конструкции огромные величины сопротивления между слоями графена и емкости между ними обуславливают исключительно большое RC-время задержки. Помимо этого, для логических элементов требуется создание аналога КМОП пар в кремниевой технологии.

1. L. Britnell et al., *Science* 335, 947 (2012).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наночастицы диоксида титана в пищевых добавках

Драже, крабовые палочки, жевательная резинка, пельмени, зубная паста, витамины – что общего в этих обычных продуктах? Оказывается, все они (и не только они) могут содержать “краситель” E171 –

диоксид титана. Эта добавка в России и многих других странах разрешена для применения в пищевой промышленности, в производстве лекарственных средств и средств гигиены. Как говорится в рекламе, диоксид титана E171 – *абсолютно безопасный белый порошок, способный придать эстетичный товарный вид многим продуктам*. Эта пищевая добавка используется “для отбеливания” в рыбной промышленности всех сортов рыбного филе, фарша, полуфабрикатов, кальмаров, крабовых палочек, в мясоперерабатывающей промышленности – сала, деликатесной продукции и др., в кондитерской и хлебопекарной промышленности – глазури, муки... Она часто присутствует в составе сухого молока и сливок для кофе, быстрых завтраков, даже тёртого хрена. Добавку E171 можно обнаружить в лекарствах (таблетках и капсулах), витаминах, в зубной пасте, солнцезащитном креме. Всего не перечислить.



Конечно, диоксид титана, замечательный белый пигмент, применяется не только в виде пищевой добавки E171. Он широко используется в производстве пластмассы, бумаги, резины, керамики, эмали. Производство диоксида титана составляет сейчас более 6 млн. тонн в год. С развитием нанотехнологий на рынке появился $nano-TiO_2$, обладающий уникальными фотокаталитическими свойствами. Производство $nano-TiO_2$ в 2010 г. составило 5000 тонн, и ожидается его экспоненциальный рост [1]. Хотя почти никто из производителей или многочисленных поставщиков E171 не указывает размеров частиц порошка, всё же в отдельных случаях можно найти информацию о **среднем** размере – 100, 200 нм. Значит, есть и более мелкие наночастицы. Часть этих “наноотходов”, несмотря на применение систем очистки сточных вод, конечно, попадёт в окружающую среду, и чем больше будет производиться диоксида титана, тем больше его будет в воде, воздухе, почве. Количество предсказать трудно. Пищевая добавка TiO_2 не обязательно указана в составе продукта, как и другие нанодобавки (см. ПерсТ [2]). Очень трудно оценить и риск для человека, особенно при попадании наноматериалов вместе с пищей в желудочно-кишечный тракт. На токсичность влияет форма, размер, кристаллическая структура (анатаз или рутил) [3]. Исследования токсичности до сих пор проводили на P25 TiO_2 . Это нанокристаллы < 50 нм и без покрытия. Их используют в основном в качестве фотокатализаторов. Конечно, объем производства TiO_2 (P25) гораздо меньше, чем TiO_2 (E171). Тем не менее, о свойствах последнего, так же как и о его количестве в продуктах, известно очень мало. Исследователи из США, Швейцарии и Норвегии начали заполнять этот про-

бел в знаниях [1]. У крупного поставщика в Италии они приобрели образец E171, у Evonik Degussa Corporation получили P25 (средний размер частиц 24 нм, состав 81% анатаз / 19% рутил). Кроме того, в марте 2011 г. они закупили в магазинах США 89 пищевых продуктов. В составе некоторых была указана добавка E171, в других можно было предположить её наличие (например, из-за белого цвета). Используя электронную микроскопию, авторы [1] определили размер частиц диоксида титана в E171 (рис. 1). Диапазон оказался очень широким – от 30 до 400 нм, и около 36% частиц были меньше 100 нм (по крайней мере, в одном измерении).

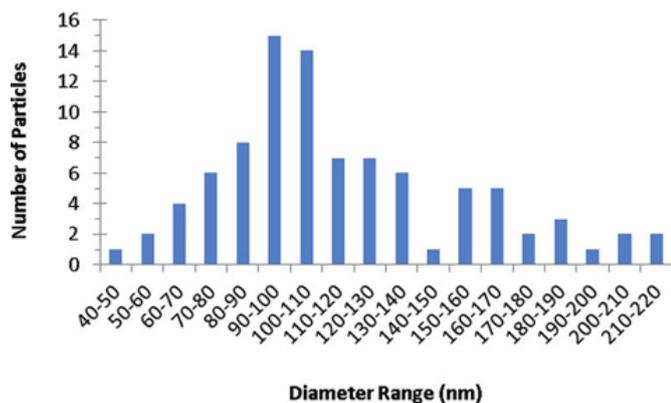


Рис. 1. Распределение частиц в E171 по размерам.

На рис. 2 представлены SEM изображения частиц диоксида титана в образцах E171, P25 и выделенных из жевательной резинки.

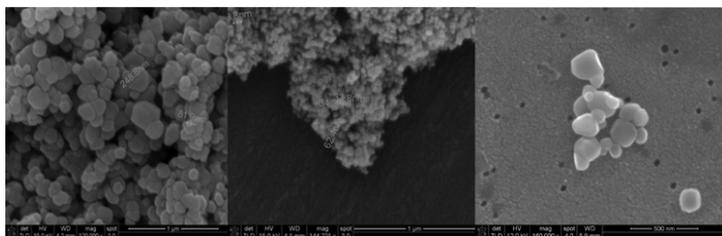


Рис. 2. TiO_2 : слева E171, в центре P25, справа – частицы из покрытия на жевательной резинке.

Исследователи определили содержание титана в 89 продуктах питания. Больше всего его оказалось в драже, сладостях (особенно покрытых глазурью) и жевательных резинках. Неудивительно, что самому сильному воздействию подвергаются дети. Авторы [1], используя полученные концентрации и имеющиеся статистические данные по потреблению разных продуктов, с помощью моделирования методом Монте-Карло получили следующие результаты: 1-2 мг TiO_2 на кг веса в день для детей до 10 лет и примерно 0.2-0.7 мг для других возрастных групп (рис. 3). Конечно, цифры могут меняться в зависимости от привычек питания. В некоторых случаях уровень воздействия TiO_2 может быть чрезвычайно высоким.

Хотя авторы акцентировали внимание на продуктах питания, они также изучили некоторые средства личной гигиены и показали, что заметное количест-

во TiO_2 содержится в зубных пастах (от 0.7 до 5.6 мкг/г), и особенно его много в солнцезащитных кремах (в некоторых до 90 мкг/г). А ведь эти кремы, следуя рекомендациям врачей, сейчас используют практически все. Это ещё раз подтверждает необходимость исследований токсичности TiO_2 (E171) и для людей, и для окружающей среды. Российские учёные также проводят работы по оценке безопасности наноматериалов. Полученные ими данные о неблагоприятных воздействиях наночастиц TiO_2 , введённых в желудок крыс, указывают на необходимость контроля и ограничения содержания этих наночастиц в пищевых продуктах, косметических препаратах и другой подобной продукции [4].

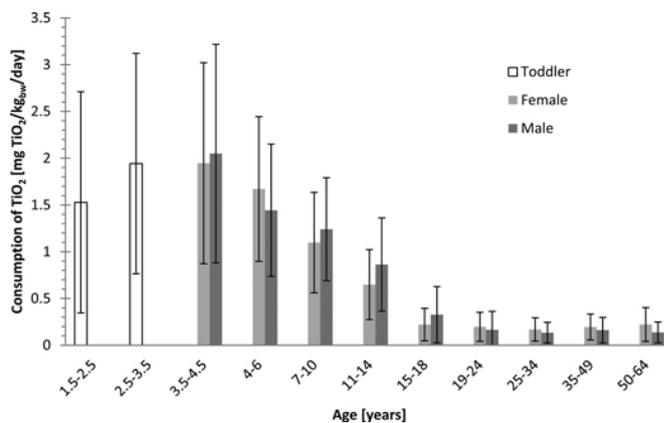


Рис. 3. Среднее дневное потребление TiO_2 населением США (мг/кг веса/день). Метод Монте-Карло. (toddler – ребёнок раннего возраста)

О.Алексеева

1. A.Weil et al. *Environ.Sci.Techn.* **46**, 2242 (2012).
2. [Перст 19, вып. 4, с.4 \(2012\).](#)
3. [Перст 16, вып. 17, с. 6 \(2009\).](#)
4. И.В. Гмошинский и др., *Российские нанотехнологии* **5**, №9-10, с. 6 (2010).

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Сегнетоэлектричество в биологических тканях

Историю исследований роли электрических явлений в биологии можно отсчитывать от знаменитых опытов с “животным электричеством” Луиджи Гальвани. Позже стала известна роль электричества в передаче сигналов по нервным волокнам, в работе органов чувств, сердца, мышц и желез. В середине прошлого века в костной ткани были обнаружены пьезоэлектрический и пироэлектрический эффекты – явления широко распространенные в диэлектриках и наиболее ярко выраженные в сегнетоэлектрических материалах. Однако вплоть до последнего времени обнаружить сегнетоэлектричество в биологических тканях не удавалось. Группа ученых из Univ.of Boston и Univ. of Washington (США), впервые продемонстрировали сегнетоэлектрический гистерезис в мягких биологических тканях [1].

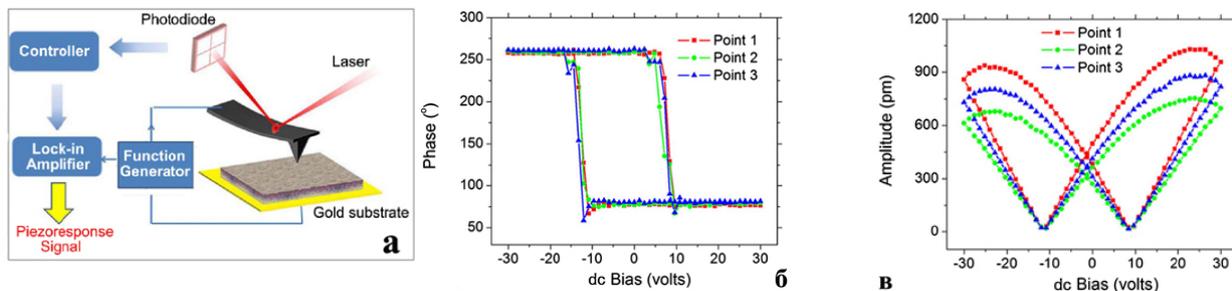


Рис. 1. Сегнетоэлектрические свойства биологических тканей:
 а - измерение пьезоэлектрического эффекта с помощью зонда сканирующего микроскопа;
 б - гистерезисная зависимость для фазы пьезоэлектрического отклика;
 в - гистерезис типа “бабочка”, характерный для пьезоэлектрического эффекта в сегнетоэлектриках.

Для этого они использовали методы сканирующей зондовой микроскопии (рис. 1а): на иглу зонда сканирующего силового микроскопа, находящуюся в контакте с исследуемой поверхностью препарата из стенки свиной аорты (толщина 0.8 мм), подавали переменное электрическое напряжение, а откликом системы служило смещение точек поверхности образца в вертикальном направлении вследствие пьезоэффекта. Приложение дополнительного постоянного поля смещения (dc bias, рис. 1б) вызывало изменение пьезоэффекта с характерными гистерезисными зависимостями для фазы (рис. 1б) и амплитуды пьезоэлектрического сигнала (рис. 1в). При критических величинах электрического напряжения ($\pm 10\text{В}$), соответствующих коэрцитивному полю, фаза скачком менялась на 180° (рис. 1б), т.е. переключался знак пьезоэлектрического эффекта, что в сегнетоэлектриках означает переключение электрической поляризации. Авторами [1] также была замечена небольшая асимметрия гистерезисной петли в сторону отрицательных значений, что означает наличие в стенке аорты электрической поляризации “по умолчанию” направленной от внутренней поверхности сосуда к внешней. Более того, состояние с противоположной поляризацией является нестабильным: при снятии напряжения система через некоторое время самопроизвольно возвращается в исходное состояние с поляризацией направленной наружу.

При изучении биологических систем принято задаваться вопросом, зачем нужно то или иное свойство, какой функции служит. Здесь пока нет ясности, существуют предположения, что данное свойство стенок позволяет поддерживать температурный гомеостаз или постоянное кровяное давление [2]. Также возникают различные идеи использования данного явления в медицинских целях: определение мест повреждения стенок аорты по изменению их электрической поляризации, доставка лекарств в поврежденные области, предупреждение осаждения холестерина на стенках кровеносных сосудов.

А. Пятаков

1. Y.Liu et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 078103 (2012).
2. B.Chen, H.Gao, *Physics* **5**, 19 (2012).

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Определение молекулярных потенциалов

Группа исследователей из Франции, Швеции и Японии [1] сообщает об удачном применении данных резонансной фотоэмиссии (RPE) из молекул N_2 для определения вида и параметров потенциальной энергии молекулы. Подобные попытки делались и ранее, но ввиду недостаточной точности измерений были безуспешными. Успех данной группы связан с применением нового оборудования для спектроскопии мягких рентгеновских лучей [2], канал PLEIADES на синхротроне SOLEIL во Франции. В противоположность обычной фотоэмиссии, когда поглощённый рентгеновский фотон с энергией $h\omega$ приводит к эмиссии фотоэлектрона, в процессе RPE резонансное поглощение γ -кванта заселяет конечные ионные состояния молекулы, отрывая резонансные оже-электроны с кинетической энергией E_k . В работе [1] исследованы вибронные возбуждения в области $1S \rightarrow \pi^*$ переходов.

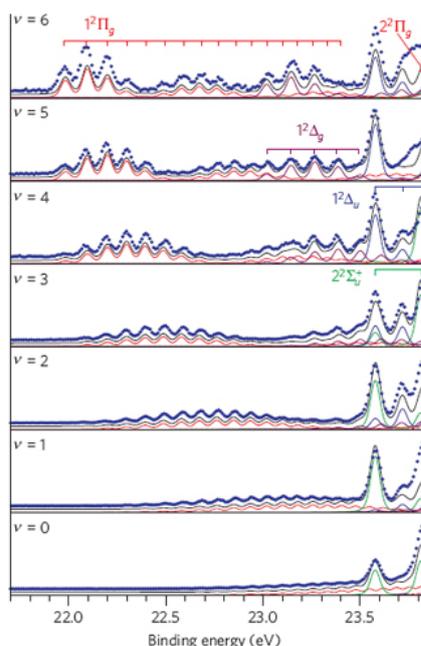


Рис. 1. Спектры резонансной фотоэмиссии молекулы N_2 для серии вибронных подуровней $v=0 \div 6$ для $1S \rightarrow \pi^*$ возбуждённых состояний. Голубыми точками показаны экспериментальные данные, результаты теоретического расчёта показаны сплошной линией.

Были достигнуты возбуждения вибронных мод с квантовым числом $v=6$, что

позволило отделить низкоэнергетические термы 1^2P_g и 1^2D_g из континуума других перекрываю-

щихся термов (рис. 1). Энергия связи на рис. 1 равна $E_b = h\omega - E_k$.

Низкоэнергетические состояния $1^2 P_g$ и $1^2 D_g$ были использованы для реконструкции потенциалов $E_b(r)$, где $r = R - R_0$ и R_0 есть длина связи, определяемая из минимума потенциала. Потенциалы описываются обобщённой функцией Морзе

$$E_b(r) = E_{\min} + D \left[1 + \left(\lambda_2 e^{-\lambda_1 r} - \lambda_1 e^{-\lambda_2 r} \right) / (\lambda_1 - \lambda_2) \right].$$

Полученные методом реконструкции RPE данных параметры потенциала очень хорошо согласуются с результатами первопринципных расчётов, выполненных с учётом конфигурационного взаимодействия (рис. 2).

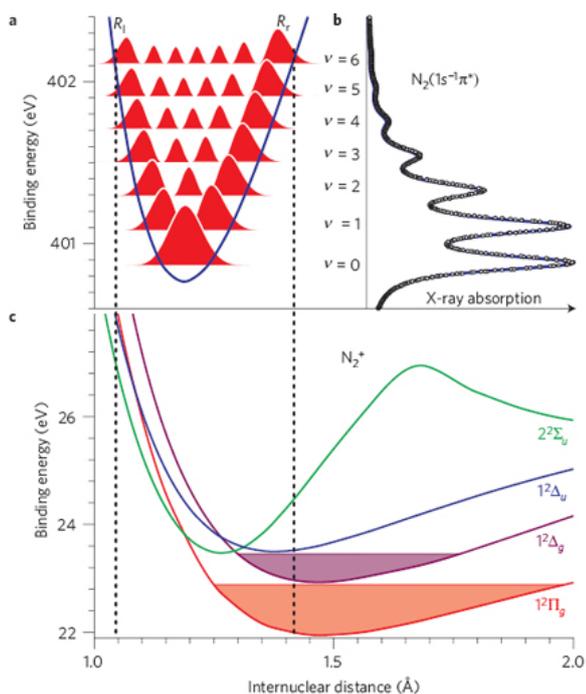


Рис. 2. Вибронные состояния и их проявления в рентгеновском поглощении:

- a - рассчитанный потенциал $1S^{-1}\pi^*$ возбуждённых состояний и квадраты модуля вибронных волновых функций для состояний $v = 0 \div 6$;
- b - экспериментальные (точки) и теоретические (линии) спектры поглощения;
- c - потенциалы низкоэнергетических ионных состояний (затенены отщепленные состояния).

С.Овчинников

1. C.Miron et al., *Nature Phys.* **8**, 135 (2012).
2. O.Travnikova et al., *Phys. Rev. Lett.* **105**, 233001 (2010).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Угловое распределение электронов при холодной полевой эмиссии углеродных нановолокон

Одно из наиболее перспективных направлений использования углеродных нанотрубок (УНТ) связано с разработкой холодных полевых эмиттеров, в которых УНТ являются источником эмиссии электронов. Преимущества подобных приборов обусловле-

ны хорошими электрическими характеристиками УНТ, их высокой термической, химической и механической стабильностью, а также высоким аспектным отношением нанотрубок, благодаря которому происходит значительное усиление электрического поля в окрестности наконечника УНТ. Таким образом значительный ток эмиссии (до 1 A/cm^2) может быть получен уже при относительно невысоких величинах приложенного напряжения (порядка 1 kV), что позволяет заметно снизить весогабаритные характеристики таких приборов, как источники рентгеновского излучения, катоднолучевые источники света, спутниковые усилители СВЧ-излучения и др. Несмотря на значительные усилия исследователей, направленные на разработку холодных полевых эмиттеров на основе УНТ, эти приборы к настоящему времени не получили широкого распространения, что связано, с одной стороны, с технологическими трудностями, возникающими при приготовлении однородного массива вертикально ориентированных УНТ с определенными параметрами, а с другой стороны – с недостатком понимания ряда фундаментальных вопросов, относящихся к работе таких систем. Одним из подобных вопросов является угловая расходимость электронного пучка, эмиттируемого катодом на основе УНТ. Недавно этот вопрос был детально изучен в рамках экспериментальной работы, выполненной группой исследователей из Италии, Кореи, Англии и Японии [1].

В качестве источников холодной полевой эмиссии авторы [1] использовали массив вертикально ориентированных углеродных нановолокон (УНВ), выращенный на подложке из высоколегированного кремния (*n*-типа) методом химического осаждения паров в плазме (PECVD). В качестве катализатора использовали частицы Ni диаметром 100 nm и высотой 7 nm , отстоящие друг от друга на 2.5 mkm , которые наносили на подложку методом магнетронного напыления. УНВ выращивали в разряде постоянного тока в ацетилене при напряжении 640 V и мощности 35 Вт в течение 54 min при температуре подложки 750°C . Это приводило к образованию массива со стороной 300 mkm вертикально ориентированных УНВ диаметром в несколько десятков nm и высотой около 5 mkm . Измерения, выполненные с помощью сканирующего электронного микроскопа, показали, что степень неоднородности волокон по высоте не превышает 10% .

Эмиссионные характеристики катода исследовали в условиях вакуума 10^{-8} Торр в трехэлектродной конфигурации. Расстояние от катода до сетки составляло $230\text{--}240 \text{ mkm}$. Измеренные вольт-амперные характеристики катодов соответствуют классическому выражению Фаулера-Нордгейма. Максимальный ток эмиссии (несколько сот мкА) достигался при напряженности электрического поля 10 В/мкм . Измерения угловой расходимости пучка проводили при токе в несколько десятков мкА . С этой целью измеряли за-

висимость тока через небольшую диафрагму от расстояния между катодом и диафрагмой. Обработка полученных зависимостей показала, что максимальная угловая расходимость электронного пучка, эмитируемого вертикально ориентированным волокном, составляет $\pm 30^\circ$.

А.Елецкий

1. S.Iacobucci et al., *Appl. Phys. Lett.* **100**, 053116 (2012).

Прозрачные проводящие пленки на основе нанотрубок

Прозрачная проводящая пленка является одним из основных элементов современных электронных устройств, таких как мобильный телефон, ноутбук и их более сложные модификации. Основным материалом для изготовления подобной пленки традиционно служит оксид индия, легированный оловом (ITO). Рост стоимости этого материала, обусловленный истощением природных запасов индия, стимулирует поиск альтернативных материалов для изготовления прозрачных проводящих пленок. В этом плане интерес исследователей привлекают углеродные нанотрубки (УНТ). Примером таких исследований может служить выполненная группой японских специалистов работа [1], в которой показано, что внедрение внутрь однослойных УНТ органических молекул улучшает характеристики пленок на их основе.

В качестве легирующего вещества использовали тетрафтор-тетрацианохинондиметан (F4TCNQ), молекулы которого инкапсулировали внутри однослойных УНТ в газовой фазе. Нанотрубки со средним диаметром 1.9 нм, полученные методом инжекционного пиролиза, в течение 30 мин окисляли на воздухе при температуре 600°C , а затем в течение суток выдерживали в парах F4TCNQ при давлении 2×10^{-4} Па и температуре 100°C . После этого полученные образцы прогревали с помощью тепловой пушки с целью удаления остатков F4TCNQ с внешней поверхности УНТ и наносили с помощью распылителя на основе 1,2-дихлорбензола на стеклянные подложки. Сопротивление полученных таким образом тонких пленок измеряли при комнатной температуре четырехконтактным методом. Наряду с этим, изучали спектры оптического пропускания пленок с помощью спектрофотометра, морфологию пленок с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) и структуру материала с помощью рентгеновского дифрактометра и спектрометра комбинационного рассеяния (КР).

Результаты рентгеновских измерений указывают на наличие инкапсулированных молекул F4TCNQ внутри УНТ. Этот факт следует также из существования сдвига максимума G-полосы в спектре КР легированных образцов. СЭМ наблюдения показывают, что легирование УНТ не изменяет морфологию пленок.

ПерСт, 2012, том 19, выпуск 5

На рис. 1 сравниваются зависимости коэффициента пропускания на длине волны 550 нм от поверхностного сопротивления пленок на основе УНТ, легированных F4TCNQ и пленок на основе чистых УНТ.

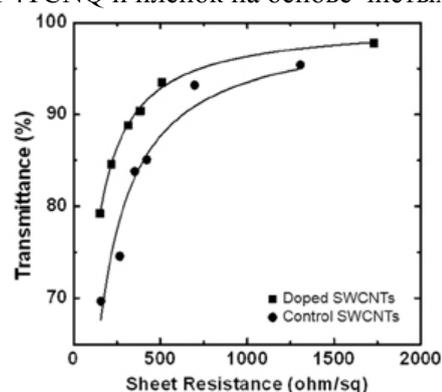


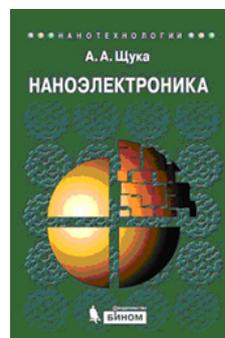
Рис. 1. Сравнение зависимостей коэффициента пропускания на длине волны 550 нм от поверхностного сопротивления пленок на основе УНТ, легированных F4TCNQ (квадраты) и пленок на основе чистых УНТ (кружки).

Как видно, легирование УНТ приводит к заметному повышению прозрачности пленок и снижению их поверхностного сопротивления. Приведенные данные (рис. 1) позволяют определить отношение проводимости пленки при постоянном σ_{dc} к оптической проводимости σ_{op} , которое является важной характеристикой прозрачной проводящей пленки. Обработка экспериментальных данных показала, что величина указанного отношения в результате легирования УНТ возрастает от 5.5 до 9.9. Наряду с этим, результаты исследований указывают на повышенную термическую стабильность электрических и оптических характеристик пленок на основе интеркалированных УНТ по сравнению с чистыми нанотрубками.

А.Елецкий

1. N. Kishi et al., *Appl. Phys. Lett.* **100**, 063121 (2012).

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ, ОБЗОРЫ, ПУБЛИКАЦИИ



Щука А. А.

Нанотехнологии. Нанoeлектроника: учебное пособие.

БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012

Рассмотрены основные направления развития современной электроники, использующей физические эффекты, имеющие место в наноструктурах. Проанализированы пути перехода от микро- к наноэлектронным приборам, приведены описания нанотехнологических процессов, элементов и приборов наноэлектроники и новых материалов, с которыми тесно связано развитие приоритетной области наноэлектроники и нанотехнологии.

Для студентов по направлениям подготовки “Прикладная математика и физика”, “Электроника и нанoeлектроника”, “Нанотехнологии и микросистемная техника”, а также для аспирантов и научных работников, специализирующихся в области нанoeлектроники и нанотехнологий.

Более подробную информацию можно посмотреть на сайте издательства БИНОМ <http://www.lbz.ru/>

КОНФЕРЕНЦИИ

International Conference on Electronics and Electrical Engineering (CEEE2012), 26-28 October 2012, Wuhan, China

Topics

Analog Circuits and Digital Circuits, Antenna and Propagation, Assembly and Packaging, Biomedical Circuits, Biomedical Engineering, Communication Theory and Information Theory, Computer Architecture, Computer Engineering, Control Engineering, Electric Power System and Automation, Electrical Machinery, Motor Drives and Power Electronics, Electronics Science and Technology, Embedded Systems and Software, Energy and Power Systems, Filters and Data Conversion Circuits, Instrumentation Engineering, Knowledge and Data Engineering, Low Power Design and VLSI Physical Design, Microelectronics, Microwave Theory and Techniques, Mixed Signal Circuits, Mobile Computing, Modulation, Coding and Channel Analysis, Multimedia Services and Technologies, Networks Design, Protocols and Management, Nonlinear Circuits and Systems, Optical Communications, Parallel/Distributed Computing and Grid Computing, Pattern Analysis and Machine Intelligence, Photonic and Optoelectronic Circuits, Power Electronics and Power Drives, RF and Wireless Circuits, Sensing and Sensor Networks, Signal Processing, Telecommunications Engineering, Test and Reliability, Visualization and Computer Graphics, Wireless/Mobile Communication

Paper submission due: **Apr. 16, 2012**

Acceptance notification: **Before June 11, 2012**

Contact

E-mail: cet@engii.org

Web: www.engii.org/cet2012/CEEE2012.aspx

Научная сессия ОФН РАН “Физические свойства графена”, 28 марта 2012 г.

(15-00, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп., 53, конференц-зал)

Программа

1. **Л.А. Фальковский** (ИТФ им. Л.Д.Ландау РАН) - Магнетооптика графена

2. **А.А. Варламов** (University Tor Vergata, Рим) - Термоэлектрические свойства графена

Семинар по магнетизму 20 марта 2012 г.

(17-00, ИФП им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина, 2, конференц-зал)

А.И. Смирнов (ИФП РАН им. П.Л.Капицы) - Магнитный резонанс спинов в квазидвумерном антиферромагнетике Cs_2CuCl_4

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, М.Маслов, С.Овчинников, Л.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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