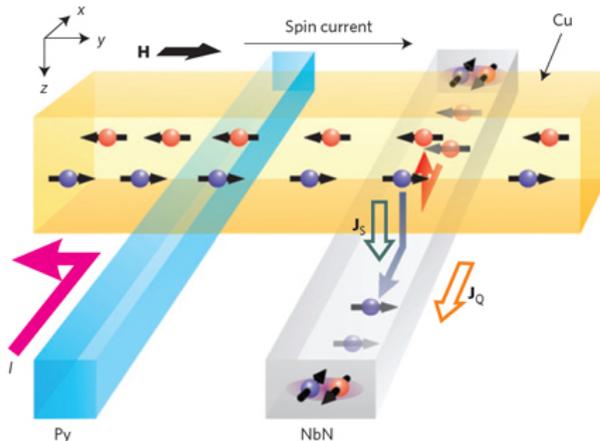


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Спиновый эффект Холла в сверхпроводнике

В некоторых материалах конкуренция сверхпроводимости и магнетизма приводит к ряду необычных явлений, таких как сосуществование сверхпроводимости с магнетизмом в тяжелофермионных соединениях и спин-триплетные сверхтоки в ферромагнитных джозефсоновских контактах. В работе [1] японских физиков сообщается о наблюдении обратного спинового эффекта Холла в сверхпроводнике NbN с $T_c = 10$ К. Для этих целей была использована слоистая структура, состоящая из ферромагнитного и сверхпроводящего проводов с медным мостиком между ними (см. рис.).



Схематическое изображение структуры ферромагнетик $Ni_{81}Fe_{19}$ (Py)/металл(Cu)/сверхпроводник (NbN) из работы [1].

Инжектированный в ферромагнетик спиновый ток через медную перемычку попадал в сверхпроводник и там преобразовывался в зарядовый, но переносимый не электронами или дырками (как в обычных металлах), а сверхпроводящими квазичастицами – когерентными суперпозициями электронных и дырочных возбуждений со спином $1/2$. При $T < T_c$ холловский сигнал оказывается примерно в 2000 раз большим, чем в нормальном состоянии. Одно из возможных применений – чувствительные сверхпроводниковые датчики спиновых токов.

Л.Опенев

1. T. Wakamura et al., *Nature Mater.* **14**, 675 (2015).

Джозефсоновские наноконтакты в пленках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

Джозефсоновские туннельные контакты из купратных ВТСП представляют интерес, как для исследовательских целей, так и с практической точки зрения. Их изготовление осложняется малой величиной и анизотропией сверхпроводящей длины когерентности (~ 2 нм в плоскости a - b и ~ 0.2 нм вдоль оси c), вследствие чего электрические свойства контактов оказываются чрезвычайно чувствительны к дефектам структуры и неоднородности химического состава на атомном масштабе. В работе [1] контакты сверхпроводник-диэлектрик-сверхпроводник (SIS) с воспроизводимыми харак-

И далее ...

- 2 Примесные связанные состояния внутри сверхпроводящей щели в безмедном ВТСП Fe(Te,Se)

Сверхпроводимость по краевым спиральным модам в двумерном топологическом диэлектрике

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 3 Ткани с нанопроволокой для персонального терморегулирования

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- 4 Эластокалорический эффект в сплаве никеля-титана

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Снова об устойчивости C_{20}

КОНФЕРЕНЦИИ

- 6 XVII Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, с 23 по 27 ноября 2015 года, г. Санкт-Петербург, Россия

Conference "Magnetism 2016",
4–5 April 2016,
Cutler's Hall, Sheffield, UK

теристиками получены путем облучения пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ толщиной 150 нм сфокусированным пучком ионов гелия диаметром 0.5 нм. При этом в области воздействия пучка возникают радиационные дефекты и образуется диэлектрический барьер шириной ~ 1 нм, разделяющий два сверхпроводящих электрода $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Параметры барьера можно регулировать, изменяя дозу облучения. Таким путем были получены контакты с $I_c R_N = 50 \div 200$ мкВ. Основное преимущество развитой методики заключается в возможности изготовления больших массивов туннельных контактов с их наперед заданным взаимным расположением, что требуется для широкого круга приложений – от чувствительных магнитометров до космических средств связи

Л.Опенев

1. S.A.Cybart et al., *Nature Nanotech.* **10**, 598 (2015).

Примесные связанные состояния внутри сверхпроводящей щели в безмедном ВТСП $\text{Fe}(\text{Te}, \text{Se})$

Сверхпроводимость возникает вследствие макроскопической квантовой конденсации куперовских пар. Симметрия волновой функции таких пар определяется микроскопическим механизмом спаривания. Полезную информацию об этой симметрии может дать исследование квазичастичных связанных состояний, возникающих внутри сверхпроводящей щели при разрыве куперовских пар примесями. В работе [1] (Китай, США) методом сканирующей электронной микроскопии/спектроскопии изучены локальные ВАХ кристаллов безмедного ВТСП $\text{Fe}_{1+x}(\text{Te}, \text{Se})$ с $T_c = 12 \div 14$ К в окрестности межузельных примесных атомов Fe ($x = 0.001 \div 0.005$). Обнаружено, что рассеяние на примесях индуцирует узкий спектральный пик при нулевой энергии (то есть в самом центре сверхпроводящей щели). Этот пик сохраняется при увеличении магнитного поля до 8 Тл. Авторы считают, что их результаты не согласуются ни с s -волновой, ни с d -волновой симметрией куперовских пар и высказывают предположение о топологической природе сверхпроводимости этого ВТСП.

1. J.-X.Yin et al., *Nature Phys.* **11**, 543 (2015).

Сверхпроводимость по краевым спиральным модам в двумерном топологическом диэлектрике

При достаточно низких температурах на поверхности трехмерных топологических диэлектриков наблюдается так называемая топологическая сверхпроводимость – экзотическое состояние вещества с нулевыми модами Майораны, которые подчиняются неабелевой статистике и представляют интерес для топологических квантовых вычислений. Аналогичный эффект был недавно обнаружен в работе [1]

2

(Нидерланды, Швейцария), но уже для двумерного топологического диэлектрика – полупроводниковой квантовой ямы InAs/GaSb (рис. 1), в которой топологическая сверхпроводимость осуществляется по краевым спиральным модам (рис. 2).

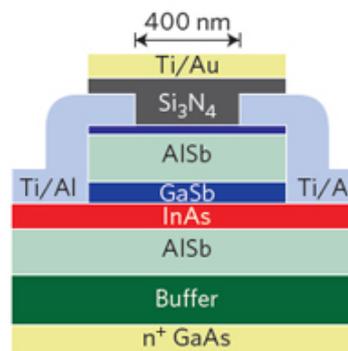


Рис. 1. Поперечное сечение слоистой структуры с квантовой ямой InAs/GaSb .

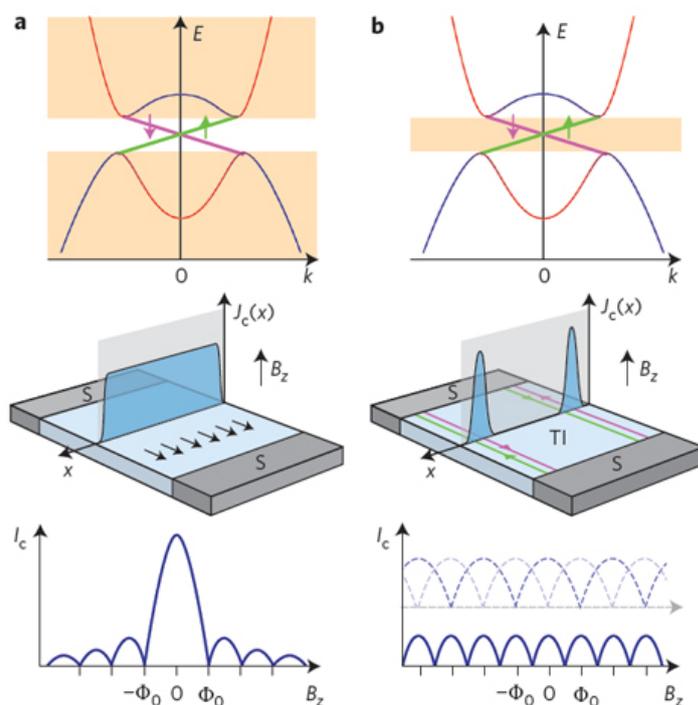


Рис. 2. Схематическое изображение электронных энергетических зон (вверху), профиля распределения плотности критического тока (в центре) и зависимости критического тока от магнитного поля (внизу) для случаев, когда уровень Ферми находится в одной из разрешенных зон (а) и в топологической щели (б).

Розовым и зеленым цветами изображен линейный закон дисперсии спиральных краевых мод, пересекающий топологическую щель. Стрелки показывают направление электронных спинов. На зависимостях $I_c(B_z)$ сплошные линии – для обычного СКВИДа, пунктирная линия – для краевых мод.

О топологической природе сверхтока свидетельствует $2\Phi_0$ -периодичность зависимости туннельного тока контакта $\text{S-InAs}/\text{GaSb-S}$ от поперечного магнитного поля.

1. V.S.Pribiag et al., *Nature Nanotech.* **10**, 593 (2015).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Ткани с нанопроволокой для персонального терморегулирования

По данным Международного энергетического агентства около 42% общего потребления энергии приходится на обогрев жилых зданий [1]. В России 90% всей потребляемой ЖКХ энергии расходуется на отопление. Конечно, существуют различные способы снижения теплопотерь. К ним относится разработка и использование при строительстве и модернизации зданий новых теплосберегающих материалов, теплосберегающих оконных конструкций и дверей и др. Но даже если удастся достичь больших успехов, все равно много энергии будет уходить на обогрев пустого пространства и различных предметов внутри помещений. Оптимальное энергосбережение можно было бы обеспечить путем персонального терморегулирования. Устройство должно быть похоже на обычную одежду, но отражать назад ИК излучение человека. Недавно ученые из США предложили интересный вариант ткани с нанопроволочной сеткой [2].

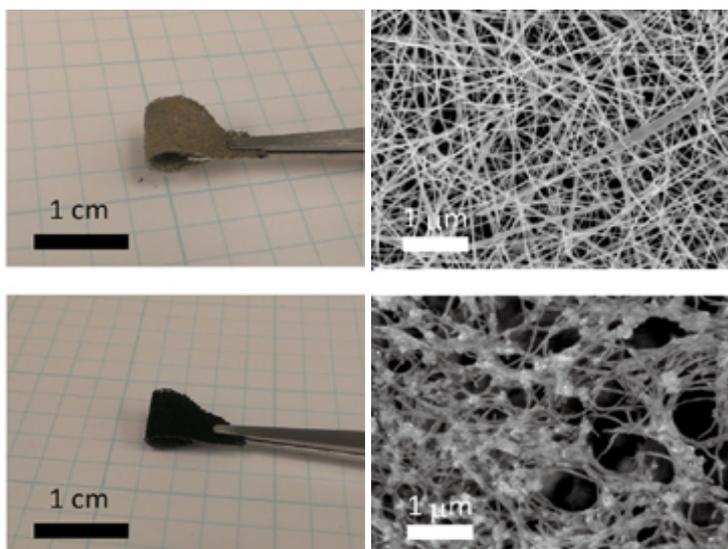


Рис. 1. Фотографии и SEM изображения образцов ткани с покрытиями AgNW (вверху) и УНТ (внизу).

На рис. 1 показаны два образца ткани, на которых методом окупания были получены покрытия из серебряных нанопроволок (AgNW) и углеродных нанотрубок (УНТ). Расстояние между серебряными нанопроволоками 200-300 нм. Это обеспечивает ~ 97% отражения. Поскольку основная часть излучения человека приходится на диапазон длин волн вблизи 9 мкм, такая сетка действует как сплошная металлическая пленка, однако не мешает испарению пота. Ткань с покрытием не только дышащая, но и гибкая (рис. 1), то есть одежда может быть достаточно удобной. Более того, можно обеспечить дополнительный обогрев, если подсоединить источник электропитания (рис. 2). Для этого годятся и AgNW-, и УНТ-ткани (для пассивного терморегу-

лирования УНТ ткань не подходит, т.к. коэффициент излучения сетки УНТ ~ 0.98).

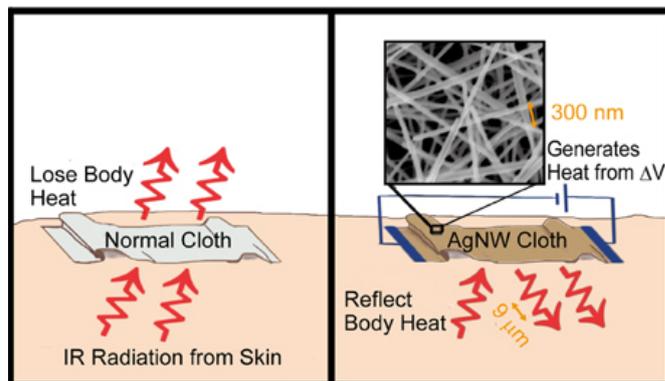


Рис. 2. Схема прохождения и отражения ИК излучения кожи человека для обычной и “нанопроволочной” одежды. Показана также возможность дополнительного нагрева.

На рис. 3 приведены термоизображения обычной перчатки и перчатки с AgNW покрытием, полученным методом окупания. Температура обычной перчатки 32-37°C. Изображение AgNW перчатки, которая отражает назад большую часть теплового излучения кисти, “холодного” синего цвета (30-34°C).

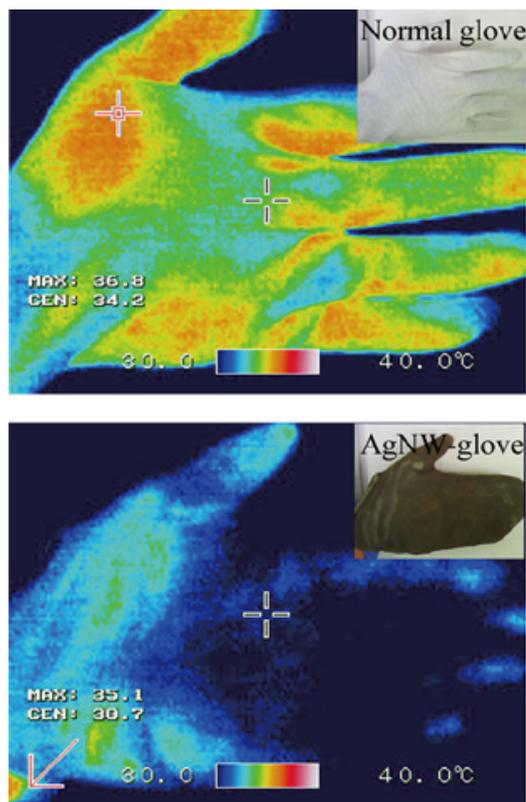


Рис. 3. Термоизображения обычной перчатки и перчатки с AgNW покрытием.

Как уже было сказано, персональное терморегулирование может быть не только пассивным, но и активным. На рис. 4 показано, что 0.9 В достаточно, чтобы повысить температуру AgNW-ткани до 38°C. Для УНТ-ткани требуется 12 В. Такие низкие величины напряжения безопасны для человека (сопро-

тивление кожи $\sim 10\ 000$ Ом), но при желании можно добавить слой изоляционного материала.

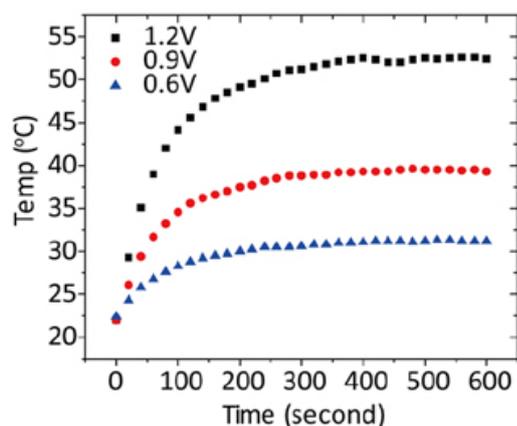


Рис. 4. Изменения температуры от времени при приложении напряжения к образцу ткани с AgNW покрытием.

По оценкам авторов [2] такие ткани позволят сэкономить до 1000 кВт·ч на человека в год. Важно, что для их изготовления требуется очень мало наноматериалов, например, всего $0.1\ \text{г/м}^2$ AgNW.

О.Алексеева

1. M.Beerepoot, A.Marmion, https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/Insights_Renewable_Heat_FINAL_WEB.pdf (2012).
2. P.-C.Hsu et al., *Nano Lett.* **15**, 365 (2015).

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Эластокалорический эффект в сплаве никеля-титана

Замечали ли вы когда-нибудь, как охлаждается шарик, из которого выпускают воздух или нагревается при растяжении резиновая лента для фитнеса? Это проявление эластокалорического эффекта – изменения температуры материала, вызванное адиабатическим растяжением/сжатием. Таким свойством обладают не только полимеры, но и металлические сплавы, претерпевающие мартенситные фазовые переходы.

Работа ученых из Technical Univ. of Denmark (Дания) [1] посвящена эластокалорическому эффекту в сплаве титана и никеля. Подобный сплав с процентным содержанием титана – 45%, никеля – 55% известен под названием *нитинол*, широко используется как материал с памятью формы. Взяв немного другое соотношение компонентов, с 51.1% титана, авторы получили материал с высоким эластокалорическим эффектом при комнатных температурах. Обратимые изменения температуры при нагрузке и разгрузке проволоки доходили до 20 градусов при деформациях 5% (столь высокие величины растяжений становятся возможными благодаря сверхупругости сплава). Это позволяет использовать материал в цикле охлаждения (рис. 1).

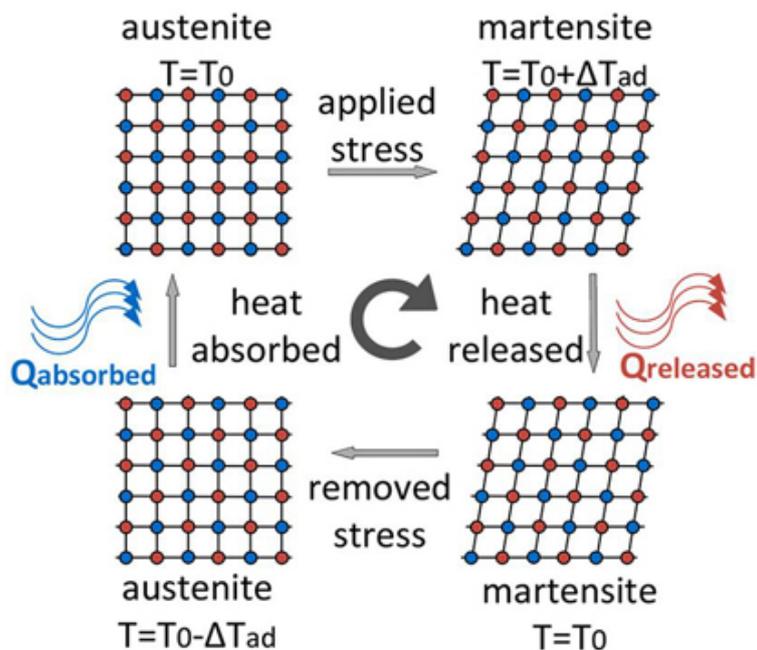


Рис. 1. Цикл эластокалорического охлаждения: под действием механической нагрузки сплав переходит из фазы аустенита в мартенситную фазу, с выделением тепла. При снятии нагрузки материал возвращается в исходное состояние, поглощая тепло [1].

Заметим, что на протяжении нескольких десятилетий в качестве основного принципа твердотельного охлаждения рассматривался магнитокалорический эффект [2, 3]. Однако, как показано в [4] для магнитокалорического эффекта при комнатных температурах в практически достижимых полях порядка 1 Тесла адиабатические изменения температуры не могут превысить 18 градусов, что не является пределом для эластокалорического эффекта. Кто знает, может, наконец, появятся портативные холодильники, и они будут работать именно на эластокалорическом эффекте?

А. Пятаков

1. J.Tušek et al., *J. Appl. Phys.* **117**, 124901 (2015).
2. А.С.Андреевко и др., *УФН* **158**, 553 (1989).
3. А.М.Тышин, Y.I.Spichkin, *Inter. J. Refrigeration* **37**, 223 (2014).
4. V.I.Zverev et al., *J. Appl. Phys.* **107**, 043907 (2010).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Снова об устойчивости C_{20}

Авторы публикации [1] решили поставить окончательную точку в задаче о сравнительной термодинамической устойчивости изомеров C_{20} . Поскольку однозначных экспериментальных данных до настоящего времени не получено, а результаты различных теоретических расчетов оказываются крайне противоречивыми, вопрос о том, какая же модификация: кольцо, чаша или клетка (рис. 1) обладает наиболее низкой энергией, все еще остается актуальным.

Напомним, что клетка C_{20} является наименьшим из возможных фуллеренов (состоит только из пятичленных колец углерода), который, к слову, давно уже синтезирован и обладает значительной кинетической стабильностью [2].

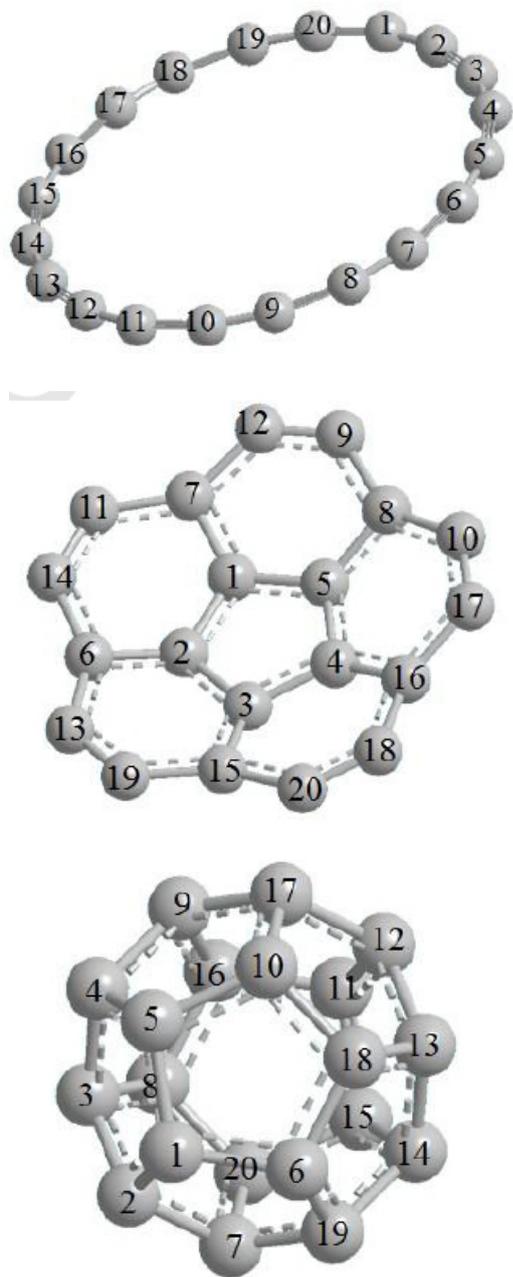


Рис. 1. Изомеры кластера C_{20} . Сверху вниз: кольцо, чаша и клетка (фуллерен)

В своем исследовании авторы работы [1] использовали суперкомпьютер с предустановленным программным пакетом ACES III, а эталонный, по их мнению, расчет выполнялся методом связанных кластеров на уровне теории CCSD/сс-pVTZ и CCSD(T)/сс-pVTZ. Такой подход хотя и требует значительных вычислительных ресурсов, однако является одним из самых точных. Авторы провели структурную оптимизацию, рассчитали геометрические, энергетические и электронные характеристики изомеров и, само собой, привели данные их

Перст, 2015, том 22, выпуск 13/14

сравнительной устойчивости. В результате чаша – оказалась наиболее стабильным изомером, что касается оставшихся, то здесь не наблюдается такого “единодушия” используемых теоретических подходов. CCSD и CCSD(T) не дают однозначного ответа, какой из изомеров лежит ниже по энергии: кольцо или клетка, что в который раз подтверждает чувствительность результата к методике расчета. Кроме того, авторы утверждают, что из-за термодимического эффекта по мере увеличения температуры кольцо становится все более и более устойчивым, а при ~ 1000 К вообще оказывается конфигурацией с самой низкой энергией из всей триады изомеров C_{20} (рис. 2). Будем ждать подтверждающих экспериментальных результатов.

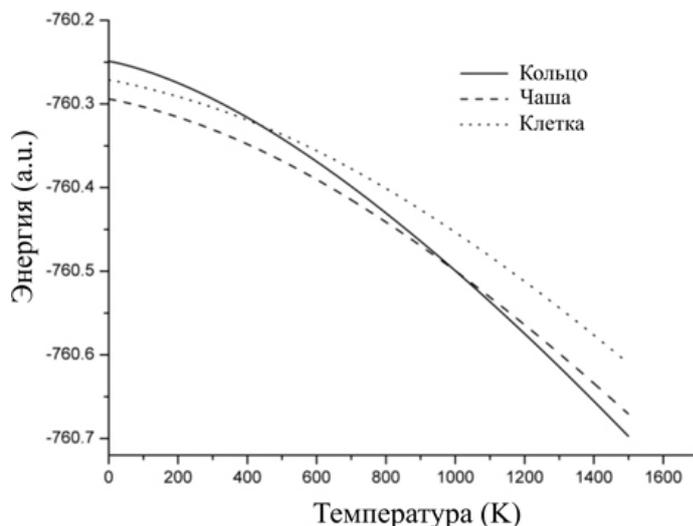


Рис. 2. Влияние температуры на устойчивость изомеров C_{20}

М.Маслов

1. Y. Jin et al., *Chem. Phys. Lett.* **629**, 76 (2015).
2. И.В. Давыдов и др., *ФТТ* **47**, 751 (2005).

КОНФЕРЕНЦИИ

XVII Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, с 23 по 27 ноября 2015 года, г. Санкт-Петербург, Россия

17-я конференция для молодых ученых посвящена таким активно развивающимся направлениям физики твердого тела и электроники, как физика полупроводников и наноструктур, полупроводниковые нанотехнологии, опто- и наноэлектроника. На конференции будут заслушаны доклады по результатам как экспериментальных, так и теоретических исследований, сгруппированные по следующим основным разделам:

- Объемные свойства полупроводников
- Процессы роста, поверхность, границы раздела
- Гетероструктуры, сверхрешетки, квантовые ямы
- Квантовые точки, квантовые нити и другие низкоразмерные системы
- Приборы опто- и наноэлектроники
- Новые материалы

Основные даты:

Срок представления тезисов на русском языке (1 стр.) - до **12 октября 2015 г.**

E-mail: conference@semicond.spbstu.ru

Официальный сайт конференции:
www.semicond.spbstu.ru/conf2015

Conference "Magnetism 2016", 4-5 April 2016, Cutler's Hall, Sheffield, UK

The Magnetism series of conferences aims to bring together the magnetism communities of the UK and RoI, although also welcoming colleagues from further afield. Participation from outside UK/RoI and from industry is also encouraged. The conference includes parallel oral sessions, invited talks, including IEEE Distinguished Lectures, poster sessions and an exhibition for industry. A conference dinner provides a further opportunity for colleagues to meet.

The conference encourages participation from across the breadth of magnetism, and has included oral sessions on a range of subjects including spintronics, domain walls, dynamics, vortices, skyrmions and topological systems, spin ice, biological and organic magnetism, superconductors, magnetocalorics and ab initio theory.

Abstract submission deadline: **15 January 2016**

Website: <http://magnetism2016.iopconfs.org>

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, М. Маслов, Л. Опенков, А. Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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