

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Необычная сверхпроводимость допированного топологического диэлектрика $Cu_xBi_2Se_3$

Концепция спонтанного нарушения симметрии является ключевой для понимания физики самых различных объектов и систем – от элементарных частиц до конденсированного вещества. Так, например, при переходе в сверхпроводящее состояние нарушается калибровочная симметрия, а в сверхпроводниках с триплетным спариванием (то есть с ненулевым спином куперовских пар) должно, согласно теории, иметь место еще и нарушение симметрии относительно поворота спина. Последнее пытались обнаружить в UPt_3 и Sr_2RuO_4 , но безуспешно.

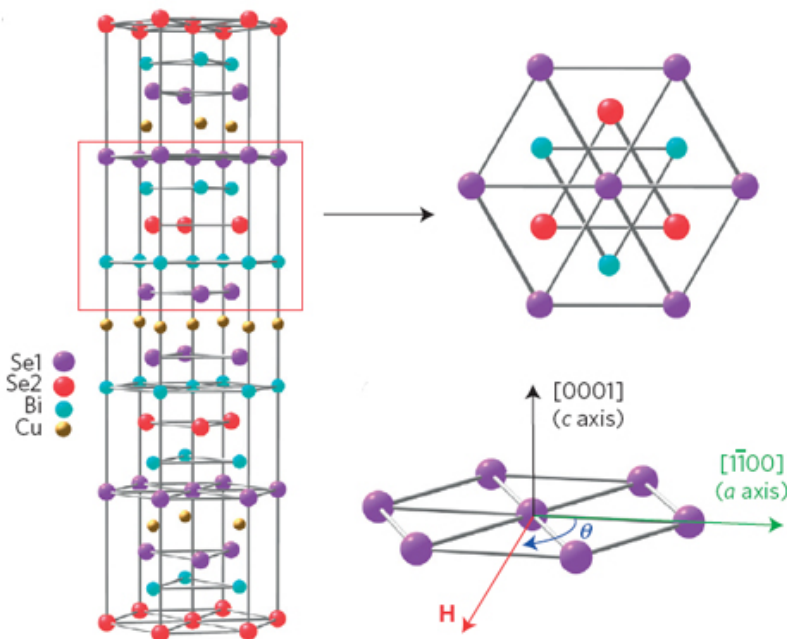


Рис. 1. Кристаллическая структура $Cu_xBi_2Se_3$. Слева – общий вид (красным прямоугольником выделен структурный блок из пяти атомных слоев). Справа сверху – вид сверху. Справа внизу – гексагональная плоскость кристалла и направление магнитного поля относительно кристаллографических осей.

В работе [1] (Япония, Германия, Китай) представлены результаты исследования ЯМР в сверхпроводнике $Cu_{0.3}Bi_2Se_3$ с $T_c = 3.4$ К, который получается путем интеркаляции меди в топологический диэлектрик Bi_2Se_3 (рис. 1). Обнаружена сильная зависимость ЯМР-спектров и сдвига Найта от направления магнитного поля (рис. 2, 3). Это говорит о том, что симметрия относительно поворота спина в гексагональной плоскости нарушается ниже T_c , то есть куперовские пары находятся в триплетном состоянии со спином $S = 1$.

И далее ...

- 2 Кристаллическая структура сверхпроводящей фазы гидрида серы

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 3 Электронные свойства графдиновых нанотрубок

СПИНТРОНИКА

Тернистый путь к магнитоэлектрической памяти

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 4 Вместе сильнее: золотые наночастицы и антибиотики эффективно уничтожают бактерии даже в биопленках

КОНФЕРЕНЦИИ

- 7 Научная сессия ОФН РАН “К 100-летию со дня рождения Виталия Лазаревича Гинзбурга”, 5 октября 2016 г.

XVIII Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой оптики и нанoeлектронике, с 28 ноября по 2 декабря 2016 г., Санкт-Петербург, Россия

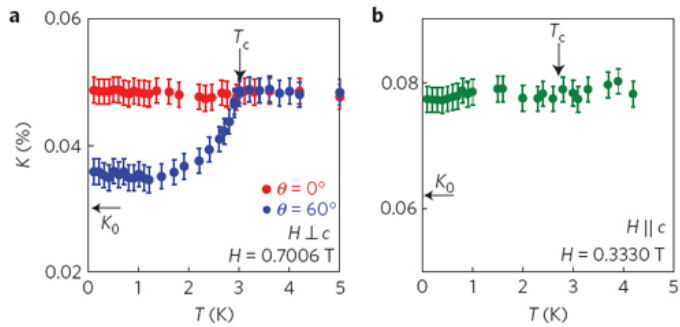


Рис. 2. Температурные зависимости сдвига Найта при перпендикулярном (а) и параллельном (б) оси c направлении магнитного поля. Горизонтальные стрелки показывают соответствующие величины сдвига Найта в Bi_2Se_3 .

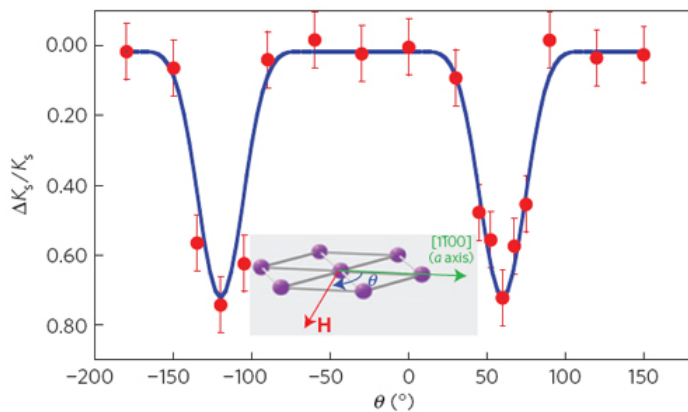


Рис. 3. Угловая зависимость нормированного изменения (уменьшения) сдвига Найта при понижении температуры от 4 К до 1.4 К.

Л.Опенев

1. K.Matano et al., *Nature Phys.* **12**, 852 (2016).

Кристаллическая структура сверхпроводящей фазы гидрида серы

Недавно в сероводороде H_2S была обнаружена высокотемпературная сверхпроводимость с критической температурой $T_c > 200$ К при давлении $P \sim 150$ ГПа [1]. Наличие изотопического эффекта (рис. 1 а, б) указывает на фононный механизм спаривания носителей. Было высказано предположение, что за сверхпроводимость ответственна фаза H_3S , которая образуется при разложении H_2S под давлением.

Это предположение подтверждено в работе [2] на основании данных рентгеновской дифракции от синхротронного источника. Показано, что сверхпроводящая фаза имеет объемноцентрированную кубическую решетку ($R3m$ или $I3m-3m$). Экспериментально различить структуры $R3m$ и $I3m-3m$, отличающиеся друг от друга только расположением атомов водорода относительно атомов серы, не удастся из-за слабого рассеяния рентгеновских лучей на атомах водорода. Однако теория предсказывает для этих фаз различную зависимость T_c от дав-

ления, причем максимум T_c должен находиться вблизи перехода между ними (см. рис. 1с).

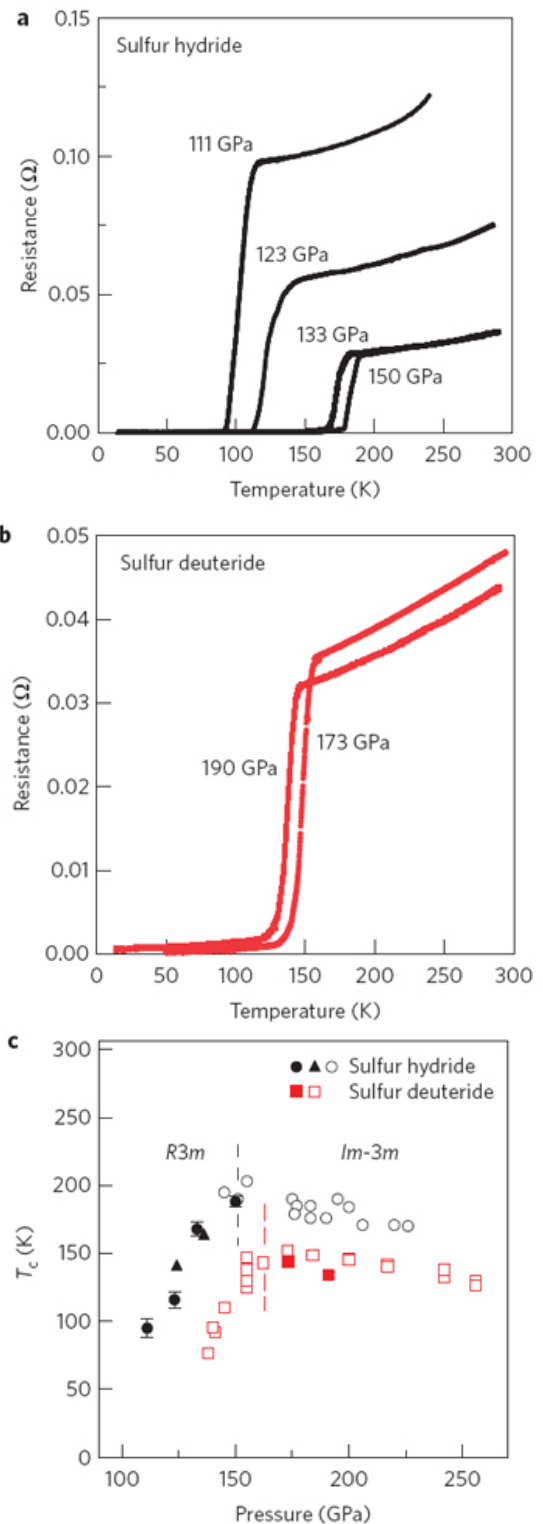


Рис. 1. а, б – Резистивные сверхпроводящие переходы гидрида серы и его дейтериевого аналога при различных давлениях; с - Зависимости критической температуры сверхпроводящего перехода в H_3S и D_3S от давления (черная и красная штриховые линии указывают границы между фазами $R3m$ и $I3m-3m$ для H_3S и D_3S , соответственно).

Л.Опенев

1. A.P.Drozdov et al., *Nature* **525**, 73 (2015).

2. M.Einaga et al., *Nature Phys.* **12**, 835 (2016).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Электронные свойства графдиновых нанотрубок

Хорошо известно, что если свернуть в трубку графеновый лист, то получится классическая одностенная углеродная нанотрубка. Однако класс двумерных углеродных аллотропов, которые легко можно скрутить в трубочку, не ограничивается лишь графеном. Существует и ряд родственных графену наноматериалов, например, предсказанный в 1987 г. графин, в котором бензольные кольца соединены друг с другом ацетиленовыми группами. Если же все ацетиленовые группы графина ($-C\equiv C-$) заместить диацетиленовыми ($-C\equiv C-C\equiv C-$), то получится графдин (первое упоминание о нем датируется 1997 годом). Считается, что этот аллотроп является одним из наиболее устойчивых искусственных двумерных углеродных модификаций. Именно из графдина авторы работы [1] решили получить различные углеродные нанотрубки и рассчитать их структурные, электронные и транспортные характеристики. Из графдина, как и из графена, можно скрутить нанотрубки, начав скручивание с края типа “зигзаг” или “кресло” (см. рис. 1).

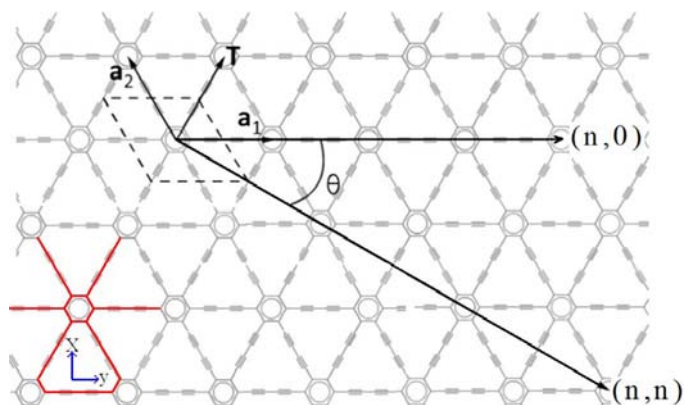


Рис. 1. Иллюстрация различных способов сворачивания графдина в нанотрубку.

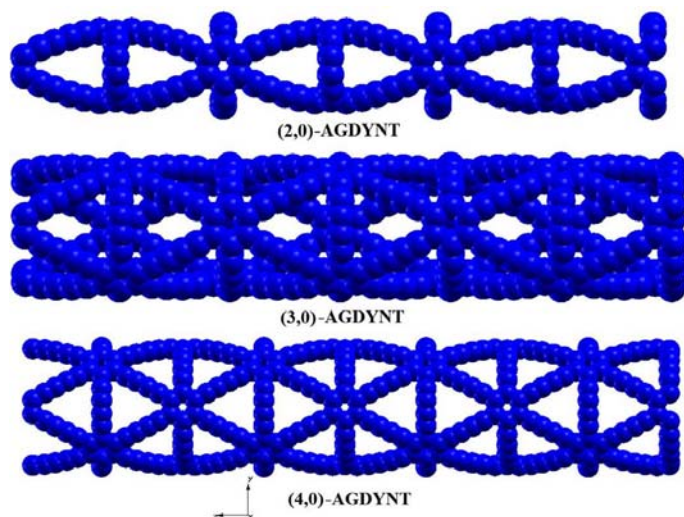


Рис. 2. Примеры кресельных графдиновых нанотрубок после оптимизации.

Примеры кресельных нанотрубок изображены на рис. 2. Оптимизацию геометрии и расчет электронных свойств авторы выполняли в рамках теории функционала плотности с помощью программного пакета SIESTA, а транспортные характеристики вычисляли с помощью стандартного метода неравновесных функций Грина в программе OpenMX. Авторы отмечают, что в отличие от классических нанотрубок графдиновые трубки обладают пористой поверхностью, что можно использовать в интересах водородной энергетики в качестве аккумуляторов топлива. Длины углеродных связей в графдиновых нанотрубках получились неодинаковыми, что является следствием различного типа гибридизации в углеродных кольцах и диацетиленовых мостиках. Что касается электронных свойств, то все исследуемые нанотрубки являются полупроводниками с шириной запрещенной зоны до одного электронвольта. При этом диэлектрическая щель чувствительна к диаметру трубки: с увеличением диаметра она уменьшается. Сравнивая кресельные и зигзаг-нанотрубки, авторы обращают внимание, что последние обладают более узкой диэлектрической щелью, таким образом, электронам необходима меньшая энергия для перехода из валентной зоны в зону проводимости, что приводит к увеличению тока (расчетные вольт-амперные характеристики исследователи также приводят в работе). Авторы полагают, что перспективы использования графдиновых нанотрубок в приборах наноэлектроники, безусловно, есть, однако, как традиционно бывает в таких случаях, проблема простой и масштабируемой методики синтеза пока остается неразрешенной.

М. Маслов

I. B.G.Shohany et al., *Physica E* **84**, 146 (2016).

СПИНТРОНИКА

Тернистый путь к магнитоэлектрической памяти

О практическом применении магнитоэлектрических веществ, в частности, в индустрии компьютерной памяти говорится более полувека, а воз и ныне там. Понять проблемы, стоящие перед создателями магнитоэлектрической памяти, и оценить ее перспективы позволяет недавняя статья [1] (Россия, США, Япония).

Рассматриваемый в статье [1] материал Cr_2O_3 является первым из открытых магнитоэлектриков: еще в 1960 г. Д.Н. Астровым в нем была измерена намагниченность, индуцированная электрическим полем [2]. То, что эффект наблюдается в Cr_2O_3 при комнатных температурах еще не означает, что материал годится для использования в микроэлектронике. Так, рабочая температура в процессорах лежит в диапазоне $60\div 80^\circ C$, а у Cr_2O_3 температура перехода в парамагнитное состояние составляет

всего 34°C. Температуру удается значительно повысить легированием Cr_2O_3 бором, однако при этом увеличивается магнитная анизотропия, что затрудняет переключение элемента под действием одновременно приложенных магнитного и электрического поля (их произведение должно превышать величину 10^{11} Э·В/см, что для микроэлектроники явный перебор). Как решение данной проблемы авторами [1] предлагается использовать движение доменной границы между двумя состояниями, символизирующими «1» и «0» (рис.1).

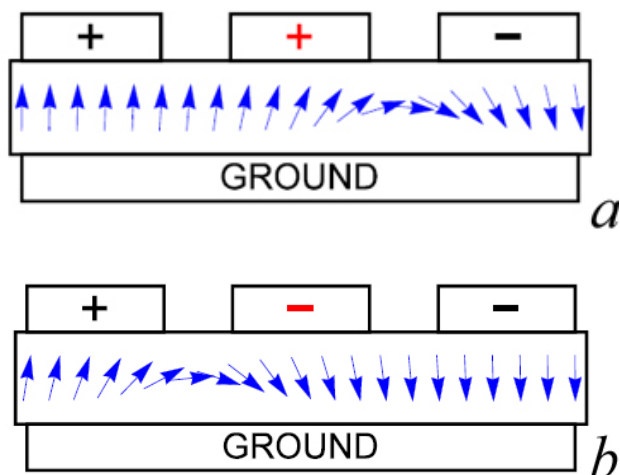


Рис. 1. Концепция магнитоэлектрической ячейки памяти [1]: *a* - положение доменной границы, соответствующее «0»; *b* - состояние «1». Синие стрелки – распределение вектора антиферромагнетизма, черным показаны электроды, задающие граничные условия в доменах, красными знаками «+»/«-» – потенциал на электроде, управляющем доменной границей, GROUND – заземленный электрод.

Но здесь возникают новые подводные камни. Cr_2O_3 , как и большинство магнитоэлектрических материалов, является антиферромагнетиком. В обычных магнитных материалах-ферромагнетиках скорость доменной границы в полях, меньших так называемого уокеровского предела, увеличивается линейно с ростом поля, что возможно благодаря относительно стабильной структуре границы (по магнито-статическим соображениям разворот намагниченности в плоскости границы более выгоден, чем в других). Однако этот фактор магнитного взаимодействия не работает в антиферромагнетиках, где намагниченности подрешеток полностью компенсируют друг друга. В результате из-за нестабильности структуры стенки ее скорость насыщается уже в малых полях. Чтобы выделить предпочтительно направление разворота намагниченности в антиферромагнетике авторы [1] предлагают создать искусственную анизотропию в плоскости за счет сдвиговой механической деформации (с помощью пьезоэлемента, анизотропной подложки или температурного градиента). Стабилизировав, таким образом, структуру доменной границы, они предполагают разогнать стенку до скорости 100м/с, что при

размерах элемента меньше 100нм позволит достичь быстродействия на современном уровне. Главным же достоинством новой памяти является, конечно, не быстродействие, а энергосбережение: для совершения одной логической операции в самом элементе требуется затратить исчезающе малую энергию 10^{-21} Дж. В реальности это означает, что потери будут определяться только диссипацией в подводящих проводах.

А.Пятаков

1. K.D.Balashchenko et al., *Appl. Phys. Lett.* **108**, 132403 (2016).
2. Д.Н.Астров, *ЖЭТФ* **38**, 984 (1960).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Вместе сильнее: золотые наночастицы и антибиотики эффективно уничтожают бактерии даже в биопленках

Устойчивость к противомикробным препаратам (противогрибковым, противовирусным, противомаларийным и антибиотикам) в последнее время стала одной из серьезнейших угроз для здоровья людей. На 71-ой Генассамблее ООН в сентябре 2016 г. руководители стран мира продемонстрировали беспрецедентное внимание к этой проблеме и обязались предпринять масштабные и координированные действия для ее решения [1]. Это всего лишь четвертый случай обсуждения вопросов здравоохранения на таком высоком уровне (первые три – ВИЧ, неинфекционные заболевания и Эбола). Руководители стран также признали необходимость содействия разработке инновационных и альтернативных подходов. Во всем мире ученые пытаются найти новые решения. Недавно американские исследователи (Univ. of Arkansas) предложили использовать для борьбы с бактериями совместное действие золотых наночастиц и антибиотиков нового поколения [2]. Всем известно, что антибиотики долгое время были важнейшими средствами профилактики и лечения бактериальных инфекций. Однако в последние десятилетия резко выросло число случаев как внутрибольничных, так и внебольничных инфекций, вызванных бактериями, устойчивыми к этим препаратам. Прежде всего, это касается золотистого стафилококка *Staphylococcus aureus*. Постоянно ведется разработка новых антибиотиков, но бактерии быстро формируют устойчивые штаммы.

Авторы работы [2] синтезировали золотые наноклетки (AuNC), покрытые полимерной оболочкой (PDA) с антибиотиком даптомицином (Dap) и антителами (aSpa) (рис. 1). Даптомицин, представитель нового класса антибиотиков, активен в отношении стафилококка *S. Aureus*, который исследователи выбрали для своих экспериментов как пример наиболее устойчивой и очень распространенной бактерии. Для того, что обеспечить целевую доставку к

клеткам бактерии, добавили антитела белка А стафилококка *S. Aureus* (золотистый стафилококк использует этот белок для выживания в организме

“хозяина”). ТЕМ изображения наноструктур AuNC и AuNC@PDA приведены на рис. 2.

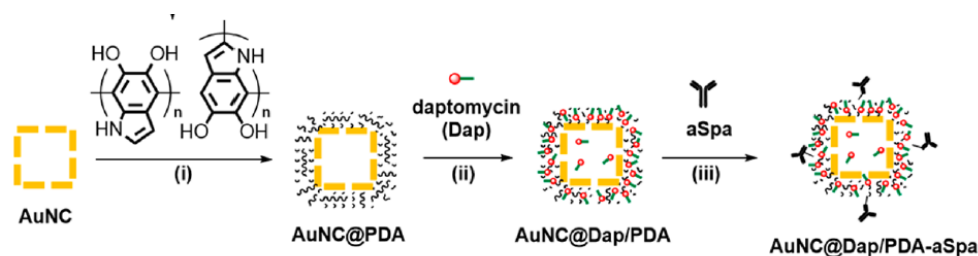


Рис. 1. Схема синтеза наноструктур: i - *in situ* полимеризация допамина и образование AuNC@PDA; ii - “загрузка” антибиотика даптомицина (синтез AuNC@Dap/PDA); iii - присоединение антител (синтез AuNC@Dap/PDA-aSpa).

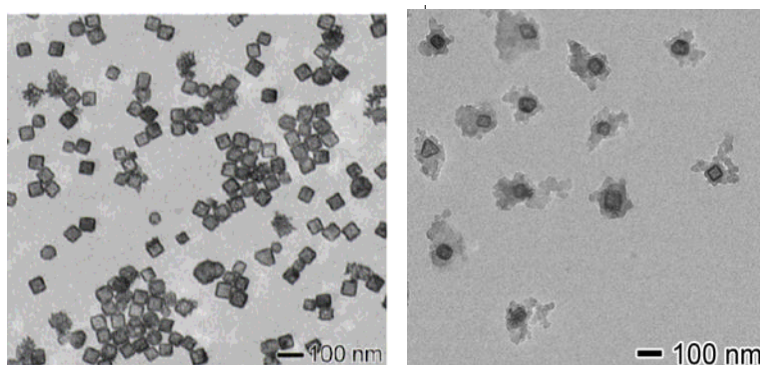


Рис. 2. ТЕМ изображения AuNC (слева) и AuNC@PDA (справа).

Как хорошо известно, золотые наночастицы обладают уникальными оптическими свойствами, связанными с возбуждением локализованных поверхностных плазмонов под действием внешних электромагнитных волн. Тепловой эффект, возникающий при лазерном облучении, позволяет использовать наночастицы для фототермической терапии или уничтожения бактерий. Перст недавно рассказывал о работе исследователей из Univ. of Houston (США), которые синтезировали структуру из пористых золотых нанодисков (NPGD), способную за секунды уничтожить патогенные бактерии при воздействии лазерного излучения [3]. Эти структуры можно, например, применять для дезинфекции загрязненных жидкостей.

Авторы [2] использовали диодный лазер, соответствующий современным нормам безопасности (длина волны 808 нм, мощность 0,75 Вт). Смеси суспензий бактерий и наноструктур на основе золота облучали 10 мин. Температура при этом повышалась до 50-55°C. Жизнеспособность бактерий оценивали сразу после лазерного воздействия ($t=0$) и через 24 ч инкубации с наночастицами ($t=24$ ч). Результаты показали, что при использовании AuNC@PDA при $t=0$ число живых бактерий равно нулю (точнее, ниже предела измерения), однако через 24 ч оно возвращается к контрольной величине до лазерного воздействия (рис. 3, группа 5). Заметим, что облучение бактерий без AuNC не

влияет на число живых бактерий, так же, как не влияют и золотые наночастицы без облучения (рис. 3, группы 2-4). Таким образом, одного фототермического эффекта оказалось недостаточно для эффективного уничтожения бактерий.

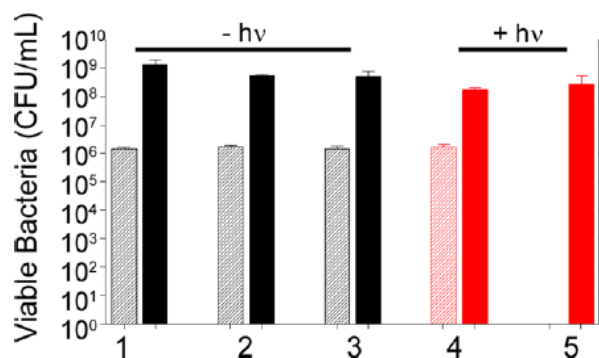


Рис. 3. Число живых бактерий *S. Aureus* при $t=0$ (левые столбики) и при $t=24$ ч (правые столбики): 1 - контрольный образец; 2 - AuNC без лазерного воздействия; 3 - AuNC@PDA без лазерного воздействия; 4 - лазерное облучение; 5 - AuNC@PDA + лазерное воздействие.

В последующих экспериментах авторы [2] применили лазерное воздействие на наноструктуры с антибиотиком допамином и выяснили, что в этом случае живые бактерии не появляются и через 24 ч инкубации. Благодаря нагреву расширяется полимерная оболочка AuNC, и выделяется антибиотик. Эффективность борьбы с бактериями возрастает

благодаря синергетическому эффекту. В присутствии антибиотика без AuNC число живых бактерий при $t=0$ остается неизменным. Правда, через 24 ч число живых бактерий под действием доп-амина снизилось, но даже этому новому перспективному антибиотику оказалось не под силу уничтожить их в биопленке (рис. 4, группа 2). С этой задачей успешно справились наноструктуры AuNC@Dap/PDA-aSpa благодаря синергетическому действию наноструктур и антибиотика, а также целевой доставке с помощью антител (рис. 4, группа 6). Только этот вариант обеспечил полное уничтожение бактерий как при $t=0$, так и при $t=24$ ч. Это очень важный результат. До 80% всех бактериальных инфекций связано с образованием биопленок, микробных сообществ, в которых бактерии имеют повышенную выживаемость и значительно более высокую устойчивость к антибиотикам. Биопленочными инфекциями обусловлены многие заболевания дыхательной системы, патология зубов и околозубных тканей, остеомиелит, инфекции мочевыводящих путей. Стафилококковые биопленки, в основном *S. Aureus*, развиваются на поверхности протезов, катетеров, имплантатов (например, коленных и тазобедренных суставов).

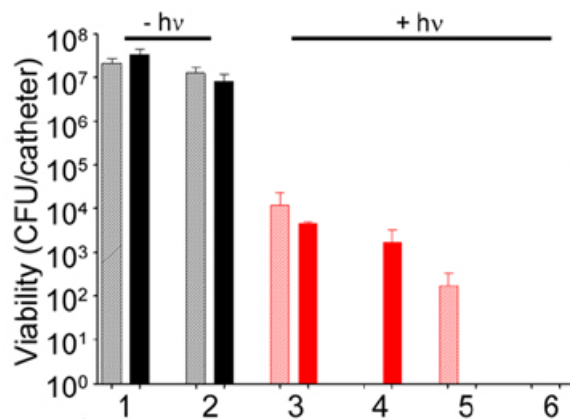


Рис. 4. Уничтожение бактерий в модельной биопленке при разном воздействии (левые столбики соответствуют $t=0$, правые - $t=24$ ч : 1 - контрольный образец; 2 - антибиотик допамин; 3 - AuNC@PDA + лазерное воздействие; 4 - AuNC@PDA-aSpa + лазерное воздействие; 5 - AuNC@Dap/PDA + лазерное воздействие; 6 - AuNC@Dap/PDA-aSpa + лазерное воздействие.

В целом действие механизма уничтожения бактерий можно схематически представить следующим образом (рис. 5):

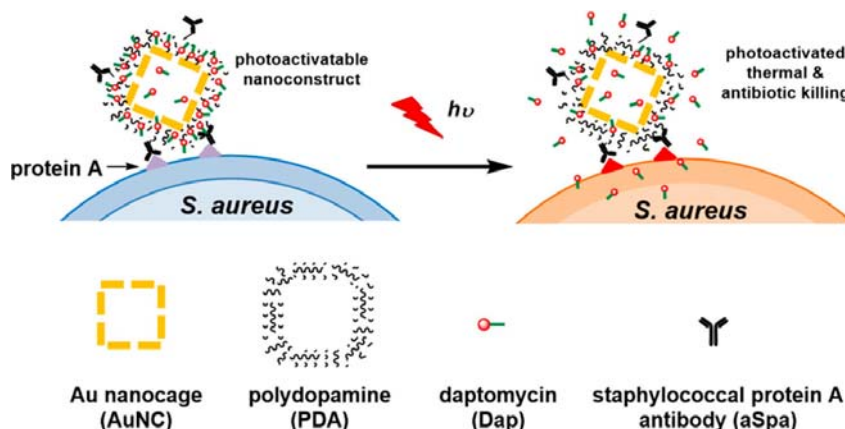


Рис. 5. Фотоактивация наноструктур, приводящая к синергетическому уничтожению бактерий с помощью антибиотиков и фототермического эффекта. Антитела белка А *S. Aureus* обеспечивают целевую доставку.

В планах авторов оценить и оптимизировать новый подход для условий *in vivo*, а также распространить его на другие бактерии. Одно из перспективных применений – при травмах или хирургических операциях, когда нужна обработка открытой раны.

О.Алексеева

1. *Новости ВОЗ*. 21.09.2016; <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/commitment-antimicrobial-resistance/ru/>
2. D.G.Meeker et al., *ACS Infect. Dis.* **2**, 241 (2016).
3. *ПерсТ* **23**, вып. 9/10, с.3 (2016).

КОНФЕРЕНЦИИ

Научная сессия ОФН РАН “К 100-летию со дня рождения Виталия Лазаревича Гинзбурга”, 5 октября 2016 г.

(14-00, конференц-зал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп. 53, Главное здание, 3-й этаж)



04.10.1916-08.11.2009

Программа

1. Член-корреспондент РАН **В.И. Ритус** - “В.Л. Гинзбург и Атомный Проект”
2. Д.ф.-м.н. **И.М. Дремин** (ФИАН) - “Неожиданные свойства взаимодействия протонов при высоких энергиях”
3. Член-корреспондент РАН **Вл.В. Кочаровский**, академик **В.В. Железняков**, профессор **А.А. Белянин** (Texas A&M University), к.ф.-м.н. **Е.Р. Кочаровская**, д.ф.-м.н. **В.В. Кочаровский** (ИПФ РАН) - “Явление сверхизлучения: физическое происхождение и реализация в лазерах”
4. Д.ф.-м.н. **В.М. Пудалов** (ФИАН) - “О структуре параметра порядка в высокотемпературных сверхпроводниках на основе железа”
5. Академик РАН **М.В. Садовский** - “Высокотемпературная сверхпроводимость в монослое FeSe: почему T_c столь высока?”

Сайт:

http://www.gpad.ac.ru/prog/sessions/session16_10_05.htm

XVIII Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, с 28 ноября по 2 декабря 2016 г., Санкт-Петербург, Россия

Восемнадцатая конференция для молодых ученых посвящена таким активно развивающимся направлениям физики твердого тела и электроники, как физика полупроводников и наноструктур, полупроводниковые нанотехнологии, опто- и наноэлектроника. Конференция является одновременно конкурсом работ и докладов. За лучшие доклады присуждаются денежные премии (в 2015 г. присуждено 11 премий студентам и аспирантам).

Конференция обеспечивает ВОЗМОЖНОСТЬ всем участникам опубликовать статьи (расширенные тезисы) на английском языке в журнале Journal of Physics: Conference Series, издаваемом в Великобритании издательством IOP Publishing. Эти публикации включаются в базы данных Scopus и Web of Science.

Тематика:

- 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**

E-mail: conference@semicond.spbstu.ru

Сайт: www.semicond.spbstu.ru/conf2016

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

Главный редактор: И. Чугуева, e-mail: ichugueva@yandex.ru

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: О. Алексеева, М. Маслов, Л. Опенов, А. Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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