

**СЕКЦИЯ «ФИЗИКА»**  
**ПОДСЕКЦИЯ «ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКА»**

**Фотолюминесценция нанокристаллов полупроводников АІВVI, внедренных в полимерную жидкокристаллическую матрицу**

**Алехин А.И.<sup>1</sup>, Гончар К.А.**

*студенты*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: a.i.alekhin@gmail.com*

В настоящее время исследователи уделяют особое внимание созданию новых нанокompозитных материалов на основе полупроводниковых наноструктур и жидкокристаллических полимеров. В этих материалах наночастицы взаимодействуют с полимерной матрицей не на макроскопическом, а на молекулярном уровне. Вследствие такого взаимодействия образуется композиционный материал, в котором наночастицы прочно связаны с полимерной матрицей. Следует отметить, что нанокompозит имеет упорядоченную внутреннюю структуру. Также полимеры, обладающие необычными механическими свойствами и возможностью образовывать волокна и пленки, могут улучшить фотофизические свойства наночастиц, внедренных в полимерную матрицу. Изменяя структуру нанокompозитов и количество наночастиц, можно получать новые материалы с заданными механическими, химическими и фотофизическими свойствами. Таким образом, нанокompозитные материалы могут позволить увеличить эффективность работы многих фотоэлектронных приборов.

Были проведены экспериментальные исследования спектров и временных характеристик фотолюминесценции (ФЛ) полупроводниковых наноструктур CdSe и CdS, внедренных в полимерную жидкокристаллическую матрицу.

Проведенное исследование показало, что спектр ФЛ наночастиц CdS и CdSe, внедренных в полимерную жидкокристаллическую матрицу сдвинут в сторону больших длин волн по сравнению со спектром ФЛ жидкокристаллического полимера без наночастиц (рис.1). Также был отмечен рост интенсивности ФЛ нанокompозитов с наночастицами CdS, что свидетельствует о том, что полимеры могут направленно изменять интенсивность люминесцирующих свойств внедренных в них наночастиц.

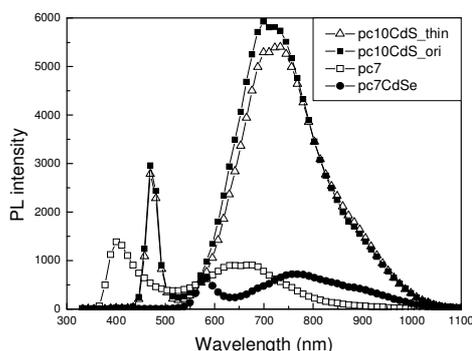


Рис. 1 Спектры ФЛ жидкокристаллического полимера без наночастиц и полупроводниковых наночастиц CdSe и CdS, внедренных в полимерную жидкокристаллическую матрицу.

### Литература

<sup>1</sup> Автор выражает благодарность профессору Тимошенко В.Ю. за помощь в подготовке тезисов и Мерекалову А.С. за предоставленные образцы.

1. G.A. Shandryuk, E.V. Matukhina, R.B. Vasil'ev, A. Rebrov, G.N. Bondarenko, A.S. Merekalov, A.M. Gas'kov, R.V. Talroze (2008) Effect of H-Bonded Liquid Crystal Polymers on CdSe Quantum Dot Alignment within Nanocomposite // *Macromolecules*, Vol. 41, №6, p. 2178-2185.

### **Пленки Ленгмюра-Блоджетт дифталоцианина олова**

*Алпатова А.В.*

*Студентка*

*МГУ им.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: [annalpatova@bk.ru](mailto:annalpatova@bk.ru)*

Методом Ленгмюра-Шефера получены пленки дифталоцианина олова ( $Pc_2Sn$ ) толщиной от двух до 33 монослоев (4-80 нм). Пленки получали последовательным переносом монослоев  $Pc_2Sn$  с поверхности воды на кварцевые и стеклянные подложки с электродами из двуокиси олова площадью  $32 \text{ мм}^2$  или алюминия площадью  $1 \text{ мм}^2$ . Изучаемые образцы пленок  $Pc_2Sn$  были получены при комнатной температуре (293 К) и поверхностном давлении 7 мН/м, рН=6.0. Монослои  $Pc_2Sn$  формировались на поверхности воды после внесения раствора дифталоцианина олова в хлороформе с концентрацией  $(7.8-9.8) \cdot 10^{-3}$  вес.%. Перед приготовлением пленок Ленгмюра-Блоджетт, было исследовано поведение мономолекулярного слоя  $Pc_2Sn$  на поверхности воды. С целью выявления условий формирования наиболее однородного монослоя (устранения эффектов агрегации и локального коллапса) были изучены изотермы сжатия монослоя при различном количестве объема вещества (от 0.4 до 1.0 мл). Площадь, занимаемая молекулой  $Pc_2Sn$  в «газовой фазе», составляет  $1.5 \text{ нм}^2$ . Минимальное значение площади, занимаемой молекулой в плотноупакованном монослое при введенном объеме вещества 0.4 мл, составляет  $1.25 \text{ нм}^2$ . В работе были изучены оптические, электрооптические (эффект Штарка) и электрические свойства полученных пленок. Нами были исследованы как спектры поглощения растворов  $Pc_2Sn$  в хлороформе (ХФ) и хлорбензоле (ХБ), так и спектры поглощения пленок Ленгмюра-Блоджетт. Общая структура полос спектров поглощения растворов  $Pc_2Sn$  в ХБ [1] и ХФ сопоставима, но в случае ХБ максимум поглощения для Q-полосы (698 нм) наблюдается на длине волны 626 нм. Мы связываем это с различием во взаимодействии молекул растворителей ХФ и ХБ с веществом  $Pc_2Sn$ . Следует также отметить меньшую структурированность спектров ленгмюровской пленки  $Pc_2Sn$ , вызванную неоднородным уширением полос поглощения. В результате уширения Q-полоса поглощения пленок практически сливается с другими характерными максимумами молекулярного поглощения и сдвигается в длинноволновую область относительно спектров поглощения, полученных для растворов. Исследования спектров эффекта Штарка пленок  $Pc_2Sn$  проводили на первой и второй гармониках синусоидального электрического поля. В области спектра 650-1000 нм наблюдали наличие как квадратичного, так и линейного электрооптического эффекта Штарка, что указывает на полярность полученных пленок  $Pc_2Sn$ . Так же, как и в пленках  $PcCu$  [2, 3], мы наблюдали нелинейные диэлектрические свойства в переменном электрическом поле треугольной формы (методом Мерца). Напряженность электрического поля, приложенного к образцу, составляла  $E=(1-2) \cdot 10^8 \text{ В/м}$ , частота лежала в диапазоне 30 – 1000 Гц. Эффект нелинейности проявлялся в достаточно широком интервале температур от 20 до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Литература.**

1. M. Whalley, J. Chemical Society, 1961, 866.
2. Юдин С.Г., Блинов Л.М., Петухова Н.Н., Палто С.П. // Письма в ЖЭТФ. 1999. Т.70. В.9. С.626.
3. С.П. Палто, А.В. Сорокин, А.А. Тевосов, С.Г. Юдин // Оптика и спектроскопия, 2005, т.98, №4, с. 627-632.

**Исследование электропроводности нанокристаллических кремниевых структур с разной долей кристаллической фазы**

*Антоновский А.А.<sup>2</sup>, Агафонова Е.А.<sup>1</sup>, Сысоев И.Д.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>аспирант, <sup>2</sup>студент*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: a.ant.sky@gmail.com*

Кремниевые нанокристаллы в оксидной матрице являются перспективными материалами для создания электронных и оптоэлектронных приборов, в частности, светоизлучающих диодов, солнечных батарей и устройств памяти. В настоящее время хорошо изучены структурные и оптические свойства этих структур. Однако процессам переноса носителей заряда уделено значительно меньше внимания. Известно, что механизмы транспорта носителей в пленках с нанокристаллами кремния в оксидной матрице должны сильно зависеть от доли кристаллической фазы и стехиометрии пленок. Одним из способов варьирования указанных параметров является последовательный высокотемпературный отжиг пленок  $\text{SiO}_x$  ( $x \leq 2$ ). Основной целью данной работы было исследование электропроводности образцов, содержащих кремниевые нанокристаллы в оксидной матрице (nc-Si/SiO<sub>x</sub>), отожженных при различных температурах в интервале  $T=350 \div 950$  °С.

Для измерения электрических характеристик на поверхность nc-Si/SiO<sub>2</sub> напылялись золотые контакты площадью  $\sim 1$  мм<sup>2</sup>. Нижним электродом служила подложка сильно легированного c-Si.

На основе проведенных исследований были построены графики зависимости проводимости от доли кристаллической фазы ( $V_{\text{Si}}$ ). Данные графики имели два максимума при  $V_{\text{Si}}=0.07$  и  $V_{\text{Si}} \approx 0.31$  и один минимум при  $V_{\text{Si}}=0.13$ . Такой вид графиков объясняется следующим образом. Для неотожженных образцов перенос носителей заряда происходит по дефектам в оксидной матрице. При небольшой температуре отжига доля кристаллической фазы увеличивается и проводимость растет. Однако, при температуре отжига, соответствующей  $V_{\text{Si}} \approx 0.13$  нанокластеры Si разделены диэлектрическими промежутками SiO<sub>x</sub> с  $x \approx 2$ . В этом случае все сопротивление структуры определяется высоким сопротивлением промежутков SiO<sub>x</sub>, и наблюдается минимум проводимости. Начиная с температуры отжига 650 °С, доля кристаллической фазы становится более 16%. При этом происходит слипание изолированных нанокластеров в аморфные Si-нити. С дальнейшим увеличением температуры в аморфных нитях начинается формирование кремниевых нанокластеров, что ведет к росту проводимости. Резкое увеличение проводимости при температуре отжига 950 °С свидетельствует об образовании цепочек из кристаллических нанокластеров – перколяционного пути, по которому движется носитель.

Таким образом, установлена корреляция между структурными свойствами nc-Si/SiO<sub>2</sub> и их электропроводностью. Зависимость электропроводности от доли кристаллической фазы объяснена на основе перколяционной модели, учитывающей существование аморфных и кристаллических нанокластеров кремния.

**Сравнительные исследования диэлектрических свойств тонких сегнетоэлектрических пленок ВаТiО<sub>3</sub> мостовым методом и методом тепловых шумов<sup>2</sup>**

**Бедняков Петр Сергеевич**

*аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: [petr\\_bednyakov@mail.ru](mailto:petr_bednyakov@mail.ru)*

В последние годы неуклонно растет число применений наноразмерных сегнетоэлектрических элементов в электронных устройствах. Важной характеристикой таких элементов является величина диэлектрической проницаемости в нулевом электрическом поле. Но измерение этой величины для объектов, толщиной менее 1 мкм, представляет значительные трудности, а в некоторых случаях вообще невозможно. Дело в том, что измерительные напряжения современных LCR-метров составляют величину не меньшую 40 мВ, что соответствует подаче на образец полей ~ 1 кВ/см и выше. Одним из решений этой проблемы является использование метода тепловых шумов. Однако, в своей наиболее распространенной реализации, этот метод дает усредненное по широкому интервалу частот значение диэлектрической проницаемости, что ограничивает область его применения.

Для преодоления этого недостатка метода тепловых шумов, на базе многофункционального устройства сбора данных NI-DAQ USB-6221 создана оригинальная автоматизированная установка, с возможностью выбора полосы частот. В настоящей работе проводится сравнительный анализ результатов измерений, произведенных на этой установке с измерениями температурных и частотных зависимостей диэлектрических свойств, выполненными классическим мостовым методом посредством измерителя иммитанса E7-20. Управление измерениями и обработка данных осуществляется посредством программ, созданных в среде программирования LabVIEW.

В качестве объектов исследования выбраны поликристаллические и эпитаксиальные тонкие пленки титаната бария ВаТiО<sub>3</sub>, толщинами от 250 нм до 600 нм. Образцы были любезно предоставлены профессором Ё. Уесу (Университет Васеда, Япония).

Для всех исследованных образцов методом тепловых шумов получены температурные и частотные зависимости диэлектрических свойств в интервале температур от 300К до 420 К, включающем температуру сегнетоэлектрического фазового перехода в объемных кристаллах ВаТiО<sub>3</sub>, и в интервале частот от 1 кГц до 50 кГц, а также в широкой полосе частот. Для сравнения эти же образцы исследовались по классической мостовой методике в том же интервале температур и в интервале частот от 25 Гц до 1 МГц.

### **Литература**

1. J.F. Scott, Science **315**, 954 (2007)
2. J.J. Brophy and S.L. Webb, Phys. Rev **128**, 584 (1962)
3. Y. Ishibashi, A. Sawada, Y. Takagi, J. Phys. Soc. Jpn. **27**, 705 (1969)

---

<sup>2</sup> Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 08-02-01010-а)

**Разработка методов получения и анализ физических свойств суспензий кремниевых нанокристаллов**

**Велигура В.А., Гонгальский М.Б.**

*Студентка, младший научный сотрудник*

*Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра общей физики и молекулярной электроники, Москва, Россия*

*E-mail: [vaveligura@gmail.com](mailto:vaveligura@gmail.com)*

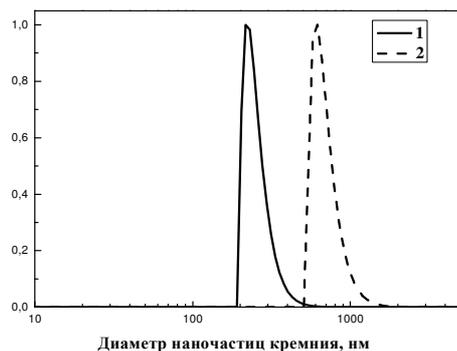
Кремниевые наноструктуры из-за уникальных физических и химических свойств весьма перспективны для практических использований в различных областях современной науки и техники [1]. Одним из возможных их применений является использование в биомедицине, в частности в качестве фотосенсибилизаторов синглетного кислорода, или биологически совместимых наноконтейнеров для направленной доставки лекарств [2]. Для возможности проникновения кремниевых нанокластеров в живые клетки организма необходимо получение их устойчивых суспензий с размерами наногранул менее 200 нм.

В данной работе были изучены структурные свойства порошков кремниевых нанокристаллов, полученных измельчением монокристаллического кремния на планетарной мельнице, (образец А) и порошков микропористого кремния (образец Б). Известно, что поверхность свежеприготовленных пористых кремниевых нанокристаллов гидрофобна. Однако, после пребывания в кислородосодержащей атмосфере, поверхность нанокристаллов окисляется и приобретает гидрофильные свойства [3]. Вследствие этого оказалось невозможным получить стабильные суспензии кремниевых нанокристаллов. Поэтому одной из целей настоящей работы являлось получение неокисленных порошков пористых кремниевых нанокристаллов, обладающих гидрофильными свойствами, а также анализ состава их поверхностного покрытия.

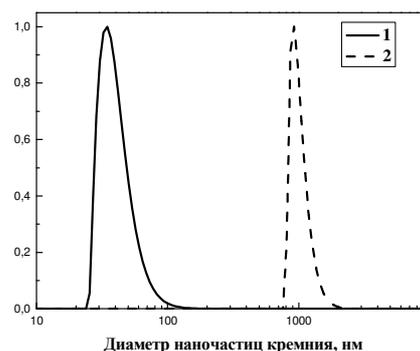
Образец микропористого кремния (образец Б) был получен способом электрохимического травления кристаллического кремния в растворе на основе плавиковой кислоты HF(48%) с добавлением этилового спирта C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH в соотношении 1:1. Полученная пленка пористого кремния измельчалась механическим путем до порошкообразного состояния. Опытным путем было установлено, что нанокристаллы пористого кремния приобретали гидрофильные свойства после следующей обработки: порошок размешивался в хлороформе (CHCl<sub>3</sub>) и помещался в УЗ- ванну на 20 мин для дальнейшего измельчения. Затем порошок осушался.

На основе образцов А и Б были изготовлены их водные суспензии. Полученные суспензии обладали высокой гомогенностью и стабильностью. Для определения состава поверхностного покрытия кремниевых нанокристаллов в образцах А и Б осуществлялось измерение их спектров отражения инфракрасного излучения с использованием ИК-спектрометра с обратным Фурье – преобразованием фирмы Bruker. Для измерения размеров наночастиц использовался метод динамического рассеяния света (фотонная корреляционная спектроскопия).

На рис 1. представлены графики распределения наночастиц по размерам. Средний размер для образцов А составил 220 нм, для образцов В 600 нм. Для выделения фракции с размерами менее 100 нм образцы центрифугировались в течение 10 мин. После чего было проведено их повторное измерение распределения по размерам (рис 2.). При этом средний размер наночастиц для образца А составил 30 нм, а в образце Б существенно не изменился. Для образца Б данный факт обусловлен невозможностью выделения фракции наночастиц с определенными размерами методом центрифугирования вследствие их высокой пористости, и, как следствие, низкой плотности гранул наночастиц, и/или их коагуляцией.

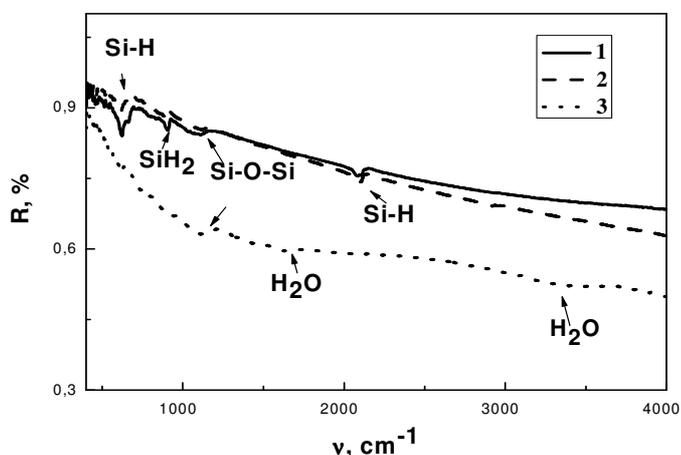


**Рис. 1** Распределение наночастиц в свежеприготовленных водных суспензиях образцов А (1) и Б (2) по размерам.



**Рис. 2** Распределение наночастиц по размерам в водных суспензиях образцов А(1) и Б (2) после центрифугирования.

На рис 3. представлены ИК- спектры отражения образца Б до и после обработки в хлороформе и его водной суспензии.



**Рис 3.** ИК- спектры отражения порошка микропористого кремния до (1) и после (2) обработки в хлороформе и его водной суспензии (3)

Из представленных спектров видно, что поверхность свежеприготовленного образца Б (кривая 1) преимущественно покрыта водородом (соответствующие линии поглощения ИК-излучения указаны на рисунке).

После обработки в хлороформе поверхность образца не подверглась существенным химическим изменениям (кривая 2). Несмотря на это, после модификации она приобрела гидрофильные свойства. В водной суспензии пористых кремниевых нанокристаллов интенсивности поглощения на Si-H, Si-H<sub>2</sub> связях оказались существенно ниже из-за взаимодействия с полярными молекулами воды.

Итак, в настоящей работе были разработаны методы получения стабильных водных суспензий порошков кремниевых нанокристаллов (образцы А) и пористых кремниевых нанокластеров (образцы Б). Сделанная оценка распределения по размерам для образцов А показала их возможность проникать в живую клетку организма. Образцы Б, обладающие уникальным свойством – пористостью имеют размеры больше необходимых (около 600 нм), и требуют дальнейшего механического измельчения. Проведенный анализ состава поверхностного покрытия показал преимущественно водородное покрытие поверхности образцов, что объясняет их начальные гидрофобные свойства. Полученные в работе данные свидетельствуют о возможности использования суспензий кремниевых нанокристаллов для биомедицинских целей.

Авторы выражают благодарность своим научным руководителям к.ф.м.н. Осминкиной Л.А. и проф. Тимошенко В.Ю., а также заведующему кафедрой проф. Кашкарову П.К.

#### Литература.

1. O. Bisi, S. Ossicini, L. Pavesi. Surf. Sci. Rep., **38**(1-3), 1 (2000)
2. L.E.Euliss, J.A.DuPont, S.Gratton, J.DeSimone. Chem. Soc. Rev., **35**(11), 1095 (2006)
3. W.Theis. Thin Solid Films. **276**(1-2), 7 (1996).

## Метод синхронного детектирования для измерения спектра фототока органических солнечных батарей

*Гаврик А.Ю.*

*Студент*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

*физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: [gavrik@physics.msu.ru](mailto:gavrik@physics.msu.ru)*

В последние годы солнечная энергия привлекает всё больше внимания и в настоящее время рассматривается как многообещающий альтернативный источник энергии. Среди различных способов получения солнечной энергии наиболее эффективным и надёжным считается фотоэлектрический метод преобразования с помощью полупроводниковых фотоэлементов. Традиционно в качестве фотовольтаических материалов использовались неорганические вещества, в частности, кремний. Однако, стоимость полученной энергии оказывается достаточно высокой в связи с трудоёмкой и дорогостоящей технологией изготовления, что делает такой способ получения электроэнергии экономически неоправданным. Особый интерес в этой области представляют органические материалы. В частности, стоимость полимер-фуллереновых материалов может быть намного ниже традиционных, что открывает широкие перспективы развития органических солнечных элементов (ОСЭ).

Работа посвящена исследованию ВКЭ фотоэлементов, активным слоем которых является объёмный гетеропереход в смеси донора – сопряжённого полимера и акцептора – производной фуллерена. В последние годы КПД лучших образцов ОСЭ достиг 4-6% и вопрос его корректного измерения стал высоко актуальным в связи с перспективами коммерциализации ОСЭ. Для адекватного измерения КПД необходимо измерение спектра внешней квантовой эффективности (ВКЭ) ОСЭ. ВКЭ описывает эффективность преобразования энергии фотонов, попадающих на элемент, в пару зарядов на противоположных электродах фотоэлемента.

При измерении спектра ВКЭ используется слабое монохроматическое излучение (менее  $1\text{ мВт/см}^2$ ) при одновременном освещении более мощным широкополосным излучением, соответствующим солнечному свету ( $100\text{ мВт/см}^2$ ), что требует использования модуляционного метода. Монохроматическое излучение модулируется при помощи оптического прерывателя, а для измерения спектра ВКЭ используется техника синхронного детектирования, которая позволяет обнаружить слабый модулированный сигнал фототока. Однако ОСЭ, как правило, характеризуются низкой скоростью отклика (от  $1\text{ мс}$  до  $1\text{ с}$ ), следовательно, необходимо проводить измерения фототоков на низкой частоте.

В рамках работы был разработан метод измерения спектра ВКЭ с низкочастотной модуляцией оптического излучения и исследована зависимость величины фототока от частоты модуляции. Для реализации низкочастотной модуляции была разработана система, состоящая из механического прерывателя, управляемого микроконтроллером; синхронное детектирование было реализовано при помощи прецизионного источника-измерителя Keithley 2400. Преимущество данного подхода заключается в том, что модуляционные токовые измерения осуществляются при помощи специального прибора, который стабилизирует напряжение на элементе. В докладе обсуждаются другие подходы для измерения ВКЭ.

### Литература

1. Парашук Д. Ю., Кокорин А. И. (2008) Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии // Российский химический журнал, №52(6), с. 107-117.
2. Shrotriya, V., Li G., et al. (2006) Accurate Measurement and Characterization of Organic Solar Cells // Advanced Functional Materials, №16(15), p. 2016-2023.

## Исследование оптических свойств нанокompозитов на основе кремниевых нанокристаллов и ферромагнитных веществ

**Гончар К.А.**<sup>3</sup>

студент

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*Физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: gonchiy\_pes@bk.ru*

Актуальным направлением развития материальной базы информационных технологий является повышение плотности записи информации на магнитные носители. Одним из вариантов решения такой задачи является размещение ферромагнитных металлов с нанометровой плотностью в твёрдотельной матрице, например, из пористого кремния (ПК). Известно, что ПК, полученный электрохимическим методом, может иметь размеры пор 2-4 нм, что позволит увеличить объём хранимой информации на пять порядков по сравнению с имеющимися устройствами магнитной записи информации. Отметим, что композиты типа полупроводник-металл представляют также отдельный интерес в свете создания так называемых метаструктур и метаматериалов, обладающих уникальными физическими свойствами, кардинально отличными от свойств составляющих их веществ.

В данной работе исследовались спектры и кинетики фотолюминесценции (ФЛ) образцов ПК с осаждёнными наночастицами оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), никеля (Ni) и кобальта (Co). В исследуемых исходных образцах ПК наблюдалась ФЛ с максимумом спектра на длине волны около 700 нм (рис.1, левая панель), которую можно объяснить излучательной рекомбинацией экситонов в нанокристаллах кремния со средними размерами 2-4 нм. Установлено, что при введении ферромагнитных веществ в поры ПК происходит изменение интенсивности его ФЛ и сдвиг максимума. Причём у образцов с введёнными частицами  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  наблюдались увеличение интенсивности ФЛ по сравнению с исходным ПК, а с введением частиц Co и Ni наоборот её гашение (рис.1, левая панель). Из анализа кинетик ФЛ следует, что времена жизни экситонов в образцах с  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  уменьшались, а с частицами Co и Ni – увеличивались (рис.1, правая панель), что указывает на различное влияние используемых ферромагнитных веществ на излучательную рекомбинацию экситонов в нанокристаллах кремния.

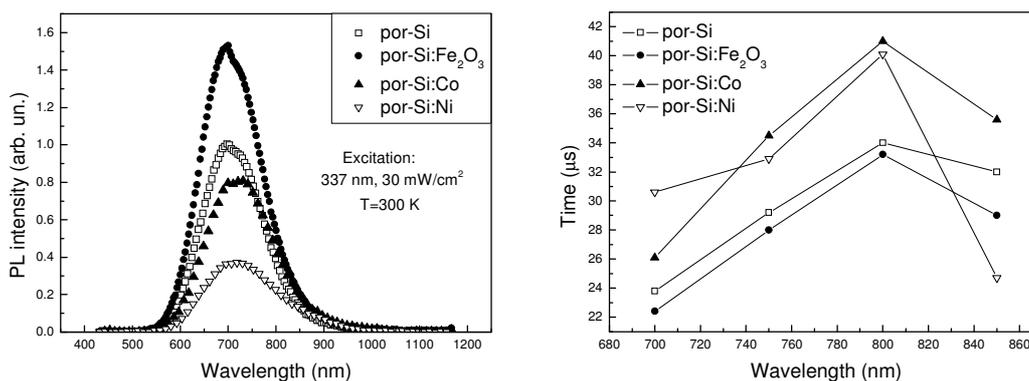


Рис.1 Спектры ФЛ образцов ПК с осаждёнными ферромагнитными веществами (левая панель), зависимость времени жизни ФЛ от длины волны в этих образцах (правая панель).

Из сказанного можно сделать вывод, что оптические свойства нанокompозитов на основе кремния и ферромагнетика можно контролировать путём изменения типа осаждённого металла в твердотельную матрицу ПК, что указывает на перспективность данного подхода в создании новых устройств записи информации и метаматериалов.

<sup>3</sup> Автор выражает благодарность профессору В.Ю. Тимошенко за научное руководство работой и В.М. Кашкарову (Воронежский ГУ) за предоставленные образцы.

## Моделирование свойств «зигзажных» графеновых полос с линиями адсорбированных водородных пар<sup>1</sup>

Гусятникова П.П.<sup>2</sup>, Артюхов В.И.<sup>3</sup>

Студент, Аспирант

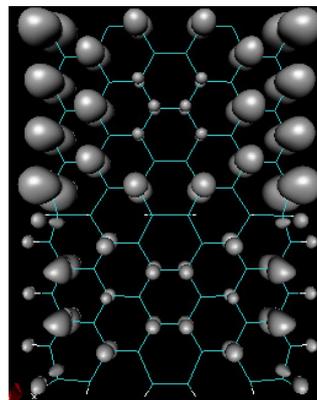
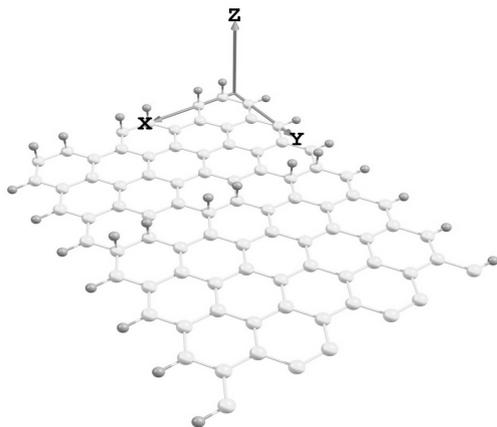
<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (Государственный университет),  
г.Долгопрудный, Россия

E-mail: [polidk@yandex.ru](mailto:polidk@yandex.ru)

<sup>3</sup>Институт биохимической физики РАН, г.Москва, Россия

Графен представляет собой двумерный кристалл, образованный атомами углерода посредством  $sp^2$ - связей. Разрезая лист графена, можно создавать различные структуры, в том числе графеновые полосы. Существует два простейших типа графеновых полос: полосы типа «armchair» и «zigzag», на краях которых углеродные атомы расположены в виде «кресел» или «зигзага», соответственно.

В работе методом теории функционала плотности с использованием программы «SIESTA» рассматривается наносистема, полученная путем адсорбции атомов водорода на чистую графеновую нанополосу типа «zigzag» в виде поперечных «линий». Были рассмотрены полосы разной ширины и разными периодами расположения 2H-линий. На рисунке слева приведен пример системы: зигзажная графеновая полоса 6ZGNR (6 цепочек С-атомов вдоль полосы – оси Y), периодически разлинкованная адсорбированными «линиями» атомов водорода (темные H-атомы расположены на расстоянии 3 и 4 гексагона). В данном случае часть структуры, ограниченная атомами водорода на расстоянии трех углеродных гексагонов, является квантовой точкой.



Рассмотрение плотности намагниченности показало, что адсорбция атомов водорода приводит к тому, что по краям квантовой точки спины направлены в одну сторону (в отличие от графеновой полосы без адсорбированных «линий» водорода). На рисунке справа изображена плотность намагниченности рассмотренной системы, причем светлые шарики – спины, направленные вверх по оси Z, темные - вниз. Данная структура является слабым ферромагнетиком.

Показано, что рассмотренные системы представляют собой квазиодномерные полупроводниковые сверхрешетки с различными электронными и магнитными свойствами.

<sup>1</sup>Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта РФФИ (грант №08-02-01096).

**«Мерцающая» люминесценция нанотетраподов CdTe/CdSe**

*Дирин Д.Н.<sup>1</sup>, Ковалёв М.М.<sup>2</sup> Шульга А.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Аспирант*

*Факультет наук о материалах, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Студент*

*Высшая школа физиков МИФИ-ФИАН, Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Москва, Россия, E-mail:*

*[bear\\_smitov@yahoo.com](mailto:bear_smitov@yahoo.com)*

<sup>3</sup>*Аспирант*

*Физический институт им. П.И. Лебедева РАН, Москва, Россия*

Создание разветвленных полупроводниковых наногетероструктур дает возможность управления электронно-оптическими свойствами материала посредством манипулирования локализацией носителей заряда. Возможность разделения электрона и дырки между различными частями нанокристалла была ранее продемонстрирована для сферических квантовых точек и наностержней. В данной работе изучены люминесцентные свойства нанотетраподов с симметрией  $T_d$  (тетраэдр) — которые могут быть представлены как система из четырех связанных наностержней.

Исследуемые нанокристаллы типа ядро/оболочка CdTe/CdSe получены исходя из олеата кадмия и триоктилфосфинхселенида методами коллоидной химии на основе тетраподов CdTe с толщиной лучей  $2.9 \pm 0.4$  нм и длиной  $8.3 \pm 1.3$  нм. Наногетероструктуры представляли собой тетрапод CdTe с лучами, покрытыми оболочкой CdSe. Максимальная толщина оболочки достигала 1 нм. [1].

Возбуждение непрерывным лазерным излучением приводило к появлению «мерцающей» люминесценции нанотетраподов. То есть наблюдались переходы нанокристалла из светлого состояния (*on*-состояние) в темное (*off*-состояние) и обратно. *Off*-состояние квантовой точки связывают с исходом из нее носителя отрицательного заряда, а *on*-состояние – с его возвращением.

Мы обнаружили, что длины *on*- и *off*-интервалов распределены неэкспоненциально, что указывает на множественность путей исхода и возвращения заряда [2]. Кроме того показано, что функция распределения хорошо описывается обратным степенным законом. Применив методику, описанную в [3], мы показали наличие корреляций между длинами последовательных *on*-интервалов а также между длинами последовательных *off*-интервалов. Это говорит о том, что процесс «мерцания» люминесценции не является полностью случайным, а обладает так называемой «остаточной памятью». Были вычислены коэффициенты соответствующих корреляций.

Частично работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-02-90464-Укр\_а и 09-02-00546-а, также НШ-4365.2008.2 (ведущая научная школа РФ)

**Литература:**

1. R. V. Vasiliev et al, Mendeleev Commun. **14(4)** (2004)169
2. M. Kuno et al. J.Chem. Phys. **112** (2000), number 7, 15 February
3. F.D. Stefani et al Phys. Rev. **B 72** (2005)125304

**Влияние легирования на оптические свойства квантовых точек CdSe****Дроздов К.А.***Студент**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,**физический факультет, Москва, Россия**E-mail: konstantin.droz@gmail.com*

Изучение кристаллов сверхмалых размеров занимает важное место в современной физике полупроводников ввиду широких возможностей их практического применения. Использование наноразмерных кристаллов открывает возможности для создания приборов на их основе с параметрами лучшими, чем у существующих в настоящее время. Варьируя размеры нанокристаллов, степень их легирования и тип легирующей примеси, можно в очень широких пределах изменять свойства исследуемых объектов.

В работе исследовались квантовые точки CdSe и CdSe:Cu (содержание атомов меди варьировалось от 0.32 до 0.52 at.%), полученные методом коллоидной химии. Раствор с нанокристаллами наносился на кварцевую подложку, а затем высушивался.

Целью работы являлось изучение оптических свойств квантовых точек и влияние легирования на их свойства. Измерения оптических свойств образцов проводились в диапазоне температур от 77 до 300 К.

В результате исследования было обнаружено, что внедрение атомов меди оказывает значительное влияние на спектральные характеристики квантовых точек и на оптические свойства системы в целом. Легирование квантовых точек CdSe атомами меди приводит к появлению дополнительного пика фотолюминесценции, интенсивность которого возрастает с увеличением концентрации легирующей примеси. При высоком уровне концентрации меди длинноволновый пик оказывается доминирующим. При этом общая интенсивность спектра падает при увеличении степени легирования. Такое поведение обусловлено влиянием ионов меди  $\text{Cu}^+$  на исходные уровни квантовой точки, полученные из условий размерного квантования.

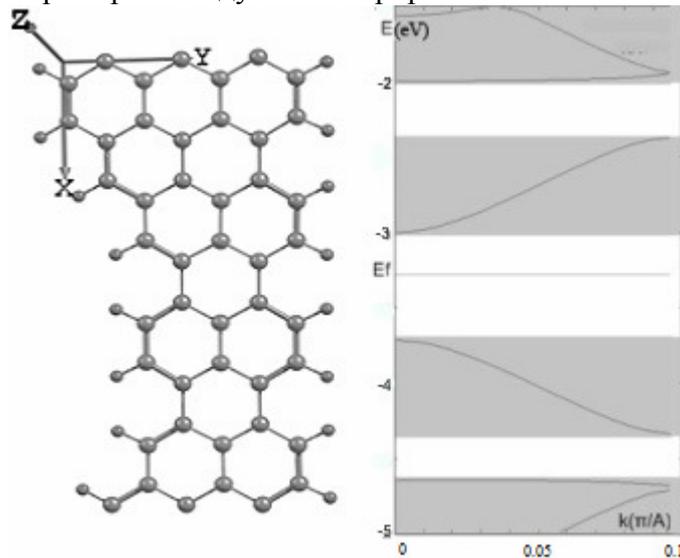
Помимо изменения интенсивности фотолюминесценции, удалось наблюдать смещение максимумов в сторону увеличения энергии при увеличении концентрации легирующей примеси. Сдвиг фундаментального пика, по-видимому, обусловлен влиянием ионов меди на исходные уровни квантовой точки. Сдвиг второго наблюдаемого пика обусловлен замещением ионов кадмия ионами меди и, также, влиянием ионов меди на исходные уровни квантовой точки.

Обсуждаются причины перестройки спектров фотолюминесценции квантовых точек с изменением температуры.

**Моделирование структур и свойств сверхрешёток кресельного типа на основе графеновых полос<sup>1</sup>****Елисеев А.С.<sup>2</sup>, Артюхов В.И.<sup>3</sup>**<sup>2</sup> студент*Московский физико-технический институт*<sup>3</sup> аспирант*Институт биохимической физики РАН**e-mail: [artemii\\_e@mail.ru](mailto:artemii_e@mail.ru)*

Графен представляет собой двумерный кристалл, состоящий из атомов углерода, связанных посредством  $sp^2$ -гибридизации. Из него можно вырезать полосы различной наноразмерной ширины. Известно, что полосы типа "armchair" (NAGNR, N – число C-атомов в цепочке по ширине полосы в направлении Y, перпендикулярном ее оси X) с "кресельным" расположением краевых атомов углерода имеют электронный спектр с узкой (<1 эВ) щелью [1].

В работе исследуются электронные свойства специфических  $E(eV)$  графеновых нанолент с периодически меняющейся шириной – квазиодномерных сверхрешёток. Здесь представлен лишь один пример исследуемых сверхрешёток.



Левая половина рисунка – пример сверхрешётки из двух фрагментов 7AGNR с длиной в  $7d_{c-c}$  гексагона и 5AGNR с длиной в  $5d_{c-c}$ ;  $d_{c-c}$  – расстояние между соседними C-атомами. Правая половина – это спектр сверхрешётки, представленной слева, с шириной запрещенной зоны  $0,7эВ$ , с выделенными минизонами.

Обнаружено существенное различие между электронными спектрами рассмотренных сверхрешеток и чистых графеновых полос – возникает более широкая щель и энергетические уровни, соответствующие локальным состояниям.

Появление минизон обусловлено нарушением симметрии графеновой полосы. Электроны могут переходить из одной минизоны в другую.

Расчёты производились в программе "Siesta" методом теории функционала плотности. Изученные сверхрешётки могут использоваться в качестве новых элементов полупроводниковой наноэлектроники. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №08-02-01096.

#### Литература:

1. Young- Woo Son, Marvin L. Cohen, and Steven G. Louie «Energy Gaps in graphene nanoribbons», Physical Review Letters 24 November 2006

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №08-02-01096

**Фотолюминесцентные и структурные свойства образцов кремниевых нанокристаллов в матрице диоксида кремния, сформированных в результате термического отжига тонких пленок  $SiO_x$  с различными параметрами стехиометрии**

***х***  
***Емельянов А.В., Швыдун Н.В.***<sup>4</sup>

*Студенты*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*Физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: [emelyanov.andrey@mail.ru](mailto:emelyanov.andrey@mail.ru)*

В настоящее время не вызывает сомнений актуальность применения кремниевых наноструктур в полупроводниковой микро- и оптоэлектронике. Благодаря исследованиям, проведенным за последние годы, открываются широкие перспективы создания эффективных светодиодов и лазеров на основе кремниевых нанокристаллов (nc-Si) [1,2]. С практической точки зрения важным в процессе создания кремниевых наноструктур является независимый контроль концентрации и размера нанокристаллов Si. Одним из вариантов формирования nc-Si является реактивное распыление порошка  $SiO_x$  ( $1 \leq x \leq 2$ ) на подложку с последующим термическим отжигом. Известно, что  $SiO_x$  в результате термической обработки при температурах 1000-1200°C разделяется на  $SiO_2$  и nc-Si [3]. При этом процесс разделения фаз с образованием нанокристаллического кремния описывается следующим уравнением:  $2SiO_x \rightarrow (2-x)Si + xSiO_2$ . Таким образом, варьируя параметр стехиометрии напыляемого слоя ( $x$ ) можно контролировать концентрацию кремниевых нанокристаллов. Особый интерес представляет изготовление nc-Si путем последовательного напыления слоев  $SiO_2$  и  $SiO_x$ . В этом случае, задавая толщину слоя  $SiO_x$  и параметр  $x$ , можно независимо контролировать как размеры nc-Si, так и их концентрацию, соответственно.

В данной работе изготовлен набор одно- и многослойных структур  $SiO_x$  с различными значениями параметра стехиометрии  $x = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2$ , отожженных при температуре 1100°C в атмосфере азота. Для каждого образца определена концентрация и размер nc-Si, которые оказывают существенное влияние на интенсивность фотолюминесценции (ФЛ) исследуемых образцов. Путем измерения кинетик ФЛ исследован процесс передачи энергии в зависимости от концентрации nc-Si. Установлено, что при увеличении параметра стехиометрии  $x$  наблюдается как уменьшение концентрации, так и размеров nc-Si. При исследовании спектров ФЛ образцов обнаружен сдвиг положения максимума интенсивности ФЛ в высокочастотную область при уменьшении размеров кремниевых нанокристаллов. Используя методику послойного напыления структур  $SiO_x/SiO_2$ , исследована зависимость характеристик ФЛ образцов с фиксированным размером nc-Si от их концентрации.

#### **Литература**

- 1.Canham L. (2000) Gaining light from silicon // Nature, v. 408, pp. 411- 412.
- 2.Pavesi L., Dal Negro L., Mazzoleni C., Franzo G., Priolo F. (2000) Optical gain in silicon nanocrystals // Nature, v. 408, pp. 440- 444.
- 3.Zacharias M., Heitmann J., Scholz R., Kahler U., Schmidt M., Bläsing J. (2002) Size-controlled highly luminescent silicon nanocrystals: A SiO/SiO<sub>2</sub> superlattice approach // Appl. Phys. Lett., v. 80, p. 661-663.
- 4.Godefroo S., Hayne M., Jivanescu M., Stesmans A., Zacharias M., Lebedev O.I. (2008) Classification and control of the origin of photoluminescence from Si nanocrystals // Nature nanotechnology, Vol. 3, p. 174-178.

<sup>4</sup> Авторы выражают благодарность научному сотруднику Д.М. Жигунову за научное руководство работой.

## Изучение поверхностных фононов в нанокристаллических полупроводниках

Журбина И.А.<sup>5</sup>,

аспирант, магистр физики

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
факультет наук о материалах, Москва, Россия

E-mail : [zhurbina@vega.phys.msu.ru](mailto:zhurbina@vega.phys.msu.ru)

Известно, что свойства полупроводниковых материалов в значительной степени зависят от их поверхности, что используется, например, для создания сенсоров на различные вещества. Целью данной работы являлось исследование влияния диэлектрической проницаемости молекулярного окружения нанокристаллов на частоты поверхностных фононов, измеряемых по спектрам комбинационного рассеяния света.

В работе исследовались образцы пористого фосфида галлия (GaP), полученные методом электрохимического травления, и образцы нанокристаллического диоксида олова (SnO<sub>2</sub>), приготовленного золь-гель методом. Измерение спектров комбинационного рассеяния света выполнялось с помощью микрорамановского спектрометра Horiba Jobin Yvon HR800 с использованием излучения Ar-лазера ( $\lambda=488$  нм) на воздухе. Эксперименты проводились при комнатной температуре.

На спектре монокристаллического GaP(100) амплитуда ТО моды гораздо меньше LO. При травлении и соответственно переходе к нанокристаллической форме, вклад ТО колебаний значительно возрастает. На частоте 398 см<sup>-1</sup> появляется дополнительный максимум, соответствующий рассеянию на поверхностных фононах. При помещении образца в различные среды (вода, спирт, глицерин) наблюдается сдвиг этого пика. Причем положение данного максимума хорошо описывается уравнением:

$$\frac{\omega_s^2}{\omega_{TO}^2} = \frac{\epsilon_0 + \epsilon_m(1/L - 1)}{\epsilon_\infty + \epsilon_m(1/L - 1)}.$$

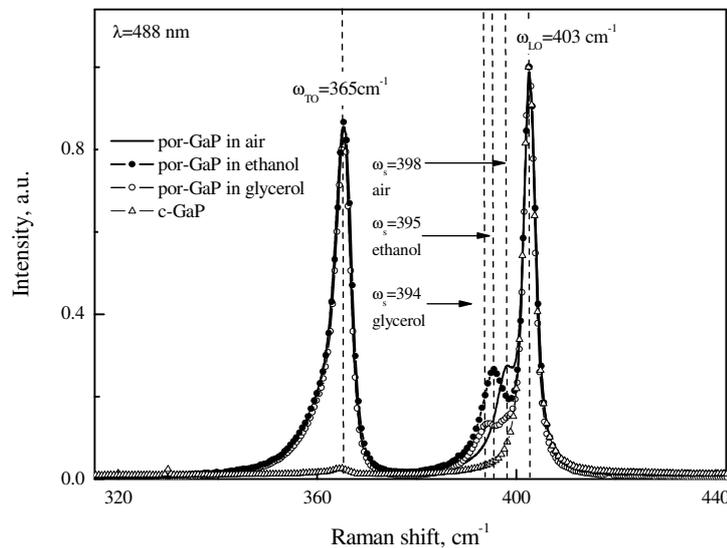


Рис1. Спектры комбинационного рассеяния света GaP

Из экспериментальных данных был рассчитан фактор поляризации. Поскольку полученное значение  $L=0.412$ , то можно сделать вывод об эллиптической форме исследуемых нанокристаллов. Для образцов SnO<sub>2</sub> изменение диэлектрической

<sup>5</sup> Автор выражает благодарность проф. Тимошенко В.Ю. за научное руководство данной работы.

проницаемости молекулярного окружения не приводит к сдвигу частот, таким образом, для данных образцов можно говорить о локальных поверхностных фонах.

### **Исследование процессов фотосенсибилизации молекулярного кислорода в ансамблях полупроводниковых нанокристаллов методом фотолюминесценции.**

**Загородских С.А.**

*студент*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
zag@vega.phys.msu.ru, mgong@mail.ru*

Синглетный кислород представляет из себя возбужденное состояние молекулы кислорода. Интерес к нему в последнее время обусловлен возможностью применения их в фотодинамической терапии рака. Поскольку прямое оптическое возбуждение молекулы кислорода в синглетное состояние запрещено квантовомеханическими правилами отбора, для генерации синглетного кислорода применяют фотосенсибилизаторы. Возможными фотосенсибилизаторами являются полупроводниковые нанокристаллы, в частности, микропористый кремний (ПК) и наноструктуры  $A^{II}B^{VI}$ . Варьируя ширину запрещенной зоны, можно достичь совпадения энергии аннигиляции экситона в полупроводнике с энергией перехода молекулы кислорода в возбужденное состояние. Генерация синглетного кислорода детектируется по тушению люминесценции полупроводника в кислородной среде по сравнению с вакуумом.

Применение в медицине предъявляет ряд требований к препарату, в частности: нетоксичность, возможность изготовления устойчивых суспензий и высокая дисперсность. ПК нетоксичен, однако не смачивается водой и слабо диспергирован. Для достижения высокой дисперсии необходимо механическое измельчение ПК. Нами было обнаружено, что при обработке ПК в хлороформе с применением ультразвука, поверхность нанокристаллов модифицируется и они становятся смачиваемыми водой.

В нашей работе исследованы процессы фотосенсибилизации молекулярного кислорода в порошках и водных суспензиях ПК при модификации поверхности и диспергировании образца. Определена эффективность фотосенсибилизации для данных систем исходя из величины тушения интенсивности фотолюминесценции в кислородсодержащей среде.

Нанокристаллы полупроводников  $A^{II}B^{VI}$ , в частности CdSe представляют из себя хорошо диспергированные квантовые точки. Применение их в качестве фотосенсибилизаторов в медицине малоперспективно вследствие высокой токсичности для человека. Однако, процессы фотосенсибилизации в них интересны с фундаментальной точки зрения, т.к. в данных системах значительно проще достичь изолированности отдельных квантовых точек по сравнению с ПК.

### **Распыление пучка кластерных ионов**

**Иешкин А.Е.**

*Студент*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
E-mail: [iae\\_2004@mail.ru](mailto:iae_2004@mail.ru)*

Пучки кластерных ионов играют важную роль в современных нанотехнологиях. Это связано, прежде всего, с уникальными эффектами, возникающими при взаимодействии кластерных ионов с поверхностью твердых тел. Так, например, за счет особенностей распыления кластерными ионами происходит сглаживание рельефа облучаемой поверхности до уровня шероховатости порядка долей нанометра, модификация свойств

подложки при имплантации или пиннинге кластерного вещества. В последние годы созданы источники кластерных ионов, позволяющие получать значительные, порядка мА, токи ионных пучков. В связи с этим становится актуальной проблема преодоления кулоновской расходимости пучка.

Задача о расплывании ионного пучка под действием объёмного заряда изучена достаточно подробно. Однако остаются некоторые вопросы, которые требуют прояснения. В частности, представляется интересным понять поведение пучков ионов, состоящих от нескольких десятков до тысяч атомов. Суть проблемы состоит в том, что при транспортировке атомных или молекулярных ионов между током пучка и массовым расходом существует прямая пропорциональная зависимость. А в случае кластерных ионов возможно, вообще говоря, произвольное соотношение между ними. Таким образом, возможно изменение параметров расходимости пучка при разных соотношениях массового и зарядового тока.

В отличие от классической постановки задачи, было проведено исследование не зависимости радиуса пучка от времени его распространения, а плотности тока на расстоянии  $z$  от входной апертуры. Для плотности тока получено уравнение

$$3(i')^2 - 2ii'' - \frac{I}{\pi\epsilon_0\sqrt{2}(q/m)^{1/2}U^{3/2}}i^3 = 0,$$

содержащее единственный безразмерный параметр

$$\alpha = 2.54 \cdot 10^{10} \left( \frac{\Phi}{\text{м}} \right) \cdot \frac{I}{(q/nm_1)^{1/2}U^{3/2}} = 2.54 \cdot 10^{10} \left( \frac{\Phi}{\text{м}} \right) \cdot \frac{(q/nm_1)^{1/2}M}{U^{3/2}},$$

где  $U$  – ускоряющее напряжение,  $q$  – заряд иона,  $nm_1$  – его масса,  $I, M$  – токи заряда и массы.

При численном анализе уравнения обнаружено, что увеличение размера кластера при постоянном массовом расходе приводит к уменьшению расходимости пучка, а при постоянном токе пучка – к увеличению.

#### Литература

1. Габович М.Д. (1955) УФН, т. LVI, вып.2, сс. 215 – 256.
2. Kirkpatrick A. (2003) NIMPR, v. B 206, pp. 830 – 837.
3. Yamada I., Toyoda N. (2003) NIMPR, v. B 242, pp. 143 – 145.
4. Popok V.N., Prasalovich S.V. and Campbell E.E.B., 13th International Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2003), 2003, 8-12 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine, pp. 250 – 253.
5. Макаров Г.Н. (2006) УФН, т.176, сс. 121 – 174.
6. Лукошков В.С. (1936) ЖТФ, т. 6, с. 26.

#### Электрические явления при взаимодействии ионизирующих излучений с наноструктурами.

**Кошелев Семен Витальевич**

*Студент 3 курса физико-химического факультета*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: [cemen410@yandex.ru](mailto:cemen410@yandex.ru)*

В последнее время одной из наиболее развивающейся отраслью науки и промышленности стали нанотехнологии, в частности, это взаимодействие ионизирующего излучения с нано размерными частицами, которое дает новые перспективы в развитии промышленности и науки. В частности, для детекторов ионизирующих излучений со значительно улучшенными чувствительностью, быстродействием и радиационной прочностью. Последнее особенно актуально для внутриреакторного контроля потоков

ионизирующих излучений. В настоящее время остро стоит проблема ускоренного развития сети атомных электростанций как единственно реальной в промышленных масштабах альтернативы тепловым электростанциям, которые опасным образом загрязняют атмосферу углекислым газом, создавая парниковый эффект.

Нами было исследовано взаимодействие рентгеновского излучения с нанослоями металлов, приводящее к возникновению электрических сигналов. Они могут быть использованы для регистрации интенсивных потоков радиации непосредственно в активных зонах ядерных реакторов, что значительно повысит надежность работы последних.

В связи с этим нами был выполнен эксперимент, в основу которого была положена идея о том, что сечение поглощения атомов платины для рентгеновских квантов более чем в 1000 раз превосходит сечение поглощения атомов алюминия. Была создана ячейка из слоев алюминия и платины, разделенных между собой тонким слоем диэлектрика (оксид алюминия). При попадании рентгеновских квантов на слой платины наблюдается внешний фотоэффект, затем электроны диффундируют через слой диэлектрика в слой алюминия, заряжая его отрицательно, а слой платины положительно, создавая, таким образом, радиационную ЭДС. Нами был снят сигнал с такой ячейки при облучении квантами с энергией порядка 30 кэВ, который составил порядка  $10^{-10}$  Ампер. А время отклика было гораздо меньше, чем у приборов, которые в настоящее время используются для регистрации радиационных потоков (у таких приборов время отклика составляет порядка нескольких десятков секунд). Величина полезного сигнала от подобных структур может быть значительно повышена за счет создания многослойных систем.

---

Работа выполнена на базе ИФТТ РАН при участии В.В. Кедрова, С.З. Шмурака, Н.Ф. Прокопюка и Н.В. Классена.

**Фотолюминесценция в гетероструктурах с множественными квантовыми ямами GaP/GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub>/GaP при гидростатическом сжатии до 16 кбар<sup>6</sup>  
Миронов Д.Е.<sup>7</sup>**

*Студент 4 курса физического факультета*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: [arbiter@inbox.ru](mailto:arbiter@inbox.ru)*

Изучена фотолюминесценция в гетероструктурах GaP/GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub>/GaP с тремя квантовыми ямами GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub> шириной 4.3 нм, разделенными барьерными слоями GaP толщиной 100 нм, которые были выращены методом металлоорганической парофазной эпитаксии на ориентированных в плоскости (100) подложках из *n*-GaP. Квантовые ямы из GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub> и барьерные слои из GaP не легировались. Исследования проведены при комнатной температуре и гидростатических давлениях до 16 кбар и находятся в рамках актуальной проблемы создания оптоэлектронных устройств на основе полупроводниковых материалов АЗВ5, согласованных по параметрам решетки с кремниевой подложкой (используемая подложка *n*-GaP с постоянной решетки  $a = 5.45 \text{ \AA}$  уже намного ближе к кремнию с  $a = 5.35 \text{ \AA}$  по сравнению с обычно применяемой подложкой из GaAs с  $a = 5.65 \text{ \AA}$ ). Давление, в общем русле проблемы, выступает в качестве параметра, влияющего на ширину запрещенной зоны, то есть длину волны излучения, в активной области структуры.

---

<sup>6</sup> Тезисы доклады основаны на материалах исследований, проведенных Мироновым Д.Е. в лаборатории профессора Хайбротта В. (Марбургский университет Филиппса, Германия) в соответствие с тематикой гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант №07-02-00866).

<sup>7</sup> Автор выражает признательность профессору, д.ф.-м.н. Миминой Н.Я. и доценту, д.ф.-м.н. Богданову Е.В. за помощь в подготовке тезисов.

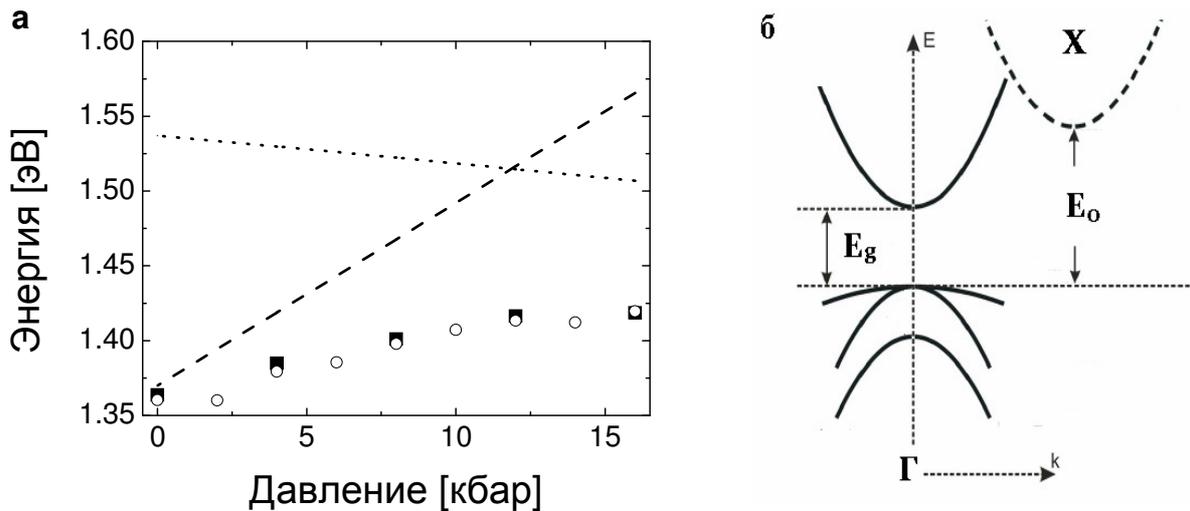


Рис.2. (а) Барическая зависимость положения максимума фотолюминесценции гетероструктуры с тремя квантовыми ямами GaP/GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub>/GaP (возбуждение аргоновым лазером – квадраты, возбуждение гелий-неоновым лазером – кружки). Штриховой и пунктирной линиями представлены результаты расчетов для прямой в точке  $\Gamma$  и не прямой в точке X энергетических щелей. (б) Схема зонной структуры вблизи точки  $\Gamma$  зоны Бриллюэна (см. текст).

Автоматизированная установка для измерения спектров фотолюминесценции на базе зеркального монохроматора обеспечивала точность измерений и спектральное разрешение не хуже 0.1 нм (0.3–0.4 мэВ). Для повышения чувствительности и помехозащищенности применялась модуляционная методика, а спектральный диапазон определялся параметрами охлаждаемого жидким азотом германиевого детектора и составлял 660 – 1600 нм (0.77 – 1.88 эВ). В качестве источников света использовались гелий-неоновый и аргоновый лазеры с длиной волны излучения, соответственно, 632.9 и 514.5 нм. Гидростатическое давление создавалось в камере из мартенситной никель-хромовой стали с оптическим окном из сапфира. Передающей средой служила смесь этанол-метанол в соотношении 1:4.

Приведенные на рис.1 спектры фотолюминесценции получены экспериментально и демонстрируют под давлением  $P$  монотонный сдвиг положения максимума в голубую область спектра. При  $P = 16$  кбар сдвиг положения максимума фотолюминесценции достигает величины  $\Delta E \approx 55$  мэВ (рис.2а). Величина сдвига определяется значительным ростом энергетической щели в GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub> под давлением [1,2], приложение которого при этом несущественно (в соответствии с близкими по величине упругими модулями GaP и GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub>) влияет на исходное несоответствие решёток гетероструктуры и подложки.

На рис.2б приведена схема расположения зонных экстремумов вблизи точки  $\Gamma$  зоны Бриллюэна, энергетическая щель  $E_g$  в которой определяет при  $P = 0$  все прямые оптические переходы  $\Gamma \rightarrow \Gamma$ . Однако по мере увеличения давления происходит сближение энергетического положения минимумов зоны проводимости в  $\Gamma$  и X, и при некотором значении давления минимальной энергетической щелью становится энергетический зазор  $E_0$  в точке X, имеющий другую барическую зависимость, в результате чего доминирующими становятся не прямые переходы  $\Gamma \rightarrow X$  [1]. Результаты расчета барических зависимостей прямой и не прямой энергетических щелей для объёмного GaAs<sub>0.89</sub>N<sub>0.04</sub>P<sub>0.07</sub>, представленные на рис.2а, демонстрируют наличие точки кроссовера термов в  $\Gamma$  и X при  $P \approx 12$  кбар, что практически совпадает со значением давления, при котором происходит значительное уменьшение скорости смещения положения максимума спектра фотолюминесценции от давления.

### Литература

1. Levinstein M., Rumyanstev S., Shur M. (1996) Handbook Series on Semiconductor Parameters: Elementary A3B5 Semiconductors. London: World Scientific.
2. Shan W., Walukiewicz W., Yu K.M., Wu J., Ager J.M., Haller E.E., Xin H.P., Tu C.W. (2000) Nature of the fundamental band gap in GaN<sub>x</sub>P<sub>1-x</sub> alloys // Applied Physics Letters, v.76, №22, p. 3251–3253.

### Исследование оптического поглощения термически окисленных кремниевых наноструктур

*Ларцев Арсений Владимирович*<sup>8</sup>

*студент*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра общей физики и молекулярной электроники, Москва, Россия*

*E-mail: receive-spam@yandex.ru*

В последнее время большое внимание уделяется исследованию свойств наноструктурированных материалов и композитов. Они замечательны тем, что обладают принципиально новыми свойствами, не присущими исходным материалам. Кроме того, можно изменять свойства нанокompозитов в широких пределах, изменяя количественное соотношение составляющих компонентов.

Примером такой среды может служить окисленный пористый кремний, представляющий собой ансамбль кремниевых нанокристаллов, покрытых слоем оксида кремния. В нашей работе исследуются спектры поглощения термически окисленных слоев мезопористого кремния в широком спектральном диапазоне (от ближнего ИК до УФ) для образцов различной пористости.

Образцы мезопористого кремния были приготовлены стандартным методом электрохимического травления пластин кристаллического кремния [1] *p*-типа с удельным сопротивлением от 3 до 45 мОм·см. Электролит состоял из водного раствора плавиковой кислоты с добавлением спирта в следующих пропорциях: HF(48%):C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH=1:1. Плотность тока составляла от 30 до 50 мА/см<sup>2</sup>, время травления 30 минут. После окончания процесса порообразования, мезопористый кремний отслаивался от подложки путем кратковременного увеличения плотности тока до 500 мА/см<sup>2</sup>. Далее, полученные слои подвергались термическому окислению на воздухе течение 30 минут при максимальной температуре от 300 до 900°C.

Измерения оптических спектров проводились на спектрофотометре Shimadzu UV3600 в диапазоне от 200 до 900 нм. Пористость неотожжённых образцов определялась гравиметрическим методом [2].

Проведённые эксперименты показали, что, меняя условия приготовления исследуемых образцов, можно контролируемым образом перестраивать их спектр поглощения. Увеличение температуры окисления приводит к сдвигу края поглощения в коротковолновую область. Данное явление может найти применение в УФ защите материалов. В работе приводится качественная модель, позволяющая описать сдвиг края поглощения, обнаруженный экспериментально.

### Литература

- 4.A.G. Cullis, L.T. Canham, P.D.J. Calcott. J. Appl. Phys., 82, 909 (1997).
- 5.Herino R., Bomchil G., Baria K., Bertrand C., Ginoux J. L. "Porosity and pore size distribution of porous silicon layers" // J. Electrochem. Soc., 1987, v.134, pp.1994-2000

<sup>8</sup>

Научный руководитель работы – старший преподаватель, кандидат ф.-м. наук Павликов А.В.

## Фотолюминесценция квантовых точек теллурида кадмия в пористой матрице оксида кремния

Масленников Е.Д.<sup>1</sup>, Пискунов Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент, <sup>2</sup> аспирант

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия

E-mail: [lshirk@yandex.ru](mailto:lshirk@yandex.ru)

В некоторых приложениях лазерной физики (светоизлучающие устройства, визуализаторы ИК-излучения) твердотельные материалы более предпочтительны, нежели суспензии. Поэтому целесообразным является внедрение квантовых точек (КТ) в матрицу, с сохранением при этом у получившегося нанокompозитного материала всех требуемых для приложения преимуществ КТ. Тем не менее, изготовление и свойства структур на основе КТ полупроводников материалов  $A_2B_6$ , внедрённых в диэлектрическую матрицу, ранее не были подробно изучены, несмотря на практическую необходимость.

Основой при создании нами нанокompозитного материала являлись КТ CdTe, успешно синтезированные в ходе двухшаговой химической реакции  $Cd(ClO_4)_2$ ,  $H_2Te$  и тиогликолевой кислоты. Описанный метод позволяет синтезировать нанокристаллы с размером от 1,5 до 5,5 нм. В зависимости от их размера спектр фотолюминесценции лежит в диапазоне от 500 до 800 нм. В качестве твердотельной матрицы использовались отделившиеся от подложки плёнки пористого кремния, сформированные в результате травления пластин кремния сильнолегированного бором (удельное сопротивление 3-5 мОм·см) с ориентацией поверхности (100) током с плотностью 50 мА/см<sup>2</sup> в растворе HF:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH в течении 8 минут и последующим окислением на воздухе при температуре 900°C в течение двух часов. Толщина плёнки составляла 25 мкм. Для изготовления композитного материала использовался метод пропитывания: на плёнку SiO<sub>x</sub> последовательно наносилось несколько капель водно-спиртового раствора КТ CdTe, и при этом визуально контролировалась обратная сторона плёнки.

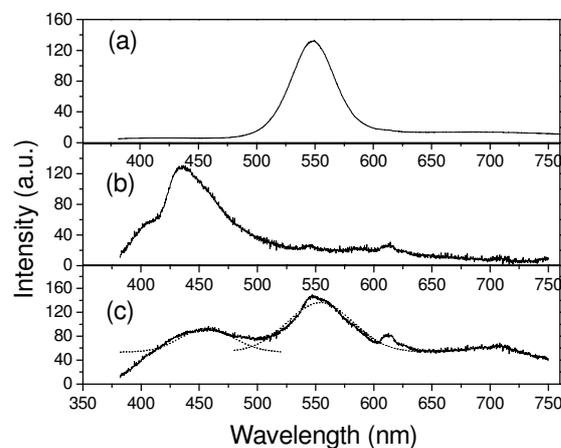


Рис.1. Спектры фотолюминесценции: КТ CdTe (a), плёнки SiO<sub>x</sub> (b) и нанокompозитного материала CdTe/SiO<sub>x</sub> (c).

Методами однофотонной и двухфотонной фотолюминесцентных спектроскопий были изучены свойства сформированного нанокompозитного материала на основе КТ CdTe, внедрённых в пористую матрицу оксида кремния. Подтверждено заполнение пор квантовыми точками по всей толщине образца и превалирование их свойств над свойствами матрицы. (Рис.1.) При однофотонном возбуждения азотным лазером с  $\lambda = 337$  нм наблюдалась линейная зависимость сигнала ФЛ от мощности накачки, при этом зависимость сигнала ДФЛ от интенсивности возбуждающего импульса представляет

нелинейную кривую, хорошо описываемую теоретической зависимостью. Произведена оценка коэффициента двухфотонного поглощения КТ CdTe, его величина составила  $\beta = 8 \pm 0.5$  см/ГВт, что более чем в четыре раза превосходит соответствующую для кристаллического теллурида кадмия (1.8 см/ГВт). Таким образом, нами был получен нанокompозитный материал, удобный в применении, обладающий при этом желаемыми оптическими свойствами КТ.

#### Литература

1. S. Ossicini, L. Pavesi, F. Priolo // 2003, Springer.
2. L. Pan, A. Ishikawa, N. Tamai // Physical Review B. 2007, v. 75, 161305.
3. L. A. Padilha, J. Fu, D. J. Hagan. // Physical Review B. 2007, 75, 075325.

#### Морфология поверхности, оптические свойства и структура поли-*n*-фениленвинилена и нанокompозитов на его основе, синтезированных газофазной полимеризацией на поверхности.<sup>9</sup>

Морозов П.В.<sup>10</sup>

Аспирант

Московский педагогический государственный университет, факультет физики и информационных технологий, Москва, Россия

E-mail: [morozov@cc.nifhi.ac.ru](mailto:morozov@cc.nifhi.ac.ru)

Синтез и исследование свойств сопряженных полимеров и нанокompозитов на их основе представляет большой научный и практический интерес в связи с возможностью их применения в качестве органических электролюминесцентных и фотовольтаических материалов, квантовых генераторов, материалов с нелинейными оптическими свойствами. Наиболее перспективным сопряженным полимером является поли-*n*-фениленвинилен (ПФВ). В качестве наполнителей использовали ZnS, CdS и PbS. Для повышения эффективности люминесценции и баланса подвижностей зарядов важно уметь контролировать морфологию поверхности и структуру полимерного слоя. Целью работы являлась оптимизация синтеза ПФВ методом газофазной полимеризации, внедрение и стабилизация наночастиц в полимерной матрице, исследование структуры и свойств полученных материалов. Газофазной полимеризацией дихлор-*n*-ксилола и совместным осаждением сульфидов (CdS, ZnS, PbS) с последующей термообработкой прекурсора, получены тонкопленочные композиционные материалы на основе поли-*n*-фениленвинилена, с различным содержанием полупроводниковых наночастиц. Температура подложки была  $-196^{\circ}\text{C}$ , остаточное давление в системе  $\sim 10^{-5}$  Торр, наночастицы получали электронным или прямым испарением сульфидов из танталовой лодочки, нагреваемой переменным током. Конденсат мономеров и частиц сульфидов осаждали на подложки: оксид индий-олово на кварце (ITO), кремний (100). Изучена морфология поверхности: в качестве модели взята скейлинговая теория роста [1], построены корреляционные функции. Шероховатость поверхности увеличивается с ростом толщины пленок, коэффициент изрезанности  $\alpha$  для образцов ПФВ-ZnS равен  $0.82 \pm 0.05$ , можно предположить: рост пленки идет по механизму как объемной, так и поверхностной диффузии. Структуру исследовали методами рентгеноструктурного анализа в больших углах, рассчитали средний эффективный размер частиц сульфидов: 5-15 нм диаметр, зависит от концентрации.

<sup>9</sup> Работа поддержана грантом Российского Фонда Фундаментальных Исследований: № 08-03-00695.

<sup>10</sup> Автор выражает благодарность к.ф.-м.н. Григорьеву Е.И., к.ф.-м.н. Завьялову С.А., профессору, д.х.н. Чвалуну С.Н., профессору, д.х.н. Разумовской И.В. за помощь в подготовке тезисов.

Выводы: метод легко совместим с технологическими процессами, применяемыми в микроэлектронике, пленки наносятся в вакууме на подложки большой площади и произвольной формы. Меняя концентрацию наночастиц в полимере, можно варьировать длину волны флуоресценции, влиять на поглощательную способность пленок электромагнитного излучения в УФ и видимом диапазоне.

### Литература

1. Meakin P. // Fractals, Scaling and Growth Far from Equilibrium, Cambridge University Press, 1998.

### Динамика рекомбинаций экситонов в ансамблях нанокристаллов кремния при высоких уровнях оптического возбуждения

*Пентегов Иван Сергеевич<sup>11</sup>*

*Студент*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
[sandre.fuego@gmail.com](mailto:sandre.fuego@gmail.com)*

Полупроводниковые нанокристаллы позволяют реализовать свойства, недоступные для объемных материалов. Так, например, в результате квантового размерного эффекта, энергия связи экситона, локализованного в нанокристалле, существенно выше, чем в объемном кремнии, и, поэтому, даже при комнатной температуре наблюдается интенсивная ФЛ кремниевых квантовых точек, находящихся в матрице диэлектрика, что можно использовать на практике при создании новых светоизлучающих устройств.

В работе были исследованы образцы, содержащие кремниевые нанокристаллы со средними размерами 3-4 нм, внедренные в слои диоксида кремния. Измерения спектров и кинетик ФЛ были проведены при различных интенсивностях оптического возбуждения, для чего использовались различные лазерные источники излучения. На рис.1 приведены спектры ФЛ образцов, возбуждаемых непрерывным излучением лазера с длиной волны  $\lambda_{ex}=473$  нм.

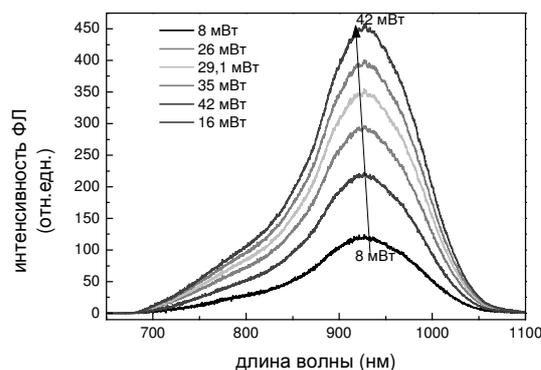


Рис. 1. Спектры ФЛ нанокристаллов кремния при различных мощностях возбуждения лазером с длиной волны  $\lambda_{ex}=473$  нм (диаметр пятна на образце 1мм, T=300 К).

Как видно из рис.1, форма спектров ФЛ слабо изменяется с увеличением интенсивности возбуждения, в то время как интенсивность ФЛ растет практически линейно с ростом интенсивности возбуждения. При больших уровнях возбуждения наблюдалось искажение формы полосы ФЛ и нелинейная зависимость ее интенсивности

<sup>11</sup> Автор выражает благодарность проф. В.Ю. Тимошенко за внимание к работе и помощь в подготовке тезисов.

от интенсивности возбуждения. Указанные эффекты можно объяснить процессами многочастичной рекомбинации в ансамблях нанокристаллов кремния.

### Формирование стержнеобразных ориентированных преципитатов силицида никеля при магнетронном напылении углерода и никеля на кремний

*Сергачев И.А.<sup>1</sup>, Черных П.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Студент физического факультета

<sup>2</sup>Сотрудник НИИЯФ

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: [ii@issl.ru](mailto:ii@issl.ru)*

Силициды переходных металлов играют важную роль в микроэлектронике в качестве материала низкоомных контактов, электродов затворов, металлизации межсоединений кремниевых БИС и СБИС. Их большая практическая ценность стимулирует интенсивные исследования [1, 2] процессов формирования, устойчивости и электрофизических свойств в глубоко субмикронном и нанометровом диапазонах характерных размеров элементов современной и перспективной наноэлектроники.

В работе [3] сообщалось об обнаружении упорядоченной структуры стержнеобразных преципитатов силицидов Pd<sub>2</sub>Si, ориентированных вдоль направлений <110> и <-110>, при отжиге образцов с пленкой Pd, нанесенной на (001) Si. В данной работе мы сообщаем об обнаружении аналогичной структуры с образованием силицидов никеля.

Формирование стержнеобразных структур, ориентированных вдоль направлений <110> и <-110> кристалла кремния (Рис.1) было обнаружено при одновременном магнетронном осаждении углерода и никеля на кремниевую подложку с ориентацией (001) с естественным окислом кремния. Осаждение в аналогичных условиях на кремниевую подложку с ориентацией (111) не приводило к формированию стержнеобразных структур.

Вид и структура покрытий анализировались с помощью методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), оптической микроскопии и каналирования ионов. Анализ состава покрытия в конкретных точках проводился с помощью рентгеновской приставки к СЭМ. Эти исследования показали, что стержнеобразные структуры представляют собой эпитаксиальные преципитаты силицида никеля. В докладе излагаются результаты экспериментальных исследований и их анализ.

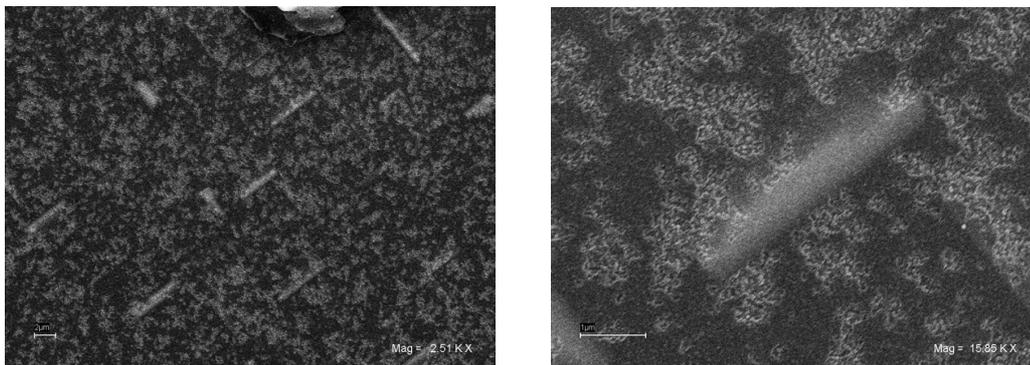


Рис.1. Преципитаты силицида никеля на поверхности кремния

### Литература

1. Ш. Мьюарка. (1986) Силициды для СБИС. М. «Мир», с. 176.
2. М. А. Nicolet, S.S. Lau. (1983) Formation and characterization of transition-metal silicides. VLSI electronics: Microstructure Science, v.6, ch. 6, pp. 329-464. –N.Y.: Academic Press
3. S. Vaidya, S.P. Murarka. (1980) Appl. Phys. Lett., №37 p. 52

**Рост наноструктур на поверхности металлов в условиях квантового  
конфайнмента: Cs на Ag(111)**

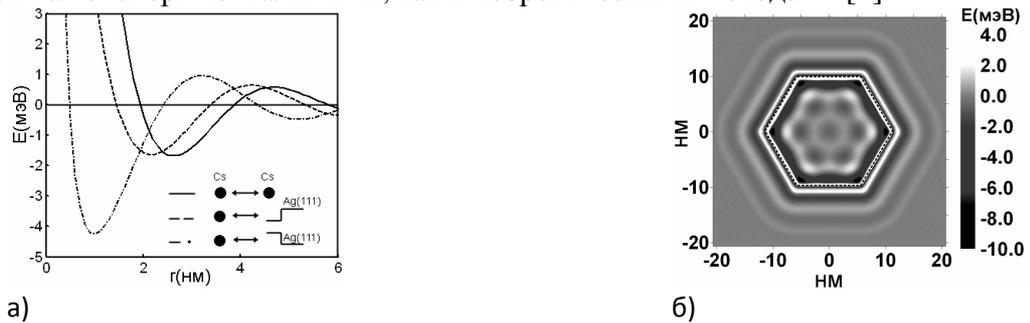
**Смирнов А.С.**

*Аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: alexeysmirnov@yandex.ru*

Наличие свободного электронного газа на поверхностях благородных металлов типа (111) с поверхностными состояниями приводит к дальнедействующему непрямоу взаимодействию атомов с дефектами, ступенями поверхности, кластерами. Этот эффект хорошо изучен как экспериментальными, так и теоретическими методами [1].



В данной работе исследуется формирование наноструктур из атомов Cs на поверхности Ag (111) в присутствии квантового конфайнмента, создаваемого атомами нанокластеров. Потенциал взаимодействия между двумя атомами Cs, а также между атомом Cs и кластером серебра рассчитывается в рамках модели Хильдгарда-Персона [2].

На рис.1а представлены потенциалы взаимодействия между двумя атомами Cs, между атомом цезия и кластером, если атом находится на поверхности кластера, и в случае, когда атом находится рядом с кластером. Потенциалы рассчитывались по формулам [3]:

$$E_{at-at} = A_0 E_0 \left( \frac{2 \sin \delta_0}{\pi k_F} \right)^2 \frac{\sin(2k_F r + 2\delta_0)}{r^2};$$

$$E_{at-st} = B_0 \frac{\sqrt{5}}{\pi^2 k_F^{5/2} A_0} \frac{\sin(2k_F r + 2\delta_0 + \Delta)}{r^{3/2}}$$

где  $A_0=0.3$ ,  $B_0=-4.5$  мэВ,  $E_0=-70$  мэВ,  $k_F=0.813$  нм<sup>-1</sup>,  $\delta_0=\pi/2$ ,  $\Delta=3\pi/4$  если атом находится на кластере и  $\Delta=\pi/4$  если атом расположен вблизи кластера [3]. На рис.1б показана двумерная карта потенциала взаимодействия атома с кластером (пунктиром обозначены границы кластера). Обращает на себя внимание возникновение неравномерного распределения энергии взаимодействия атома с кластером, что приводит к появлению разрешенных и запрещенных зон [4].

При помощи метода кинетического Монте-Карло и потенциалов из работ [2,3] мы исследовали процесс роста наноструктур из атомов Cs в присутствии нанокластера серебра. Моделирование проводилось при параметре напыления 0.7% монослоя, температуре 6К, энергии диффузионного барьера  $E_D=17$  мэВ [3]. На рис.2 показан результат самоорганизации системы спустя 1 час после напыления. Атомы цезия образуют стабильные шестиугольные концентрические орбиты вокруг кластера и на его поверхности. Расстояние между атомами внутри орбит соответствует 1му минимуму в потенциале взаимодействия (рис.1а) и равно 2.6 нм.

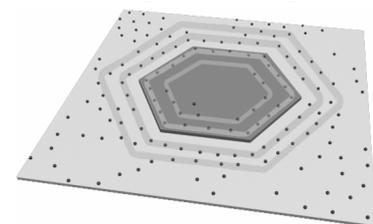


Рис.2 Распределение атомов Cs на кластере Ag и в его окрестности

## Литература

1. V.S. Stepanyuk et al., Phys. Rev. B 68, 205410 (2003)
2. P. Hylgaard and M. Persson, J. Phys. Condens. Matter 12, L13 (2000)
3. M. Ziegler et al., Phys. Rev. B 78, 245427 (2008)
4. A.S. Smirnov et al., Phys. Rev. B 78, 041405 (2008)

**Наноструктурированные пленки металл-полупроводник:  
фотолюминесценция и перспективы применения**

**Терехов Ю.Е.**

*студент*

**Гончар К.А.**

*студент*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
e-mail: [yury.terekhov@gmail.com](mailto:yury.terekhov@gmail.com)*

В теоретическом плане активно обсуждалось предложение осуществить регенерацию потерь энергии плазмонов путем объединения металлических наночастиц в общей гибридной структуре с активной средой. В качестве активной среды можно использовать квантовую яму – планарную гетероструктуру, сформированную на поверхности полупроводникового материала. Излучение, генерируемое в результате оптического возбуждения гетероструктуры, может взаимодействовать резонансным образом с колебаниями в наночастицах резонаторов – дипольных антенн, каковыми являются наночастицы. Компенсация потерь открывает перспективы для практических приложений метаматериалов, в частности реализации эффекта суперлинзы в оптическом диапазоне.

В данной работе используются наноструктурированные пленки металл-полупроводник<sup>12</sup>, состоящие из полупроводниковых гетероструктур и нанесенных на них методом электронной литографии области двумерных решеток металлических П-образных элементов (метапленок), различающихся периодами  $L$  и геометрическими параметрами. Исследуемый образец накачивался поляризованным светом He-Ne лазера с длиной волны 0.63 мкм мощностью 2 мВт. Регистрировалось спонтанное излучение (сигнал фотолюминесценции), выходящее под углом  $90^\circ$  к поверхности образца. Измерение спектров фотолюминесценции производилось с учетом поляризации, для чего между образцом и регистрирующим фотоприемником располагался анализатор.

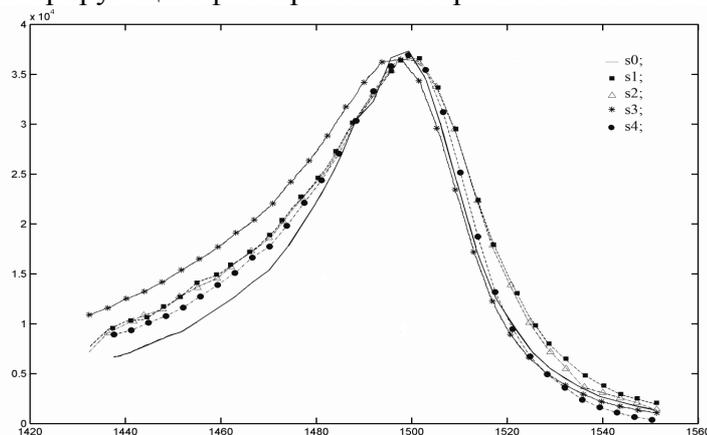


Рис. 1 Спектры фотолюминесценции наноструктурированных пленок с периодом резонаторов 300 нм. Сплошная линия – спектр в отсутствие решетки резонаторов.

В ходе экспериментов было установлено, что нанесение металлических частиц на поверхность гетероструктуры приводит к существенной модификации спектров люминесценции. Это в большей степени выражено для областей с меньшим пространственным периодом (300нм). Максимум излучения во всех случаях приходится на 1492нм. Особенностью спектров является повышение относительной интенсивности люминесценции в области более коротких длин волн по сравнению с сигналом люминесценции от поверхности квантоворазмерной структуры без метапленки.

#### Литература

6. Andrey K. Sarychev, Gennady Tartakovsky, Magnetic plasmonic metamaterials in actively pumped host medium and plasmonic nanolaser, PHYSICAL REVIEW B 75, 085436 2007

### Оптические свойства квантовых точек CdSe

*Целиков Г.И.*

*Студент*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,

*физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: [gleb@vega.phys.msu.ru](mailto:gleb@vega.phys.msu.ru)*

Квантовые точки представляют собой большой интерес для ученых в силу своих уникальных оптических свойств. К таковым можно отнести высокий квантовый выход, узкая симметричная полоса фотолюминесценции, устойчивость к фотообесцвечиванию. Все это позволяет найти им массу применений. Из биологических применений стоит отметить люминесцентные метки. Также они могут использоваться в качестве активной среды для лазера, причем особо стоит отметить возможность управлять длиной волны излучения посредством изменения размера квантовых точек.

Исследовались квантовые точки селенида кадмия в растворе гексана, приготовленные методом коллоидной химии. Размер квантовых точек 3.5 нм, что было подтверждено величиной сдвига полосы фотолюминесценции в коротковолновую область вследствие квантового размерного эффекта. Были получены спектр фотолюминесценции, а также временные зависимости спада фотолюминесценции. Следующим шагом исследований стало изучение свойств квантовых точек на подложке из окисленного мезопористого кремния, которая была приготовлена стандартным методом электрохимического травления. Изменение спектра и времени спада фотолюминесценции свидетельствует о появлении дополнительных поверхностных состояний, которые могут быть вызваны дефектами на границе квантовая точка-матрица. Также было обнаружено увеличение времени спада фотолюминесценции при увеличении концентрации квантовых точек, нанесенных на матрицу.

В ходе экспериментов нами был обнаружен ряд важных и интересных свойств исследуемого образца. В дальнейшем планируется исследовать поведение люминесценции квантовых точек при увеличении мощности возбуждающего излучения.

#### Литература.

1. L. V. Keldysh. Excitons in semiconductor-dielectric nanostructures.// Phys. Stat. Sol (a) 164, 3 (1997);

2. V. N. Babentsov. Defects with deep donor and acceptor levels in nanocrystals CdTe and CdSe.// Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, 2006. V. 9, N 3. P. 94-98;

3. L. Medenitz, H. Tetsuouyeda, E. R. Goldman, H. Mattousi. Quantum dots bioconjugates for imaging, labelling and sensing.//Doi:10.1038/nmat1390

**Солнечные элементы на основе оксида цинка, сенсibilизированные органическим красителем D149<sup>13</sup>**

**Чертопалов С.В.<sup>14</sup>**

*Научный сотрудник*

*Донецкий национальный университет, физический факультет, Донецк, Украина*

*E-mail: [chertopalov@mail.ru](mailto:chertopalov@mail.ru)*

В работе [1] была предложена модель солнечного элемента на основе диоксида титана TiO<sub>2</sub>, красителя на основе трёхмерных комплексов рутения, электролита на основе йода и противоположного электрода с платиновой тонкой плёнкой. Замена элементов платиновой группы для красителя и противоположного электрода является актуальной задачей на сегодняшний день, что позволит сделать процесс изготовления солнечных элементов такого типа более дешевым.

В данной работе рассматривается структура и фотовольтаические свойства солнечного элемента на основе оксида цинка, сенсibilизированного органическим красителем D149. Исходя из литературных данных, ZnO имеет более высокую подвижность электронов, чем TiO<sub>2</sub>. Преимуществом ZnO пленки выращенной электрохимическим методом из водного раствора ZnCl<sub>2</sub> (5 mM) в фоновом электролите KCl (0.1 M), является использование низкотемпературного осаждения из раствора при температуре 70°C [2]. Другой важной особенностью данного метода, является возможность управлять структурой пленки ZnO - от сплошной (ZnO<sub>c</sub>) до столбчатой (ZnO<sub>p</sub>). С использованием красителя Eosin Y были получены пористые (столбчатые) структуры с большой площадью поверхности. В качестве материала подложки использовались стекла, покрытые слоем ITO, с толщиной 300 нм или с проводящим слоем FTO, толщиной 1 мкм. Были получены структуры стекло/ITO/ZnO<sub>c</sub>/ZnO<sub>p</sub>/краситель/электролит/электрод на основе красителя D149. Для электролита использовался следующий состав – (0.5M Tetra Propyl Ammonium Iodide (TPAI) + 0.05M I<sub>2</sub> acetonitrile/ethylenecarbonate (v/v=1/4)).

Для анализа полученных плёнок ZnO, были проведены рентгенофазовый анализ (RINT Ultima III/PC) и исследование морфология поверхности, а также проведен контроль толщины на сколе многослойной структуры с использованием растрового электронного микроскопа (Hitachi S-4800 FE-SEM). В отличие от сплошных плёнок ZnO, которые получались поликристаллическими с преимущественной ориентацией (002), для столбчатых кристаллитов характерна ориентация с плоскостью (002). В зависимости от времени электрохимического осаждения были получены структуры различной толщины. Показано влияние толщины ZnO слоя на фотовольтаические характеристики фотоэлементов. При увеличении толщины пористого слоя ZnO, КПД солнечных элементов возрастает от 1% до 4%. Это может быть связано с увеличением площади взаимодействия ZnO – краситель. Коэффициент фотонно-электронного преобразования составил 27.4% и 38.5% на длинах волн 390 нм и 540 нм соответственно.

#### Литература

1. O'Regan, B., Grätzel, M. (1991) A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films // Nature V.353, №6346, p. 737-740.
2. Yoshida, T., Zhang, J., Komatsu, D., et al. (2009) Electrodeposition of Inorganic/Organic Hybrid Thin Films // Adv. Funct. Mater., V.19, №1, p. 17-43.

---

<sup>13</sup> Тезисы доклады основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта New Energy and industrial technology Development Organization (NEDO, Japan).

<sup>14</sup> Автор выражает признательность профессору Tsukasa Yoshida, Gifu University за помощь в подготовке тезисов.

## Зависимость спектров электролюминесценции и эффективности светодиодов белого свечения от температуры

**Чуяс А.В., Татулин В.В.**

*Аспирант, студент*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: c.alexey@gmail.com*

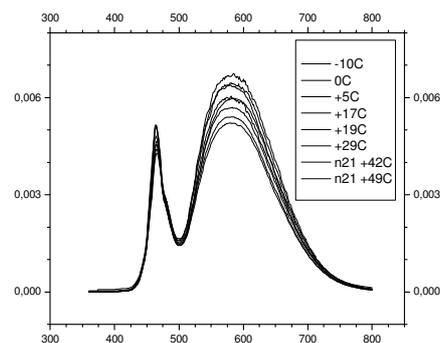
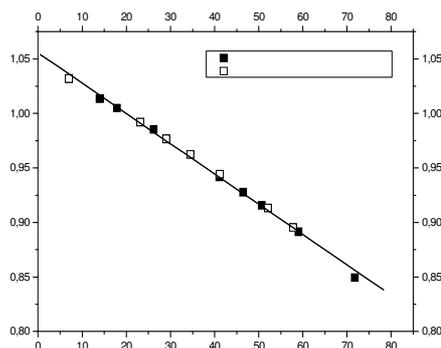
Создана установка для исследования спектров электролюминесценции, вольтамперных характеристик и эффективности светодиодов и их зависимости от температуры. Исследованы спектры электролюминесценции и эффективность светодиодов белого свечения, созданных на основе кристаллов синего свечения, покрытых люминофором на основе алюмоиттриевых гранатов с примесью активных ионов церия –  $Y_3Al_{5-y}Ga_yO_{12}:Ce^{3+}$ , в диапазоне от  $-10$  до  $+90$  °С.

Показано, что интегральная интенсивность излучения белых светодиодов линейно падает с увеличением температуры в интервале от  $0$  до  $+70$  °С. Коэффициент линейной зависимости составляет  $2.5 - 3.3$  %/10°С. Пик интенсивности светодиода, соответствующий излучению люминофора, смещается на  $1-2$  нм.

Обнаружено, что форма синей линии в кристалле существенно меняется, как с длинноволновой (со стороны люминофора), так и с коротковолновой стороны. Знаменатель в показателе экспоненциального спада коротковолновой части пропорционален температуре,  $E_1 = n \cdot kT$ , но величина коэффициента  $n$  существенно больше единицы,  $n=2.2 \div 9.0$ . Это можно объяснить влиянием поглощения излучения кристалла люминофором.

Показано, что уменьшение интенсивности белых светодиодов в основном связано с уменьшением коэффициента эффективности преобразования излучения в люминофоре.

Показано, что с увеличением температуры координаты цветности белых светодиодов сдвигаются в область холодного свечения вследствие уменьшения относительной доли излучения люминофора. Соответственно сдвигается коррелированная цветовая температура. Эти изменения – наибольшие для светодиода “теплого” свечения, созданного на подложке из карбида кремния, поскольку доля относительной интенсивности излучения люминофора для него была наибольшей.



### Литература

1. DenBaars. DOE SSL Market Introduction Workshop 2008, Oregon.
2. Никифоров С.Г.// “Температурные зависимости параметров светодиодов”.  
<http://www.expertunion.ru/istochniki-sveta/temperatura-svetodiodov.html>