

# АМОΡФНЫЕ И МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ

Сборник трудов  
Международной конференции  
*4–7 июля 2016 года*



Санкт-Петербург  
Издательство Политехнического университета  
2016



|   |    |
|---|----|
| <b>Влияние наночастиц олова на структуру и свойства аморфных углеродных пленок</b>  | 36 |
| А.П. Рязузов, Р.Р. Немкаева, Р.К. Алиаскаров, Н. Гусейнов   |    |
| <b>Синтез углеродных нанотрубок и композитов на их основе</b>   | 38 |
| Е.В. Чихрай, С.К. Жумагулов, М.Т. Габдуллин, Д.В. Исманлов, Х.А. Абдуллин   |    |
| <b>Структурные характеристики двух уровней организации пористого углерода полученного метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза по данным рентгеновского малоуглового рассеяния</b> | 40 |
| А.П. Возняковский, А.В. Смирнов, Б.А. Федоров   |    |
| <b>Синтез монодисперсных углеродных наноточек в мезопористых частицах кремнезема</b>  | 44 |
| Д.А. Курдюков, С.А. Грудинкин, Д.А. Бузов, Е.Ю. Стовяга, Д.А. Кириленко, С.В. Конахин, А.В. Швидченко, D.R. Yakovlev, В.Г. Голубев  | 42 |
| <b>О термической стабильности структуры и оптических свойств тонких пленок a-Si:H, модифицированных Ag и Ti</b>   | 44 |
| О.Ю. Приходько, С.Л. Михайлова, Е.С. Мухаметкаримов, К. Даутхан, С.Я. Максимова, Н.К. Манабаев  |    |
| <b>Магнитные свойства тетрафенилпорфирина меди(II) и его комплекса с фуллереном</b>   | 45 |
| Т.Л. Макарова, Н.М. Романов, И.Б. Захарова, М.А. Елистратова, И. Захарук, Е. Labderanta   |    |
| <b>Тепловые свойства полимерного композита на основе углеродных многостенных нанотрубок</b>   | 47 |
| А.А. Бабеев, А.М. Алиев, Е.И. Теруков, А.К. Филиппов  |    |
| <b>Параметры полос переходов карбида кремния в области 4-25 эВ</b>  | 47 |
| В.В. Соболев, В.Вал. Соболев, Д.В. Анисимов   |    |
| <b>Сложная структура оптических спектров аморфного и кристаллического кварца в широкой области энергии</b>  | 50 |
| В.В. Соболев, Д.А. Перевощиков, В.Вал. Соболев  |    |
| <b>Исследование энергетического спектра ловушек и фотолюминесценции в кремниевом композите легированном ионами Eg и Yb</b>  | 51 |
| Д.В. Григорьев, А.Б. Терещенко, А.М. Мазеров  |    |
| <b>Особенности электронного строения массивов нитевидного кремния, сформированного методом MAWCE</b>  | 53 |
| Д.Н. Нестеров, В.А. Терехов, С.Ю. Турицев, К.Г. Колтыгина, Е.В. Паринаова, Д.А. Конода, Н.А. Румянцева, А. Shleusnet, V. Sivakov, Э.П. Домашевская  |    |
| <b>Секция В.</b>  |    |
| <b>Аморфный, микрокристаллический, наноструктурный кремний и сплавы на его основе</b>   |    |
| <b>Влияние температуры синтеза на морфологию нанопроволок оксида кремния, синтезированных методом газоструйного химического осаждения с активацией электронно-пучковой плазмой</b>                    | 57 |
| Е.А. Баранов, А.О. Замчий, С.Я. Хмель   |    |
| <b>Исследование механического импульса, генерируемого при горении наноструктурированного кремния</b>  | 59 |
| С.К. Лазарук, А.В. Долбик, В.Б. Высоцкий, В.А. Лабунов  |    |
| <b>Формирование анизотропной структуры в пленках аморфного гидротенезированного кремния, модифицированных фемтосекундным лазерным облучением</b>  | 61 |
| Д.В.Амасев, А.Г. Казанский, М.В. Хенкин, Р. Kazansky  |    |

|   |    |
|---|----|
| <b>Особенности оптических и структурно-морфологических свойств вертикально упорядоченных массивов нановключений кремния в оксидах с высокой диэлектрической проницаемостью</b>                        | 63 |
| А.В. Еришов   |    |
| <b>Усиление поперечной фотопроводимости в композитных слоях Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> на кристаллическом кремнии</b>  | 64 |
| Д.А. Явсин, О.С. Кен, О.М. Сресели, С.А. Гуренич  |    |
| <b>Особенности роста слоев пe-Si/SiO<sub>2</sub>:H в процессе плазмохимического осаждения из силан-водородной плазмы с добавлением углекислого газа</b>   | 66 |
| А.В. Кукин, Е.И. Теруков, Д.А. Андроников, А.В. Семенов, П.Н. Новоселов   |    |
| <b>Влияние границ раздела нанопленки итербия - кремний на свойства итербия</b>  | 69 |
| М.А. Митцев, М.В. Кузьмин, М.В. Логинов   |    |
| <b>Влияние преварительной подсветки на скорость последующей термической релаксации фотондуцированной при T=150°K метастабильной фотопроводимости пленок a-Si:H</b>                                    | 70 |
| И.А. Курова, Н.Н. Ормонт  |    |
| <b>Влияние частоты поверхности на процесс газопроводимости нанокластеров SiGe</b>   | 73 |
| А.А. Ковалевский, Д.С. Строганов, О.М. Ковар  |    |
| <b>Синтез релъсфа самораспространяющихся наноструктурированных нанотрубок</b>   | 74 |
| Н.В. Рыбина, С.П. Вихров, А.В. Алланов, Н.В. Рабин  |    |
| <b>Состав и структурные свойства тонких пленок a-SiO<sub>2</sub>:H, синтезированных при различных скоростях роста</b>   | 76 |
| Е.А. Баранов, М.А. Буйко, Д.О. Замчий, С.Я. Хмель   |    |
| <b>Особенности электронного строения и фазового состава аморфных пленок a-SiO<sub>2</sub>:H, синтезированных методом газоструйного химического осаждения с активацией электронно-пучковой плазмой</b> | 78 |
| В.А. Терехов, Е.В. Паринаова, Д.Е. Спирин, С.Я. Хмель, Е.А. Баранов, А.О. Замчий, Б.В. Сельковский, С.Ю. Турицев  |    |
| <b>Влияние кислорода на фазовый состав и электрические свойства пленок SIPOS</b>  |    |
| Э.П. Домашевская, В.А. Терехов, С.Ю. Турицев, А.С. Прижимов, К.А. Барков, С.А. Ивков, Д.С. Усольцева, А.Н. Харин, А.И. Донцов, А.А. Синельников, С.В. Беленко, Ю.Л. Фоменко                           | 80 |
| <b>Исследование энергетического спектра ловушек и фотолюминесценции в кремниевом композите легированном ионами Eg и Yb</b>  | 82 |
| Д.В. Григорьев, А.Б. Терещенко, А.М. Мазеров  |    |
| <b>Моделирование процесса отжига структур Si-SiO<sub>2</sub> методом молекулярной динамики</b>  | 84 |
| А.И. Мельников, Н.А. Авдеев   |    |
| <b>Получение и оптические свойства тонкопленочных high-k-оксидов с вертикально упорядоченными массивами нанокристаллов германия</b>   | 86 |
| Д.А. Грачев, С.А. Гарахин, А.В. Нежданов, А.В. Белополтецкий, А.Н. Яблонский, Б.А. Андреев, А.В. Еришов   |    |
| <b>Структурные и оптические свойства пленок пористого кремния полученные при разных плотностях токов</b>  | 87 |
| С.М. Малаков, Е. Сагдолода, Ш.А. Жумагата, Д.А. Кенесбеков  |    |
| <b>Получение и исследование адсорбционных свойств монодисперсных сферических мезо-макропористых частиц a-SiO<sub>2</sub></b>  |    |



# О ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ СТРУКТУРЫ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК а-С:Н, МОДИФИЦИРОВАННЫХ Ag И Ti

О.Ю. Приходько, С.Л. Михайлова, Е.С. Мухаметжаримов, К. Даутхан, С.Я. Максимова, Н.К. Манабаев

КазНУ им. аль-Фараби, ННЛОТ, Алматы, Казахстан  
тел: (727) 377-3412, эл. почта: [Oleg.Prikhodko@kaznu.kz](mailto:Oleg.Prikhodko@kaznu.kz), [prkhodko\\_o@mail.ru](mailto:prkhodko_o@mail.ru)

В аморфных алмазоподобных пленках а-С:Н, модифицированных примесями Ag и Ti, в видимой области спектра наблюдается плазмонный резонанс, обусловленный поглощением света свободными электронами в наночастицах серебра. Однако термическая стабильность этих пленок практически не изучалась.

В работе приведены результаты исследования по влиянию отжига на структуру и оптические свойства пленок а-С:Н<Ag, Ti> толщиной от 50 до 100 нм, полученных методом ионно-плазменного магнетронного со-распыления мишени из графита, серебра и титана в атмосфере смеси газов Ar и C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.

Структуру пленок исследовали при помощи СЭМ Quanta3D 200i, ПЭМ JEM 2100 JEOL и рамановского спектрометра Ntegra Theta с использованием лазерного излучения с  $\lambda = 473$  нм. Отжиг пленок проводили в аргоне до 400°C в течение 30 минут.

Из Рамановских спектров пленок а-С:Н<Ag, Ti> до отжига следует, что их структура характерна для алмазоподобного углерода. Отжиг приводит к небольшому смещению пика G в область меньших энергий без сильного изменения его интенсивности. Интенсивность пика D увеличивается, он смещается в высокоэнергетическую область и в месте его расположения появляется плечо. Такая трансформация рамановского спектра свидетельствует о возрастании доли sp<sup>2</sup> гибридных связей в структуре пленок а-С:Н<Ag, Ti> с увеличением температуры отжига. Отметим, что отжиг пленок а-С:Н<Ag> приводит к более существенной графитизации их матрицы по сравнению с пленками а-С:Н<Ag, Ti>.

Изучение спектров оптической плотности показало, что в пленках до отжига наблюдается ярко выраженный оптический резонанс с максимумом поглощения в области 480 нм. После отжига резонансный пик смещается в область 520 нм и его полуширина ненамного увеличивается. Оценка среднего размера наночастиц из резонансного пика по теории Ми показывает, что их средний размер составляет ~2,7 нм и практически не изменяется в результате отжига.

Оценка распределения наночастиц по размерам, проведенная в пленках а-С:Н<Ag, Ti> при анализе ПЭМ-изображений с помощью программы ImageJ, дает значение ~2 нм, что достаточно хорошо согласуется с расчетами по теории Ми.

Важно отметить, что в пленках а-С:Н, модифицированных только серебром (а-С:Н<Ag>) и отожженных при 400°C, наблюдается существенное уменьшение интенсивности пика резонансного поглощения и значительное увеличение его полуширины.

Таким образом, структура и оптические свойства пленок а-С:Н, модифицированных одновременно Ag и Ti, являются более стабильными при термическом воздействии по сравнению со структурой и оптическими свойствами пленок а-С:Н<Ag>.

Исследования проводены по программе гранта № 4608/ГФд Комитета Науки МОН РК.

# МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНА МЕДИ(II) И ЕГО КОМПЛЕКСА С ФУЛЛЕРЕНОМ

Т.Л. Макарова<sup>2,3</sup>, Н.М. Романов<sup>1,3</sup>, И.Б. Захарова<sup>1</sup>, М.А. Египетарова<sup>1,2</sup>, И. Захарчук<sup>3</sup>, Е. Laidetala<sup>3</sup>

<sup>1</sup> СПб ПТУ, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Lappeenanta University of Technology, Lappeenanta, Finland

[nikolamov.9b@gmail.com](mailto:nikolamov.9b@gmail.com)

Порфирины и фталоганины, а также их ковалентные и нековалентные комплексы являются перспективными материалами молекулярной электроники, оптоэлектроники и спинтроники и широко используются в гибридных структурах [1, 2]. Порфирины переходных металлов (Cu<sup>II</sup>, Cr<sup>III</sup>, Mn<sup>II</sup> и Fe<sup>III</sup>) могут проявлять интересные магнитные свойства, в том числе образовывать комплексы с магнитными высокоспиновыми и низкоспиновыми состояниями [3, 4]. Фуллерены могут образовывать ионные и нейтральные комплексы с металлоорганическими соединениями, в частности с порфиринами и металлопорфиринами [5]. Ковалентно-связанные и нековалентные комплексы порфиринов с фуллереном могут обладать различным переносом заряда и спина внутри супрамолекулярного комплекса, при этом они недостаточно изучены, а их магнитные их свойства ранее не исследовались.

В настоящей работе проведены исследования температурных (3–300К) и полевых (0–1 Тл) зависимостей намагниченности и ЭПР для тетрафенилпорфирина меди Cu(II)TPP (C<sub>44</sub>H<sub>28</sub>N<sub>4</sub>Cu) и его комплекса с фуллереном C<sub>60</sub>. Комплекс фуллерен C<sub>60</sub>-CuTPP был получен совместным растворением в толуоле компонента в мольном соотношении 1:1 с последующим прогревом и кристаллизацией при выпаривании растворителя. Результаты измерений показали, что как температурная зависимость намагниченности как тетрафенилпорфирина меди, так и комплекса имеют парамагнитный характер. Анализ температурной зависимости магнитной восприимчивости позволил рассчитать концентрацию спинов в материале, которая оказалась равной 1,2 спина на молекулу для CuTPP и 1,1 спина на супрамолекулярный комплекс для образца C<sub>60</sub>-CuTPP. Такое поведение соответствует предложенным квантово-химическим расчетам основного состояния комплекса методом DFT. При изучении различия в температурных зависимостях магнитной восприимчивости, полученных при охлаждении в нулевом (FC) и нулевом поле (ZFC), наблюдается превышение сигнала FC над ZFC при температурах ниже 20 К для чистого CuTPP (рис. 1), в то время как для комплекса C<sub>60</sub>-CuTPP разность зависимостей

FC-ZFC остается практически нулевой вплоть до 5 К. На полевой зависимости намагниченности для CuTPP при температуре ниже 15 К обнаружена нелинейность на уровне, существенно превышающем возможное содержание магнитных примесей и не проявляющая гистерезиса, в то время как для комплекса такое поведение отсутствует. Полученные результаты обсуждаются в рамках модели о возможной димеризации CuTPP с учетом данных квантово-химических расчетов.