

ПРОГРАММА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ



# ФИЗИКА.СПБ/2021

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

18-22 ОКТЯБРЯ 2021 ГОДА



Тезисы докладов  
международной конференции  
**Физика.СПб**

18–22 октября 2021 года

---

Подписано в печать 30.09.2021. Формат 70×100/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 50,21. Тираж 400. Заказ 429

---

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного оргкомитетом,  
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.  
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.

Тезисы докладов  
международной конференции

**ФИЗИКА.СПБ**

18–22 октября 2021 года

**Физика.СПб:** тезисы докладов международной конференции 18–22 октября 2021 г.  
— СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021

**Организатор**

ФТИ им. А. Ф. Иоффе

**При поддержке**

ООО «ИННО-МИР»

**Программный комитет**

Аверкиев Никита Сергеевич (ФТИ им. А. Ф. Иоффе) — председатель  
Соколовский Григорий Семенович (ФТИ им. А. Ф. Иоффе) — заместитель председателя  
Арсеев Петр Иварович (ФИАН)  
Гавриленко Владимир Изяславович (ИФМ)  
Дьяконов Михаил Игоревич (Université Montpellier II, France)  
Зайцев Кирилл Игоревич (ИОФ РАН)  
Иванчик Александр Владимирович (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Калашникова Александра Михайловна (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Карачинский Леонид Яковлевич (ООО «Коннектор Оптикс»)  
Конников Семен Григорьевич (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Кучинский Владимир Ильич (СПбГЭТУ, А. Ф. Иоффе)  
Пихтин Никита Александрович (ООО «Эльфолком», ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Рудь Василий Юрьевич (СПбПУ)  
Степина Наталья Петровна (ИФП им. А. В. Ржанова)  
Сурис Роберт Арнольдович (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Нестоклон Михаил Олегович (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Устинов Виктор Михайлович (НТЦ микроэлектроники РАН)

**Организационный комитет**

Соколовский Григорий Семенович (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) — председатель  
Поняев Сергей Александрович (ФТИ им. А. Ф. Иоффе) — заместитель председателя  
Азбель Александр Юльевич (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Дюделев Владислав Викторович (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Когновицкая Елена Андреевна (ВНИИМ им. Д. И. Менделеева)  
Лосев Сергей Николаевич (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Рябочкина Полина Анатольевна (МГУ им. Н. П. Огарёва)  
Серин Артем Александрович (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)  
Черотченко Евгения Дмитриевна (ФТИ им. А. Ф. Иоффе)

Международная конференция 2021 года продолжает традицию Итоговых семинаров по физике и астрономии по результатам конкурсов грантов для молодых ученых, проводившихся в Санкт-Петербурге с середины 1990-х годов.

суперпозицию по меньшей мере трех полос лоренцевой формы. По данным температурной зависимости спектров ФЛ определена энергия активации температурного гашения полос HR1 и HR2, которая составила 150 мэВ. Выполнен анализ спектральной формы фоновых крыльев у полос HR1 и HR2 и предложены вероятные структуры гелийсодержащих центров в алмазе. Обсуждаются перспективы использования центра окраски с БФЛ на 536 и 560 нм для задач квантовой оптики, биомаркеров и локальной термометрии.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФ № 20-72-00122, РФФИ № 19-52-04008 и БелРФФИ № F19RM-054.

#### Список литературы

1. Bradac C., Gao W., Forneris J., Trusheim M. E., Aharonovich I., Quantum nanophotonics with group IV defects in diamond, *Nature Communications*, vol. 10, 5625, 2019;
2. Bolshakov A. P., Ralchenko V. G., Sedov V. S., Khomich A. A., et al., Photoluminescence of SiV centers in single crystal CVD diamond in situ doped with Si from silane, *Physica Status Solidi (a)*, vol. 8, no. 1, 2525-2532, 2015;
3. Ekimov E. A., Kondrin M. V., Krivobok V. S., Khomich A. A., et al., Effect of Si, Ge and Sn dopant elements on structure and photoluminescence of nano- and microdiamonds synthesized from organic compounds, *Diamond and Related Materials*, vol. 93, 75-83, 2019;
4. Zaitsev A. M., Moe K. S., Wang W., Defect transformations in nitrogen-doped CVD diamond during irradiation and annealing, *Diamond and Related Materials*, vol. 88, 237, 2018;
5. Khomich A. A., Khmel'nitskii R. A., Poklonskaya O. N., Averin A. A., et al., Photoluminescence spectra of the 580-nm center in irradiated diamonds, *Journal of Applied Spectroscopy*, vol. 86, no. 4, 597-605, 2019;
6. Khmel'nitsky R. A., Dravin V. A., Tal A. A., Khomich A. A., et al., Mechanical stresses and amorphization of ion-implanted diamond, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, vol. 304, 5-10, 2013;

## Исследование структурных превращений в облученных быстрыми нейтронами алмазах методами спектроскопии электронного спинового резонанса и комбинационного рассеяния света

Поклонская О. Н.<sup>1</sup>, Лапчук Н. М.<sup>1</sup>, Хомич А. А.<sup>2</sup>, Вырко С. А.<sup>1</sup>, Олешкевич А. Н.<sup>1</sup>, Хомич А. В.<sup>2</sup>, Поклонский Н. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>БГУ, Минск

<sup>2</sup>ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

e-mail: poklonski@tut.by

Алмаз является перспективным рабочим веществом детекторов потоков ионов и элементарных частиц, а также электромагнитных ионизирующих излучений. Применение алмаза в полупроводниковой спинтронике и биомедицине только начинается.

В лабораторных условиях алмаз является метастабильной фазой углерода и при радиационном повреждении (РП) выше порога графитизации может трансформироваться в

более стабильную графитоподобную фазу, при этом атомы углерода изменяют гибридизацию волновых функций с  $sp^3$  на  $sp^2$  (и даже частью на  $sp^1$ ). РП с дозами (флюенсами), превышающими критические, и последующий высокотемпературный отжиг – оптимальный метод формирования алмаз-графитовых гетероструктур, включающих изолирующие, полупроводниковые и полуметаллические слои для создания элементов сенсорики и микроэлектромеханических систем [1]. Интересны также свойства углеродных материалов со смешанной  $sp^2/sp^3$ -гибридизацией, в том числе аморфизованные; такие материалы могут обладать магнитными свойствами [2]. Облучение быстрыми нейтронами и последующий восстанавливающий отжиг (в течение 1 ч при фиксированной температуре) позволяют в широких пределах управлять соотношением  $sp^2/sp^3$  в алмазе. При этом интерес представляют как процессы графитизации при РП выше критического уровня, так и восстановление аморфизованной алмазной кристаллической структуры при докритическом уровне ее разупорядочения.

В работе использованы эффективные методики исследования структурных дефектов в различных углеродных материалах: спектроскопия электронного спинового резонанса (ЭСР) и комбинационного рассеяния света (КРС). Представлены результаты исследований зависимости формы линии ЭСР и спектров КРС природных и осажденных из газовой фазы (CVD – chemical vapor deposition) алмазов, облученных быстрыми нейтронами с флюенсами от  $10^{19}$  до  $10^{21}$   $\text{см}^{-2}$  и последовательно отожженных при температурах вплоть до  $1650^\circ\text{C}$ . Показано, что при такой высокой степени РП происходит практически полная аморфизация кристаллической решетки алмаза с длиной когерентности фононов, не превышающей единиц нанометров [3], что в соответствии с эффектом конфайнмента фононов приводит к появлению в спектрах КРС особенностей, соответствующих частотам фононов в особых точках зоны Бриллюэна и к уширению полос в спектрах ЭСР. Детально исследованы трансформации структуры РП алмаза в результате последовательных термических отжигов. Установлена корреляция между спектрами КРС и синхронными изменениями значений основных параметров спектров ЭСР – шириной линии, величиной  $g$ -фактора и параметром асимметрии формы сигнала. В образцах алмаза, облученных быстрыми нейтронами с флюенсами, превышающими критический уровень РП, и отожженными при температурах  $1000^\circ\text{C}$  и выше, наблюдались линии ЭСР формы Дайсона, что свидетельствует о возникновении в образцах микроволновой электрической проводимости. По данным спектроскопии КРС определены характерные размеры графитовых кластеров, формирующихся в РП алмазе в результате высокотемпературных отжигов.

В спектрах ЭСР CVD алмазов, облученных быстрыми нейтронами с докритическим уровнем РП, обнаружено и исследовано проявление парамагнитного гистерезиса, наблюдавшегося при сканировании магнитного поля в прямом и обратном направлениях. Ранее подобный эффект квазиферромагнетизма (такой термин употребляется для описания магнитного гистерезиса в полупроводниковых материалах, не содержащих магнитных примесей [4]) наблюдался нами в природных алмазах, имплантированных ионами водорода или дейтерия [5-6]. Наличие квазиферромагнетизма в РП алмазе свидетельствует об упорядочении скоплений нескомпенсированных электронных спинов. В облученных нейтронами CVD алмазах данный эффект объяснен формированием локальных скоплений водородсодержащих парамагнитных центров в объеме алмазных кристаллитов за счет выбивания нейтронами атомов водорода [7], находящихся в необлученных поликристаллических CVD алмазах на межкристаллитных границах.

Работа выполнена при поддержке грантов БРФФИ № Ф21РМ-137, РФФИ № 19-52-04008 и РФФИ № 20-72-00122.

## Список литературы

1. Borisov A.M., Kazakov V.A., Mashkova E.S., Ovchinnikov M.A., Grigoriev S.N., Suminov I.V., The potential of high-fluence ion irradiation for processing and recovery of diamond tools, *Coatings*, vol. 10, 1243, 2020.
2. Sakai Y., Chelikowsky J.R., Cohen M.L., Magnetism in amorphous carbon, *Phys. Rev. Materials*, vol. 2, 074403, 2018.
3. Khomich A.A., Khmel'nitsky R.A., Khomich A.V., Probing the nanostructure of neutron-irradiated diamond using Raman spectroscopy, *Nanomaterials*, vol. 10, 1166, 2020.
4. Dubroca T., Hack J., Hummel R.E., Angerhofer A., Quasiferromagnetism in semiconductors, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 88, 182504, 2006.
5. Khomich A.V., Poklonskii N.A., Lapchuk N.M., Khmel'nitskii R.A., Dravin V.A., Munkhtsetseg S., Optical and paramagnetic properties of natural diamonds implanted with hydrogen ions, *J. Appl. Spectr.*, vol. 74, 537-543, 2007.
6. Khomich A.V., Khmel'nitsky R.A., Poklonski N.A., Lapchuk N.M., Khomich A.A., Dravin V.A., Poklonskaya O.N., Ashkinazi E.E., Vlasov I.I., Zavedeev E.V., Ralchenko V.G., Optical and paramagnetic properties of polycrystalline CVD-diamonds implanted with deuterium ions, *J. Appl. Spectr.*, vol. 79, 600-609, 2012.
7. Khomich A.A., Dzeraviaha A.N., Poklonskaya O.N., Khomich A.V., Khmel'nitsky R.A., Poklonski N.A., Ralchenko V.G., Effect of neutron irradiation on the hydrogen state in CVD diamond films, *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1135, 012019, 2018.

## Применение рентген – флуоресцентного анализа для идентификации красочных пигментов русских икон XVI – XIX веков.

*Васильева А. В.<sup>1</sup>, Парфенов В. А.<sup>1</sup>, Соснова Н. С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

e-mail: *anastasiastru@mail.ru*

Данная работа посвящена применению метода рентген – флуоресцентного анализа (РФА) в области сохранения и реставрации культурного наследия. Перед тем, как приступить к процессу реставрации памятника искусства, необходимо провести диагностические исследования, которые по сложившейся в России практике опираются в основном на многолетний опыт работы экспертов – реставраторов и искусствоведов, а приборные методы контроля стали использоваться только в последние годы. В то же время во всем мире неразрушающие оптико–электронные методы диагностики активно развиваются и широко используются в музейной работе [1], благодаря тому, что они являются неинвазивными и не требуют пробоподготовки. В настоящее время одним из основных методов исследования объектов культурного наследия является метод РФА. Он основан на детектировании излучения флуоресценции атомов неорганических веществ, которое возникает при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом. В результате получают РФА – спектры, показывающие элементный состав различных веществ. Информация о химическом составе веществ, использовавшихся при создании предмета искусства, дает сведения о времени его происхождения, о модификациях, которые могли с ним происходить, и о подлинности объекта [2 - 4].