

# Важнейшие результаты КФТИ за 2021 г.

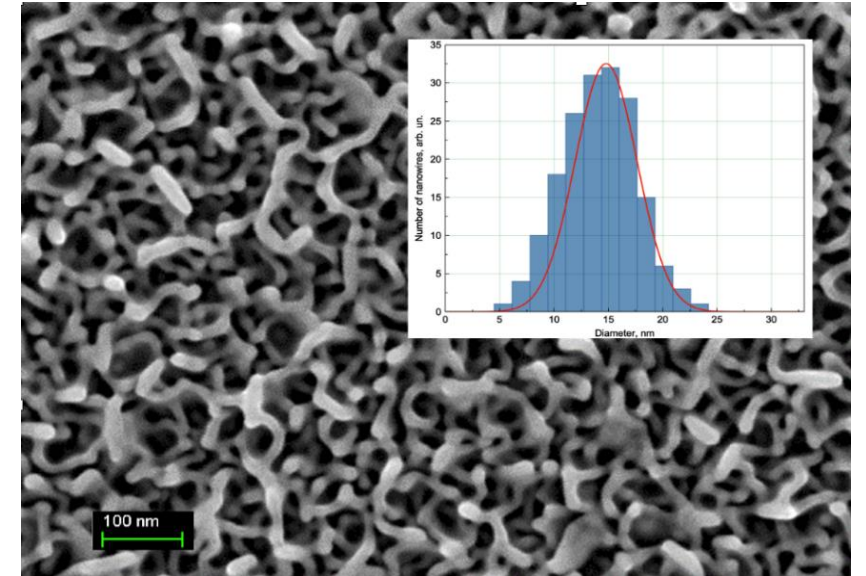
1. Создание анода литий-ионного аккумулятора на основе нанопористого германия, сформированного имплантацией ионами серебра.
2. Ионно-лучевой синтез ферромагнитного бинарного сплава  $\text{Pd}_{(1-x)}\text{Fe}_x$  (где  $x = 0.01 \div 0.10$ ) с низким значением коэрцитивного поля и наблюдение спинодального распада в ионно-синтезированных сплавах  $\text{Pd}_{(1-x)}\text{Fe}_x$ .
3. Метод генерации импульсов различной формы на основе эффекта Тальбота.
4. Квантовое хеширование на однофотонных состояниях с орбитальным угловым моментом.

Казань, 25.11.2021 г.

# Создание анода литий-ионного аккумулятора на основе нанопористого германия, сформированного имплантацией ионами серебра

Т.П. Гаврилова, С.М. Хантимеров, Я.В. Фаттахов, В.И. Нуждин, В.Ф. Валеев, Д.А. Коновалов, А.Л. Степанов

Впервые методом низкоэнергетической высокодозовой имплантации ионами серебра подложки монокристаллического германия с последующим отжигом сформированы губчатые слои нанопористого германия, состоящие из переплетающихся нанонитей. Полученные нанопористые слои, используемые в качестве анода литий-ионной аккумулятора, в процессе его многократного литирования/делитирования демонстрируют высокую кулоновскую эффективность (>97%) после первого цикла и сохранение 79.5% своей емкости после 1000 циклов. Электрохимические исследования показывают сохранение длительной работоспособности созданного электрода без его механических разрушений.



СЭМ-изображение поверхности нанопористого германия и гистограмма распределения диаметров нанонитей по размерам.

1. A.L. Stepanov, S.M. Khantimerov, V.I. Nuzhdin, V.F. Valeev, A.M. Rogov, Formation of nanoporous Ge layers by ion implantation at different temperatures of c-Ge substrate, *Vacuum* 194 (2021) 110552 (**WoS Q2**).
2. A.L. Stepanov, B.F. Farrakhov, Ya.V. Fattakhov, A.M. Rogov, D.A. Konovalov, V.I. Nuzhdin, V.F. Valeev, Incoherent-light pulse annealing of nanoporous germanium layers formed by ion implantation, *Vacuum* 186 (2021) 110060 (**WoS Q2**).

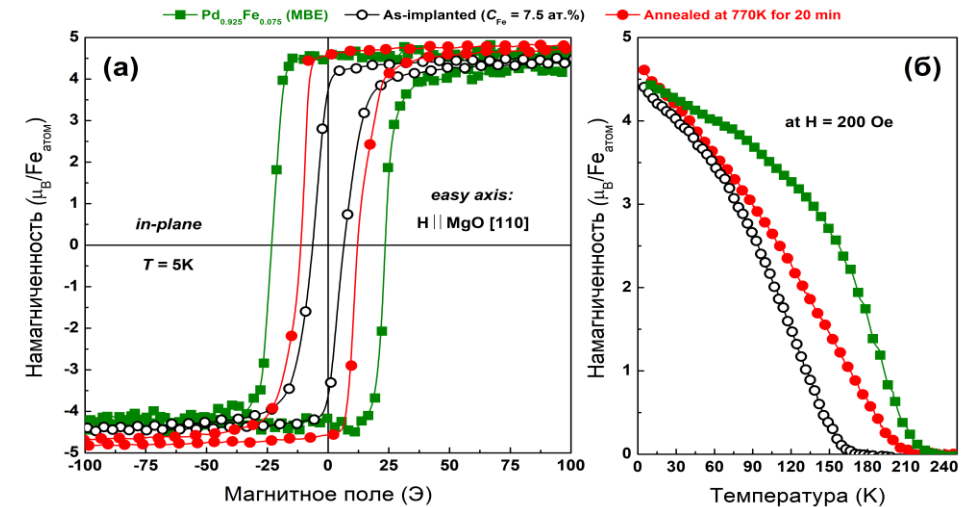
# Ионно-лучевой синтез ферромагнитного бинарного сплава $\text{Pd}_{(1-x)}\text{Fe}_x$ (где $x = 0.01 \div 0.10$ ) с низким значением коэрцитивного поля и наблюдение спинодального распада в ионно-синтезированных сплавах $\text{Pd}_{(1-x)}\text{Fe}_x$

Р.И. Хайбуллин, В. Ф. Валеев, А. И. Гумаров, И.И. Гумарова, Н. М. Лядов, В. И. Нуждин, Л.Р. Тагиров, И. В. Янилкин

Путем имплантации ионов железа в эпитаксиальные пленки палладия впервые был реализован синтез бинарного сплава  $\text{Pd}_{(1-x)}\text{Fe}_x$ , где значение средней концентрации примеси железа  $x$  лежит в диапазоне 0.01-0.10.

Такой сплав проявляет две характерные особенности:

- существенно меньшее значение величины коэрцитивного поля, что важно для практических приложений ионно-синтезированных сплавов в сверхпроводящей спинтронике
- формирование многофазной слоистой магнитной структуры (спинодальный распад) в имплантированных эпитаксиальных плёнках палладия.



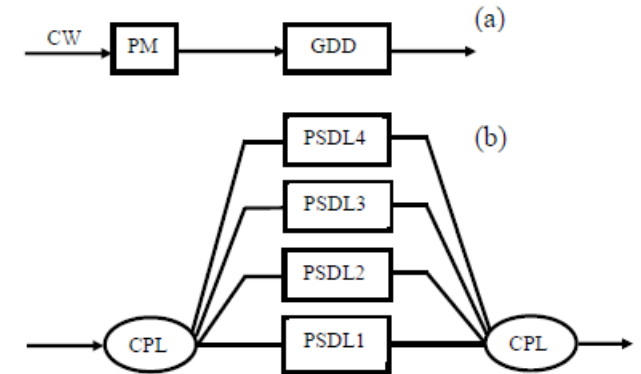
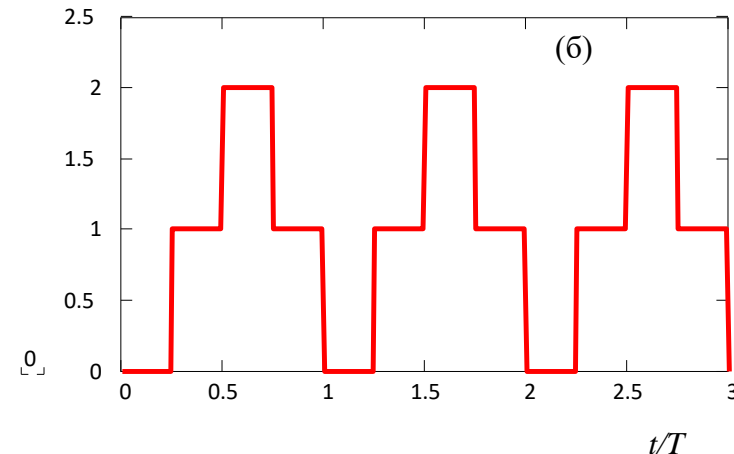
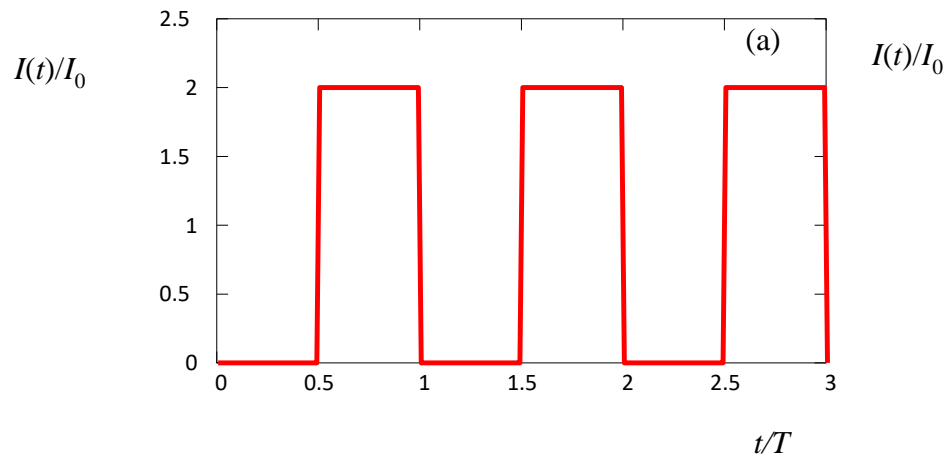
Петли магнитного гистерезиса (а) и термомагнитные кривые (б) для эпитаксиальной пленки палладия толщиной 60 нм, имплантированной ионами  $\text{Fe}^+$  с энергией 40 кэВ и дозой  $3 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> как до (-○-), так и после (-●-) термического отжига в вакууме при 500°C в течение 20 мин. Для сравнения представлены магнитные измерения (-■-) тонкоплёночного бинарного сплава  $\text{Pd}_{0.925}\text{Fe}_{0.075}$ , полученной методом МЛЭ.

1. Iron-implanted epitaxial palladium thin films: Structure, ferromagnetism and signatures of spinodal decomposition] / A.I. Gumarov, I.V. Yanilkin, R.V. Yusupov, A.G. Kiiamov, L.R. Tagirov, R.I. Khaibullin // Materials Letters. – 2021. – Vol. 305. – Article number 130783 (WoS Q2)
2. Ab initio Investigation of Impurity Ferromagnetism in the  $\text{Pd}_{1-x}\text{Fe}_x$  Alloys: Concentration and Position Dependences / I. Piyanzina, A. Gumarov, R. Khaibullin, L. Tagirov // Crystals. – 2021. – Vol. 11, Iss.10. – Article number 01257 (WoS Q2)

# Метод генерации импульсов различной формы на основе эффекта Тальбота

Р. Н. Шахмуратов

Предложен метод генерации импульсов, в основе которого лежит периодическая фазовая модуляция непрерывного излучения, создающая гребенчатую структуру в спектре излучения. Фазовая фильтрация такого излучения через среду с дисперсией групповых скоростей приводит к возникновению импульсов разнообразной формы. Предложенный метод позволяет создавать оптоэлектронные системы высокой интеграции для обработки информации.

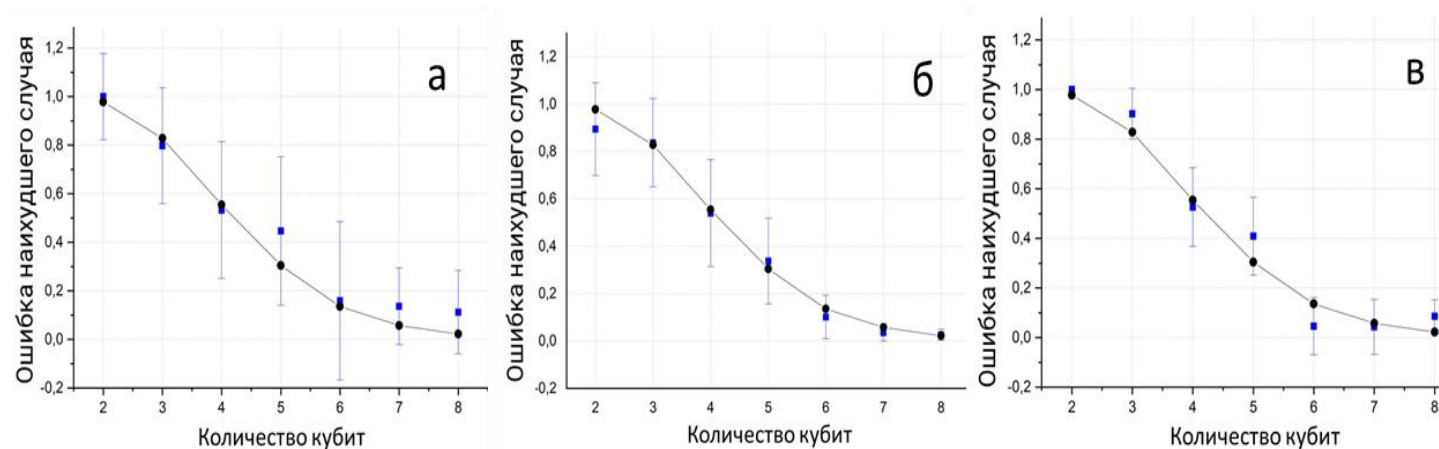


Непрерывное излучение стабилизированного лазера пропускается через электрооптический модулятор, который осуществляет модуляцию фазы излучения (PM - phase modulation). Затем это излучение проходит через среду с дисперсией групповых скоростей (GDD - group delay dispersion circuit). (б) Предлагается заменить GDD системой связанных волноводов разной длины и с разным набегом фазы излучения в каждом пути излучения, расщепленного на делителях (CPL - couplers).

# Квантовое хеширование на однофотонных состояниях с орбитальным угловым моментом

Д.А. Турайханов, Д.О. Акатьев, А.В. Васильев, Ф.М. Аблаев, А.А. Калачев

Впервые реализовано квантовое хеширование на основе последовательности однофотонных кубитов с использованием кодирования через орбитальный угловой момент. Экспериментально проверена стойкость квантовой хеш-функции к коллизиям в зависимости от количества используемых кубитов. Получено хорошее согласие теории и эксперимента для различных состояний орбитального углового момента (ОУМ) фотонов, что открывает возможность мультиплексирования в различных вычислительных и криптографических сценариях.



Сравнение экспериментальных и теоретических коэффициентов ошибок для наихудшего сценария и различных базовых состояний ОУМ. Черные кружки показывают теоретические значения, а синие квадраты экспериментальные значения для случаев орбитального углового момента  $l=1$  (а),  $l=2$  (б),  $l=3$  (в).