

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИТОГОВАЯ  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ  
КАЗАНСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
2023 ГОДА

Сборник тезисов



Издательский дом Маковского  
Казань, 2023

УДК 001.1(082)  
ББК 72я43  
И93

**И93 Итоговая научно-образовательная конференция студентов Казанского федерального университета 2023 года [Электронный ресурс]: сб. тезисов. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 51,4 Мб). – Казань: Издательский дом Маковского, 2023. – 3883 с. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://kpfu.ru/science/nauchno-issledovatelskaya-rabota-studentov-nirs/obschaya-informaciya/arhiv>. – Загл. с титул. экрана.**

ISBN 978-5-904613-28-0

УДК 001.1(082)  
ББК 72я43

ISBN 978-5-904613-28-0

# **СВЕРХБЫСТРАЯ ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОННОЙ И МАГНИТНОЙ ПОДСИСТЕМ В МОНОКРИСТАЛЛЕ ШПИНЕЛИ $\text{FeCr}_2\text{O}_4$**

***Насырова М.И.***

*Научный руководитель – канд. физ.-мат наук, доцент Юсупов Р.В.*

Мультиферроики – класс твердых тел, в которых могут сосуществовать полярное и магнитное упорядочение, взаимодействующие между собой. Электрические и магнитные свойства возникают в материале благодаря его составу и кристаллической структуре. Сильный магнитооптический эффект, проявляющийся в значительном повороте плоскости поляризации при изменении намагниченности, представляет большой интерес как для научных, так и для прикладных исследований. Сложность в анализе твердых тел, которые обладают мультиферроидными свойствами, заключается в большом числе степеней свободы и специфичности взаимодействия электрической поляризации с магнитными подсистемами.

В докладе будут представлены результаты экспериментальных исследований методами фемтосекундной оптической и магнитооптической спектроскопии монокристаллического образца соединения со структурой шпинели. В этом соединении ионы  $\text{Fe}^{2+}$  ( $S = 2$ ) с электронной конфигурацией  $3d^6$  располагаются в тетраэдрически координированных позициях и имеют орбитально-вырожденное основное состояние  $5E$ . Ионы  $\text{Cr}^{3+}$  ( $S = 3/2$ ) с электронной конфигурацией  $3d^3$  находятся в позициях с октаэдрическим окружением из ионов кислорода. Соединение  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  проявляет фазовые переходы в состояния с дальним орбитальным упорядочением в подрешетке железа при 138 К, в коллинеарное ферромагнитное состояние при  $\sim 65$  К и состояние со спиральной модуляцией магнитной структуры при 38 К; ниже 100 К также наблюдается индуцируемая электрическим полем долгоживущая поляризация.

Фотовозбуждение световыми импульсами с длительностью 40 фс на длине волны 800 нм приводит к возмущению как орбитального упорядочения, проявляющемуся в динамике коэффициента отражения, так и магнитной структуры. Последнее приводит к динамическому изменению угла поворота плоскости поляризации в полярном магнитооптическом эффекте Керра. Динамика угла поворота Керра различается при длинах волн зондирования 400 нм и 2000 нм, отвечающих переходам между d-зонами, образованными ионами  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ , соответственно. Наблюдаемое различие в динамиках намагниченности на разных длинах волн зондирования, на наш взгляд, свидетельствует о возможности спектральной адресации к отдельным магнитным подрешеткам. Определены временные масштабы плавления и восстановления как орбитального, так и магнитного упорядочений в шпинели  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ .

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ $\text{LiYF}_4: \text{Gd}^{3+}$ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

***Олейникова Е.И.***

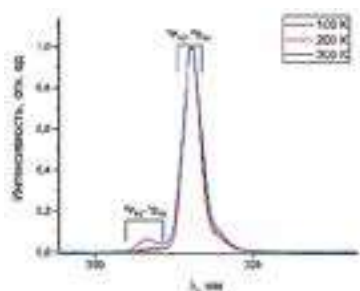
*Научные руководители – канд. физ.-мат. наук, доцент Низамутдинов А.С.,  
канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Пудовкин М.С.*

Кристалл  $\text{LiGdF}_4$  является новым сложносинтезируемым соединением, который представляет собой актуальный материал для лазерных технологий, а также для создания бесконтактных темпе-

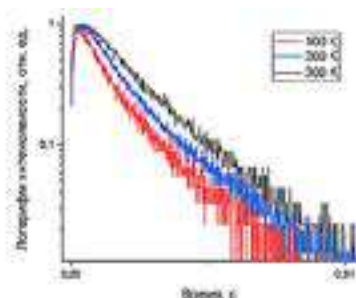
ратурных сенсоров с высоким пространственным разрешением для целей клеточной биологии, гипертермии и сенсорики мироустройств. Характеризация таких соединений на данный момент очень актуальная задача.

К задачам и целям данной работы можно отнести характеризацию микрочастиц  $\text{LiYF}_4:\text{Gd}^{3+}$ , а также исследование таких параметров их люминесценции, как форма спектра люминесценции и кинетики затухания люминесценции в зависимости от температуры.

Микрочастицы  $\text{LiYF}_4:\text{Gd}^{3+}$  были получены путем перемалывания кристаллов, синтезированных методом Бриджмана-Стокбаргера. Фазовый состав был подтвержден методом порошкового рентгенофазового анализа, люминесцентные характеристики были исследованы методом лазерной абсорбционной спектроскопии.



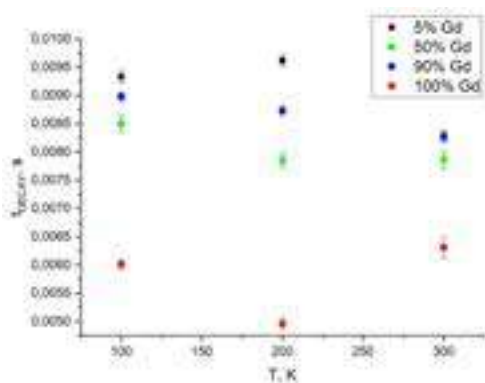
**Рис. 1. Нормированные спектры люминесценции образца  $\text{Gd}^{3+}$  (90 мол.%):  $\text{LiYF}_4$  при температуре 100 К (черный), 200К (красный), 300К (синий)**



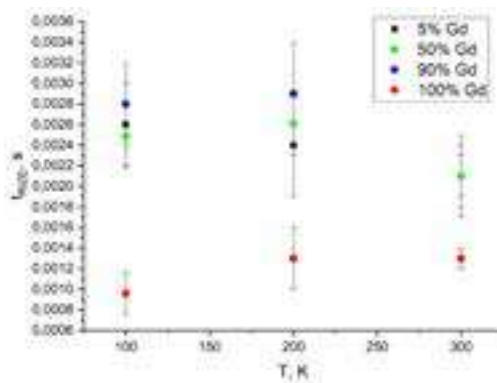
**Рис. 2. Кинетики затухания люминесценции образца  $\text{Gd}^{3+}$  (100 мол.%):  $\text{LiYF}_4$  при температуре 100, 200 и 300 К**

В данной работе были детектированы спектры люминесценции, кинетики нарастания и затухания люминесценции (рисунок 1,2) в диапазоне температур 100 – 300 К. Видно, что их форма зависит от температуры. Также были посчитаны времена нарастания и затухания люминесценции  $\text{Gd}^{3+}$  на длине волны 312 нм ( $t_{\text{RISE}}$  и  $t_{\text{DECAY}}$ , соответственно) путем аппроксимации кинетик затухания люминесценции формулой (1), используя функцию ExpDec1 в пакете программы OriginPro 2018 SR1 v9.5.1.195 x86-x64, изображенные на рисунках 3 и 4.

$$I(t) = C + I_0 e^{-t/\tau}, \quad (1)$$



**Рис. 3. Время нарастания люминесценции  $t_{\text{RISE}}$  для различных концентраций  $\text{Gd}^{3+}$  (5-100 мол.%) в диапазоне температур 100-300 К**



**Рис. 4. Время затухания люминесценции  $t_{\text{DECAY}}$  для различных концентраций  $\text{Gd}^{3+}$  (5-100 мол.%) в диапазоне температур 100-300 К**

По рисункам 3-4 мы видим неоднозначную тенденцию к уменьшению или увеличению времени нарастания или затухания люминесценции при увеличении температуры. Также интересно такое сильное отличие образцов с концентрацией  $Gd^{3+}$  90 и 100 мол.%. Для объяснения наблюдаемых явлений мы планируем провести эксперименты на определение коэффициента распределения  $Gd^{3+}$  в кристаллах  $LiY_xGd_{1-x}F_4$ , так как у нас есть предположение, что концентрация  $Gd^{3+}$  в кристалле меняется по длине. В результате мы получаем различные спектрально-кинетические характеристики в зависимости от перемолотой части кристалла. Также планируется провести РФА образцов в диапазоне температур 100-300 К для уточнения температурной чувствительности и ПЭМ для получения средних размеров наночастиц и определения точной концентрации образца.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ 4H-SiC МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

*Санников К.О.*

*Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Мамин Г.В.*

Уникальные свойства SiC, такие как высокая теплопроводность, высокое напряжение пробоя и широкая запрещенная зона, сделали его одним из самых популярных материалов для мощных и высокотемпературных электронных устройств. Различные методы изготовления были применены к SiC для демонстрации и создания сложных наноструктур<sup>[819]</sup>. Объединив это с уникальным свойством SiC, то есть широкой запрещенной зоной для широкополосного оптического доступа от видимого до инфракрасного, SiC также стал многообещающей платформой для нанофотоники. Совсем недавно дефекты в SiC привлекли внимание для их потенциального применения в квантовых спиновых системах. Благодаря слабому спин-орбитальному взаимодействию имеется возможность для получения больших времен спиновой релаксации<sup>[820]</sup>.

В настоящей работе исследовался карбид кремния (4H-SiC), облученный потоком высокоэнергетических протонов  $E = 12$  МэВ, которые приводят к образованию дефектов в структуре. Нам удалось зарегистрировать сигналы фотоиндуцированного ЭПР (рис.1.) и ДЭЯР при постоянной температуре в высокочастотном диапазоне спектрометра. Возбуждение осуществлялось за счет оптической накачки лазерными источниками с длиной волны 532 нм. Установив оптимальные условия эксперимента, были измерены времена релаксации  $T_1 = 105(5)$  мкс и  $T_2 = 13,8(4)$  мкс. По результатам ДЭЯР были определены значения сверхтонкого и квадрупольного взаимодействий, подтверждающие природу дефектов  $NV_{kk}$  и  $NV_{hh}$ .

<sup>819</sup> Widmann, M. Coherent control of single spins in silicon carbide at room temperature // Nature materials 14, 2015, p.164-168

<sup>820</sup> Murzakhanov F.F., Yavkin B.V., Mamin G.V. Hyperfine and nuclear quadrupole splitting of the NV ground state in 4H-SiC // Phys. Rev. B 103, 245203, 2021