

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр
КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Обособленное подразделение

**Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского
отделения Российской академии наук**

**ТЕЗИСЫ
КОНКУРСА-КОНФЕРЕНЦИИ
МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ, АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

Красноярск, 31 марта 2022 г.

ПРОГРАММА

НАУЧНОЙ СЕССИИ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ ИФ СО РАН 2022 ГОДА

Открытие конкурса-конференции 31 марта (четверг)
 актовый зал гл.корпуса ИФ им. Л.В. Киренского СО РАН в 10:00
 Доклады молодых учёных (10 мин. доклад + 5 мин. вопросы)

№	Время	ФИО	Название доклада
1	10:00	Абдуллаев Абылгазы Сабиралиевич	<i>Электрически индуцированный ориентационный переход в холестерических каплях с закрученной радиальной конфигурацией</i>
2	10:15	Бондарев Михаил Александрович	<i>Синтез и характеристика эпитаксиальных тонких пленок Mn_5Ge_3 на подложке кремния</i>
3	10:30	Головкина Елена Вячеславовна	<i>Угловые зависимости поляризованных спектров КРС металлоорганических каркасов</i>
4	10:45	Костиков Денис Андреевич	<i>Ориентационные структуры нематика с коническим сцеплением при различных углах наклона, задаваемых смесями полиметилакрилатов</i>
5	11:00	Ларионов Егор Александрович	<i>Спиновая восприимчивость в реалистичной модели селенидов железа</i>
6	11:15	Муратов Вадим Рустямович	<i>Особенности топологической фазы с двумя парами майорановских мод в модели цепочки Китаева</i>
7	11:30	Большин Даниил Сергеевич	<i>Неравномерная дырочная проводимость в гидрогеле на основе PEDOT:PSS</i>
8	11:45	Бондарев Илья Александрович	<i>Влияние магнитного поля на спектральные и температурные характеристики фотовольтаического эффекта в структуре $Mn/SiO_2/n-Si$</i>
12:00		Перерыв	
9	12:15	Бурмитских Антон Владимирович	<i>Автоматизированный широкополосный спектрометр ферромагнитного резонанса</i>
10	12:30	Давлетшин Николай Николаевич	<i>Применение спекл-структур, полученных с помощью нематической жидкокристаллической ячейки в системах визуализации с использованием структурированного освещения</i>
11	12:45	Драганюк Оксана Николаевна	<i>Формирование ферромагнитного порядка в допированной железом MAX-фазе Mn_2GaC</i>
12	13:00	Пичковский Иван Сергеевич	<i>Реализация с помощью радиочастотных импульсов селективных операторов поворотов для квантового процессора на кутритах</i>
13	13:15	Скоробогатов Станислав Алексеевич	<i>Спиновая динамика в редкоземельном ортоферрите $TbFeO_3$</i>
14	14:00	Харченко Иван Александрович	<i>Исследование жидкостной проницаемости керамических мембран на основе перлита и пеносиликатов</i>
15	14:15	Шумилов Тимофей Юрьевич	<i>Особенности характеристик полосно-пропускающих фильтров второго порядка на полуволновых и четвертьволновых микрополосковых резонаторах</i>
16	14:30	Яковлев Иван Александрович	<i>Синтез магнитных наноструктур на основе Fe_3Si методом МЛЭ</i>
14:45		Перерыв	
15:00		Подведение итогов	

Подведение итогов конференции экспертной комиссией:

к.ф.-м.н. Вьюнышев Андрей Михайлович – председатель жюри

д.ф.-м.н. Зырянов Виктор Яковлевич

к.ф.-м.н. Соколов Алексей Эдуардович

к.ф.-м.н. Боев Никита Михайлович

д.ф.-м.н. Тимофеев Иван Владимирович

к.ф.-м.н. Дубровский Андрей Александрович

д.ф.-м.н. Аксенов Сергей Владимирович

Оглавление

<i>А.С. Абдуллаев, М.Н. Крахалев</i> Электрически индуцированный ориентационный переход в холестерических каплях с закрученной радиальной конфигурацией	6
<i>Д.С. Большин, П.М. Готовцев, П.К. Кашкар</i> Неравномерная дырочная проводимость в гидрогеле на основе PEDOT:PSS.	7
<i>И.А. Бондарев, М.В. Рауцкий, И.А. Яковлев, М.Н. Волочаев, А.В. Лукьяненко, А.С. Тарасов и Н.В. Волков</i> Влияние магнитного поля на спектральные и температурные характеристики фотовольтаического эффекта в структуре Mn/SiO ₂ /n-Si.....	8
<i>М.А. Бондарев, М.В. Рауцкий, И.А. Яковлев, А.С. Тарасов</i> Синтез и характеристика эпитаксиальных тонких пленок Mn ₅ Ge ₃ на подложке кремния	9
<i>А.В. Бурмитских, С.А. Клешина, С.Д. Крёков</i> Автоматизированный широкополосный спектрометр ферромагнитного резонанса.....	10
<i>Е.В. Головкина, А.Н. Втюрин, А.С. Крылов, С.Н. Крылова</i> Угловые зависимости поляризованных спектров КРС металлоорганических каркасов.....	11
<i>Н.Н. Давлетшин, Д.А. Иконников, В.С. Сутормин, А.М. Вьюнышев</i> Применение спекл-структур, полученных с помощью нематической жидкокристаллической ячейки в системах визуализации с использованием структурированного освещения.....	12
<i>О.Н. Драганюк</i> Формирование ферромагнитного порядка в допированной железом МАХ-фазе Mn ₂ GaC	13
<i>Д.А. Костиков, М.Н. Крахалев</i> Ориентационные структуры нематика с коническим сцеплением при различных углах наклона, задаваемых смесями полиметилакрилатов	14
<i>Е.А. Ларионов, М.М. Кориунов</i> Спиновая восприимчивость в реалистичной модели селенидов железа.....	15
<i>В.Р. Муратов, А.О. Злотников</i> Особенности топологической фазы с двумя парами майорановских мод в модели цепочки Китаева.....	16

<i>И. С. Пичковский</i> Реализация с помощью радиочастотных импульсов селективных операторов поворотов для квантового процессора на кутритах	17
<i>С. А. Скоробогатов, К. А. Шайхутдинов, Д. А. Балаев, М. С. Павловский, А. А. Красиков, К. Ю. Терентьев</i> Спиновая динамика в редкоземельном ортоферрите TbFeO ₃	18
<i>И.А. Харченко, И.И. Рыжков</i> Исследование жидкостной проницаемости керамических мембран на основе перлита и пеносиликатов	19
<i>Т.Ю. Шумилов, Я.Б. Завьялов</i> Особенности характеристик полосно-пропускающих фильтров второго порядка на полуволновых и четверть волновых микрополосковых резонаторах	20
<i>И.А. Яковлев, С.А. Лященко, А.С. Тарасов, Б.А. Беляев, М.Н. Волочаев, И.В. Немцев, С.Н. Варнаков</i> Синтез магнитных наноструктур на основе Fe ₃ Si методом МЛЭ	21

Электрически индуцированный ориентационный переход в холестерических каплях с закрученной радиальной конфигурацией

А.С. Абдуллаев^{1,2}, М.Н. Крахалев^{1,2}

¹Институт инженерной физики и радиоэлектроники, СФУ

²ФИЦ КНЦ СО РАН

Изучение жидких кристаллов (ЖК) в замкнутых полостях представляют большой интерес в последнее десятилетие. Это связано как с фундаментальной точки зрения, так и с практическими приложениями в технике [1]. Одним из бурных направлений в последние годы является исследование капель холестерических жидких кристаллов (ХЖК). ХЖК характеризуется геликоидальной структурой распределения поля директора с собственным шагом спирали p_0 , на котором директор поворачивается на угол 2π . Формирование структур в ограничивающих полостях зависит от граничных условий и соотношения размера занимаемой полости ХЖК и собственного шага спирали, характеризуемого относительным хиральным параметром $N_0 = d/p_0$. Топологические, оптические, оптомеханические характеристики капель ХЖК зависят от формирующейся ориентационной структуры, которой можно управлять внешними воздействиями. Поэтому исследование поведения структурно-ориентационных переходов в каплях ХЖК при приложении внешнего электрического поля является актуальным.

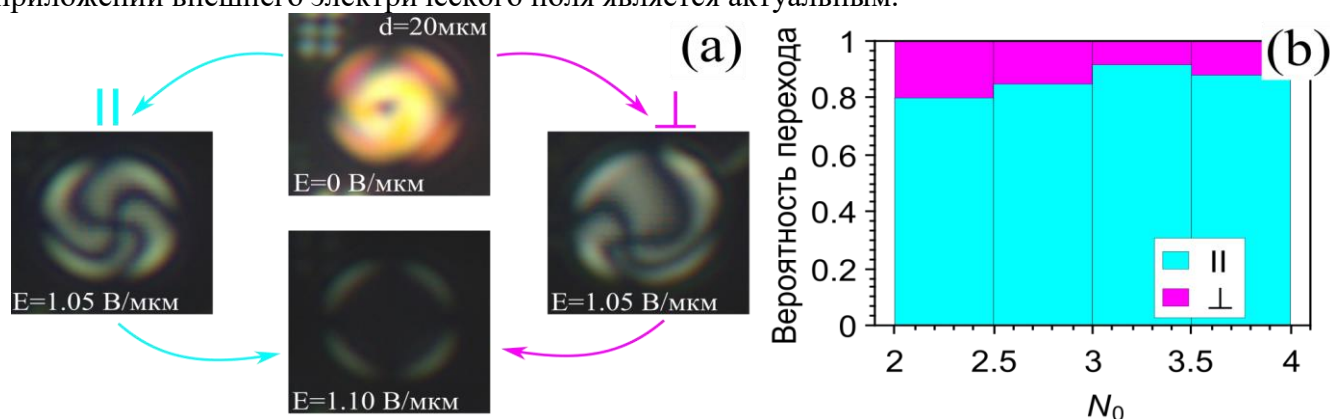


Рис. 1. Два сценария перехода (a) и вероятность трансформаций по этим сценариям (b).

В работе исследовался ХЖК на основе нематика E7 (Merck), допированного холестерилловым эфиром уксусной кислоты (X3) (Sigma Aldrich). Рассматривали капли с относительным хиральным параметром N_0 в диапазоне от 2 до 4. При таких условиях формируются капли с осесимметричной закрученной радиальной конфигурацией директора. Под действием электрического поля закрученная радиальная структура трансформируется в аксиальную конфигурацию [2]. При этом если исходно ось симметрии структуры ориентирована вдоль прикладываемого поля, то наблюдаются два сценария трансформации: 1) ось симметрии остается параллельной направлению поля и 2) ось симметрии структуры ориентируется перпендикулярно полю (рисунок 1a). Проведенный анализ наблюдаемых переходов показал, что в среднем доля трансформаций капель по первому сценарию составляет 86 % (рисунок 1b), что находится в хорошем согласии с результатами численного моделирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект No 20-72-10038)

Литература:

- [1] M. H. Saeed, S. Zhang, Y. Cao, L. Zhou, J. Hu, I. Muhammad, J. Xiao, L. Zhang, H. Yang, *Molecules* 25, 5510 (2020);
 [2] A. P. Gardymova, M. N. Krakhalev, V. Ya. Zyryanov, A. A. Gruzdenko, A. A. Alekseev, V. Yu. Rudyak, *Polymers* 13(5), 732 (2021).

Неравномерная дырочная проводимость в гидрогеле на основе PEDOT:PSS.Д.С. Большин^{1,2}, П.М. Готовцев², П.К. Кашкаров^{1,2}¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

PEDOT:PSS (поли(3,4-этилендиокситиофен) полистирен сульфонат) –полимер обладающий высокой электропроводностью, стабильностью и биосовместимостью, что определяет повышенный интерес к нему в части биомедицинского применения [1]. В силу гидрофильности этот полимер требует физической фиксации. Технологически перспективным является фиксация этого полимера в гидрогеле. В этом случае требуется обширное исследование физических и электрофизических свойств полученной структуры.

Исследуемый в работе гидрогель представляет собой устойчивую матрицу поливинилового спирта и ксантана с добавлением PEDOT:PSS. К концам набухшего в физиологическом растворе NaCl (8.4г/л) гидрогеля на равные промежутки времени прилагалось постоянное напряжение. У гидрогеля, после релаксации наблюдается остаточная разность потенциалов, монотонно зависящая от прикладываемого напряжения. В текущей работе была сформулирована и подтверждена гипотеза о природе этого явления.

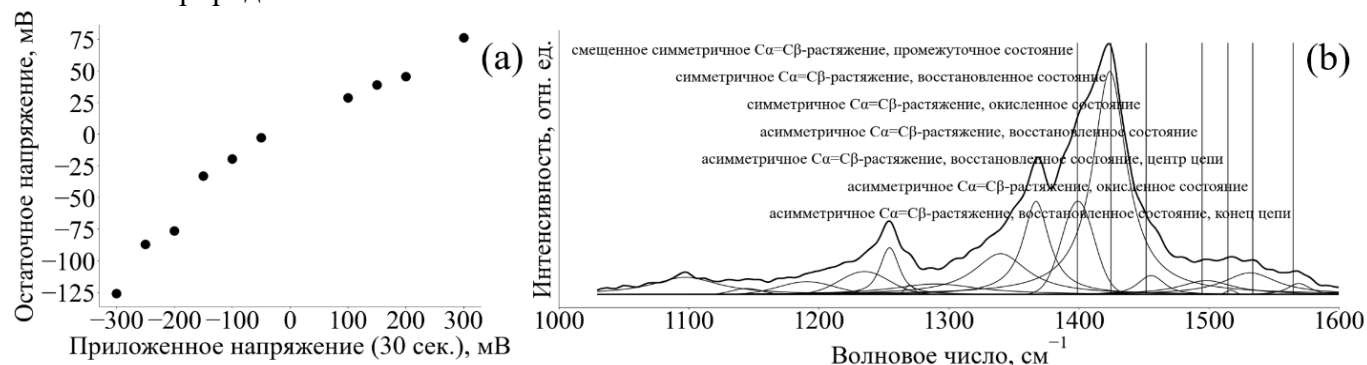


Рис. 1. Зависимость остаточного напряжения в гидрогеле после релаксации от величины приложенного напряжения в течение 30 сек. (а); декомпозиция спектра комбинационного рассеяния набухшего гидрогеля для определения степени окисления PEDOT:PSS (б).

PEDOT:PSS имеет дырочной тип проводимости, концентрация дырок зависит от степени окисления цепи PEDOT [2]. Опираясь на работу [3], по спектрам комбинационного рассеяния света во времени и пространстве сравнивались степени окисления проводящего полимера в гидрогеле под напряжением, набухшем в физрастворе. Помимо качественных изменений, зафиксирован монотонный рост разницы в степени окисления проводящего полимера от анода к катоду с ростом времени приложенного напряжения 0.3 В.

Под действием поля ионы Na⁺ и Cl⁻ диффундируют, Na⁺ связывается с акцепторной цепью PSS, провоцирует восстановление цепи PEDOT. Повышение концентрации Cl⁻ провоцирует окисление цепи PEDOT для поддержания объемной электронейтральности. После снятия поля и замыкания, концентрация подвижных ионов в течении 100с становится равномерной, а PEDOT:PSS продолжает находиться в разных состояниях. Таким образом, причиной остаточной разности потенциалов является градиент дырочной проводимости вдоль геля от анода к катоду. Отсутствие различий во времени и пространстве для спектров геля под напряжением в дистиллированной воде, подтверждает предложенное объяснение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-32-90221, «Аспиранты»)

Литература:

- [1] C. Boehler, Z. Aqrave and M. Asplund, *Bioelectron. Med.*, V. 2, № 2 (2019)
 [2] S. Garreau, G. Louarn, J. P. Buisson et al., *Macromolecules*, V. 32, P. 6807 (1999)
 [3] D. S. Bolshin, P. K. Kashkarov, *Nanotechnol. Russ.*, V. 17, № 3, (2022)

Влияние магнитного поля на спектральные и температурные характеристики фотовольтаического эффекта в структуре Mn/SiO₂/n-Si

И.А. Бондарев, М.В. Рауцкий, И.А. Яковлев, М.Н. Волочаев, А.В. Лукьяненко, А.С. Тарасов и Н.В. Волков

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Латеральный фотовольтаический эффект (ЛФЭ), обнаруженный Шоттки, и описанный Волмарком для р-п переходов [1] находит широкое применение в индустрии фотодетектирования и солнечной энергетике. Особый интерес представляет исследование ЛФЭ в структурах металл/диэлектрик/полупроводник, обладающих уникальной комбинацией магнитных и электрических свойств. Сочетание ЛФЭ и особенностей МДП структур позволяет манипулировать электронным и спиновым транспортом при помощи оптического излучения, что представляет интерес в контексте создания магнитооптических сенсоров и устройств спинтроники.

Исследуемая структура Mn/SiO₂/n-Si была приготовлена на допированной фосфором монокристаллической подложке n-Si. Подложка была предварительно обработана методом Шираки [2] (химическое травление и долгий отжиг при температурах 400-650°C). Для формирования слоя SiO₂ толщиной 1.5 нм, подложка подвергалась воздействию водного раствора H₂O₂ и NH₄OH в соотношении 1:1:1 в течение 30 мин при 60°C. Плёнка марганца толщиной 15 нм была напылена методом химического испарения в сверхвысоком вакууме при скорости напыления 0,25 нм/мин. Давление в базовой камере составляло $8,6 \times 10^{-6}$ Па. Напыление осуществлялось на установке Ангара [3].

Спектральные зависимости латерального фотонапряжения (ЛФН) оказались чувствительны как к величине магнитного поля, так и к его знаку. Отсутствие ЛФН в областях высоких и низких λ обусловлены особенностями поглощения света в полупроводнике. Температурная зависимость ЛФН демонстрирует два ярко выраженных максимума, при этом низкотемпературный максимум существенно подавляется магнитным полем, тогда как высокотемпературный пик не изменяется. Влияние магнитного поля на ЛФЭ в первую очередь обусловлено силой Лоренца, однако также не исключаются механизмы спин-зависимого рассеяния и рекомбинации горячих электронов на занятых донорных состояниях.

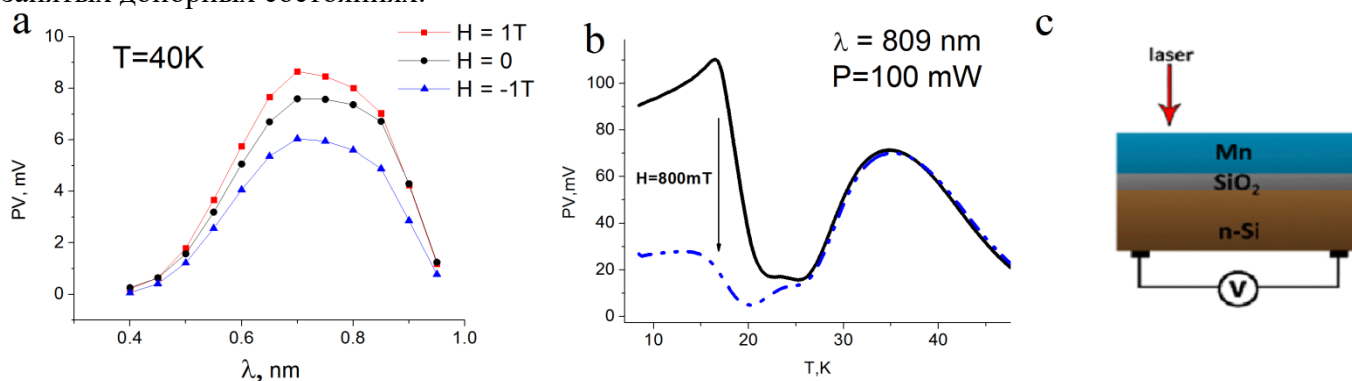


Рис. 1. а) Спектральная зависимость фотонапряжения при температуре 40 К, в магнитных полях $H = 0; 1T; -1T$; б) температурная зависимость фотонапряжения при длине волны $\lambda = 809$ нм и мощности облучения $P = 100$ мВт; в) схема эксперимента.

Литература:

- [1] J. T. Wallmark, Proc. IRE 1957, 45, 474.
- [2] A. Ishizaka and Y. Shiraki, J. Electrochem. Soc. 133, 666 (1986).
- [3] S. N. Varnakov, A. A. Lepeshev, S. G. Ovchinnikov, A. S. Parshin, M. M. Korshunov, and P. Nevoral, Instrum. Exp. Tech. 47, 839 (2004).

Синтез и характеристика эпитаксиальных тонких пленок Mn_5Ge_3 на подложке кремния

М.А.Бондарев, М.В.Рауцкий, И.А. Яковлев, А.С. Тарасов
Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Ферромагнитные тонкопленочные Mn_5Ge_3 образцы являются перспективными материалами для применения в спинтронике из-за высокой спиновой поляризации и температуры Кюри $T_C = 296$ К.

Актуальность исследования германидов марганца на кремниевой подложке подтверждается тем, что множество работ по тонким пленкам Mn_5Ge_3 выполнено на полупроводниковых подложках Ge [1], эпитаксиальных буферных слоях Ge [2], а также на GaAs(111) [3]. Синтез ферромагнитных германидов марганца на кремнии ранее не был продемонстрирован.

Исследуемая структура была синтезирована методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложке Si(111) при температуре $T = 390$ °С и давлении $6,5 \times 10^{-8}$ Па. На ЭПР Фурье-спектрометре Bruker Elexsys E580 были сняты спектры ферромагнитного резонанса (ФМР) в диапазоне температур от 110 К до 330 К. Для образца наблюдается три линии ФМР, которые представлены на рисунке 1 (а). Из экспериментальных данных определены параметры резонансных линий, по которым была построена температурная зависимость резонансного поля.

При температуре выше 300 К образец находится в парамагнитном состоянии, при котором нет явной зависимости резонансного поля от температуры (линия 1). Ниже точки фазового перехода парамагнетик-ферромагнетик линия поглощения разбивается на две. По мере понижения температуры у линии 2 резонансное поле повышается, а у линии 1 – уменьшается. Это может свидетельствовать о том, что в образце присутствует анизотропия типа «легкая ось», перпендикулярная плоскости пленки.

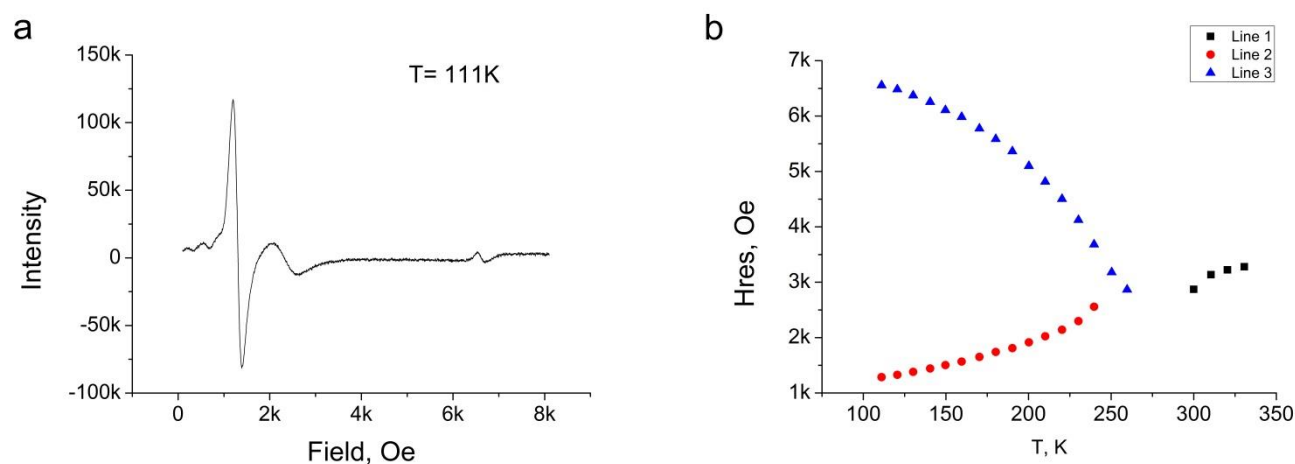


Рис. 1 а) Спектр поглощения Mn_5Ge_3 при температуре $T=111$ К; б) зависимость резонансного поля от температуры.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 20-42-243007.

Литература:

- [1] A. Spiesser *et al* 2011 *Phys. Rev. B* 84 165203.
- [2] S. Bechler *et al* *Semicond. Sci. Technol.* 33 (2018) 095008.
- [3] Dung *et al.* *J. Appl. Phys.* 114, 073906 (2013).

Автоматизированный широкополосный спектрометр ферромагнитного резонанса

А.В. Бурмитских, С.А. Клешина, С.Д. Крёков

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

В работе представлена конструкция автоматизированного широкополосного спектрометра, предназначенного для исследования тонкопленочных ферромагнитных наноструктур методом ферромагнитного резонанса. Отличительной особенностью конструкции спектрометра является наличие дополнительных калибровочных колец, изменяющих направление вектора намагниченности в тонкопленочном образце ортогонально направлению внешнего магнитного поля в процессе калибровки измерительной системы. Это позволяет снизить влияние рассогласования измерительной системы и проводить широкополосные измерения спектров поглощения СВЧ энергии при ФМР, вплоть до собственного резонанса измерительной ячейки. Влияние магнитного поля земли на тонкопленочный образец скомпенсировано дополнительными компенсационными кольцами, позволяющими получать суммарную напряженность постоянного магнитного поля вблизи образца менее 0.01 Э (в отсутствии внешнего магнитного поля). Вращение постоянного магнитного поля относительно СВЧ поля (создаваемого над поверхностью образца отрезком несимметричной короткозамкнутой микрополосковой линии) позволяет получать спектры ФМР при различном направлении магнитных полей, с амплитудой постоянного магнитного поля до 1500 Э . Таким образом, возможно проведение исследований спектров поглощения при ФМР вплоть до собственной резонансной частоты измерительной ячейки (около 15 ГГц), без появления паразитных резонансов, вызванных изменением волнового сопротивления измерительной системы в процессе вращения колец Гельмгольца, создающих постоянное магнитное поле.

Использование элементов цифровой фильтрации и последующей обработки экспериментальных данных удается проводить измерения образцов толщиной от сотен ангстрем, со скоростью примерно 1 образец в сутки (10^6 точек) и получать значения намагниченности насыщения, величины и направления поля одноосной и однонаправленной анизотропий, коэффициента затухания, в развертке по углу и величине постоянного магнитного поля.

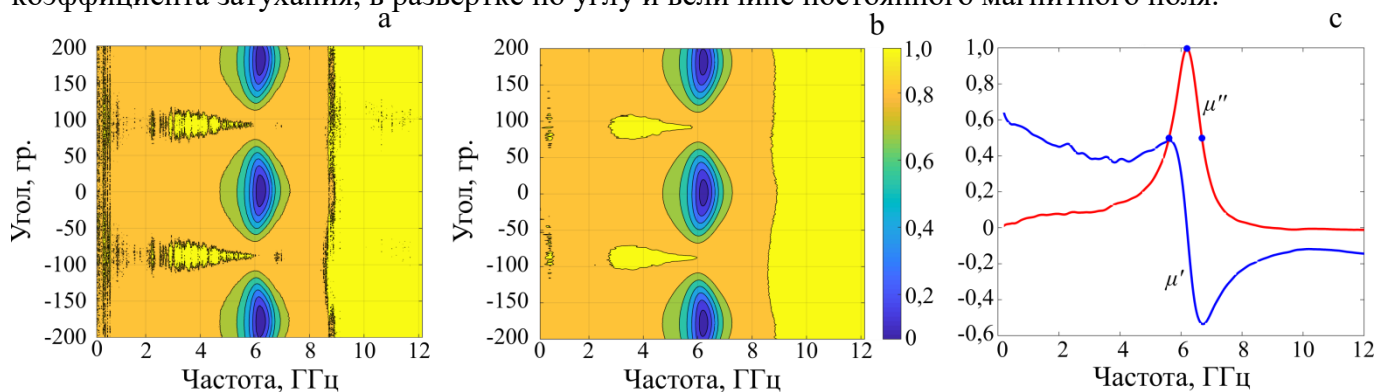


Рис. 1. Результаты измерения образца $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ толщиной 200 \AA (а – нормированное значение модуля S_{11} (б – после применения цифровой фильтрации); с – нормированное значение действительной и мнимой частей комплексной магнитной проницаемости)

Литература:

- [1] Широкополосный спектрометр ферромагнитного резонанса // Патент № 2747912. 2020. Бюл. № 14. / Б. А. Беляев, А. В. Бурмитских, А. В. Изотов, Н. М. Боев.
- [2] A.V.Izotov, B.A.Belyaev, N.M.Boev, A.V.Burmitskikh, G.V.Skomorokhov, S.M.Zharkov, P.N.Solovev // Journal of Alloys and Compounds, 900 (2022)

Угловые зависимости поляризованных спектров КРС металлоорганических каркасов

*Е.В. Головкина*¹ (e.v.golovkina@mail.ru), *А.Н. Втюрин*², *А.С. Крылов*², *С.Н. Крылова*²

¹*Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, 660041, Россия*

²*Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, 660036, Россия*

Для изучения неориентированных кристаллических веществ появилась необходимость разработки методики измерения спектров микрокристаллов. Несмотря на то, что в природе и в процессе роста кристаллы имеют четко выраженную огранку, их грани не всегда располагаются вдоль кристаллографических осей. По этой причине, а также из-за малых размеров кристаллов, правильно расположить кристалл для измерения поляризованных спектров становится затруднительным. В данной методике стало бы возможным определение угловых зависимостей спектров, а также выявление поведения линий и симметрии колебаний молекул кристаллов.

Металлоорганические каркасы представляют собой кристаллические твердые вещества, в которых атомы металла или оксида металла соединены органическими линкерами и образуют кристаллическую решетку. Металлоорганические каркасы приобрели большой интерес из-за их высокой пористости, большой площади поверхности и характеристик поглощения. Наличие пор позволяет использовать их для селективной абсорбции. Некоторые из таких веществ являются перестраиваемыми, что означает, что несколько стабильных кристаллических структур могут быть получены путем абсорбции и десорбции.

Кристаллы металлоорганических каркасов имеют размер менее 0.1 мм и не имеют правильной огранки вдоль кристаллографических осей. Поэтому для измерения спектров комбинационного рассеяния света неориентированных кристаллов металлоорганических каркасов была использована разработанная методика измерения угловых зависимостей спектров. Для проведения автоматизированного эксперимента была сконструирована приставка для КР-спектрометра, подключаемая к управляющему компьютеру. В результате периодического вращения кристалла и измерения, соответствующих данному углу, спектров были построены угловые зависимости спектров, анализ которых дает распределение максимумов линий спектра по углам.

В работе проведено исследование металлоорганических каркасов DUT-8(Ni), синтезированных в Дрезденском техническом университете. Сопоставляя результаты с модельными расчетами, представляется возможность распознать группу симметрии колебаний кристалла, а также выявить отличительные признаки спектра различных фаз металлоорганических каркасов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Немецкого научно-исследовательского сообщества в рамках научного проекта № 21-52-12018.

Применение спекл-структур, полученных с помощью нематической жидкокристаллической ячейки в системах визуализации с использованием структурированного освещения

Н.Н. Давлетишин, Д.А. Иконников, В.С. Сутормин, А.М. Вьюнышев
 Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, СФУ

Метод структурированного освещения, который можно применять для визуализации в проходящем или отраженном свете, требует освещения объекта неоднородным пучком света. Системы визуализации, основанные на структурированном освещении, часто называют однопиксельными камерами или вычислительными фантомными изображениями [1]. Одной из первых работ в этой области стала работа по получению фантомных изображений с использованием псевдотермического источника света [2].

Метод восстановления изображения объекта, так называемого фантомного изображения является нетрадиционным для классической оптики. Это связано с тем, что информацию об объекте хранит функция пространственной корреляции двух световых полей: одно из которых взаимодействует с объектом, но не несет в себе пространственной информации, второе содержит пространственную информацию, но не взаимодействует с объектом [2,3]. Возможной реализацией такой системы является использование скоррелированных световых полей со случайным распределением интенсивности и фазы (спекл-структур). Для формирования спекл-структур используют различные устройства: пространственные модуляторы света, цифровые микрзеркальные устройства, вращающиеся матовые стёкла и т.д. [2].

В данной работе была изучена возможность создания устройства визуализации на основе методики структурного освещения с использованием нематического жидкого кристалла (НЖК), в котором возбуждается электрогидродинамическая неустойчивость. Экспериментально показана низкая степень взаимных корреляций спекл-структур, генерируемых НЖК ячейкой. Продемонстрирована способность НЖК ячейки генерировать случайные пространственные распределения интенсивности на примере восстановления фантомного изображения с использованием псевдотермического источника света (рис. 1). Для анализа сходства полученного фантомного изображения с исходным объектом был использован индекс структурного сходства.

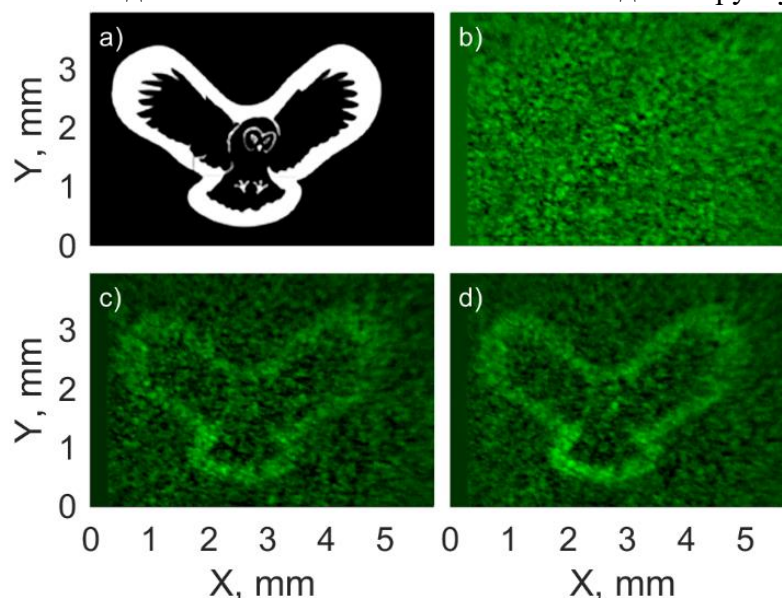


Рис. 1. Амплитудная маска (a). Фантомное изображение маски, восстановленное спустя 100 (b), 2500 (c) и 5000 (d) реализаций.

Литература:

- [1] G. M. Gibson, S. D. Johnson, and M. J. Padgett, *Opt. Express*, 28, 28190-28208 (2020).
- [2] A. Gatti, E. Brambilla, M. Bache, and L.A. Lugiato, *Phys. Rev. Lett.*, 93, 093602 (2004).
- [3] M.J. Padgett, R.W. Boyd, *Phil. Trans.*, 375, №2099, 20160233 (2017).

Формирование ферромагнитного порядка в допированной железом МАХ-фазе Mn_2GaC

Драганюк Оксана Николаевна

Институт Физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Первопринципные исследования функциональных материалов позволяют предсказать существование новых материалов с перспективными свойствами и направить экспериментальный поиск, снизив затраты на исследования. МАХ-фазы Mn_2AX [1] представляют собой атомно-слоистые материалы, где М - переходный металл, А - элемент А-группы, а Х - углерод и / или азот. МАХ-фазы активно применяются в спинэлектронных и магнитных охлаждающих устройствах, а в последнее время большое внимание стало уделяться исследованию магнитных МАХ-фаз, в том числе на основе железа и марганца.

Антиферромагнитная МАХ-фаза Mn_2GaC была экспериментально синтезирована [2] и теоретическое исследование [3] показало, что ферромагнитное и антиферромагнитное состояния Mn_2GaC энергетически очень близки. В рамках DFT+GGA было проведено изучение влияния замещения атомов марганца и галлия в Mn_2GaC атомами железа и расчет стабильности полученных сплавов. Было обнаружено, что при замещении 12.5% атомов марганца на позиции М атомами железа соединение является стабильным (рис.1) антиферромагнетиком, в то время как при замещении 12.5% атомов галлия на позиции А атомами железа соединение также остается стабильным, но при этом в нем формируется ферромагнитный порядок с большими значениями магнитного момента на атомах железа и марганца $2.8\mu_B$, $1.7\mu_B$, соответственно.

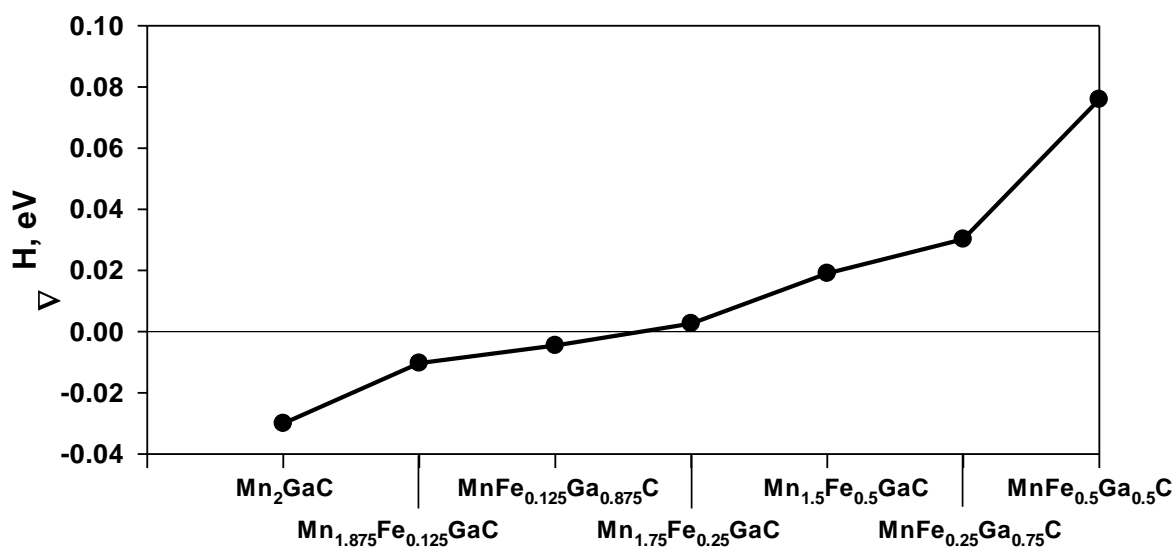


Рис. 1. Зависимость энергии формирования от состава МАХ-фазы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 20-42-240004.

Литература:

- [1] Sokol, V. Natu, S. Kota and M. W. Barsoum, Trends in Chemistry 1 (2), 210-223 (2019).
 [2] A. S. Ingason, A. Petruhins, M. Dahlqvist, A. Mockute, B. Alling, L. Hultman, I.A. Abrikosov, P.O.Å. Persson & J. Rosen, Materials Research Letter, 2014, V. 2, pp. 89-93.
 [3] V.S. Zhandun, N.G. Zamkova, O.N.Draganyuk, A.S.Shinkorenko, U.Wiedwald, S.G.Ovchinnikov and M. Farle Phys. Chem. Chem. Phys., 2021,23, 26376-26384

Ориентационные структуры нематика с коническим сцеплением при различных углах наклона, задаваемых смесями полиметилакрилатов

Д.А. Кости́ков^{1,2}, М.Н. Крахале́в^{1,2}

¹ФИЦ КНЦ СО РАН

²Институт инженерной физики и радиоэлектроники, СФУ

Жидкие кристаллы (ЖК) за счет своей уникальной структуры и необычных свойств заняли большую нишу в оптической технике. В зависимости от ориентации директора (вектора, который характеризует преимущественное положение длинных осей молекул) изменяются свойства ЖК, в особенности, электрические и оптические. В свою очередь, ориентационная структура директора определяется ориентацией директора на границах ячейки (граничные условия), которая характеризуется углом наклона. Планарные и гомеотропные граничные условия соответствуют углам наклона директора $\theta_{0, \text{планар}} = 0^\circ$ и $\theta_{0, \text{гомеотроп}} = 90^\circ$, соответственно. Электрооптические свойства таких ЖК ячеек уже хорошо исследованы. Отличные от них граничные условия называются коническими, вариация которых способна привести задачу получения необходимых параметров ЖК системы к более точному и/или простому решению, что делает их изучение актуальным.

В работе исследовались ЖК ячейки на основе нематика ЛН-396, показатели преломления которого $n_e = 1,716$, $n_o = 1,52$ [1]. На нижней подложке планарные граничные условия задавались натертой пленкой поливинилового спирта (ПВС), на верхней подложке конические граничные условия обеспечивались благодаря подобранной смеси полимеров полиизобутилметакрилата (ПиБМА) и полиметилметакрилата (ПММА). Углы наклона определялись посредством измерения зависимости фазовой задержки между обыкновенным и необыкновенным лучами от угла падения излучения [2, 3]. Вариация состава ПиБМА : ПММА позволила нам получить различные углы наклона директора (рис. 1а) [4]. Для различных углов наклона директора исследованы формирующиеся ориентационные структуры в слое нематика, а также их отклик на приложенное электрическое поле.

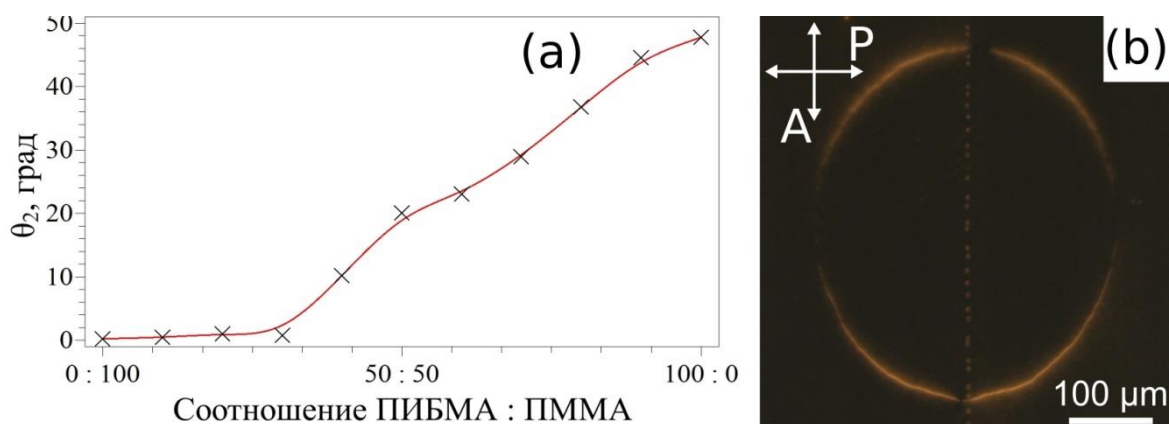


Рис. 1 Зависимость угла наклона директора от соотношения ПиБМА:ПММА в ориентирующей пленке полимера (а), доменная стенка в ячейке с весовым соотношением ПиБМА : ПММА = 80 : 20 (б).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда науки (грант No 20-42-240007).

Литература:

- [1] V.S. Sutormin et al, *Optical Materials Express* 11(5), 1527(2021).
- [2] S.Y. Wang, H.M. Wu and K.H. Yang, *Applied Optics* 52(21), 5106 (2013).
- [3] М. Клеман, О.Д. Лаврентович, *Основы физики частично упорядоченных сред*, Физматлит, 2007.
- [4] D.A. Kostikov, M.N. Krakhalev, O.O. Prishchepa and V.Y. Zyryanov, *Polymers* 13, 2993 (2021).

Спиновая восприимчивость в реалистичной модели селенидов железа

Е.А. Ларионов, М.М. Коршунов

Институт инженерной физики и радиоэлектроники, сибирский федеральный университет.

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Интерес к высокотемпературной сверхпроводимости в селенидах железа определяется как практическим применением исследуемых соединений, так и наличием нерешенных проблем, связанных с описанием таких систем. В работе представлен расчет спиновой восприимчивости для соединений железа без учета спин орбитального взаимодействия. Расчет был сделан в десятиорбитальной модели из работы [1]. Параметры модели подбирались для схожести с Ферми поверхностью из статьи [3]. Восприимчивость $\chi(q, \omega)$ вычислялась как спиновый коррелятор [2], затем анализировались орбитальные вклады. Установлено, что максимальные вклады вблизи вектора $Q = (\pi, \pi)$, см. Рис.1.

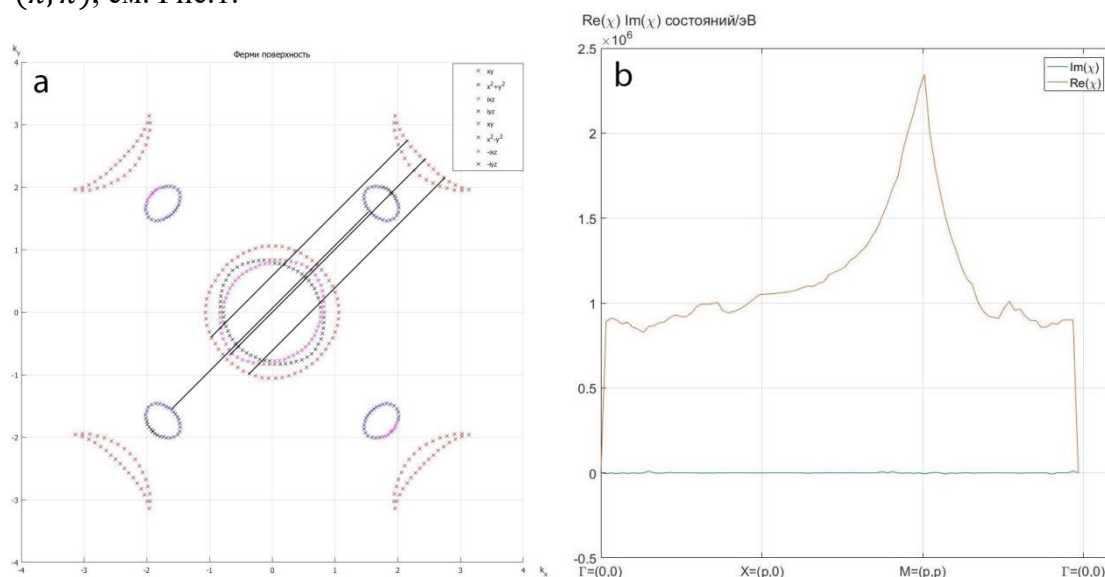


Рис. 1. а – поверхность Ферми и характерные вектора, рассеяние на которых даёт максимальный вклад в спиновую восприимчивость б – $Re(\chi)$ и $Im(\chi)$ на нулевой частоте $\omega = 0$ эВ как функции импульса $q \in \text{ГХГМ}$

Основной вклад на векторе Q дают процессы рассеяния, включающие орбитали xu и $xu, x^2 - y^2$ и $x^2 - y^2, xz$ и xu , т.е., в основном, внутриорбитальные процессы. Ожидается, что при учёте локальных кулоновских взаимодействий в приближении хаотических фаз отклик на векторе Q усилится, поскольку самый большой по величине матричный элемент взаимодействия - внутриорбитальное хаббардовское U .

Литература:

- [1] Helmut Eschrig, Klaus Koepernik - Tight-binding models for the iron-based superconductors Physical Review B 80 104503 Pp 6-7 2009
- [2] М.М. Коршунов - Сверхпроводящее состояние в соединениях железа и спин-флуктуационная теория спаривания УФН 184 Pp882–888 2014
- [3] А.А. Kordyuk V.B. Zabolotnyy D.V. Evtushinsky A.N. Yaresko B. Büchner S.V. Borisenko – Electronic band structure of ferro-pnictide superconductors from ARPES experiment, J Supercond Nov Magn 26 Pp 2837-2841 2013

Особенности топологической фазы с двумя парами майорановских мод в модели цепочки Китаева

В.Р. Муратов, А.О. Злотников

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Сибирский федеральный университет

В последнее время большой интерес вызывают топологические сверхпроводники, в которых реализуются майорановские моды (ММ). Наиболее простой моделью, допускающей формирование ММ является модель Китаева [1], описывающая бесспиновые фермионы в 1D цепочке. Известно, что учет дальних перескоков и сверхпроводящих спариваний электронов качественно изменяет топологическую фазовую диаграмму [2].

В данной работе в рамках модели Китаева на основе анализа аналога фазы Берри γ показано формирование новой топологической фазы с $\gamma = \pm 2$ при учете перескоков и сверхпроводящих спариваний между следующими за ближайшими соседями, характеризующейся формированием двух пар ММ. На рисунке 1 представлена топологическая фазовая диаграмма в переменных амплитуды перескоков t_2 во вторую координационную сферу – химпотенциал μ для параметров $\Delta_1 = |t_1|$ и $\Delta_2 = 0,8|t_1|$. Топологические переходы между фазами с различными значениями γ сопровождаются закрытием щели в спектре возбуждений замкнутой цепочки. Также на диаграмме отмечен вид функции основного состояния цепочки в различных топологических фазах.

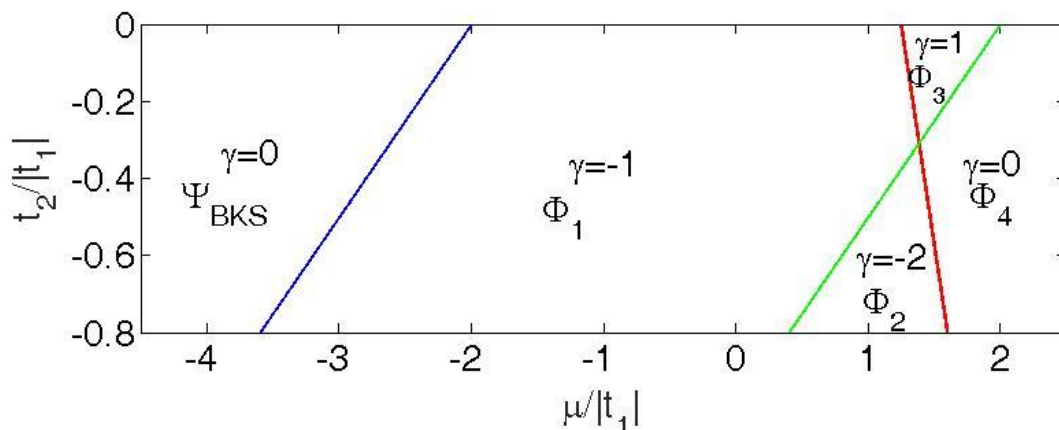


Рисунок 1 – Топологическая фазовая диаграмма в переменных t_2 - μ .

На рисунке $|\Psi_{BKS}\rangle$ – функция основного состояния, имеющая вид аналогичный с функцией Бардина, Купера, Шриффера, записанной для бесспиновых фермионов. Функции $|\Phi_1\rangle = C_0^+ |\Psi_{BKS}\rangle$ и $|\Phi_3\rangle = C_{-k}^+ C_k^+ C_0^+ |\Psi_{BKS}\rangle$ в топологических фазах с одной парой ММ ($\gamma = \pm 1$) обладают нечетной фермионной четностью. $|\Phi_2\rangle = C_\pi^+ C_0^+ |\Psi_{BKS}\rangle$ реализуется в топологически нетривиальной фазе с двумя парами ММ ($\gamma = -2$) и представляется в виде суперпозиции состояний, содержащих четное число фермионов, как и функции $|\Psi_{BKS}\rangle$ и $|\Phi_4\rangle = C_{-k}^+ C_k^+ C_\pi^+ C_0^+ |\Psi_{BKS}\rangle$ в топологически тривиальных фазах ($\gamma = 0$).

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительства Красноярского края (грант № 20-42-243001), а также Гранта Президента РФ МК-4687.2022.1.2.

Литература:

- [1] Kitaev A. Y. Unpaired Majorana Fermions in Quantum Wires // Physics-Uspekhi. – 2001. – Vol. 44, № 10S. – P. 131-136.
 [2] Tao Z., Yan T., Liu W., Niu J., Zhou Y., Zhang L., Jia H., Chen W., Liu S., Chen Y., Yu D. Simulation of a Topological Phase Transition in a Kitaev Chain with Long-Range Coupling Using a Superconducting Circuit // Physical Review B. – 2020. – Vol. 101, № 3. – P. 035109 1-8.

Реализация с помощью радиочастотных импульсов селективных операторов поворотов для квантового процессора на кутритах

И. С. Пичковский

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

В предыдущей работе [1] мы рассмотрели управление системой из 5 кутритов посредством селективных операторов поворота для решения задачи кластеризации. В данной работе мы рассмотрим реализацию этих операторов с помощью прямоугольных радиочастотных (РЧ) импульсов. Для этого рассмотрим нашу систему из 5 спинов с $S=1$ во вращающейся системе координат [2]:

$$H = -(W_1 - W_{rf})S_1^z - (W_2 - W_{rf})S_2^z - (W_3 - W_{rf})S_3^z - (W_4 - W_{rf})S_4^z - (W_5 - W_{rf})S_5^z + Q_1(3[S_1^z]^2 - 2I) + Q_2(3[S_2^z]^2 - 2I) + Q_3(3[S_3^z]^2 - 2I) + Q_4(3[S_4^z]^2 - 2I) + Q_5(3[S_5^z]^2 - 2I) + H_y + H_{dd}$$

В качестве констант гамильтониана примем $Q_1 = 15000$, $Q_2 = 10000$, $Q_3 = 12000$, $Q_4 = 18000$, $Q_5 = 30000$ и $W_1 = 3000$, $W_2 = 2500$, $W_3 = 2800$, $W_4 = 3200$, $W_5 = 3800$, а W_{rf} - частота РЧ импульса, которая выбирается равной величине частоты одного из переходов между энергетическими уровнями определённых спинов. Эти частоты для спина S_i примут вид: между уровнями 1 и 2 - $W_{rf} = -3Q_i + W_i$ и между уровнями 2 и 3 - $W_{rf} = 3Q_i + W_i$. С помощью этих частот мы отстраиваем селективность поворота, но при этом мы воздействуем на другие спины, что будет являться источником «cross talk» ошибки. S_i^z - матрицы проекции спинов в вычислительном базисе из

собственных функций операторов проекции на ось Z , I единичная матрица. $H_y = h_y \sum_{i=1}^5 S_i^z$ - гамильтониан взаимодействия с поперечным магнитным полем РЧ импульса, направленным вдоль оси Y , где h_y амплитуда РЧ импульса. Для уменьшения «cross talk» ошибки эта величина должна

быть малой. $H_{dd} = \sum_{i=1}^5 J_{ij} S_i^z S_j^z$ - гамильтониан диполь-дипольного взаимодействия (ДДВ),

приведённый в работе [1]. Соотношение констант ДДВ определяется расстоянием между точками в задаче кластеризации, а для уменьшения ошибки их масштаб должен быть много меньше h_y .

Помимо «cross talk» и ошибки, вызванной ДДВ, существует ошибка, вызванная набегом фазы. Чтобы ее избежать возьмём длительность импульса поворота на угол θ $t_i = \theta / \sqrt{2}h_y$ кратным $2\pi / Q_i$ и $2\pi / W_i$ [3].

Отсюда было найдено значение поля $h_y = (W_i \theta) / (2\sqrt{2}\pi n)$ для различных целых чисел n при условии, что число $k = (t_i Q_i) / 2\pi$ целое. Результаты для поворотов на угол π , направления которых определяется направлением магнитного поля: $h_1 = 0.5124$, $h_2 = 0.5124$, $h_3 = 0.5124$, $h_4 = 0.5277$, $h_5 = 0.5277$. Найдены параметры РЧ импульсов всех селективных поворотов, необходимых для реализации в процессоре на пяти кутритах алгоритма из работы [1].

Данная работа выполнена при поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «Базис» по гранту #20-1-5-41-1

Литература:

- [1] V. E. Zobov, I. S. Pichkovskiy, International Conference on Micro-and Nano-Electronics 2021. – SPIE, 12157. 540-548.(2022)
 [2] Сликтер Ч. П. и др. Основы теории магнитного резонанса. – Мир, 1981.
 [3] Зобов В. Е., Ермилов, Журнал экспериментальной и теоретической физики. 141. 6. 1060-1070 (2012).

Спиновая динамика в редкоземельном ортоферрите $TbFeO_3$

С. А. Скоробогатов^{1,2}, К. А. Шайхутдинов^{1,2}, Д. А. Балаев^{1,2}, М. С. Павловский^{1,2},
А. А. Красиков¹, К. Ю. Терентьев¹

¹ Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Редкоземельные ортоферриты с общим составом $RFeO_3$ (R-редкоземельный ион) представляют собой оксидные магнитные материалы, исследование свойств которых не прекращается уже более века. Многообразие уникальных магнитных свойств [1 - 4] принято считать следствием 3d-4f взаимодействия, которое возникает между подсистемами ионов Fe^{3+} и ионов R^{3+} , однако построение полной микроскопической модели наталкивается на ряд трудностей.

В нашем исследовании мы пытаемся решить эту проблему, изучая магнитные свойства ортоферритов с разными редкоземельными ионами (Yb, Ho, Tm и Tb), используя для этого неупругое рассеяние нейтронов и другие эмпирические методы. Исследование спиновой динамики на двух различных энергетических масштабах: Fe^{3+} (~60 мэВ) и редкоземельной подсистемы Tb^{3+} (ниже 40 мэВ) были проведены в Oak Ridge National Laboratory.

Мы описали высокоэнергетические магнитные возбуждения с использованием линейной спин-волновой модели и определили обменные взаимодействия в подсистеме Fe^{3+} в $TmFeO_3$ [5 - 7] и $TbFeO_3$. Наши результаты показывают выраженную анизотропию между обменными взаимодействиями в **ab**-плоскости и вдоль оси **c** в пространственной группе $R\bar{3}m$. Спектр магнитных возбуждений подсистемы Tb^{3+} состоит из нескольких переходов кристаллического электрического поля (CEF), которые были определены на 17, 25 и 35 мэВ. Расчет, проведенный с использованием метода точечного заряда (PCM), показал схожие энергии переходов для иона Tb^{3+} . Также на основе данной модели нами были построен спектр магнитных возбуждений и намагниченность, которые воспроизвели экспериментальные данные.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-32-90142.

Выражаем свою благодарность А. А. Подлесняку за помощь в экспериментах на INS и С. Е. Никитину за идейное и содержательное сопровождение работы на всех этапах.

Литература:

- [1] R.L. White, J. Appl. Phys. 40, 1061 (1969).
- [2] A.V. Kimel et al., Nature (London) 435, 655 (2005).
- [3] Y.J. Ke et al., Sci. Rep. 6, 19775 (2016).
- [4] Artyukhin, Sergey, et al. Nature materials 11.8, 694-699 (2012).
- [5] S.M. Shapiro et al., Phys. Rev. B10, 2014 (1974).
- [6] S.E. Nikitin et al., Phys.Rev. B 98, 064424 (2018).
- [7] S.A. Skorobogatov et al., Phys. Rev. B 101, 014432 (2020).

Исследование жидкостной проницаемости керамических мембран на основе перлита и пеносиликатов

И.А. Харченко, И.И. Рыжков

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН

В настоящее время пористые керамические материалы находят широкое применение в мембранных технологиях разделения смесей и получения чистых веществ. Одним из перспективных приложений керамических мембран является водоподготовка и очистка сточных вод. Цель данной работы - исследование жидкостной проницаемости керамических мембран на основе перлита и пеносиликатов для процессов водоподготовки.

В данной работе представлена методика получения новых типов керамических материалов на основе перлита и пеносиликатов [1]. Получены образцы двухслойных керамик на основе полидисперсного порошка минерала перлита и пеносиликатов. Размер пор определяли методом пузырька в воде и с помощью электронной микроскопии. Средний размер пор несущей подложки и модифицирующего слоя составляет 40 мкм и 17 мкм. В работе была измерена жидкостная проницаемость полученных мембран на основе экспериментальной зависимости потока воды через мембрану от приложенной разности давлений. На рис. 1 приведены указанные зависимости в диапазоне давлений от 0.01 до 2 бар.

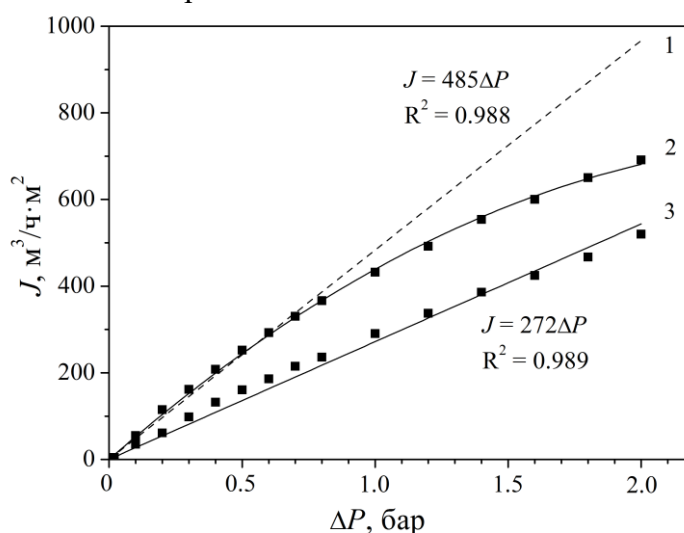


Рис. 1. Зависимость объемного потока воды от разности давлений для подложки из перлита (кривые 1 и 2) и подложки из перлита, модифицированной слоем пеносиликата (кривая 3).

На основании полученных результатов были сделаны следующие выводы: 1) нанесение модифицирующего слоя вызывает снижение жидкостной проницаемости подложек с 485 до 272 м³/ч·м²·бар, это объясняется уменьшением размеров сквозных пор в два раза; 2) зависимость объемного потока от разности давлений в диапазоне до 2 бар для модифицированных подложек хорошо описываются законом Дарси, в то время как для подложек из перлита наблюдаются отклонения от этого закона при давлениях, превышающих 0.8 бар.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-29-19078 мк. Физико-химический анализ материалов был выполнен в Красноярском региональном центре коллективного пользования ФИЦ КИЦ СО РАН. Выражаем благодарность соавторам работы – Н.П. Фадеевой, М.В. Павлову, М.М. Симунину, К.А. Шабановой, В.Ф. Павлову.

Литература:

[1] Н.П. Фадеева, М.В. Павлов, И.А. Харченко, М.М. Симунин, К.А. Шабанова, В.Ф. Павлов, И.И. Рыжков, Высокопрочные керамические подложки на основе перлита и пеносиликатов для фильтрующих материалов, Мембраны и мембранные технологии (2022), том 12, №3, с. 1-8.

Особенности характеристик полосно-пропускающих фильтров второго порядка на полуволновых и четверть волновых микрополосковых резонаторах

Т.Ю. Шумилов, Я.Б. Завьялов

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Полосно-пропускающие фильтры, как известно, являются важнейшими элементами систем связи, радиолокации, радионавигации, измерительной и специальной радиоаппаратуры. В настоящее время наиболее широкое распространение в радиотехнике получили микрополосковые фильтры. Простейшие конструкции микрополосковых фильтров представляют собой связанные полуволновые резонаторы с параллельными друг другу полосковыми проводниками. Существенно меньшие размеры имеют конструкции фильтров на четвертьволновых микрополосковых резонаторах (МПР), в которых один из концов полоскового проводника каждого МПР соединяется с экраном.

В настоящей работе теоретически и экспериментально исследуются шесть конструкций микрополосковых фильтров второго порядка, построенных на полуволновых и четвертьволновых резонаторах. В качестве подложек в конструкциях фильтров использовались пластины из высокочастотной керамики ТБНС толщиной $h = 0.5$ мм, имеющей относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 80$. Резонаторы образованы отрезками микрополосковой линии с шириной полоскового проводника $w = 4$ мм, имеющей волновое сопротивление $Z_L \approx 4.5 \Omega$. В рассматриваемых конструкциях порты подключены к концам полосковых проводников, поэтому резонаторы во всех фильтрах имеют максимально возможную связь с входными и выходными линиями передачи.

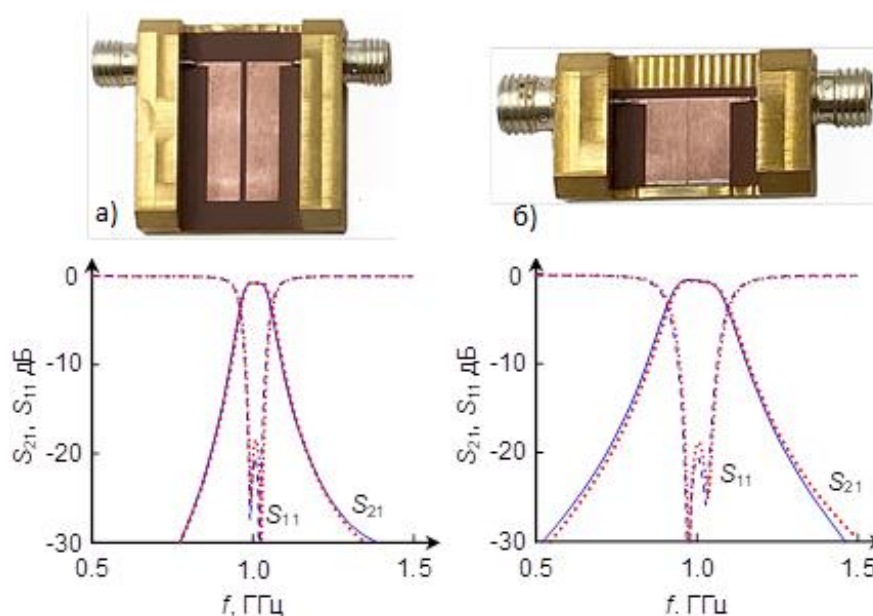


Рис. 1 Фотографии экспериментальных образцов двух конструкций двухзвенных фильтров на а) полуволновых и б) четвертьволновых МПР и их АЧХ. Линии – расчет, точки – эксперимент

Цель исследования – выяснение соотношения между характеристическими сопротивлениями полуволновых и четвертьволновых резонаторов и их отличия от волнового сопротивления образующей их микрополосковой линии.

В результате исследования показано, что характеристическое сопротивление полуволнового резонатора в два раза меньше, чем характеристическое сопротивление четвертьволнового резонатора [1].

Литература:

[1] Беляев Б. А., Бальва Я. Ф., Лексиков Ан. А., Сержантов А. М., Ходенков С. А., Шумилов Т. Ю. Особенности характеристик полосно-пропускающих фильтров второго порядка на полуволновых и четверть волновых микрополосковых резонаторах. // Изв. вузов. Физика. – 2022. Т. 65, № 2. – С. 71–81.

Синтез магнитных наноструктур на основе Fe_3Si методом МЛЭ

И.А. Яковлев, С.А. Лященко, А.С. Тарасов, Б.А. Беляев, М.Н. Волочаев, И.В. Немцев, С.Н. Варнаков

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Разработка новых и усовершенствование современных приборов требует создание и исследование новых материалов. Тонкие магнитные пленки (ТМП) широко используются со времен начала эры микроэлектроники, и научное сообщество постоянно изобретает новые материалы, в том числе и многокомпонентные. Изготовление современных наноматериалов требует использование сверхвысоковакуумных технологий. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) позволяет создать многослойные многокомпонентные высокочистые структуры для применения в различных областях микро-, радио- электроники, в том числе и спинтроники, которая является новым витком развития микроэлектроники.

Одним из перспективных материалов для ТМП является ферромагнитный силицид Fe_3Si , который обладает достаточно высокой намагниченностью насыщения $M_S = 1248$ Гс [1], и температурой Кюри $T_C = 840$ К [2]. Используя для синтеза метод МЛЭ, можно синтезировать данный силицид в различных структурных состояниях – от парамагнитных наночастиц, до многослойных сверхрешеток для устройств спинтроники.

В нашей работе представлены данные о методах получения силицида Fe_3Si в виде различных наноструктур: наночастицы, поликристаллические и монокристаллические ТМП, а также многослойные пленки с прослойкой Ge, и результаты исследования их структуры, магнитных и электрических свойств.

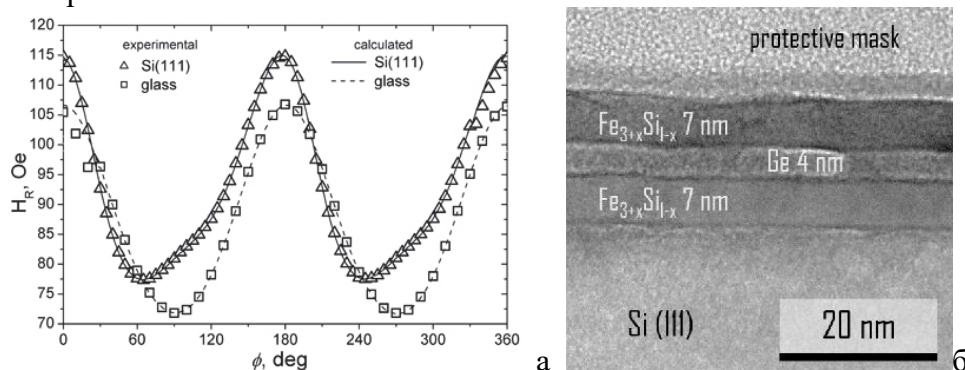


Рис.1. а) Угловые зависимости поля ФМР для пленок Fe_3Si с поликристаллической (glass), и монокристаллической (Si(111)) структурой [1]; б) ПЭМ поперечного среза для трехслойной пленки на основе $Fe_{3+x}Si_{1-x}$ [3]

Все образцы были получены методом МЛЭ при одновременном напылении железа и кремния, а также германия из эффузионных ячеек Кнудсена на подложки: Si(111), NaCl и кварц – при различных температурах. Были исследованы магнитные свойства методом ферромагнитного резонанса (ФМР), структура – методом дифракции отраженных быстрых электронов, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ), электросопротивление и вольтамперные характеристики для некоторых пленок.

Из данных ФМР установлено, что одноосная анизотропия у пленок Fe_3Si может достигать 17,49 Э. Установлено также, что трехслойная пленка на основе $Fe_{3+x}Si_{1-x}$ имеет полупроводниковый характер поведения электросопротивления от температуры.

Литература:

- [1] И.А. Яковлев, Б.А. Беляев, И.А. Тарасов, С.Н. Варнаков, *Фунд. пробл. радиоэл. приборостроения*, 1, 43, (2017).
 [2] K. Lenz, E. Kosubek, K. Baberschke, J. Herfort, H.-P. Schönherr, K. H. Ploog, *Physica Status Solidi*, 3, 122 (2006).
 [3] A.S. Tarasov, I.A. Tarasov, I.A. Yakovlev, et. al. *Nanomaterials* 12, 131 (2022).