

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова

XXX Международная конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых
по фундаментальным наукам



Международный
молодежный научный форум

“ЛОМОНОСОВ–2023”

ШКОЛА МГУ

**“ФОТОННЫЕ И КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.
ЦИФРОВАЯ МЕДИЦИНА”**

Подсекция
“КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”

Сборник тезисов докладов

МОСКВА
Физический факультет МГУ
2023

XXX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов—2023». Секция «Физика». Сборник тезисов. — М. Физический факультет МГУ, 2023, 1052 с.

ISBN 978-5-8279-0255-3

Секция «Физика» включает следующие подсекции

1. Акустика
2. Астрофизика
3. Атомная и ядерная физика
4. Биофизика
5. Геофизика
6. Математика и Информатика
7. Математическое моделирование
8. Медицинская физика
9. Молекулярная физика
10. Нелинейная оптика
11. Оптика
12. Радиофизика
13. Сверхпроводящие и электронные свойства твердых тел
14. Твердотельная наноэлектроника
15. Теоретическая физика
16. Физика космоса
17. Физика магнитных явлений
18. Физика твердого тела
19. Школа МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина»:
 - Квантовые технологии
 - Фотонные технологии
 - Цифровая медицина

ISBN 978-5-8279-0255-3

© Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023 г.

Одноэлектронная резервуарная сеть на основе единичных примесных атомов в кремнии	943
Андреева А.С. ¹ , Коровников С.А. ¹ , Сапков И.В. ¹ , Преснов Д.Е. ^{1,2} , Шорохов В.В. ¹ , Снигирев О.В. ¹ , Крупенин В.А. ¹	943
Экономичный четырехканальный активный демультимплексор для одиночных фотонов	944
Бирюков Ю.А. ¹ , Дрязгов М.А. ^{1,2} , Дьяконов И.В. ¹ , Корнеев А.А. ^{1,2} , Страупе С.С. ^{1,3} и Кулик С.П. ⁴	944
Сверхпроводящий кубит как преобразователь квантовых сигналов	945
Захаров Р.В.	945
Одноатомный одноэлектронный транзистор с увеличенными электродами на основе примесных атомов в кремнии	947
Колпаков М.А. ¹ , Латышов К.В. ¹ , Преснов Д.Е. ^{1,2} , Шорохов В.В. ¹ , Трифонов А.С. ¹ , Снигирев О.В. ¹ , Крупенин В.А. ¹	947
Электронный транспорт через набор локализованных состояний в формализме неравновесной диаграммной техники Келдыша	948
Копчинский И.Д.	948
Реализация и оценка точности однокубитных операций в квантовом регистре на основе нейтральных атомов	949
Кузьменок Д.А., Стручалин Г.И.	949
Исследование влияния оптических потерь на точность линейно-оптических квантовых операций	950
Мелкозеров А.А.	950
Высокодобротный наномеханический резонатор как детектор квантовых вихрей	951
Михайлов П.О. ¹ , Дорофеев А.А. ¹ , Попов А.А. ¹ , Трифонов А.С. ¹ , Преснов Д.Е. ^{1,2} , Снигирев О.В. ¹ , Крупенин В.А. ¹	951
Радиационное взаимодействие одноэлектронного атома с диэлектрической наноструктурой	952
Мороз Н.А.	952
Исследование одноэлектронного транспорта в одномерных металлоорганических координационных полимерах	953
Панкратов С.А. ¹ , Божьев И.В. ¹ , Шорохов В.В. ¹ , Крупенин В.А. ¹ , Салимова И.О. ² , Белоглазкина Е.К. ² , Преснов Д.Е. ¹	953
Оптическое исследование фонон–магнонной системы из двух круглых пленочных дисков ЖИГ	955
Петров П.Е. ^{1,2} , Князев Г.А. ^{1,2} , Капралов П.О. ² , Кузьмичев А.Н. ² , Ветошко П.М. ² , Буньков Ю.М. ² , Белотелов В.И. ^{1,2}	955
Особенности управления пространственно-временной динамикой электронных волновых пакетов в планарных наноструктурах	957
Стародубцева Д.А.	957
Особенности экситонного возбуждения в 2D-наноструктурах квантовым электромагнитным полем в условиях нелинейности	959
Терещенко И.А.	959
Реализация алгоритмов квантового машинного обучения в цепочках сверхпроводниковых кубитов	961
Толстобров А.Е. ^{1,4} , Фёдоров Г.П. ^{1,2,4} , Сандуляну Ш.В. ^{1,2,4} , Калачёва Д.А. ^{3,1,2} , Болгар А.Н. ^{3,1} , Лубсанов В.Б. ¹ , Кадырметов Ш.В. ¹ , Дорогов А.Е. ^{1,4} , Васенин А.Н. ^{3,1} , Дмитриев А.Ю. ^{1,4} , Астафьев О.В. ^{3,1}	961
Исследование динамики намагниченности плёнок ЖИГ сложной формы	963
Трунцов И.Д. ¹ , Петров П.Е. ¹ , Князев Г.А. ^{1,2} , Кузьмичев А.Н. ²	963
Фермионно-кубитное отображение через троичные деревья в вариационных квантовых алгоритмах поиска собственных значений	965
Фишер Д.Е.	965
Mitigation of static imperfections in photonic quantum schemes by averaging	966
Fldzhyan S.A. ^{1,2} , Saygin M.Yu. ¹ , Kulik S.P. ^{1,3} , Straupe S.S. ^{1,2}	966
Пи-контакты в ячейках адиабатической сверхпроводниковой логики	967
Хисматуллин Г.С.	967
Исследование линейно-оптических систем с однофотонными нелинейностями для задач квантовой информации	969
Черных Е.А.	969
Методы повышения устойчивости к погрешностям фабрикации источников одиночных фотонов, которые интегрированы в двумерные фотонные кристаллы	970
Шуринов А.В. ¹ , Дьяконов И.В. ² , Страупе С.С. ³ , Кулик С.П. ⁴	970

Расчет ориентирован на приложения к задачам внутрирезонаторной квантовой электродинамики одиночных атомов.

Работа поддержана Российским научным фондом в рамках гранта № 18-72-10039 и Росатомом в рамках Дорожной карты по квантовым вычислениям (контракт № 868-1.3-15/15-2021 от 5 октября 2021 года и контракт №P2154 от 24 ноября 2021 года).

Литература

1. D. E. Chang, J. S. Douglas, A. González-Tudela, C.-L. Hung, and H. J. Kimble, "Colloquium: Quantum matter built from nanoscopic lattices of atoms and photons", *Rev. Mod. Phys.* **90**, 031002 (2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА В ОДНОМЕРНЫХ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРАХ

Панкратов С.А.¹, Божьев И.В.¹, Шорохов В.В.¹, Крупенин В.А.¹,
Салимова И.О.², Белоглазкина Е.К.², Преснов Д.Е.¹

1 МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

2 МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия

E-mail: pankratov.sa18@physics.msu.ru

Дальнейшее увеличение производительности современных микросхем требует уменьшения техпроцесса вплоть до субнанометрового масштаба, однако размеры даже самых миниатюрных простейших функциональных элементов на сегодняшний день составляют десятки нанометров. Электронные устройства будущего будут строиться на базовых функциональных элементах, состоящих из одиночных атомов или их небольших групп – нанoeлектронных компонентов с атомной функциональной структурой [4]. Поэтому особый исследовательский интерес представляет разработка устройств, работающих на новых физических принципах, среди которых выделяются одноэлектронные резервуарные вычислительные сети, отличающиеся компактностью и многофункциональностью [3]. Перспективной основой для одноэлектронных резервуарных сетей выступают металлоорганические координационные полимеры (МКП), обладающие упорядоченной внутренней структурой и программируемыми свойствами [2]. Однако электронный транспорт в этих системах еще недостаточно хорошо изучен, поэтому остаются актуальными исследования особенностей переноса заряда в нанoeлектронных системах на основе МКП.

В данной работе исследовался характер проводимости цепочек МКП при комнатной температуре в вакууме. Для этого на диэлектрической подложке методами электронно-лучевой литографии были сформированы системы из восьми электродов. Среднее расстояние между ближайшими контактами составляло около 50 нм, а сами электроды представляли собой золотые полоски шириной в 40 нм и толщиной в 20 нм с 5 нм адгезионным подслоем титана.

На поверхности электродов был хемосорбирован терперидиновый лиганд с якорной серосодержащей группой (А). В качестве источника металла была выбрана соль $\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, образующая с терперидином требуемые бислигандные координационные соединения [1]. Также в работе использовались два различных лиганда: с непроводящим (тетраметиленовым) линкером (Б) и с сопряженным проводящим линкером (В). Далее были предложены две синтетические стратегии получения целевых МКП.

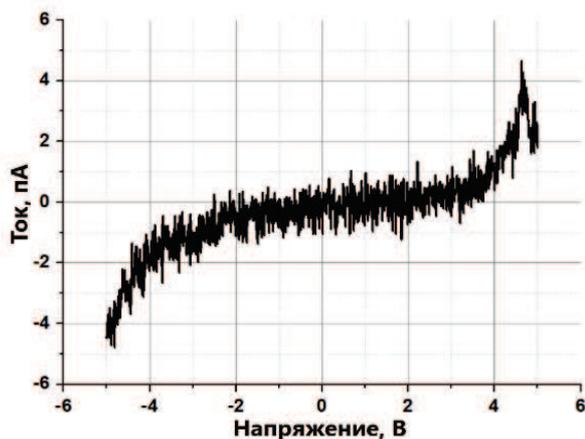


Рис. 1. Вид экспериментальной ВАХ

Первый способ заключался в пошаговой координации органических фрагментов цепи МКП и металла на поверхности золота. Второй способ состоял в смешении растворов лигандов Б/В и раствора соли с последующим погружением образца в полученную смесь.

Исследования ВАХ полученного устройства при комнатной температуре показали, что цепочки МКП, созданные по первой стратегии с лигандами Б/В, обладают сопротивлениями в сотни ГОм. Так же наблюдались гистерезисные кривые ток-напряжение, обусловленные продолжительным перераспределением зарядов внутри МКП.

Полимеры, созданные вторым способом с лигандами Б/В, помимо вышеописанных зависимостей демонстрируют кривые, содержащие характерные горизонтальные участки Кулоновской блокады в области мкВ. **Рис. 2. Вид экспериментальной ВАХ** импотических линейных участка при больших напряжениях (**Ошиока! источник ссылки не найден.**). Граничное напряжение порога блокады туннелирования равнялось примерно 3-3.5 В. Наблюдаемое поведение указывает на одноэлектронную природу транспорта в этих структурах.

С помощью метода теории функционала плотности были получены одночастичные спектры фрагментов соединения на основе терпиридина с двумя выделенными одноатомными зарядовыми центрами. Были исследованы свойства проводимости этого соединения: рассчитана прозрачность эффективного туннельного барьера, обусловленного непроводящим бутан-содержащим участком. Для одного звена МКП было определено электрическое сопротивление и на его основе сделана оценка сопротивления цепочек МКП разной длины. Для зарядового центра на основе атома меди было получено значение эффективной емкости и радиуса локализации дополнительного электрона на нем. Теоретически предсказана наблюдаемость одноэлектронных эффектов в системе на основе рассматриваемого соединения при комнатной температуре. Получена оценка количества каналов проводимости в экспериментально исследуемой резервуарной сети на основе рассматриваемых полимерных цепочек.

Таким образом, была продемонстрирована система на основе МКП, которая проявляет одноэлектронные эффекты при комнатной температуре в вакууме. Получены теоретические оценки проводящих свойств полимерных цепочек, предсказывающие проявление в них одноэлектронных эффектов при комнатной температуре. Управление кулоновской блокадой на металлических центрах МКП позволит контролировать электронный транспорт в этой структуре и программировать ее на выполнение различных логических операций. Данная работа доказывает принципиальную возможность воспроизводимо создавать одноэлектронные логические устройства на основе МКП, обладающие упорядоченной структурой, настраиваемыми свойствами и функционалом для решения широкого спектра разнообразных задач.

Данное исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина». В работе использовалось оборудование Учебно-методического центра литографии и микроскопии МГУ им. М.В. Ломоносова.

Литература

2. I.O. Salimova, A.V. Berezina, E.S. Barskaya, M.S. Abramovich, K.A. Lyssenko., N.V. Zyk, E.K. Beloglazkina: Syntheses of terpyridine-pyridylbenzothiazole linked ditopic ligands and their copper(II) complexes // Polyhedron. 2020, №179, p. 114403. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2020.114403>
3. J. Park, A. Pasupathy, J. Goldsmith, et al: Coulomb blockade and the Kondo effect in single-atom transistors. // Nature. 2002, №417, p. 722–725. <https://doi.org/10.1038/nature00791>
4. T. Chen, J. van Gelder, B. van de Ven, et al: Classification with a disordered dopant-atom network in silicon // Nature. 2020, №577, p. 341–345. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1901-0>
5. V. V. Shorokhov, D. E. Presnov, S. V. Amitonov, Yu. A. Pashkin and V. A. Krupenin: Single-electron tunneling through an individual arsenic dopant in silicon // Nanoscale. 2017, №9(2), p. 613-620. <https://doi.org/10.1039/C6NR07258E>

ОПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОН–МАГНОННОЙ СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ КРУГЛЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ДИСКОВ ЖИГ

Петров П.Е.^{1,2}, Князев Г.А.^{1,2}, Капралов П.О.², Кузьмичев А.Н.²,
Ветошко П.М.², Буньков Ю.М.², Белотелов В.И.^{1,2}

1 МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

2 Российский квантовый центр, Москва, Россия

E-mail: petrov.pe15@physics.msu.ru

Оптическое исследование систем, основанных на возбуждении Бозе-Эйнштейновского конденсата (БЭК) магнонов в тонких пленках железо-иттриевого граната (ЖИГ) в последнее время представляет большой практический интерес. Они находят широкое применение в квантовой теории информации и создании приборов для квантовых вычислений [1]. Связывание двух магнонных систем на пленках фотонами через подложку из гадолиний-галлиевого граната открывает широкие возможности для построения гибридных схем с фотон-магнонной связью, большим преимуществом которых в рассматриваемой системе является более высокая добротность фононных мод в сравнении с магнонными. Это может позволить реализовать более дистанцированную связь между пленочными системами без применения радиочастотных (РЧ) полосков накачки. Существует несколько основных подходов к построению связанных магнон-фононных систем. Основным является нанесение пьезоэлектрических резонаторов из оксида цинка ZnO на выращенную на подложке пленку ЖИГ [2]. Обычно литографический метод позволяет выполнять такие системы с достаточно малых разрешением и позволяет возбуждать магнон-фононные моды даже в образцах ЖИГ не самого высокого качества. В нашей работе используются образцы ЖИГ с шириной магнитной резонансной линии порядка Э, выращенные эпитаксиальным методом на высококачественной подложке из ГГГ, что позволяет реализовать магнон-фононную связь в системе из двух пленочных образцов через фононы в подложке без использования резонаторного пьезоэлемента. Межмодовое расстояние фононных мод в спектре поглощения пленочных ЖИГ на ГГГ составляет величину порядка МГц [3].