

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. Твёрдотельная наноэлектроника
15. Теоретическая физика
16. Физика космоса
17. Физика магнитных явлений
18. Физика твёрдого 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 демультиплексор 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

ОДНОЭЛЕКТРОННАЯ РЕЗЕРВУАРНАЯ СЕТЬ НА ОСНОВЕ ЕДИНИЧНЫХ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ В КРЕМНИИ

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

¹ Лаборатория "Криоэлектроника", Физический факультет, МГУ
им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

² НИИЯФ им. Д.В. Скобелыцина МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
Россия

E-mail: andreeva.as18@physics.msu.ru

Устройства на основе одиночных примесных атомов активно разрабатываются и изучаются [3-4]. Набирают популярность многоэлектродные одноэлектронные системы со случайными массивами примесных атомов в твердотельной матрице (резервуарами), пригодные для реализации наноразмерных нейронных сетей. На основе неупорядоченного массива зарядовых центров с туннельной связью были созданы резервуарные сети, в которых с помощью настройки продемонстрированы реконфигурируемые логические элементы [1-2]. Электрические свойства таких систем определяются конфигурацией зарядовых состояний примесных атомов. Настройка определенных функциональных состояний системы осуществляется заданием напряжений на управляющих электродах, а их поиск выполняется с использованием генетического алгоритма.

В настоящей работе исследовались особенности электронного транспорта в одноэлектронной резервуарной сети на основе примесных атомов мышьяка в кремнии. Особенностью предлагаемого метода формирования резервуарной сети является использование разупорядоченного распределения примесных атомов в квазидвумерном приповерхностном слое твердотельной матрицы на основе материала кремний на изоляторе (КНИ). Резервуар представлял собой легированную область диаметром 300 нм, вокруг которой располагалась система из восьми туннельных Ti электродов шириной ~ 50 нм и толщиной 15 нм. Одноэлектронный транспорт в резервуарной сети достигался необходимым разделением примесных центров в процессе изготовления.

Исследования структур проводились при температуре 4 К и показали наличие горизонтальных участков Кулоновской блокады на вольтамперных характеристиках в области низких напряжений. Порог блокады наблюдался при напряжениях от десятков до сотен мВ. Наблюдаемые особенности одноэлектронного транспорта в исследуемых структурах показали возможность настройки сети путем подбора напряжений на управляющих электродах.

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

1. Bose S.K., Lawrence C.P., Liu Z., Makarenko K.S., van Damme R.M.J., Broersma H.J., van der Wiel W.G. Evolution of a designless nanoparticle network into reconfigurable Boolean logic // Nature Nanotechnology. 2015. 10. P. 1048-1052.
2. Chen T., van Gelder J., van de Ven B., Amitonov S.V., de Wilde B., Euler H.-C.R., Broersma H., Bobbert P.A., Zwanenburg F.A., van der Wiel W.G. Classification with a disordered dopant-atom network in silicon // Nature. 2020. 557. P. 341-345.
3. Presnov D.E., Dagesyan S.A., Bozhev I.V., Shorokhov V.V., Trifonov A.S., Shemukhin A.A., Sapkov I.V., Prokhorova I.G., Snigirev O.V., Krupenin V.A. Single-Electron Structures Based on Solitary Dopant Atoms of Arsenic, Phosphorus, Gold, and Potassium in Silicon // Moscow University Physics Bulletin. 2019. 74. № 2. С. 165-170.

4. Shorokhov V.V., Presnov D.E., Amitonov S.V., Pashkin Yu.A., Krupenin V.A. Single-electron tunneling through an individual arsenic dopant in silicon // *Nanoscale*. 2017. 9. P. 613-620.

ЭКОНОМИЧНЫЙ ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНЫЙ АКТИВНЫЙ ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОР ДЛЯ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ

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

¹ Центр квантовых технологий, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² НИУ «Высшая школа экономики», Москва, Россия

³ Российский Квантовый Центр, Москва 143025, Россия

⁴ МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: biriukov.ia18@physics.msu.ru

Линейно-оптические квантовые вычисления требуют эффективного метода генерации по требованию определенного количества неразличимых фотонов, которые могут быть использованы для кодирования кубитов, например, будучи заведёнными в фотонный чип, выполняющий квантовый алгоритм. Большинство описанных экспериментальных реализаций используют либо спонтанное параметрическое рассеяние (СПР) в объемных кристаллах, либо четырехволновое смешение в волноводах для генерации одиночных фотонов. Недавние достижения в области полупроводниковых источников на основе квантовых точек (КТ) и появление коммерчески доступных чипов с КТ способствовали распространению этого типа источников в области оптических квантовых вычислений. Изготовление набора идентичных источников КТ является общеизвестно трудной задачей, и поэтому возникла экспериментальная задача использования одной КТ в качестве многофотонного источника.

Современный источник на основе КТ представляет собой однофотонный излучатель в микрорезонаторе. Эта концепция делает близкую к детерминированной генерацию одиночных фотонов осуществимой в принципе [1,2]. Подготовка многофотонного состояния основана на идее демultipлексирования: поток фотонов, испускаемых КТ, разделяется на несколько независимых пространственных мод. Фотоны, которые были сгенерированы в течение N последовательных импульсов лазера накачки, направляются к линиям задержки, которые производят N синхронизированных фотонов на выходе [3,4]. Для этой схемы требуется $N-1$ активных переключателей (ячейки Поккельса, фазовые модуляторы или другие). Максимальное количество демultipлексированных фотонов, которое было продемонстрировано на сегодняшний день с помощью этого метода, составляет 20 [5].

Идеальный демultipлексор должен иметь низкие потери на переключение и маршрутизацию фотонов, а также должен сохранять неразличимость фотонов после демultipлексирования. Крайне желательно разработать ресурсоэффективную схему демultipлексора, которая включает в себя минимально возможное количество переключателей, поскольку каждый переключатель приводит к потерям в основном из-за неидеального переключения. Сложность сборки, настройки и управления схемой значительно возрастает с увеличением количества переключателей и увеличивает общие потери в расчёте на один канал демultipлексора.

В этой работе мы представляем экономичный четырёхканальный демultipлексор, требующий только одного быстрого оптического переключателя (ячейку Поккельса) с эффективностью 39.7 % в расчёте на один канал. Хотя наш демultipлексор не увеличивает вероятность получения фотона на выходе, он резко сокращает количество быстрых переключений, необходимых для разделения входной последовательности фо-