

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

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



Международный
молодежный научный форум

“ЛОМОНОСОВ–2024”

ШКОЛА МГУ

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

Подсекция
“КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”

Сборник тезисов докладов

МОСКВА
Физический факультет МГУ
2024

XXXI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов—2024». Секция «Физика». Сборник тезисов. — М. Физический факультет МГУ, 2024, 1052 с.

ISBN 978-5-8279-0304-8

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. Синхротронные и нейтронные исследования
15. Твердотельная наноэлектроника
16. Теоретическая физика
17. Физика космоса
18. Физика магнитных явлений
19. Физика твердого тела
20. Школа МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина»:
 - Квантовые технологии
 - Фотонные технологии
 - Цифровая медицина

ISBN 978-5-8279-0304-8

ОДИНОЧНЫЕ ПРИМЕСНЫЕ АТОМЫ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ КРЕМНИИ КАК
ОСНОВА ОДНОЭЛЕКТРОННОЙ РЕЗЕРВУАРНОЙ СЕТИ

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

*Лаборатория "Криоэлектроника", Физический факультет,
МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия;
НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
E-mail: andreeva.as18@physics.msu.ru*

Исследование электронных устройств на основе одиночных примесных атомов становится крайне актуально [1-2]. Новым объектом, набирающим популярность, являются многоэлектродные одноэлектронные системы со случайными массивами примесных атомов в твердотельной матрице (резервуарами), пригодные для реализации наноразмерных нейронных сетей. На основе неупорядоченного массива зарядовых центров, связанных туннельно, были созданы резервуарные сети, в которых с помощью настройки продемонстрированы реконфигурируемые логические элементы [3-4]. 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 настоящем исследовании изучались особенности электронного транспорта в многоэлектродной одноэлектронной системе на основе примесных атомов As в кремнии. Особенностью предлагаемого метода формирования резервуарной сети является использование неравномерного профиля распределения концентраций примесных атомов As в квазидвумерном приповерхностном слое Si твердотельной матрицы на основе материала кремний на изоляторе (КНИ). Это позволяло формировать из этого слоя подводящие электроды и саму резервуарную сеть. Резервуар представлял собой область диаметром 300 нм, уровень легирования в которой уменьшался в процессе реактивно-ионного травления до такой степени, чтобы в ней оставались только единичные примесные атомы, туннельно связанные между собой. Вокруг резервуара располагалась система из восьми туннельных управляющих электродов с высокой поверхностной проводимостью, накрытых слоем Ti шириной ~ 50 нм и толщиной 15 нм. Одноэлектронный транспорт в резервуарной сети достигался разделением примесных центров в процессе формирования структуры.

Характеристики исследуемых структур были получены с применением векторного метода измерений, позволяющего совместно устанавливать напряжения на электродах и регистрировать ток, протекающий через них. Исследования структур проводились при температуре 2.4 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. 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.

2. 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.
3. 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.
4. 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.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЁХКАНАЛЬНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЕЧАТИ

Аргенчиев А.С.¹, Кондратьев И.В.², Урусова К.Н.¹, Дьяконов И.В.^{2,3}

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

²МГУ им. М.В.Ломоносова, Центр квантовых технологий, Москва, Россия;

³Российский квантовый центр, Москва, Россия.

E-mail: argenchiev.as20@physics.msu.ru

В настоящее время программируемые интерферометры (ПИ) получили большое применение в самых разных областях: составная часть оптических процессоров [2], матрично-векторное умножение в оптических нейронных сетях [3] и квантовая обработка информации [1]. ПИ представляет собой волноводную структуру, оснащенную настраиваемыми фазовращателями. С помощью набора фазовращателей можно запрограммировать конкретную матрицу унитарного преобразования U размера $N \times N$, которая применяется к входному вектору амплитуд светового поля, и получать результат матрично-векторного умножения. Особенный интерес в настоящее время представляет реализация универсального фотонного процессора, который обеспечивает доступ к полному пространству унитарных преобразований входных векторов света.

В данной работе реализован программируемый интерферометр, состоящий из двух частей: подготовительной и целевой (рис.1). В подготовительной части осуществлялось приготовление входного вектора амплитуд поля. Основная цель заключалась в программировании целевой части чипа – интерферометра 4×4 , представляющего собой два перемешивающих планарных слоя волноводов и участок с тремя фазовращателями между ними. В работе представлен процесс реконструкции унитарной матрицы целевой части чипа, согласно которому автоматически определялись амплитуды и фазы комплексных компонент матрицы целевого интерферометра. Фазы комплексных компонент определялись из аппроксимации осцилляций выходных интенсивностей при изменении фазы в одном из выходных каналов подготовительной части интерферометра. Полученные данные использовались для алгоритма по реконструкции неизвестных матриц смешивающих слоев интерферометра и для создания цифровой модели чипа. В качестве проверки того, что цифровая модель чипа даёт правильные предсказания, были измерены 100 матриц на целевом интерферометре со 100 случайными тройками токов (фаз). В результате значения фиделити между матрицей, предсказанной обученной моделью, и матрицей, измеренной в эксперименте, оказались в среднем равны 0,98.