**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*

***Студент***

1. *Лаборатория "Криоэлектроника", Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*
2. *Научно-исследовательский центр ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени 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 траления 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.

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](https://istina.msu.ru/publications/article/206645592/) // 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.