

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Дагесяна Саркиса Арменаковича "**ОДНОЭЛЕКТРОННЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С ВЫСОКОЙ ЗАРЯДОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ**", представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Диссертационная работа Дагесяна С.А. посвящена разработке и созданию одноэлектронных транзисторов с одиночными малыми наночастицами золота и одиночными примесными атомами в кристаллической решётке кремния в качестве острова транзистора, а также экспериментальному исследованию электронного транспорта в таких структурах при различных температурах. Малые размеры острова транзистора обеспечивают высокую зарядовую энергию устройства, а значит возможность его работы при высоких для одноэлектронных устройств температурах.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и библиографии. Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна, практическая значимость работы и основные методы исследования, использованные в данной работе.

В первой главе работы представлен обзор существующих на сегодняшний день техник создания одноэлектронных устройств на основе одиночных молекул, молекулярных кластеров и примесных атомов в кристаллической решётке. Также рассмотрены результаты экспериментов с созданными устройствами при высоких температурах. Обсуждаются основные преимущества и недостатки различных методов, обосновывается выбор техник создания наноструктур, использованных в данной диссертационной работе.

Во второй главе представлена разработанная автором технология создания планарных золотых электродов молекулярного транзистора с зазором менее 5 нм, а также проведено исследование электрических свойств таких структур. Подробно описаны технологические шаги, использованные для создания такой структуры: электронно-лучевая литография, напыление тонких плёнок, контролируемый разрыв нанопровода с помощью эффекта электромиграции. Анализ вольт-амперных характеристик и данных сканирующей электронной микроскопии полученных зазоров позволил оценить размер полученных зазоров. Впервые было продемонстрировано влияние образующейся под электронным лучом контаминации на проводимость таких нанозазоров.

Третья глава посвящена описанию разработанных технологий встраивания малых (2 - 4 нм) наночастиц в нанометровые зазоры и исследованию электронного транспорта через них в диапазоне температур 77 – 300 К. Было разработано два метода встраивания: высушивание раствора с наночастицами и электротреппинг наночастиц с помощью эффекта диэлектрофореза. Проведено сравнение выхода годных образцов, получаемых при использовании этих двух методов на основе анализа электрических характеристик полученных структур, и сделан вывод о преимуществе использования диэлектрофореза. Экспериментально исследован туннельный электронный транспорт через одиночные малые (2 – 4 нм) золотые наночастицы, в широком диапазоне температур (77 – 300 К). Впервые продемонстрирован одноэлектронный характер проводимости такой системы в этом диапазоне температур, включая возможность управления током через такой

одноэлектронный транзистор с помощью электрического поля при температурах 77 – 220 К.

Четвёртая глава посвящена созданию и изучению одноатомных одноэлектронных транзисторов на основе одиночных примесных атомов. Подробно описана разработанная оригинальная технология создания таких элементов на основе кремния-на-изоляторе, суть которой заключается в последовательном уменьшении поперечного сечения кремниевого нанопровода до состояния, когда электронный транспорт осуществляется через несколько (1 – 3) атомов. Преимуществом представленной технологии является использование исключительно хорошо отработанных в полупроводниковой промышленности технологических операций, таких как электронно-лучевая литография, ионная имплантация, напыление тонких плёнок, реактивно-ионное травление. Высокое значение зарядовой энергии одноэлектронных транзисторов на основе одиночных примесных атомов фосфора в кремнии позволило впервые наблюдать коррелированное туннелирование электронов в одноатомном транзисторе при температуре 77 К.

Тема диссертационной работы несомненно актуальна, что связано с продолжающейся миниатюризацией выпускаемых промышленно электронных компонентов и поиском возможных кандидатов на роль базового элемента будущей наноэлектроники.

Основные выводы диссертации сделаны автором на основе достаточно обширного и добротного экспериментального материала и их достоверность не вызывает сомнений. Полученные результаты и выводы согласуются с соответствующими данными, приводимыми другими авторами.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке новых подходов для создания наноэлектронных устройств на основе одиночных молекул и атомов, а также исследованием поведения созданных наноразмерных систем в широком диапазоне температур.

Результаты диссертационной работы имеют большое фундаментальное и практическое значение. Они могут быть использованы при создании разнообразных высокотемпературных одноэлектронных устройств, например, таких как сверхчувствительные зарядовые сенсоры с высоким пространственным разрешением. Применение разработанных одноэлектронных транзисторов в качестве элементов электронных вычислительных схем перспективно в связи с высоким значением зарядовой энергии этих устройств.

При этом по содержанию диссертации имеется несколько замечаний.

1. При характеристике эффективности разработанных методик изготовления наноэлементов приводятся значения лишь относительной характеристики – выхода годных образцов в процентах, но не приводятся данные о статистической базе для получения этих величин.
2. В тексте диссертации (стр. 75) есть указание на наличие дрейфа температуры при высокотемпературных измерениях характеристик управления изготовленных одноэлектронных транзисторов, однако никак не обсуждается влияние этого факта на полученные результаты.

Автореферат полно отражает содержание диссертации, основные материалы опубликованы в отечественных и зарубежных журналах и докладывались на российских и международных конференциях. Оценивая диссертацию в целом, можно утверждать, что

автором проделан большой объем экспериментальной работы и диссертация выполнена на высоком научном уровне. Указанные недостатки не влияют на достоверность и общую положительную оценку полученных автором результатов. Диссертационная работа Дагесяна С.А. полностью удовлетворяет требованиям, установленным Положением о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а ее автор, Дагесян Саркис Арменакович, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

Директор Физико-технологического
института РАН, д.ф.-м.н., член-корр. РАН
Лукичев Владимир Федорович

Подпись Лукичева В.Ф. удостоверяю.
Ученый секретарь ФТИАН РАН
к.т.н.

В.А. Кальнов

Телефон: +7 (499) 129-54-92
e-mail: lukichev@ftian.ru
117218, Россия, Москва,
Нахимовский проспект, 36/1, ФТИАН