

Исследование характеристик высокотемпературного одноэлектронного транзистора на основе наноструктур с одиночной квантовой точкой

Организация-исполнитель: ИФП СО РАН

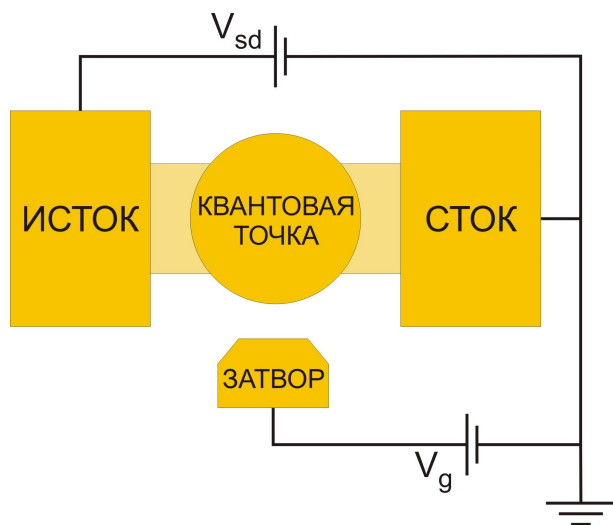
Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук

Погосов Артур Григорьевич

pogosov@isp.nsc.ru

8 (383) 333-10-87

Одноэлектронный транзистор с эффектом кулоновской блокады



Одноэлектронный транзистор – квантовая точка, отделенная от областей истока и стока туннельными барьерами.

Кулоновская блокада – блокирование туннелирования электронов через заряженную квантовую точку вследствие их кулоновского отталкивания.

Эффект кулоновской блокады туннелирования справедливо рассматривается как физический механизм, который может лечь в основу работы новых полупроводниковых приборов для элементной базы микро- и наноэлектроники.

Проблема: существенным ограничением работы таких устройств является низкая рабочая температура.

Верхний предел рабочей температуры определяется зарядовой энергией $E_C = e^2/C$, где C – электростатическая емкость квантовой точки.

В обычных одноэлектронных транзисторах квантовая точка находится в массиве полупроводника.

Способы увеличения рабочей температуры:

- Создание нанопроволочных одноэлектронных транзисторов (углеродные нанотрубки)
Проблема: сложности в сочленении с полупроводниковой технологией
- Металлические и кремниевые транзисторы с малыми квантовыми точками (10 нм)
Проблема: трудности в создании разветвленной геометрии
- Вертикальные транзисторы
Проблема: нелатеральная геометрия, сложности в создании контактов

Идея проекта:

- Создание одноэлектронных транзисторов с квантовой точкой, оторванной от подложки

Отрыв от подложки

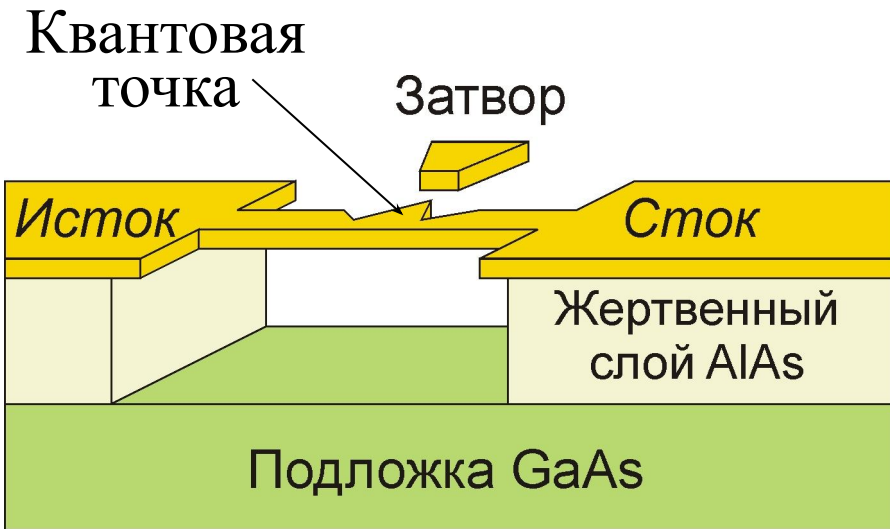
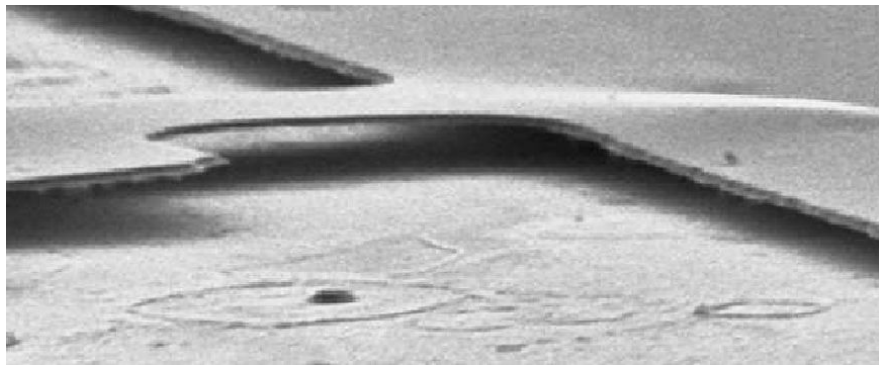


Схема подвешенного транзистора



*Проводящая полупроводниковая мембрана
(электронный микроскоп)*

Резкое увеличение зарядовой энергии E_c :

Подложка обладает высокой $\epsilon \approx 10$.

При комнатной температуре:

$$E_c = 300 \text{ К} \quad (E_c = e^2/C)$$

- Для обычного транзистора:

$$C \approx \epsilon a \Rightarrow a \approx 10 \text{ нм}$$

- Для подвешенного транзистора:

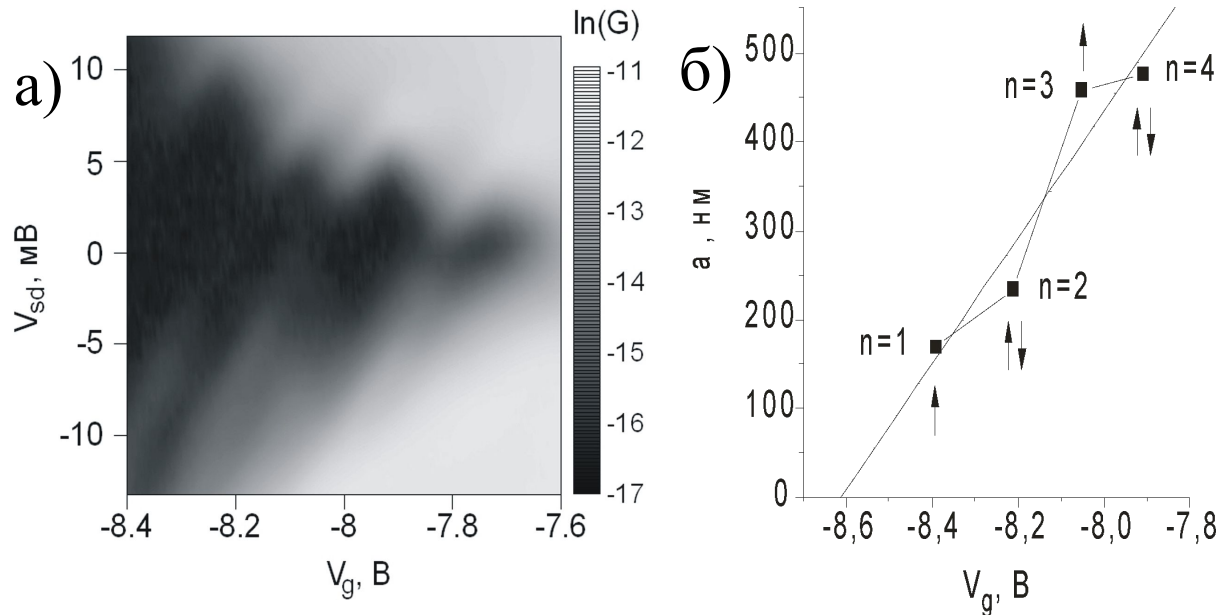
$$C \approx a \Rightarrow a \approx 100 \text{ нм}$$

Выигрыш в размере в ~ 10 раз!

Отрыв от подложки производится селективным травлением жертвенного слоя AlAs

Предварительные результаты

- Зарядовая энергия одноэлектронного транзистора увеличилась с 3,5 мэВ (40 К в температурных единицах) для неподвешенного транзистора до 13 мэВ (**150 К**) для подвешенного при литографическом размере квантовой точки **600 нм**.
- При этом зарядовая энергия (а также эффективный размер квантовой точки a) меняется вместе с числом электронов на квантовой точке (ромбы кулоновской блокады неодинаковой величины). Число электронов меняется от 0 до 4 в эксперименте.
- Обнаружена блокада туннелирования, дополнительная к кулоновской (слипание ромбов кулоновской блокады) Предположительно, эта блокада связана с упругими деформациями нанопроволоки (упругая блокада) .



а) Кондактанс G одноэлектронного транзистора как функция затворного V_g и тянущего V_{sd} напряжений

б) Эффективный линейный размер квантовой точки как функция затворного напряжения (n – число электронов)

Результаты, ожидаемые в 2009 г.

1. Будут изготовлены подвешенные одноэлектронные транзисторы с высокой зарядовой энергией E_c на основе гетероструктур GaAs/AlGaAs. Ожидаемые значения E_c 150 – 300 К в температурных единицах.
2. Будут изучены температурные зависимости кондуктанса полученных транзисторов.
3. Будут исследованы вольтамперные характеристики полученных транзисторов и их температурные зависимости в интервале температур 4,2 – 70 К.
4. Будет найден физический механизм, ответственный за блокаду туннелирования, дополнительную к кулоновской, наблюдаемую в режиме малого числа электронов на квантовой точке.