

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
(СГУ)**

Кафедра физики твёрдого тела

**Исследование механизма токопереноса в структуре зонд туннельного
микроскопа – нанометровый зазор – квантовая точка полупроводников
 A_3B_5, A_2B_6 – металлический электрод**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ
студента 4 курса 4052 группы
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
института физики

Еремина Максима Андреевича

Научный руководитель:
доцент кафедры физики
твердого тела, к.ф.-м.н., доцент
должность, ученая степень, ученое звание
Зав. кафедрой физики твердого
тела:
д.ф.-м.н., профессор
должность, ученая степень, ученое звание


подпись, дата

подпись, дата

В.Ф. Кабанов
инициалы, фамилия

Ал.В. Скрипаль
инициалы, фамилия

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика темы.

Актуальность темы.

В настоящее время исследование структур с квантово-размерными эффектами является одним из самых актуальных направлений физики и техники полупроводников в связи с развитием микроэлектроники и наноэлектроники. Трудности возникают при переходе к структурам с квантово-размерными эффектами, которые требуют особого подхода с использованием новых методов измерения. Изучение квантово-размерных эффектов в таких структурах позволяет проектировать и изготавливать микроэлектронные устройства с верхней границы диапазона рабочих частот со значениями порядка единиц терагерц (ТГц) и временем переключения ~ 1 пс. Проявление квантового ограничения размера носителей заряда в структурах используется как при изготовлении сверхбыстрых микроэлектронных устройств, так и является перспективным элементом для изготовления элементов оптоэлектронных устройств, таких как лазерные диоды и переключающие устройства. Это объясняется квантованием энергии и импульса носителей заряда, т.е. наличием квантово-размерных эффектов. В настоящий момент предпринимаются попытки использовать влияние нижнего предела на время туннелирования электронов при скорости прохождения слоя толщиной 10^6 см менее чем за 10^{-13} с для создания СВЧ устройств с рабочими частотами выше 10^3 ГГц. Невозможность изучения этих структур традиционными методами на данный момент является основным ограничением в изучении таких структур. Существует дифракционное ограничение для оптической микроскопии, которое не позволяет использовать ультрафиолетовую оптику 0,1 мкм из-за минимальной длины волны поглощения ультрафиолетового света в воздухе около 0,19 мкм. Для электронной микроскопии существует всем известная проблема определения «края», помимо этого, видимый контраст не позволяет определить топологические размеры по координате y . Сканирующая зондовая

микроскопия может служить решением всех этих проблем. Они позволяют изучать не только рельеф, но и ряд физических свойств поверхности и расположенных на ней объектов. В связи с интенсивным развитием различных технологий производства полупроводниковых структур в настоящее время основное внимание уделяется квантоворазмерным объектам, которые отличаются от объектов обычных систем сочетанием своих уникальных свойств. Причиной проявления таких свойств является изменение энергетического спектра электронов и дырок в структурах с очень малыми размерами. Материалы группы A^3B^5 представляют особый интерес благодаря ряду особенностей: широкому диапазону рабочих частот, высокой подвижности носителей заряда по сравнению с другими полупроводниковыми материалами, сохранению свойств материала при комнатной температуре. Все вышеперечисленные особенности позволяют активно использовать такие материалы в современной микроэлектронике. Материалы группы A^3B^5 являются основой современных больших и сверхбольших интегральных схем, на их основе создаются тиристоры и транзисторы, солнечные батареи, полупроводниковые лазеры и светодиоды, фотоприемники, а также высокочувствительные термометры и датчики магнитных полей.

Цель и задачи бакалаврской работы.

Целью работы являлось определение и исследование механизма токопереноса в системе зонд туннельного микроскопа – нанометровый зазор – полупроводниковых квантовых точек InSb и CdSe – электрод.

Задачи данной работы:

- Проведение анализа научной литературы по связанным с исследованиями темам.
- Получение и анализ вольт-амперных характеристик в системе зонд туннельного микроскопа – нанометровый зазор – полупроводниковая квантовая точка InSb и CdSe – электрод.
- Выбор модели токопереноса, наиболее согласующейся с экспериментальными данными, построение расчетных вольт-амперных характеристик в соответствии с выбранной моделью, оценка необходимых параметров.
- Оценка согласования экспериментальных и расчетных данных.

Структура бакалаврской работы.

Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ и СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ работа включает 5 основных разделов:

1. Квантовые точки;
2. Туннельный эффект;
3. Автоэлектронная эмиссия;
4. Сканирующая туннельная микроскопия;
5. Практическая часть;

В разделе 1 был проведен анализ литературы по сопутствующим данной работе темам. Внимание уделялось квантовым точкам, а именно видам квантовых точек, их квантово-размерным свойствам и области их применения.

В разделе 2 рассматривалось туннелирование, а также было представлено квантово-механическое описание туннельного эффекта.

Раздел 3 посвящен понятию автоэлектронной эмиссии. Были описаны теории Фаулера-Нордгейма и Моргулиса-Стрэттона для автоэлектронной эмиссии из полупроводникового материала.

В разделе 4 представлено описание принципа действия работы сканирующего туннельного микроскопа, его параметры и режимы.

В разделе 5.1 в качестве объектов исследования были выбраны квантовые точки группы A_3B_5 (соединение InSb) и A_2B_6 (соединение CdSe). Измерения проводились методом СТМ на сканирующем туннельном микроскопе «NANOEDUCATOR II».

В разделе 5.2 представлены результаты проводившихся измерений. При помощи метода СТМ были получены туннельные воль-амперные характеристики для квантовых точек InSb и CdSe. Интерес в данном

исследовании представляют обратные ветви ВАХ, соответствующие эмиссии электронов через полупроводниковую КТ в зонд:

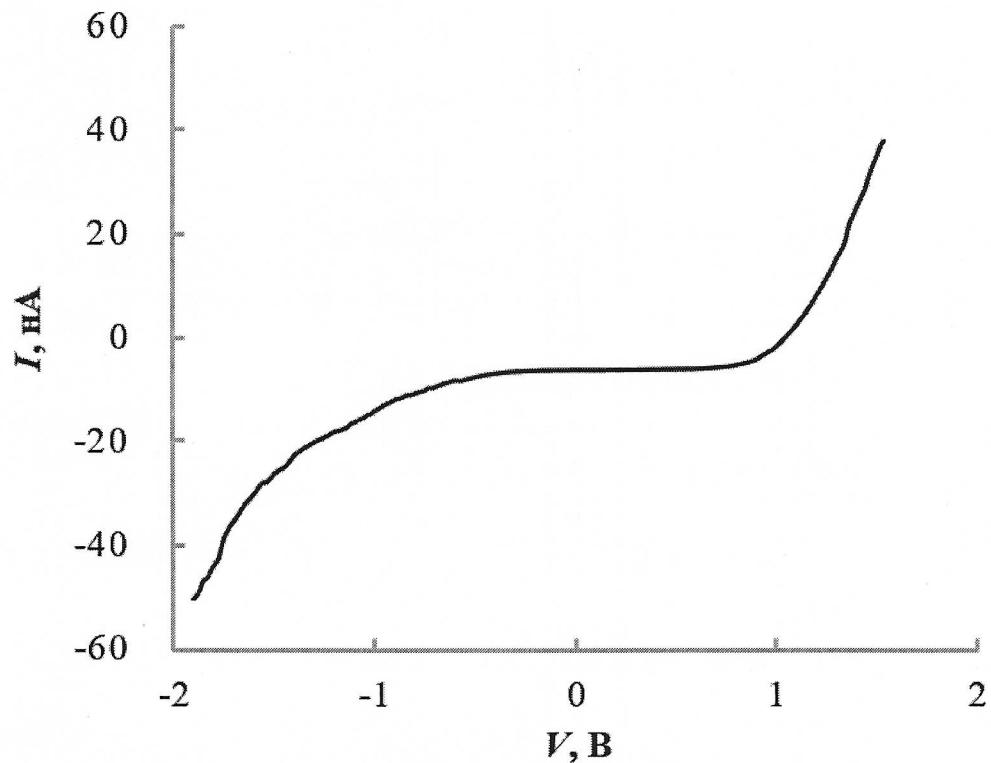


Рисунок 1 – Типичная ВАХ для квантовых точек InSb

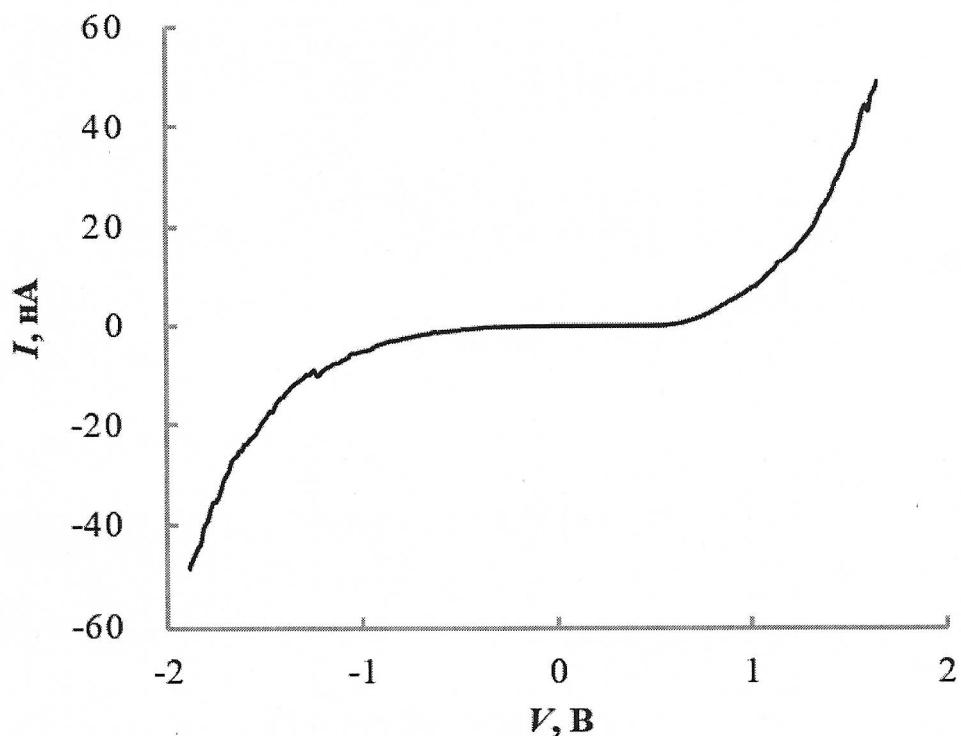


Рисунок 2 – Типичная ВАХ для квантовых точек CdSe

В разделе 5.3 представлены исследование и анализ полученных результатов.

Анализ туннельных ВАХ проводился при отрицательном смещении на образце в диапазоне напряженности электрического поля $(0,5 - 1,5) \cdot 10^9$ В/м.

На рисунках 3 и 5 представлены участки полученных экспериментальных ВАХ для различных квантовых точек InSb, построенные в координатах Моргулиса – Стрэттона и Фаулера-Нордгейма. На рисунке 4 представлены расчетные ВАХ в соответствии с теорией Моргулиса-Стрэттона при различных параметрах Θ .

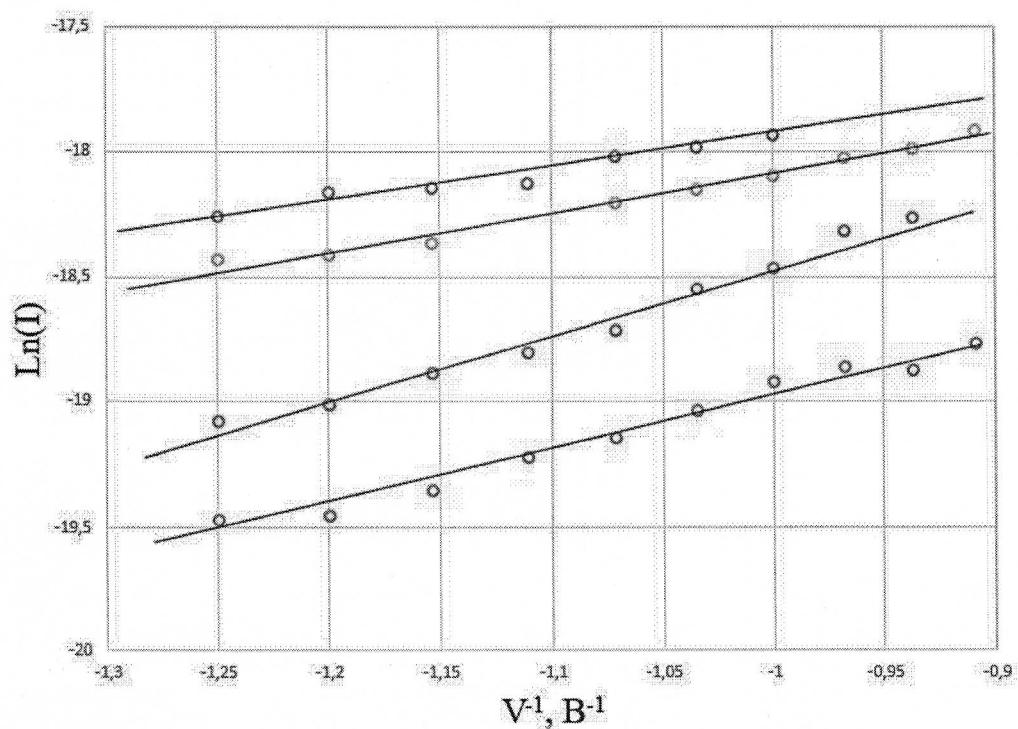


Рисунок 3 - Типичные ВАХ для КТ InSb в координатах $\ln(I)$ от V^{-1}

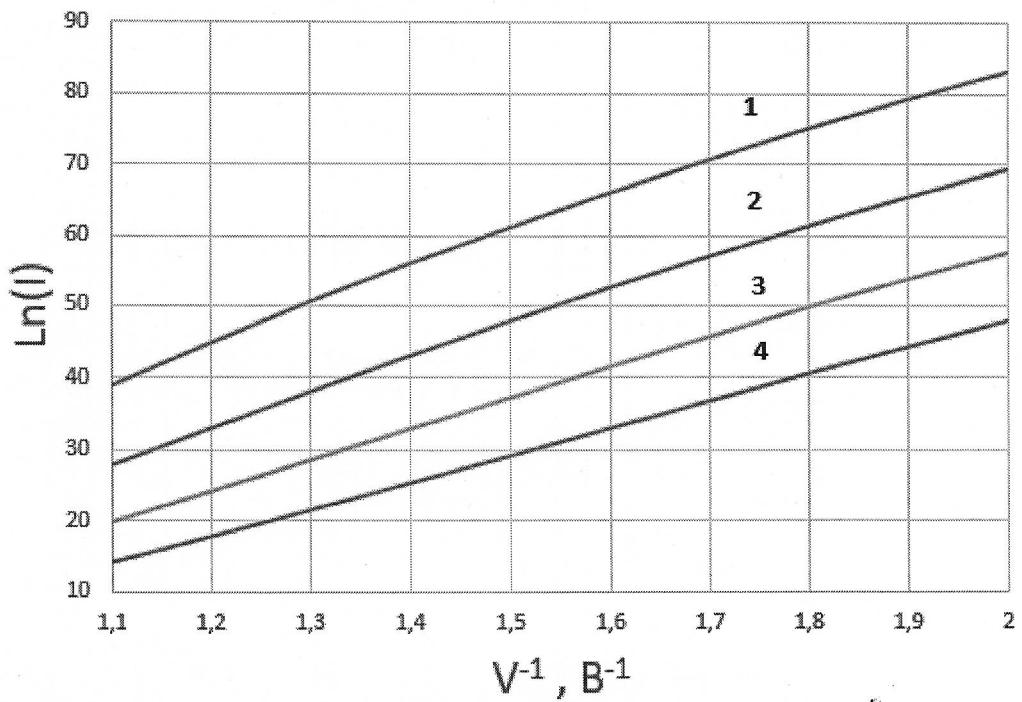


Рисунок 4 - Теоретически рассчитанные ВАХ для КТ InSb в соответствии с теорией Моргулиса-Стрэттона при различных параметрах Θ : 1 - 0,04; 2 - 0,045; 3 - 0,05; 4 - 0,06

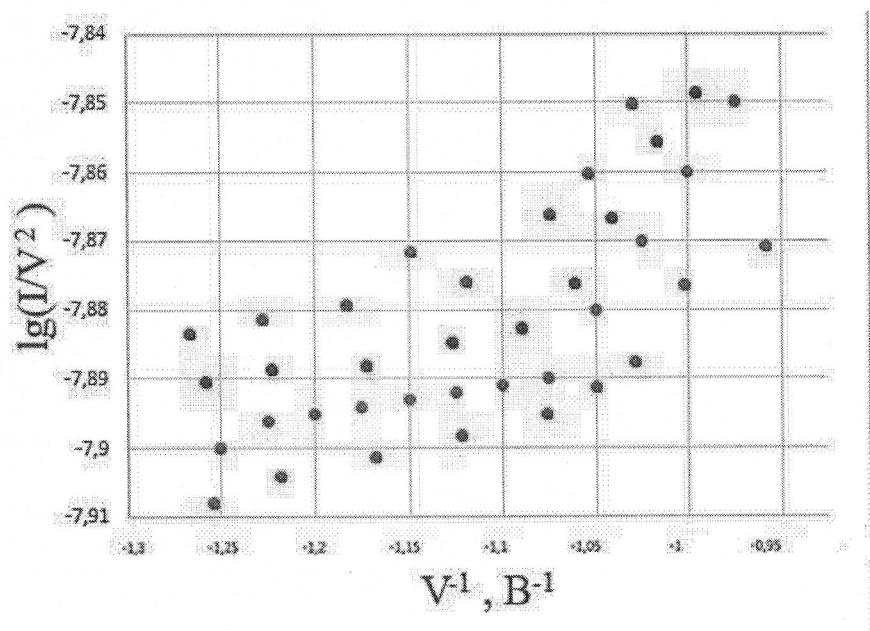


Рисунок 5 – Экспериментальные ВАХ для КТ InSb в координатах Фаулера-Нордгейма

На рисунках 6 и 8 представлены участки полученных экспериментальных ВАХ для различных квантовых точек CdSe, построенные в координатах Моргулиса – Стрэттона и Фаулера-Нордгейма. На рисунке 7 представлены расчетные ВАХ в соответствии с теорией Моргулиса-Стрэттона при различных параметрах Θ .

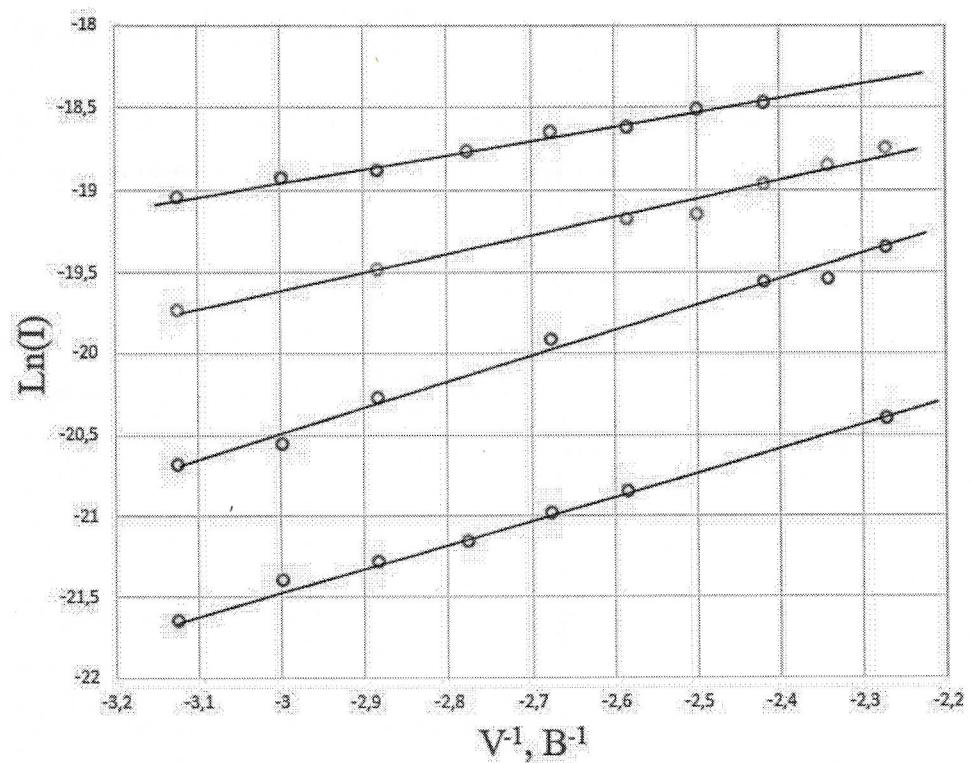


Рисунок 6 - Типичные ВАХ для КТ CdSe в координатах $Ln(I)$ от V^{-1} .

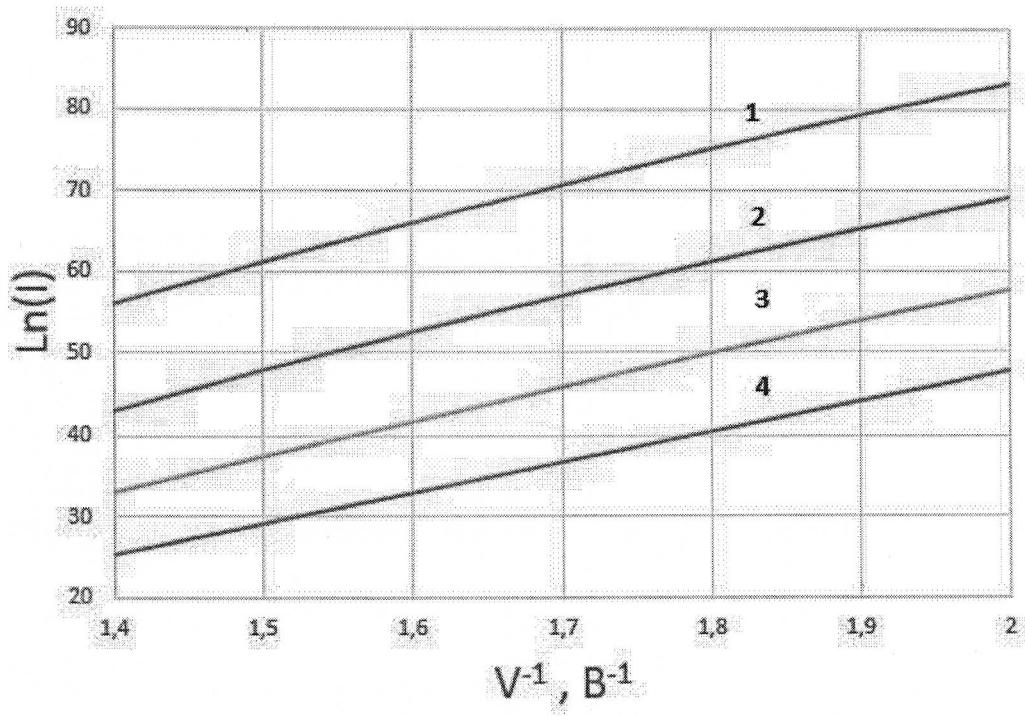


Рисунок 7 - Теоретически рассчитанные ВАХ для КТ CdSe в соответствии с теорией Моргулиса-Стрэттона при различных параметрах Θ : 1 - 0,01; 2 - 0,02; 3 - 0,04; 4 - 0,05

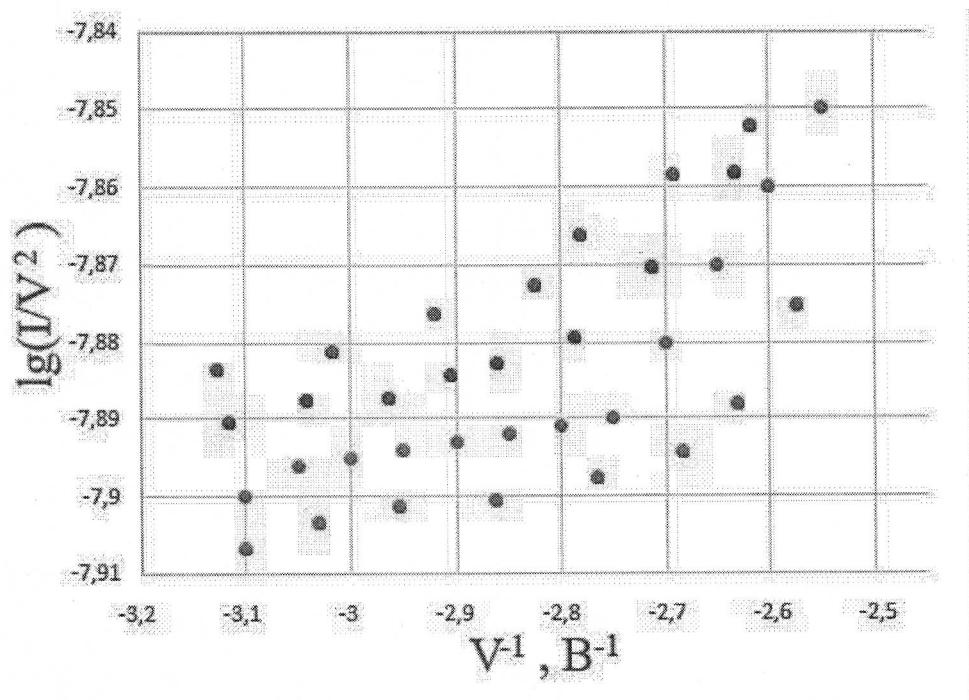


Рисунок 8 - Экспериментальные ВАХ для КТ CdSe в координатах Фаулера-Нордгейма

При построении соответствующих зависимостей в координатах Моргулиса-Стрэттона были выявлены линейные участки, в координатах Фаулера-Нордгейма линеаризация зависимостей не наблюдалась. Это позволяет нам с высокой степенью уверенности заключить, что доминирующим механизмом является механизм Моргулиса-Стрэттона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для выполнения поставленных задач:

- Проведен анализ научной литературы по связанным с исследованиями темам.
- Получены и проанализированы вольт-амперные характеристики в системе зонд туннельного микроскопа – нанометровый зазор – полупроводниковая квантовая точка InSb и CdSe – электрод.
- Выполнен выбор модели токопереноса, наиболее согласующейся с экспериментальными данными, а также построены расчетные вольт-амперные характеристики в соответствии с выбранной моделью и произведена оценка необходимых параметров.

На основании анализа экспериментальных данных был сделан вывод, что механизм наблюдавшегося тока для полупроводниковых квантовых точек InSb и CdSe более удовлетворительно описывается теорией автоэлектронной эмиссии Моргулиса-Стрэттона в диапазоне электрических полей в условиях экспериментов. Это позволяет контролировать их токовые параметры при использовании данных объектов в электронных структурах и приборах на их основе. Значение Θ для квантовых точек InSb оказалось порядка (0,04-0,06), для CdSe (0,01-0,05), что значительно меньше значения функции Θ в случае эмиссии электронов из металла (0,7-0,9), полученные значения являются характерными значениями для эмиссии из полупроводникового материала.

