

Университет ИТМО

Мой прекрасный диплом  
«СВЕРХБЫСТРАЯ ДИНАМИКА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НИТЕВИДНЫХ  
НАНОКРИСТАЛЛАХ.»

Студент: Елисеев А.

Группа: V3400

Научрук: Валерий Николаевич

Санкт-Петербург

2017

## АННОТАЦИЯ

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
АННОТАЦИЯ .....	2
ГЛАВА 1 Введение	5
1.1 Актуальность темы работы. ....	5
1.2 Транспорт, генерация и рекомбинация носителей в ННК. ....	6
1.2.1 Время жизни и подвижность носителей заряда. ....	6
1.2.2 Время релаксации электронов по импульсу. ....	8
1.2.3 Особенности процессов диффузии и дрейфа носителей заряда. ....	8
1.3 Генерация ТГц от массива полупроводниковых ННК .....	8
ГЛАВА 2 Основная часть	9
2.1 Схема установки, описание метода .....	10
2.2 Исследование ННК на основе <i>GaAs</i> .....	11
2.2.1 Описание образцов и метода их получения .....	11
2.2.2 Зависимость эффективности генерации ТГц излучения от времени при возбуждении плазмы в образцах. ....	12
2.2.3 Спад эффективности - экранировка встроенного поля .....	12
2.2.4 Восстановление эффективности .....	12
2.3 Исследование ННК на основе <i>GaAs/AlGaAs</i> .....	12
2.3.1 Описание образцов и метода их получения .....	12
2.3.2 Зонные диаграммы ННК <i>GaAs</i> и <i>GaAs/AlGaAs</i> .....	13
2.3.3 Зависимость эффективности генерации ТГц излучения от времени при возбуждении плазмы в образцах. ....	13
2.3.4 Спад эффективности. ....	13
2.3.5 Восстановление эффективности. ....	13
2.4 Исследование неупорядоченных массивов ННК на основе <i>GaAs</i> .....	13
2.4.1 Описание образцов и метода их получения .....	13
2.4.2 Зависимость эффективности генерации ТГц излучения от времени при возбуждении плазмы в образцах. ....	14
2.4.3 Спад эффективности - экранировка встроенного поля .....	14
2.4.4 Восстановление эффективности .....	14
2.5 Сравнение и анализ динамики носителей в разных образцах ..	14
ГЛАВА 3 Заключение	15

3.1 Положения дипломной работы .....	15
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	16
СПИСОК ТЕРМИНОВ .....	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	19

# ГЛАВА 1

## Введение

### 1.1 Актуальность темы работы.

Полупроводниковые наноструктуры в виде свободно стоящих полупроводниковых нитевидных нанокристаллов (ННК), а так же отдельные ННК, являются одними из наиболее перспективных объектов для применения в нанoeлектронике, нанoфотонике, а так же во многих других областях науки и техники. Так ННК используются для создания сверхчувствительных фотодиодов [1], транзисторов сверхвысокой плотности [2], эмиттеров излучения видимого диапазона волн [3] и ТГц диапазона [4].

Огромная перспективность таких нанообъектов и структур на их основе обусловлена рядом уникальных электрических и оптических свойств. При создании метаповерхностей на основе свободно стоящих ННК, характерные размеры которых порядка 100 нм в диаметре и 1 мкм по высоте, получаютcя структуры с огромным по сравнению с объемными материалами соотношением площади поверхности к объему. В работе [4] было показано, что генерация ТГц излучения от упорядоченного массива ННК на основе *GaAs* может быть практически в два раза эффективнее, чем от *InAs* - объемного полупроводникового материала, который обладает наибольшей эффективностью генерации ТГц излучения. Такая высокая эффективность обусловлена именно тем, что соотношение площади поверхности к объему у таких структур значительно выше, чем у объемных материалов.

При создании структур описанных в предыдущем параграфе, первостепенную важность занимает изучение вопроса влияния формы материала и ее размеров на динамику носителей заряда. Например, при значительном увеличении отношения площади поверхности к объему увеличивается вклад поверхностной рекомбинации носителей в материале. Таким образом время жизни электронов и дырок в наноструктурах на основе свободно стоящих полупроводниковых ННК может существенно отличаться от времени жизни в соответствующем объемном полупроводнике. Исследование этих отличий является основной задачей, которую необходимо решить перед тем, как использовать подобные материалы

в качестве основы для базовых элементов наноэлектроники и нанофотоники.

Кроме того необходимо учитывать, что в полупроводниковых ННК при диаметрах порядка десятка нанометров и меньше и при концентрации  $\geq 10^{17} \text{см}^{-3}$  процессы переноса в статических внешних полях описываются только продольной составляющей квазиимпульса, как это имеет место в чисто одномерном ( $1D$ ) случае. Динамика носителей заряда в таких структурах существенно отличается от динамики в объемных материалах. Например, в таких низкоразмерных системах как тонкие ННК, экранирование внешнего электромагнитного поля носит качественно иной характер, чем в объемных полупроводниках. Заряды, которые экранируют внешнее электромагнитное поле во всем пространстве, сами ограничены в своем движении одной линией. В связи с этим, эффективность экранирования в одномерных и квазиодномерных ННК значительно ниже, чем в случае трехмерных систем. Кроме того, как показано в [5], в одномерных структурах процессы релаксации происходят по диффузионному закону, а дрейф носителей вносит лишь небольшую поправку в эффективный коэффициент диффузии. В то же время в трехмерном случае релаксация заряда в основном определяется дрейфовыми процессами.

## 1.2 Транспорт, генерация и рекомбинация носителей в ННК.

В связи с высокой значимостью изучения временных характеристик носителей заряда и их транспорта в полупроводниковых ННК для различных областей науки и техники, на текущий момент представлено немало работ посвященных этой тематике.

### 1.2.1 Время жизни и подвижность носителей заряда.

На сегодняшний день многие научные группы изучают электрооптические свойства ННК на основе различных материалов. Так, значительный вклад в изучение влияния структуры полупроводниковых ННК на время жизни фототока и подвижность носителей в них сделали авторы [6]. В своей работе [6] авторы пользуясь методом Optical-pump terahertz-probe spectroscopy, показали что покрытие ННК на основе *GaAs* шубой *AlGaAs* (материалом с более

широкой запрещенной зоной) уменьшает плотность поверхностных ловушек до 82% тем самым увеличивая проводимость. Кроме того, им удалось установить, что двухтемпературный режим роста ННК на основе  $GaAs$  почти удваивает подвижность носителей в ННК и втрое увеличивает время жизни свободных носителей.

В их работе исследованы образцы четырех типов, СЭМ фотография образцов и схематичное изображение которых приведены на Рис. 1.1

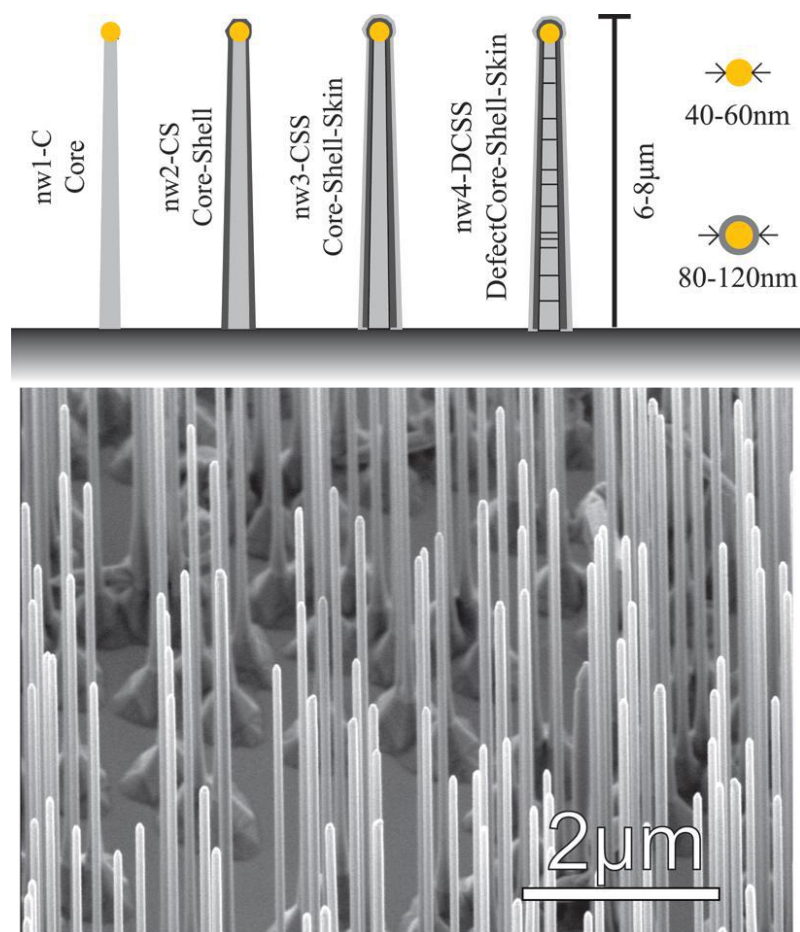


Рисунок 1.1 — СЭМ фотография образцов и их схематичное изображение. Рисунок взят из статьи [6]

Авторы исследовали четыре вида ННК. Первые три вида были выращены при двухтемпературном режиме: nw1-C - обычные ННК на основе  $GaAs$ , nw2-CS - ННК на основе  $GaAs$  с шубой  $AlGaAs$  толщиной  $\sim 30$  нм, а на образце nw3-CSS поверх шубы  $AlGaAs$  был еще нанесен тонкий слой  $GaAs$  примерно 5 нм. Четвертый образец nw4-DCSS по структуре такой же как nw3-CSS, но выращен при одностепенном режиме и поэтому подвержен двойному дефекту плотности.

1.2.2 Время релаксации электронов по импульсу.

1.2.3 Особенности процессов диффузии и дрейфа носителей заряда.

1.3 Генерация ТГц от массива полупроводниковых ННК

Коротко, о том, от чего зависит ТГц излучение от ННК. Определяющие процессы.



## ГЛАВА 2

### Основная часть

Далее речь пойдет о данной работе. Первое о чем будет рассказано - схема установки и описание экспериментального метода изучения динамики носителей в ННК. Динамикой в общем случае будем называть . . .

## 2.1 Схема установки, описание метода

Ссылочка На статью, где впервые описан этот метод и его описание

Схема, ссылка на приложение, в котором описаны характеристики элементов, используемых в схеме.

## 2.2 Исследование ННК на основе $GaAs$

### 2.2.1 Описание образцов и метода их получения

Метод газофазной эпитаксии, ссылка на статью и короткое описание  
Ориентация  $GaAs$ , получившиеся образцы, фото СЭМ

### 2.2.2 Зависимость эффективности генерации ТГц излучения от времени при возбуждении плазмы в образцах.

Типичный вид динамики

Динамика, для упорядоченных образцов, при разной мощности накачки

Характерные участки (короткая и длинная динамика)

### 2.2.3 Спад эффективности - экранировка встроенного поля

### 2.2.4 Восстановление эффективности

## 2.3 Исследование ННК на основе $GaAs/AlGaAs$

### 2.3.1 Описание образцов и метода их получения

Метод газофазной эпитаксии, ссылка на статью и короткое описание

Ориентация  $GaAs$ , получившиеся образцы, фото СЭМ

### 2.3.2 Зонные диаграммы ННК $GaAs$ и $GaAs/AlGaAs$

### 2.3.3 Зависимость эффективности генерации ТГц излучения от времени при возбуждении плазмы в образцах.

Типичный вид динамики

Динамика, для упорядоченных образцов, при разной мощности накачки

Характерные участки (короткая и длинная динамика)

### 2.3.4 Спад эффективности.

### 2.3.5 Восстановление эффективности.

## 2.4 Исследование неупорядоченных массивов ННК на основе $GaAs$

### 2.4.1 Описание образцов и метода их получения

Метод газофазной эпитаксии, ссылка на статью и короткое описание

Ориентация  $GaAs$ , получившиеся образцы, фото СЭМ

#### 2.4.2 Зависимость эффективности генерации ТГц излучения от времени при возбуждении плазмы в образцах.

Типичный вид динамики

Динамика, для упорядоченных образцов, при разной мощности накачки

Характерные участки (короткая и длинная динамика)

#### 2.4.3 Спад эффективности - экранировка встроенного поля

#### 2.4.4 Восстановление эффективности

#### 2.5 Сравнение и анализ динамики носителей в разных образцах

Объяснение разницы в динамике

## ГЛАВА 3

### Заключение

#### 3.1 Положения дипломной работы

Все что удалось узнать, но в виде выражений и емких утверждений.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ



## СПИСОК ТЕРМИНОВ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Agarwal R., Lieber C. M. Semiconductor nanowires: optics and optoelectronics //Applied Physics A. – 2006. – Т. 85. – №. 3. – С. 209.
2. Tomioka K., Yoshimura M., Fukui T. A III-V nanowire channel on silicon for high-performance vertical transistors //Nature. – 2012. – Т. 488. – №. 7410. – С. 189-192.
3. Duan X. et al. Single-nanowire electrically driven lasers //Nature. – 2003. – Т. 421. – №. 6920. – С. 241-245.
4. Trukhin V. N. et al. Generation of terahertz radiation in ordered arrays of GaAs nanowires //Applied Physics Letters. – 2015. – Т. 106. – №. 25. – С. 252104.
5. Аверкиев Н.С., Шик А.Я. Контактные явления в квантовых нитях и пористом кремнии//Физика и техника полупроводников. - 1996. - №.2 - С. 199
6. Parkinson P. et al. Carrier lifetime and mobility enhancement in nearly defectfree coreshell nanowires measured using time-resolved terahertz spectroscopy //Nano letters. – 2009. – Т. 9. – №. 9. – С. 3349-3353.

## ПРИЛОЖЕНИЯ