

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 | 4 |
| 1.1 Актуальность темы работы. | 4 |
| 1.2 Динамика носителей в ННК, что изучено? | 5 |
| 1.2.1 Динамика носителей в объемных полупроводниках | 5 |
| 1.2.2 Динамика носителей в одиночном ННК | 5 |
| 1.2.3 Динамика носителей в массивах ННК | 5 |
| ГЛАВА 2 Основная часть | 6 |
| 2.1 Генерация ТГц излучения в полупроводниковых ННК | 6 |
| 2.2 Схема установки, описание метода | 7 |
| 2.3 Упорядоченные образцы ННК на основе <i>GaAs</i> | 8 |
| 2.4 Результаты измерений для упорядоченных ННК на основе <i>GaAs</i> | 9 |
| 2.5 Упорядоченные образцы ННК на основе <i>AlGaAs</i> | 10 |
| 2.6 Результаты измерений для упорядоченных ННК на основе <i>AlGaAs</i> | 10 |
| 2.7 Неупорядоченные ННК на основе <i>GaAs</i> | 11 |
| 2.8 Результаты измерений для неупорядоченных ННК на основе <i>GaAs</i> | 12 |
| 2.9 Сравнение и анализ динамики носителей в разных образцах.. | 13 |
| ГЛАВА 3 Заключение | 14 |
| 3.1 Динамика | 14 |
| 3.2 Где следует применить полученные результаты | 14 |
| 3.3 Положения дипломной работы | 14 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ | 15 |
| СПИСОК ТЕРМИНОВ | 16 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 17 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 18 |

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 Динамика носителей в ННК, что изучено?

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

1.2.1 Динамика носителей в объемных полупроводниках

1.2.2 Динамика носителей в одиночном ННК

1.2.3 Динамика носителей в массивах ННК

ГЛАВА 2

Основная часть

Коротко о том, что я напишу в этой главе.

2.1 Генерация ТГц излучения в полупроводниковых ННК

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

2.2 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.

2.3 Упорядоченные образцы ННК на основе *GaAs*

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

2.4 Результаты измерений для упорядоченных ННК на основе *GaAs*

Волновые формы

Типичные волновые формы

Динамика, для упорядоченных образцов, при разной мощности накачки

Характерные участки (короткая и длинная динамика)

Начальный спад - "быстрая динамика"

Зависимость от мощности накачки, для короткой динамики.

Восстановление - "медленная динамика"

Интерполяционная модель. Физическая интерпретация двухэкспоненциального восстановления. Оценка вкладов

2.5 Упорядоченные образцы ННК на основе $AlGaAs$

По динамике можно косвенно определить проявление изменения концентрации ловушек на поверхности и вообще изменения встроенного поля. Тут же надо привести зонную диаграмму.

2.6 Результаты измерений для упорядоченных ННК на основе $AlGaAs$

Волновые формы

Типичные волновые формы

Динамика, для упорядоченных образцов, при разной мощности накачки

Характерные участки (короткая и длинная динамика)

Те-же самые величины и результаты, как для образцов на основе $GaAs$

Зависимость от мощности накачки, для короткой динамики.

Интерполяционная модель. Физическая интерпретация двухэкспоненциального восстановления. Оценка вкладов

2.7 Неупорядоченные ННК на основе $GaAs$

Метод получения, ссылка на статью и короткое описание.

2.8 Результаты измерений для неупорядоченных ННК на основе $GaAs$

Динамика, основные параметры

2.9 Сравнение и анализ динамики носителей в разных образцах

Объяснение разницы в динамике

ГЛАВА 3

Заключение

3.1 Динамика

Все, что удалось узнать.

3.2 Где следует применить полученные результаты

Наверное важно сказать об этом.

3.3 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

ПРИЛОЖЕНИЯ