

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 628.9.038

Свешников
Иван Валерьевич

Электролюминесцентные свойства пористого кремния

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Научный руководитель:
Смирнов А. Г.
доктор технич. наук, профессор

Минск 2015

Общая характеристика работы

Цель работы: разработать и экспериментально проверить метод формирования светоизлучающей структуры на основе пористого кремния с повышенной эффективностью.

Задачи:

- Составить обзор методов получения высокоэффективных светоизлучающих структур и методов модификации свойств пористого кремния.
- Произвести анализ методов, определить наиболее перспективные для дальнейшей разработки.
- Разработать светоизлучающую структуру и метод ее изготовления путем совмещения различных высокоэффективных методов получения и обработки.
- Провести экспериментальную проверку свойств разработанной структуры.

Актуальность работы заключается в потенциальной возможности применения высокоэффективных светоизлучающих приборов на основе ПК в дисплейной технике.

Личный вклад автора: автором лично были проведены: обзор научных публикаций, анализ полученных сведений, разработка методики эксперимента. Также автор непосредственно участвовал в проведении эксперимента.

Введение

Пористый кремний (ПК) — материал с широкими возможностями применения, как в микроэлектронике, так и во многих других областях. Однако его свойства очень сильно зависят от окружающей среды и от условий получения, что делает достаточно сложным практическое применение некоторых эффектов, таких как фото- и электролюминесценция в слоях нанопористого кремния.

С момента открытия люминесценции пористого кремния в 1990 году было проведено множество исследований, направленных на повышение эффективности, стабильности и воспроизводимости светоизлучающих и люминесцирующих структур на его основе. Были разработаны способы, позволяющие стабилизировать электролюминесценцию ПК и на порядки повысить ее интенсивность. Однако достигнутые значения энергоэффективности все еще слишком малы для

применения на практике. Поэтому вопрос получения высокоэффективных светоизлучающих приборов на основе ПК все еще актуален.

Один из возможных подходов к решению этого вопроса — совмещение различных методов, эффективность которых была доказана, в одном приборе. Для этого в данной работе был осуществлен подробный обзор и сравнительный анализ актуальной научной литературы по теме, предложена и экспериментально проверена методика изготовления светоизлучающей структуры, совмещающей высокую стабильность, эффективность и низкое рабочее напряжение.

Краткое содержание работы

В первой главе были рассмотрены различные структуры светоизлучающих приборов на основе пористого кремния и методы их формирования, а также методы модификации люминесцентных свойств пористого кремния.

Следующие структуры были рассмотрены:

1. Светоизлучающий диод Шоттки на пористом кремнии с повышенной внешней квантовой эффективностью. В данной структуре увеличение эффективности было достигнуто за счет заполнения пор оптически активного кремниевого слоя алюминием.
2. P-светодиод с комбинацией нанопористого и мезопористого слоев.
3. Многослойная структура p-светодиода со сниженным последовательным сопротивлением.

Рассмотренные способы модификации свойств пористого кремния включают следующие:

1. Обработка тетраэтилортосиликатом.
2. Обработка в растворе полиакриловой кислоты.
3. Обработка другими органическими растворами.
4. Электрохимическое оксидирование.
5. Обработка в водяном паре высокого давления.
6. Высокотемпературная обработка.

Во второй главе была проанализирована эффективность вышеперечисленных структур и методов и сделаны следующие выводы:

1. Наиболее перспективная светоизлучающая структура — многослойная, с контролируемой толщиной слоев, в которой нанопористый кремний формируется из низколегированных эпитаксиальных слоев.

2. Наиболее перспективные для применения способы модификации люминесцентных свойств — электрохимическое окисление и низкотемпературный отжиг в водяном паре высокого давления, поскольку они а) существенно (по сравнению с другими способами) повышают эффективность и интенсивность излучения, б) полностью стабилизируют свойства во времени, и в) могут применяться совместно и практически к любой структуре на основе пористого кремния.

В третьей главе описана методика проведения эксперимента и его результаты. Была изготовлена многослойная р-п-структура, включающая слои с различной пористостью: оптически активный слой нанопористого кремния и дополнительные слои мезопористого кремния, обеспечивающие низкое сопротивление. Структура была изготовлена на кремниевой подложке n+-типа с эпитаксиальным слоем n-типа, с обратной стороны покрытой алюминием. На этом эпитаксиальном слое был сформирован тонкий р+-слой (200 нм) с помощью диффузии бора. После чего образцы были подвергнуты анодированию в растворе плавиковой кислоты и этилового спирта с объемным соотношением компонентов HF (45%) : C₂H₅OH = 1 : 1 при плотности тока 5 мА/см² в течение 300 с, при освещении галогеновой лампой мощностью 300 Вт. Всего было изготовлено три образца. Один был подвергнут электрохимическому окислению в растворе H₂SO₄, второй — электрохимическому окислению и отжигу в водяном паре высокого давления, третий использовался в качестве контрольного.

Все полученные образцы демонстрировали электролюминесценцию, видимую невооруженным глазом при слабом освещении. Измерение электролюминесценции полученных образцов показало, что электрохимическим окислением увеличивает интенсивность свечения приблизительно в 50 раз по сравнению с контрольным образцом, спектр излучения при этом незначительно смещается в сторону длинных волн. Обработка водяным паром при высоком давлении практически не повышает интенсивность (по сравнению со вторым образцом), при этом происходит заметное расширение спектра в инфракрасную область. Обработанные образцы демонстрировали стабильную ЭЛ в течение 30 минут, интенсивность излучения контрольного образца снизилась за 30 минут в 2 раза.

Выводы

1. Светоизлучающая р-п-структура на пористом кремнии, получаемая анодированием подложки с эпитаксиальными слоями контролируемой толщины,

демонстрирует видимую невооруженным глазом электролюминесценцию при относительно низком приложенном напряжении.

2. Электрохимическое окисление такой структуры значительно повышает интенсивность и эффективность излучения.

3. Низкотемпературный отжиг в водяном паре высокого давления позволяет расширить спектр излучения в инфракрасном направлении и, возможно, повысить стабильность электролюминесценции.

4. Существенные особенности окисления пористых слоев с различным уровнем легирования обнаружены не были.

Список опубликованных работ

1. Свешников, И. В. Фотолюминесцентные свойства нанопористого кремния, формируемого электрохимическим методом / И. В. Свешников, Е. В. Муха, Е. Б. Чубенко, А. Г. Смирнов // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. VI Междунар. науч. конф., Минск, 8-9 окт. 2014 г. / редкол.: В. Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2014. – 268 с. – (Вузовская наука, пром-сть, междунар. сотрудничество). С. 229–230.

2. Свешников, И. В. Фотолюминесценция слоев нанопористого кремния / И. В. Свешников, Е. В. Муха, Е. Б. Чубенко, А. А. Степанов, А. Г. Смирнов // Светотехника и электроэнергетика: история, проблемы, перспективы: материалы V международной научно-технической конференции — Тернополь, 2015 — С. 47–48