

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

УДК 621.382.2

ЛЕ
Динь Ви

Светоизлучающие элементы на основе
наноструктурированного кремния

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1 - 41 80 03 Нанотехнологии и наноматериалы
(в электронике)

Научный руководитель
Лазарук Сергей Константинович
Д-р физ-мат. наук, проф.

Минск 2017

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Кремний является основным материалом микроэлектроники, но не нашел широкого применения в оптоэлектронных интегральных микросхемах из-за непрямозонного характера его запрещенной зоны. Однако после обнаружения эффективной фото- и электролюминесценции в наноструктурированном пористом кремнии (ПК) появилась надежда развития и кремниевой оптоэлектроники.

При этом на современном этапе развития интегральной электроники главные проблемы связаны с ограничением быстродействия интегральных микросхем из-за резистивно–емкостных задержек металлических межсоединений. Для решения этой проблемы необходима разработка оптических межсоединений, способных работать в гигагерцевом диапазоне. Оптические межсоединения состоят из источника светового сигнала, например светодиода, световода и фотоприемника. Как известно, большая часть интегральных микросхем изготавливается на кремниевой технологии, которая позволяет создавать любые элементы за исключением светодиода. Поэтому обнаружение эффективной фото- и электролюминесценции в наноструктурированном пористом кремнии приводит к возможности изготовления на его основе светоизлучающих структур, фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии, химических датчиков и других полупроводниковых приборов на той же технологии.

В свою очередь у пористого кремния существует одно основное препятствие для широкого применения в производстве полупроводниковых приборов - нестабильность его люминесцентных и электрофизических характеристик. В то же время пористый кремний обладает рядом уникальных свойств, что делает этот материал перспективным для применения.

Поэтому целью данной диссертационной работы явилось установление закономерностей и механизмов формирования наноструктурированных пористого кремния электрохимическим анодированием, определение структурных, электрофизических и оптических свойств для возможного создания на его основе приборов твердотельной электроники (светоизлучающие элементы, фотоприемники, химические датчики, биодатчики и т.д). Особо внимание уделяется формированию наноструктурированного пористого кремния с сдвигом пика фотолюминесценции из красной области в желто – зеленую, и пассивации его поверхности оксидной пленкой для обеспечения стабилизации фотолюминесцентных свойств этого материала.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью данной диссертации явилось установление закономерностей и механизмов формирования наноструктурированных пористого кремния электрохимическим анодированием на его основе, также определение структурных, электрофизических и оптических свойств пористого кремния для возможности создания на его основе приборов твердотельной электроники (светоизлучающие элементы, фотоприемник, химические датчики, биодатчики и т.д) .

Чтобы достичь поставленную цель нужно решить следующие задачи:

1. Провести анализ известных закономерностей формирования наноструктурированного пористого кремния методом электрохимического анодирования и перспективных областей их применения в твердотельной электронике.
2. Исследовать механизмы образования наноструктурированных пористого кремния в процессе электрохимической анодной обработки монокристаллического кремния.
3. Исследовать структурные, электрофизические и оптические свойства наноструктурированного пористого кремния.
4. Разработать метод стабилизации свойств наноструктурированного пористого кремния для создания светоизлучающих элементов на его основе.

Положения, выносимые на защиту

1. Уменьшение размеров структуры пористого кремния позволяет управлять его фотолюминесцентными свойствами, в частности послеанодное химическое травление обеспечивает сдвиг пика фотолюминесценции из красной области в желто – зеленую.
2. Пассивация поверхности пористого кремния эпоксидной пленкой обеспечивает стабилизацию его фотолюминесцентных свойств.

Опубликованность результатов

По материалам диссертации опубликовано и подготовлено к опубликованию 4 работы. Из них 2 статьи в сборниках материалов научных конференций, 2 тезиса докладов.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, включенные в диссертацию, опубликованы ав-

тором на следующих конференциях:

1. X - Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «**Новые направления развития приборостроения**» - Белорусский Национальный технический университет – Г. Минск, 26-28.4.2017.

2. VI - Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «**Актуальные вопросы физики и техники**» - Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины – Г. Гомель, 26.04.2017.

3. Международная конференция по физике, химии и применению наноструктур «Nanomeeting-2017» - Белорусский государственный университет Радиоэлектроники и Информатики - Г. Минск, 30 мая - 2 июня 2017 г.

4. XV - Белорусско-российская научно-техническая конференция «**технические средства защиты информации**» - Белорусский государственный университет Радиоэлектроники и Информатики - Г. Минск, 6 июня 2017 г.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из титульного листа, общей характеристики работы, введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 46 наименований, графического материала и двух приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 64 страниц, в том числе 04 таблиц и 34 рисунков.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** была изучена проблема по разработке светоизлучающих элементов на основе наноструктурированного кремния, приведен обзор по получению наноструктурированного пористого кремния, актуального на настоящее время, и его применение в практических областях, а также были анализированы его фотолюминесцентные и электролюминесцентные свойства, и рассмотрено несколько структур светодиодов на основе данного материала.

Во **второй главе** описаны методики изготовления наноструктурированного кремния, включая методику изготовления экспериментальных образцов и методики исследования их структур. Далее приведены методы определения толщины и плотности пористых пленок, и в конце описаны методики измерения электрических и оптических параметров.

В **третьей главе** представлены результаты формирования наноструктурированного кремния с фото- и электролюминесценцией в видимом диапазоне. Описано получение пористого кремния анодной обработкой на основе монокристаллического кремния в растворах плавиковой кислоты в переходном режиме. В результате этого образуются кремниевые наноструктуры с характерным размером менее 5 нм, обеспечивающие фото- и электролюминесценцию этого нанопористого материала в диапазоне длин волн от 510 до 800 нм. Здесь также приведен метод пассивации пористого кремния с пиком фотолюминесценции в зеленой области видимого диапазона, структуры которого демонстрируют стабильность зеленого светоизлучения более двух лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над магистерской диссертацией был проведен аналитический обзор методов получения наноструктурированного кремния. Также были проанализированы механизмы формирования наноструктурированного пористого кремния и его применения в различных областях жизни. Было установлено, что возможно получать пористый кремния с размерами в нанометровом диапазоне при варьировании параметров процесса анодирования, таких, как состав электролита, напряжение и ток формовки, температура электролита, оптическая освещенность обрабатываемой поверхности. Установлено, что возможность управления размерами нанометрового диапазона, так и пористостью в формируемых нанопористых структурах делает метод электрохимического анодирования перспективным для дальнейшего развития технологии формирования элементов и систем твердотельной электроники, использующих наноразмерные эффекты и явления.

Были описаны процессы подготовки кремниевых подложек и изготовления образцов для локального анодирования. Также описано оборудование для электрохимического анодирования для формирования наноструктурированного пористого кремния.

Проведены анализ структурных параметров пленок и слоев оптическими методами и анализ структуры формируемых пленок при помощи электронной и атомно–силовой микроскопий. При этом была создана методика определения плотности и толщины слоев пористого кремния по интерференционному цвету пленки.

Экспериментально установлено, что электрохимическое анодирование монокристаллического кремния в водных растворах плавиковой кислоты при электрических режимах, соответствующих переходу от образования пор к электрополировке, приводит к формированию слоев пористого кремния по механизму первоначального окисления кремния и последующего локального травления в местах увеличения напряженности электрического поля. Сформированный пористый кремний демонстрирует эффективную и стабильную фотолюминесценцией видимого диапазона с пиком в области от 510 до 800 нм.

Установлено, что уменьшение размеров структуры нанопористого кремния позволялось управлять его фотолюминесцентными свойствами, в частности послеанодное химическое травление демонстрировало сдвиг пика фотолюминесценции пористого кремния из красной области в желто – зеленую. А пассивация его поверхности эпоксидной пленкой обеспечивала стабилизацию его фотолюминесцентных свойств.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1–А] Ле Динь Ви. Формирование пористого кремния с пиком фотолюминесценции в зеленой области видимого диапазона / Ле Динь Ви, В. И. Грицков, Е. А. Масленкова // Сборник материалов VI Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов. – Гомель, ГГУ, 2017.

[2– А] Ле, Д. В. Светодиоды на основе наноструктурированного пористого кремния / Д. В. Ле, В. В. Амбражей, Е. А. Масленкова // X МНТКМУС: материалы конференции. – Минск: БНТУ, 2017 – Т.2, С. 48.

[3–А] Leshok, A. A. Optical interconnects between silicon chips based on light-emitting diodes on nanostructured silicon / A. A. Leshok, A. V. Dolbik, Le Dinh Vi, A. I. Matskevich, V. A. Labunov, V. B. Vysotskii, S. V. Shvedov // Международная конференция по физике, химии и применению наноструктур «Nanomeeting–2017»: материал конференции. – Минск: БГУИР, 2017.

[4–А] Лазарук, С.К. Лавинные светодиоды на основе наноструктурированного кремния для оптических межсоединений в интегральных схемах / С.К. Лазарук, А.А. Лешок, Ле Динь Ви, А.С. Сычевич, В.И. Грицков // Сборник материалов XV Белорусско–Российской научно–технической конференции «Технические средства защиты информации». – Минск: БГУИР, 2017.