

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

УДК 621.382.20120/61

Мацкевич
Анатолий Иванович

Формирование глубоких(сквозных) отверстий в Si-подложках для объемных
микросборок ИС

АВТОРЕФЕРАТ

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

Научный руководитель
Лазарук Сергей Константинович
Доктор физ.-мат. наук

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития естественных наук особое внимание уделяется изучению эффектов и явлений в наноразмерных структурах. Полученные знания призваны обеспечить развитие качественно новых технологий, так называемых нанотехнологий, в различных областях науки и техники. Особенно это касается твердотельной электроники, где с возникновением новых перспективных областей, таких, как наноэлектроника, нанофотоника, спинтроника, появляются принципиально новые возможности для обработки и передачи информации.

К таким перспективным направлениям относится развитие кремниевой оптоэлектроники. Кремний как основной материал микроэлектроники не нашел широкого применения в оптоэлектронных интегральных схемах из-за непрямозонного характера его запрещенной зоны. Однако после обнаружения эффективной фото- и электролюминесценции в наноструктурированном пористом кремнии (ПК) появилась перспектива развития и кремниевой оптоэлектроники. Особенно это актуально для создания скоростных оптических межсоединений в кремниевых чипах, так как традиционные металлические межсоединения по причине резистивно-емкостных задержек не способны работать в гигагерцевом диапазоне частот. Основная проблема реализации кремниевых оптических межсоединений связана с изготовлением эффективного светоизлучающего элемента. За последние годы был достигнут значительный прогресс в увеличении эффективности и быстродействия светодиодов на основе наноструктурированного пористого кремния. Тем не менее, для их практического использования в качестве источников света необходимо дальнейшее совершенствование их параметров с учетом требований реальных приборов, в частности, по их эффективности, быстродействию и стабильности. Для повышения эффективности и других параметров светодиодов необходимо проведение исследований влияния структуры кремния на физические явления и процессы при светоизлучении в наноразмерных образованиях.

Отдельно следует отметить новые возможности нанотехнологий по модернизации существующих технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем (ИС). Так, использование наноструктурированного пористого оксида алюминия в качестве разделительного диэлектрика с низкой диэлектрической проницаемостью способно повысить быстродействие существующих ИС за счет снижения паразитных резистивно-емкостных задержек в системе металлических межсоединений.

Пористый кремний формируется с помощью электрохимического анодирования кремния. В связи с вышеотмеченным значительный практический интерес представляет проведение исследований по получению новых наноструктурированных материалов методом электрохимического анодирования, изучение их электрофизических свойств и изготовление на их основе приборов для твердотельной электроники. Решение названных проблем позволит не только создавать наноструктурированные материалы с новыми свойствами, но и разработать научные основы технологии производства приборов и устройств интегральной электроники и оптоэлектроники, а также разработать научные основы создания новых источников энергии, альтернативных углеводородным видам топлива.

Все вышесказанное определяет актуальность исследований, связанных с получением и изучением свойств наноструктурированных материалов, создаваемых электрохимическим анодированием кремния и их применением в приборах твердотельной электроники.

Библиотека БГУИР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования. Цель работы – исследование процесса формирования макропористого кремния и создание на его основе конденсаторных структур повышенной емкости.

Задача исследования – реализация опытных образцов (макропористого кремния) для анализа структуры формируемых пленок.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является макропористый кремний, формируемый электрохимическим анодным растворением монокристаллического кремния.

Предметом исследования является влияние режимов формирования макропористого кремния на его конечную структуру и в разработке методов его обработки для создания конденсаторных структур повышенной емкости.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные результаты:

Разработан метод формирования макропористого кремния с заданным расположением макропор. В зависимости от удельного сопротивления кремниевых подложек расстояние между центрами макропор находится в диапазоне от 4 до 10 мкм. Метод позволяет формировать регулярные макропористые структуры глубиной до 400 мкм.

Разработан низкотемпературный метод формирования окисла во внутрипоровом пространстве макропористого кремния. Метод позволяет формировать оксид кремния толщиной до 200 нм при комнатных температурах.

Сформированы конденсаторные структуры на основе макропор с шагом (микропоровым расстоянием) 10 мкм. Диаметр макропор и их глубина составили 2 и 50 мкм соответственно. Окисел на стенках макропор сформирован при помощи электрохимического анодного окисления. Толщина окисла составила от 100 до 200 нм. Измерены параметры конденсаторных структур на кремниевых подложках с регулярными макропорами. Измерение параметров конденсаторных структур проводилось как на структурах с металлическим верхним электродом. Измерения удельной емкости на экспериментальных структурах показало, что все величины находятся в диапазоне от 1 до 1,5 10^{-15} Ф/мкм², что в 3..5 раз выше, чем удельная емкость плоского конденсатора, сформированного на планарной поверхности кремниевой подложки.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Во время работы над диссертацией соискателем были исследованы технологии формирования макропористого кремния, его низкотемпературного окисления и изготовления на его основе конденсаторных структур повышенной емкости по сравнению с планарными

конструкциями. Разработка технологического маршрута, а также его реализация проводилась совместно с научным руководителем Лазаруком С.К.

Публикации. Основные положения работы и результаты диссертации изложены в работе, представленной в научном журнале (Доклады БГУИР).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из титульного листа, содержания, введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и графического материала из 40 наименований. Полный объем диссертационной работы составляет 65 страниц, в том числе 2 таблицы – в объеме 1 страницы и 32 рисунков – в объеме 17 страниц.

Библиотека БГУИР

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрена актуальность исследований, связанных с получением и изучением свойств наноструктурированных материалов, создаваемых электрохимическим анодированием кремния и их применением в приборах твердотельной электроники.

В первой главе представлено состояние проблемы трехмерной интеграции микросхем на сегодняшний день. Также рассмотрены основные положения методов трехмерной интеграции, технологический маршрут производства, а также их преимущества и недостатки.

Вторая глава содержит в себе описание методики эксперимента, а именно подготовки кремниевых подложек, электрохимического анодирования, анализа структуры формируемых пленок при помощи электронной и атомно-силовой микроскопий.

Третья глава посвящена исследованию процесса формирования макропористого кремния с упорядоченным расположением пор.

Четвертая глава посвящена исследованию процесса низкотемпературного окисления кремния внутри макропор.

Пятая глава посвящена формированию конденсаторных структур на основе макропористого кремния с заданным расположением пор.

В выводах кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, сделаны выводы о структуре образцов и возможности их использования данной технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод формирования макропористого кремния с заданным расположением макропор. В зависимости от удельного сопротивления кремниевых подложек расстояние между центрами макропор находится в диапазоне от 4 до 10 мкм. Метод позволяет формировать регулярные макропористые структуры глубиной до 400 мкм.

Разработан низкотемпературный метод формирования окисла во внутрипоровом пространстве макропористого кремния. Метод позволяет формировать оксид кремния толщиной до 200 нм при комнатных температурах.

Сформированы конденсаторные структуры на основе макропор с шагом (микропоровым расстоянием) 10 мкм. Диаметр макропор и их глубина составили 2 и 50 мкм соответственно. Окисел на стенках макропор сформирован при помощи электрохимического анодного окисления. Толщина окисла составила от 100 до 200 нм. Измерены параметры конденсаторных структур на кремниевых подложках с регулярными макропорами. Измерение параметров конденсаторных структур проводилось как на структурах с металлическим верхним электродом. Измерения удельной емкости на экспериментальных структурах показало, что все величины находятся в диапазоне от 1 до 1,5 10^{-15} Ф/мкм², что в 3-5 раз выше, чем удельная емкость плоского конденсатора, сформированного на планарной поверхности кремниевой подложки.