

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

УДК 621.315.592.9

Кодашевич  
Владислав Александрович

Электрофизические свойства пленок окисленного пористого кремния

### **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  
Бондаренко Виталий Парфирович  
Доцент; кандидат технических наук,

---

Минск 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Пористый кремний – это морфологическая форма кремния, обладающая уникальными физическими и химическими свойствами, которые определяются наличием сети наноразмерных пор в кристалле кремния и развитой внутренней поверхностью этих пор. Одной из наиболее важных особенностей ПК является то, что он окисляется намного быстрее, чем монокристаллический кремний.

Термическое окисление ПК, в зависимости от температуры и атмосферы окисления, позволяет получать материалы, которые могут отличаться друг от друга своими диэлектрическими характеристиками, что объясняется частичным или полным окислением пористого кремния.

Пленки частично окисленного ПК представляют интерес для создания газовых сенсоров, в которых частично окисленный ПК должен оставаться пористым и диэлектрические характеристики которого должны изменяться в результате адсорбции этим материалом анализируемого газа. Пленки полностью окисленного ПК должны быть непористыми, поскольку они предназначены главным образом для создания диэлектрической изоляции компонентов интегральных микросхем, а также для формирования структур КНИ (кремний-на-изоляторе) и интегральных диэлектрических волноводов. Диэлектрические характеристики полностью окисленного ПК должны соответствовать характеристикам высококачественных слоев двуокиси кремния.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации.** Успех в широком использовании ПК и диэлектрических слоев на его основе в производстве новых электронных и оптоэлектронных приборов во многом зависит от того, удастся ли разработать воспроизводимую технологию термического окисления пористого кремния. Для этого необходимо провести комплексные исследования таких важных электрофизических характеристик пленок окисленного пористого кремния как электрическая прочность, удельное электрическое сопротивление, относительная диэлектрическая проницаемость в зависимости от атмосферы и температуры окисления.

Таким образом, изучение электрофизических свойств пленок термически окисленного пористого кремния (ОПК) является не только актуальной задачей, но и имеет высокое практическое значение.

### **Цель и задачи исследования.**

*Целью* данной магистерской диссертации является исследование влияния температуры окисления и атмосферы окисления на электрофизические свойства пленок ОПК толщиной 1 мкм и пористостью 55%.

Для достижения поставленной цели решались следующие *задачи*:

- провести эксперименты по созданию тестовых образцов ОПК при температурах окисления 700°C, 900°C, 1000°C и 1100°C в атмосфере сухого и влажного кислорода в течении 60 мин;
- провести исследование зависимостей удельного электрического сопротивления, электрической прочности, частотных зависимостей относительной диэлектрической проницаемости и зависимости диэлектрической проницаемости от температуры и среды окисления пластин ПК;
- объяснить полученные экспериментальные данные о диэлектрических характеристиках пленок ОПК в зависимости от температуры и атмосферы окисления;
- сделать выводы относительно возможности применения полученных пленок ОПК.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются образцы ОПК, полученные при различных температурных условиях и средах окисления ПК.

Предметом исследования являются зависимости удельного электрического сопротивления, электрической прочности и относительной диэлектрической проницаемости от температуры и среды окисления ПК.

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

1. Диэлектрические характеристики пленок ОПК, полученных путем окисления ПК толщиной 1 мкм и пористостью 55%, зависят от температуры и атмосферы окисления.

2. Пленки ОПК, полученные путем окисления в атмосфере сухого кислорода, имеют электрическую прочность в от 0,04 МВ/см до 1 МВ/см, удельное сопротивление от  $3 \cdot 10^{11}$  Ом·см до  $1 \cdot 10^{13}$  Ом·см и диэлектрическую постоянную от 65 до 7 при увеличении температуры окисления от 700°C до 1100°C. Полученные диэлектрические характеристики пленок ОПК свидетельствуют о том, что они окислены не полностью, а частично и состоят из трех фракций: не окисленных кремниевых элементов остова ПК, тонкого слоя двуокиси кремния на поверхности элементов остова и пустот, остающихся между элементами остова.

3. Пленки ОПК, полученные путем окисления в атмосфере влажного кислорода, имеют электрическую прочность от 1 МВ/см до 5,5 МВ/см, удельное сопротивление от  $4 \cdot 10^{13}$  Ом·см до  $8 \cdot 10^{14}$  Ом·см и диэлектрическую постоянную от 4,5 до 3,9 при увеличении температуры окисления от 700°C до 1100°C. Полученные величины диэлектрических характеристик пленок ОПК свидетельствуют о том, что они могут быть окислены как частично, так и полностью, в зависимости температуры и атмосферы процесса окисления.

#### **Личный вклад соискателя.**

Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Аналитическое исследование современных методов получения образцов ПК и ОПК проводилось соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были исследованы зависимости электрической прочности, удельного сопротивления и относительной диэлектрической проницаемости от температуры и среды окисления пленок ПК. Обсуждение результатов экспериментов и разработка воспроизводимой технологии термического окисления пористого кремния проводилась совместно с научным руководителем доцентом, кандидатом технических наук Бондаренко В.П.

**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, трех глав, заключения, списка использованных источников и графического материала из 40 наименований. Полный объем диссертационной работы составляет 64 страниц, в том числе 1 таблица – в объеме 1 страницы и 23 рисунков – в объеме 13 страниц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено вопрос широкого внедрении ПК и диэлектрических материалов на его основе в производство новых электронных и оптоэлектронных приборов.

В **первой главе** проведен анализ современного состояния исследования электрофизических характеристик структур на основе ПК и ОПК в зависимости от технологии их получения.

**Вторая глава** содержит в себе описание методик изготовления тестовых структур для анализа электрофизических характеристик пленок ОПК.

**Третья глава** посвящена исследованию электрофизических характеристик пленок ОПК в зависимости от температуры и среды окисления образцов ПК.

Диссертационная работа состоит из титульного листа, содержания, введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и графического материала из 40 наименований. Полный объем диссертационной работы составляет 65 страниц, в том числе 1 таблица – в объеме 1 страницы и 23 рисунков – в объеме 13 страниц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ современного состояния исследований по изучению термического окисления ПК и свойствам пленок окисленного ПК. Показано, что такие пленки имеют перспективы использования во многих областях микроэлектроники, а также для изготовления газовых сенсоров.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что диэлектрические характеристики пленок окисленного пористого кремния, полученные окислением ПК толщиной 1 мкм и пористостью 55% зависят от температуры и атмосферы окисления. Пленки ОПК, полученные окислением в атмосфере сухого кислорода имеют электрическую прочность от 0,04 МВ/см до 1 МВ/см, удельное сопротивление от  $3 \cdot 10^{11}$  Ом·см до  $1 \cdot 10^{13}$  Ом·см и диэлектрическую постоянную от 65 до 7 при увеличении температуры окисления от 700°C до 1100°C. Полученные диэлектрические характеристики этих пленок свидетельствуют о том, что они окислены не полностью, а частично и состоят из трех фракций: не окисленных кремниевых элементов остова ПК, тонкого слоя двуокиси кремния на поверхности элементов остова и пустот, остающихся между элементами остова. Диэлектрические характеристики частично окисленного пористого кремния определяются относительным содержанием этих трех фракций. Толщина слоя двуокиси кремния на элементах остова и размеры не окисленных кремниевых элементов оказывают определяющее влияние на диэлектрические характеристики частично окисленного ПК и области его применения. Частично окисленный пористый кремний является перспективным материалом для изготовления газовых сенсоров, светоизлучающих диодов, фотодетекторов.

Пленки ОПК, полученные окислением в атмосфере влажного кислорода имеют электрическую прочность от 1 МВ/см до 5,5 МВ/см, удельное сопротивление от  $4 \cdot 10^{13}$  Ом·см до  $8 \cdot 10^{14}$  Ом·см и диэлектрическую постоянную от 4,5 до 3,9 при увеличении температуры окисления от 700°C до 1100°C. Полученные величины диэлектрических характеристик этих пленок свидетельствуют о том, что они могут быть окислены как частично, так и полностью. Частично окисленные состоят из трех фракций: не окисленных кремниевых элементов остова ПК, тонкого слоя двуокиси кремния на поверхности элементов остова и пустот, остающихся между элементами остова. Диэлектрические характеристики частично окисленного пористого кремния определяются относительным содержанием этих трех фракций. Полностью окисленный ПК состоит из двух фаз: двуокиси кремния и пустот. Содержание пустот оказывают определяющее влияние на диэлектрические характеристики полностью окисленного ПК и области его применения. Судя по диэлектрическим характеристикам после окисления во влажном кислороде при

температуре 1100°C пустот в полностью окисленном ПК не имеется. Полностью окисленный пористый кремний с пустотами является перспективным материалом для изготовления газовых сенсоров, а полностью окисленный беспористый ОПК может использоваться для изоляции компонентов интегральных микросхем, создания структур КНИ и диэлектрических волноводов, сверхтолстых диэлектрических слоев для СВЧ приборов и интегральных микросхем.