

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

УДК 544.65

Крисевич
Станислав Николаевич

Электрическое инициирование воспламенения и горения наноструктурированного 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
Лазарук Сергей Константинович
доктор физико-математических наук, профессор

Минск 2018

ВВЕДЕНИЕ

В наше время продолжает быть актуальным вопрос дальнейшего уменьшения размеров устройств, для производства их на одном чипе. Технология производства интегральных схем пока следовала десятилетиями известному закону Мура. Дальнейшее увеличение количества устройств путем их уменьшения на интегральной микросхеме при современном прогрессе требует перейти границу закона Мура и сделать «больше чем закон Мура», к такому выводу пришли докладчики на научной конференции еще в 2008 году. Раскрывая эту тему, Kent, J.P. и Prasad, J, пришли к выводу, что «Больше чем закон Мура» означает интеграцию дополнительной неэлектронной функциональности в микросхему, что может означать фотонные, механические, и микроэлектромеханические системы и устройства, а также биологические интерфейсы и, например, микрожидкостные структуры. Чтобы эти новые функциональные возможности были приняты в микроэлектронной среде, их технологическое воздействие на текущую хорошо отлаженную технологию производства микрочипов должно быть низким, насколько возможно. Спустя несколько десятилетий после открытия техники формирования пористого кремния электрохимическим травлением, появились новые возможности со стороны инновационных совместимых функциональностей, одна из которых -использование пористого кремния в качестве энергетического материала.

Нанопористый кремний, заполненный окислителем - многообещающая структура для создания энергетического материала, совместимого с широко распространённой кремниевой технологией. В связи с тем, что в пористом кремнии расстояние между атомами кремния и окислителя находится в атомном масштабе, наблюдается значительное увеличение скорости окислительной реакций, что является ключевым моментом для взрывчатых реакций, которые необходимы нам для разрушения интегральных микросхем с информацией при несанкционированных доступах.

В настоящей диссертации будут рассмотрены зависимости влияния структурных параметров пористого кремния при электрическом инициировании на процессы разрушения кремневых интегральных микросхем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Актуальность работы определяется необходимостью разработки новых видов защиты информации от несанкционированных доступов на основе саморазрушения кремниевого чипа со слоем пористого кремния после подачи на чип высоковольтного разряда.

Цель и задачи исследования

Цель работы - изучение процесса создания пористого кремния путем электрохимического анодирования с последующим электрическим инициированием.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Методика создания и подборка нужных условий для создания пористого кремния с нужной толщиной, для саморазрушения чипа.
2. Электрическое инициирование образцов при разных пропитках образца перхлоратом натрия.
3. Анализ полученных данных.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является процесс получения пористого кремния определенной толщины с помощью электрохимического анодирования. Предметом исследования являются характеристики слоя пористого кремния, при котором образец саморазрушится.

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

1. Отработка режимов для формирования слоя пористого кремния при электрохимическом анодировании.
2. Методика пропитки и сушки образцов после электрохимического анодирования.
3. Методика электрического инициирования образцов со слоем пористого кремния.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Аналитическое исследование современных методов получения микро- и наночастиц проводилось соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были исследованы зависимости плотности тока и времени анодирования от толщины пористого слоя.

Апробация результатов диссертации. Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы, а также результаты прикладных

исследований и разработок были доложены на 54-й научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, 2018.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 39 наименований. Общий объем диссертации составляет 64 страницы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Образцы пористого кремния изготавливались на подложках монокремния р-типа проводимости, а именно кремний с дырочной электропроводимостью, легированным бором с удельным сопротивлением 10 Ом·см (КДБ-10) и структурными параметрами кремния.

Анодное травление осуществлялось в электрохимической ячейке с вольфрамовым катодом. Напряжение $U=10$ В. В качестве электролита использовался раствор 33% плавиковой кислоты HF и этилового спирта в объемном соотношении 1. Время травления образцов составляло 7,5-45 мин. Схема электрохимической ячейки представлена на рисунке 1

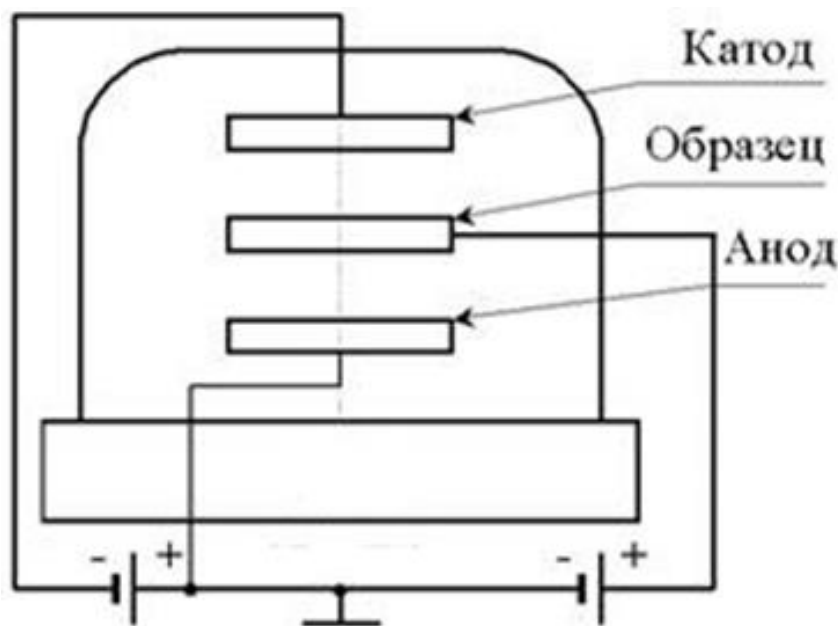


Рисунок 1 – Схематическое изображение ячейки анодирования

Исследование сколов образцов проводились на микроскопе МИИ-4.

Для инициирования процессов окисления в образцах использовалась самодельное устройство, подающего высоковольтный разряд. Процесс снимался на камеру. В качестве окислителя использовался перхлорат натрия NaClO_4 .

Образцы изготавливались партиями в зависимости от времени анодирования и типа кремния. После изготовления партии образцов, один образец отбирался для исследования толщины слоя пористого кремния на сколе при помощи интерференционного микроскопа МИИ-4 (далее – микроскоп).

При изготовлении партии КДБ-10 при времени анодирования 7,5 мин., на электрохимическую ячейку прикладывали напряжение формовки $U=10$ В,

плотность тока $j=44$ мА/см² для всех образцов. Измерения на сколе показали толщину слоя пористого кремния 19 мкм.



Рисунок 2 – Толщина слоя пористого кремния для образца КДБ-10 при времени анодирования 7,5 мин. Шаг линейки на рисунке равен 30 мкм

При изготовлении партии КДБ-10 при времени анодирования 15 мин., на электрохимическую ячейку прикладывали напряжение формовки $U=10$ В, плотность тока $j=44$ мА/см² для всех образцов. Измерения на сколе показали толщину слоя пористого кремния 40 мкм. На рисунке 3 показана толщина слоя пористого кремния.

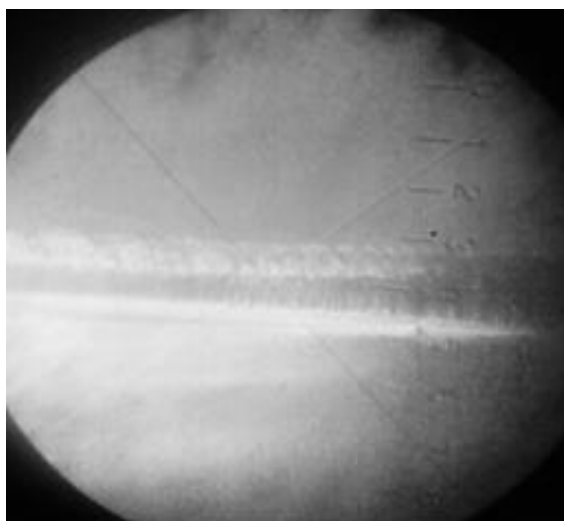


Рисунок 3 – Толщина слоя пористого кремния для КДБ-10 при времени анодирования 15

мин. Шаг линейки на рисунке равен 30 мкм

При изготовлении партии КДБ-10 при времени анодирования 30 мин., на электрохимическую ячейку прикладывали напряжение формовки $U=10$ В, плотность тока $j=44$ мА/см² для всех образцов. Измерения на сколе показали толщину слоя пористого кремния 88 мкм.

Исходя из этого был построен график (рис.5), для удобства просмотра полученных результатов при плотности тока $j=44$ мА/см².

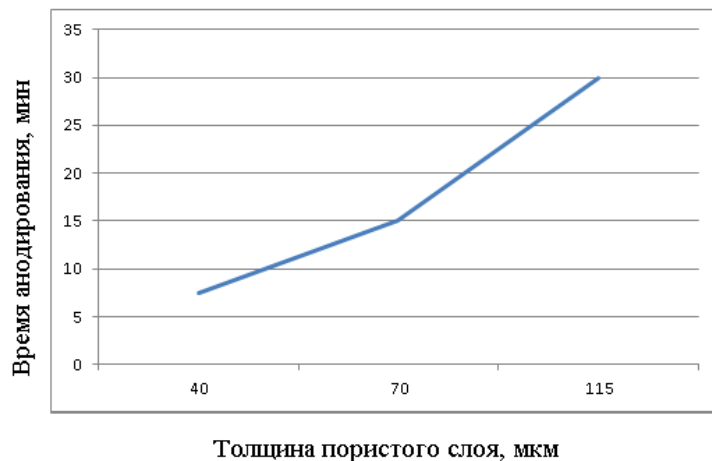


Рисунок 5 – Зависимость толщины пористого кремния от времени анодирования

Для достижения реакции окисления пористого кремния требуется пропитать поры окислителем. В данном эксперименте, в качестве окислителя, был выбран раствор перхлората натрия $NaClO_4$ в метаноле, потому как он хорошо остается в порах. Раствор окислителя наносился на образцы с помощью пипетки. В большинстве случаев, поры заполнялись двумя каплями раствора в два этапа: нанесение первой капли окислителя; 20 мин., высыхания в печи при 40°C; нанесение второй капли окислителя. Инициация образцов проводилась электрическим путем, подавая высоковольтный разряд на образец.

В первом эксперименте участвовали образцы КДБ-10 с временем анодирования 15,30,45 мин., образцы со временем анодирования до 30 мин остались целы, только сгорел слой пористого кремния (рисунок 6), а образцы с 30 мин и более разрушались полностью (рисунок 7).

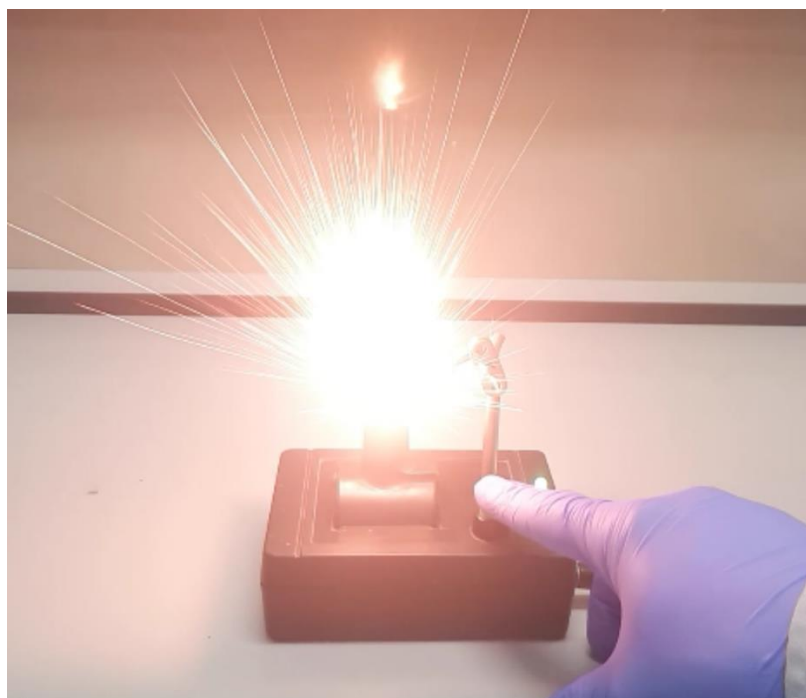


Рисунок 6 – Иницирование КДБ-10 при времени анодирования 15 мин., $U=10$ В, плотность тока $j=44$ мА/см²

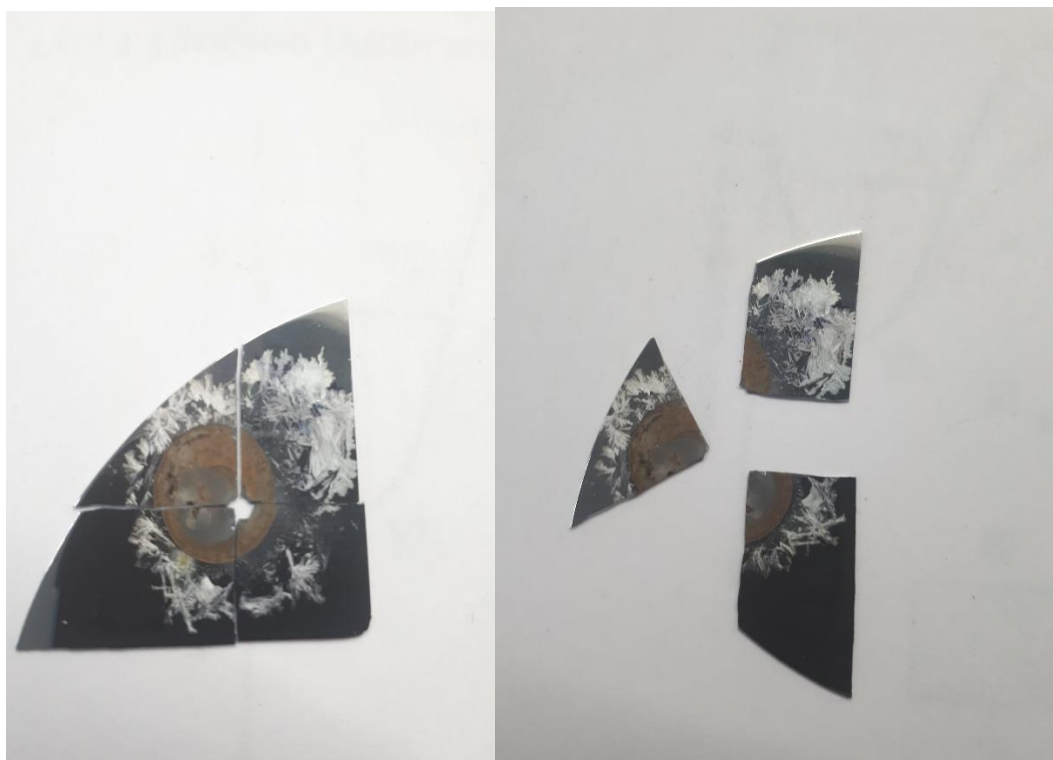


Рисунок 7 – Образцы КДБ-10 после иницирования, время анодирования 30 мин, плотность тока $j=50$ мА/см²

Так же были сделаны снимки КДБ 10 на СЭМ (сканирующая электронная микроскопия).

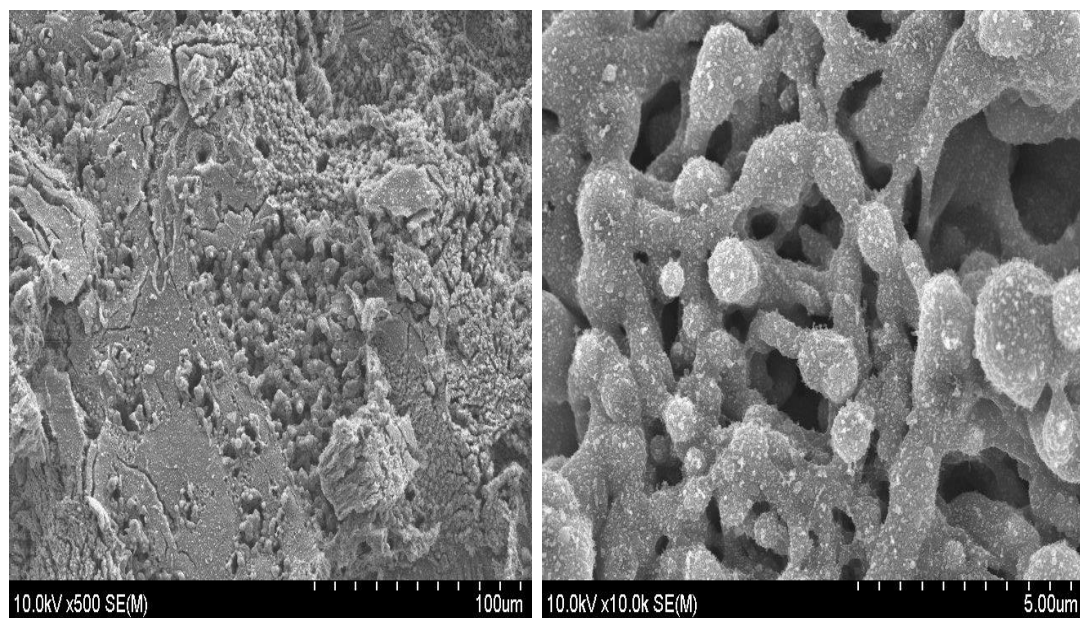


Рисунок 8 –Пористый кремний после взрыва под СЭМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании темы в рамках работы над диссертацией, установлены условия саморазрушения кремниевых чипов со слоем пористого кремния при электрическом иницировании. На основании проведенных нами исследований, сделан вывод, что подложка для саморазрушающегося чипа должна изготавливаться из кремния р-типа. При этом условии, пористый кремний имеет губкообразную структуру с толщиной стенок пор 3-6 нм. Площадь их удельной внутренней поверхности достигает величины более $200 \text{ м}^2/\text{см}^3$. Высокоразвитая поверхность пористого кремния поддерживает быстрые окислительные реакции, приводящие к процессу взрыва. Все образцы делались с одинаковым напряжением (10В) и одинаковой плотностью тока ($44 \text{ мА}/\text{см}^2$), нами изменялось только время анодирования. Кроме того, для КЭФ-4,5 мы изменили еще один параметр, а именно либо убрали источник света, либо включали светодиодный фонарь.

В итоге были получены следующие данные:

1) КЭФ-4,5 толщиной пористого кремния 40 мкм со светом и одной пропиткой не уничтожался, а слой пористого кремния сжигался. КЭФ-4,5 со светом и двумя пропитками уничтожался на крупные осколки. КЭФ-4,5 без света не иницировал;

2) КДБ-10 образец с толщиной пористого кремния 20 мкм не иницировал, образцы толщиной пористого кремния 40 мкм, толщиной пористого кремния 88 мкм и 120 мкм разрушились на множество мелких осколков;

3) КЭС-0,01 не иницировал.

Разрушение кремниевого чипа приводит к уничтожению микросхемы на нем, что может являться одним из вариантов защиты информации, хранимой на данном чипе.

Так же было установлено, что пластина КДБ-10 со слоем пористого кремния, должна иметь толщину пор не менее 90 мкм, для разрушения данного чипа с хранимой на нём информацией.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- [1] Электрическое инициирование воспламенения и горения наноструктурированного кремния. / С.Н. Кричевич // Доклады БГУИР: Сб. науч. Трудов. – Мн.: БГУИР. – 2018.
- [2] Увеличение механического импульса в МЭМС использующих энергию горения нанопористого кремния БГУИР (2015).
- [3] Mechanical impulse enhancement in microsystem based on nanoporous silicon by deflagration process (Proceedings of international conference «Nanomeeting» 26-29 May 2015, World Scientific, Singapore, p 548-551 (2015).