

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

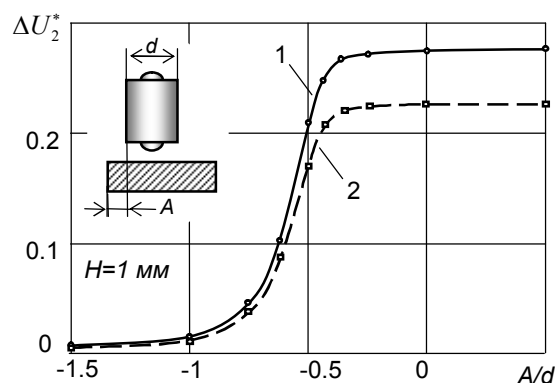


Рисунок 5 – Зависимость относительного вносимого напряжения преобразователя от расстояния до края объекта.

Для исключения проводного соединения был использован Bluetooth модуль, обеспечивающий беспроводное соединение на расстоянии более 10 м. Контактные преобразователи биений были заменены на бескон-

тактные взаимноиндуктивные. Осуществлена оптимизация конструктивных параметров взаимноиндуктивного преобразователя с использованием пакета моделирования COMSOL Multiphysics.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51245-99 «Трубы буровые стальные универсальные. Общие технические условия».
2. Гольдштейн А.Е., Якимов Е.В. Измерение отклонения от соосности сварных соединений буровых труб. // Ползуновский вестник, 2010, № 2, с. 65-69.

Д.т.н., заведующий кафедрой А.Е. Гольдштейн, тел. (3822) 418911, e-mail: algo1@tpu.ru; к.т.н., доцент Е.В. Якимов, тел. +7-903-952-8901, e-mail: shishkovka@mail.ru, магистранты Д.В. Алимов и Д.В. Вахрушев, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

УДК 621.315.592

КОНТРОЛЬ СВОБОДНЫХ СЛОЕВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ

Е.М. Назарова, В.А. Юзова, В.В. Гаврилов

Рассмотрены вопросы микроскопического контроля структуры пористых кремниевых пленок, отделенных от исходных монокристаллических подложек. Показано влияние технологии отделения пленок от подложек на их микроструктуру, целостность и прочность. Приводятся сведения о перспективности использования пористых слоев при изготовлении кремниевых микроэлектронных сенсоров.

Ключевые слова: контроль полупроводникового материала, электрохимическая обработка полупроводников, пористый кремний, пористые кремниевые пленки, микроэлектронный химический сенсор. Введение

Исследование структуры полупроводниковых материалов при изготовлении на их основе новых приборов представляет несомненный научный и практический интерес.

Проблема поиска новых возможностей в области создания компактных и дешевых микроэлектронных сенсоров стала особенно актуальной в последние годы в связи с общим ухудшением экологической обстановки. Перспективными сенсорными материалами являются пористые материалы в виду их большой удельной поверхности. Пристальное внимание исследователей и разработчиков в области сенсорики приковано к пористому кремнию (ПК) поскольку он хорошо сочетается с современными технологиями микро- и нанoeлектроники и, кроме того, обладает лю-

минесцентными свойствами в видимом диапазоне.

Основным компонентом химического сенсора является селективный слой, реагирующий на те или иные молекулы. Чувствительность этого слоя в полупроводниковых химических сенсорах в большей мере зависит от микроструктуры [1]. Микроструктурой достаточно просто управлять в пористом кремнии.

Слои пористого кремния получают электрохимической обработкой пластин монокристаллического кремния в растворах плавиковой кислоты. В зависимости от режимов анодирования, степени легирования исходного кремния донорными или акцепторными примесями, состава электролита и т.д. ПК может

КОНТРОЛЬ СВОБОДНЫХ СЛОЕВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ

иметь широкий диапазон пористости (2 – 85%) и, как следствие, многообразие микроструктур и электрических свойств [2].

Достоверный контроль микроструктуры и электрических свойств пористых слоев зачастую возможен только при отделении их от образцов исходного кремния, так как в этом случае характеристики подложки не будут влиять на результаты измерений.

Цель настоящей работы – проведение микроскопического контроля структуры пористых кремниевых слоев при их получении и отделении от исходных подложек.

Методика эксперимента

Существует несколько способов отделения пористых слоев от кремниевых подложек [3]. Нами были опробованы все описанные способы. Однако, слои либо не отделялись, либо отделенные пленки крошились, что затрудняло дальнейший их контроль и использование.

В качестве исходных подложек нами использовались полированные с обеих сторон пластины монокристаллического кремния р-типа с удельным сопротивлением $\rho = 0.01 \Omega \cdot \text{см}$ и $\rho = 6 \Omega \cdot \text{см}$, выращенные методом Чохральского, кристаллографической ориентации (100). Пористые слои формировались в двухкамерной фторопластовой ячейке одновременно с двух сторон исходной кремниевой пластины при подаче положительного потенциала на образец (рисунок 1). В качестве электролита применялся водный раствор концентрированной плавиковой кислоты (в соотношении 1:1), так как он обеспечивает получение образцов с хорошей воспроизводимостью и равномерностью распределения пор [4]. Эксперимент проводился в два этапа.

На первом этапе формировались слои пористого кремния с двух сторон исходной кремниевой пластины. Для получения пор диаметром менее 1 мкм плотность тока составляла 5 – 10 мА/см², время анодирования – 60 – 145 мин. Травление производилось при комнатной температуре без освещения.

На втором этапе осуществлялось отделение сформированных пористых слоев от исходной пластины. Для этого использованный электролит заменялся на свежий раствор плавиковой кислоты того же состава.

Плотность тока увеличивалась примерно в четыре раза, и время анодирования составляло 15 – 30 мин.

Контроль структуры пористых слоев производился на растровом электронном микроскопе ТМ-1000. Геометрические параметры

слоев измерялась с помощью интерферометра.

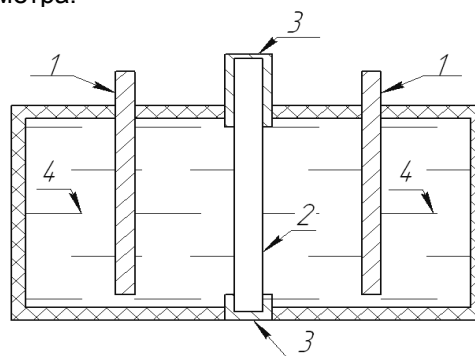


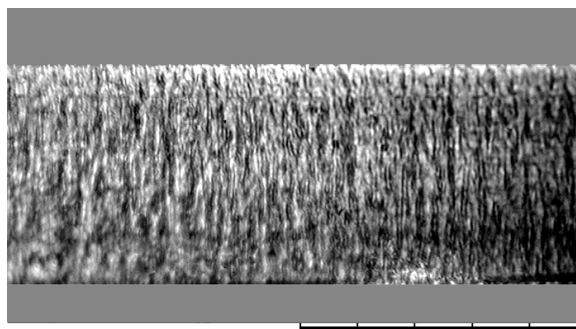
Рисунок 1 – Сечение ячейки для получения пористых кремниевых слоев с двух сторон: 1 – никелевые катоды, 2 – пластина исходного кремния, 3 – алюминиевый омический контакт, 4 – электролит

Полученные результаты и их обсуждение

По результатам измерения толщина пленок, отделенных с обеих сторон исходной кремниевой пластины, была одинакова и составляла в зависимости от плотности тока и времени процесса анодирования величину от 50 до 80 нм. Типичная структура пленок представлена на микрофотографии скола (рисунок 2).

Структура наружных (А) и внутренних поверхностей (В) свободных от исходной подложки пленок (рисунок 3) не одинакова. На поверхности А (рисунок 4) наблюдаются равномерно распределенные поры примерно одинакового размера для всех плотностей используемого тока. Размер этих пор не превышал 1 мкм.

На поверхности В пористой пленки четко просматриваются канавки, разделенные достаточно большими (десятки микрон) островками (рисунок 5). При этом канавки и островки оказываются пронизанными нанометровыми порами. Размер перегородок между порами приблизительно равен диаметру пор.



ТМ-1000 100 мкм

Рисунок 2 – Микрофотография скола образца пористой пленки

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

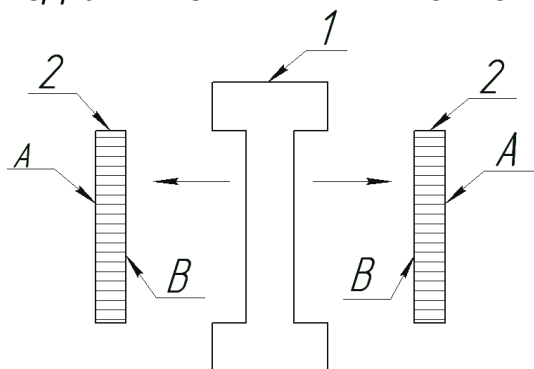


Рисунок 3 – Схема экспериментальных образцов: 1 – исходный образец, 2 – пористые пленки (A и B соответственно внешние и внутренние стороны пористых пленок)

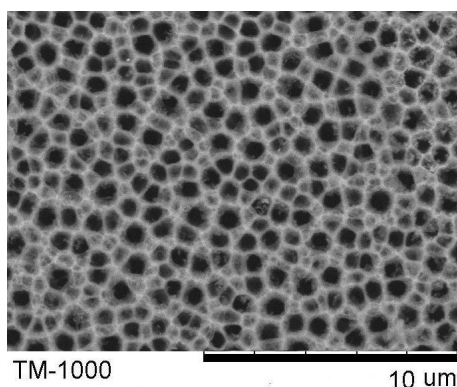


Рисунок 4 – Микрофотография поверхности пористого кремния (сторона A)

На обеих поверхностях пластины исходного кремния в местах отделения пористых пленок также формировалась неоднородная структура в виде бороздок с поперечными размерами в десятки микрон. На этих бороздках поры «прорастали» в исходный образец.

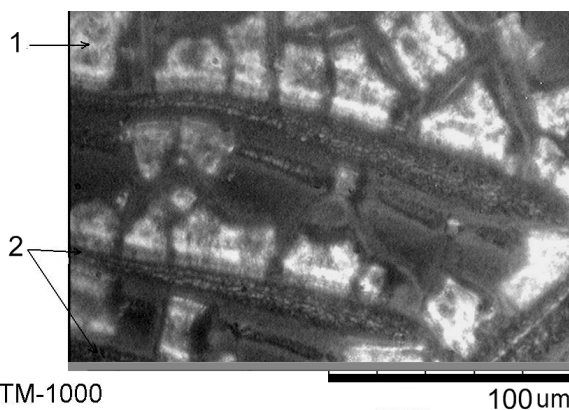


Рисунок 5 – Микрофотография поверхности B: 1 – островки, 2 – канавки

Аналогичную структуру поверхности пористых слоев, полученных на кремнии p-типа с $\rho = 10 \hat{I} \hat{i} \cdot \hat{n} \hat{i}$ в водно-спиртовых растворах плавиковой кислоты в определенных диапа-

зонах плотностей тока и временах процесса анодирования, фиксировали авторы работы [5]. Появление островков они связывали с наличием воды в электролите, незначительными по величине плотностью тока и временем травления. С увеличением этих параметров островки исчезали, и появлялся однородный слой, целиком пронизанный макропорами. Наши попытки увеличить на втором этапе травления плотность тока и (или) время анодирования приводили к полному разрушению пленки (раскрашиванию) или отслаиванию кусочками.

Получение нами целостных толстых и прочных пористых свободных пленок мы связываем с проведением процесса анодирования в две стадии. На первой стадии при малых плотностях тока и длительном процессе анодирования формируется наноразмерная структура толстых пористых слоев. На второй стадии осуществляется «мягкий» переход к процессу электрополировки, заключающийся в проведении процесса анодирования в свежем электролите при увеличенных в 4 раза плотностях тока и времени 15-30 min. При этом пористые слои отделяются от исходных подложек в виде свободных целых и прочных пленок. Образующие островки на внутренних поверхностях свободных пленок являются ребрами жесткости, которые не позволяют пленке разрушаться при ее отделении от подложки.

Заключение

В данной работе проведены микроскопические исследования структуры и геометрических параметров наружных и внутренних поверхностей кремниевых пористых пленок, отделенных от исходных подложек монокристаллического кремния. Показано влияние технологии отделения пленок от подложек на их микроструктуру, целостность и прочность.

Полученные результаты контроля позволили регулировать технологические процессы формирования пористых слоев и отделения их от пластин монокристаллического кремния одновременно с двух сторон.

Проведенные исследования найдут применение как в разработке методов контроля электрических параметров пористых структур, так и при создании кремниевых микроэлектронных сенсоров.

Авторы благодарят за получение РЭМ микрофотографий инженера Центра коллективного пользования СФУ Кожурина А.Н.

Работа выполнена по тематическому плану (тема № П6) и программе развития ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет».

ИМПУЛЬСНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ УПРУГИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волькейштейн, Ф.Ф. Физико-химия поверхности полупроводников [Текст] / Ф.Ф. Волькейштейн. – М.: Наука, 1973 – 399 с.
2. Зимин С.П. Классификация электрических свойств пористого кремния [Текст] /С.П.Зимин // Физика и техника полупроводников. – 2000. - №3. С. 359-1363.
3. Горячев Д.Н. Свободные люминесцирующие слои пористого кремния [Текст] / Д.Н. Горячев, Л.В. Беляков // Физика и техника полупроводников. – 2010. - №12. С. 1636 - 1639.
4. Гаврилов С.А. Изменение механизма формирования слоев пористого кремния при анодной поляризации [Текст] / С.А. Гаврилов, В.А. Караванский, И.Н. Сорокин, Н.Н. Мельник // Электрохимия. – 2009. - №9. – С. 364-369.
5. Буллах Б.М. Взаимосвязь морфологии пористого кремния с особенностями спектров комбинационного рассеяния света [Текст] / Б.М. Буллах, Н.Е.Корсунская // Физика и техника полупроводников. – 2002. №5. –С. 587-592.

Студентка 5 курса Е.М. Назарова – evgesha_nazarova@mail.ru. К.т.н., проф. В.А. Юзова – yuzovav@yandex.ru, тел.8 (391) 2-498 -203. Студент 5 курса В.В. Гаврилов – vovka_gavrilov@mail.ru ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», каф. «Приборостроение и наноэлектроника».

УДК 534.2; 53.08

ИМПУЛЬСНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ УПРУГИХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ

П.П. Турчин, А.А. Парфенов, Н.А. Токарев, А.Е. Нестеров,
А.Ю. Тарасова, К.С. Александров

На основе эхо-импульсного метода разработана автоматизированная экспериментальная установка для измерения скоростей упругих волн в кристаллах. Определены скорости акустических волн в пьезоэлектрике $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ и сегнетоэластиках $\text{K}\text{Pb}_2\text{Br}_5$ и $\text{Rb}\text{Pb}_2\text{Br}_5$

Ключевые слова: эхо-импульсный метод, автоматизированные измерения, упругость, монокристаллы.

Введение

Прямые измерения скоростей объемных акустических волн (ОАВ) являются наиболее эффективным методом изучения упругих свойств монокристаллов и других твердых тел [1, 2]. Известны применения таких измерений для определения упругости горных пород [3], композиционных и керамических материалов [4] и др. Определение скоростей звука в материалах, подверженных внешним воздействиям, либо в меняющихся термодинамических условиях, дает информацию о нелинейных характеристиках твердых тел [5-8]. Наиболее полные представления об особенностях рассматриваемых измерений в однородных и анизотропных средах позволяют получить исследования распространения упругих волн в монокристаллах.

Для определения скоростей ОАВ разработаны различные динамические экспериментальные методы – резонансные, фазовые, интерферометрические [1,2,9] – каждый из которых имеет собственную точность и чувствительность. Но наибольшее распространение для исследований упругих свойств монокристаллов получил эхо-импульсный

метод [1,10], точность которого при абсолютных измерениях составляет 10^{-4} , а при относительных 10^{-6} .

Особенности автоматизированных измерений первыми тремя методами описаны в [9]. Подходы и требования к цифровым измерениям импульсными методами изучены в [10]. Вместе с тем являются актуальными вопросы точности автоматизированных измерений, временной стабильности цифровых данных при процессорном управлении акустическими исследованиями, а также новые функциональные возможности детектирования и обработки сигнала, предоставляемые современной цифровой техникой.

В работе исследуются особенности автоматизированных ультразвуковых измерений скоростей упругих волн в монокристаллах эхо-импульсным методом, реализованным на основе цифрового осциллографа DPO 72004 с применением внешней стабилизации его тактовой частоты. Выполнено сопоставление значений скоростей ОАВ в исследованном ранее аналоговом методом тригональном пьезоэлектрике $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ [6] и измеренными разработанным методом. Получены экс-