

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения,  
технологии и управления  
качеством

**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТОГО И АМОРФНОГО КРЕМНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 421 группы  
направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии новых материалов»  
факультета nano - и биомедицинских технологий  
Манцурова Антона Андреевича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Д.В. Терин  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

С.Б. Вениг  
инициалы, фамилия

Саратов 2017 г.

## Введение

Кремний является основным материалом современной электроники: на его основе изготавливается 95% интегральных микросхем и свыше 90% полупроводниковых приборов и устройств. Достоинством материала является то, что он может быть получен в разных структурных модификациях, каждая из которых обладает уникальным набором свойств, совместимы друг с другом и с технологическими процессами получения.

Пористый кремний (далее - ПК) является перспективным материалом микро - и наноэлектроники. Свойства данного материала на протяжении последних лет активно исследуются.

Исследование ПК имеет как теоретическое, так и практическое значения. С одной стороны, это фундаментальное понимание процессов, происходящих при трансформации физических характеристик монокристаллического вещества в свойства той или иной пористой системы. ПК получил широкое распространение благодаря возможности изменения физических свойств в широком интервале путём выбора параметров и режимов травления. Также является актуальным применение модификации ПК с помощью насыщения другим веществом для улучшения физико-химических свойств.

Пористый кремний можно рассматривать как монокристаллический кристалл с разветвлённой системой отверстий (пор). Нанопоры имеют, как правило, губчатую структуру, образуют каналы, которые разделены оставшимся после травления кристаллическим «скелетом». Кроме того, в результате реакции, на поверхности монокристалла происходит осаждение кремния из раствора. Физические свойства ПК существенно зависят от формы, диаметра пор и их количества (пористости материала), а также толщины разделяющих поры стенок кремния и состава соединений, образованных в процессе травления на поверхности и в объёме пор.

Использование спектральной зависимости коэффициента отражения и поглощения позволяет определить ширину запрещенной зоны в исследуемых

материалах. Поэтому использование метода определения ширины запрещенной зоны в тонких слоях аморфного кремния позволит установить зависимость излучательных свойств аморфных кремниевых слоев от технологических параметров их получения, что важно для применения в области современной наноэлектроники.

Целью бакалаврской работы служит: изучение оптических свойств пористого и аморфного кремния.

Задачами бакалаврской работы являлись:

- Исследование фотолюминесценции образцов пористого кремния, подвергнувшихся радиационному облучению в режиме малых доз;

- Получение зависимости ширины запрещенной зоны тонких пленок аморфного кремния, полученного методом магнетронного распыления, от технологических параметров.

## Основное содержание работы

**Исследование оптических свойств пористого кремния.** С целью изучения влияния гамма – облучения на фотолюминесценцию пористого кремния были взяты 6 образцов ПК. Которые разделили на 2 группы А и В. К группе А относятся образцы ПК полученного на облученной подложке. К группе В относятся образцы на которых облучался слой ПК. Для сравнения исходным считался образец ПК127, полученный на необлученной подложке и без облучения слоя.

Обработка спектров фотолюминесценции, проводилась в программе для работы с электронными таблицами Microsoft Excel и программе для численного анализа данных и научной графики - OriginPro 8.

Так же для уточнения положения пика  $\lambda_{\max}$  спектра фотолюминесценции, проводилась нормировка спектров.

**Исследование оптических свойств аморфного кремния.** Напыление тонких пленок на поверхность стеклянных и кварцевых подложек проводилось методом магнетронного распыления.

Подготовка образцов:

Проводилась механическая очистка в водном растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . После этого подложки промывались дистиллированной водой и подвергались очистке в ультразвуковой ванне в растворе изопропилового спирта  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$  в течение 10 минут. Подложки не взвешивали.

Контроль давления в камере:

Через встроенную систему газонапуска, давление контролируется за счет расхода подаваемого газа и пневматического клапана, который регулирует скорость откачки газа из камеры. Давление при зажигании плазмы – 20 мТорр, при напылении пленки 1.5-8.5 мТорр (по выбору). Время напуска ~1-2 с.

Время процесса осаждения:

При фиксированной толщине - в зависимости от давления. Скорость роста плёнки больше при низких давлениях, ниже при высоких, таким

образом, время процесса осаждения для плёнок толщиной 200 нм ~5 минут для давления 1.5 мТорр и ~ 6.5 минут для давления 8.5 мТорр. Подложка в камере располагалась на расстоянии 15 см по нормали от мишени.

Контроль толщины напыляемой пленки:

Встроенный пьезокварцевый датчик толщины плюс дополнительный контроль толщины с помощью СЭМ (пленку напыляли на подложку GaAs, делали скол и по сколу определяли толщину).

Завершение процесса:

По достижении необходимой толщины (по показаниям пьезокварцевого датчика) магнетрон отключался. Отключали нагрев подложки, ждали, пока подложка остынет до 50°C или ниже (при начальной 150°C). Напуск воздуха в камеру. Извлечение из камеры образцов.

Далее на полученных образцах измерялась ширина запрещенной зоны по:

- спектральной зависимости коэффициента пропускания и отражения, полученной на спектрофотометре (СФ -56, СФ – 2000 с приставкой отражения);

- значениям показателя преломления -  $n$ , поглощения -  $k$ , структуры из полученных по спектральной зависимости на спектроэллипсометре (Эллипс – 1000 АСГ) эллипсометрических параметров  $\Psi$  и  $\Delta$ .

В дальнейшем для аморфного кремния была получена зависимость ширины запрещенной зоны, тонких пленок аморфного кремния на стекле, от давления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пористый кремний (ПК) - материал обладающий сильной фотолюминесценцией. Поэтому используя фотолюминесценцию в качестве метода исследования, во время прохождения преддипломной практики снималась спектральная зависимость фотолюминесценции в видимой области спектра на образцах пористого кремния, подвергнутых радиоактивным облучению разных доз. Это важно для практического применения в области современной опто - и наноэлектроники.

Во время прохождения преддипломной практики было сделано следующее:

1 Исследована фотолюминесценция образцов пористого кремния, подвергнувшихся радиационному облучению в режиме малых доз;

2 Исследована зависимость ширины запрещенной зоны тонких пленок аморфного кремния, полученного методом магнетронного распыления, от технологических параметров.

Получены следующие результаты:

Для пористого кремния интенсивность пика фотолюминесценции увеличивается в зависимости от дозы радиационного облучения, так же обнаружен сдвиг максимума фотолюминесценции в зависимости от дозы облучения в голубую область спектра (630 – 648 нм).

Для аморфного кремния получена зависимость ширины запрещенной зоны, тонких пленок аморфного кремния на стекле, от давления.

Значения ширины запрещенной зоны находили:

- по спектральной зависимости коэффициента пропускания и отражения;

- по значениям показателя преломления -  $n$ , поглощения -  $k$ , структуры из полученных по спектральной зависимости эллипсометрических параметров  $\Psi$  и  $\Delta$ .

Значения ширины запрещенной зоны отличаются, так как погрешность определения ширины запрещенной зоны в случае эллипсометрического

контроля гораздо выше. Измеряемое значения коэффициента  $\alpha$  непосредственно включает в себя поглощение, определяемое шероховатостью поверхности исследуемых слоев.

Вычислительный эксперимент показал, что определяемое по  $\Psi$  и  $\Delta$ , значение ширины запрещенной зоны для аморфного кремния завышены. Поэтому при исследовании зависимости ширины запрещенной зоны от давления, основным результатом можно считать полученным по коэффициентам пропускания и отражения.

Определяемое значение  $\alpha$ , зависит не только от свойств аморфного кремния, но и от свойств поверхности исследуемых слоев. Шероховатость слоя вносит аддитивный вклад  $\alpha$  поверхности к  $\alpha$  слою.

Ряд положений данной работы докладывалось на 8 – ой международной конференции *PRESENTING ACADEMIC ACHIEVEMENTS TO THE WORLD*.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Балагуров, Л. А. Пористый кремний: Получение, свойства, возможные применения / Л. А. Балагуров. Издательство: Планета, 1998. 16 с.

2 Википедия [Электронный ресурс]: свободная энциклопедия / текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike ; Wikimedia Foundation, Inc, некоммерческой организации. Электрон. дан. (712413 статей, 2479181 страниц, 117 104 загруженных файлов). Wikipedia®, 2001- . URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Пористый\\_кремний](http://ru.wikipedia.org/wiki/Пористый_кремний) (дата обращения 10.04.2017). Загл. с экрана. Последнее изменение страницы 23 февраля 2014 года. Яз. рус.

3 Степаненко, И. Б. Основы микроэлектроники. / И. Б. Степаненко. М., 1980, 423 с.

4 Гаврилов, С. А. Электрохимические процессы в технологии микро- и нанoeлектроники: учебное пособие / С.А. Гаврилов. М. 2009. 257 с.

5 Биленко, Д. И. Электрофизические и оптические свойства пористого кремния / Д. И. Биленко, Э.А. Жаркова, Е. И. Хасина, Ю. Н. Галишникова // ФТП т.17 вып. 11, 1983. С. 2090-2092.

6 Серебренников, Г. М. Выявление скрытых периодичностей / Г. М. Серебренников, А. А.Первозванский // М. Наука 1965. 56 с.

7 Николаев, К. П. Особенности получения и области применения пористого кремния в электронной технике / К. П. Николаев, Л. Н. Немировский // Обзоры по электронной технике, с. 2, выпуск 9, М. 1989. 23 с.

8 Кашкаров, П. К. Необычные свойства пористого кремния / П. К. Кашкаров // Соревский образовательный журнал. 2001. С. 102 - 107.

9 Зимин, С. П. пористый кремний – материал с новыми свойствами [Электронный ресурс] / С. П. Зимин // [Электронный ресурс]: [сайт]. URL:



[http://physics.uniyar.ac.ru/downloads/papers/SorosJ\\_SPZ.pdf](http://physics.uniyar.ac.ru/downloads/papers/SorosJ_SPZ.pdf) (дата обращения: 05.06.15) Загл. с экрана. Яз. рус.

10 Википедия [Электронный ресурс]: свободная энциклопедия / текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike ; Wikimedia Foundation, Inc, некоммерческой организации. Электрон. дан. (712413 статей, 2479181 страниц, 117 104 загруженных файлов). Wikipedia®, 2001- . URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/растровый\\_электронный\\_микроскоп](https://ru.wikipedia.org/wiki/растровый_электронный_микроскоп). (дата обращения: 10.04.2017) Загл. с экрана. Яз. рус.

11 Гоулдстейн, Д. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / Д. Гоулдстейн, Д. Ньюберн, П. Элчин, Д. Джой, Ч. Фиорич, Э. Лифшин // В 2-х книгах. Книга 1. Пер. с англ. - М. : Мир. 1984. 108 с.

12 Дремова, Н. Н. Простая методика определения состава и размерных параметров слоистых структур. / Н. Н. Дремова // Прикладная физика. 2006. Вып. 3. 126 с.

13 Рид, С. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия / С. Рид, И. М. Романенко // М. 2008. 126 с.

14 Гоулдстейн, Д. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / Д. Гоулдстейн, Д. Ньюберн, П. Элчин, Д. Джой, Ч. Фиорич, Э. Лифшин // В 2-х книгах. Книга 2. Пер. с англ. - М.: Мир. 1984. 65 с.

15 Воробьев, А. А. Бетатрон на 25 Мэв. / А. А. Воробьев, В. И. Горбунов, В. Н. Титов // Журн. Известия высших учебных заведений. 1957. 60 с.

16 Вакуумные технологии [Электронный ресурс] // Вакуумный универсальный пост ВУП-5 [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: <http://www.ameqs.ru/info/shop/1158/> (дата обращения: 10.04.2017). Загл. с экрана. Яз. рус.

