

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Масс-спектрометрическое исследование плёнок аморфного кремния на
монокремнии**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 412 группы
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий

Уткина Дмитрия Михайловича

Научный руководитель

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

А.Г. Роках

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Саратов 2017 г.

Введение

Наноэлектроника одна из самых быстроразвивающихся областей электроники. В настоящее время одной из наиболее актуальных задач современной твердотельной электроники является получение тонких пленок полупроводников, металлов и диэлектриков. Именно на тонкопленочных технологиях основывается современная микроэлектронная и наноэлектронная промышленность. Одним из основных материалов твердотельной электроники является Кремний. Развитие кремниевой тонкопленочной технологии, в том числе, усовершенствование известных и разработка новых способов изготовления тонких пленок аморфного кремния, совместимых с технологией интегральных микросхем, дает новые возможности для получения недорогих устройств и приборов с улучшенными характеристиками для электроники.

Изучение воздействия ионного распыления как метод исследования состава образцов, полученных методом магнетронного нанесения, является актуальной задачей, так как однозначная интерпретация наблюдаемых явлений для многих конкретных случаев отсутствует.

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбраны тонкие пленки аморфного кремния. В изученных работах [14], [15] исследования проводятся на пленках гидрогенизированного кремния.

Аморфный кремний обладает большей радиационной стойкостью, в то время как гидрогенизированный кремний при любом облучении теряет атомы водорода, следовательно, меняются свойства пленок. Чаще всего радиационная стойкость коррелируется со стойкостью к деградации пленки в целом.

Исследуемые образцы представляют собой тонкие пленки аморфного кремния на подложке кремния толщиной порядка 200 нм и 500 нм,

полученные способом магнетронного распыления при давлении рабочего газа 1,5 мТорр. Предмет исследования – масс-спектрометрические характеристики тонких пленок аморфного кремния напыленных при разных давлениях, различной толщины на различных подложках.

Целью работы было исследование вторично-ионной масс-спектрометрии гетероструктур кремния на монокремнии и кремния на арсениде галлия при освещении белым светом.

В соответствии с описанной целью были поставлены следующие **задачи**:

- Нанесение тонких пленок a-Si толщиной 500, 200, 100 и 50 нм при различных давлениях рабочего газа (аргона) на подложки из кремния КЭФ 0,3 ; КЭФ 4; КДБ 4,5; КДБ 10 ;
- Масс-спектрометрия полученных пленок
- Исследование механизмов распыления и типов подложек, влияющих на полученные результаты

Методы исследования:

Экспериментальные исследования проводились с использованием вторично-ионной масс-спектрометрии.

Представленные в работе экспериментальные и теоретические исследования позволили установить следующие закономерности:

Обнаружены:

Результатом начального этапа исследований стало обнаружение влияния освещения на выход положительных вторичных ионов кремния на пленках толщиной 200 нм, нанесенных на подложки КЭФ 0,3 при давлении рабочего газа 1,5 мТорр.

Исследования проводились с помощью записи экспериментального профиля ВИМС распределения элемента по глубине.

Научная новизна и значимость

Научный интерес в данной работе состоит в изучении природы вторично-ионного фотоэффекта (ВИФЭ). Ранее пленки аморфного кремния,

полученные магнетронным распылением не исследовались на наличие этого эффекта.

Выявление в образцах фоточувствительности послужило причиной наблюдения ВИФЭ в них, в следствие чего можно предположить ,что с изменением спектрального состава света интенсивность выхода вторичных ионов увеличивается на определенных длинах волн.

Такое утверждение позволит получить управляемое распыление, то есть кроме ионного пучка, используемого при вторично-ионной масс-спектрометрии, управление будет осуществляться световым пучком, являющимся независимым источником управления, так как имеется гальваническая развязка с высоковольтной вакуумной системой и возможность дополнительного управления по оптическому каналу, особенно путем изменения спектрального состава света.

Также данная работа может быть полезна в новой сфере ионно-лучевой технологии — оптоионике, которая обладает частичной аналогией с твердотельной и вакуумной оптоэлектроникой. Вторично-ионный фотоэффект, пока что пребывающий в стадии изучения, уже представляет дополнительные возможности для исследования механизма фотопроводимости широкозонных полупроводников.

Практическое применение

На одной из международных промышленных выставок компания «Нью Энерджи» в 2012 году представила портативные солнечные батареи из аморфного кремния SUN-CHARGER , фотоэлементы которых обеспечивают прочность, легкость и гибкость устройства.

Основное содержание работы

Для масс-спектрометрического исследования плёнок аморфного кремния на монокремнии, с помощью установки Angstrom Engineering EVOVAC была получена серия тонких пленок аморфного кремния на

кремниевой подложке при давлении рабочего газа (аргона) 1,5 мТорр и 8,5 мТорр. Выбранные подложки:

1) КЭФ 0,3 – Si с электронной проводимостью, легированный фосфором, удельное сопротивление 0,3 Ом*см

2) КЭФ 4 – Si с электронной проводимостью, легированный фосфором, удельное сопротивление 4 Ом*см

3) КДБ 4,5 – Si с дырочной проводимостью, легированный бором, удельное сопротивление 4,5 Ом*см

4) КДБ 10 – Si с дырочной проводимостью, легированный бором, удельное сопротивление 10 Ом*см

Данный метод выбран по причине его высокой скорости распыления материала мишени, управляемости процесса и хорошей адгезии пленки к поверхности подложки. В качестве рабочего газа использовался аргон, такое решение для магнетронного распыления выбрано по причине инертности, относительно большой атомной массы и дешевизне газа.

Полученные образцы исследовались на наличие вторично-ионного фотоэффекта путем снятия профилей распределения элементов по глубине при наличии освещения галогенной лампой с освещенностью 2 клк и без такового.

Вторично-ионный фотоэффект был обнаружен на образце с толщиной пленки аморфного кремния 200 нм., подложкой КЭФ 0,3. Из всех полученных данных можно сделать вывод:

1. Оптимальная толщина пленки аморфного кремния 200нм., т.к. на толщинах 300нм. вторично-ионный фотоэффект был слабее, а на толщине 100нм. вовсе отсутствовал.
2. Оптимальное давление рабочего газа (аргона) при напылении пленок 1,5 мТорр, т.к. при увеличении давления, вторично-ионный фотоэффект пропадает.

Модель теоретического объяснения полученных результатов

У образцов, толщина пленок которых 200 нм, белый свет разных длин волн проникает на большую глубину, чем ионный пучок и там рождает электронно-дырочные пары, которые попадают в тянущее поле, образованное положительно заряженной поверхностью и землей. После чего образованные электронно-дырочные пары разделяются. Электроны движутся к положительно заряженной поверхности и там рекомбинируют. Энергия рекомбинации приводит к локальному повышению температуры и расшатыванию кристаллической решетки. На ослабленную кристаллическую решетку попадает ионный пучок и ему легче выбить ионы решетки, следовательно, при освещении выход вторичных ионов увеличивается.

У пленок меньшей толщины (100 нм) вторично-ионный фотоэффект не возникает, потому что световой пучок действует на зону, в которую проникают первичные ионы, там нарушена структура кристаллической решетки. Следовательно, электронно-дырочные пары там не образуются или образуются в малом количестве, поэтому вторично-ионный фотоэффект отсутствует.

Если пленка большей толщины (300 нм) вторично-ионный фотоэффект не наблюдается, потому что образовавшиеся электронно-дырочные пары разделяются в поле, но до облучаемой поверхности не доходят, т.е. диффузионная длина слишком мала.

Увеличение давления при напылении пленки увеличило скорость напыления. При большей скорости напыления кристаллическая структура ухудшается. Среда становится более аморфной, в ней диффузионная длина носителей заряда меньше, они не доходят до поверхности и вторично-ионный фотоэффект не наблюдается.

Вторично-ионный фотоэффект явно наблюдался на образцах с подложками n-типа. Подложка n-типа обладает множеством носителей

заряда, которые при бомбардировке пленки на такой подложке стремятся к поверхности, так как поверхность при бомбардировке положительными ионами заряжается положительно. Далее происходит рекомбинация носителей заряда, что приводит к расшатыванию ионов кристаллической решетки на поверхности пленки аморфного кремния и выходу ионов в вакуум.

На подложках р-типа приведенного выше механизма нет, из-за того что р-п переход смещен ионным пучком в запирающем направлении. Следовательно, нет движения электронов к поверхности с их последующей рекомбинацией и расшатыванием решетки.

Заключение

Настоящая работа раскрывает очень актуальную тему, которая поможет развитию такого научного направления как оптоионика. На основании полученных результатов можно предполагать развитие новой технологии по получению наноструктур, где выход вторичных ионов регулируется световым потоком.

Полученные магнетронным распылением тонкие пленки аморфного кремния исследованы на наличие вторично-ионного фотоэффекта. Фотоэффект обнаружен в образцах с подложками n-типа, что объясняется моделью теоретического объяснения в главе 3.

Также исследованы электрофизические характеристики образцов, которые могли влиять на выход вторичных ионов. Установлено, что самая оптимальная толщина пленок составляет 200 нм., а самая оптимальная подложка КЭФ 0,3, увеличение давления рабочего газа при нанесении пленок слабо влияет на обнаружение ВИФЭ, а отжиг пленок наоборот способствует выходу вторичных ионов.

Последующими этапами в данном исследовании может стать:

- Определение возможности спектрального управления выходом вторичных ионов
- Выявление спектральной границы наблюдения ВИФЭ на полученных пленках

Результаты проведенной работы помогут при разработке технологических процессов создания тонкопленочных полупроводниковых структур, в производстве солнечных элементов и других оптоэлектронных устройств. Также полученные данные могут быть использованы при разработке способов получения наноразмерных структур, перспективных для применения в аморфных сверхрешетках.