

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ В СПЕЦПРАКТИКУМЕ ПО ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

Людчик О.Р., Зайков В.А., Михей В.Н., Вишневская Е.В.

Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

Введение

Лазерный отжиг, нанесение покрытий с уникальными свойствами, лазерная маркировка, формирование объемных изображений внутри прозрачных материалов – вот далеко не полный перечень задач, успешно решаемых с помощью автоматизированного лазерно-технологического оборудования [1–3]. В последнее время применение лазеров в технологии микро- и нанoeлектроники расширяет возможности получения принципиально новых приборных структур с уникальными свойствами.

Для полупроводников основными видами поглощения лазерного излучения являются [4]:

- фундаментальное поглощение, которое приводит к переходу электрона из валентной зоны в зону проводимости при условии $h\nu \geq E_g$, где E_g - ширина запрещенной зоны, а ν - частота лазерного излучения;

- примесное поглощение, вызванное переходом электронов от атома примеси в зону проводимости, или из валентной зоны на уровни примеси;

- поглощение свободными носителями заряда, обусловленное движением под действием электрических полей световой волны;

- поглощение фононами, когда волна вступает во взаимодействие с колебаниями решетки, изменяя при этом число фотонов;

- экситонное поглощение, которое происходит с образованием связанной пары электрон-дырка.

Для достижения максимально положительного результата лазерной обработки необходимо учитывать нелинейные параметры коэффициентов поглощения, отражения и пропускания излучения полупроводниковым материалом, которые нелинейно изменяются с увеличением мощности излучения лазера [5].

В настоящее время на кафедре физической электроники и нанотехнологий БГУ в специальном практикуме по лазерной обработке материалов апробируется лабораторный лазерный комплекс на основе импульсно-периодического твердотельного АИГ Nd³⁺ лазера с диодной накачкой, разработанный белорусской фирмой «Lotis II». В настоящей работе представлен анализ учебных заданий практикума по теме: «Изучение взаимодействия импульсного лазерного излучения с полупроводниковыми материалами и структурами», предлагаемых для студентов старших курсов и магистрантов факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ. В

учебных заданиях рассмотрены технологические процессы лазерной обработки полупроводниковых структур, включая операции лазерного отжига легированных Si подложек, процессы рекристаллизации аморфных и поликристаллических кремниевых слоев, а также лазерную обработку окисленных кремниевых структур (SiO₂/Si).

Описание лазерного комплекса

Научно-учебный лазерный комплекс включает в себя лазер с диодной накачкой, систему фокусировки и сканирования лазерного излучения, систему перемещения образцов, компьютер управления с установленным специальным программным обеспечением, а также современные системы регистрации характеристик генерации. Лазерный комплекс имеет следующие основные характеристики: длина волны генерируемого лазерного излучения: 1,064 мкм, 0,532 мкм, 0,355 мкм, 0,266 мкм; частота повторения импульсов до 200 Гц; длительность импульса до 20 нс; энергия импульса излучения до 25 мДж; минимальный диаметр области фокусировки 50 мкм; размер области обработки: 150×150×100 мм. Основные характеристики лазера и оптической части комплекса: расходимость лазерного пучка менее 1 мрад; генерация в режимах моноимпульса и свободной генерации; фокусирующая линза не более 90 мм; автоматизированная система перемещения лазерного луча в плоскости XY. Механическая часть содержит следующие узлы: автоматизированная и ручная система перемещения образцов в плоскости XY; автоматизированная установка фокусирующей линзы по координате Z; оснастка для крепления образца; закрытая стойка, исключающая выход лазерного излучения наружу.

С помощью программного модуля осуществляются следующие операции: установка режимов работы лазера и механики, таких как энергия генерации лазера, частота импульсов, установка скорости перемещения координатного стола; загрузка изображения площадки облучения поверхности подложки; задание режима сканирования лазерного пучка; отображения на экране текущего цикла обработки.

В процессе отработки базовых режимов облучения нами был выбран метод облучения в сходящихся лучах (дефокусировка). При этом обеспечивались и более равномерное распределение и более плавная регулировка плотности

энергии в зоне облучения. При выполнении учебных задач используются пластины п-типа КЭФ 4.5, с ориентацией (100), пластины р-типа КДБ-10 с ориентацией (111), а также пластины с термически выращенным окислом толщиной 150 нм. Для анализа результатов облучения применяют следующие приборы: оптический микроскоп, четырехзондовую установку для измерения удельных сопротивлений ИУС-3 и систему спектрофотометрического контроля, с помощью которой получают спектры отражения образцов до и после лазерной обработки.

Обзор учебных заданий по изучению взаимодействия лазерного излучения с полупроводниковыми материалами

По теме “Взаимодействие лазерного излучения с полупроводниковыми материала-ми” для студентов и магистрантов предлагаются следующие задания:

– Изучение работы лазерного комплекса и определение пороговой энергии плавления кремния для длин волн 1,064 мкм и 0,532 мкм.

– Изучение технологического процесса отжига легированных полупроводниковых структур на кремнии.

– Изучение процесса рекристаллизации поликристаллических (ПКК) или аморфных слоев кремния на пластинах кремния с ориентацией (100) при энергиях лазерных импульсов выше пороговых.

– Изучение технологического процесса отжига окисленных кремниевых структур (SiO_2/Si) в режимах без разрушения окисленного слоя.

– Изучение влияния режимов отжига и режимов лазерной рекристаллизации на электрофизические свойства кремниевых структур.

– Изучение с помощью оптического микроскопа микрорельефа поверхности облученных образцов.

Лазер относится к 4 классу опасности в соответствии с ГОСТ Р 50723-94, СанНиП 5804-91, поэтому основные операции на установке выполняются преподавателем или инженером, прошедшим спецподготовку и допущенным к работе с лазерным оборудованием 4 класса опасности.

В результате предварительных исследований установлены рабочие параметры лазерной обработки. Так плотность энергии при отжиге легированных полупроводниковых структур на кремнии, слоев ПКК и аморфного кремния, а также SiO_2/Si структур находилась в диапазоне

от 0,3 до 2,2 Дж/см². Длительность импульсов изменялась от 30 до 150 нс, а частота следования от 20 до 50 Гц. Диаметр дефокусированного лазерного пучка варьировался от 0,8 до 2,0 мм.

Обнаружено, что лазерная обработка на длине волны 1,064 мкм с плотностью энергии до 0,5 Дж/см² не приводит к видимому разрушению кремния, слоев ПКК и аморфного кремния. При плотности энергии 1,0 Дж/см² для аморфного кремния в оптическом микроскопе наблюдаются следы оплавления, а для ПКК и кремния при 1,2 Дж/см².

Электрофизические измерения слоевого сопротивления легированных полупроводниковых структур до и после лазерного отжига показывают, что отжиг приводит к резкому уменьшению слоевого сопротивления вследствие упорядочения структуры и перераспределения легирующей примеси.

Лазерная обработка структуры ПКК толщиной 350 нм, нанесенной на SiO_2 и легированной фосфором, приводит к уменьшению слоевого сопротивления с 40 Ом/□ до 20 Ом/□, т.е. на 50% от первоначальной величины.

Заключение

Введение в учебный процесс лазерного комплекса на основе импульсного лазера с диодной накачкой в практикуме по лазерной обработке материалов на факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ позволяет готовить научные и инженерные кадры для отечественной науки и промышленности по новому направлению, связанному с импульсной лазерной обработкой в технологии микро- и нанoeлектроники.

1. Григорьянц, А.Г. Технологические режимы лазерной обработки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Альтудов, Ю.К. Лазерные микротехнологии и их применение в электронике. – М.: Радио и связь, 2001. – 632 с.
3. Двуреченский, А.В. Лазерный отжиг Импульсная ориентированная кристаллизация твердых тел // Соросовский образовательный журнал.: 2004. – Т. 8, № 1, – 108 с.
4. Шалимова, К.В. Физика полупроводников. – СПб.: Лань, 2010. – 400 с.
5. Борисенко, В.Е. Твердофазные процессы в полупроводниках при импульсном нагреве / Под ред. В.А. Лабунова. – Мн.: Наука і тэхніка, 1992. – 248 с.