

Д.А. Кулыгин
Студент магистратуры 1 курса
ЮРГПУ (НПИ)
Г. Новочеркасск, Российская Федерация

ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ

Аннотация

Данная статья носит краткий обзор метода ионного легирования. Интерес рассматриваемого метода заключается в точном контроле введения примеси и достижения большой концентрации. В основе статьи лежит обзор устройства ионной имплантации и описание стадий формирования ионного пучка. Рассмотрены физические явления, возникающие при данном легировании, а также преимущества и недостатки этого метода.

Ключевые слова

Ионная имплантация, легирование, полупроводники, введение примеси

Ионная имплантация – это метод легирования, путем внедрения в твердое тело ускоренных, высокоэнергетических, ионизированных атомов. Данный метод часто применяется в полупроводниковой промышленности, благодаря которому создаются примесные полупроводники.

Энергия ускоренных ионов варьируется в диапазоне от десятка килоэлектронвольт до нескольких мегаэлектронвольт. Энергия подбирается в зависимости от исходных материалов и глубины внедрения ионов.

Рассмотрим устройство и принцип работы ионной имплантации «рисунок 1», которое условно можно разделить на четыре части:

1) Камера «2» называется *ионный источник*, в него через клапан «1» подается рабочее вещество в виде газообразного, жидкого или твердого состояния. Затем, под действием сильных электрических ударов между анодом «3» и катодом «5» возникает разряд в объеме камеры и ионизируются атомы примесного вещества. Физические процессы, происходящие внутри камеры приводят к образованию плазмы «4». Далее необходимо отсеять ионы из плазмы, это делается при помощи разности потенциалов между экстрактором «6» и плазмой. Подав большой отрицательный потенциал на экстрактор, положительные ионы начинают притягиваться к нему, так формируется начальный ионный поток вещества «13». Стоит отметить, что значение потенциала на экстракторе, а также его расстояние между плазмой, имеют большое влияние на дальнейшую корректировку ионного пучка и конечный выход ионов, внедряемых в подложку [4, с. 44-47].

2) Начальный «разбросанный» поток ионов из экстрактора направляется в камеру «7», там расположены фокусирующие линзы, которые формируют правильный пучок ионов. Там же имеются ускоряющие магниты, для придания ионам необходимой энергии, после чего ионы фильтруются по массе.

3) Дальнейший поток ионов проходит через камеру «9», в ней расположены всеразличные датчики для контроля проходящей массы вещества.

4) Последняя камера «12» представляет собой отсек где происходит основной процесс – имплантация. В этой камере расположен вращающийся механизм «11», который меняет подложки «10».

После завершения процесса имплантации, необходима обязательная термообработка легированного материала [3, с. 18-19]. Не вся примесь, внедренная в подложку становится активной, а нагревание дает примесным атомам вступить в связь с атомами легируемого материала. Таким образом благодаря термодиффузии примесные атомы становятся активными и происходит восстановление кристаллической решетки. Интересным фактом является то, что рекристаллизация зависит от ориентированного направления кристалла и при разной ориентации восстановление будет лучше или хуже.

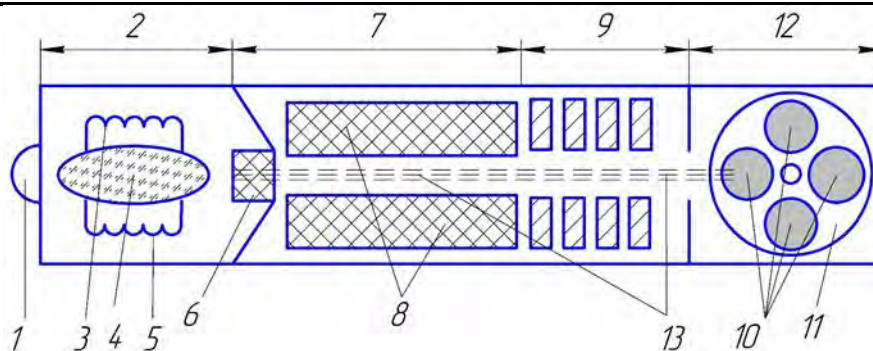


Рисунок 1 – Обобщенный вид установки ионной имплантации: 1) подача рабочего газа; 2) камера «ионный источник»; 3) анод; 4) плазма; 5) катод; 6) экстрактор; 7) часть камеры с ускоряющими и фокусирующими элементами; 8) ускоряющие магниты, элементы фокусировки, фильтр разделения ионов; 9) часть камеры с различными датчиками и анализаторами; 10) подложки; 11) механизм смены подложек; 12) камера легирования; 13) ионный пучок.

Теоретические основы

Ионы, внедряемые в твердое тело вне зависимости от глубины проникновения, начинают взаимодействовать с кристаллической решеткой [1, с. 99-102]. Столкновение ионов с решеткой разделяют на ядерные – энергия иона передается атомам и электронные – энергия иона передается электронам. Потеряв свою энергию ионы останавливаются в легируемом материале и в зависимости от массы, их траектория будет разная, поэтому рассматривая единичные пучки ионов, они будут находится на разной глубине. Из-за случайных пробегов ионов внутри вещества, они распределяются по статистическому закону Гаусса. Закон характеризуется средним числом пробега, в результате чего говорят, что при определенной энергии пучок ионов проникнет на соответствующую глубину. Пробег иона, так же характеризуется величиной *латерального рассеивания*, иначе говоря ионы, входящие в вещество обладают не только хаотичной траекторией, но и боковым отклонением в сторону. Для изучения пробегов ионов в твердых телах, была разработана теория «ЛШШ».

Продолжая говорить о глубине проникновения, стоит отметить *эффект каналирования* [2, с. 30-35]. Данный эффект является проблемным, его суть такова, что часть ионов, вошедших в твердое монокристаллическое тело, будут двигаться по *каналу*. Каналом называют упорядоченное пространство кристаллической решетки с определенным индексом плоскости. Итогом является то, что по закону распределения Гаусса или теории ЛШШ, часть ионов проникнет гораздо глубже в кристаллическую решетку твердого тела. Так как ионы, вошедшие в канал, имеют меньшее сопротивление столкновения. Для преодоления эффекта каналирования, рассмотрена задача при которой рассчитан угол идеального попадания иона в канал. Относительно этого угла, рассчитываются другие углы, где ионы, входящие в монокристаллическую решетку не будут захватываться каналом.

Ещё одна особенность в ионной имплантации – это радиационные дефекты. Радиационный дефект – это дефект кристаллической решетки, когда ион обладающей большой энергией не просто втискивается в решетку, а выбивает атом из узла. Выбитый узловый атом будет обладать достаточной энергией для его перемещения по кристаллической решетке, что влечет за собой столкновение с другим узлом и выбивание уже второго атома. Процесс заканчивается, когда передаваемая энергия полностью иссякнет. Результатом радиационных дефектом является разрушение части кристаллической решетки и возможное появление аморфного слоя внутри тела. Возникновение радиационных эффектов зависят от: массы ионов, их энергии, от каналирования ионов, от температуры подложки, от состава подложки и соответственно от дозы легирования [2, с. 23]. Чтобы уменьшить количество радиационных дефектов при облучении, образец нагревают, в ином случае кристаллическую решетку восстанавливают путем отдельной термической обработки, но стоит учесть, что не все легируемые материалы поддаются восстановлению.

Заключение

Метод ионной имплантации стал популярен с момента своего возникновения ученым Шокли в 1957 г, который получил патент на свое изобретение. С тех пор прошло пол века и современная полупроводниковая промышленность активно пользуется данным изобретением. Ионная имплантация – не единственный метод легирования и необходимо понимать его преимущества и недостатки.

Преимущества: точный контроль внедрения примеси; быстрая скорость имплантации; высокая чистота примеси; процесс имплантации происходит в низкотемпературном режиме; толщина внедрения примеси варьируется от нанометрового диапазона.

Недостатки: не всеми частицами можно эффективно бомбардировать мишень, например, тяжелые частицы могут привести к существенным дефектам подложки; температурная обработка легирующего материала не гарантирует полное восстановление кристаллической решетки; концентрация легирующей примеси имеет разное ограничение, в зависимости от установки; цена использования механизма ионной имплантации достаточно высока и не может конкурировать с более простыми методами для лабораторных целей.

Список использованной литературы:

1. Данилова, Т.И. Технология кремниевой наноэлектроники / Т.И. Данилова, В.А. Кагадей, Е.В. Анищенко. – Томск. : В-Спектр, 2011. – 264, [99-102] с.
2. Риссел, Х. Ионная имплантация / Х. Риссел, И. Руге. – М. : Наука, 1983. – 358, [23, 30-35] с.
3. Удовиченко, С.Ю. Пучково-Плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и наноэлектроники / С.Ю. Удовиченко. – Тюмень. : ТГУ, 2014. – 69, [18-19] с.
4. Юрьева, А.В. Введение в плазменные технологии и водородную энергетику / А.В. Юрьева, А.Н. Ковальчук. – Томск. : ТПУ, 2014. – 89, [44-47] с.

© Кулыгин Д.А., 2017

А.В. Дремина

Студент, Институт Физической культуры, спорта и туризма
Сибирский Федеральный Университет
г. Красноярск, Российской Федерации

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТРОПЫ

Аннотация

В статье автор анализирует данные, которые были получены в ходе анкетирования по проблеме экологического образования и воспитания школьников. Выявил основные особенности по созданию экологической тропы и узнал, что необходимо иметь на тропе для наглядного восприятия информации на маршруте.

Ключевые слова

Экология, экологические тропы, разработка тропы, экологическое воспитание и образование.

На сегодняшний день тема экологического образования очень актуальна. Так как на протяжении столетий, человек был потребителем природы, забирая самое драгоценное, что имелось у нее, не задумываясь о последствиях. По-этой причине, у человечества возникла идея по созданию тропы [1]. Цель заключалась в том, чтобы получить экологическое воспитание не за партами в школе, а через посещение особо охраняемых природных территории. Именно по этой причине у нас возникла идея провести анкету с целью определения возможной последовательности и содержания маршрута экологической тропы на территории Красноярска или его окрестностей для школьников 1-5 классов

В анкетирование приняло участие 53 человека- это родители учеников. С 10 по 15 июня 2016 года анкета была распространена через Интернет ресурс в две школы города Красноярска. Возраст респондентов распределились следующим образом. В группе от 20 до 30 лет было опрошено 28%, в группе от 30 до 40 лет -42%, а в группе от 40 до 60 лет- 30%. Уровень образования респондентов можно отнести к высокому. Так как большое количество (21человек) опрошенных имеет высшее образование. Это относится к 40% от общего числа, 19% имеет степень бакалавриат высшего образования, 16% имеют статус магистрантов.

По роду деятельности респонденты распределились следующим образом, 40% - это респонденты, которые являются специалистами, либо служащими, 15% опрошенных относятся к группе предпринимателей и военнослужащих.

Для того, чтобы определить, существует ли необходимость в создании экологической тропы и выявить временной промежуток пребывания на свежем воздухе мы спросили респондентов о том, как часто бывает ребенок за городом?



Рисунок 1 - Частота пребывания ребенка за городом

Из ответов мы видим, что 26% опрошенных выезжают за город 1-2 раза в месяц, 20% родителей