

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Жаворонок И.А., Тихон О.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Мадвейко С.И – канд.техн.наук, доцент, заведующий кафедры ЭТТ

Аннотация. Проведен анализ разновидностей сухого травления, в частности такого вида сухого травления как ионно-плазменная обработка. Описано влияние на пластину и ее поверхность данного вида травления.

Ключевые слова. Плазменное травление, СВЧ плазма, СВЧ магнетрон.

Введение. Процесс производства полупроводниковых устройств включает в себя множество высокоточных операций, в которых может участвовать плазма. К примеру, плазменный процесс очистки и травления позволяет повысить частоту процесса и увеличить его энергоэффективность. Так же, процессы обработки поверхностей плазмой с использованием кислорода позволяют лучше скрепить подложку с кристаллом. Поэтому плазменная обработка – ключевой процесс в поверхностной обработке полупроводниковых структур и при корпусировании полупроводниковых устройств. Не так давно плазменные технологии стали применять в процессах утончения подложек, таких как снятие остаточных напряжений плазмой или плазменное скрайбирование.

Основная часть. Первые применения плазменных методов в технологии кремниевых ИМС относятся к концу 60-х годов, когда начались исследования возможности применения различных видов кислородной плазмы для снятия фоторезиста. В тоже время проводились работы по использованию плазмы для травления кремния. Плазменное травление называется также «сухим» травлением. Получение элементов с субмикронными размерами требует селективного удаления отдельных участков будущей микросхемы с помощью процесса травления. Широко используемое жидкостное химическое травление обладает высокой селективностью и скоростью, однако наличие подтравливания не позволяет получить требуемое разрешение. Для технологических процессов изготовления СБИС наиболее перспективными являются методы сухого травления, которые подразделяются на ионное травление (ИТ), ионно-химическое травление (ИХТ) и плазмохимическое травление (ПХТ). На рисунке 1 приведены процессы ионно–плазменного травления [1].



Рисунок 1 – Классификация процессов ионно-плазменного травления[1]

При ионном травлении для удаления материала используется кинетическая энергия ионов инертных газов, то есть имеет место физическое разбиение процесса ионного травления на ионно-плазменное травление, при котором образцы помещаются на отрицательный электрод разрядного устройства и подвергаются бомбардировке ионами, вытягиваемыми из

плазмы, и ионно-лучевое травление, в котором образцы являются мишенью, бомбардируемой ионами, вытягиваемыми из автономного ионного источника (АИИ) [1].

При ионно-химическом травлении используется как кинетическая энергия ионов химически активных газов, так и энергия их химических реакций с атомами или молекулами материала [1].

При плазмохимическом травлении для удаления материала используется энергия химических реакций между ионами и радикалами активного газа и атомами (или молекулами) обрабатываемого вещества с образованием летучих стабильных соединений. В зависимости от среды, в которую помещаются образцы, плазмохимическое травление (ПХТ) подразделяется на [1]:

- плазменное травление: образцы помещаются в плазму химически активных газов;
- радикальное травление: образцы помещаются в вакуумную камеру, отделенную от химически активной плазмы перфорированными металлическими экранами, или электрическими или магнитными полями, а травление осуществляется химически активными частицами (свободными атомами и радикалами), поступавшими из плазмы.

Наибольший интерес представляет плазмохимическое травление, так как оно обладает селективностью, равномерностью, и скоростью, сравнимыми с жидкостным химическим травлением, но оно не требует очистки поверхностей после обработки, позволяет одновременно травить подложки и удалять фоторезистивные маски, а также может использоваться для любых материалов. Для удаления материала используется энергия химических реакций между ионами и радикалами активного газа и атомами (или молекулами) обрабатываемого вещества с образованием летучих соединений [1].

Низкоэнергетическая СВЧ плазменная микрообработка пластин монокристаллического кремния в различных по химической активности газовых средах позволяет различным образом модифицировать «перестраивать» электронную структуру и свойства поверхности. Модификация связана с перераспределением плотности заряда в приповерхностной области и определяется природой используемых плазмохимических сред. Валентность составляющих их химических элементов по отношению к кремнию и прочность образующихся химических связей способствуют формированию устойчивых насыщенных связей поверхностных атомов кремния с различной плотностью. Оставшиеся ненасыщенные поверхностные связи участвуют в перестройке электронной структуры приповерхностной области полупроводника. Это приводит к возникновению встроенного электростатического потенциала и изменению приповерхностных электрофизических свойств, которые определяют закономерности транспорта и туннельной эмиссии электронов в пленочных гетероструктурах, созданных на пластинах кремния после соответствующей плазмохимической микрообработки. При низкоэнергетичной плазменной микрообработке в среде аргона в результате его химической инертности на поверхности пластин кремния образуются ненасыщенные электронные связи с максимальной поверхностной плотностью. Это вызывает наиболее сильные изменения приповерхностных электрофизических свойств кремния и условий транспорта электронов. Плазменная микрообработка в среде хладона-14 пассивирует часть оборванных связей поверхностных атомов кремния. Вследствие этого встроенный потенциал и приповерхностный пространственный заряд на кремнии после плазменной микрообработки в хладоне-14 меньше, чем при обработке в плазме аргона. Поэтому ВАХ поперечного транспорта электронов в исследуемой гетероструктуре для этого случая имеет меньшую величину участка малых омических токов, которая, согласно теории ТОПЗ, пропорциональна концентрации первоначально незанятых электронами ловушек в структуре [2].

Для каждого типа полупроводника при удалении естественного оксидного покрытия с использованием ионно-плазменного или плазмохимического травления взаимосвязь морфологических и автоэмиссионных характеристик может быть описана в рамках теории Фаулера-Нордгейма с учетом изменения свойств поверхностных фаз на вершинах кремниевых острий, которые происходят в процессах масочного травления. Изменения в свойствах поверхностных фаз приводят к изменению суммарного дипольного момента поверхности

эмиссионных остриёв, прозрачности потенциальных барьеров, и, следовательно, автоэмиссионных характеристик полученных структур [2].

При проведении процессов ионно-плазменного травления особое внимание необходимо уделять технологическим режимам обработки полупроводниковых структур. Существенное влияние на технологические режимы оказывают условия электропитания СВЧ плазмотронов.

При разработке промышленных СВЧ плазменных установок, чаще всего, используется несколько СВЧ магнетронов средней мощности и системы сложения мощности в микроволновом реакторе. Уменьшить стоимость готового оборудования удаётся путём использования в качестве источников СВЧ излучения бытовых магнетронов [3]. Питание магнетронов, чаще всего, осуществляются за счёт применения типовых блоков питания (входящих в комплектацию бытовых микроволновых печей), включающих высоковольтный трансформатор и схему удвоения напряжения. Данная схема питания характеризуется высокой надёжностью и простотой в эксплуатации [4]. В этом случае энергетическое воздействие на полупроводниковые структуры идет в импульсном режиме. Перспективным решением является обработка пластин при квазипостоянном режиме генерации плазмы. В настоящее время такой режим формирования разряда мало использован и нуждается в углубленном изучении.

Заключение. Рассмотрены несколько видов сухого травления, один из которых «ионное травление». Определены перспективные условия формирования разряда – квазипостоянный режим, который, предположительно, позволит сократить время обработки пластин за счет увеличения энерговклада в плазму СВЧ разряда.

Список литературы

1. *Технология интегральной электроники: учебное пособие / Л.П. Ануфриев, С.В. Бордусов, Л.И. Гурский [и др.]; / Под общ. ред. А.П. Достанко и Л.И. Гурского. – Минск: «Интегралполиграф», 2009. – с.: ил.*
2. *Влияние плазмохимической модификации поверхности на электронный транспорт и работу выхода в кремниевых кристаллах: статья / Яфаров Р. К.: СФ ИРЭ РАН, Саратов, 2018. – 18-26 с.*
3. *Рогожин, К. В. Особенности работы магнетрона с инверторным блоком питания в микроволновых промышленных установках / К. В. Рогожин // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2018. – Т. 1. – С. 510–514.*
4. *Трехфазный импульсный источник питания СВЧ магнетрона средней мощности технологического назначения: дипломная работа / И. А. Жаворонок. – Минск : БГУИР, 2021, – 106 с*

UDC 533.9.07

ANALYSIS OF THE PLASMA PROCESSING TECHNOLOGY OF SEMICONDUCTOR STRUCTURES

Zhavaranak I.A., Tsikhan O.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – PhD, associate professor, head of the department of ETT

Annotation. An analysis of the varieties of dry etching, in particular, such a type of dry etching as ion-plasma processing, has been carried out. The effect of this type of etching on the wafer and its surface is described.

Keywords. Plasma etching, microwave plasma, microwave magnetron.