

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 66.088

Емельянов  
Виктор Викторович

**Технология селективного плазмохимического травления  
нитрида кремния к поликристаллическому кремнию**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1 - 41 80 02 «Технология и оборудование для производства  
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Научный руководитель  
Бордусов Сергей Валентинович  
д.т.н., профессор

Минск, 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Механизмы плазмохимического травления (ПХТ) материалов интересовали многих ученых и технологов, но до недавнего времени исследование механизмов состояло в изучении зависимостей скоростей травления материалов от состава и внешних параметров плазмы. Развитие методов диагностики параметров плазмы (зонды, спектроскопия, в том числе и лазерная), а также применение современных методов анализа поверхности – рентгеноэлектронная спектроскопия, электронная микроскопия, спектроскопия вторичных ионов – позволило подойти как к исследованию механизмов химических реакций в плазме галогенсодержащих газов с целью определения потоков нейтральных частиц на поверхность травимого материала, так и к разработке количественных методов исследования механизмов травления материалов. По существу, появилась возможность количественной характеристики состава и энергий частиц плазмы, бомбардирующих поверхность материалов, скоростей химических реакций травления и состава продуктов в газовой фазе и твердом теле.

Для плазменного травления кремния, его соединений и некоторых металлов применяют молекулярные газы, содержащие один или более атомов галогенов в своих молекулах. Выбор таких газов объясняется тем, что образуемые ими в плазме элементы реагируют с материалами, подвергаемыми травлению, образуя летучие соединения при температурах, достаточно низких, чтобы обеспечить качественное травление. Для травления с высоким разрешением используются реакторы с электродами в виде параллельных пластин.

В настоящее время с развитием нанотехнологий плазмохимическое травление остается практически единственным инструментом для переноса рисунка интегральной схемы (ИС) в маскирующем слое в материал подложки благодаря тому, что точность переноса рисунка соизмерима с размером ионов травящих газов [1-А]. Однако требования к плазменной технологии: допустимые дефекты, селективность (избирательность к материалу), управление шириной линии, однородность травления – становятся все более жесткими и, как следствие, более сложными в реализации. В частности, при размерах травящихся структур менее 1 мкм и больших аспектных отношениях возникает целый ряд проблем. Основными из них являются зависимость скорости и профилей травления от размеров элементов.

Основной проблемой травления на субмикронных нормах является селективность травления. В данной магистерской диссертации будут исследованы проблемы повышения селективности травления нитрида кремния к поликристаллическому кремнию при субмикронных проектных нормах. Будет проводиться оптимизация травления нитрида за счет изменения давления и расхода смеси рабочих газов.

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка режимов селективного плазмохимического травления нитрида кремния к поликристаллическому кремнию.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Исследовать особенности плазмохимического травления пленок нитрида кремния и поликристаллического кремния.
2. Исследовать влияние внешних характеристик разряда на процесс плазмохимического травления пленочных материалов.
3. Исследовать показатели качества процесса плазмохимического травления тонкопленочных структур.

**Объект исследования:** процесс селективного плазмохимического травления.

**Предмет исследования** – электрические режимы процесса плазменной обработки, влияние состава и характеристик плазмообразующей среды на технологические показатели процесса.

## Научная новизна и значимость полученных результатов.

Выполнены исследования влияния режимов процесса плазмохимического травления на качественные показатели обработки слоя нитрида кремния и поликристаллического кремния и получены их зависимости. По результатам работы были повышены селективность нитрида кремния к поликремнию на 3 единицы и достигла 8.7 ед., а также равномерность на 3.6%, которая достигла 95% по пластине диаметром 200 мм.

## Положения, выносимые на защиту

1. Для газовой смеси ( $\text{CHF}_3:\text{Ar}:\text{O}_2$ ) увеличение расхода хладона 23 с 20 до 45  $\text{см}^3/\text{мин}$  увеличивает скорость плазмохимического травления нитрида кремния с 1,3 до 2,3  $\text{нм}/\text{с}$  и незначительно повышает скорость травления поликремния с 0,2 до 0,42  $\text{нм}/\text{с}$ , а увеличение расхода аргона с 150 до 300  $\text{см}^3/\text{мин}$  повышает скорость травления нитрида кремния с 1,95 до 2,15  $\text{нм}/\text{с}$  и поликремния с 0,32 до 0,5  $\text{нм}/\text{с}$ , что обеспечивает повышение скорости процесса травления нитрида кремния до 2,5 раз.

2. Увеличение расхода кислорода с 2 до 10  $\text{см}^3/\text{мин}$  приводит к снижению селективности плазмохимического травления нитрида кремния к поликремнию с 9 до 4 ед., а также происходит уменьшение угла наклона боковой стенки профиля с 90 до 65 градусов, что может привести к снижению качества данной операции.

3. При увеличении давления смеси газов ( $\text{CHF}_3:\text{Ar}:\text{O}_2$ ) в рабочей камере с 0,04 до 0,07 Торр увеличивается равномерность плазмохимического травления нитрида кремния с 90% до 94-95% и равномерность травления

поликремния с 89% до 93% по пластине диаметром 200мм, что приводит к повышению качества данной операции.

### **Личный вклад соискателя**

Все основные научные результаты, представленные в работе, получены соискателем самостоятельно. В диссертации изложены результаты научно-исследовательских работ, выполненных автором лично (3 публикации) и в соавторстве (4 публикации). В публикациях с соавторами личный вклад соискателя заключается в разработке методик исследований, постановке основных экспериментов, проведении теоретических и экспериментальных исследований.

Участие научного руководителя: доктора технических наук, профессора кафедры ЭТТ БГУИР Бордусова С. В. заключалось в обсуждении структуры, целей и задач исследований, обсуждении и обобщении результатов теоретических и практических исследований, проведенных автором самостоятельно.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы были представлены в следующих научных конференциях: 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР; 14-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций РТ-2018»; Международная научно-техническая конференция «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 2019.

### **Опубликованность результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них 3 статьи в материалах научных конференций, 1 часть сборника, 1 заявка на патент и 2 патента в гос. реестре РБ.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка цитируемой литературы из 20 наименований и списка соискателя из 7 наименований. Общий объем диссертации 50 страницы, в том числе 25 иллюстрации и 9 таблиц. Диссертация была проверена в системе антиплагиат и оригинальность составила 84,5%.

Во введении приводится обоснование актуальности работы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней приводятся характеристики процессов травления пленок нитрида кремния и поликремния.

Вторая глава посвящена показателям качества процесса плазмохимического травления пленочных материалов описываются основные показатели качества.

Третья глава описывает влияние внешних характеристик разряда на процессы плазмохимического травления пленочных материалов.

В четвертой главе диссертации рассмотрены особенности плазмохимического травления тонкопленочных структур и требования к процессу плазмохимического травления

В пятой главе рассмотрено оборудование которое использовалось в экспериментах и методика проведения эксперимента.

В шестой главе рассмотрено влияние параметров процесса на качественные показатели процесса травления.

В седьмой главе описывается практическая значимость проведенных исследований.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования влияния давления и расхода смеси газов ( $\text{CHF}_3 + \text{Ar} + \text{O}_2$ ) на качественные показатели процесса плазмохимического травления нитрида кремния и поликремния можно сделать следующие выводы:

1. Давление в диапазоне от 0,04 до 0,07 torr данной смеси газов в рабочей камере не оказывает сильного влияния на скорость плазмохимического травления нитрида кремния и поликремния, но с повышением давления с 0,04 до 0,07 Торр увеличивается равномерность с 90% до 94-95% по пластине диаметром 200мм.

2. При повышении расхода аргона от 150 до 300  $\text{см}^3/\text{мин}$  наблюдается повышение скорости плазмохимического травления нитрида кремния с 1,95 до 2,15  $\text{нм}/\text{с}$  и поликремния с 0,32 до 0,5  $\text{нм}/\text{с}$ .

3. Повышение расхода хладона 23 от 20 до 45  $\text{см}^3/\text{мин}$  значительно увеличивая скорость травления нитрида кремния 1,3 до 2,3  $\text{нм}/\text{с}$  и незначительно увеличивает скорость травления поликремния с 0,2 до 0,42  $\text{нм}/\text{с}$ , за счет повышенной полимеризации поверхности поликремния, предположительно оказывающей влияние на селективность травления.

4. Изменение расхода кислорода влечет за собой изменение таких качественных показателей как: селективность, угол наклона и анизотропность. При увеличении расхода кислорода от 2 до 8  $\text{см}^3/\text{мин}$  наблюдается снижение селективности нитрида кремния к поликремнию с 9 до 4 ед. за счет уменьшения образования полимера при травлении, а также происходит уменьшение угла наклона боковой стенки профиля с 90 до 65 градусов из-за подтравки маски фоторезиста.

По итогам проведенных исследований были подобраны оптимальные режимы селективного плазмохимического травления нитрида кремния к поликристаллическому кремнию: расход аргона 250  $\text{см}^3/\text{мин}$ , расход хладона 23 43  $\text{см}^3/\text{мин}$ , расход кислорода 3  $\text{см}^3/\text{мин}$  и давление данной смеси газов 0,07 torr. При этом были получены следующие результаты: средняя скорость травления нитрида кремния 2,7  $\text{нм}/\text{с}$ , а поликремния 0,31  $\text{нм}/\text{с}$ , также равномерность травления нитрида кремния по пластине 94-95%, селективность нитрида кремния к поликремнию 8.7 усл.ед..

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1–А] Инновационные технологии и оборудование субмикронной электроники / А.П. Достанко [и др.]; под общ. ред. акад. А.П. Достанко.–Минск : Беларуская навука, 2020. – 162-199 с.

[2–А] Емельянов, В. В. Оптимизация технологии плазмохимического травления нитрида кремния при создании изоляции LOCOS для полупроводниковых приборов субмикронных проектных норм / В. В. Емельянов // 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск: БГУИР. – 2018.– С. 141

[3–А] Емельянов, В. В. Оптимизация технологии плазмохимического травления нитрида кремния при создании изоляции LOCOS для полупроводниковых приборов субмикронных проектных норм / В.В. Емельянов // 14-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций РТ-2018» – Севастополь. – 2018.– С.188

[4–А] Емельянов, В. В. Селективное плазмохимическое травление нитрида кремния к оксиду кремния / В.В. Емельянов // Международная научно-техническая конференция «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» – Могилев. – 2019.– С.126-127

[5–А] Устройство контроля качества поверхности изделий: пат. №22075 Республика Беларусь: МПК G 01В 9/00 / Емельянов В. В., Емельянов В. А., Сенько С. Ф., Сенько С. А. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество “Интеграл” – управляющая компания холдинга “Интеграл” ; заявл. 30.12.16 ; опубл. 30.08.18

[6–А] Способ контроля качества поверхности изделия: пат. №22076 Республика Беларусь: МПК G 01В 11/30 / Емельянов В. В., Емельянов В. А., Сенько С. Ф., Сенько С. А. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество “Интеграл” – управляющая компания холдинга “Интеграл” ; заявл. 30.12.16 ; опубл. 30.08.18

[7–А] Способ плазмохимического травления нитрида кремния: заявка № 20200106 Республика Беларусь / Емельянов В. В., Емельянов В. А., Плешевеня С.А., Сенько С. Ф., Цивако А. А.; заявитель Открытое акционерное общество “Интеграл” – управляющая компания холдинга “Интеграл” ; заявл. 30.03.20.