

ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКТИВНОГО РЕАКТИВНО-ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ НИТРИДА КРЕМНИЯ К ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМУ КРЕМНИЮ

Емельянов В.В.

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

Научный руководитель: Бордусов С.В. – д-р техн. наук, профессор

Аннотация. Экспериментально исследовано влияние внешних характеристик разряда на качественные показатели реактивно-ионного травления слоя нитрида кремния и поликристаллического кремния. Установлено, что для газовой смеси ($\text{CHF}_3:\text{Ar}:\text{O}_2$) увеличение расхода хладона 23 и аргона приводит к увеличению скорости травления, как нитрида кремния, так и поликристаллического кремния, а увеличение расхода кислорода приводит к снижению селективности травления и угла наклона боковой стенки нитрида кремния. Предложен процесс селективного реактивно-ионного травления нитрида кремния к поликристаллическому кремнию.

Ключевые слова: реактивно-ионное травление, микроэлектроника, нитрид кремния, поликристаллический кремний, интегральная схема.

Введение. С развитием нанотехнологий реактивно-ионное 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. 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 профиля травления от размеров элементов [1].

Основная часть. Для разработки режима селективного плазмохимического травления нитрида кремния к поликристаллическому кремнию, необходимо решить следующие две задачи:

- Исследовать особенности плазмохимического травления пленок нитрида кремния и поликристаллического кремния.
- Исследовать влияние внешних характеристик разряда на процесс плазмохимического травления пленочных материалов.

Основные частицы, активные в травлении кремния – атомы фтора и радикалы SF_5 (вклад последних в скорость травления составляет около 30%). Скорость травления при всех условиях и составах плазмы прямо пропорциональна концентрациям атомов фтора при прочих равных условиях и увеличивается с ростом потока ионов и разности потенциалов поверхности и плазмы при одинаковых концентрациях атомов. В хлорсодержащей плазме, как и при ионно-стимулированном травлении, травление происходит только за счет ионной бомбардировки и наблюдается высокая анизотропия при низких скоростях травления. При использовании фтор-хлорсодержащей плазмы анизотропия за счет пассивации хлором сохраняется, а скорость травления увеличивается за счет бомбардировки атомарным фтором [2].

Реакционно-способные частицы плазмы активно взаимодействуют с кремнием, образуя летучее соединение SiF_4 , как показано в формулах 1,2 [3].



Нитрид кремния так же, как и диоксид кремния, травятся во фторсодержащей плазме атомами, фторсодержащими радикалами с выделением SiF_4 и N_2 в газовую фазу. Отличие нитрида кремния от двуокиси кремния в том, что энергия связи в молекуле нитрида слабее, чем в двуокиси кремния, следовательно нитрид травится быстрее, чем двуокись кремния [2].

При проведении исследований за прототип был взят режим реактивно-ионного травления представленный в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы травления прототипа

Мощность верхнего и нижнего электрода, Вт	Давление, mtorr	Расход Ar, см ³ /мин	Расход CHF_3 , см ³ /мин	Расход O_2 , см ³ /мин
200/400	50	200	40	6

Скорость травления нитрида кремния по прототипу больше скорости травления ПКК в пять раз, но данный процесс обладает выраженной неравномерностью по пластине, что видно на рисунке 1.

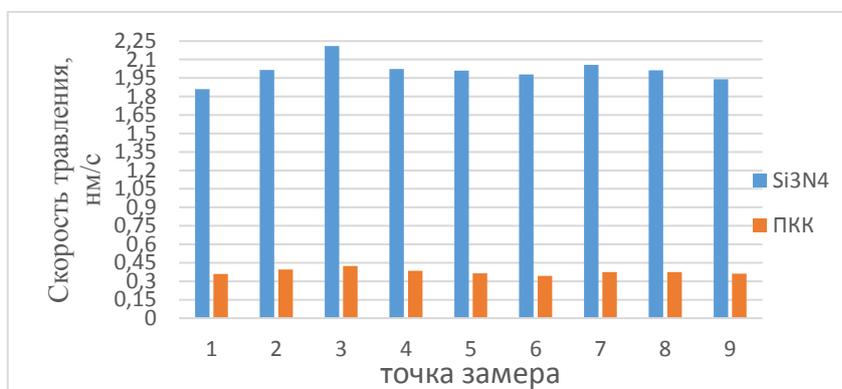


Рисунок 1 – Скорости травления нитрида кремния и ПКК

Из рисунка 1 видно что, наибольшая скорость травления соответствует точке замера №3, как для нитрида кремния, так и для ПКК. Данная точка соответствует середине пластины. Для повышения качества травления, но сохранения большой селективности были проведены эксперименты с давлением и смесью газов ($\text{Ar} + \text{CHF}_3 + \text{O}_2$). Исследования проводились только по давлению и расходу смеси газов, т.к. изменение подаваемой мощности может привести дополнительные дефекты обрабатываемой поверхности.

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.

При повышении расхода аргона от 150 до 300 см³/мин наблюдается повышение скорости плазмохимического травления нитрида кремния с 1,95 до 2,15 нм/с и поликремния с 0,32 до 0,5 нм/с.

Повышение расхода хладона 23 от 20 до 45 см³/мин значительно увеличивая скорость травления нитрида кремния 1,3 до 2,3 нм/с и незначительно увеличивает скорость травления поликремния с 0,2 до 0,42 нм/с, за счет повышенной полимеризации поверхности поликремния, предположительно оказывающей влияние на селективность травления.

Изменение расхода кислорода влечет за собой изменение таких качественных показателей как: селективность, угол наклона и анизотропность. При увеличении расхода кислорода от 2 до 8 см³/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 подтравка маски фоторезиста.

Получив и обработав экспериментальные данные можно сделать вывод, что для достижения наилучших показаний необходимо повысить давление до 70 mtorr, повысить подачу хладона-23 до 43 см³/мин, повысить подачу аргона до 250 см³/мин и понизить подачу кислорода до 3 см³/мин, получившиеся результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Полученные результаты травления нитрида кремния и поликремния по оптимальным параметрам

Материал	Средняя скорость, нм/с	Макс. Скорость, нм/с	Мин.Скорость, нм/с	Неравномерность, %	Селективность, усл.ед.
Si ₃ N ₄	2,7	2,86	2,57	5	8.7
Si	0,31	0,32	0,29	4,8	

Рассматривая полученные данные из таблицы 2 и сравнивая их с таблицей 1, можно сделать вывод, что небольшое увеличение подачи хладона 23 и аргона и уменьшение подачи кислорода в камеру, а также увеличение давления в камере приводит к увеличению равномерности на 3.6%, и повышению селективности нитрида кремния к поликремнию на 3 усл.ед.

Заключение. По итогам проведенных исследований были подобраны оптимальные режимы селективного реактивно-ионного травления нитрида кремния к поликристаллическому кремнию: расход аргона 250 см³/мин, расход хладона 23 43 см³/мин, расход кислорода 3 см³/мин и давление данной смеси газов 0,07 torr. При этом были получены следующие результаты: средняя скорость травления нитрида кремния 2,7 нм/с, а поликремния 0,31 нм/с, также равномерность травления нитрида кремния по пластине 94-95%, селективность нитрида кремния к поликремнию 8.7 усл.ед..

Полученные оптимальные режимы селективного реактивно-ионного травления нитрида кремния к поликристаллическому кремнию позволяют без изменения подаваемой мощности повысить качество операции травления нитрида кремния и выход годных кристаллов на 5%.

Список литературы

1. Галтерин В.А., Данилкин Е.В., Мочалов А. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях. Учебное пособие. Издательство Бином, 2010. 288 стр.
2. Электронный ресурс: http://main.isuct.ru/files/konf/plasma/LECTIONS/Slov_lect.html
3. Бордусов С. В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники: Монография / Под. Ред. А.П. До-станко. – Мн.: Бестпринт, 2002. – 452с.

UDC 66.088

TECHNOLOGY OF SELECTIVE REACTIVE-ION SILICON NITRIDE ETCHING TO POLYCRYSTALLINE SILICON

Emelyanov V.V.

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

Bordusov S.V. – D.Sc., full professor

Annotation. The influence of external discharge characteristics on the quality parameters of reactive-ion etching of a layer of silicon nitride and polycrystalline silicon is experimentally investigated. It is established that for a gas mixture (CHF₃:Ar:O₂) an increase in the consumption of freon 23 and argon leads to an increase in the etching rate of both silicon nitride and polycrystalline silicon, and an increase in oxygen consumption leads to a decrease in the selectivity of etching and the angle of inclination of the side wall of silicon nitride. The process of selective reactive-ion etching of silicon nitride to polycrystalline silicon is proposed.

Keywords. reactive-ion etch, microelectronics, silicon nitride, polycrystalline silicon, integrated circuit