

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ВЧ-МАГНЕТРОННОЕ РЕАКТИВНО-ИОННОЕ ТРАВЛЕНИЕ КВАРЦА

В.М.Ветошкин, П.Н.Крылов.

Удмуртский государственный университет, 426034, Ижевск, ул. Университетская, 1.

E-mail: ftt@uni.udm.ru

Исследовано ВЧ-магнетронное реактивно-ионное травление кварца в CF_4 , SF_6 , CHF_3 . Определены скорости травления в зависимости от давления рабочего газа, мощности излучения. Равномерность травления $\pm 5\%$ на площади 100×100 мм обеспечивается механическим сканированием магнитной системы. В режиме травления без сканирования получены углубления до 150 мкм диаметром 4 мм с вертикальными стенками.

Введение

Кварц, являясь одним из основных оптических материалов, широко используется в микроэлектронике в качестве подложек ГИС СВЧ, материала корпусов специальных ИС. Практически во всех случаях использования возникает необходимость размерной, высокоточной обработки.

Известные методы механической обработки, отличаясь высокими скоростями, не обеспечивают необходимой точности получения элементов малых размеров. Кроме того, эти способы приводят к образованию в объеме изделий из кварца большого количества микротрещин и дефектов. При химическом травлении в концентрированной плавиковой кислоте, ввиду изотропности процессов, наблюдается значительный флокковой подтрав.

Все эти проблемы полностью или частично решаются путем использования плазменных методов травления.

Наиболее перспективным методом, обеспечивающим высокие скорости и анизотропность травления является ВЧ-магнетронное реактивно-ионное травление. Использование магнетронного разряда в скрещенных электрических и магнитных полях позволяет значительно увеличить степень ионизации газа и снизить энергию ионов.

Травление SiO_2 и Si с использованием данного типа разряда рассмотрено в [1]. В данной работе приведены зависимости скорости травления от величины магнитного поля на поверхности пластины и катодного падения потенциала.

Основная часть

Авторами для проведения работ использовалась установка, описанная в [2]. В состав установки входит агрегат вакуумный, ВЧ-генератор с согласующим устройством и узел подготовки газов.

Для получения вакуума в рабочей камере используется двухступенчатая система откачки на базе паромасленного и форвакуумного насосов. Предельное остаточное давление $6,6 \cdot 10^{-4}$ Па. Регуляторы потока рабочего газа, расположенные в форвакуумной и в высоковакуумной магистральных, позволяют одновременно варьировать два важных технологических параметра: рабочее давление и расход газа при использовании установки как в режиме плазмохимического (форвакуумная откачка), так и в режиме реактивно-ионного травления (высоковакуумная откачка). Система постоянных феррит-бариевых магнитов, расположенных под катодом, обеспечивает фор-

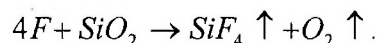
мирование на поверхности катода «плазменной петли», в которой достигается высокая плотность ионов. Магнитное поле в центре петли достигает 0,07 Тл.

Механическим сканированием магнитной системы обеспечивается перемещение «плазменной петли» по поверхности катода. В результате достигается высокая равномерность травления $\pm 5\%$ на площади подложки $\varnothing 100$ мм.

Для возбуждения высокочастотной плазмы в рабочей камере используется генератор частотой 13,56 МГц с регулируемой выходной мощностью от 0,1 до 2,7 кВт. Согласование ВЧ-генератора с нагрузкой обеспечивается согласующим устройством в виде П-образного LC-фильтра с отдельной регулировкой всех его элементов.

Узел подготовки газов имеет два канала подачи от баллонов и один из прогреваемого термостабилизированного сосуда. Каждый канал содержит расходомер и натекагель газа.

В качестве основного рабочего газа при реактивном ионно-плазменном травлении кварца (SiO_2) используются фтористые соединения углерода CF_4 , C_2F_6 и другие. Основным механизмом травления – химическая реакция между радикалами фтора и оксида кремния, в результате образования четырехфтористого кремния SiF_4 , который при температуре 359 К летуч. В общем виде реакция между оксидом кремния и фтором записывается в виде



В работе [1] отмечается, что большую роль в травлении SiO_2 играют соединения типа C_xF_4 , однако процесс травления происходит не самопроизвольно, а лишь в присутствии ионной бомбардировки. В отсутствие ионной бомбардировки взаимодействию препятствуют слой из SiF_2 и фторуглеродная пленка, непроницаемая для радикалов CF_x .

Исходя из рассмотренного механизма, исследовано травление кварцевого стекла С5-1 в различных фторсодержащих соединениях на описанной выше установке. Оптимизация процесса травления проводилась варьированием рабочего давления в камере, плотности мощности ВЧ-разряда и расхода газа. Морфология поверхности подложки в участках травления существенно зависит от материала катода, т.к. в процессе травления распыления распыляется не только подложка, но и материал катода. При этом

за счет обратной диффузии возможен процесс осаждения материала катода на поверхность подложки. При расположении образцов непосредственно на поверхности катода, выполненного из стали 12×18Н10Т, поверхность образца после травления была матовая. Для исключения данного эффекта катод покрывался поликорковыми подложками, при этом шероховатость образцов не увеличивалась. На рис.1 приведены зависимости скорости травления кварца в плазме SF₆ и CF₄ при мощности 200 Вт от рабочего давления. Травление в SF₆ сопровождается образованием полимерной фторсодержащей пленки на стенках камеры и на катоде вне зон сканирования. При травлении в CF₄ образование полимерной пленки не наблюдалось.

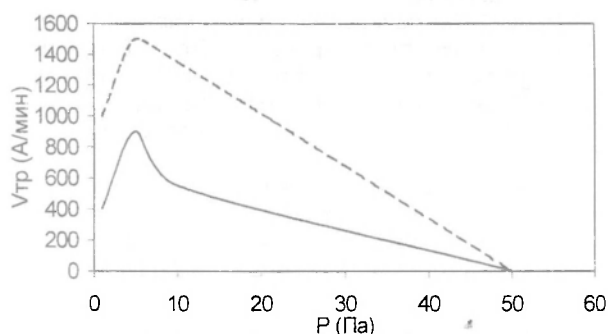


Рис.1. Зависимость скорости травления кварцевого стекла от давления в SF₆ и CF₄.

— кварц в SF₆, N=200Вт -- кварц в CF₄, N=200Вт

Дальнейшее увеличение скорости может быть достигнуто с использованием другого рабочего газа. Наиболее перспективным является использование фреона 23-CHF₃, в котором один атом фтора замещен водородом. Связь С-Н гораздо слабее, чем связь С-Ф, поэтому образование активного радикала CF₃ при электронном ударе достигается при меньшей энергии электронов, а при определенной мощности и давлении повышается вероятность их образования. Образовавшийся водород может играть роль восстановителя кремния из оксида на поверхности подложки и, кроме того, связывает атомарный фтор в газовой фазе до фтористого водорода. На рис.2 приведены зависимости скорости травления кварца от рабочего давления при мощности разряда 500 Вт при сканирующем магнетроне и при установке подложки в неподвижную зону эрозии ВЧ-магнетрона.

Второй режим характеризуется высокими термическими нагрузками из-за интенсивной бомбардировки ионами в локальной зоне, образованной скрещенными электрическим и магнит-

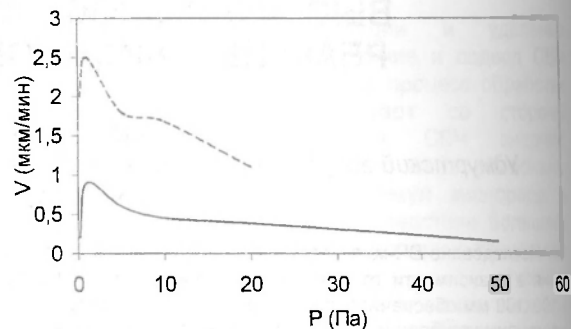


Рис.2. Зависимость скорости травления кварцевого стекла от давления в CHF₃.

— режим сканирования -- подложка в зоне эрозии

ным полем и неравномерностью травления при превышении площади травления.

Учитывая то, что кварц обладает высокой термостойкостью, данный режим представляет интерес при глубинном травлении кварца с целью формирования углублений малой площади.

Оптимальное рабочее давление при использовании CHF₃ снижается до величины 1 Па.

Увеличение мощности до 700 Вт при данном давлении позволило получить скорости травления при сканировании магнетрона 1,6 мкм/мин и 4,2 мкм/мин без сканирования магнетрона. Дальнейшее увеличение мощности приводило к снижению скорости травления из-за образования белого налета на поверхности блокирующего травление кварца.

Заключение

Используя режим травления без сканирования в кварце были получены углубления 150 мкм диаметром 4 мм. В качестве маски использовалась кварцевая пластина с отверстием. Процесс носит воспроизводимый характер, обладает высокой анизотропностью. Отклонение стенок от вертикали не обнаружено.

При получении углубления от 150 до 250 мкм наблюдалось снижение скорости травления с 4,2 до 2,5 мкм/мин, что можно связать с частичным блокированием продуктами реакции доступа реактивного газа ко дну углубления.

Список литературы

1. Под редакцией Н.Айспрук, Д.Брауга. Плазменная технология в производстве СБИС. М. «Мир», 1987г.
2. В.М.Ветошкин, А.С.Акашкин, В.В.Попов, А.Я.Зыкин. Установка реактивного ионно-плазменного травления со сканируемым ВЧ-магнетроном. Специальная техника средств связи. Серия «Технологии производства и оборудования». Выпуск 1, 1987г.

HIGH-SPEED HF-MAGNETRON REACTIVE - ION ETCHING OF QUARTZ

V.M.Vetoshkin, P.N.Krylov

*The Udmurt state university, 426034, Izhevsk, street. University, 1**E-mail: ftt.uni.udm.ru*

In work the experimental results on reactive-ion etching of quartz are indicated. For increase of ionization efficiency and for increase of etching velocity the magnetron located under the HF-electrode is used. The uniform of etching is ensured with mechanical scanning of the magnetron and makes +5 % on square 100x100 mm.

Quartz etching in CF_4 , SF_6 and CHF_3 is investigated. The optimization of quartz etching was conducted by a variation of operating pressure of jet gas in the camera, by a variation of gas cost and by variation of denseness of a capacity the HF-discharge. The influence of cathode material to quality of quartz surface is revealed. The optimum results are obtained for the coating of the cathode by manufactured polycorundum substrates. The etching in SF_6 is accompanied by formation of a polymeric film on walls of the camera and on the cathode outside of the zone of scanning. For etching in CF_4 the films formation was not observed. The optimum pressure for etching in this gases has made 5 Pa, etching velocity 800 Å/mines in SF_6 and 1500 Å/mines in CF_4 for density of capacity 200 W. The higher velocities of etching were obtained for CHF_3 employment. For pressure 1 Pa the etching velocity of quartz has made 0,9 microns / mines (density of capacity 500W) and 1,6 microns / mines (density of capacity 700W).

The regime of etching without scanning of the magnetron with accommodation of exemplar in erosion zone was used for formation recesses of small square. The etching velocity has made 2,5 microns / mines (density of capacity 500W) and 4,2 microns / mines (density of capacity 700W). The 150 microns recesses by a diameter of 4 mm in quartz were obtained. The increase of etching velocity from 4,2 microns / mines up to 2,5 microns / mines was observed for formation recesses from 150 microns up to 250 microns.