

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАВЛЕНИЯ И ОСАЖДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В РЕАКТОРЕ ВЫСОКОПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ.

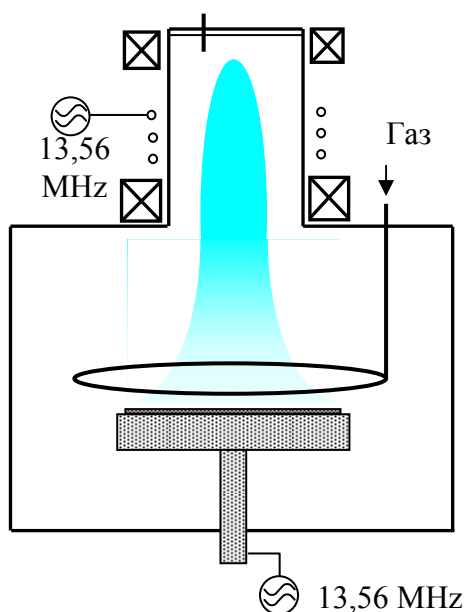
И.И. Амиров, М.О. Изюмов, О.В. Морозов.

Институт микроэлектроники и информатики РАН. Россия, 150007
г.Ярославль, ул. Университетская, д.21. Тел./Факс: (0852)246552. E-mail:
ildamirov@yandex.ru

В технологии ультра больших интегральных схем одной из основных проблем является формирование структур с большим аспектным отношением ($A > 5$). Такие структуры в слое SiO_2 , Si возникают при уменьшении размеров элементов ИС до 0,2 мкм. Наиболее отчетливо такая проблема проявилась при травлении структур в SiO_2 , которое осуществляют в высокоплотной фторуглеродной плазме. В такой плазме при травлении канавок с высоким аспектным отношением возникают различные эффекты, которые затрудняют формирование структур с нужным профилем. Это апертурный, стоп-эффект, а также эффект образования вблизи угла на дне канавок углублений [1] или, наоборот, микровыступы. Все эти эффекты обусловлены ионной бомбардировкой поверхности. Последний эффект объясняли влиянием отраженных от стенок канавок ионов. Подобные эффекты, связанные с ионной бомбардировкой, возникают и при плазмохимическом осаждении материала в щелевые структуры. Такая же проблема возникает и при травлении структур с высоким аспектным отношением в кремнии. Хотя при этом боковые размеры элементов могут достигать микронных размеров, глубина травления должна составлять сотни микрон, что соответствует аспектному отношению > 50 . Такие структуры необходимы в микротехнологии при создании микродатчиков, кантелливеров, рентгеновских линз и других элементов микроприборов. Однако, как будет показано далее, при их формировании возникают новые эффекты.

В данной работе представлены характеристики процессов травления диоксида кремния, размерного травления кремния, полимерных пленок, осаждения слоя SiO_2 [2-4] в реакторе высокоплотной плазмы ВЧ индукционного разряда. Обсуждается роль ионной бомбардировки поверхности в каждом из процессов.

Блок-схема реактора высокоплотной плазмы ВЧИ разряда представлена на рис.1.



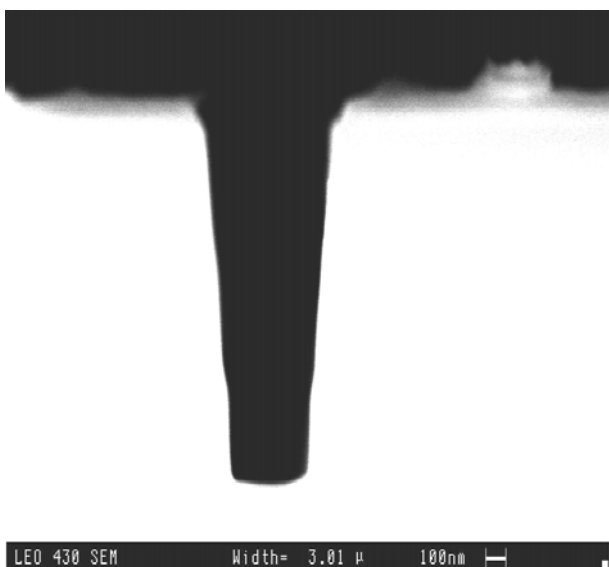
Реактор состоит из двух камер: разрядной и реакционной. Плазма ВЧ индукционного разряда ($f=13,56$ МГц, $W=1500$ Вт), создаваемая в разрядной камере в неоднородном магнитном поле, диффузно распространялась в реакционную камеру. В ней, на расстоянии 20 см от зоны генерации разряда находился Al держатель на котором устанавливалась пластина. На держатель с целью управления энергией ионов от отдельного генератора подавали ВЧ напряжение ($f=13,56$ МГц, 600 Вт). Рабочие газы – CHF_3 , C_3F_8 и др. подавали в разрядную камеру. Откачка осуществлялась турбомолекулярным насосом.

Рабочий диапазон давлений - 0.1-1.5 Па.
Плотность ионного потока - до 20 mA/cm^2
Энергия ионов 15- 600 эВ

Рис. 1. Схема реактора высокоплотной плазмы.

I. Процесс анизотропного и селективного травления диоксида кремния во фторуглеродной плазме (C_3F_8 , CHF_3 , CHF_3+H_2)

Травление контактных окон в слое SiO_2 является одной из наиболее важных и ответственных операций в плазменной технологии СБИС. Для обеспечения высокой селективности травления SiO_2 по отношению к кремнию и фоторезисту процесс травления осуществляют во фторуглеродной C_3F_8 , CHF_3 , CHF_3+H_2 плазме. В такой плазме режим травления диоксида кремния зависит от величины подаваемой ВЧ мощности смещения на электрод, на котором лежит подложка. Высокие значения селективности травления SiO_2/Si при достаточно высокой скорости удаления материала достигаются при плотности мощности ионного потока $>0,2$ Вт/см². При таких условиях травление происходит в режиме химического распыления. Коэффициент выхода атомов кремния на один ион составляет 1-1,5 при энергии ионов 150 – 300 эВ. При травлении в режиме химического распыления такие особенности травления как неоднородность травления по пластине, зависимость скорости травления от аспектного отношения формируемых структур определяется степенью равномерности и структурой ионного потока. При травлении в высокоплотной плазме субмикронных структур в диэлектрике существуют несколько причин, в результате которых происходит искажение траектории падающих на поверхность ионов. Это может происходить в результате зарядки маски, из-за наличия углового распределения в ионном потоке, возникновения эффекта затенения и отражения ионов от стенок. Степень влияния того или иного фактора зависит от энергии, рода иона. Кроме того, важным фактором, определяющим точный перенос рисунка маски в нижележащий слой, является радикальный состав плазмы.



При оптимальном составе плазмы и условиях травления удается получить нужные профили канавок (рис.1). В плазме CHF_3+H_2 высокие характеристики процесса травления SiO_2/Si :

Скорость травления $SiO_2 \leq 0,7$ км/мин, селективность $SiO_2/Si \leq 25$, селективность $SiO_2/резист \leq 15$, неравномерность травления $\pm 4\%$, достигаются при следующих параметрах процесса: давление 0,2-0,8 Па, плотности мощности ионного потока до 700 Вт, энергии ионов 150 эВ

Рис. 2. Скол канавки травления в SiO_2 .

Для подавления апертурного эффекта травление необходимо уменьшать концентрацию тяжелых радикалов C_nF_m в плазме и увеличивать концентрацию легких радикалов CF_n .

II. Процесс анизотропного, размерного травления Si в SF₆+CHF₃ плазме

Размерное травление кремния – это травление кремния с заданным отношением скорости травления в вертикальном и горизонтальном направлениях. Такое травление осуществляется в SF₆+CHF₃ плазме или в плазме подобного состава, в которой при слабой ионной бомбардировке на боковых стенках канавок травления образуется фторуглеродная полимерная пленка. Травление кремния в вертикальном направлении происходит при подаче определенного потенциала смещения. Скорость травления в горизонтальном направлении определяется концентрацией фторсодержащей (SF₆) добавки в смеси. При низкой ее концентрации можно реализовать практически полностью анизотропное травление. Кроме того, при таком способе травления можно осуществлять объемный перенос рисунка маски в слой кремния с разным увеличением по высоте и ширине. Это позволяет получить структуры различного профиля в том числе, например, конус (рис.2).

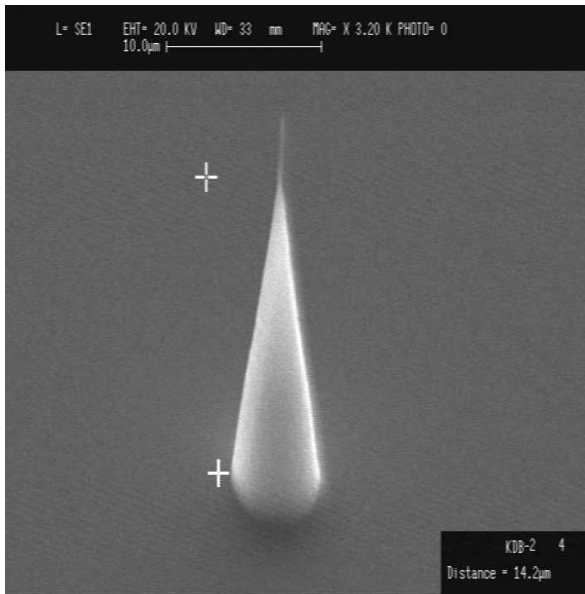


Рис. 3. Кремниевый конус.

Конус сформирован в режиме размерного травления в SF₆+CHF₃ плазме через маску фоторезиста с переменной селективностью травления Si/резист (1-8). Селективность определяется энергией ионов. Энергия ионов изменялась 20-150 эВ.

Скорость травления Si составляла 0,3 - 0,5 мкм/мин

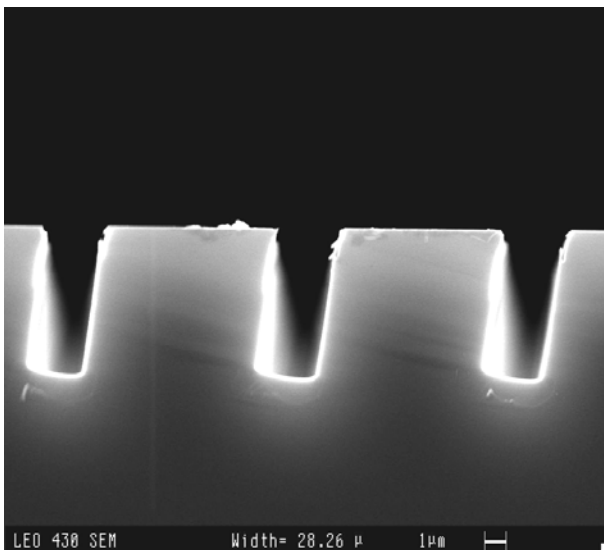


Рис.4 .

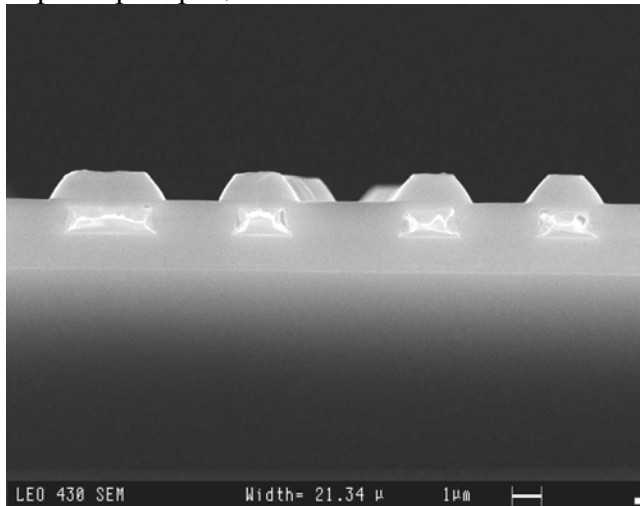
Однако при формировании высоких, более 30 мкм отдельно стоящих структур возникает эффект изотропного травления вблизи вершины столбика травления. Этот эффект может быть связан с тем, что высота структуры становится уже сравнимой с толщиной приэлектродного слоя. В высокоплотной плазме она составляет 100-200 мкм. Наличие такого слоя ясно проявляется в возникновении наклона канавок травления (рис.4), расположенных вблизи края образца. Вблизи края образца ионы падают на образец под углом, определяемым отношением толщины слоя к толщине образца - пластинки кремния (460 мкм). Очевидно, что чем дальше от края тем меньше должен быть угол падения ионов и, следовательно, угол наклона канавки. Это и наблюдается на фотографии представленной структуры

III. Процесс анизотропного травления полимерных пленок (ПП) в кислород-содержащей плазме

Он был разработан для точного переноса рисунка в нижележащий слой и далее в основной слой (для реализации метода трехслойной маски). Структуры с минимальными размерами 0,2 мкм были получены в пленке резиста в плазме O_2+Ar при энергии бомбардирующих ионов 150 эВ. Степень анизотропности травления ПП в такой плазме определяется отношением скорости травления при данном потенциале смещения и плавающим потенциале [3]. Необходимо отметить, что при формировании анизотропных структур в полимерной пленке в кислородсодержащей плазме не наблюдались эффекты характерные для полимеризующейся фторуглеродной плазмы.

IV. Процесс ионно-стимулированного низкотемпературного осаждения пленки диоксида кремния в SiH_4+O_2 плазме

В процессах плазмохимического осаждения интенсивная ионная бомбардировка поверхности необходима для полного, без образования полостей, заполнения диэлектриком узких канавок между дорожками металлизации. Интенсивная ионная бомбардировка достигается подачей ВЧ смещения на подложку, в результате чего увеличивается энергия бомбардирующих ионов. При этом одновременно с процессом осаждения происходит процесс распыления образующейся пленки. Поскольку скорость распыления зависит от угла падения ионов, то вблизи края, где выше и скорость осаждения она выше. Это приводит к подавлению образования нависающего края в результате чего происходит ровное заполнение канавки. Профиль канавки при этом имеет характерный трапециидальный вид (рис.5). В работе [4] определено оптимальное отношение расходов силана и кислорода для получения высококачественных близким по своему составу и свойствам пленок диоксида кремния. Определены управляющие параметры процесса.



Характеристики и параметры процесса осаждения.
ВЧ мощность - 1500 Вт
Давление 0.3÷1.2 Па
Ионный ток на поверхность - 3÷10 мА/см²
Расход силана 5÷25 нсм³/мин
Расход O_2 - 10÷75 нсм³/мин
Температура осаждения - 100÷350 °С

Рис.5. Профиль заполнения канавок при осаждении слоя SiO_2 с ВЧ смещением

ЛИТЕРАТУРА

1. Schaepkence M., Oehrlein G.S., Cook J.M. *Effect of radio frequency bias on SiO_2 feature etching in inductively coupled fluorocarbon plasmas.* // *J. Vac. Sci. Techn.* 2000. V. B. 18. P. 848.
2. Амиров И.И., Федоров В.А. *Анизотропное травление субмикронных структур в резисте в кислородсодержащей плазме ВЧ индукционного разряда* // *Микроэлектроника.* 2000. Т.29. N1. С. 32-41
3. Амиров И.И., Изюмов М.О. *Ионно-иницированное травление полимерных пленок в кислородсодержащей плазме высокочастотного индукционного разряда.* // *Химия высоких энергий.* 1999. Т.33. N2. С. 160-164.
4. Морозов О.В., Амиров И.И. *Осаждение пленок SiO_2 в SiH_4+O_2 плазме ВЧ-индукционного разряда низкого давления* // *Микроэлектроника.* 2000. Т.29. N3. С. 170.