

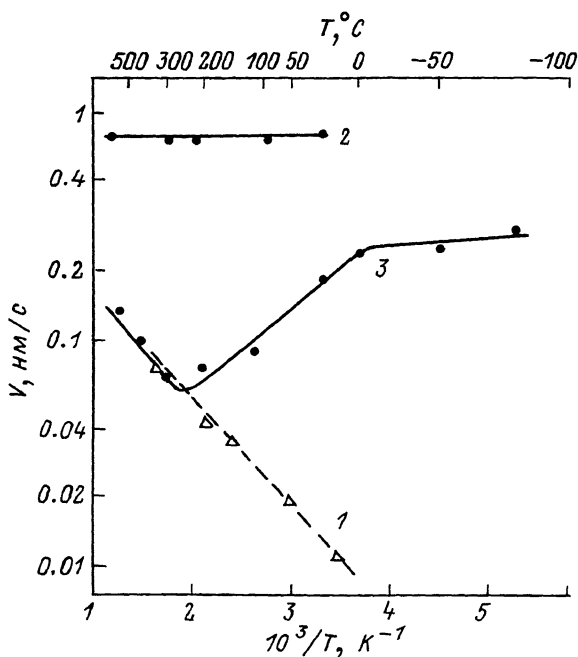
06.2

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАСПЫЛЕНИЯ  
В СИСТЕМЕ  $Si/Ar^+/F$ 

Ю.Б. Горбатов, В.И. Зиненко

Ионное распыление в присутствии химически активного окружения в настоящее время является одним из основных методов создания функциональных элементов микроэлектронных приборов. Оно широко используется в плазменных системах травления благодаря высокой селективности, анизотропии. Однако понимание элементарных процессов, происходящих при травлении, затруднено сильной взаимозависимостью плазменных параметров. Исследование с помощью пучковых методов позволяет оптимизировать процесс травления [1]. Целью данной работы являлось исследование влияния температуры образца на процесс травления кремния ионами  $Ar^+$  в присутствии потока радикалов фтора.

Эксперимент проводился на высоковакуумной установке с предельным остаточным давлением  $\sim 10^{-4}$  Па. На образец кремния КЭФ 7.5 (111) направлялись два независимо регулируемых потока — поток ионов  $Ar^+$  и поток радикалов  $F$ . Пучок ионов диаметром  $\sim 20$  мм с энергией 0.1–2 кэВ и плотностью тока до 1 мА/см<sup>2</sup> формировался в ионном источнике Кауфмана. Поток радикалов вытекал из отверстий разрядной камеры диссоциатора  $SF_6$ , расположенной на расстоянии 10 мм от образца. Диссоциатор представлял собой кольцевую разрядную камеру, по оси которой пропускался на образец ионный пучок. При подаче высокочастотного напряжения на внутренний электрод диссоциатора в нем возбуждался разряд на  $SF_6$ , который и служил источником фторсодержащих радикалов. Скорость травления определялась по величине ступеньки образующейся после травления образца, частично закрытого металлической маской. Уста-



Температурная зависимость скорости РТ и ИСРТ кремния. Энергия ионов  $Ar^+$  - 1 кэВ. 1 - скорость РТ, 2, 3 - скорость ИСРТ при плотностях тока  $0.3 \text{ mA/cm}^2$  и  $0.013 \text{ mA/cm}^2$  соответственно.

новка позволяла осуществлять: ионное травление без радикалов (ИТ), радикальное травление (РТ) и ионно-стимулированное радикальное травление (ИСРТ).

Поток частиц, вытекающих из диссоциатора, включал: недиссоциированные молекулы  $SF_6$ , радикалы (в основном  $SF_4$  и  $F$ ) [2]. Молекулы  $SF_6$  характеризуются весьма низким коэффициентом прилипания к  $Si$  и не могут оказывать существенного влияния на процесс травления в исследуемом диапазоне температур [3]. Среди радикалов наибольшей химической активностью обладает фтор. На рисунке приведена зависимость скорости РТ кремния от температуры образца при подводимой к диссоциатору мощности 35 Вт (кривая 1). Полученные данные хорошо аппроксимируются Аррениусовской зависимостью с энергией активации 0,1 эВ. Такая же энергия активации наблюдалась в работе [4] для РТ кремния атомарным фтором. Этот факт указывает на то, что в нашем случае наиболее важным радикалом является именно атомарный фтор. Используя данные работы [4], можно определить, что поток атомов  $F$  на образце в нашем случае составлял  $1.1 \cdot 10^{17}$  атом/см $^2$ ·с.

Вид температурной зависимости скорости ИСРТ существенно зависит от соотношения потоков ионов и радикалов фтора (кривые 2, 3). При отношении потоков атомов фтора и ионов  $Ar^+$  равном  $\sim 60$

скорость ИСРТ практически не зависела от температуры образца (кривая 2). Роль радикалов была незначительной и температурная зависимость оказалась характерной для чисто ионного травления. В этом случае коэффициент распыления был равен 2.8, что существенно ниже, чем при большом (1300) отношении потоков радикалов и ионов, когда коэффициент распыления находился в диапазоне  $6 \div 28$ .

При большом отношении потоков радикалов и ионов (кривая 3) температурная зависимость носит более сложный характер. Он включает три участка: при высоких температурах ( $\geq 250$  °C) скорость ИСРТ близка к РТ, при понижении температуры до  $-10$  °C наблюдается рост скорости травления, соответствующий энергии активации  $-0.08$  эВ, при дальнейшем понижении температуры наступает насыщение скорости ИСРТ. Как показано в работе [5], при экспонировании кремния во фторе происходит необратимая хемосорбция фтора и на поверхности кремния образуется устойчивый „ $SiF_2$ -подобный” слой, который играет важную роль в процессе ИСРТ. При дальнейшей адсорбции может образовываться поверх „ $SiF_2$ -подобного” слоя слой физически сорбированных атомов фтора. Характер наблюдаемой температурной зависимости позволяет предположить, что этот физсорбированный слой может существенно влиять на скорость ИСРТ. При понижении температуры образца происходит увеличение покрытия поверхности физсорбированным фтором, что и приводит к увеличению ионностимулированного взаимодействия между „ $SiF_2$ -подобным” слоем и физсорбированным фтором. Это и вызывает увеличение скорости ИСРТ при понижении температуры. Из того факта, что при понижении температуры ниже  $-20$  °C не происходит существенного изменения скорости травления, можно заключить, что в этом случае достигается полное покрытие поверхности физсорбированным фтором. Этому режиму соответствует коэффициент распыления  $\geq 20$ .

При травлении субмикронных структур важную роль играет анизотропия травления (отношения скорости травления вглубь образца к скорости бокового подтравливания). В нашем случае эту величину можно аппроксимировать отношением скоростей ИСРТ и РТ. Из приведенных данных видно, что понижение температуры существенно уменьшает скорость бокового подтравливания и увеличивает скорость травления вглубь образца. Таким образом, использование охлаждения образца при травлении в системе  $Si/Ar^+/F$  позволит увеличить анизотропию процесса.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Z a l m P.C. // Vacuum. 1986. V. 36. N 11/12. P. 787-797.
- [2] P i c a r d A., T u r b a n G., G r o l - l e a n B. // T. Phys. D. Appl. Phys. 1986. V. 19. N 6. P. 991-1005.
- [3] O o s t r a D.T., H a r i n g A., d e V r i - e s A.E., S a n d e r s F.H.M., M i y a -

к е К. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 12.  
P. 1166-1168.

[4] F l a m m D.L., D o n e l l y V.M., M u -  
с h a T.A. // T. Appl. Phys., 1981. V. 52. N 5.  
P. 3633-3639.

[5] C h u a n g T.J. // J. Appl. Phys. 1980. V. 51.  
N 5. P. 2614-2620.

Институт проблем технологии  
микроэлектроники и особочистых  
материалов АН СССР

Поступило в Редакцию  
3 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 15

12 августа 1989 г.

06.2

## РАСПЫЛЕНИЕ $SiO_2$ БЫСТРЫМИ АТОМАМИ АРГОНА В ПРИСУТСТВИИ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ РАДИКАЛОВ

Ю.Б. Г о р б а т о в, В.И. З и н е н к о

Травление структур  $SiO_2/Si$  в плазме и с использованием пучков ионов инертных газов приводит к деградации свойств границы раздела  $SiO_2/Si$  (увеличение фиксированного заряда и плотности поверхностных состояний) [1]. Единственной альтернативой указанным сухим методам травления является травление пучками ускоренных атомов, приводящее к существенно меньшей деградации свойств границы раздела  $SiO_2/Si$  [2]. Однако для распыления как ионами, так и атомами характерна низкая скорость травления, обусловленная чисто физической природой процесса. Известно, что при распылении ионами адсорбция на поверхности химически активных частиц, образующих летучее соединение с атомами образца, существенно увеличивает скорость травления [3].

В работе рассматривается новый метод травления диэлектрических материалов, основанный на одновременном воздействии на образец потоков быстрых атомов и радикалов - атомно-стимулированное радикальное травление (АСРТ). Исследования проводились на высоковакуумной установке с предельным остаточным давлением  $10^{-4}$  Па. Пучок быстрых атомов  $Ar^0$  диаметром  $\sim 20$  мм с энергией 0.5-2 кэВ формировался в высокочастотном источнике, основанном на явлении резонансной перезарядки. Эквивалентная плотность тока на образце достигала 1 мА/см<sup>2</sup>. Поток радикалов (продуктов диссоциации  $SF_6$ ) формировался в автономном диссоциаторе, расположенном на расстоянии 10 мм от образца. При подаче на изолированный электрод, расположенный внутри диссоциатора, высокочастотного напряжения (частотой 13.56 МГц) возникал разряд, который и приводил к диссоциации напускаемого внутрь  $SF_6$ . Про-