

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 ~ 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/см². 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-

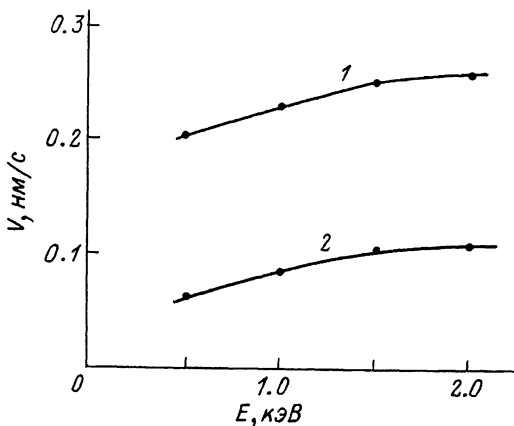


Рис. 1. Зависимость скорости АСРТ (кривая 1) и обычного распыления SiO_2 (кривая 2) от энергии быстрых атомов аргона. Эквивалентная плотность тока Ar° равна 0.1 mA/cm^2 . Мощность, подводимая к диссоциатору - 50 Вт.

дукты диссоциации (наиболее активный - атомарный фтор) через 4 отверстия диаметром 1 мм направлялись на образец. Давление SF_6 в камере образца при работе диссоциатора составляло $\sim 10^{-2}$ Па. Скорость травления определялась из высоты ступеньки, образующейся после травления образца, частично закрытого металлической маской.

Поток радикалов из диссоциатора сопровождался потоком недиссоциированных молекул SF_6 , однако влияние этих молекул на процесс травления практически отсутствовало вследствие крайне низкого коэффициента прилипания к SiO_2 [4]. В работе [5] показано, что в условиях, близких к нашим, поток радикалов включает два основных компонента SF_2 и F , причем именно атомарный фтор проявляет наибольшую химическую активность в нашем случае.

В результате совместного воздействия потока фторсодержащих радикалов и пучка быстрых атомов Ar° наблюдалось существенное увеличение скорости травления SiO_2 по сравнению со случаем травления только атомами Ar° . Причем, при неизменном натекании SF_6 в диссоциатор увеличение подводимой к нему высокочастотной мощности вызывало монотонный рост скорости травления (при постоянных параметрах атомного пучка). Это соответствовало увеличению доли радикалов в потоке частиц, истекающих из диссоциатора с увеличением подводимой мощности. Скорость травления при одновременном воздействии радикалов и атомов значительно превосходила сумму скоростей распыления быстрыми атомами и спонтанного травления радикалами, что указывает на наличие дополнительного механизма удаления материала образца, отличного как от химической реакции, так и от обычного распыления.

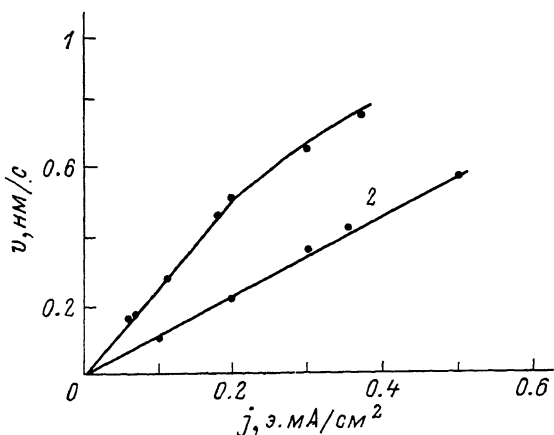


Рис. 2. Зависимость от эквивалентной плотности тока атомов Ar° скорости АСРТ (кривая 1) и обычного распыления (кривая 2) SiO_2 . Энергия атомов Ar° равна 1.5: кэВ. Мощность, подводимая к диссоциатору - 50 Вт.

Зависимость скорости АСРТ от энергии быстрых атомов Ar° представлена на рис. 1. Там же представлена скорость травления только атомами Ar° . Скорость травления в режиме АСРТ более чем в 2 раза превышает скорость травления атомами Ar° . Для обычного распыления (например, быстрыми атомами Ar°) характерно существенное уменьшение скорости травления при энергии меньше 1 кэВ. В случае АСРТ наблюдается менее резкое падение скорости травления с уменьшением энергии атомов Ar° , что наблюдалось и для травления в системе $SiO_2/Ar^+/XeF_2$ [6].

Существенную роль в подобных процессах играет соотношение потоков быстрых частиц и радикалов. На рис. 2 представлена зависимость скорости АСРТ SiO_2 от эквивалентной плотности тока Ar° . В отличие от распыления только быстрыми атомами Ar° эта кривая носит нелинейный характер. При увеличении эквивалентной плотности тока Ar° и постоянном потоке радикалов сначала наблюдается быстрый рост скорости АСРТ, а затем он замедляется. Этот факт отражает важность существенного превышения потока радикалов над потоком быстрых атомов для обеспечения большого коэффициента распыления. Эквивалентной плотности тока Ar° 0.1 mA/cm² соответствует коэффициент распыления 2.5, а при ее увеличении коэффициент распыления стремится к единице. При уменьшении эквивалентной плотности тока на каждый падающий быстрый атом Ar° приходится больше падающих радикалов F , что приводит к увеличению покрытия поверхности атомарным фтором в процессе травления. В этих условиях с большой вероятностью происходит образование продуктов фторирования SiO_2 , которые слабо связаны с матрицей. Эффективное их распыление атомами Ar° обуславливает рост

коэффициента распыления при малых эквивалентных плотностях тока. Наблюдаемый коэффициент распыления близок к величине, найденной в работе [6] для системы $SiO_2/Ar^+/XeF_2$, что указывает на близость механизмов стимулированных процессов травления двуокиси кремния, в которых используются для доставки фтора на поверхность фторсодержащие радикалы и молекулы XeF_2 .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. М.: Радио и связь, 1986. 232 с.
- [2] Mizutani T., Nishimatsu S. // J. Vac. Sci. Technol. A. 1988. V. 6. N 3. P. 1417-1420.
- [3] Gerlach - Meyer U., Coburn T.W., Kay E. // Surf. Sci. 1981. V. 103. N 1. P. 177-188.
- [4] Oostrad J., Haring A., de Vries A.E., Sanders F.H.M., Miyake K. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 12. P. 1166-1168.
- [5] Picard A., Turban G., Grollean B. // J. Phys. D. Appl. Phys. 1986. V. 19. N 6. P. 991-1005.
- [6] Tu Y.Y., Chuang T.J., Winters H.F. // Phys. Rev. B. 1981. V. 23. N 2. P. 823-835.

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.

05.4; 09

БЕЗГИСТЕРЕЗИСНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ВЧ-СКВИДА
ИЗ $YBa_2Cu_3O_x$ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 4.2 К

В.М. Закосаренко, Е.В. Ильичев,
В.А. Тулин

В работах [1, 2] была показана возможность создания высокочастотного (ВЧ) сквида на основе керамики $YBa_2Cu_3O_x$, работающего при температуре кипения жидкого азота. Это стимулировало дальнейшие исследования свойств керамических датчиков однодюрной [3] и циммермановской конструкции [4, 5], в которых роль слабой связи играло механически изготовленное сужение макроско-