

Повышение селективности плазмохимического травления SiO₂/Si при использовании смеси CHF₃/CF₄

О. Ю. Наливайко, О. В. Карась, К. А. Дорохович, Д. В. Жигулин

ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Беларусь, e-mail: onalivaiko@integral.by

Проведено исследование скорости и селективности плазмохимического травления слоев оксида кремния в смеси CHF₃/CF₄. Установлено, что при увеличении соотношения потоков CHF₃/CF₄ с 0,75 до 3,33 селективность травления SiO₂/ПКК монотонно возрастает с 9,34 до 25,5. Это позволяет обеспечить одновременное травление контактных окон с различной глубиной с аспектным соотношением до 1,5 и с наклоном боковых стенок 82–87°.

Ключевые слова: плазмохимическое травление; контактные окна; селективность.

Selectivity improvement of plasma-chemical etching of silicon oxide layers in a CHF₃/CF₄ mixture

O. Y. Nalivaiko, O. V. Karas, K. A. Darakhovich, D. V. Zhigulin

JSC "INTEGRAL" - Holding Management Company, Minsk, Belarus,
e-mail: onalivaiko@integral.by

The etch rate and selectivity of plasma-chemical etching of silicon oxide layers in a CHF₃/CF₄ mixture was studied. It was found that with an increase in the CHF₃/CF₄ flow ratio from 0.75 to 3.33, the SiO₂/Poly-Si etching selectivity monotonically increases from 9.34 to 25.5. This allows for simultaneous etching of contact holes with different depths with an aspect ratio of up to 1.5 and an inclination of the side walls of 82–87°.

Keywords: plasma-chemical etching; contact holes; selectivity.

Введение

При производстве современных интегральных схем для селективного травления контактных отверстий в слоях оксида кремния, где требуется точное управление профилем травления, широко используется фторсодержащая плазма [1, 2]. При этом возникает необходимость одновременного травления контактных окон с различной глубиной (рис. 1). Как видно из рис. 1, контактные окна к затвору являются «мелкими», а контактные окна к активным областям в кремниевой подложке – «глубокими». Так как в процессе травления нижележащий материал в «мелких» контактных окнах подвергается длительному воздействию плазмы, требуется высокая селективность травления оксида кремния по отношению к нижележащему слою поликристаллического кремния (ПКК). Повышение селективности травления SiO₂/Si может быть достигнуто за счет использования водорода или фторуглеродных газов, содержащих водород, например CHF₃, CH₃F и других, что способствует образованию полимера на поверхности кремния [3]. В связи с изложенным, представляет интерес исследование путей повышения селективности травления SiO₂/Si в условиях ограниченной возможности варьирования фторсодержащих газов, которые могут использоваться в серийном производстве.

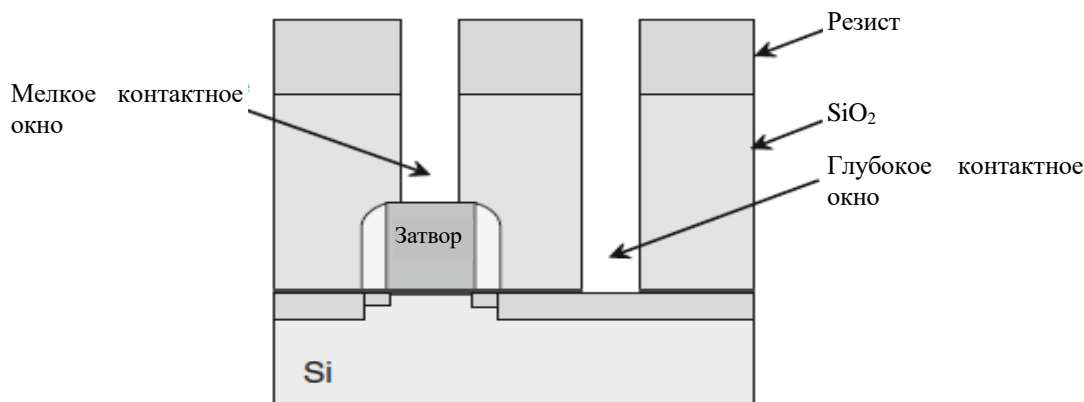


Рис. 1. Травление контактных окон

1. Методика исследований

В качестве подложек использовались пластины монокристаллического кремния КДБ-12 ориентации (100) диаметром 150 мм. На пластины осаждали слой поликристаллического кремния толщиной 0,25 мкм, затем слой SiO₂, при субатмосферном давлении (СА ХОГФ) (0,6 мкм) и слой и слой плазмохимического SiO₂ с использованием ТЭОС (ПХО ТЭОС) толщиной 0,6 мкм. Далее наносили слой фоторезиста толщиной 1,3 мкм и с использованием проекционной фотолитографии формировали микрорисунок для травления контактных окон в слое оксида кремния с аспектным соотношением 1,5. Плазмохимическое травление слоев оксида кремния выполняли на установке Rainbow-4520 в реакторе с двумя симметричными параллельными электродами. Для создания плазменного разряда используется генератор с частотой 13,56 МГц. В качестве газов для травления использовались хладон-14 (CF₄) и хладон-23 (CHF₃). Соотношение потоков CHF₃/CF₄ изменялось от 0,75 до 3,33.

Толщина фоторезиста, пленок оксида кремния (и ПМК) контролировалась на установке OptiProbe-2690 до и после травления. По полученным результатам оценивалась скорость травления, неравномерность травления и селективность. Контроль профиля контактных окон проводился при помощи растровой электронной микроскопии на установке SEM-4800 фирмы Hitachi.

2. Результаты и обсуждение

Результаты анализа скоростей травления оксида кремния и ПМК, неравномерности травления и селективности травления SiO₂/ПМК для пластин без запечатки приведены в Таблице. Видно, что с увеличением соотношения потоков CHF₃/CF₄ скорость травления оксида кремния незначительно уменьшается (с 8,96 до 8,4 нм/с), в то время как скорость травления ПМК монотонно уменьшается с 0,96 до 0,33 нм/с, что приводит к повышению селективности травления SiO₂/Si. Таким образом, как видно из рис. 1, при увеличении соотношения потоков CHF₃/CF₄ от 0,75 до 3,33 селективность травления SiO₂/ПМК монотонно возрастает с 9,34 до 25,5. При этом неравномерность травления SiO₂ составляет (±2,1 – ±3,2) %.

Скорость, неравномерность, селективность процессов ПХТ

Режим	1	2	3	4	5
Соотношение потоков CHF ₃ /CF ₄ , отн.ед.	0,75	1,0	1,6	2,27	3,33
Скорость травления SiO ₂ , нм/с	8,96	8,74	8,49	8,57	8,41
Неравномерность травления SiO ₂ ,%	2,05	3,14	4,9	3,2	2,18
Скорость травления ПКК, нм/с	0,96	0,68	0,42	0,36	0,33
Неравномерность травления ПКК,%	5,71	7,21	13,68	10,34	10,11
Селективность SiO ₂ /ПКК, отн.ед.	9,34	12,85	20,11	23,8	25,52

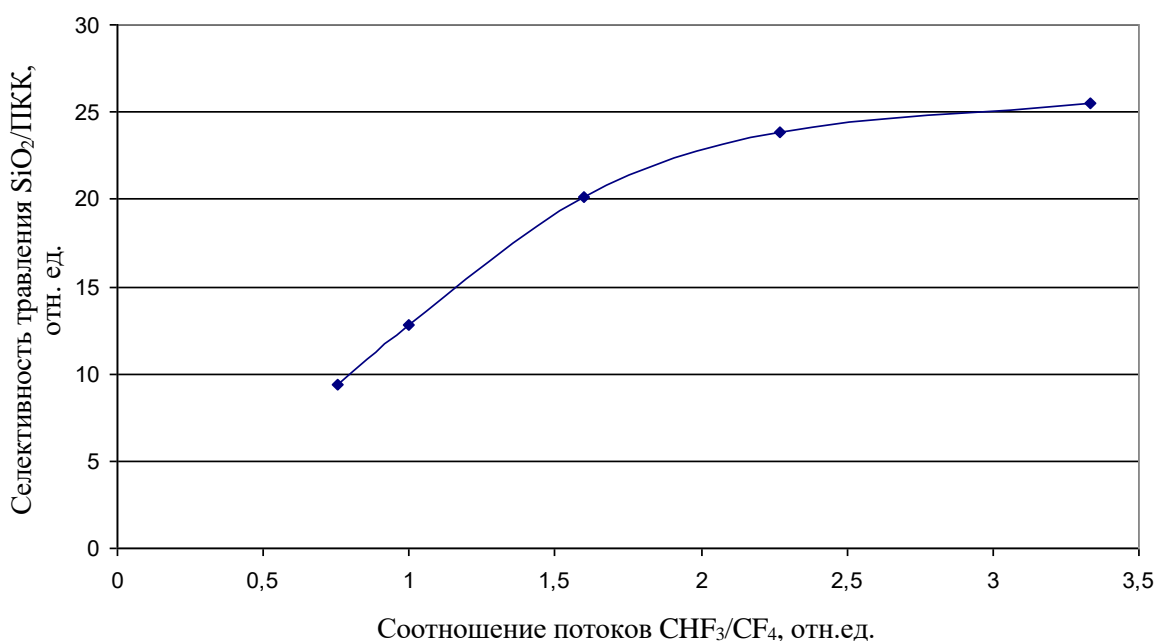


Рис. 2. Зависимость селективности травления SiO₂/ПКК от соотношения потоков CHF₃/CF₄

При проведении травления оксида кремния на пластинах с запечатанными контактными окнами селективность травления SiO₂/ПКК уменьшилась с 25,5:1 до 20:1 по сравнению с пластинами без запечатки, при незначительном уменьшении скорости травления. На рис. 3 представлен профиль глубокого контактного окна. Угол наклона боковой стенки составляет от 82–84 в центре до 85–87 градусов на краю пластин.

Полученные результаты можно объяснить с учетом механизма процесса травления, описанного в работе [3]. В плазме CF₄ разлагается на ионы CF₃⁺, радикалы CF₃ и радикалы F⁺. Радикалы CF₃, адсорбированные на поверхности SiO₂, разлагаются на C и F при воздействии ионов CF₃⁺. Так как сила связи C-O больше силы связи Si-O углерод реагирует с кислородом в SiO₂, образуя CO, который затем десорбируется с поверхности SiO₂. В свою очередь кремний, который слабо связан, реагирует с фтором, образуя SiF₄, который десорбируется с поверхности SiO₂. При добавлении в реакционную смесь CHF₃ радикалы водорода взаимодействуют с фтором, и в результате на поверхности кремния образуются фторуглеродные полимеры, что приводит к снижению скорости травления кремния и, как следствие,

к повышению селективности травления SiO_2/Si . Впоследствии фторуглеродные полимеры легко удаляются в кислородной плазме.

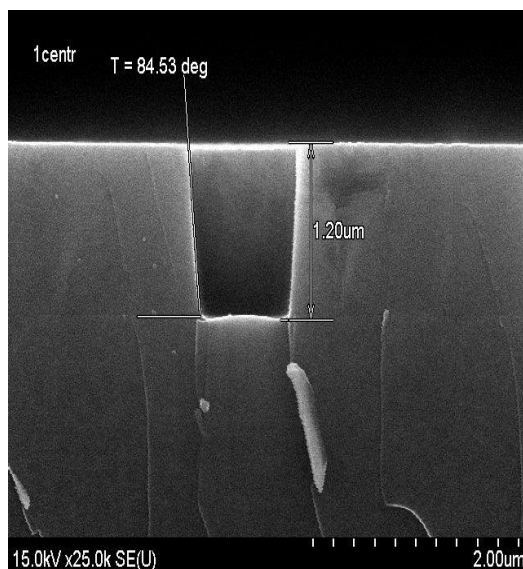


Рис. 3. Профиль и глубина контакта (без фоторезиста)

Заключение

Проведено исследование скорости и селективности плазмохимического травления слоев оксида кремния на установке Rainbow-4520 в смеси CHF_3/CF_4 . Установлено, что при увеличении соотношения потоков CHF_3/CF_4 с 0,75 до 3,33 селективность травления $\text{SiO}_2/\text{ПКК}$ монотонно возрастает с 9,34 до 25,5 при незначительном изменении скорости травления. Это позволяет обеспечить одновременное травление контактных окон с различной глубиной с аспектным соотношением до 1,5 и с наклоном боковых стенок $82\text{--}87^\circ$ и может использоваться в производстве интегральных микросхем с проектными нормами 0,6 мкм и выше.

Библиографические ссылки

1. Angular dependence of SiO_2 etching in a fluorocarbon plasma / B.-O. Cho [et al.] // J. Vac. Sci. Technol. A, 2000. Vol. 18, iss. 6. P. 2791–2798.
2. Nojiri K. Dry Etching Technology for Semiconductors. Springer International Publishing, Switzerland. 2015. 116 p.
3. Tachi S. Chemical sputtering of silicon by F^+ , Cl^+ , and Br^+ ions: Reactive spot model for reactive ion etching // J. Vac. Sci. Technol. B, 1986. Vol. 4, iss. 2. P. 459–467.