

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Осипов Артем Арменакович

аспирант

Санкт-Петербургский институт машиностроения
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
г. Санкт-Петербург

ВЛИЯНИЕ РАСХОДА ПОЛИМЕРИЗУЮЩЕГО ГАЗА CHF_3 НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ

***Аннотация:** оптимизация операционных параметров глубокого анизотропного плазменного травления кремния требует четкого понимания влияния каждого из них на технологические параметры и качество результата травления. В данной работе было рассмотрено влияние расхода полимеризующего газа на скорость, селективность, анизотропию и равномерность травления, а также на значение угла наклона вертикальной стенки при формировании глубоких структур (канавок) в кремнии методом ПХТ (плазмохимическое травление). Проведенные эксперименты позволили установить зависимости вышеперечисленных характеристик от расхода полимеризующего газа и связать их с толщиной защитной пленки, образующейся на стадии пассивации.*

***Ключевые слова:** микросистемная техника, плазмохимическое травление, «Bosch»-процесс, скорость травления, селективность, анизотропия.*

В настоящее время микросистемная техника является динамично развивающимся междисциплинарным научно-техническим направлением, в задачи которого входит создание в ограниченном объеме твердого тела или на его поверхности упорядоченных областей, с заданным составом, структурой и геометрией, совокупность которых обеспечивает реализацию процессов генерации, преобра-

зования и передачи энергии. На современном этапе производства микроэлектромеханических систем (МЭМС) одну из важнейших технологических операций составляет глубокое анизотропное травление кремния. Широко известным методом получения глубоких структур в кремнии является так называемый «Bosch»-процесс [1, с. 33], в котором этапы травления чередуются с этапами пассивации. При массовом производстве МЭМС к процессам плазменного травления предъявляют высокие требования к скорости травления кремния, анизотропии, равномерности травления, селективности травления кремния по отношению к маскирующему покрытию и т. д. Необходимые значения вышеперечисленных характеристик достигаются путем оптимизации целого ряда операционных параметров процесса травления, которые включают в себя ВЧ-мощность на этапах травления и пассивации, температуру подложки, состав газовой смеси, отношения длительности времен травления и пассивации, расход газов на этапах травления и пассивации, потенциала ВЧ смещения и др.

Целью данной работы было экспериментальное изучение влияния расхода полимеризующего газа на ряд технологических параметров плазменного травления кремния: скорость травления (v), селективность травления кремния по отношению к фоторезисту (S), анизотропию (A) и равномерность травления (J), а также на угол наклона боковой стенки канавки (α).

Эксперименты были выполнены на установке «Платран-100» с реактором высокоплотной плазмы на основе ВЧ-источника с индуктивно-связанной плазмой. В качестве образцов использовались кремниевые пластины КЭФ-4,5 диаметром 100 мм с сформированной маской. В качестве маски использовался фоторезист S1815 SP15 фирмы Shipley толщиной 2.3 мкм. Рабочими газами для проведения процесса глубокого анизотропного плазменного травления были: SF_6 (стадия травления) и CHF_3 (стадия пассивации). Для улучшения теплоотвода от обрабатываемой пластины использовался вспомогательный газ гелий, который подавался в промежуток между пластиной и подложкодержателем. Фиксированные операционные параметры процесса имели следующие значения: $Q_{\text{He}} =$

3.5 см³/мин (расход гелия), $Q_{\text{SF}_6} = 400$ см³/мин (расход SF₆), ВЧ-мощность на стадиях травления и пассивации была равна 600 Вт, напряжение смещения на стадиях травления и пассивации составляло –40 В и –5 В, соответственно, продолжительность стадии травления $\tau_{\text{тр}} = 4$ с, продолжительность стадии пассивации $\tau_{\text{пасс}} = 2$ с и число циклов (N) процесса травления было равно 70, т. е., общее время травления $t = (\tau_{\text{тр}} + \tau_{\text{пасс}})N$ составляло 420 с (7 мин) во всех экспериментах. Для задания необходимого отрицательного потенциала смещения на плоский электрод с держателем подложки определенная мощность ВЧ смещения подавалась от отдельного ВЧ генератора. Травление проводилось при трех различных значениях расхода полимеризующего газа CHF₃: $Q_{\text{CHF}_3} = 150, 200$ и 250 см³/мин с фиксацией прочих операционных параметров.

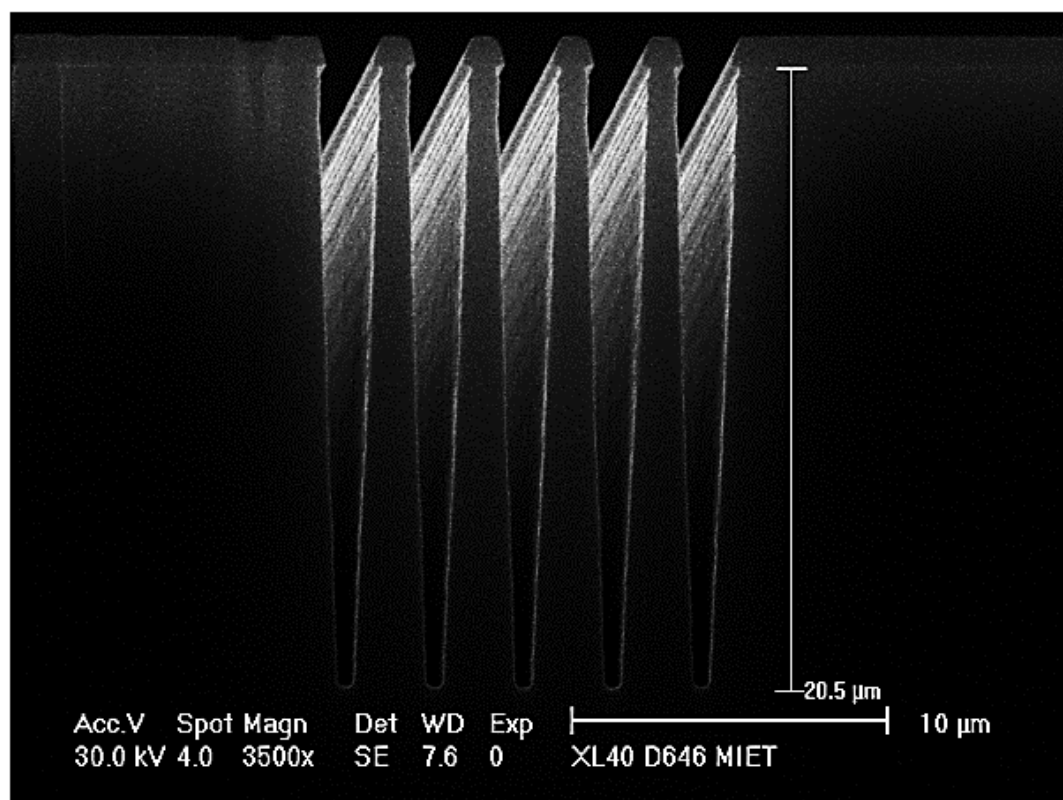


Рис. 1. Микрофотография профилей травления канавок в кремнии

Измерения толщины фоторезистивной маски до и после травления проводились на автоматизированной спектральной системе MPV-SP. Профили и геометрические параметры протравленных кремниевых структур изучались с помо-

щью сканирующего электронного микроскопа SEMXL 40 фирмы Philips. Исследования геометрических параметров проводились в трех точках пластины – в центре и в двух диаметрально разнесенных точках на периферии протравленной области.

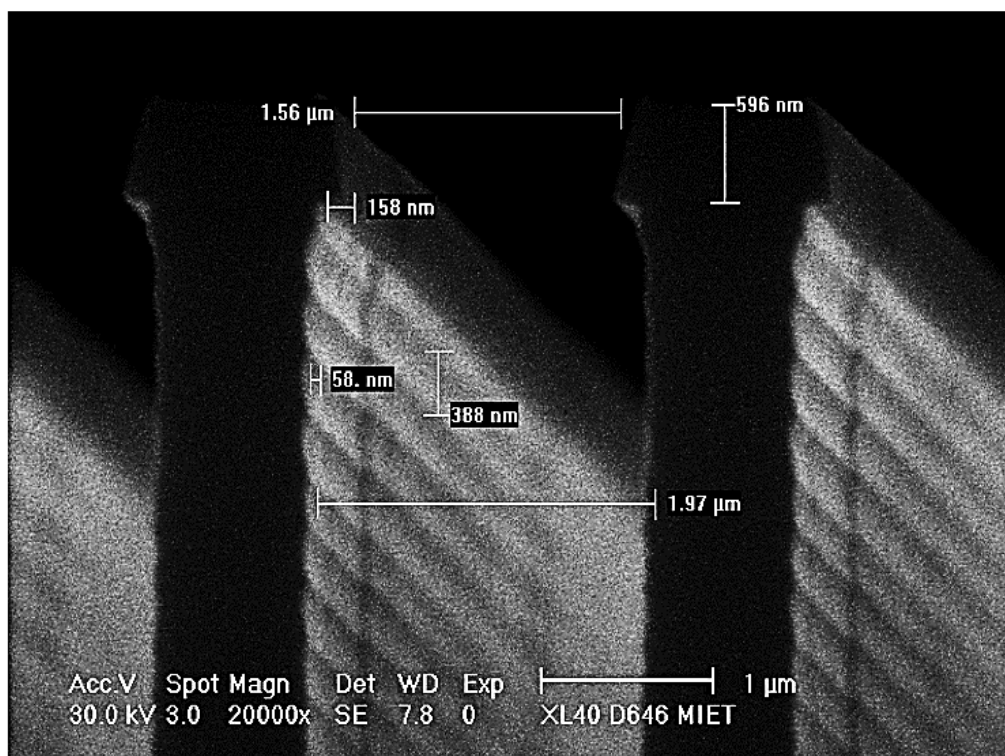


Рис. 2. Микрофотография верхней части профиля травления канавок в кремнии

На рисунках 1 и 2 представлены микроснимки полного профиля (рис. 1) и верхней части профиля (рис. 2) травления канавок в кремнии, иллюстрирующие процедуру геометрического анализа для определения величин v , S , A , J и α . Геометрический анализ профилей травления позволил определить искомые величины в соответствии со следующими выражениями:

$$v = h/t,$$

$$S = h/h_{\text{фр}},$$

$$A = 1 - (L/h),$$

$$J = (1 - (v_{\text{max}} - v_{\text{min}}) / \langle v \rangle) \cdot 100\%,$$

$$\text{tg} \alpha = 2h / (d_{\text{в}} - d_{\text{н}}).$$

В этих выражениях h – глубина протравленной канавки (мкм), t – время травления (мин), $h_{\text{фр}} = h_{\text{фр}}^0 - h_{\text{фр}}^1$ – толщина (мкм) стравленного слоя фоторезиста ($h_{\text{фр}}^0$ и $h_{\text{фр}}^1$ – толщины слоя фоторезиста до и после травления соответственно), L – подтрав под маску (мкм), v_{max} , v_{min} и $\langle v \rangle$ – максимальная, минимальная и средняя скорости (мкм/мин) травления кремния, соответственно, $d_{\text{с}}$ и $d_{\text{н}}$ – ширина канавки (мкм) сверху и снизу (см. рисунки 1 и 2).

Все указанные величины были получены путем усреднения трех значений, измеренных в пространственно разнесенных точках пластины, протравленной при фиксированном расходе полимеризующего (CHF_3) газа. Полученные значения скоростей травления, селективности, анизотропии, равномерности и углов наклона боковой стенки, измеренные при трех различных значениях расхода Q_{CHF_3} , представлены в таблице 1.

Таблица 1

<i>Расход CHF_3, $\text{см}^3/\text{мин}$</i>	<i>v, мкм/мин</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>J, %</i>	<i>α</i>
150	2.95	29.95	0.9866	98.24	89.15
200	2.78	32.03	0.9889	98.28	88.69
250	2.55	38.77	0.9899	99.30	88.61

Как видно из таблицы, увеличение расхода полимеризующего газа приводит к снижению скорости травления кремния, приблизительно, на 14.5%, по сравнению с максимальной скоростью, соответствующей $Q_{\text{CHF}_3} = 150 \text{ см}^3/\text{мин}$. Этот факт, очевидно, связан с увеличением толщины пассивирующего покрытия на дне канавки с ростом расхода CHF_3 , что препятствует эффективному глубокому травлению кремния. Рост толщины пассивирующей пленки положительно сказывается на величине селективности травления кремния по отношению к фоторезисту, но отрицательно, хотя и достаточно слабо, влияет на угол наклона боковой стенки канавки, значение которого монотонно уменьшается при увеличении Q_{CHF_3} . Анизотропия и равномерность травления также слабо реагируют на увеличение расхода полимеризующего газа (в обоих случаях изменения исследуемых величин составляет около 1%).

Таким образом, проведенные исследования позволили установить характер зависимости целого ряда технологически важных параметров глубокого анизотропного травления кремния от величины расхода полимеризующего газа. Показано, что поведение этих параметров, главным образом, определяется ростом толщины защитной пленки, образующейся на этапе пассивации в «Bosch»-процессе и напрямую зависящей от расхода полимеризующего газа.

Список литературы

1. Donnelly V.M., Kornblit A. Plasma etching: Yesterday, today, and tomorrow // Journal of Vacuum Science & Technology A. – 2013. – Vol. 31. – №5. – P. 050825-1-050825-48.