**7 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТРАВЛЕНИЮ МОНОКРИСТАЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ В КОМБИНИРОВАННОМ РАЗРЯДЕ**

Плазмохимическое травление (ПХТ), является стандартным вариантом сухого изотропного травления. Данный вид травления представляет особый интерес, так как обладает такими свойствами как:

– селективность;

– равномерность;

– скорость;

– не требует очистки поверхности после обработки;

– позволяет одновременно травить подложки и удалять фоторезистивные маски;

– возможность использования для обработки любых материалов. [https://vunivere.ru/work68719]

В качестве образцов при проведении исследования использовались пластины монокристаллического кремния диаметром 75 мм, с предварительно нанесенным слоем металлизации. Исследование проводилось с использованием СВЧ, НЧ и комбинированного разрядов, при различных давлениях. В качестве плазмообразующего газа был выбран CF4. Режим работы НЧ генератора – импульсный. Определение скорости травления производилось путем измерения высоты ступени между слоем металлизации и подложкой, до проведения процесса травления и после. Режим работы генератора НЧ импульсов – импульсный.

Исходные данные для исследования приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Исходные данные для травления моно-Si в комбинированном, ВЧ, СВЧ разрядах

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Время, мин | Давление, Па | НЧ | | | Мощность СВЧ, Вт |
| Режим НЧ, (имп./непр.) | Частота, кГц | Мощность, Вт |
| 1 | 1 | 20 | имп | 32 | 80 | - |
| 2 | 1 | 20 | имп | 32 | 80 | 130 |
| 3 | 1 | 20 | - | - | - | 130 |
| 4 | 1 | 40 | имп | 32 | 75 | - |
| 5 | 1 | 40 | имп | 32 | 75 | 130 |
| 6 | 1 | 40 | - | - | - | 130 |
| 7 | 1 | 70 | имп | 32 | 75 | - |
| 8 | 1 | 70 | имп | 32 | 75 | 130 |
| 9 | 1 | 70 | - | - | - | 130 |

Таблица 7.2 – Данные измерения глубины металлизации до обработки

и глубины травления после обработки

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Момент измерения | Измерения в 5 точках, (нм) | | | | | Среднее значение | Глубина травления | Скорость травления |
| Образец №1  НЧ | до, (нм) | 51 | 61 | 70 | 44 | 48 | 54,8 нм | 15,4 нм | 0,256 нм/с |
| после, (нм) | 54 | 58 | 84 | 81 | 74 | 70,2 нм |
| Образец №2  Комб | до, (нм) | 65 | 45 | 49 | 37 | 54 | 50 нм | 8 нм | 0,133 нм/с |
| после, (нм) | 54 | 59 | 59 | 46 | 72 | 58 нм |
| Образец №3  СВЧ | до, (нм) | 65 | 65 | 61 | 54 | 58 | 60,6 нм | 2,2 нм | 0,036 нм/с |
| после, (нм) | 63 | 56 | 65 | 65 | 65 | 62,8 нм |
| Образец №4  НЧ | до, (нм) | 54 | 54 | 56 | 45 | 54 | 52,6 нм | 106 нм | 1,77 нм/с |
| после, (нм) | 171 | 130 | 158 | 169 | 165 | 158,6 нм |
| Образец №5  Комб | до, (нм) | 56 | 47 | 54 | 54 | 58 | 53,8 нм | 419,2 нм | 6,99 нм/с |
| после, (нм) | 513 | 470 | 456 | 453 | 473 | 473 нм |
| Образец №6  СВЧ | до, (нм) | 45 | 45 | 47 | 45 | 54 | 47,2 нм | 17,2 нм | 0,29 нм/с |
| после, (нм) | 64 | 75 | 63 | 57 | 63 | 64,4 нм |
| Образец №7  НЧ | до, (нм) | 51 | 56 | 45 | 72 | 45 | 53,8 нм | 29,2 нм | 0,486 нм/с |
| после, (нм) | 93 | 81 | 81 | 90 | 70 | 83 нм |
| Образец №8  Комб | до, (нм) | 45 | 37 | 36 | 45 | 36 | 39,8 нм | 149,2 | 2,486 нм/с |
| после, (нм) | 180 | 183 | 207 | 186 | 189 | 189 нм |
| Образец №9  СВЧ | до, (нм) | 40 | 35 | 36 | 45 | 45 | 40,2 нм | 14,6 нм | 0,243 нм/с |
| после, (нм) | 63 | 47 | 61 | 52 | 51 | 54,8 нм |

Данные из таблицы 7.2 свидетельствуют о том, что при травлении образцов монокристаллического кремния при давлении в 20 Па, глубина, после 1 мин. травления существенно не изменилась. Скорости процесса для НЧ, комбинированного и СВЧ разрядов составили 0,256 нм/с, 0,133 нм/с, 0,036 нм/с, соответственно.

При повышении давления до 40 Па наблюдается существенное увеличение глубины протравливания при использовании НЧ и комбинированного разрядов. Скорость процесса при НЧ разряде – 1,77 нм/с, при комбинированном – 6,99 нм/с, при СВЧ – 0,29 нм/с.

Травление при давлении в 70 Па демонстрирует снижение глубины протравливания по сравнению с результатами эксперимента при 40 Па, однако, для комбинированного разряда результаты остаются выше чем при давлении в 20 Па. Скорости процесса составили: для НЧ – 0,486 нм/с, для комбинированного – 2,486 нм/с, 0,243 нм/с.

Таким образом, на основании данных исследования, можно сделать вывод о том, комбинированный разряд обладает наибольшей эффективностью при давлении около 40 Па. Эффективность травления на участке с давлением около 20 Па является низкой и почти не отличается от травления НЧ либо СВЧ разрядами. Травление на участке с давлением около 70 Па показало достаточно высокую эффективность комбинированного разряда, однако, осталась в несколько раз ниже, чем при давлении в 40 Па. Низкая эффективность всех типов разрядов на участке давления в 20 Па можно объяснить низким содержанием ионов в объеме разрядной камеры. С возрастанием давления до 70 Па длина свободного пробега Падение же скорости травления на участке с давлением в 70 Па объясняется уменьшением времени свободного пробега ионов уменьшается, за счет увеличения энтропии, что влечет за собой уменьшение скороститравления.

Высокая эффективность комбинированного разряда может быт объяснена его природой. Ионы, при использовании НЧ разряда, имеют строгое направление от анода к катоду, что делает процессы обработки с использованием данного разряда достаточно управляемыми. Однако из-за низкой мощности увеличивается длительность процессов. СВЧ разряд же наоборот имеет высокую мощность, однако ионы не имеют строгого направления движения и двигаются по объему разрядной камеры хаотично. Комбинированный разряд получается путем наложения на маломощный, но направленный НЧ импульс, мощного СВЧ излучения, что дает возможность быстро проводить процессы плазмохимической обработки, при этом имея широкие возможности у правления.