

Величина удельного электрического сопротивления припоя слабо зависит от концентрации углеродных нанотрубок, но снижается с увеличением концентрации (рис. 2).

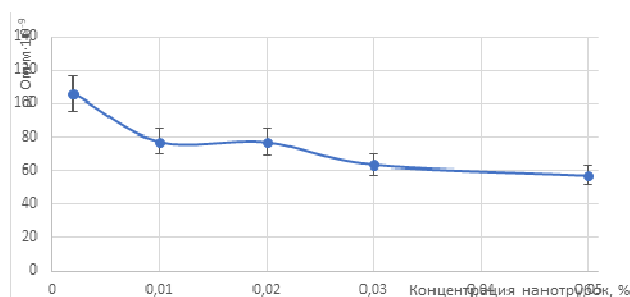


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления оплавленной пасты от концентрации углеродных нанотрубок

Оптимальные значения прочностей паяных соединений λ для модифицированных паяльных паст находятся в диапазоне 260–340 °С. С увеличением процентного соотношения УНТ растет прочность и стабильность паяных соединений. Наибольшие значения прочности до 42 МПа достигнуты при содержании УНТ 0,01 %.

Литература

1. The Influence of Carbon Nanotubes on the Properties of Sn Solder / Kai-kai Xu [et al.] // Materials Transactions, 2020, Vol. 61. – N 4. – P. 718–722.
2. Повышение прочности паяных соединений введением углеродных наночастиц в паяльные пасты / С. А. Жданок, В. А. Емельянов, В. Л. Ланин, А. В. Крауклис // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95, № 6. – С. 1465–1470.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА ПЛАЗМЕННОЙ КАМЕРЫ НА ПРОЦЕСС ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ

М. С. Лушакова, О. И. Тихон, С. И. Мадвейко

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Установлена зависимость изменения скорости травления кремниевой пластины от высоты разрядной камеры в плазме комбинированного разряда. Выбрана оптимальная высота камеры исходя из скорости травления и рельефа получаемой поверхности.

Ключевые слова: плазменная камера, комбинированный разряд, травление, кремний.

INFLUENCE OF THE PLASMA CHAMBER HEIGHT ON THE SILICON ETCHING PROCESS

M. S. Lushakova, O. I. Tsikhan, S. I. Madveika

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The dependence of the silicon wafer etching rate on the discharge chamber height in the combined discharge plasma has been established. The optimal height of the chamber was determined based on the etching rate and the relief of the resulting surface.

Keywords: plasma chamber, combined discharge, etching, silicon.

Процесс травления полупроводниковых материалов является одним из ключевых этапов технологии изготовления интегральных микросхем и микромеханических структур, основная цель которого состоит в селективном удалении слоев материала с поверхности подложки по заданному рисунку. Для достижения этой цели необходимо подробное исследование различных технологических параметров используемых разрядных систем для получения оптимальных результатов. Одним из важных технологических параметров является высота рабочего объема плазменной камеры, которая оказывает непосредственное влияние на объем формируемой плазмы. Данный параметр является одним из факторов, влияющих на скорость и качество получаемой поверхности после травления [1].

Исследование проводилось в плазме комбинированного разряда, который сформирован при одновременной работе СВЧ и НЧ генераторов. Подробно конструкция установки и оптимальные режимы формирования и поддержания плазмы комбинированного разряда описаны в [2]. В данном исследовании мощность источника питания СВЧ генератора составляла 500 Вт, мощность НЧ генератора – 160 Вт. Процесс травления проходил в среде газа CF_4 при давлении 50 Па, выбор оптимального диапазона давлений представлен в [3], время травления составляло 30 с, высота между электродами емкостной системы реакционно-разрядной камеры, которая определяла высоту рабочего объема плазменной камеры, варьировалась от 52 до 97 мм. Полученная зависимость, представлена на рис. 1.

Установлено, что при минимальном объеме разрядной камеры скорость травления достигает средних значений. Это может быть обусловлено конструкцией разрядной камеры и связано с поступлением СВЧ энергии в разрядный объем перпендикулярно НЧ емкостной системы. Процесс травления при таком размере камеры носит преимущественно изотропный характер, обрабатываемый материал подвержен нагреву. При высоте 70–80 мм скорость травления кремниевых пластин уменьшается. При высоте камеры 90–97 мм скорость травления является максимальной. Увеличение расстояния между электродами влечет за собой изменение резонансных свойств в камере и увеличение длины свободного пробега частиц. Это способствует интенсивному бомбардированию поверхности обрабатываемого материала и рост скорости процесса травления.

На рис. 2 представлены изображения рельефа поверхности кремния после травления для высоты камеры 97, 79, 52 мм, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии. Статистически проанализированные результаты шероховатостей поверхностей для данных образцов сведены в таблицу.

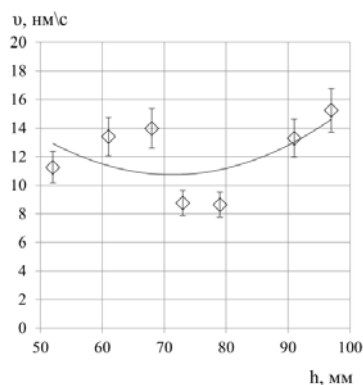


Рис. 1. Зависимость скорости травления кремния от высоты камеры в плазме комбинированного разряда

Изменение шероховатости поверхности кремния после травления для различной высоты камеры

Высота камеры	Среднеквадратичная шероховатость R_q	Средняя шероховатость R_a
97 мм	7,091 нм	5,739 нм
79 мм	7,859 нм	5,934 нм
52 мм	11,18 нм	8,62 нм

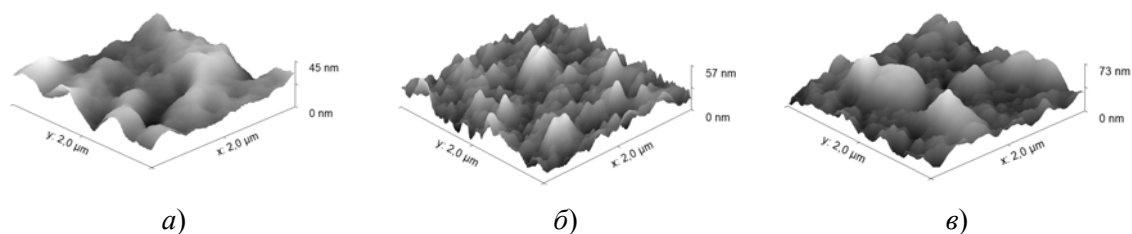


Рис. 2. Рельеф поверхности кремния после травления при высоте камеры: а – 97 мм; б – 79 мм; в – 52 мм

Значения шероховатости поверхности кремния и рельеф образцов указывают на более гладкий профиль для высоты рабочего объема плазменной камеры в 97 мм. С уменьшением высоты камеры поверхность приобретает большую зернистость, что указывает на интенсивное изотропное травление.

При данном исполнении разрядной камеры оптимально использование для процесса травления высоты рабочего плазменного объема 90–97 мм. При этом достигается скорость травления кремния в среде CF_4 ~15 нм/с со среднеквадратичной шероховатостью поверхности R_q ~7 нм.

Литература

1. Role of chamber dimension in fluorocarbon based deposition and etching of SiO_2 and its effects on gas and surface-phase chemistry / E. A. Joseph [et al.] // J. Vac. Sci. Technol. A 1. – 2008. – Vol. 26. – N 3. P. 545–554. – DOI 10.1116/1.2909963 (дата обращения: 15.10.2025).
2. Лушакова, М. С. Исследование влияния режимов работы СВЧ и НЧ генераторов на возбуждение плазмы комбинированного разряда / М. С. Лушакова, О. И. Тихон, С. И. Мадвейко // Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Новополоцк, 14 нояб. 2024 г. – Новополоцк, 2024. – С. 142–146.
3. Лушакова, М. С. Исследование влияния давления в разрядной камере на формирование комбинированного разряда / М. С. Лушакова, О. И. Тихон, К. Н. Барковская // Физика конденсированного состояния : материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 3–4 апр. 2025 г. / ГрГУ им. Я. Купалы ; ред.: Г. А. Гачко, О. А. Жарнова [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2025. – С. 215–216.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТА В ОБЪЕМЕ СВЧ РАЗРЯДА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ

О. И. Тихон, С. И. Мадвейко

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск

Изучено влияние параметров работы СВЧ генератора и условий формирования СВЧ разряда в непрерывном режиме генерации электромагнитной энергии на скорости удаления фоторезиста с поверхности Si пластин. Установлено закономерное сокращение времени