

04;06;11

Травление материалов локализованным газовым разрядом

© А.В. Абрамов, Е.А. Абрамова, И.С. Суровцев

Воронежский государственный университет

Поступило в Редакцию 3 августа 2000 г.

Показана возможность локализации газового разряда между отдельными элементами поверхностей электродов заданной геометрии. Исследованы основные характеристики и определены формы существования локализованного разряда. Используя такого рода разряд во фторсодержащих газах, проведено размерное травление кремния и диоксида кремния без применения масок с разрешением $100 \mu\text{m}$.

Существующие методы "сухого" травления материалов предусматривают формирование плазмы в большей части объема рабочей камеры. Для проведения размерного травления с помощью подобных методов необходимая часть поверхности материалов защищается от воздействия плазмы маской. При этом подвергаемая травлению площадь обычно несоизмеримо мала по сравнению с площадью контактирующих с плазмой поверхностей, на которых гибнут химически активные частицы и идет процесс осаждения частиц газа [1,2], характерное время которого $\sim 10 \text{ s}$ [3]. Поэтому для поддержания постоянных значений концентрации химически активных частиц и давления газа (P) необходима непрерывная его подача. Расход газа и электроэнергии в таких системах малоэффективен, а плотность поглощаемой в плазме мощности (w) обычно не превышает 1 W/cm^3 .

Целью настоящей работы было исследование возможностей формирования высокочастотного газового разряда с заданной конфигурацией и использования его для размерного травления материалов без применения масок.

Используемая в работе частота возбуждающего разряда напряжения (f) была 13.56 MHz . В качестве плазмообразующих газов применялись SF_6 , CF_4 и воздух. При спектральном исследовании плазмы методом актинометрии к рабочим газам добавлялся Ar (4–5% от объема смеси).

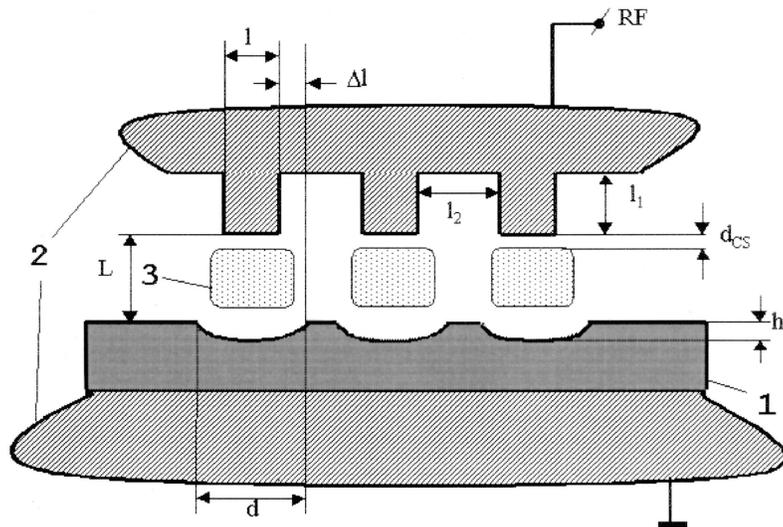


Рис. 1. Схематичное изображение реализации ТЛП: 1 — обрабатываемый материал; 2 — электроды; 3 — плазма.

Представляемое здесь травление основано на формировании газового разряда только над теми частицами поверхности материала, которые подлежат обработке. Для этого на поверхности одного из электродов гравировается негативное изображение требуемого рисунка травления (рис. 1). Установлено, что необходимым условием локализации разряда у выступающих участков поверхности электрода, является выполнение соотношения $L, l, l_1, l_2 \gg \lambda$, где λ — длина свободного пробега электронов в плазме. При $L, l, l_1, l_2 = 100 \mu\text{m}$, $P = 10^4 \text{ Pa}$ и эффективном значении падения напряжения на разряде (U_{RF}) 200 V величина w составляла несколько kW/cm^3 . При такой плотности мощности концентрация атомов F (n_{F}) в разряде SF_6 в несколько раз превышала исходную концентрацию молекул. Скорость одновременного травления такой плазмой пяти параллельных дорожек длиной 50 mm и шириной $300 \mu\text{m}$ в кремнии составляла около $5 \mu\text{m/s}$, что на два порядка выше достигаемой при обычном плазмохимическом травлении. Изотропный характер травления Si, проведенного локализованным разрядом SF_6

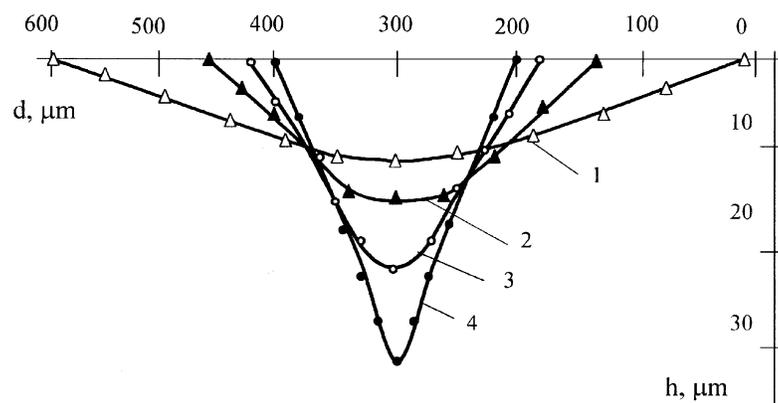


Рис. 2. Профили канавок травления в кремнии: газ — SF_6 , $L = 50 \mu\text{m}$, $t = 20 \text{ s}$, $P = 10^4$ (1), $2 \cdot 10^4$ (2), $3 \cdot 10^4$ (3), $4 \cdot 10^4$ (4) Па, $U_{\text{RF}} = 200$ (1), 210 (2), 215 (3), 225 (4) В.

через алюминиевую маску, а также селективность травления Si по отношению к SiO_2 , равная 6, говорят о преимущественно химической природе этого процесса.

В зону горения локализованного разряда газ поступает из объема рабочей камеры за счет диффузии, обусловленной перепадом парциальных давлений компонентов газа и градиентом его температуры. Поскольку объем локализованного разряда обычно много меньше объема этой камеры, то травление с его помощью можно проводить в замкнутой системе. Причем величина n_{F} в разрядах SF_6 и CF_4 оставалась постоянной в течение десятков минут.

Для характеристики направленности травления локализованным разрядом введем понятие показателя анизотропии (A), в качестве которого примем отношение глубины травления h к величине растрыва канавки Δl за границы проекции выступающего элемента электрода на исходную поверхность материала (рис. 1). Представленные на рис. 2 результаты, полученные с использованием одиночного никелевого электрода толщиной $100 \mu\text{m}$ и длиной 50 mm , показывают, что с ростом давления газа величина A повышается. Наблюдаемое увеличение A , вероятно, связано с уменьшением области горения разряда, так как концентрация

электронов в разряде слабо меняется с ростом давления газа, а коэффициент диффузии уменьшается $\sim P^{-1}$. В то же время при $L = \text{const}$ повышение давления приводило к росту напряжения зажигания разряда, что нежелательно по ряду причин, главная из которых — переход тлеющего разряда в дуговой. Поэтому для улучшения разрешающей способности травления одновременно с увеличением P необходимо уменьшать L . Этому, однако, препятствует объективно существующая при выбранных режимах горения разряда толщина катодного слоя (d_{CS}). Она не может быть больше L (рис. 1). Полученные нами в различных газах вольт-амперные характеристики локализованного разряда, а также значения плотностей идущих через него токов позволили отнести его к нормальному тлеющему разряду, горящему в γ -форме. Величина d_{CS} в γ -разряде при $P \approx 10^4$ Па составляет $\sim 100 \mu\text{m}$ [4].

В отдельных случаях при определенных соотношениях значений L и P ВЧ разряд вел себя как тлеющий разряд переменного тока. Переход от ВЧ разряда в γ -форме к разряду переменного тока характеризуется критической частотой $f_c \approx 330 P^2 \cdot \text{Hz}$ [4]. При $f < f_c$ горит разряд переменного тока. Он горит в импульсном режиме и скважность между импульсами увеличивается с ростом давления газа при $L = \text{const}$. Это обстоятельство приводило, в частности, к наблюдавшемуся нами с ростом P уменьшению скорости травления Si под центральными частями выступающих элементов электрода и некоторым другим эффектам, которые будут описаны в последующих публикациях.

Список литературы

- [1] *Виноградов Г.К., Словецкий Д.И., Федосеев Т.В.* // Теплофизика высоких температур. 1984. Т. 22. № 2. С. 225–232.
- [2] *Врублевский Э.М., Трубин И.С., Холопов А.В.* // Микроэлектроника. 1994. Т. 23. № 4. С. 80–85.
- [3] *Абрамов А.В., Абрамова Е.А., Суровцев И.С.* // Математическое моделирование ИТС. Сб. науч. тр. № 1. Воронеж: ВГТА, 2000. С. 268–272.
- [4] *Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Р.А.* Высоочастотный емкостной разряд: Физика. Техника эксперимента. М.: Наука, 1995. 320 с.