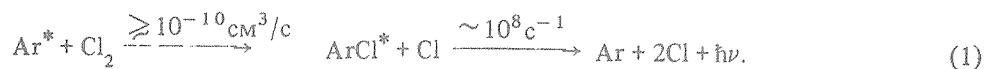


## РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СКОРОСТЬ ТРАВЛЕНИЯ МОНОКРЕМНИЯ В СМЕСИ Ar:Cl<sub>2</sub>

А.В. Гусев, Э.М. Врублевский, А.Г. Жидков, В.Ю. Киреев,  
И.В. Новиков, С.И. Яковленко

*Показано, что благодаря эффективной гарпунной реакции  $Ar^* + Cl_2 \rightarrow ArCl^* + Cl \rightarrow Ar + 2Cl + h\nu$  разбавление  $Cl_2$  аргоном при давлениях  $p > 20$  Па не приводит к уменьшению атомарного хлора в плазме и не уменьшает скорость травления монокремния.*

Исследования травления образцов в смесях инертных газов с галогеноносителями /1–3/ обусловлены попытками создания газовых смесей с низким расходом галогеноносителя, но высокой скоростью травления. В данной работе предложен класс сравнительно инертных смесей с низким расходом галогеноносителя, позволяющих добиться слабого изменения скорости травления при значительных перепадах давления смеси, изменения скорости травления при варьировании состава смеси. Это смеси инертного газа с галогеноносителем, эффективно вступающим в гарпунную реакцию. В случае смеси Ar:Cl<sub>2</sub> это реакция



В разряде чистого галогена или фреона "наработка" атомов галогена идет в основном в реакции диссоциативного прилипания электрона плазмы, например:



При добавлении инертного газа R в плазме появляются его возбужденные атомы, которые в реакторах с давлением  $p > 1$  Па и размером плазменной зоны  $L \geq 1$  см разрушаются в объеме плазмы в реакции (1) и радиационно  $R^* \rightarrow R + h\nu$ . При давлениях  $p > 10$  Па и  $L \geq 5$  см последний процесс несущественен из-за реабсорбции и реакция (1) является основным каналом разрушения  $R^*$ . При этом "наработка" галогеноносителя идет в реакциях (1) и (2):

$$\tau^{-1} [Cl] = 2k_1 [Ar] [Cl_2] + k_2 N_e [Cl_2] = (2V[Ar] + k_2 [Cl_2]) N_e = N \cdot N_e [2Vy + k_2 (1-y)]. \quad (3)$$

Здесь  $\tau$  – время диффузионного ухода Cl на стенки реактора;  $k_{1,2}$  – скорости процессов (1), (2);  $V$  – скорость возбуждения Ar электронами плазмы;  $y = [Ar]/N$ ;  $N = [Ar] + [Cl_2]$ ;  $N_e$  – концентрация электронов. В (3) учтено, что  $k_1 \gg 1/\tau_{Ar}$ . Если скорость возбуждения инертного газа выше скорости диссоциативного прилипания, то разбавление галогена инертным газом приводит к росту потока атомов галогена на образец. Кроме того, с ростом концентрации инертных атомов согласно (3) из-за уменьшения диссоциативного прилипания растет концентрация электронов плазмы и, соответственно, поток химических активных частиц.

На рис. 1 приведены результаты расчетов концентрации Cl в смеси Ar:Cl<sub>2</sub> при различных давлениях и составе смеси и постоянном энергокладе  $\dot{W} = 0,1$  Вт/см<sup>3</sup>. Расчеты проводились на основе комплекса программ ПЛАЗЕР /4/; учитывалось 14 компонент плазмы и 30 плазмохимических реакций. Электроны плазмы считались максвелловскими, излучение атомов Ar\* считалось полностью реабсорбированным. Первое предположение приводит к занижению скорости возбуждения Ar при давлении  $p \geq 40$  Па из-за

неучета влияния поля на функцию распределения электронов; второе предположение завышает вклад реакции (1) в "наработку" атомов хлора при давлениях  $p < 10$  Па. Тем не менее, результаты расчетов качественно верно отражают характер изменения  $[Cl]$  в смеси с ростом содержания Ar и давления и дают заметный рост  $[Cl]$  уже при давлении  $p = 20$  Па (рис. 1).

Расчеты стимулировали экспериментальное исследование скорости травления монокремния в смеси Ar:Cl<sub>2</sub>. Для этого использовался реактор с плоскопараллельными электродами ( $d = 10$  см) с мощностью  $W = 80$  Вт (объем  $\sim 10^3$  см<sup>3</sup>) и постоянным расходом  $\Sigma Q = 0,143$  Па·м<sup>3</sup>/с. Давление смеси варьировалось от 8 до 50 Па. Результаты измерений скорости травления представлены на рис. 2. Начиная с давления  $p = 20$  Па, скорость травления монокремния растет при добавлении в Cl<sub>2</sub> аргона, при давлении  $p = 50$  Па скорость травления возрастает в 15 раз в смеси Ar:Cl<sub>2</sub> = 7,5:1. Результаты измерений согласуются с расчетами.

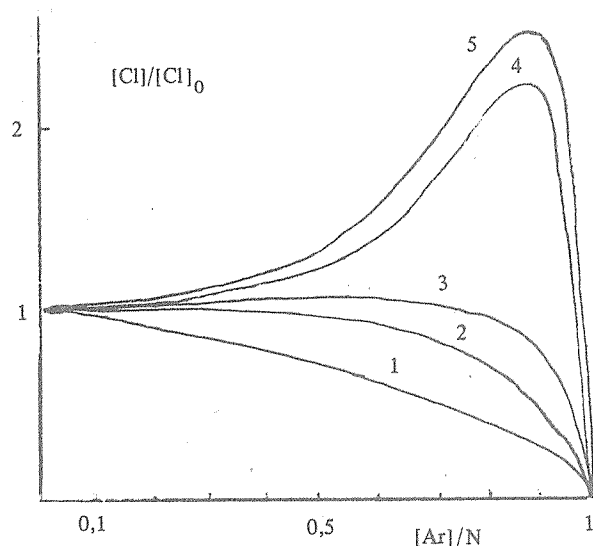
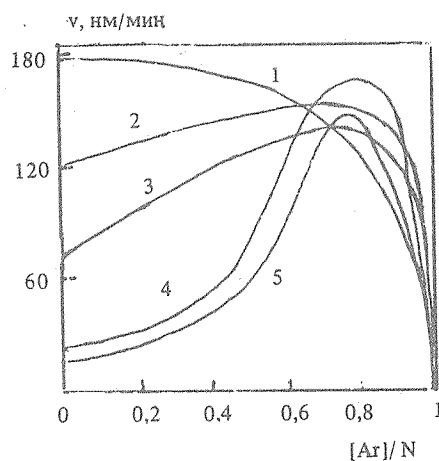


Рис. 1. Рассчитанное отношение концентрации атомарного хлора в разряде Ar:Cl<sub>2</sub> к концентрации атомарного хлора в чистом газе Cl<sub>2</sub> при давлениях смеси  $p = 1$  Па (1), 2 Па (2), 4 Па (3), 22 Па (4), 43 Па (5). Удельный энерговыход  $\dot{W} = 0,1$  Вт/см<sup>3</sup>.

Рис. 2. Зависимость скорости травления  $v$  монокремния от состава смеси Ar:Cl<sub>2</sub> при постоянном суммарном расходе ( $\Sigma Q = 0,143$  Па·м<sup>3</sup>/с) и прикладываемой ВЧ мощности  $W = 80$  Вт, для различных давлений  $p = 8$  Па (1), 20 Па (2), 30 Па (3), 40 Па (4), 50 Па (5).



Отметим, что в смеси Ar:Cl<sub>2</sub> = 7,5:1 изменение давления смеси от 8 до 50 Па не приводит к заметному изменению в скорости травления. Такими же достоинствами обладают смеси  $R \div Cl_2, F_2, NF_3$ , и т.д., где  $R = Ar, Kr, Xe$ , в которых гарпунная реакция идет интенсивно. Использование Kr, Xe в качестве разбавителей более эффективно из-за низкого порога их возбуждения электронами плазмы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Врублевский Э. М. и др. Электронная техника, сер. 6, вып. 5, 8 (1982).
2. Charman J., Fay B., Linn N. J. Vac. Sci. Techn. 31, 1051 (1983).
3. Donnelly V., Flamm D. L. J. Appl. Phys., 56, 242 (1984).
4. Бойченко А. М. и др. Препринт ИОФАН № 282, М., 1987.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 23 февраля 1989 г.