

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАБОТАННЫХ В SiH_4+O_2 ПЛАЗМЕ СТЕНОК РЕАКТОРА НА КОНЦЕНТРАЦИЮ АТОМОВ КИСЛОРОДА В O_2 ПЛАЗМЕ ВЧ РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

О.В. Морозов, И.И. Амиров

*Институт микроэлектроники и информатики РАН,
150007, г. Ярославль, Университетская 21*

Кислородсодержащая плазма широко применяется в различных процессах микротехнологии, таких как удаление резиста или травление органических межслойных диэлектриков. Характеристики всех этих процессов определяются концентрацией атомов кислорода в плазме ли в послесвечении плазмы. Многочисленные исследования показали [1-4], что при низком давлении содержание атомов кислорода в кислородной плазме определяется процессами их гибели на стенках реактора. В зависимости от их состояния концентрация атомов кислорода в плазме может отличаться в более чем 10 раз [3]. Факторами, определяющих скорость гибели атомов кислорода на стенках, являются наличие адсорбированных на их поверхности молекул воды, ОН радикалов, а также температура стенок. Так скорость рекомбинации атомов кислорода на поверхности покрытой слоем гидраксила гораздо меньше, чем на чистой поверхности. Это приводит к увеличению содержания кислорода в реакторе. На чистых кварцевых стенках реактора с ростом их температуры концентрация кислорода в объеме падает, так как коэффициент их рекомбинации увеличивается [1]. В данной работе показано, что наличие в кислородной плазме атомов водорода приводит с увеличением температуры стенок не уменьшению, наоборот, к увеличению содержания атомов кислорода в реакторе.

Измерения проводили в реакторе высокоплотной плазмы ВЧ индукционного разряда низкого давления ($P < 1 \text{ Па}$) в магнитном поле электромагнитной катушки. Конструкция реактора подробно описана в работе [5]. Он состоит из двух цилиндрических камер – разрядной и реакционной. Разрядная камера представляет собой кварцевую трубу (диаметр 100 мм, длина 150 мм) с навитым на него индуктором (2 витка). На индуктор подавали напряжение от ВЧ генератора ($f = 13,56 \text{ МГц}$, 1500 Вт). Магнитное поле на оси реактора в плоскости катушки равнялось 50 Гс. Из разрядной камеры плазма диффузно распространялась в реакционную камеру (диаметр 300 мм, высота 300 мм). В ней был помещен алюминиевый цилиндр (диаметр 230 мм и длина 260 мм). Этот цилиндр служил в качестве внутреннего экрана, который ограничивал область горения плазмы. В процессе горения плазмы температура стенки изменялась в диапазоне 25-375 °С. Стенки цилиндра были покрыты слоем диоксида кремния. Его наносили методом плазмохимического осаждения в SiH_4+O_2 плазме [5]. Температуру стенки внутреннего экрана измеряли термопарой.

Относительную концентрацию атомов кислорода и измеряли методом оптической эмиссионной актинометрии. В качестве актинометра использовали аргон. Его добавляли к кислороду в количестве 5 % от общего расхода. Регистрацию излучения плазмы осуществляли через кварцевое окно в боковой стенке реактора с помощью монохроматора Jobin-Yvon H20UF с ФЭУ Hamamatsu JR928 измерительного комплекса MULTISEM 440. Интенсивность измеряли на длинах волн 844,6 нм и 750,4 нм, которые соответствуют линиям излучения атомарного кислорода ($3p^3P \rightarrow 3s^3S^0$) и аргона ($2p_1 \rightarrow 1s_2$). Относительную концентрацию атомов кислорода в плазме определяли из отношения интенсивностей $I_{\text{O}}/I_{\text{Ar}}$. Кроме контроля излучения атомов аргона и кислорода контролировали также излучение атомов водорода. Наличие линий излучения водорода H_{α} в плазме объясняется выделением водорода из стенок экрана, который накапливался в них в процессе обработки их в SiH_4+O_2 плазме.

Все измерения проводились при расходах кислорода и аргона 95 и 5 см³/мин, соответственно, и давлении в реакционной камере 0,8 Па. С увеличением подаваемой ВЧ

мощности наблюдался рост как интенсивности излучения аргона так и относительной интенсивности излучения атомов кислорода R_A (рис.1). Измерения плотности ионного тока на подложку в зависимости от ВЧ мощности показывают такую же зависимость [5]. Эти данные свидетельствуют, что увеличение относительной концентрации атомов кислорода объясняется ростом концентрации заряженных частиц.

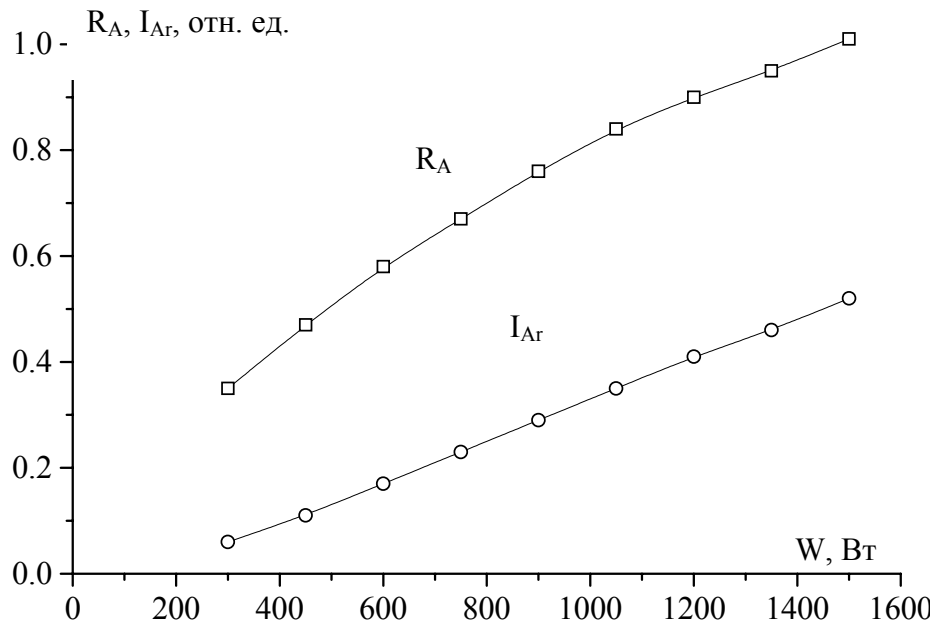


Рис. 1.

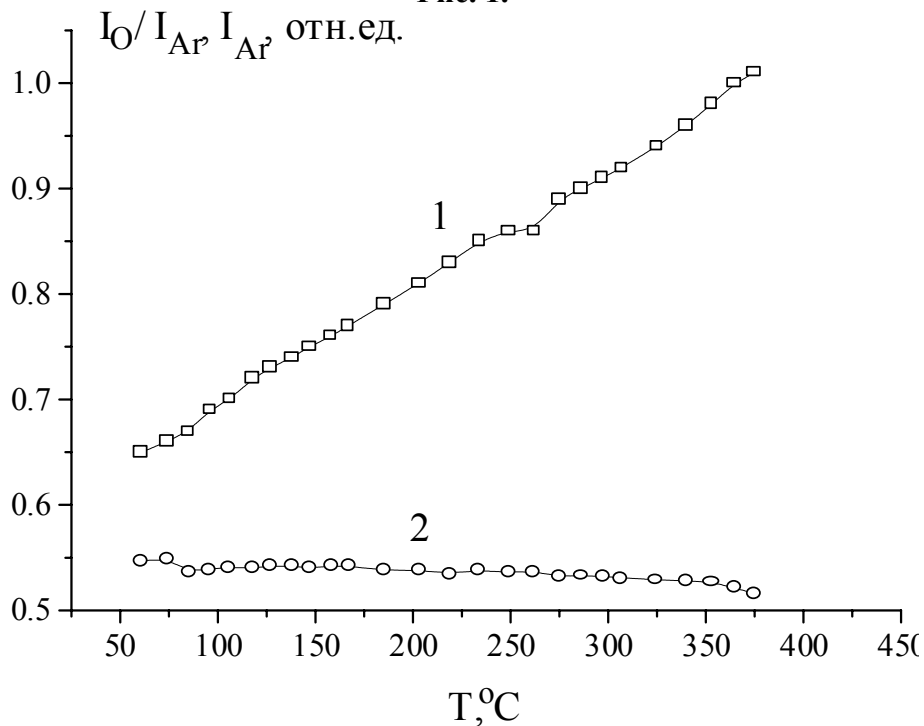


Рис. 2.

При увеличении температуры стенки наблюдается подобная растущая зависимость (рис. 2).

Увеличение относительной концентрации атомов кислорода в ректоре с ростом температуры стенок реактора очевидно обусловлено соответствующим уменьшением вероятности гибели атомов кислорода на стенках. Однако в отличие от наблюдающегося

увеличения скорости рекомбинации атомов кислорода на кварцевой стенке γ с ростом температуры стенки [1], в данной работе наблюдается уменьшение γ .

Такая отрицательная энергия активации рекомбинации атомов кислорода может быть обусловлена наличием атомов водорода в плазме. Об их наличии в плазме свидетельствуют спектроскопические исследования состава плазмы. С увеличением температуры стенок реактора относительная интенсивность атомов водорода увеличивалась, также как содержание атомов кислорода (рис.3). При высоких температурах выделение водорода из стенок алюминиевого, покрытого слоем диоксида кремния резко возросло.

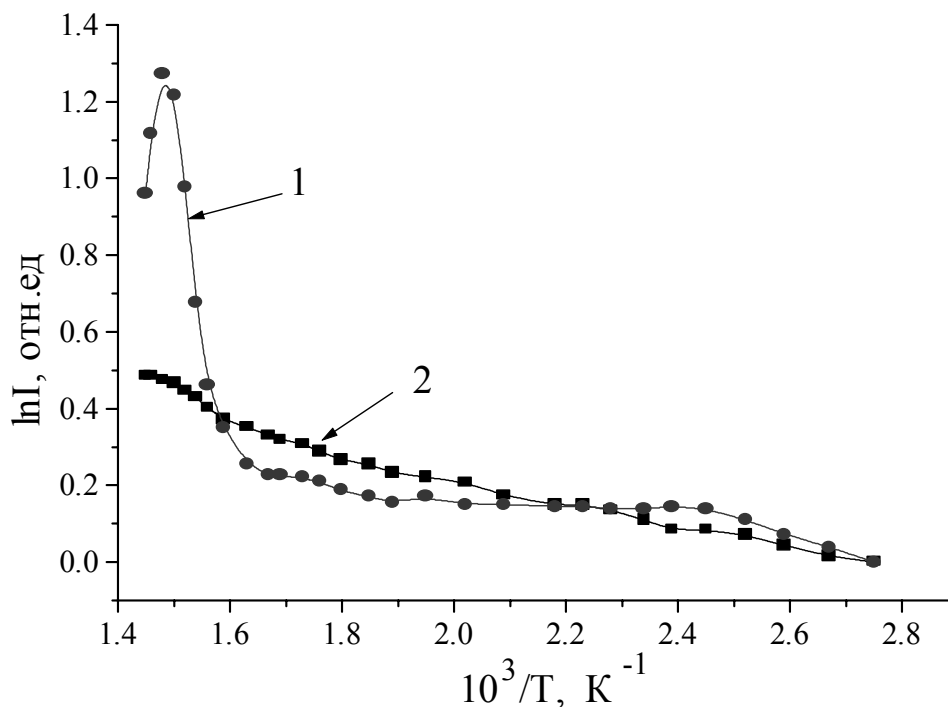


Рис. 3. Изменение относительной интенсивности излучения атомов водорода (1) и концентрации атомов кислорода (2) от температуры в арениусовых координатах.

Возможны различные механизмы гибели атомов кислорода на стенках реактора в присутствии атомов водорода [6]. Поскольку водород выделяется из стенок реактора, то, очевидно, на их поверхности образуются адсорбированные слои воды и ОН радикалов. Механизм их влияния на процесс рекомбинации атомов кислорода также может быть различным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бровикова И.Н., Рыбкин В.В. // *Химия высоких энергий*. 1993. Т.27. № 4. С.89-91.
2. Collart E.J., Baggerman J.A., Visser R.J. // *J.Appl.Phys.* 1995. V.78. N1. P.47-56.
3. Fuller N.C.M., et.al. // *Plasma Sources Sci. Technol.* 2000. 9. P. 116-127.
4. Granier A., et.al. // *Plasma Sources Sci. Technol.* 1997. 6. P. 147-156.
5. Морозов О.В., Амиров И.И. // *Микроэлектроника*. 2000. Т.29. №3. С. 170-176.
6. О.В. Крылов, Б.Р.Шуб. *Неравновесные процессы в катализе*. М.:Химия.1990. С.280.