

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАЛЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОДОРОДА НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССОВ В ПЛАЗМЕ N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>

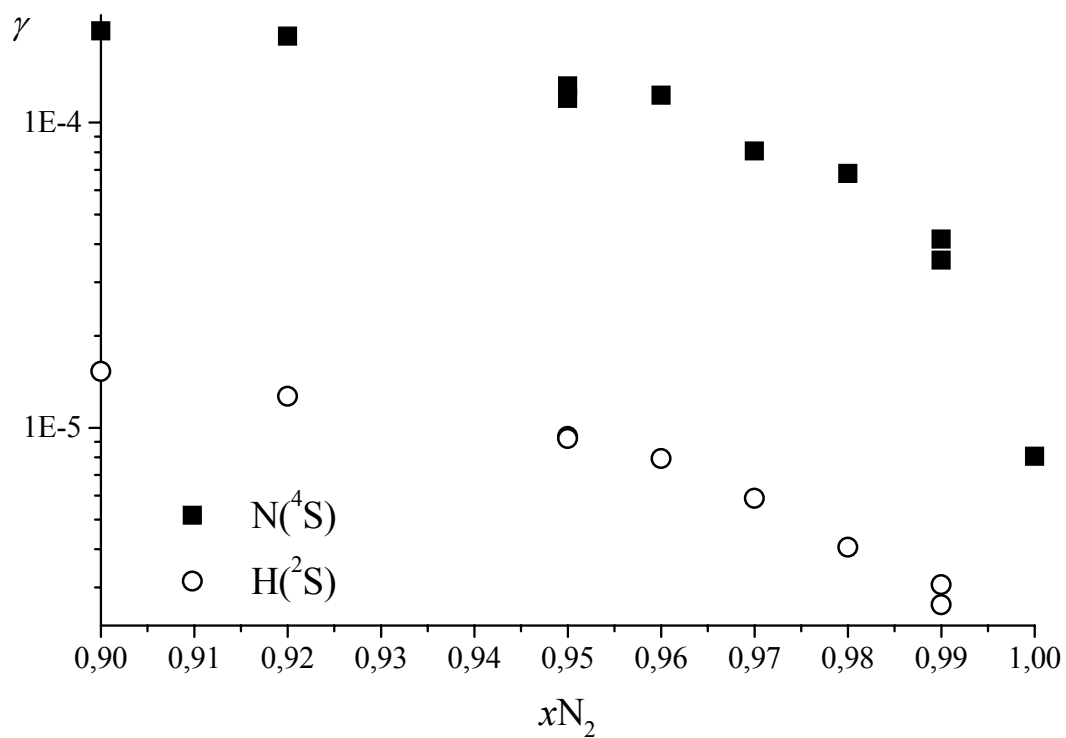
**И.Н. Бровикова, Э.Г. Галиаскаров**

*Ивановский государственный химико-технологический университет,  
153460, г. Иваново, просп. Ф.Энгельса, 7. edart@isuct.ru*

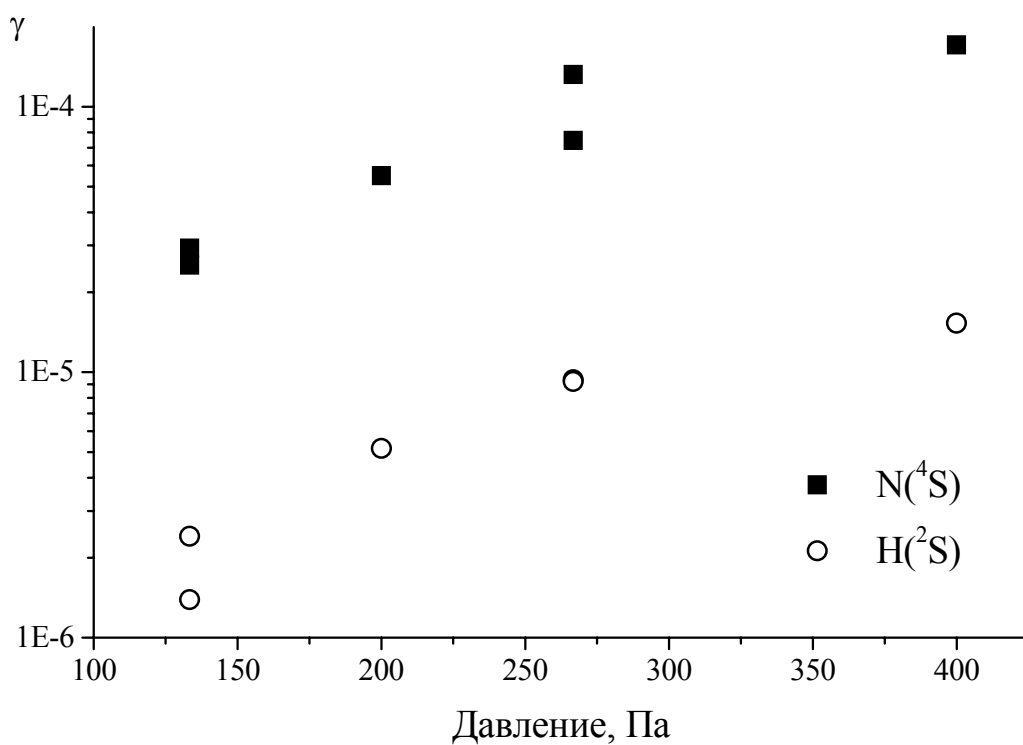
Хорошо известно, что электрические разряды в смесях молекулярных газов являются более эффективными источниками атомов, чем разряды в «чистых» молекулярных газах при соответствующих условиях. Причем наибольший интерес представляют крайние случаи, когда количество одного из газов не велико, всего несколько процентов. Так, например, установлено, что небольшие примеси водорода приводят к существенным изменениям параметров азотной плазмы и к значительному увеличению концентрации атомов азота [1] по сравнению с чисто азотной плазмой. Аналогичная реакция наблюдается и в ответ на добавление небольших количеств кислорода [2]. Объяснение такого влияния примеси необходимо искать как в изменении свойств плазмы в смеси газов, непосредственно влияющих на кинетику процессов образования атомов, так и в изменении состояния ограничивающей плазму поверхности, непосредственно влияющих на кинетику процессов гибели атомов. Последнее как раз и является предметом настоящего исследования. Поскольку наибольшие изменения наблюдаются при добавлении небольших количеств водорода, настоящее исследование ограничивается изучением влияния добавок водорода до 10%.

Исследования проводились на установке, детальное описание которой дано в работах [3-5]. Источником атомов N(<sup>2</sup>S) и N(<sup>4</sup>S) являлся тлеющий разряд постоянного тока в N<sub>2</sub>-xH<sub>2</sub>, где x менялось от 0 и до 10 %. Цилиндрический реактор с внутренним диаметром 15 мм был изготовлен из молибденового стекла марки С 52. Длина положительного столба (ПС) разряда могла меняться путем перемещения анода. Атомы в основном состоянии N(<sup>4</sup>S) и N(<sup>2</sup>S), выходящие из разряда, регистрировались ЭПР-спектрометром РЭ1301. Диапазон давления составлял 60-400 Па, а тока разряда 10-100 мА. Методика кинетических измерений основывалась на решении уравнения непрерывности плотности потока атомов в предположении первого порядка реакции рекомбинации атомов [3-5]. Основные результаты измерений вероятностей гетерогенной гибели атомов N(<sup>2</sup>S) и N(<sup>4</sup>S) в области послесвечения и положительного столба N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> плазмы представлены на рисунках 1-3. Необходимо отметить, что данные для области послесвечения получены при постоянной температуре, равной 293 К.

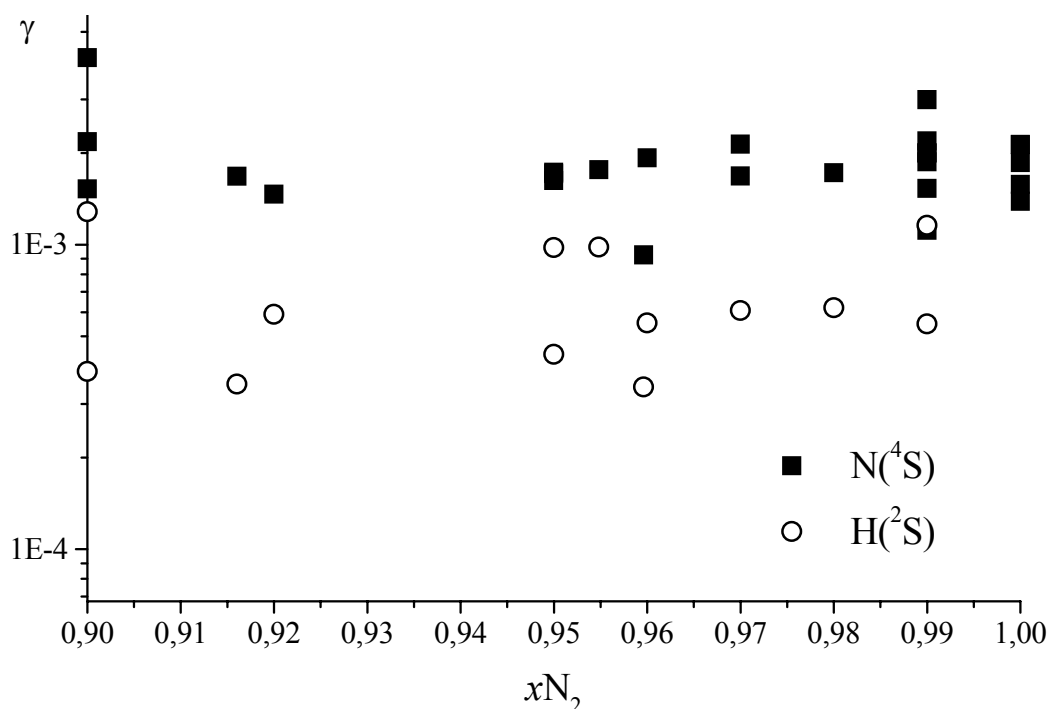
Для области послесвечения обращает на себя внимание сильная зависимость значений вероятности гетерогенной гибели обоих атомов и от состава смеси при фиксированном давлении (рис.1), и от давления при фиксированном составе (рис.2). В условиях водородной плазмы вероятность гибели атомов водорода в послесвечении практически не зависит от давления [3], а в азотной плазме вероятность гибели атомов азота также сильно зависит от давления [5]. По-видимому, зависимость вероятности гибели атомов от давления в послесвечении азотной плазмы, а также от состава в послесвечении N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> плазмы одной природы. Но причины этого явления не вполне ясны на настоящий момент. К сожалению и в литературе отсутствует какая-либо информация как по исследованию влияния давления на рекомбинацию атомов, так и по возможной интерпретации такого влияния. Исключение составляет только работа [6], где так же обнаружена подобная зависимость вероятности рекомбинации от состава N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> смеси, но только для атомов азота. Авторы объясняют такое поведение вероятности преобладанием механизма рекомбинации Ленгмюра-Хиншеллуда над механизмом Или-Ридила, а также наличием двух независимых систем активных центров.



**Рис. 1.** Вероятность гетерогенной гибели атомов в области послесвечения  $N_2$ - $H_2$  плазмы. Параметры источника:  $p = 266$  Па,  $I = 50$  мА.  $R = 4$  мм. Материал стенки – кварц



**Рис. 2.** Зависимость вероятности гетерогенной гибели атомов в области послесвечения от давления для  $95\%N_2$ - $5\%H_2$ .  $I = 50$  мА,  $R = 4$  мм. Материал стенки – кварц



**Рис. 3.** Вероятность гетерогенной гибели атомов в области положительного столба  $N_2$ - $H_2$  плазмы. Параметры источника:  $p = 67$ - $266$  Па,  $I = 30$ - $100$  мА.  $R = 7.5$  мм. Материал стенки – стекло С 52.

В тоже время для области положительного столба (рис.3) такой зависимости не наблюдается. Более того, можно считать, что в пределах погрешности эксперимента (на уровне 25%) значения вероятностей остаются практически постоянными и не зависят ни от параметров разряда, ни от изменения исходного состава смеси. Данные для области положительного столба достаточно хорошо коррелируют с результатами многочисленных измерений в плазме  $H_2$  и  $N_2$  [3-5]. Возможной причиной такой «стабильности» значений может послужить очистка центров рекомбинации под действием ионной бомбардировки.

На основании представленных результатов можно считать, что главной причиной увеличения концентрации атомов в смеси является изменение параметров плазмы и появление дополнительных каналов образования атомов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Amorim J., Baravian G. and Ricard A., *Plasma Chem. Plasma Process*, 1995, v.15, pp.721-727.
2. Nahorny J., Ferreira C.M., Gordiets B., and others, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1995, v.28, pp. 738-747.
3. Бровикова И. Н., Галиаскаров Э. Г., Рыбкин В. В. и др., *ТВТ*, 1998, т.36, №5, с.706-711.
4. Бровикова И. Н., Галиаскаров Э. Г., Рыбкин В. В., и др., *ТВТ*, 1998, т.36, №6, с.865-869.
5. Бровикова И. Н., Галиаскаров Э. Г., *ТВТ*, 2001, т.39, №6, с.873-878.
6. Gordiets B., Ferreira C. M., Nahorny J. and others, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1996, v.29, pp. 1021-1031.