

03;04

О возможности создания плазмохимического реактора для получения водорода

© Е.Т. Протасевич

Томский политехнический университет,
634034 Томск, Россия

(Поступило в Редакцию 6 августа 2002 г. В окончательной редакции 22 ноября 2002 г.)

В качестве плазмохимического реактора для получения водорода предложено использовать емкостной высокочастотный разряд во влажном воздухе.

В настоящее время существует область приложений высокочастотного разряда, когда при определенных условиях энергия горения водорода, получаемого при диссоциации молекул воды, может быть сравнима или больше энергии ВЧ поля, которая вкладывается в разряд. Рассмотрим этот случай подробнее, поскольку он может иметь большое практическое значение.

Известно [1], что при колебательном возбуждении молекул энергетический порог обычно совпадает с активационным барьером реакции и оказывается заметно ниже порога реакции через электронное возбуждение реагентов.

В [1] расчетным путем показано, что эффективное разложение паров H_2O (и получение водорода в плазме с КПД, равным 50–70%) может осуществляться через как диссоциативное прилипание электронов к молекулам воды, так и через колебательно-возбужденное состояние реагентов. В первом случае для обеспечения диссоциативного прилипания электронов необходимо, чтобы их температура $T_e \geq 1.5 \text{ eV}$. Наши эксперименты по ВЧ разряду во влажном воздухе показывают [2], что за счет охлаждения электронов (когда их температура не превышает приблизительно 0.2 eV) реализовать схему разложения молекул воды через диссоциативное прилипание не представляется возможным.

Что касается второго пути диссоциации молекул воды, то он легко реализуется на практике с помощью схемы емкостного ВЧ разряда, представленной на рис. 1. При давлении неионизованной смеси (воздух+ H_2O), равной приблизительно 2 Торр (267 Па) и концентрации молекул воды $[\text{H}_2\text{O}] 4.7 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$, измерения показывают, что поступательная температура атомов водорода, измеренная с помощью интерферометра Фабри-Перо, $T \sim 350 \text{ K}$, а концентрация электронов $n_e \sim 10^{20} \text{ m}^{-3}$. Температура электронов T_e (точнее температура возбуждения T_1), рассчитанная по относительной интенсивности спектральных линий водорода серии Бальмера, составляет $T_e \sim 2500 \text{ K}$. Типичная форма линии H_β , по которой определялась T , показана на рис. 2.

В [1] отмечается, что для обеспечения колебательного возбуждения существует ограничение по концентрации

электронов n_e , которое может быть записано как

$$n_e/[\text{H}_2\text{O}] > 3 \cdot 10^{-4}. \quad (1)$$

По условиям эксперимента, приведенным выше, в ВЧ разряде во влажном воздухе неравенство (1) выполняется с запасом из-за высокой степени ионизации смеси (воздух+ H_2O) и разложения молекул H_2O через колебательное возбуждение. Наиболее интенсивная VT -релаксация осуществляется с моды ν_2 [1], что находится в хорошем соответствии с нашими результатами численного моделирования [3].

Необходимо отметить, что в приведенном выше режиме разряда на одну молекулу воды приходится приблизительно одна молекула воздуха. Согласно [4], такой режим диссоциации воды характеризуется наибольшим энерговыделением (6.5 eV на одну молекулу вместо 6.0 eV, т.е. превышение составляет $\sim 15\%$).

Одновременно с понижением температуры электронов и атомов водорода в эксперименте для указанного выше режима наблюдается увеличение не менее, чем на порядок эффективной частоты столкновений электронов с тяжелыми частицами. Это обстоятельство является также благоприятным для диссоциации молекул воды за счет колебательно-возбужденного состояния реагентов.

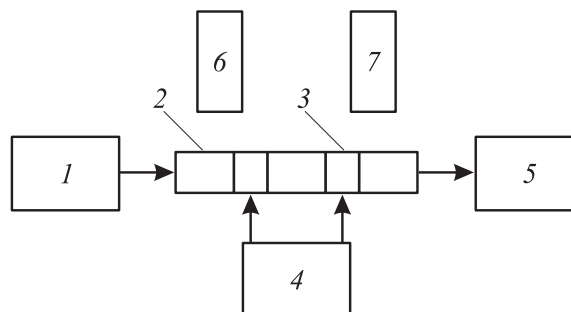


Рис. 1. Блок-схема плазмохимического реактора, работающего в проточном режиме [2]: 1 — источник пара; 2 — разрядная трубка ($d \sim 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, $l = 0.3 \text{ m}$); 3 — внешние ВЧ электроды; 4 — ВЧ генератор ($f = 27 \text{ MHz}$, $P = 150 \text{ W}$); 5 — вакуумный пост; 6 — спектрограф; 7 — интерферометр Фабри-Перо.

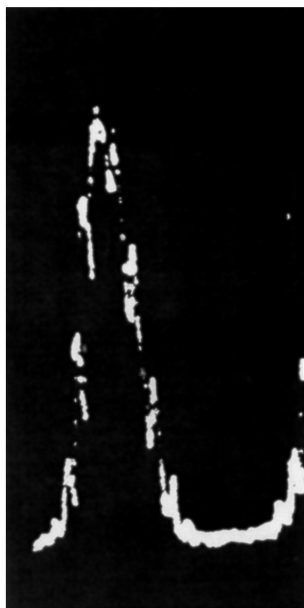


Рис. 2. Типичная форма линии H_{β} , записанная на интерферометре Фабри-Перо для приведенных условий эксперимента: $p = 267 \text{ Pa}$, $N_{\text{H}_2\text{O}} = 4.7 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$.

Выход водорода контролируется по эмиссионному спектру разряда. При оптимальном режиме резложения молекул воды спектр содержал только линии водорода бальмеровской серии. Методика определения по ним концентрации атомов водорода подробно изложена в [5,6].

Таким образом, можно утверждать, что схема емкостного ВЧ разряда с внешними кольцевыми электродами может служить в качестве эффективного плазмохимического реактора.

Автор выражает благодарность сотрудникам университета Т. Масарика (Чехия) А. Браблецу и В. Капичке за помощь в проведении экспериментов.

Список литературы

- [1] Русанов В.Д., Фридман А.А., Шолин Г.В. // УФН. 1981. Т. 134. Вып. 2. С. 185–235.
- [2] Браблец А., Капичка В., Протасевич Е.Т. // ХВЭ. 1983. Т. 17. № 3. С. 258–262.
- [3] Григорьев В.П., Протасевич Е.Т., Поташев А.Г. // Сиб. физико-техн. журн. 1991. № 3. С. 161–169.
- [4] Protasevich E.T. Cold Non-equilibrium Plasma. Generation. Properties. Applications. Cambridge: CISP, 1999. 204 p.
- [5] Грим Г. Уширение спектральных линий. М.: Мир, 1979. 754 с.
- [6] Protasevich E.T., Grygoryev V.P. Application of Electromagnetic Radiation Plasma for Solving Ecological Problems. Cambridge: CISP, 2002. 210 p.