

## ЭФФЕКТ ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ В ПЛАЗМЕ ПОЛУЧЕННОЙ В МАГНИТОПЛАЗМЕННОМ КОМПРЕССОРЕ

И.П. ДОЙЧИНОВИЧ<sup>1</sup>, М.Р. ГЕМИШИЧ<sup>2</sup>, Б.М. ОБРАДОВИЧ<sup>1</sup>,  
М.М.КУРАЙЦА<sup>1</sup>, В.М. АСТАШИНСКИЙ<sup>3</sup>, Я. ПУРИЧ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Физический факультет Университета в Белграде,  
п.п.368, 11001 Белград, Югославия*

<sup>2</sup> *Центр науки и технологического развития,  
Обилићев венац 26, 11001 Белград, Югославия*

<sup>3</sup> *ИМАФ НАН Беларуси, Пр. Ф. Скарыны 70, 220072 Минск, Беларусь  
E-mail: ivbi@rudjer.ff.bg.ac.yu*

**РЕЗЮМЕ.** Установлен эффект послесвечения линии водорода и нейтрала аргона и связь этого эффекта с выносными токами, т.е. с изменением концентрации электрона в течение времени. Наблюдалось и свечение иона аргона и сплошного излучения.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Спектроскопические исследования параметров плазмы в МПК в водороде и смеси  $\text{Ar} + 3\% \text{H}_2$  проводились с торца разрядного устройства. Мы наблюдали характер изменения интенсивности линии водорода и аргона в течение некоторого времени. Был установлен эффект послесвечения на центральной длине волны линий  $\text{H}_\alpha$ ,  $\text{H}_\beta$  и  $\text{H}_\gamma$  водорода и линии нейтрала аргона  $\text{ArI} 696.5$  нм. Сделана оценка концентрации электронов по штарковскому уширению линии  $\text{H}_\alpha$  и  $\text{H}_\beta$ . Интенсивность излучения суммировалась по лучу зрения и результаты, полученные этой методикой, не имели пространственного разрешения.

### 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Эксперименты проводились на установке, схема которой изображена на Рис. 1. Исследования проводились в режиме остаточного газа при одинаковом начальном давлении водорода и смеси  $\text{Ar} + 3\% \text{H}_2$  в камере  $P_0=100$  Па. Накопителем энергии МПК служила конденсаторная батарея (С) общей емкостью 800 мкФ, которая соединялась с разрядным устройством через игнитронный разрядник (I). Максимальное значение разрядного тока составляло  $\sim 70$  кА, при начальном напряжении на конденсаторах  $U_0 = 3$  кВ. Спектроскопические исследования проводились с торца разрядного устройства с помощью монохроматора (МН) McPherson 218, работающего совместно с фотоумножителем (ФМ) EMI 9816 QB. Сигнал с фотоумножителя регистрировался осциллографом (О) Tektronix TDS3032. Запуск осциллографа осуществлялся сигналом с пояса Роговского.

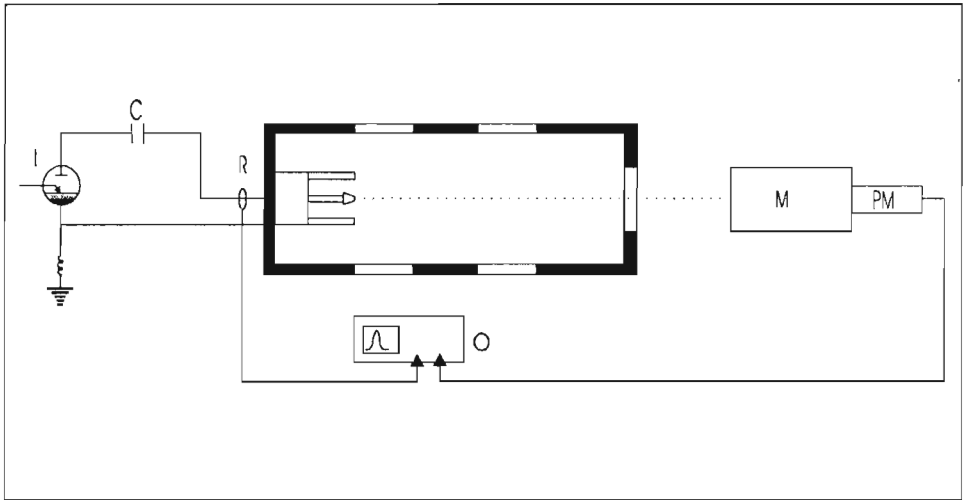


Рис. 1. Экспериментальная установка. О-осциллограф для регистрации сигнала с фотоумножителя, R-пояс Роговского, С-конденсаторная батарея, I-игнитронный разрядник, МН-монохроматор, РМ-фотоумножитель.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффектом послесвечения является наблюдение свечения по заканчанию разрядного тока. На Рис. 2 представлены типичные осциллограммы тока (сигнал с Роговского) и интенсивность на центральной длине волны линии  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$  и  $H_{\gamma}$  водорода в смеси  $Ar + 3\% H_2$  (Рис.2а) и в чистом водороде (Рис.2б).

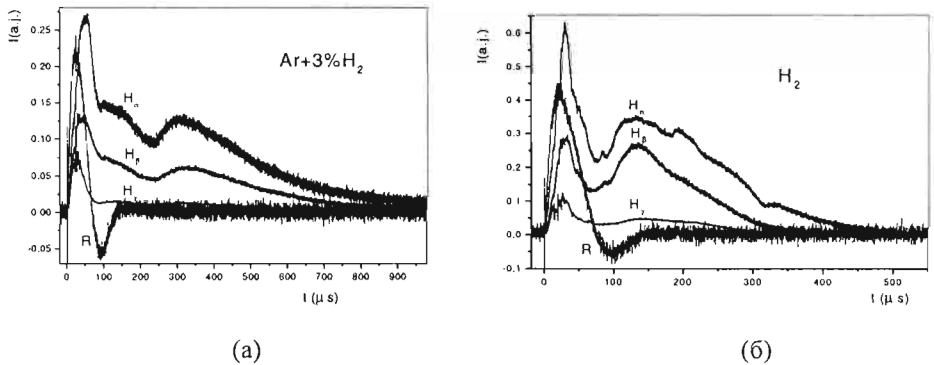


Рис.2 Осциллограммы интенсивности линии  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$  и  $H_{\gamma}$  водорода в смеси  $Ar + 3\% H_2$  (а) и в чистом водороде (б). Сигнал с Роговского (R).

Каждый из осциллограммов получен в течении одного разряда. Можно видеть, что исследование линии обнаруживают одинаковое изменение во времени, т.е. максимумы и минимумы интенсивности впадают. В смеси  $Ar + 3\% H_2$  интенсивность на центральной длине волны линии водорода имеет два максимума: первый на  $\sim 40$  мкс и второй на  $\sim 300$  мкс и один минимум на  $\sim 230$  мкс. В чистом водороде также являются два максимума (на  $\sim 30$  мкс и на  $\sim 130$  мкс) и один минимум (на  $\sim 70$  мкс), но они сдвинуты в отношении осциллограммов полученных в  $Ar + 3\%$

$H_2$ . Кроме того, можно видеть что в чистом водороде свечение заканчивается после  $\{350(H_\gamma)-550(H_\alpha)\}$  мкс, а в смеси  $Ar + 3\% H_2$  после  $\{800(H_\gamma)-1000(H_\alpha)\}$  мкс. Также, интенсивность линий в послесвечении возбужденных атомов водорода в чистом водороде сильнее, чем в смеси  $Ar + 3\% H_2$ . Так и должно быть, потому что в первом случае атомов водорода значительно больше, а интенсивность излучения суммируется по лучу зрения. Исследования также проводились на сплошном излучении и на центральной длине волны линии нейтрала аргона и иона аргона. Свечение сплошного излучения и линии иона аргона  $ArII$  480.6 нм (Рис. 3а) заканчивается вместе с разрядным током. Это можно объяснить тем, что ионы высвечивают из самой горячей области, т.е. из компрессионного плазменного потока. Когда заканчивается ток, разваливается и компрессионный поток, а ионы аргона исчезают. Интересно, что ионы аргона высвечивают немного больше времени, чем континуум. Максимум сплошного излучения получается  $\sim 25$  мкс, а исчезает в  $\sim 80$  мкс. Это совпадает с первым полупериодом тока разряда, когда идет ввод энергии в разряд (Асташинский и др. 1992). Максимум линии  $ArII$  480.6 нм составляет  $\sim 25$  мкс, что совпадает с максимумом континуума; он исчезает вместе с разрядным током ( $\sim 130$  мкс). Эффект послесвечения наблюдался и на линии нейтрала аргона  $ArI$  696.5 нм (Рис.3б). Интенсивность этой линии имеет два максимума: первый на  $\sim 30$  мкс и второй на  $\sim 300$  мкс и один минимум на  $\sim 230$  мкс. Видно, что интенсивность этой линии соответствует интенсивности линии водорода, начиная с  $\sim 90$  мкс, но атомы аргона заканчивают излучение раньше ( $\sim 600$  мкс), чем атомы водорода. Это можно объяснить тем, что потенциал возбуждения атомов аргона выше, чем у водорода.

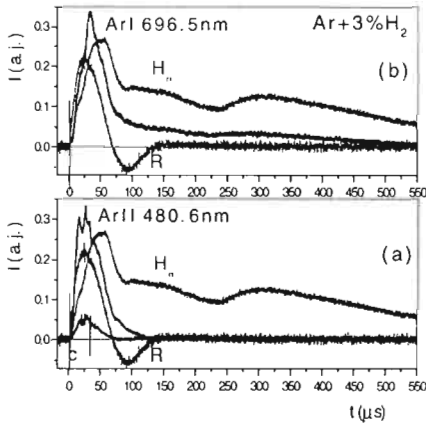


Рис. 3 Осциллограммы интенсивности линии аргона  $ArII$  480.6 нм и сплошного излучения (а) и линии  $ArI$  696.5 нм (б). Интенсивность линии  $H_{\alpha}$  и сигнал с Роговского (R) находится на каждом рисунке.

Оценки концентрации электронов мы сделали по штарковскому уширению линии  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$  (Gigosos, Cardenoso 1996). Исследовали излучения плазмы, суммарного за несколько разрядов, с торца разрядного устройства МПК. График изменения концентрации электронов в течение времени представлен на Рис. 4. По оценкам, концентрации которые получили по уширению линии  $H_{\alpha}$  систематически больше, чем значения которые получили по линии  $H_{\beta}$ , вероятно из-за самопоглощения линии  $H_{\alpha}$ . Максимальная концентрация определенная по штарковскому уширению линии  $H_{\beta}$  составляет  $4 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$ , что совпадает с

(Асташинский и др. 1992). На Рис. 4 одновременно представлены концентрации электронов и интенсивности линии  $H_{\alpha}$  в течение времени, и можно видеть, что минимум интенсивности совпадает с константной концентрацией в этот промежуток времени. Как видим, каждый из наблюдаемых максимумов линии, наблюдается в течение времени (20-60) мкс, когда существует область компрессии (Асташинский, Костюкевич 1981), а плазменный поток находится в устойчивом квазистационарном состоянии (Минько и др. 1987). Примерно с 70 мкс од начала тока разряда, компрессионный поток начинает разваливаться. Однако, выносные токи вследствие вмороженности магнитного поля в плазму могут достаточно долго “блуждать” в камере, окружая разрядное устройство ускорителя, пока постепенно не замкнутся на анодные стержни или замыкаются на стенки. У этих токов достаточно энергии, чтобы возбудить атомы водорода и аргона и поэтому излучение так долго регистрируется. С уменьшением выносных токов уменьшается и интенсивность излучения. Видно, что существует взаимосвязь поведения концентрации электронов и числа возбужденных нейтралов. При константной концентрации электронов, в некоторый промежуток времени, число возбужденных нейтралов уменьшается, а тем способом уменьшается и интенсивность линии нейтрала (минимум для линий водорода и  $ArI$  696.5 нм совпадает  $\sim 230$  мкс). Когда концентрация электронов уменьшается быстрее, то число нейтрала растет, а тем способом растет и интенсивность линии нейтрала (второй максимум для линий водорода и  $ArI$  696.5 нм совпадает  $\sim 300$  мкс).

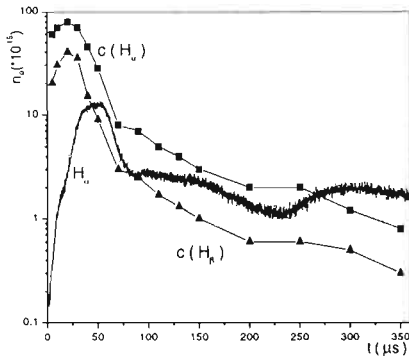


Рис. 4 Концентрация электронов в течение времени определена по штарковскому уширению линии  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$  и связь с интенсивности линии  $H_{\alpha}$

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффект послесвечения линии водорода и нейтрала аргона связан в первую очередь с процессом замыкания выносных токов в течении времени. Свечение иона аргона и сплошного излучения связано с компрессионным плазменным потоком и исчезает с развалом разрядного тока.

Авторы благодарны Н. Коневичу за полезное обсуждение результатов работы.

#### Литература

- Асташинский В.М., Баканович Г.И. и др.: 1992, *ИФЖ*, **62**, 386.  
 Асташинский В.М., Костюкевич Е.А.: 1981, *Физика плазмы*, **7**, 523.  
 Минько Л.Я., Асташинский В.М., Костюкевич Е.А.: 1987, *ТВТ*, **25**, 601.  
 Gigosos M.A., Cardenoso V.: 1996, *Journal of Phys. B*, **29**, 4795.