

ОБ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ
И СПЕКТРАЛЬНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
В МИКРОВОЛНОВОЙ ПЛАЗМЕ

Е. В. Белоусов и А. П. Моторненко

Показано, что в микроволновой плазме путем изменения концентрации газа, частоты поля и величины возбуждающей мощности можно в широких пределах управлять температурой электронов и спектральным составом излучения, получая оптимальные условия для возбуждения трудновозбудимых линий.

В настоящей работе изучается возможность управления характером спектрального излучения в микроволновой плазме путем изменения ее основных электрических параметров — температуры и концентрации электронов. Величины T_e и n_e в сверхвысокочастотном разряде, возбуждаемом генератором трехсантиметрового диапазона, определялись микроволновым методом зондирования плазмы в волноводе по схеме, описанной в [1]. Газоразрядная плазма возбуждалась в тонкостенной трубке из кварцевого стекла с внутренним диаметром 3 мм, расположенной перпендикулярно широким стенкам прямоугольного волновода в максимуме напряженности электрического поля. Спектральное излучение микроволновой плазмы, выходящее через отверстие диаметром 1 мм в узкой стенке волновода, изучалось с помощью спектрографа ИСП-51 методом фоторегистрации с последующим фотометрированием спектров.

На рис. 1. приведены зависимости температуры и концентрации электронов в плазме СВЧ разряда в аргоне от величины подводимой к разряднику непрерывной микроволновой мощности для различных давлений. Из рис. 1 следует, что возбуждение СВЧ газового разряда происходит в условиях скин-эффекта, причем концентрация заряженных частиц в плазме превышает критическую для данной частоты ($n_{\text{крит.}} = 1.1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$). При больших давлениях газа (рис. 1, а) увеличение мощности приводит к монотонному росту величины n_e и некоторому уменьшению температуры электронов, аналогично случаю сильноточного разряда постоянного тока.

С уменьшением давления характер рассматриваемых зависимостей изменяется: при постоянной концентрации электронов происходит увеличение температуры электронов (рис. 1, в, г). Существенно отметить, что в отличие от разряда постоянного тока в случае СВЧ разряда появляется возможность повышения температуры электронов за счет возбуждающей разряд мощности. Опыты по определению электрических параметров в плазме, возбуждаемой мощными микроволновыми импульсами, показали, что при значительном увеличении мощности температура электронов может быть существенно повышена. Изменение в больших пределах температуры электронов должно, естественно, сопровождаться заметным изменением характера спектрального излучения плазмы. На рис. 2 приведены фотографии спектров свечения микроволновой плазмы при давлении 0.5 мм рт. ст. в аргоне, полученные при возбуждении разряда разными уровнями СВЧ мощности. Действительно, при относительно малой мощности (рис. 2, а) в спектре свечения преобладают легковозбудимые

линии аргона, тогда как при больших мощностях (рис. 2, б) спектр излучения состоит в основном из трудновозбудимых линий ионов аргона.

Полученные экспериментальные результаты могут быть связаны с зависимостью свойств газового разряда от соотношения между частотой возбуждающего поля f и частотой столкновений электронов с атомами

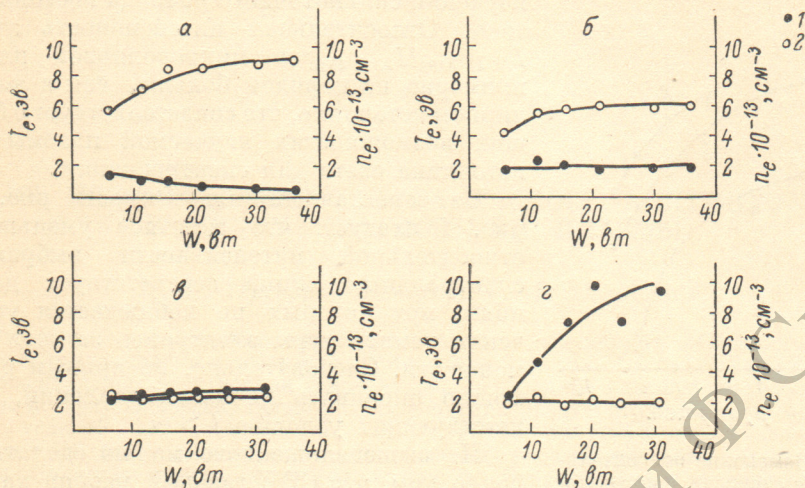


Рис. 1. Зависимость температуры и концентрации электронов в СВЧ разряде от подводимой мощности.

а — $p = 15$, б — 6.1, в — 3, г — 1.6 мм рт. ст. 1 — значения T_e , 2 — значения n_e .

газа $\nu_{ст.}$. Так, приведенные на рис. 1 значения электрических параметров в СВЧ разряде для малых уровней мощности относятся к случаям: рис. 1, а — $f < \nu_{ст.}$, рис. 1, б — $f \approx \nu_{ст.}$, рис. 1, в — $f \sim \nu_{ст.}$, рис. 1, г — $f > \nu_{ст.}$.

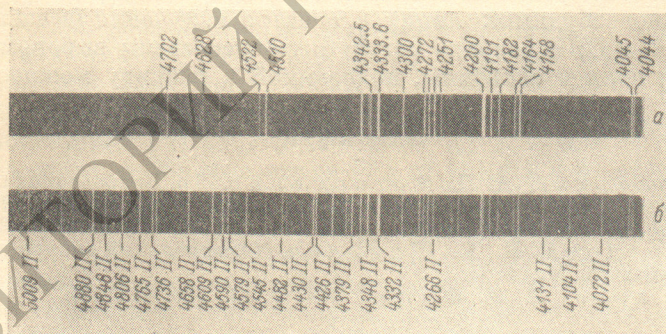


Рис. 2. Спектры излучения микроволновой плазмы (аргон, $p = 0.5$ мм рт. ст.).

а — подводимая мощность $W = 56$ Вт, б — $W = 20$ кВт, импульсный режим $\tau_{имп.} = 0.6$ мксек.

При сравнительно больших давлениях, когда выполняется условие $f < \nu_{ст.}$, как отмечалось ранее [2], свойства разряда в быстропеременных электромагнитных полях сходны со свойствами разряда постоянного тока. При переходе к условию $f > \nu_{ст.}$ сказывается влияние возбуждающей частоты на свойства разряда, что и приводит к наблюдаемым экспериментальным зависимостям.

Для оценки эффективности микроволновой плазмы как источника получения трудновозбудимых линий (в частности, искровых линий) и сравнения ее излучения с излучением сильноточного разряда постоянного

тока (капиллярного источника) были измерены относительные интенсивности двух расположенных близко спектральных линий: одной искровой, а другой — дуговой в зависимости от давления газа. На рис. 3 приведены такие зависимости, причем кривой *б* представлены данные для пары ли-

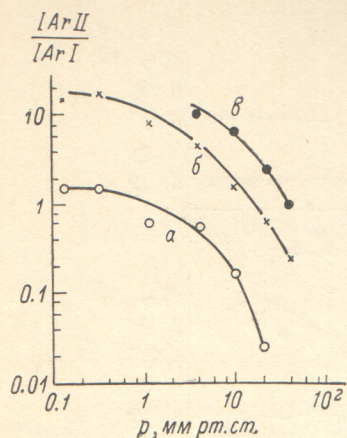


Рис. 3. Изменение относительной интенсивности спектральных линий от давления газа в микроволновой плазме в арго-не ($W=20$ кВт).

$$\begin{aligned} \text{а} - I_{\text{Ar II}}/I_{\text{Ar I}} &= \\ &= I_{(4131.7 \text{ \AA})}/I_{(4158.6 \text{ \AA})}, \\ \text{б} - I_{\text{Ar II}}/I_{\text{Ar I}} &= \\ &= I_{(4482 \text{ \AA})}/I_{(4510 \text{ \AA})}, \\ \text{в} - I_{\text{Ar II}}/I_{\text{Ar I}} &= \\ &= I_{(4726.9 \text{ \AA})}/I_{(4702 \text{ \AA})}. \end{aligned}$$

температурой электронов и спектральным излучением. Условия возбуждения трудновозбудимых линий в спектре излучения (в частности, искровых линий) в СВЧ разряде могут быть обеспечены выбором давления газа, частоты поля и величины, подводимой к разряду мощности.

Литература

- [1] Е. В. Белоусов, А. П. Моторненко. Тр. Конференции по электронной технике. «Искровые разрядники и газоразрядные приборы СВЧ», № 2 (18), 90, 1970.
- [2] О. П. Бочкова, Е. Я. Шрейдер. Спектральный анализ газовых смесей. Физматгиз, М., 1963.
- [3] Ю. М. Каган, С. Э. Фриш. ЖЭТФ, 11, 286, 1941.

Поступило в Редакцию 3 июля 1970 г.