

03;04;07;12

## Широкополосный спектр излучения непрерывной плазменной струи в смеси инертных газов с молекулами SF<sub>6</sub>

© В.С. Рогулич, Л.Л. Шимон

Ужгородский национальный университет,  
88000 Ужгород, Украина  
e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

(Поступило в Редакцию 4 марта 2003 г.)

В непрерывной струе плазмы на смеси Ar/Kr/SF<sub>6</sub> обнаружена широкая полоса излучения в видимой области спектра на расстоянии  $l > 75$  nm от сопла плазматрона. Представлены экспериментальные зависимости максимума интенсивности наблюдаемого свечения от параметров плазменного источника.

Ранее [1–3] при исследовании оптимальных условий образования эксимерных молекул KrF\*, XeF\* и ArF\* в непрерывной плазменной струе на смесях инертных газов с молекулами SF<sub>6</sub> нами были обнаружены широкие полосы излучения в видимой области спектра, природа которых не получила объяснения. Это излучение было зарегистрировано на достаточно больших расстояниях ( $l > 75$  nm) от сопла плазматрона.

В данном сообщении представлен спектр излучения смеси Ar/Kr/SF<sub>6</sub> и основные экспериментальные зависимости интенсивности излучения максимума наблюдаемой полосы на  $\lambda_{\text{max}} \approx 630$  nm от параметров плазменного источника.

Эксперименты проведены на плазмодинамической установке, где источником плазменной струи служил плазматрон постоянного тока с газовыхревой стабилизацией дуги и звуковым соплом критического диаметра  $\sim 5$  nm из графита при токах дуги 50–150 A и падении напряжения на разрядном промежутке 15–35 V. Плазма инертного газа (He, Ar, Kr, Xe) создавалась в дуговой камере плазматрона, а галогенидные молекулы SF<sub>6</sub> подмешивались в плазму инертных газов как в предсопловой камере, так и в уже сформированную струю плазмы за сопловым блоком на различных расстояниях от него. Давление инертного газа в дуговой и предсопловой камерах изменялось от нескольких десятков Pa до значения 20 kPa. Регистрация излучения струи за сопловым блоком производилась с помощью фотоумножителя ФЭУ-106 и монохроматора МДР-2. Более подробно техника и методика эксперимента описана в работах [1–4].

Запись спектров излучения струи на смеси Ar/Kr/SF<sub>6</sub> производилась в широком диапазоне длин волн (200–800 nm). Во избежание искажений исследуемых спектров в видимой области за счет вклада излучения второго порядка с ультрафиолетовой области, где эффективно излучают эксимерные молекулы KrF\*, ArF\* и радикалы OH, участок спектра излучения с длиной волны  $\lambda < 350$  nm отсекался с помощью светофильтра.

Типичный спектр свечения смеси Ar/Kr/SF<sub>6</sub> представляет собой широкую полосу излучения с максимумом интенсивности на  $\lambda \approx 630$  nm и полушириной  $\approx 90$  nm

в интервале длин волн 550–800 nm (рис. 1). На фоне сплошного спектра присутствуют некоторые интенсивные спектральные линии KrI. Нами изучались зависимости интенсивности в максимуме излучения полосы от параметров плазменного источника. На рис. 2 приведены также зависимости интенсивности излучения полосы при  $\lambda \approx 630$  nm от расходов Kr и SF<sub>6</sub>. Видно, что при отсутствии криптона или молекул SF<sub>6</sub> в смеси интенсивность излучения полосы принимает практически нулевое значение. Полученные экспериментальные зависимости показывают, что зарегистрированное нами широкополосное излучение присутствует только при наличии в смеси атомов криптона и молекул элегаза SF<sub>6</sub> одновременно.

На рис. 3 показана зависимость максимума интенсивности излучения данной полосы в смеси Ar/Kr/SF<sub>6</sub> от расстояния вдоль оси истечения плазменной струи. Видно, что эффективное излучение полосы происходит при  $l \approx 80$  nm от сопла плазматрона. С увеличением введенной в плазматрон мощности интенсивность излучения полосы увеличивалась.

Следует отметить, что в смеси He/Xe/SF<sub>6</sub> также была обнаружена широкая полоса излучения в диапазоне длин волн 370–670 nm, однако для данной смеси не были оптимизированы условия эксперимента и результаты требуют дальнейшей доработки и тщательного анализа.

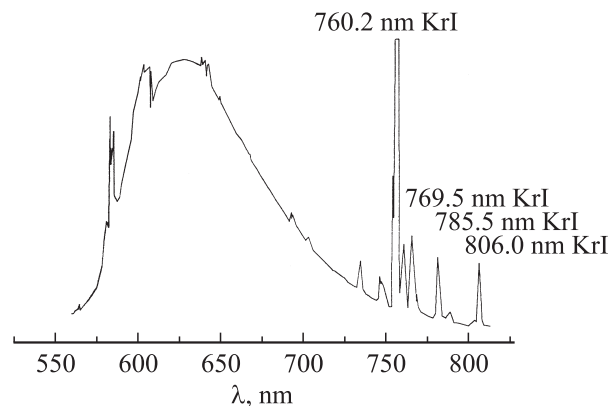
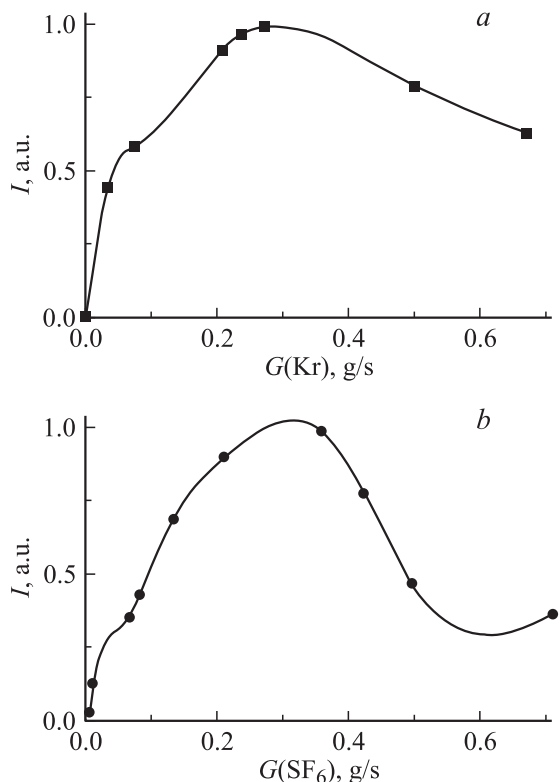
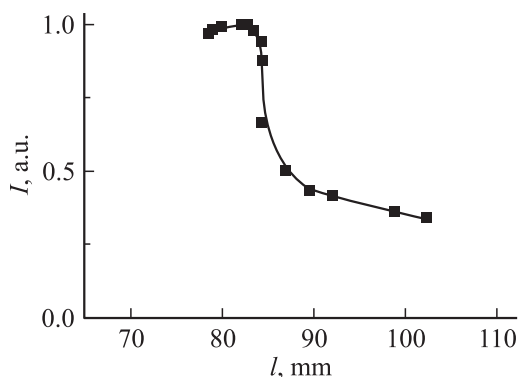


Рис. 1. Спектр излучения струи плазмы на смеси Ar/Kr/SF<sub>6</sub> при  $P \approx 8$  kPa,  $W = 1.8$  kW,  $l = 81.5$  nm.



**Рис. 2.** Зависимость интенсивности излучения полосы при  $\lambda = 630$  nm от парциальных расходов криптона при  $G(\text{SF}_6) = 0.24$  g/s (a) и  $\text{SF}_6$  при  $G(\text{Kr}) = 0.07$  g/s (b).



**Рис. 3.** Распределение интенсивности в максимуме излучения полосы на  $\lambda = 630$  nm вдоль струи при  $G(\text{SF}_6) = 0.1$  g/s,  $G(\text{Kr}) = 0.24$  g/s,  $P = 8$  kPa,  $W = 1.8$  kW.

На основании полученных экспериментальных зависимостей и проведенного выше анализа можно предположить, что в плазменной струе на смеси  $\text{Ar/Kr/SF}_6$  на достаточно больших расстояниях от сопла идет эффективное образование более сложного, чем известные двух- и трехатомные молекулы, возбужденного комплекса, составленного из атомов или ионов тяжелого инертного газа и молекул  $\text{SF}_6$  или ее фрагментов. Не исключено участие в образовании предполагаемого нами комплекса также и атомов плазмообразующего газа аргона. Следует

отметить, что в условиях сильного переохлаждения плазмы за соплом, где температура электронов  $\sim 0.1$  eV в плазменной струе на смеси инертных газов и сильно электроотрицательных молекул  $\text{SF}_6$  могут эффективно протекать процессы прилипания электронов с образованием отрицательных ионов  $\text{SF}_6^-$ ,  $\text{SF}_5^-$ ,  $\text{F}^-$  и других фрагментов распада молекулы, которые могут служить центрами образования сложных возбужденных комплексов, например кластерного типа.

Что касается других возможных источников рассматриваемого нами широкополосного излучения в смеси  $\text{Ar/Kr/SF}_6$ , то здесь следует упомянуть хорошо изученные в лазерной физике эксимерные трехатомные молекулы  $\text{ArKrF}^*$  и  $\text{Kr}_2\text{F}^*$ , которые дают широкие спектры излучения. Однако молекула  $\text{ArKrF}^*$  излучает в УФ области спектра, излучение из которой мы исключили с помощью светофильтра, а излучение молекулы  $\text{Kr}_2\text{F}^*$  сосредоточено в основном в области с  $\lambda_{\text{max}} \approx 415$  nm. Поэтому мало вероятно, что данные трехатомные молекулы могут быть основными источниками зарегистрированного нами широкополосного излучения смеси  $\text{Ar/Kr/SF}_6$ .

## Список литературы

- [1] *Розулич В.С., Стародуб В.П., Шевера В.С.* // Опт. и спектр. 1990. Т. 69. Вып. 4. С. 756–758.
- [2] *Розулич В.С., Шевера В.С.* // ЖТФ. 1996. Т. 66. Вып. 4. С. 188–191.
- [3] *Розулич В.С., Шевера В.С.* // УФЖ. 1999. Т. 44. № 9. С. 1082.
- [4] *Розулич В.С., Шимон Л.Л.* // Прикладная физика. 2002. № 4. С. 60–65.