

04;07;12

## ЭФФЕКТИВНЫЕ НЕЦЕПНЫЕ HF(DF) ЛАЗЕРЫ С ВЫСОКИМИ ВЫХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

© В.В.Аполлонов, С.Ю.Казанцев, В.Ф.Орешкин, К.Н.Фирсов

Показана возможность получения объемного самостоятельного разряда с высокими энерговкладами на установках с большими объемами (до 2.5 л) смесей SF<sub>6</sub> — углеводороды (угледейтериды) в отсутствие специальных устройств предыонизации среды и создания эффективных нецепных HF(DF) лазеров с высокими выходными характеристиками. Получены удельные съемы энергии излучения до 7.2 Дж/л на HF и 4,5 Дж/л на DF лазер.

Возможности увеличения активного объема и энергии излучения нецепных HF(DF) лазеров на смесях SF<sub>6</sub>-H<sub>2</sub>(D<sub>2</sub>) с иницированием химической реакции объемным самостоятельным разрядом (ОСР) ограничены низкой устойчивостью ОСР [1,2]. Кроме того, обычно используемые для предыонизации среды простые искровые источники становятся неэффективными в HF(DF) лазере уже при межэлектродных расстояниях  $d \sim 1$  см из-за сильного поглощения ВУФ излучения [2,3] в SF<sub>6</sub>, а применение источников мягкого рентгеновского излучения [3,4] приводит к значительному усложнению установок, не позволяя решить проблему устойчивости ОСР в целом.

В [5] нами была показана возможность существенной стабилизации ОСР в смесях HF(DF) лазера за счет замены H<sub>2</sub>(D<sub>2</sub>) углеводородами (угледейтеридами). Там же отмечалось, что при не слишком высоких энерговкладах ( $W_H < 200$  Дж/л) ОСР удается получить без специальных устройств предыонизации — для его иницирования достаточно шероховатости поверхности сетчатого электрода. Поскольку указанные эксперименты проводились при  $d = 2$  см, а устойчивость ОСР повышается с увеличением  $d$  [6], следует ожидать, что при  $d > 2$  см ОСР можно будет реализовать при более высоких значениях  $W_H$ .

Целью настоящей работы являлось исследование возможности получения ОСР в больших объемах смесей SF<sub>6</sub> — углеводороды (угледейтериды) без специальных устройств предыонизации и создания эффективных HF(DF) лазеров с высокими выходными характеристиками на этой основе.

Эксперименты проводились с двумя лазерами, отличающимися типом электродов, Л<sub>1</sub> и Л<sub>2</sub>. В Л<sub>1</sub> электроды

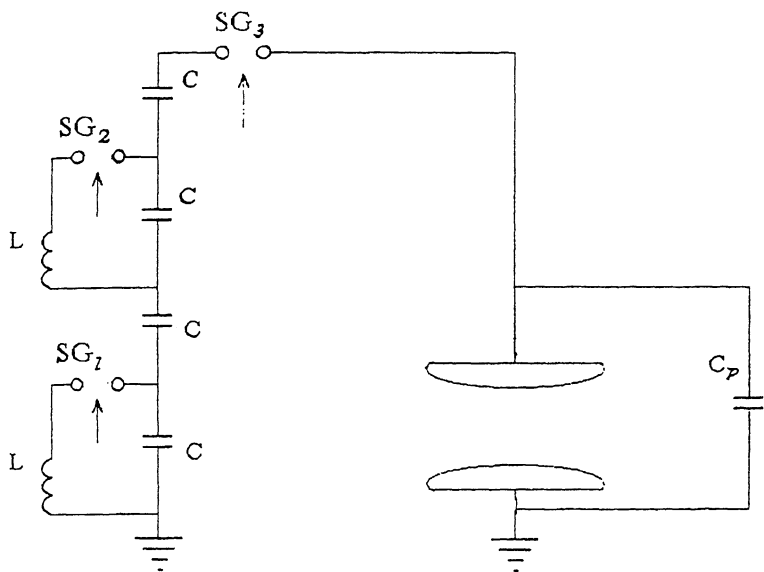


Рис. 1. Электрическая схема для получения ОСР.

были выполнены в виде профиля Чанга с параметром кривизны  $K = 0.027$ . Полный разрядный объем составлял  $d \times h \times l = 6 \times 7.5 \times 50 \text{ см} = 2.25 \text{ л}$ , где  $d$  — межэлектродное расстояние,  $h$  — поперечный размер (оценивался по отпечаткам излучения в ближней зоне и свечению плазмы ОСР),  $l$  — длина. Поверхности обоих электродов обрабатывались в пескоструйной установке для придания им необходимой степени шероховатости.

Катодом для системы  $L_2$  служил авизотропно-резистивный электрод, аналогичный [7], с размерами плоской части поверхности  $5 \times 50 \text{ см}$  и толщиной  $1.8 \text{ см}$ . Электрод был приклеен к плоской пластине из Al проводящим клеем. Анодом  $L_2$  являлась плоская пластина из Al с размерами  $10 \times 60 \text{ см}$ . Межэлектродное расстояние составляло  $d = 4 \text{ см}$ . После обработки на фрезерном станке поверхность катода  $L_2$  имела достаточную степень шероховатости для иницирования ОСР.

Электрическая схема генератора импульсных напряжений (ГИН) для получения ОСР показана на рис. 1. ГИН представляет собой двухступенчатый генератор Фитча с управляемым разрядником — обострителем  $SG_3$  на выходе. Емкость ГИН в ударе  $C/4$  составляла  $50 \text{ нФ}$  для  $L_1$  и  $25 \text{ нФ}$  для  $L_2$ ,  $C_p = 0.4 \text{ С}/4$ , максимальное напряжение на выходе —  $200 \text{ кВ}$ .

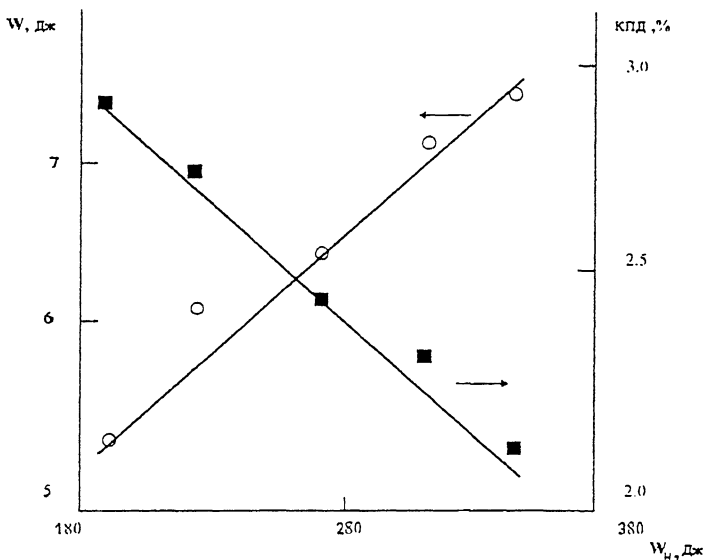


Рис. 2. Зависимости энергии генерации HF лазера  $W$  и КПД от энергии, запасенной в конденсаторах высоковольтного источника.

Как в  $L_1$ , так и в  $L_2$  резонатор был образован плоско-параллельной пластиной из  $GaF_2$  и Al зеркалом с радиусом кривизны 20 м, укрепленными непосредственно на торцах разрядной камеры.

Форма и энергия импульса излучения контролировались соответственно пирозлектрическим приемником и калориметром ТПИ-2М.

В качестве доноров H и D использовались соответственно этан  $C_2H_6$  и дейтерированный циклогексан  $C_6D_{12}$ . Смеси составлялись таким образом, чтобы на 20 атомов F приходился 1 атом H(D). Давление смеси выбиралось из условия  $V/p \times d = 204$  кВ/см·атм, где  $V$  — напряжение ГИН,  $p$  — давление, что соответствовало оптимальному согласованию волнового сопротивления ГИН с сопротивлением плазмы ОСР.

В системе  $L_1$  ОСР был устойчив при удельных энергозкладах  $W_H < 290$  Дж/л. При значениях  $W_H$ , близких к предельному, на катоде наблюдались яркие каналы длиной до 1 см. На аноде неоднородности вообще отсутствовали во всем диапазоне исследованных  $W_H$ . Максимальная энергия генерации составила 14.5 Дж (6.4 Дж/л) на HF и 11 Дж (4.4 Дж/л) на DF при КПД по энергии, запасенной в конденсаторах ГИН, соответственно 2.3 и 1.7%.

В системе  $L_2$  ОСР был устойчив при  $W_H$  до 500 Дж/л (максимальный энергозапас ГИН), однако при больших энергозкладах ( $W_H > 350$  Дж/л) яркие каналы появлялись

на аноде. Подобное явление наблюдалось в [7] на установке с анизотропно-резистивным катодом при исследовании ОСР в  $N_2$ . Зависимости энергии генерации  $W$  и КПД по запасенной энергии от  $W_H$  в области значений  $W_H$ , где еще не развивались неоднородности на аноде, для HF приведены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что КПД заметно снижается с увеличением  $W_H$  даже в отсутствие заметных неоднородностей ОСР. При  $W_H = 350$  Дж/л энергия генерации лазера  $L_2$  составляла 7.2 Дж (7.2 Дж/л) на HF и 5.4 Дж (5.4 Дж/л) на DF при КПД по энергии, запасенной в ГИН, соответственно 2 и 1.5%. Отметим, что при  $W_H < 290$  Дж/л (предельное значение  $W_H$  для  $L_1$ ) лазеры  $L_1$  и  $L_2$  имеют близкие значения КПД.

Формулы импульса генерации  $L_1$  и  $L_2$  существенно не отличались. Импульс генерации был гладким, с длительностью по половине амплитуды  $\sim 250$  нс. Устойчивость ОСР не нарушалась при добавлении в смесь до 150 мм рт. ст. Ne. При этом заметных изменений в величинах энергии и мощности генерации при небольших частотах следования импульсов не наблюдалось.

Таким образом, в настоящей работе показана возможность получения ОСР с высокими энерговкладами в системах с большими объемами смесей  $SF_6$  — углеводороды (угледейтериды) в отсутствие специальных устройств предыонизации среды и создания эффективных нецепных HF((DF) лазеров с высокими выходными характеристиками.

### Список литературы

- [1] Бельков Е.П., Бурцев В.А., Галлаи И.Я., Дашук П.Н., Спичкин Г.Л., Фомин В.М. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 2. С. 78.
- [2] Бельков Е.П., Дашук П.Н., Спичкин Г.Л., Чистов Е.К., Кулаков С.А. Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. С. 26.
- [3] Бурцев В.А., Водовозов В.М., Дашук П.Н., Кулаков С.Л., Прокопенко В.Ф., Фомин В.М., Челноков Л.Л. // Тез. докл. 11 Всес. Совещ. по физике электрического пробоя газов. Тарту. 1984. Тарту: Изд-во ТГУ, 1984. С. 414.
- [4] Босамыкин В.С., Гордон Е.Б., Горотов В.В., Карелин В.И., Матюшенко В.И., Репин П.Б., Сизов В.Д. // Квантовая электроника. 1982. Т. 9. С. 1489.
- [5] Аполлонов В.В., Казанцев С.Ю., Орешкин В.Ф., Фирсов К.Н. // VIII Конференция по физике газового разряда. Рязань, 1996. Рязань: Изд-во РРА, 1996. С. 7.
- [6] Аполлонов В.В., Казанцев С.Ю., Орешкин В.Ф., Фирсов К.Н. // VIII Конф. по физике газового разряда. Рязань, 1996. Рязань: Изд-во РРА, 1996. С. 6.
- [7] Великин А.А., Качатенко М.А., Подмошенский И.В. // III Всес. конф. по физике газового разряда. Киев, 1986. Киев: Изд-во КГУ, 1986. С. 315.

Поступило в Редакцию  
7 октября 1996 г.