

Влияние температуры газа на характеристики объемного самостоятельного разряда в рабочих смесях импульсно-периодических КИЛ

Исследовано влияние температуры газа на характеристики объемного самостоятельного разряда в рабочих смесях кислород-йодного лазера с наработкой атомов йода в электрическом разряде. Показано, что в рабочих смесях электрохимического кислород-йодного лазера напряжение на плазме объемного самостоятельного разряда увеличивается с ростом температуры газовой смеси.

**В. И. Аксинин*, С. А. Анциферов,
С. Д. Великанов, С. Ю. Казанцев*,
В. В. Калиновский, В. В. Коновалов,
И. Г. Кононов*, В. Н. Михалкин,
С. В. Подлесных*, И. В. Севрюгин,
К. Н. Фирсов***

В последнее время проявляется повышенный интерес к химическим импульсно-периодическим кислород-йодным лазерам (ИП КИЛ) с наработкой атомарного йода в объемном самостоятельном разряде (ОСР) [1–4]. Это вызвано значительно более широким спектром возможных применений данного типа лазера по сравнению с традиционным непрерывными КИЛ. Однако физика ОСР в рабочих смесях ИП КИЛ исследована недостаточно полно. В частности, отсутствуют данные о влиянии температуры газовой смеси на характеристики ОСР. Типичные рабочие смеси химического КИЛ с наработкой атомарного йода в ОСР содержат сильно электроотрицательный компонент – йодид (CH_3I или $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$), синглетный кислород $\Delta^1\text{O}_2$, кислород в основном состоянии и буферный газ N_2 . В работе [5] установлено, что критическое приведенное поле $(E/N)_{\text{кр}}$ в синглетном кислороде ниже, чем в кислороде, находящемся в основном состоянии; там же разработана численная модель разряда в синглетном кислороде, адекватно описывающая экспериментальные данные. Из данных [5] следует ожидать, что в рабочих смесях КИЛ напряжение на плазме ОСР будет зависеть от доли $\Delta^1\text{O}_2$ в смеси, при этом снижение напряжения горения при увеличении доли $\Delta^1\text{O}_2$ в смеси описывается закономерностями, установленными

*ИОФ РАН, г. Москва.

в [4], однако влияние температуры газа на параметр $(E/N)_{cr}$ в рабочих смесях КИЛ не изучалось. Известно, что стандартная смесь ИП КИЛ ($RI:O_2:N_2$) содержит сильно электроотрицательный компонент (RI), наличие которого может приводить к росту прилипания электронов с ростом температуры. Аналогичный эффект наблюдается в смесях на основе SF_6 и $c-C_4F_8$ [6, 7]. Повышение температуры газа в рабочей среде КИЛ может быть обусловлено различными факторами, например нагревом газа от разряда, дезактивацией Δ^1O_2 в рабочем объеме и т. п. Целью настоящей работы являлось исследование влияния температуры газа на характеристики объемного самостоятельного разряда в рабочих смесях КИЛ.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. ОСР зажигался в электродной геометрии *игла (катод) – плоскость (анод)* при межэлектродном расстоянии $d = 5$ см. На промежуток через индуктивность разряжался конденсатор емкостью $C = 8$ нФ. Электроды размещались в герметичной кварцевой трубке диаметром 5 см, которая заполнялась рабочей смесью газов. Большинство экспериментальных исследований проводилось в газовой смеси C_2H_5I :воздух = 1:36 при общем давлении 12 Торр (при $T = 22$ °С). Эта газовая смесь имитировала рабочую смесь ИП КИЛ. Зарядное напряжение варьировалось в пределах 6–10 кВ. Ток ОСР и напряжение на промежутке контролировались калиброванными шунтом и делителем напряжения соответственно. После напуска в разрядную камеру смеси камера отсекалась от вакуумного тракта и могла нагреваться потоком горячего воздуха до 150 °С. Изменение температуры смеси контролировалось по изменению давления в камере. Полагалось, что нагрев стенок камеры до 100 °С не приводит к диссоциации компонентов смеси.

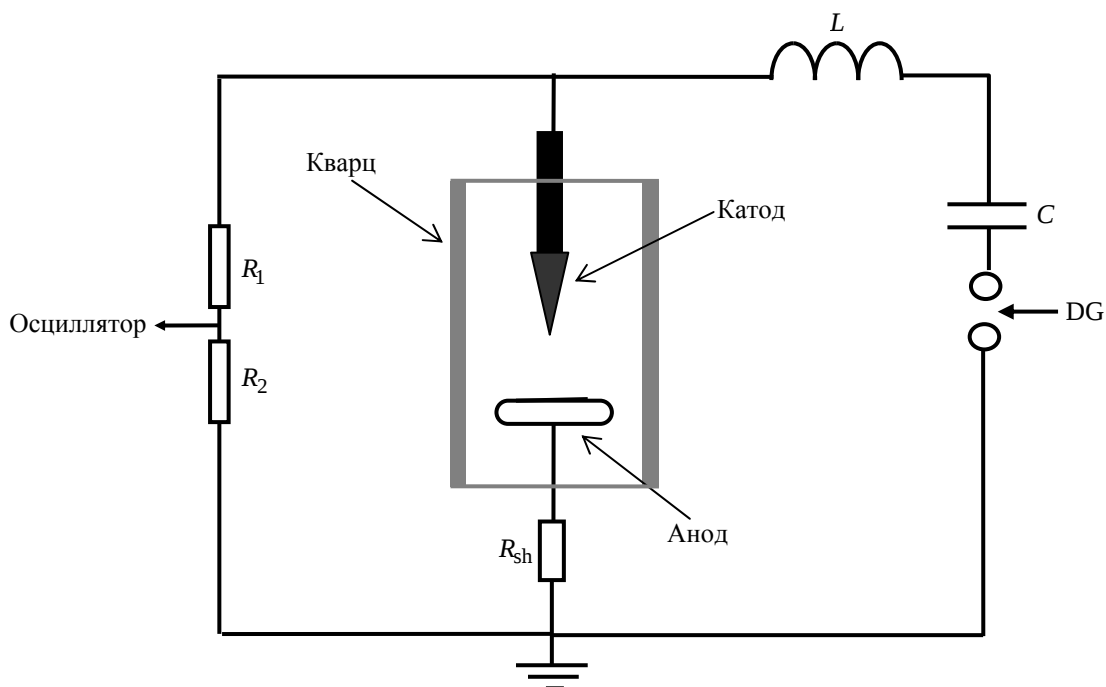


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследований влияния нагрева рабочей смеси КИЛ на разрядные характеристики: $C = 8$ нФ; $L = 3,2$ мкГн; DG – разрядник; R_1 , R_2 – делитель напряжения; R_{sh} – токовый шунт

На рис. 2 показаны осциллограммы напряжения (нижний луч) и тока (верхний луч) ОСР в смеси C_2H_5I :воздух = 1:36 с начальным давлением 12 Торр, полученные при разряде на промежуток конденсатора. Здесь U_1, I_1 – напряжение и ток ОСР при температуре газа $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$; U_2, I_2 – напряжение и ток ОСР при $T = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Развертка 250 нс/дел. Из рис. 2 видно, что нагрев приводит к уменьшению разрядного тока и увеличению напряжения на плазме. В экспериментах было установлено, что после остывания смеси в кварцевой камере осциллограммы напряжения и тока возвращаются в исходное состояние.

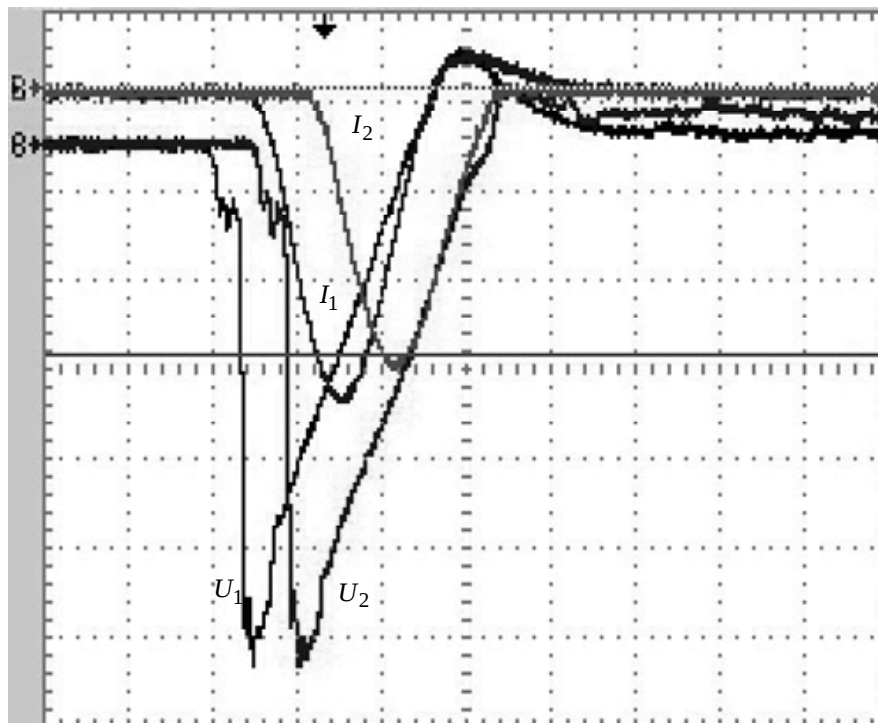


Рис. 2. Осциллограммы напряжения и тока ОСР в газовой смеси C_2H_5I :воздух = 1:36 с общим давлением 12 Торр при температуре $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (U_1, I_1) и $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (U_2, I_2)

Таким образом, следует ожидать, что и в рабочих смесях КИЛ температура газа будет оказывать заметное влияние на электрические характеристики ОСР. Следует заметить, что увеличение скорости дезактивации синглетного кислорода в рабочем объеме КИЛ будет приводить к росту напряжения горения ОСР по двум причинам: 1) уменьшение доли Δ^1O_2 в смеси; 2) рост температуры газовой смеси.

Работа поддержана грантом РФФИ № 12-08-00321.

Список литературы

1. Вагин Н. П., Юрышев Н. Н. // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. С. 127.
2. Kochetov I. V., Napartovich A. P., Vagin N. P., Yuryshev N. N. // J. Phys. D. 2009. Vol. 42. P. 055201.
3. Казанцев С. Ю., Кононов И. Г., Подлесных С. В., Фирсов К. Н. // Квантовая электроника. 2010. Т. 40, № 5. С. 397–399.
4. Kochetov I. V., Napartovich A. P., Vagin N. P., Yuryshev N. N. // J. Phys. D. 2011. Vol. 44. P. 355204.
5. Вагин Н. П., Ионин А. А., Климачев Ю. М. и др. // Физика плазмы. 2003. Т. 29, № 3. С. 236–245.
6. Belevtsev A. A., Firsov K. N., Kazantsev S. Yu., Kononov I. G. // Appl. Phys. B. 2006. Vol. 82. P. 455.
7. Белевцев А. А., Казанцев С. Ю., Кононов И. Г., Фирсов К. Н. // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 10. С. 985–988.

Influence of Gas Temperature on Self-Sustained Volume Discharge Characteristics in Working Mixtures of a Repetitively Pulsed COIL

V. I. Aksinin, S. A. Antsiferov, S. D. Velikanov, S. Yu. Kazantsev, V. V. Kalinovskii,
V. V. Konovalov, I. G. Kononov, V. N. Mikhalkin, S. V. Podlesnykh, I. V. Sevryugin,
K. N. Firsov

The influence of gas temperature on the characteristics of a self-sustained volume discharge was studied in the working mixtures of a chemical oxygen-iodine laser with pulsed electric-discharge production of iodine atoms. In experiments, laser working mixtures were modelled by the mixture of air and iodide C_2H_5I . It was established that mixture heating is accompanied by an increase in the voltage across the discharge plasma and by a decrease in the discharge current. By varying the temperature of the mixture with the iodine content of ~2.7 % and initial pressure $P = 12$ Torr from 22 °C to 96 °C, the current amplitude falls by ~12 %, and at the instant corresponding to a maximal current the voltage raises by ~22 %. Such a change in the discharge characteristics is explained by a higher rate of electron attachment to vibrationally excited iodide molecules at elevated temperatures.