

# Visualization of an Optical Discharge Behavior in the Combined Mode of Sustaining

Mikhail Kotov, Kirill Osipenko, Nikolay Solovyov,  
Andrey Shemyakin, Mikhail Yakimov

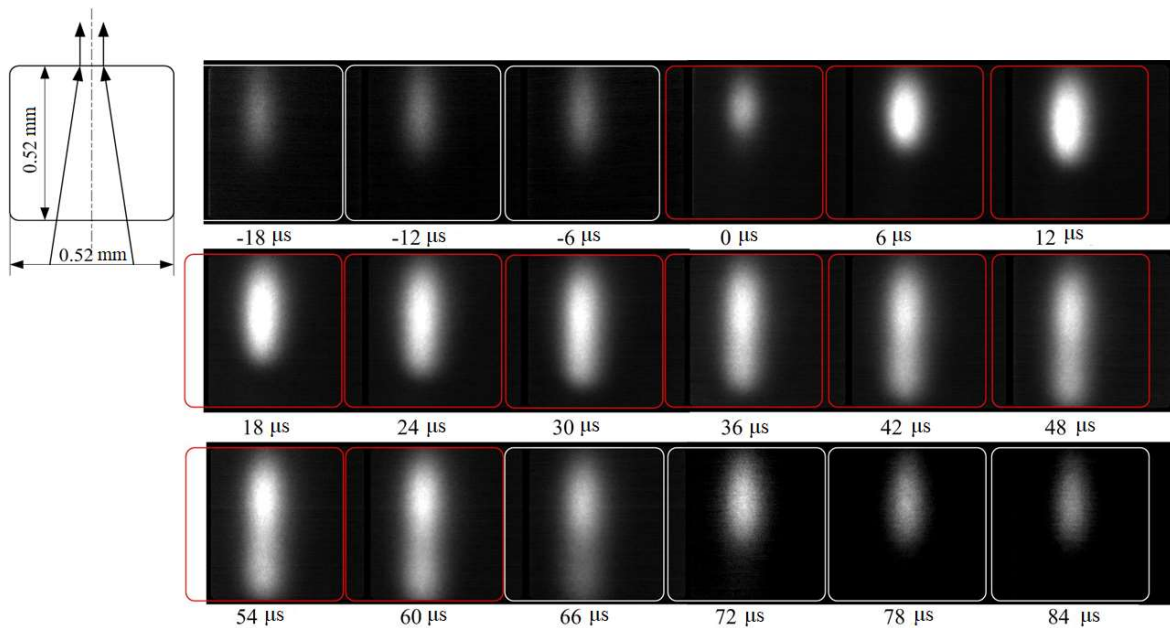
*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics Russian Academy of Sciences (IPMech RAS),  
Moscow, 119526, Russia*

[kotov@ipmnet.ru](mailto:kotov@ipmnet.ru)

## Abstract

This publication presents an experimentally obtained video file for visualizing changes in the brightness of a radiation source based on a combination of continuous and repetitively pulsed optical discharges on a microsecond scale. The brightness was recorded with an electron-optical camera in the visible region of the spectrum in a nine-frame scan mode. A detailed description of the conditions and results of the experiments performed, the characteristics of the radiation source, as well as a discussion of the results obtained are published in [1, 2].

Keywords: laser plasma, COD, POD, combined optical discharge.



Spatio-temporal development of an optical discharge plasma in a combined mode of maintenance

УДК 533.915.082.5; 537.521.7(04)

# Визуализация поведения оптического разряда при комбинированном режиме поддержания

М.А. Котов, К.Ю. Осипенко, Н.Г. Соловьев, А.Н. Шемякин, М.Ю. Якимов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,  
Россия, Москва, 119526, пр-т Вернадского, 101, к.1*

[kotov@ipmnet.ru](mailto:kotov@ipmnet.ru)

## Аннотация

В данной публикации представлен полученный экспериментально видеофайл визуализации изменения яркости источника излучения на основе комбинации непрерывного и импульсно-периодического оптических разрядов в микросекундном масштабе. Регистрация яркости осуществлялась электронно-оптической камерой в видимой области спектра в режиме девятикадровой развертки. Подробное описание условий и результатов проведенных экспериментов, характеристики источника излучения, а также обсуждение полученных результатов опубликованы в работах [1, 2].

Ключевые слова: НОР, ИПОР, комбинированный разряд.

## Описание видео

В работе [1] впервые была предложена схема источника излучения на основе комбинации непрерывного оптического разряда (НОР) и импульсно-периодического оптического разряда (ИПОР). Комбинированные НОР/ИПОР в пересекающихся под углом сфокусированных лазерных лучах (рис. 1а) позволяют при той же мощности излучения в десятки раз увеличить яркость излучения плазмы по сравнению с другими источниками. Каждый из двух лазерных лучей, подводимых по оптоволокну, коллимируется и фокусируется отдельной оптической системой (1, 2 на рис. 1, а). Лучи пересекаются вблизи фокуса внутри заполненной ксеноном кварцевой колбы (7 на рис. 1, а), формируя зону, оптимальную для стабилизации компактной плазмы оптического разряда с высокой яркостью. Излучение плазмы выводится через широкоапертурные окна (5, 6 на рис. 1, а). Проходящая через плазму небольшая часть мощности лазерного излучения задерживается в поглотителях (3, 4 на рис. 1, а). Яркость плазменного источника света на основе комбинированного разряда НОР/ИПОР находится в пределах  $3 \div 10 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$  и превышает максимальную яркость дугового разряда в 3-5 раз в видимой области и более чем на порядок в ультрафиолетовой (рис. 1, б).

Представленная в данной работе анимация демонстрирует изменение излучения в микросекундном масштабе при работе комбинированного источника НОР/ИПОР. Эксперимент проводился в лампе, наполненной ксеноном до давления  $p_{\text{Xe}} = 16$  бар (7 на рис. 1, а). Плазма в лазерном луче инициировалась кратковременным дуговым разрядом между вспомогательными электродами, расстояние между которыми составляло 1.56 мм.

Регистрация яркости осуществлялась по оптическому каналу источника вывода широкополосного излучения (розовая зона на рис. 1, а), широкоапертурные окна (5, 6 на рис. 1, а) отсутствовали. Для измерения пространственно-временных параметров использовалась электронно-оптическая камера К011 [3], позволяющая регистрировать последовательность изображений в видимой области спектра в режиме девятикадровой развертки.

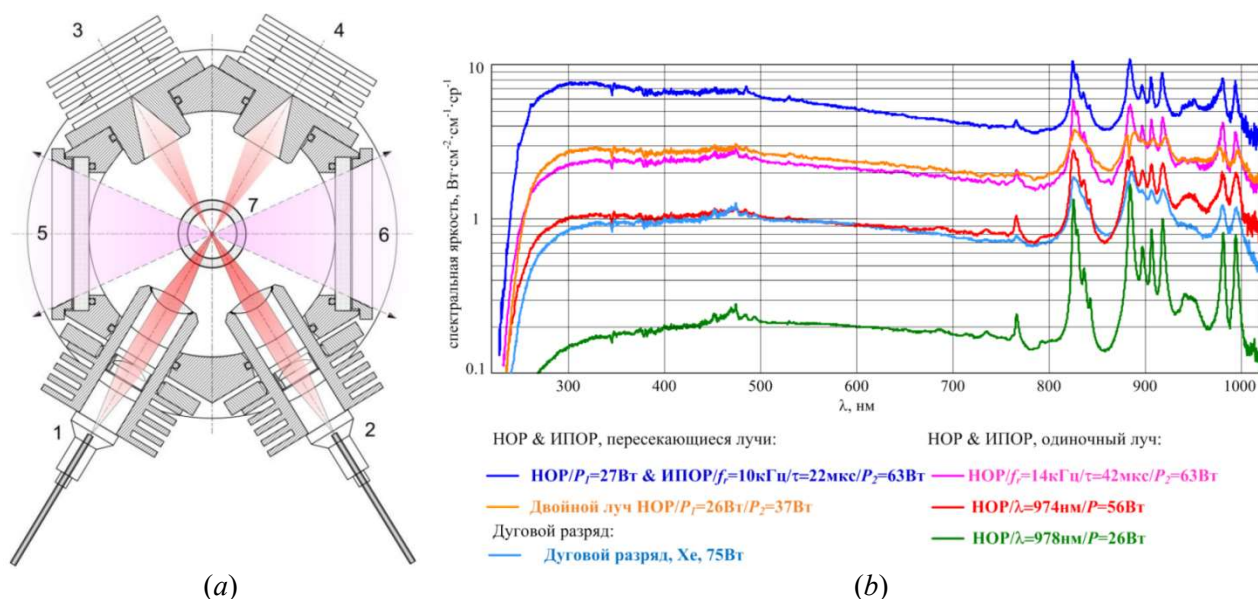


Рис. 1. (а) – Поперечное сечение варианта излучателя на комбинированном режиме поддержания оптического разряда, стабилизированном в области пересечения лазерных лучей [2]; (б) – Спектральная яркость плазмы комбинированных разрядов НОР/ИПОР в пересекающихся лучах (две верхние кривые) в сравнении с НОР и ИПОР в одиночном луче и дуговым разрядом в ксеноне [1]

Параметры эксперимента:

- мощность излучения лазерного диода НОР (1 на рис. 1)  $P_{НОР} = 32 \div 33 \text{ Вт}$ ;
- мощность излучения лазерного диода ИПОР в импульсе (2 на рис. 1)  $P_{ИПОР} = 50 \div 50.5 \text{ Вт}$ ;
- частота следования импульсов ИПОР  $f = 5 \text{ кГц}$ ;
- длительность одного импульса излучения лазерного диода ИПОР  $T_{ИПОР} = 60 \text{ мкс}$ ;
- время между кадрами 1 мкс;
- выдержка кадра 5 мкс;
- для выделения диапазона спектральной регистрации перед камерой ставился светофильтр с максимумом пропускания в области  $\lambda = 525 \text{ нм}$ .

На рис. 2 представлены типичные девятикадровые последовательности, зарегистрированные во время эксперимента. Изображение с экрана электронно-оптического преобразователя камеры подается на ПЗС считывающее устройство с общим разрешением  $1392 \times 1032$  пикселей. Разрешение каждого кадра может различаться в пределах 5 пикселей по ширине/высоте кадра. Уровень освещенности в кадрах одной фазы оптического разряда у различных последовательностей также может быть разным.

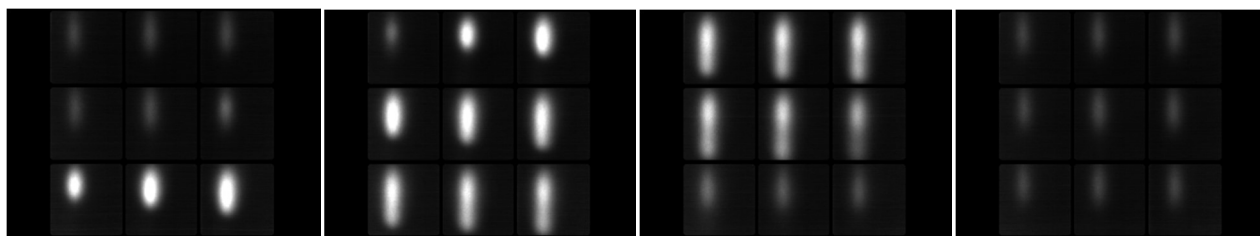


Рис. 2. Девятикадровые последовательности, описывающие разные фазы оптического разряда при комбинированном режиме поддержания.

На рис. 3, а показан размер кадра видео с углом схождения лучей и зоной их фокальной перетяжки (фокус лучей находится немного выше верхней границы кадра). Представленное видео и рис. 3, б демонстрируют развитие плазменного пятна оптического разряда при комбинированном режиме поддержания с обозначенными параметрами.

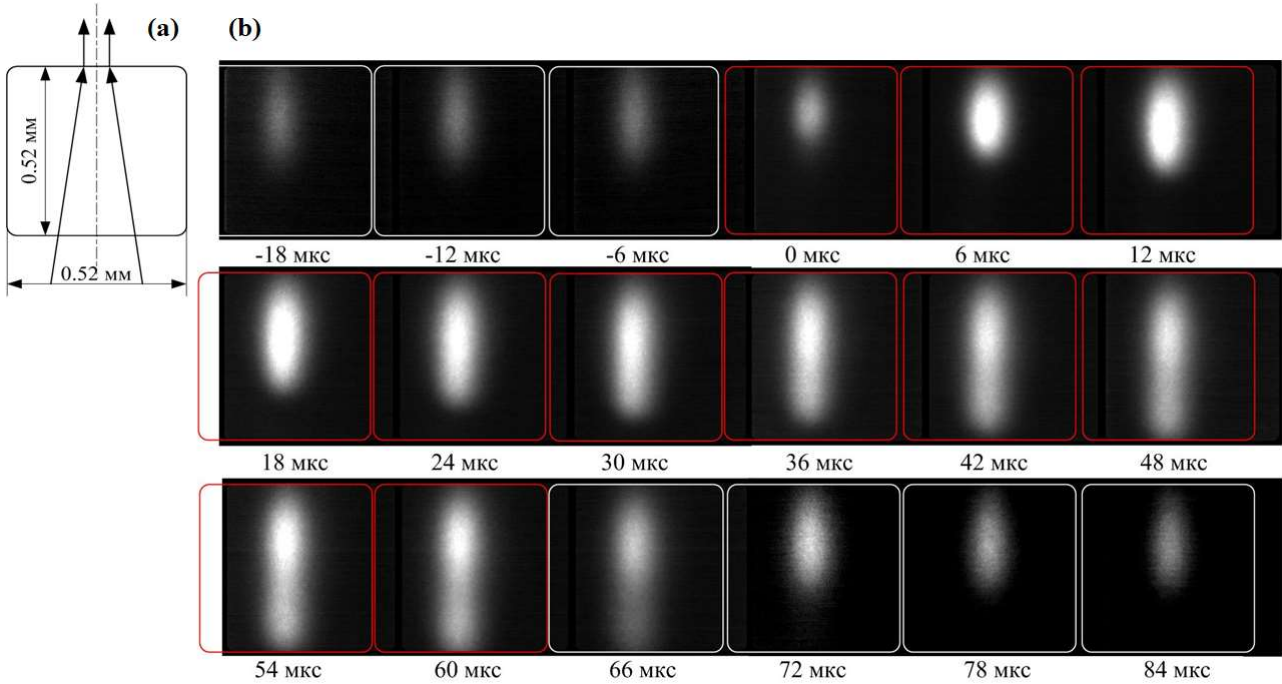


Рис. 3. (a) – Размеры кадра, области схождения луча и зоны фокальной перетяжки отмечены стрелками; (b) – Пространственно-временное развитие плазмы оптического разряда при комбинированном режиме поддержания на  $\lambda = 525$  нм (красными линиями отмечены кадры режима работы ИПОР, белыми – НОР)

Рисунок 4 показывает изменение яркости плазмы на  $\lambda = 525$  нм с течением времени вдоль линии симметрии кадра (рис. 3, a, пунктирная линия). Яркость режима НОР (0 мкс, красная линия) начинает увеличиваться благодаря дополнительному энерговкладу, обусловленному началом режима ИПОР. Одновременно начинается рост размеров плазмы. Максимальная интенсивность излучения достигается на 42 мкс. При продолжении расширения плазма теряет интенсивность излучения (48 мкс). На 60 мкс (коричневая линия на правом графике рис. 4) режим ИПОР прекращается и яркость плазмы постепенно возвращается к значениям режима НОР (90 мкс, красная линия). Затем процесс повторяется.

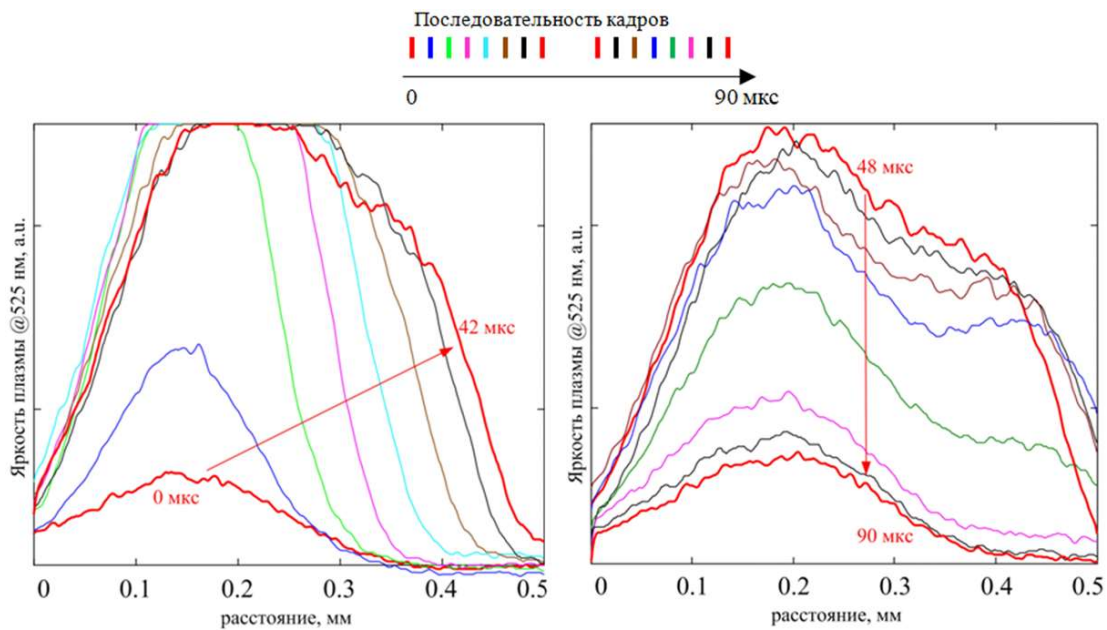


Рис. 4. Изменение яркости свечения плазмы оптического разряда (на длине волны  $\lambda = 525$  нм) вдоль линии симметрии кадра (пунктирная линия на рис. 3, a) сверху вниз. Временной ход процесса показан стрелками, интенсивности каждого кадра показаны линиями разных цветов (верхняя область)

OD\_combined\_mode\_5kHz\_2fps – поведение оптического разряда при комбинированном режиме с частотой модуляции 5кГц, скорость воспроизведения 2 кадра в секунду (замедление в 83 333 раза по сравнению реальной картиной течения процесса);

OD\_combined\_mode\_5kHz\_5fps – то же самое, скорость воспроизведения 5 кадров в секунду (замедление в 33 333 раза по сравнению реальной картиной течения процесса);

OD\_combined\_mode\_5kHz\_10fps – то же самое, скорость воспроизведения 10 кадров в секунду (замедление в 16 666 раз по сравнению реальной картиной течения процесса).

## Благодарности и ссылки на гранты

Работа выполнена по теме государственного задания (№ гос.рег. АААА-А20-120011690135-5).

## Литература

1. Зимаков В.П., Кузнецов В.А., Рудой И.Г., Соловьев Н.Г., Сорока А.М., Шемякин А.Н., Шилов А.О., Якимов М.Ю. Импульсно-периодические и комбинированные режимы поддержания оптических разрядов // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2015. Т. 16, вып. 2. <http://chemphys.edu.ru/issues/2015-16-2/articles/548/>
2. Зимаков В.П., Кузнецов В.А., Лаврентьев С.Ю., Соловьев Н.Г., Шемякин А.Н., Шилов А.О., Якимов М.Ю. Новые возможности применения оптических разрядов в аэрофизическом эксперименте // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2016. Т. 17, вып. 2. <http://chemphys.edu.ru/issues/2016-17-2/articles/653/>
3. <https://bifocompany.com/rus/p-cam-k011.php.htm> (дата обращения 28.12.2021)

## References

1. Zimakov, V. P., Kuznetsov, V. A., Rudoy, I. G., Soloviev, N. G., Soroka, A. M., Shemyakin, A. N., Shilov, A. O., Yakimov, M. Yu., “Periodic-Pulsed and Combined Modes of Sustaining Optical Discharges,” *Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics*, Vol. 16, No. 2, 2015. <http://chemphys.edu.ru/issues/2015-16-2/articles/548/>
2. Zimakov, V. P., Kuznetsov, V. A., Lavrentyev, S. Yu., Soloviev, N. G., Shemyakin, A. N., Shilov, A. O., Yakimov, M. Yu., “New Possibilities for Applying Optical Discharges to Aerophysical Experiments,” *Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics*, Vol. 17, No. 2, 2016. <http://chemphys.edu.ru/issues/2016-17-2/articles/653/>
3. <https://bifocompany.com/eng/p-cam-k011.php.htm> (referenced at 12/28/2021)

Статья поступила в редакцию 6 декабря 2021 г.