

04;07;12

©1995

## ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЙ ЭКСИМЕРНЫЙ ЛАЗЕР С УПРАВЛЯЮЩИМ СРЕДНИМ ЭЛЕКТРОДОМ

*В.В.Боровков, В.В.Воронин, С.Л.Воронов,  
Д.И.Зенков, Б.В.Лажинцев, В.А.Нор-Аревян,  
В.А.Тананакин, Г.И.Федоров*

Основные направления развития электроразрядных эксимерных лазеров связаны с увеличением средней мощности излучения до киловаттного уровня, повышением эффективности и ресурса работы. Создание таких лазеров позволит существенно расширить технологическое применение этих уникальных источников когерентного ультрафиолетового излучения в фотолитографии, обработке материалов, фотохимии и других наукоемких областях.

Основными факторами, ограничивающими разработку импульсно-периодических эксимерных лазеров с высокой энергией в импульсе, являются трудности с формированием однородного разряда в больших объемах, а также ограничения по передаваемой энергии коммутирующими элементами системы накачки, которые должны работать в режиме быстрого нарастания тока. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется поиску и развитию нетрадиционных способов формирования разряда в электроразрядных лазерах. К ним следует отнести схемы с магнитными звеньями сжатия импульса и электрические схемы с двойным разрядом.

Применение схем с магнитными звеньями сжатия позволяет снизить нагрузку на коммутатор [1], однако при этом существенно возрастают вес и габариты лазера, так как отношение веса магнитного дросселя к передаваемой энергии составляет около 1 кг/Дж.

Наиболее перспективными считаются схемы с двойным разрядом, включающие основной емкостной накопитель в виде формирующей линии с пассивным магнитным затвором в цепи разряда и высоковольтный низкоэнергетичный ударный контур, который, собственно, и обеспечивает зажигание объемного разряда. В этом случае, благодаря относительно низкому напряжению зарядки формирующей линии, удастся наиболее полно согласовать емкостной накопитель с нагрузкой и получить эффективность 4–5% [2]. В [3] реализован импульсно-периодический режим работы ХеСl лазера с двойным разрядом при частоте следования

до 220 Гц и полным КПД 2.2%. Характерной особенностью данных электрических схем является то, что в процессе зарядки межэлектродный зазор находится под напряжением формирующей линии.

В настоящей работе предлагается трехэлектродная схема электроразрядного лазера, в котором основной емкостной накопитель присоединен непосредственно к основным электродам, а зажигание разряда происходит при подаче высоковольтного импульса на средний управляющий электрод [4]. Эта схема также основана на принципе двойного разряда и обладает всеми его преимуществами. Кроме того, в ней отсутствует магнитный затвор, снижена энергия ударного контура и амплитуда напряжения управляющего импульса; наличие двух синхронизованных во времени лазерных каналов позволяет работать в режиме задающий генератор-усилитель.

В экспериментах использовалась капролоновая камера с внутренними размерами  $8.5 \times 11.5 \times 40$  см, в которой трехэлектродная система с боковой односторонней предыонизацией. Средний электрод из нержавеющей стали был плоским, два других — алюминиевые с профилем Чанга. Межэлектродные зазоры составляли 1.6 и 0.8 см, ширина разряда — 1 см, длина разрядного промежутка — 22 см. Блок предыонизации с 40 искровыми промежутками находился напротив среднего электрода на расстоянии 9 см от оптической оси лазера.

На рис. 1 представлена электрическая схема эксимерного лазера с управляющим средним электродом. Накопительная емкость источника предыонизации состояла из четырех конденсаторов КВИ-3 2.2 нФ  $\times$  10 кВ ( $C_4 = 4.4$  нФ), соединенных по схеме LC-генератора. Коммутация LC-генератора осуществлялась управляемым керамическим разрядником  $P_1$  типа РУ-62. В качестве источника основного разряда использовалась формирующая линия  $C_{фл}$  из кон-

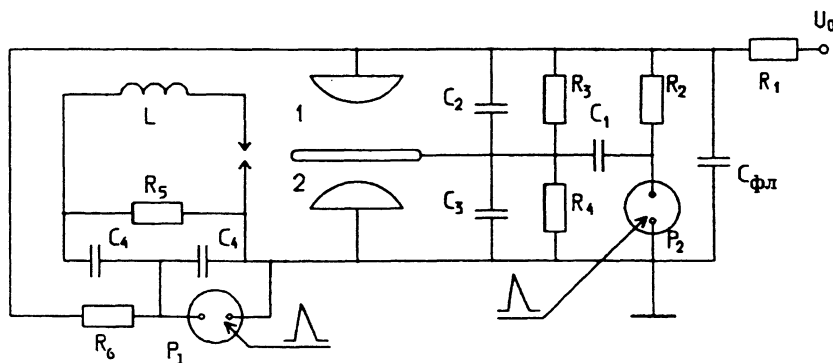
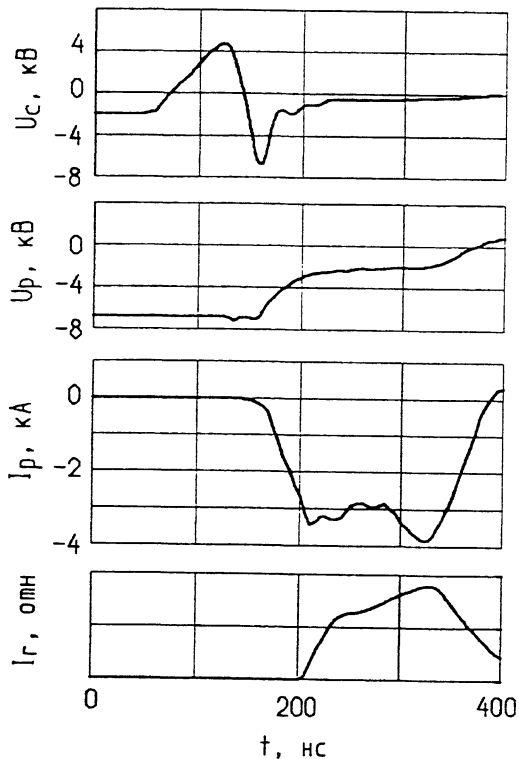


Рис. 1. Электрическая схема трехэлектродного эксимерного лазера.



**Рис. 2.** Осциллограммы импульсов напряжения на среднем электроде (а), между основными электродами (б), тока разряда (в) и генерации (г).

денсаторов КВИ-3  $2.2 \text{ нФ} \times 10 \text{ кВ}$  с общей емкостью  $81.4 \text{ нФ}$ , волновым сопротивлением  $1.8 \text{ Ом}$  и временем двойного пробега электрического импульса около  $200 \text{ нс}$ . Формирующая линия подключалась непосредственно к основным электродам и заряжалась от высоковольтного источника постоянного напряжения до  $U_0 = -8 \text{ кВ}$ . Средний электрод находился под промежуточным потенциалом  $U_0/3$ . Для измерения вольтамперных характеристик разряда с помощью резистивных делителей и шунта применялась импульсная (за  $25 \text{ мкс}$ ) зарядка  $C_{\text{фл}}$ . Двухконтурная емкостная система, состоящая из накопительной емкости  $C_1 = 2.2$ , обостряющих  $C_2 = 0.3$ , и  $C_3 = 0.6 \text{ нФ}$  и разрядника  $P_2$  типа РУ-62, служила для формирования поджигающего высоковольтного импульса на среднем электроде.

На рис. 2 представлены характерные осциллограммы импульсов напряжения на среднем электроде, между основными электродами, а также импульсов тока и генерации для

смеси  $\text{HC}:\text{Xe}:\text{Ne}=3:30:4537$  при общем давлении 3 атм. Резонатор был образован диэлектрическими плоскими зеркалами с пропусканием  $T_1 = T_2 = 4.5\%$ , которые одновременно служили торцевыми окнами разрядной камеры.

Запуск лазера осуществлялся с помощью внешнего высоковольтного генератора пусковых импульсов, который обеспечивал срабатывание разрядника  $P_1$  и  $P_2$ . Задержка запуска  $P_2$  относительно начала импульса предыонизации составляла 50 нс.

Из рис. 2, а видно, что после срабатывания  $P_2$  в результате перезарядки  $C_1$  и  $C_2$ ,  $C_3$  на среднем электроде возникает импульс напряжения положительной полярности с фронтом нарастания 60 нс и амплитудой  $\approx 2|U_0|/3$ ; напряженность поля в межэлектродном зазоре 1 возрастает в 2 раза, что обеспечивает зажигание объемного разряда в данном промежутке. Далее за время  $\sim 30$  нс напряжение на среднем электроде изменяется до  $U_0$ , что приводит к пробое зазора 2 и началу основной стадии разряда.

При зарядном напряжении  $U_0 = -7.1$  кВ, энергии, запасенной в  $C_{\text{фл}}$  2.05 Дж, в блоке предыонизации 0.22 Дж, в контуре формирования поджигающего импульса 0.03 Дж, получена энергия генерации 26 мДж при длительности импульса на полувысоте 160 нс и полном КПД  $\sim 1\%$ . Удельный энерговыход составлял  $\sim 0.04$  Дж/см<sup>3</sup>.

В заключение следует подчеркнуть, что в данной схеме формирование разряда осуществлялось в результате коммутации энергии, составляющей лишь 1.5% от запасенной в источнике основного разряда, около 10% энергии расходовалось на предыонизацию разрядных промежутков.

Дальнейшее развитие представленной выше трехэлектродной схемы эксимерного лазера открывает новые возможности по созданию эффективных технологических лазеров с высокой средней мощностью.

### Список литературы

- [1] Tanaka H., Hatanaka H., Obara M. // Rev. Sci. Instrum. 1990. V. 61. N 8. P. 2092-2096.
- [2] Gerritsen J.W., Keet A.L., Ernst G.I., Witteman W.I. // Opt. Commun. 1990. V. 77. N 5, 6. P. 395-396.
- [3] Mc Kee T.J., Boyd G., Znotus T.A. // IEEE. Photonics Technology Lett. 1989. V. 1. N 3. P. 59-61.
- [4] Боровков В.В., Воронов В.В., Воронин С.Л., Лажинцев Б.В., Нор-Аревян В.А., Таманакин В.А., Федоров Г.И. Устройство для накачки газового проточного лазера. Патент России № 2017289. Декабрь 21. 1990. Изобретения. № 14 от 30 июля 1994 г.

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики  
Арзамас-16

Поступило в Редакцию  
1 ноября 1994 г.