

Эффективный длинноимпульсный ХеСl-лазер с предымпульсом, формируемым индуктивным накопителем энергии

Е.Х.Бакшт, А.Н.Панченко, В.Ф.Тарасенко

Создан эффективный электроразрядный ХеСl-лазер с накачкой самостоятельным разрядом с предымпульсом, формируемым генератором с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока на основе SOS-диодов. При искровой УФ предыонизации получены энергия излучения до 800 мДж, длительность импульса до 450 нс и полная эффективность лазера 2.2%.

Ключевые слова: ХеСl-лазер, длинный импульс, эффективная генерация, индуктивный накопитель энергии.

Введение

Создание эффективных электроразрядных эксиплексных лазеров с большой длительностью импульса излучения связано с решением двух проблем. Первая проблема – это формирование и поддержание однородного объемного разряда в газовых смесях, содержащих электроотрицательные молекулы галогенов. Вторая связана с необходимостью увеличения эффективности передачи энергии от накопителя в плазму такого объемного разряда. Впервые при накачке самостоятельным разрядом большие длительности импульса излучения ХеСl-лазера были реализованы в лазере с рентгеновской предыонизацией и основным накопителем энергии в виде полосковой линии [1]. Энергия излучения в режиме длинных импульсов (~ 200 нс) при использовании различных буферных газов составила 1–3 Дж.

Для обеспечения полной передачи энергии из накопителя в газоразрядную нагрузку в течение импульса генерации и получения высокой эффективности излучения электроразрядных эксиплексных лазеров необходимо использовать схему с двумя генераторами [2]. Высоковольтный генератор с малым энергозапасом формирует объемный разряд, а второй генератор обеспечивает накачку от основного конденсатора в согласованном режиме. В [2] были получены КПД генерации 4.2%, энергия излучения 4.2 Дж и длительность импульса излучения 200 нс.

Возможность достижения длительности импульса генерации до 1 мкс в электроразрядном ХеСl-лазере была продемонстрирована нами в 1984 г. [3, 4]. Для решения проблемы устойчивости разряда был предложен нестационарный режим накачки, связанный с определенной скоростью нарастания и спада тока разряда [4, 5], который также позволил увеличить длительность импульса излучения электроразрядного ХеF-лазера до ~ 400 нс и длительность импульса спонтанного излучения в рабочей смеси КrСl-лазера до ~ 500 нс.

Наиболее успешно для накачки длинноимпульсных ХеСl-лазеров схема с двумя генераторами применялась в [6], где были использованы полосковые линии из керамических конденсаторов, магнитный ключ и предыонизация коронным разрядом через сетчатый электрод. Были получены длительность импульса излучения 1.5 мкс при энергии 100 мДж и КПД 0.44%, а также длительность ~ 800 нс при энергии 500 мДж и КПД относительно запасенной в полосковой линии энергии $\sim 2\%$. Кроме того, при замене полосковой линии на два конденсатора емкостью по 0.25 мкФ длительность импульса излучения составила ~ 500 нс при энергии 600 мДж и КПД 1.3%.

Цель настоящей работы – создание эффективного длинноимпульсного ХеСl-лазера с искровой предыонизацией, отличающегося надежностью и большим сроком службы, при использовании для накачки двойного разряда с предымпульсом, формируемым генератором с индуктивным накопителем энергии. Ранее данный способ формирования предымпульса был использован нами для накачки СО₂-лазера [7, 8], в котором сопротивление плазмы разряда существенно выше, чем в ХеСl-лазере.

1. Экспериментальная установка, аппаратура и методики измерений

Конструкция длинноимпульсного ХеСl-лазера показана на рис.1. Электроды лазера располагались в цилиндрической камере, отделенной от генератора накачки пластиковым изолятором. Активный объем лазера $V = 800 \text{ см}^3$ ($2.5 \times 4 \times 80$ см) при межэлектродном зазоре $d = 4$ см. Для предыонизации использовалось излучение 72 искровых промежутков, расположенных равномерно с двух сторон катода. Генератор накачки состоял из накопительной и обострительной емкостей, набранных из конденсаторов КВИ. Их емкости составляли 240 и 2.4 нФ соответственно. Накопитель заряжался до напряжения $U_0 \approx 2U_s = 15 - 18$ кВ, где U_s – напряжение в квазистационарной фазе разряда. В качестве полупроводникового прерывателя тока использовались 10 специальных SOS-диодов (SOS – semiconductor opening switch), установленных параллельно обострительным конденсаторам. Ток обрыва такого SOS-диода достигает 2 кА, время срабатывания – 10–20 нс, частота повторения импуль-

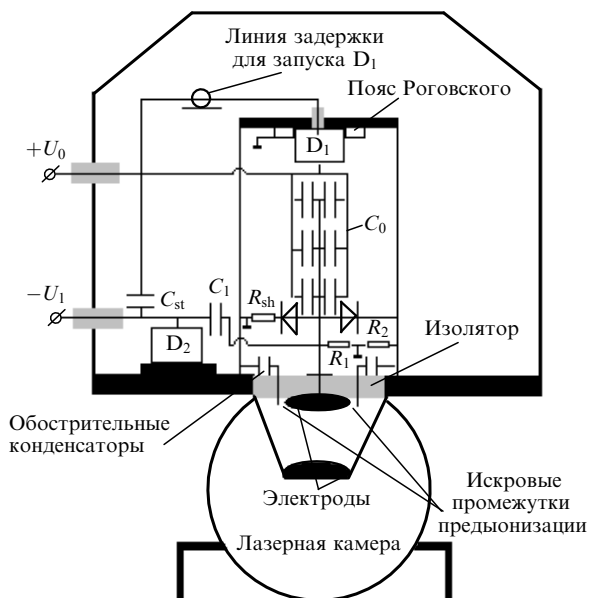


Рис.1. Схема XeCl-лазера с предимпульсом, формируемым индуктивным накопителем энергии и SOS-диодами: C_0 – накопительные конденсаторы; $C_1 = 14$ нФ – емкость для накачки SOS-диодов в прямом направлении; D_1, D_2 – искровые разрядники; $C_{st} = 1.5$ нФ – коммутационная емкость; R_1, R_2 – делитель напряжения; R_{sh} – токовый шунт.

сов при масляном охлаждении – до 1 кГц. Для работы диодов в режиме прерывателя тока через них предварительно пропускался в прямом направлении ток 100 – 500 А в течение 500 нс. Для этого использовался конденсатор $C_1 = 14$ нФ. Индуктивность контура конденсатора C_1 составляла 1.8 мкГн. Минимальная энергия, необходимая для управления диодами, не превышала 5 % энергии, запасенной в накопителе C_0 . После срабатывания разрядника D_1 через диоды начинал протекать обратный ток от накопителя C_0 , который обрывался через ~100 нс при достижении критического значения [9]. В момент обрыва тока SOS-диодами на лазерном промежутке возник импульс напряжения с амплитудой $U = LdI/dt \sim 50$ кВ (где $L = 0.11$ мкГн – индуктивность разрядного контура накопителя C_0 , dI/dt – скорость обрыва тока), формирующий объемный разряд. Затем накопитель C_0 разряжался на газоразрядную нагрузку в режиме, близком к согласованному. Отметим, что для получения требуемых тока обрыва и амплитуды предимпульса SOS-диоды можно устанавливать как параллельно, так и последовательно. При этом синхронизация срабатывания диодов происходит автоматически.

Резонатор лазера был образован 100 %-ным глухим зеркалом и зеркалами с диэлектрическим покрытием с коэффициентами отражения на $\lambda = 308$ нм от 20 до 70 %.

В экспериментах измерялись амплитудно-временные характеристики импульсов напряжения, тока и лазерного излучения. Для измерения энергии излучения использовался калориметр ИМО-2Н. Форма импульсов излучения определялась с помощью коаксиального фотозлемента ФЭК-22СПУ. Импульсы тока разряда, тока через SOS-диоды и напряжения на разрядном промежутке лазера регистрировались поясом Роговского, омическими шунтом и делителем напряжения. Параметры электрических импульсов измерялись осциллографом С8-14.

2. Результаты экспериментов и их обсуждение

В экспериментах использовались смеси с буферным газом неоном при давлении 1 – 3.5 атм. Максимальная энергия излучения была получена при соотношении Xe:HCl = 10:1 и парциальном давлении хлористого водорода 1.5 Тор. Увеличение содержания HCl приводило к быстрой контракции разряда и уменьшало длительность импульса излучения.

На рис.2 приведены осциллограммы импульсов напряжения на разрядном промежутке, тока разряда и мощности лазерного излучения. Индуктивный накопитель энергии обеспечивал на лазерном промежутке быстрое нарастание напряжения с фронтом длительностью ~50 – 80 нс. Скорость нарастания импульсов напряжения и их амплитуда были пропорциональны прямому току (зарядному напряжению U_1 конденсатора C_1). Так, при увеличении U_1 с 10 до 30 кВ пробивное напряжение возрастало с 30 до 36 кВ, а длительность переднего фронта уменьшалась с 80 до 50 нс. Увеличение U_1 приводит к росту тока обрыва. При этом все большая доля энергии, запасенной в накопителе C_0 , тратится на формирование предимпульса. С одной стороны, это приводит к улучшению условий формирования разряда и повышает его устойчивость, но с другой стороны, при этом уменьшается энерговклад от основного накопителя C_0 .

Максимальные энергия и длительность импульса излучения были получены при $U_1 = 15$ кВ. Длительность импульса излучения на полувисоте составила 210 нс, а полная длительность достигала ~400 нс. Генерация продолжалась в течение всего импульса возбуждения. Это свидетельствует об однородности разряда, формируемого индуктивным накопителем энергии. При повышении добротности резонатора импульс излучения начинался раньше, его длительность возрастала.

В наших экспериментах зарядное напряжение накопительной емкости изменялось в пределах 15 – 18 кВ. Это несколько выше, чем $2U_s$ для используемой газовой смеси. Однако в оптимальных условиях примерно 10 % энергии, запасенной в накопителе C_0 , тратится на формирование разряда. В связи с этим напряжение на C_0 к моменту пробоя лазерного промежутка снижается, и нако-

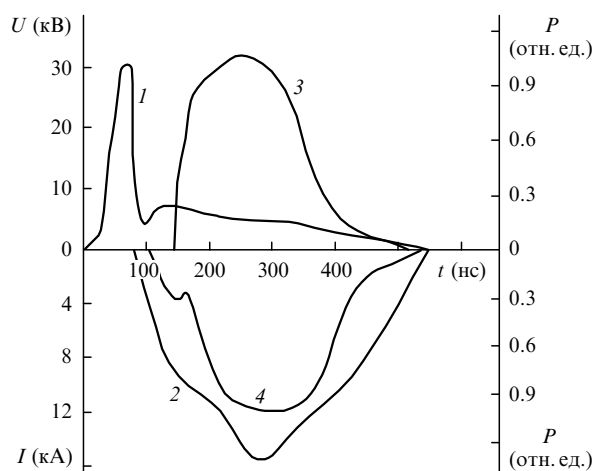


Рис.2. Осциллограммы импульсов напряжения на разрядном промежутке (1), тока разряда (2) и мощности лазерного излучения (3, 4). Газовая смесь Ne:Xe:HCl = 3 атм:12 Тор:1.5 Тор, $U_0 = 16$ кВ, $U_1 = 15$ кВ, коэффициент отражения выходного зеркала 20 (3) и 70 % (4).

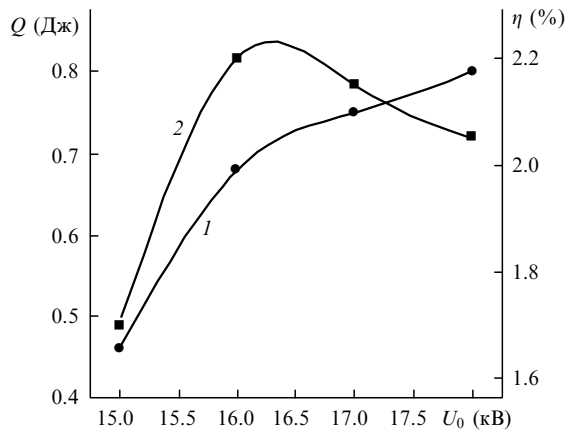


Рис.3. Зависимости энергии излучения (1) и полного КПД (2) лазера от зарядного напряжения накопительного конденсатора U_0 . Газовая смесь Ne:Xe:HCl = 3 атм:12 Тор:1.5 Тор, $U_1 = 15$ кВ, коэффициент отражения выходного зеркала 20 %.

пительный конденсатор разряжается в режиме, близком к согласованному. Важно отметить, что ток разряда накопителя во втором полупериоде протекает через SOS-диоды, а не через разрядный промежуток. Это исключает образование каналов после смены полярности тока разряда и уменьшает эрозию электродов.

На рис.3. приведены зависимости энергии излучения и полного КПД лазера от зарядного напряжения накопительного конденсатора. Энергия излучения возрастала с увеличением зарядного напряжения и достигала 800 мДж. Максимальная эффективность лазера достигала 2.2 % при $U_0 = 16$ кВ и затем начинала снижаться из-за падения эффективности передачи энергии из накопителя C_0 . Следует отметить, что удельная мощность накачки в наших экспериментах была ниже 100 кВт/см³, поэтому при увеличении ее можно ожидать повышения КПД генерации.

Заключение

Таким образом, в созданном эффективном электро-разрядном XeCl-лазере с накачкой двойным разрядом предимпульс формировался генератором с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока на основе SOS-диодов. Достигнуты энергия излучения до 800 мДж, длительность импульса до 450 нс и полная эффективность лазера 2.2 %. Данные параметры получены при использовании надежной искровой подсветки. Разработанный индуктивный генератор может также применяться для накачки широкоапертурных и импульсно-периодических эксиплексных лазеров.

Данная работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (программа «Сибирь») (грант № 98-02-03020).

1. Levatter J.I., Robertson K.L., Lin S.-C. *Appl.Phys.Letts*, **39**, 297 (1981).
2. Long W.H., Plummer J., Stappaerts E.A. et al. *Appl. Phys.Letts*, **43**, 735 (1983).
3. Мельченко С.В., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. *Квантовая электроника*, **11**, 1490 (1984).
4. Ломаев М.И., Мельченко С.В., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. *Изв. АН СССР. Сер.физич.*, **48**, 1385 (1984).
5. Литвинов Е.А., Мельченко С.В., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. *ТВТ*, **23**, 392 (1985).
6. Taylor R.S., Leopold K.E. *J.Appl.Phys.*, **65**, 22 (1989).
7. Бакшт Е.Х., Орловский В.М., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. *Письма в ЖТФ*, **24**, № 4, 57 (1998).
8. Baksh E.H., Panchenko A.N., Tarasenko V.F. *IEEE J. Quantum Electron.*, **35**, 261 (1999).
9. Рукин С.Н. *ИТЭ*, № 4, 5 (1999).

E.Kh.Baksh, A.N.Panchenko, V.F.Tarasenko. Efficient long-pulse XeCl laser with a prepulse formed by an inductive energy storage device.

An efficient electric-discharge XeCl laser is developed, which is pumped by a self-sustained discharge with a prepulse formed by a generator with an inductive energy storage device and a semiconductor current interrupter on a basis of SOS diodes. An output energy up to 800 mJ, a pulse length up to 450 ns, and a total laser efficiency of 2.2 % were attained using a spark UV preionisation.