

07

© 1991

**ДЛИННОИМПУЛЬСНЫЙ (0.4 МКС) ЭКСИМЕРНЫЙ
XeCl ЛАЗЕР С КПД = 1%**С.В. Ефимовский, А.К. Жигалкин,
Ю.И. Карев, С.В. Курбасов

Широкие возможности эксимерных лазеров (ЭЛ) как источников мощного излучения в УФ диапазоне привели в последние годы к появлению целого ряда совершенных в техническом отношении конструкций ЭЛ, имеющих большие перспективы по использованию во многих отраслях науки и техники. Однако малая длительность импульса генерации (≤ 50 нс) этих лазеров сильно ограничивает возможность их использования в ряде перспективных исследований. В последнее время ситуация начинает меняться благодаря разработке XeCl лазера ($\lambda_r = 308$ нм) микросекундной длительности [1]. Это делает возможным увеличить число проходов излучения в резонаторе и, как следствие, существенно упростить реализацию оптических схем генерации высококогерентного УФ-излучения.

В настоящей работе сообщается о разработке длинноимпульсного XeCl лазера с накачкой двойным разрядом при использовании магнитного коммутатора и коронной УФ-предыонизации. Для внешнего резонатора длительность импульса генерации по полувысоте составила 0,4 мкс при энергии генерации до 160 мДж. Максимальный КПД по энергии, запасенной в формирующей линии (при энергии генерации 100 мДж) равен $\eta_{\text{пл}} = 1.4\%$. При этом полный КПД лазера равен $\eta_{\Sigma} = 1\%$.

Длина камеры, изготовленной из органического стекла и покрытой изнутри защитным лаком, 670 мм, длина активной среды 500 мм, сечение разряда 20 x 15 мм (зазор x ширина разряда). Анод лазера длиной ~ 550 мм изготовлен из дюралюминия по профилю Чанга [2] с $k = 0.1$ для $Y_0 = 15$ мм (в обозначениях [2]).

Принципиальная электрическая схема длинноимпульсного XeCl лазера приведена на рис. 1. Предыонизация активной среды осуществляется из-под сетчатого катода УФ-источником на основе коронного разряда, подобным описанному в [3]. Емкость источника предыонизации $C_k \sim 2$ нФ. Напряжение зарядки C_k было неизменным и равнялось ~ 15 кВ. Коммутация C_k осуществлялась искровым разрядником P_1 .

Для увеличения плотности электронов от уровня, создаваемого источником предыонизации ($\sim 10^7$ см $^{-3}$), до уровня, характерного для устойчивого объемного разряда ($\sim 10^{14}$ см $^{-3}$), в схемах с двойным разрядом используется высоковольтный импульс с кру-

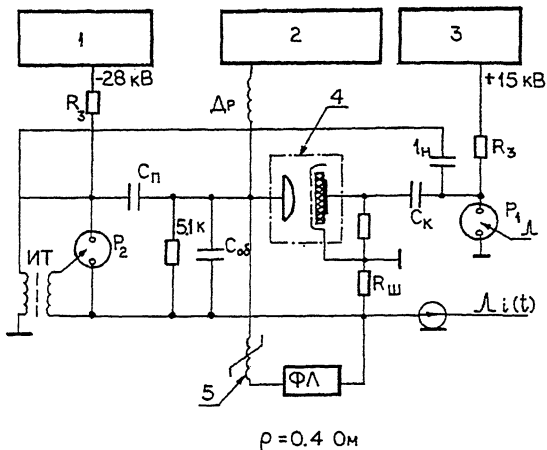


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема накачки лазера. Источники зарядного напряжения: 1 – ИПР, 2 – ФЛ, 3 – предыонизации; 4 – камера лазера, 5 – магнитный коммутатор.

тым фронтом [1, 3, 4]. Такой импульс формировался в нашей схеме источником предварительного разряда (ИПР). Величина накопительной емкости ИПР $C_{\text{п}} \sim 5.5 \text{ нФ}$, а напряжение ее зарядки составляло величину $(-28) \text{ кВ}$. Коммутация ИПР осуществляется искровым разрядником P_2 . Параллельно электродам лазера размещены „обостряющие“ емкости $C_{\text{об}} \sim 2 \text{ нФ}$.

В качестве источника основного разряда используется формирующая линия (ФЛ) с волновым сопротивлением $\sim 0.4 \text{ Ом}$, импульсно заряжаемая до напряжений $(4-7) \text{ кВ}$. Время зарядки линии $\sim 10 \text{ мкс}$. Суммарная емкость линии варьировалась в экспериментах в диапазоне $(0.63-0.77) \text{ мкФ}$, а время двойного прохода электрического импульса по ФЛ изменялось при этом в пределах $(500-700) \text{ нс}$.

Формирующая линия подключена параллельно электродам лазера через магнитный коммутатор. Импульс тока зарядки ФЛ, протекающий через коммутатор непосредственно перед срабатыванием ИПР, намагничивает его сердечник (феррит марки 200 ВМП) в состояние, при котором коммутатор оказывает большое индуктивное сопротивление току ИПР, ответвляющемуся в ФЛ. Сечение сердечника магнитного коммутатора ($\sim 12 \text{ см}^2$) подобрано таким образом, чтобы к моменту завершения разряда ИПР через активную среду лазера сердечник магнитного коммутатора переходил в состояние насыщения.

Запуск лазера с частотой повторения до 1 Гц осуществлялся внешним высоковольтным импульсом, поступающим на запускающий электрод разрядника P_1 схемы предыонизации незадолго до завершения импульсной зарядки ФЛ (через $\sim 10 \text{ мкс}$ после ее начала). Разрядник P_2 ИПР запускается импульсом, сформированным с помощью высоковольтного трансформатора ИТ, через 120 нс после

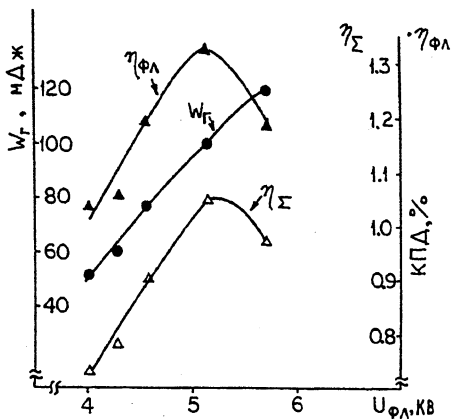


Рис. 2. Зависимости энергетических параметров от напряжения на ФЛ.

после разрядника Р₁. В процессе разряда накопительной емкости ИПР происходит „разогрев“ активной среды лазера и перевод сердечника магнитного коммутатора в насыщенное состояние с малым индуктивным сопротивлением. По завершении этой стадии ток ФЛ осуществляет накачку активной среды. Регистрация тока разряда производилась с помощью шунта $R_{ш} = 0,01 \text{ Ом}$.

Выходными окнами лазера служили пластины из кварца КУ-1. Внешний резонатор был образован плоскими полностью отражающим ($R_1 \sim 99,7\%$) и полупрозрачным ($R_2 = 68\%$) диэлектрическими зеркалами.

Генерация лазера была получена в широком диапазоне изменения параметров накачки и состава смеси. Общее давление в экспериментах варьировалось в диапазоне (1-3) атм и было ограничено снизу резким падением энергии генерации, а сверху - пределом, накладываемом безопасной эксплуатацией камеры лазера. Соотношение парциальных давлений Хе и НСЛ изменялось в диапазоне $[Хе] / [НСЛ] = (20/1-5/1)$.

На рис. 2 приведены графики энергии генерации W_r , общего КПД лазера η_{Σ} и КПД генерации, рассчитанного по энергозапасу в линии $\eta_{ФЛ}$, в зависимости от напряжения на ФЛ. Максимальное напряжение на ФЛ было ограничено самопробоем смеси. Для случая, изображенного на рис. 2, $C_{П} = 5,5 \text{ нФ}$, $C_{ФЛ} = 0,63 \text{ мкФ}$, а время двойного прохода импульса по ФЛ было равным 500 нс. Использовалась смесь 1 мм рт. ст. НСЛ : 15 мм рт. ст. Хе : 3 атм Не. Длительность генерации по полувысоте для напряжения ФЛ более 4 кВ составила в этом случае $\tau_{1/2} \geq 300 \text{ нс}$.

При увеличении электрической длины ФЛ с 500 нс до $\sim 700 \text{ нс}$ длительность генерации по полувысоте увеличивалась с $\sim 300 \text{ нс}$ до (400-420) нс. В этих экспериментах использовались значения

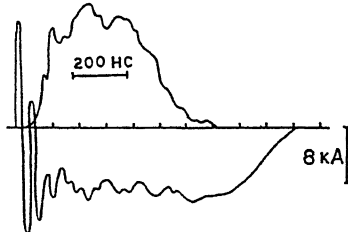


Рис. 3. Формы импульса генерации и тока разряда лазера.

$C_{\Pi} = 8.8$ нФ и $C_{\text{ФЛ}} = 0.77$ мкФ. Максимальная энергия генерации, достигнутая для 400 нс импульсов (при $U_{\text{ФЛ}} = 6.7$ кВ), составляет $W_{\text{Г}} = 160$ мДж при $\eta_{\text{ФЛ}} = 0.9\%$. Обращает на себя внимание тот факт, что КПД генерации, независимо от электрической длины ФЛ, достигает максимального значения при напряжении на ФЛ $U_{\text{ФЛ}} = 5.1$ кВ.

На рис. 3 приведены осциллограммы импульса генерации и тока разряда, полученные для смеси 1 мм рт. ст. *НСI* : 10 мм рт. ст. *Хе* : 3 атм *Ne* при напряжении ФЛ ($= 5.3$ кВ) вблизи максимума КПД генерации. Энергия излучения в этом импульсе составила ~ 100 мДж. Колебательный характер начальной стадии тока накачки вызван прохождением через разрядный промежуток тока ИПР.

Сравнивая результаты данной статьи и нашей предыдущей работы [4], где была получена максимальная энергия генерации 25 мДж при $\eta_{\Sigma} = 0.3\%$ и $\tau_{1/2} = 250$ нс, можно прийти к следующим выводам. Улучшение параметров генерации достигнуто в значительной степени благодаря:

1. увеличению длины активной среды с ~ 35 см до ~ 50 см (т.е. за счет увеличения усиления на прсход);
2. Увеличению напряжения источника основного разряда (с ~ 3.6 кВ до $\sim 5-7$ кВ) за счет использования импульсной зарядки ФЛ.

Повышение усиления за проход позволило увеличить прозрачность выходного зеркала без потери КПД, что привело к росту энергозатем. Возможность работать при значениях $U_{\text{ФЛ}} > 3.6$ кВ позволяет повысить как энергозапас в линии, так и значение общего КПД лазера η_{Σ} (см. рис. 2). Комбинация этих факторов и приводит к значительному росту энергии генерации.

Удельный энергозатем и плотность энергии генерации разработанного лазера при длительности импульса 400 нс по полувысоте составляют 1 Дж/л и 53 мДж/см² соответственно. Полный КПД лазера при максимальной энергии генерации составляет 0.8%. Эти значения близки соответствующим характеристикам лучшего на сегодняшний день длинноимпульсного *ХеSI* лазера, описанного в работе [3].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] T a y l o r R.S., L e o p o l d K.E. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 47. N 2. P. 81-83.
- [2] C h a n g T.Y. // Rev. Sci. Instrum. 1973. V. 44. N 4. P. 404-407.
- [3] T a y l o r R.S., L e o p o l d K.E. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 1. P. 22-29.
- [4] Г р а с ю к А.З., Е ф и м о в с к и й С.В., Ж и г а л - к и н А.К., К а р е в Ю.И., К у р б а с о в С.В. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 1. С. 35-39.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
15 марта 1991 г.