

**Е.Ф. Балбоненко, В.А. Басов, В.А. Визирь,
И.Н. Коновалов, В.В. Червяков, Н.Г. Шубкин**

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ ХеСІ-ЛАЗЕР С ЭНЕРГИЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ В ИМПУЛЬСЕ 10 Дж

Описаны конструкция и энергетические характеристики электроразрядного импульсно-периодического ХеСІ-лазера с объемом активной области $4 \times 7 \times 100 \text{ см}^3$. Лазер состоит из цилиндрической газоразрядной камеры, включающей диаметральный вентилятор, теплообменник, источник мягкого рентгеновского излучения. Для накачки лазера применен тиратронно-магнитный генератор с энергией, запасаемой в емкостных накопителях, 500 Дж.

При возбуждении смеси Ne:Хе:НСІ = 1560:10:1, находящейся под давлением 4 атм, получены: энергия излучения в импульсе 10 Дж, длительность импульса излучения на полувысоте 50 нс, плотность мощности излучения 10 МВт/см^2 . Проведено предварительное исследование работы лазера при частоте срабатывания до 20 Гц.

Разработанный лазер может быть использован в комплексе аппаратуры для дистанционного зондирования атмосферы. Основными энергетическими блоками лазера являются газоразрядная камера и тиратронно-магнитный генератор импульсов накачки.

Цилиндрическая газоразрядная камера диаметром 60 см и длиной 150 см изготовлена из нержавеющей стали. На одном из боковых фланцев камеры консольно закреплены вакуумный диод источника мягкого рентгеновского излучения, трубчатый оребренный теплообменник и вентилятор диаметрального типа. Область горения объемного разряда с объемом $4 \times 7 \times 100 \text{ см}^3$ образована двумя профилированными электродами. Конструкция изолятора ввода и обратных токопроводов обеспечивает индуктивность разрядной камеры $\sim 20 \text{ нГн}$.

Рентгеновское излучение, генерируемое в вакуумном диоде, используется для предварительной ионизации рабочей смеси газов Ne – Хе – НСІ. Излучение выводится в разрядный промежуток лазера через окно в заземленном электроде, закрытое титановой фольгой толщиной 50 мкм либо перфорированной пластинкой. Вакуумный диод источника рентгеновского излучения – обращенного типа с холодным взрывоэмиссионным катодом. Катод выполнен из полосок танталовой фольги толщиной 25 мкм, закрепленных на опорной решетке. Мишенью на аноде служит танталовая фольга толщиной 100 мкм. Окно в диоде для вывода рентгеновского излучения закрыто разделительной фольгой из титана толщиной 50 мкм. Разрежение газа поддерживается форвакуумным насосом 2НВР-5ДМ на уровне $\sim 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$

Питание диода осуществляется через кабель КВИ-120 от конденсатора К15-10 емкостью 5 нФ, подключаемого к диоду управляемым искровым разрядником. Мы провели также серию экспериментов, в которых в качестве коммутатора использовался импульсный газоразрядный тиратрон ТГИ-1-2000/35, а питание диода осуществлялось через импульсный трансформатор. При амплитуде ускоряющего напряжения 65 кВ, времени нарастания напряжения $50 \div 70 \text{ нс}$ диод также устойчиво срабатывал при частотах включений до 200 Гц. При зарядном напряжении 60 кВ плотность тока в диоде составляет $\sim 2 \text{ А/см}^2$, длительность импульса тормозного излучения 300 нс. Энергия квантов излучения составляет $25 \div 30 \text{ кэВ}$. Проведенные измерения и расчеты показали, что в области горения объемного разряда экспозиционная доза импульса излучения достигает 1 рентгена. При этом в смеси газов Ne: Хе: НСІ, находящейся под давлением $4 \div 5 \text{ атм}$, создается начальная концентрация электронов до $\sim 10^9 \text{ см}^{-3}$, необходимая для зажигания устойчивого однородного разряда [1, 2, 3].

Прокачка смеси через разрядный промежуток лазера осуществляется с помощью диаметрального вентилятора диаметром 200 мм, длиной 1200 мм. Вращение вентилятора производится через магнитную муфту двигателем постоянного тока. Мощность привода – 2,3 кВт. При частоте вращения вентилятора 1500 об/мин скорость продувки рабочей смеси через разрядный промежуток лазера составляет 5 м/с.

Трубчатый оребренный теплообменник выполнен из алюминиевого сплава. Теплоноситель – вода.

Генерируемое лазером излучение выводится из разрядной камеры через окна диаметром 140 мм. Оптический резонатор образован диэлектрическим зеркалом с коэффициентом отражения 99% на длине волны ~ 308 нм и плоскопараллельной кварцевой пластиной.

Электрическая схема тиратронно-магнитного генератора, служащего для накачки лазера, приведена на рис. 1 [4]. Два тиратрона ТГИ-1-2500/50 через защитные дроссели L_1 и L_2 соединены с накопительными конденсаторами $C_{S1} + C_{S4}$, включенными по схеме удвоения напряжения. Дроссель сжатия L_3 соединяет выходы схем удвоения с конденсатором C_{h1} , питающим объемный разряд в разрядной камере VL_3 . В качестве накопителей энергии применены конденсаторы КМЧ-100 кВ – 0,1 мкФ. Сердечники защитных дросселей набраны из ферритовых колец 200 ВМП-К 125×80×10. Одновитковый дроссель сжатия коаксиальной конструкции содержит 8 магнитных сердечников 3-К 360×200×25 из сплава 50 НП-0,01 и обеспечивает сжатие импульса на конденсаторе C_{h1} в 4 раза. Разработанный нами конденсатор C_{h1} , имеющий емкость 140 нФ и собственную индуктивность ~ 5 нГн, подключен к разрядному промежутку лазера с помощью отрезка полосковой линии SL . Индуктивность цепи разряда конденсатора C_{h1} на разрядный промежуток лазера составляет 29 нГн. При включении тиратронов дроссели L_1 и L_2 насыщаются через ~ 70 нс и конденсаторы C_{S1} и C_{S4} перезаряжаются до напряжения обратного знака за время 700 нс. Под действием удвоенного напряжения на последовательно соединенных конденсаторах $C_{S1} - C_{S2}$ и $C_{S3} - C_{S4}$ дроссель сжатия L_3 к концу импульса тока через тиратроны насыщается и накопительные конденсаторы разряжаются на емкость C_{h1} за 180 нс. При зарядном напряжении 50 кВ амплитуда импульса напряжения на выходе генератора достигает 70 кВ.

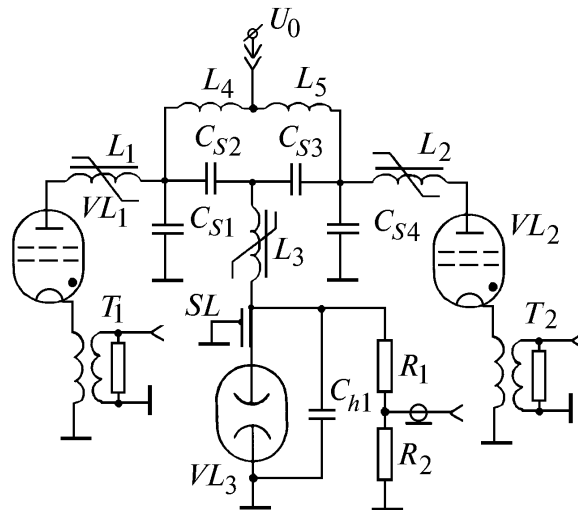


Рис. 1. Электрическая схема тиратронно-магнитного генератора

Осциллограммы импульсов напряжения на емкости, питающей объемный разряд, тока объемного разряда и генерируемого излучения приведены на рис. 2. С целью исключения микроканалирования объемного разряда около катода, возникающего за счет дрейфа электронов под действием приложенного электрического поля, пробой разрядного промежутка лазера осуществлялся до окончания импульса рентгеновского излучения [5]. Для смеси Ne:Xe:HCl = 1000:10:1 при давлении 4 атм расчетное значение приведенного электрического поля на плазме в квазистационарной стадии разряда составило $E/p \approx 0,7 \div 0,9$ кВ/см·атм. При разбавлении смеси неона до соотношения компонентов 1560:10:1 E/p на плазме уменьшалось до $0,5 \div 0,6$ кВ/см·атм. Плотность тока объемного разряда достигает $300 \div 350$ А/см², удельная мощность накачки лазера $0,7 \div 0,9$ МВт/см³, максимальная плотность энергии излучения $0,52$ Дж/см²; плотность мощности излучения 10 МВт/см²; суммарная энергия излучения в импульсе – 10 Дж.

При этом КПД лазера составляет: от энергии, запасаемой в емкостных накопителях генератора, – 2%; от энергии, запасаемой в емкости, питающей объемный разряд, – 3,3%.

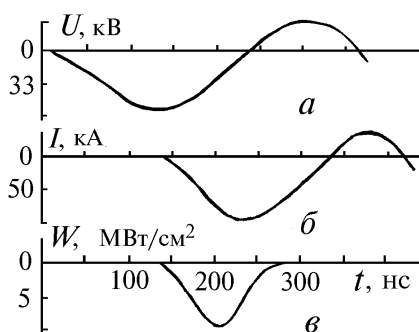


Рис. 2. Осциллограммы импульсов: *a* – напряжения U на емкости, питающей объемный разряд; *b* – тока I объемного разряда; *c* – генерируемого излучения W . Ne:Xe:HCl=1000:10:1, $p=4$ атм, $U_0=50$ кВ

При использовании плоскопараллельного резонатора расходимость лазерного пучка составила 3 мрад. Неустойчивый резонатор с коэффициентом увеличения $M=5$ обеспечил снижение расходимости излучения в ~ 10 раз. Расходимость излучения по уровню половины энергии составила $2 \cdot 10^{-4}$ рад, по уровню 0,75 энергии – $3,5 \cdot 10^{-4}$ рад. Выходная энергия при этом уменьшилась на $\sim 20\%$. Относительно высокая расходимость излучения обусловлена высоким коэффициентом усиления ($\geq 0,075$ см $^{-1}$), большой апертурой светового пучка и сравнимостью времени формирования диаграммы направленности с длительностью лазерного импульса.

При работе лазера с частотой до 20 Гц без системы очистки рабочей смеси газов энергия импульсов излучения в течение 10 мин уменьшалась примерно в 2 раза. Нагрев смеси до 32 С заметного влияния на генерационные характеристики лазера не оказывал.

1. Shields H., Alcock A.J., Taylor R.S. // Appl. Phys. 1983. V. B31. P. 27–35.
2. Балбоненко Е.Ф., Басов В.А., Коновалов И.Н. и др. // ПТЭ. 1994. N 4. С. 112–115.
3. Tallman C.R., Bigio I.J. // Appl Phys. Lett. 1983. V. 42. P. 149–151.
4. Балбоненко Е.Ф., Басов В.А., Визирь В.А. и др. // IX Симпозиум по сильноточной электронике. (Тезисы докл.). М., 1992. С. 230–231.
5. Levatter J.J., Lin Shao-Chi // J. Appl. Phys. 1980. V. 51. P. 210–222.

Институт сильноточной электроники СО РАН,
г. Томск

Поступила в редакцию
17 мая 1995 г.

E.F. Balbonenko, V.A. Basov, V.A. Vizir', I.N. Konovalov,
V.V. Cherviakov, N.G. Shubkin. **Discharge XeCl Laser with Laser Pulse Energy of 10 J.**

Design and pulse characteristics of discharge pulse transradiated XeCl laser with discharge volume of $4 \times 7 \times 100$ cm 3 is described in the paper. The laser cell consists of X-ray pulse generator, fan, and heat exchanger. Thyatron magnetic generator of 500 J energy is used to pump the laser.

The following values of parameters of the pulse were obtained when exciting mixture Ne:Xe:HCl = 1560:10:1 under 4 atm pressure: 10 J energy; 50 ns duration (FWHM) and 10 MW/cm 2 density. Tentative investigation of the laser operation at 20 pps frequency of the pulse repetition was performed.