

Н.Г. Иванов, С.Е. Коваленко, В.Ф. Лосев, Ю.Н. Панченко

ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА НА МОЛЕКУЛАХ ХеСІ С ВЫСОКОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ

Приводятся результаты экспериментального исследования лазерной системы на молекулах ХеСІ, состоящей из задающего генератора и лазера с неустойчивым супергауссовым резонатором, работающего в режиме инжекционной синхронизации. Получено лазерное излучение с длительностью импульса 100 нс, энергией 80 мДж, спектральной шириной линии $0,01 \text{ см}^{-1}$ и расходимостью, близкой к дифракционному пределу.

Лазеры на галогенидах благородных газов являются наиболее мощными и эффективными источниками излучения УФ-диапазона спектра. Однако низкое качество лазерного пучка (расходимость $\sim 10^{-3} \div 10^{-2}$ рад, ширина спектра $\sim 1 \div 10 \text{ см}^{-1}$) существенно ограничивает их область применения. Для решения задач нелинейной оптики, лазерной спектроскопии, голографической записи информации, зондирования атмосферы и т.д. требуются лазеры с высокой спектральной яркостью излучения (имеющие одновременно узкую спектральную линию и расходимость, близкую к дифракционному пределу). Сужение спектра генерации и уменьшение расходимости излучения обычно достигаются за счет размещения в резонаторе лазера спектральных и пространственных селекторов. Однако это приводит к значительному снижению выходной энергии генерации, которая, как правило, составляет 10–100 мкДж [1–4].

Дальнейшее увеличение энергии излучения осуществляется во втором лазере, который работает в режимах усиления [1, 4, 7] либо инжекционной синхронизации (ИС) [5, 6]. При этом второй режим позволяет повышать энергию излучения задающего генератора в $10^3 - 10^5$ раз и управлять качеством излучения лазера с длительностью импульса, превышающей длительность первоначального пучка.

В настоящей статье сообщается о создании ХеСІ лазерной системы с высокой спектральной яркостью излучения, построенной по схеме задающий генератор (ЗГ) – управляемый лазер (УЛ), и исследуются ее выходные характеристики. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

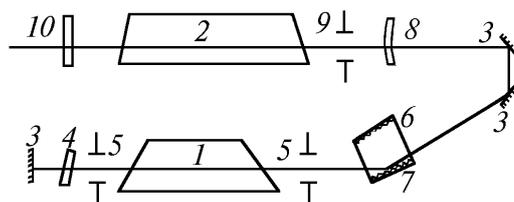


Рис. 1. Оптическая схема эксперимента: 1, 2 – активные объемы первого и второго лазеров; 3 – зеркала полного отражения; 4 – твердотельный эталон с базой 10 мм; 5 – диафрагма диаметром 1,4 мм; 6, 7 – дифракционные решетки; 8 – полупрозрачный мениск; 9 – диафрагма диаметром 10 мм; 10 – супергауссово зеркало

Лазерная система состоит из двух электроразрядных ХеСІ лазеров. Первый лазер выполняет функцию задающего генератора, второй работает в режиме инжекционной синхронизации. Накачка первого лазера осуществлялась от накопительной емкости 100 нФ, заряженной до напряжения 30 кВ, которая через шесть разрядников включалась на лазерный промежуток, параллельно которому была включена емкость 6 нФ. Размер активного объема составлял $0,7 \times 2 \times 60 \text{ см}^3$. Предыонизация осуществлялась разрядом по поверхности диэлектрика, выпол-

няющего функцию одного электрода. На смеси Ne:He:HCl = 800:10:1 при давлении 4 атм с плоскопараллельным резонатором лазер обеспечивал импульс генерации длительностью 100 нс с энергией 0,3 Дж.

Окна лазерной камеры ЗГ располагались под углом Брюстера. Для селекции поперечных мод использовались две диафрагмы диаметром 1,4 мм. Сужение спектральной линии обеспечивалось двумя дифракционными решетками с 2400 штр/мм и твердотельным эталоном с базой 10 мм (резкость 12). Одна из решеток работала в режиме скользящего падения (первый порядок дифракции), вторая – в автоколлимационном режиме. Вывод излучения из резонатора осуществлялся через нулевой порядок дифракции первой решетки.

Задающий генератор обеспечивал пучок с расходимостью, близкой к дифракционной, спектральной шириной линии $0,01 \text{ см}^{-1}$, длительностью импульса 50 нс и энергией 1 мДж [8].

Второй лазер имел два активных объема $1,5 \times 3,5 \times 32 \text{ см}^3$, расположенных в одной камере на оптической оси [9]. Один объем мог включаться с запаздыванием относительно второго, что позволяло увеличивать длительность импульса генерации. В качестве предьонизации, как и в первом лазере, использовался разряд по поверхности диэлектрика. Окна лазерной камеры были наклонены на 3° к оптической оси. С плоскопараллельным резонатором на смеси Ne:He:HCl=1500:5:1 при давлении 4 атм лазерная энергия составляла 120 мДж. При времени запаздывания 40 нс длительность импульса излучения на полувысоте амплитуды была 110 нс.

Неустойчивый резонатор второго лазера с увеличением $M=7$ был образован выпуклой гранью мениска (коэффициент отражения 80%) с радиусом кривизны 134 см и супергауссовым зеркалом, напыленным на плоскую кварцевую пластину. Размер зеркальной поверхности d равнялся 3,8 мм, максимальный коэффициент отражения в центре зеркала R 37%, порядок супергауссианы $n = 4,3$. Для уменьшения шумовой (фоновой) компоненты пучка у выпуклого зеркала устанавливалась диафрагма диаметром 10 мм. С таким резонатором лазер излучал импульс длительностью до 100 нс на полувысоте амплитуды с энергией 80 мДж.

Излучение ЗГ инжектировалось в резонатор второго лазера через полупрозрачный мениск. Точность синхронизации двух лазеров была не менее ± 5 нс.

Регистрация формы импульса излучения осуществлялась с помощью фотодиода ФЭК 22-СПУ и осциллографа 6 ЛОР. Энергия излучения определялась с помощью измерителя мощности и энергии ИМО-2Н. Спектральные измерения производились интерферометром ИТ 28-30 (база 70 мм) и самодельным спектрографом с пределом разрешения $0,1 \text{ см}^{-1}$. Расходимость излучения определялась путем измерения энергии, прошедшей через калиброванные диафрагмы, которые устанавливались в фокальной области линзы с $F = 15 \text{ м}$.

Для получения эффективного режима управления излучением второго лазера необходимо выполнить два основных условия.

Первое – это заполнить полость резонатора эталонным излучением с момента начала возбуждения активной среды до момента начала генерации. Второе – обеспечить интенсивность эталонного излучения, превышающую на этом интервале времени интенсивность усиленных спонтанных шумов. Эти условия обеспечивались в эксперименте посредством изменения времени запаздывания включения второго лазера относительно первого и подбором величины инжектируемого сигнала.

Контроль за реализацией режима ИС осуществлялся путем регистрации спектра выходного излучения.

На рис. 2 приведены денситограммы спектра излучения в режимах свободной генерации и ИС. В первом случае спектр состоял из двух линий, соответствующих переходам 0–1 и 0–2 молекулы XeCl. Их интенсивности были примерно одинаковы, а ширина на полувысоте составляла $\sim 0,25 \text{ \AA}$. При инжекции на переходах 0–1 либо 0–2 основная энергия управляемого лазера излучалась на одной линии и наблюдалась шумовая компонента излучения на второй линии. Так как ширина инжектируемой линии в этом случае определялась разрешением спектрографа, то из рис. 2 невозможно определить отношение ее интенсивности к шумовой компоненте.

Анализ набора спектрограмм с различным ослаблением показал, что при настройке излучения ЗГ на максимум усиления переходов 0–1 либо 0–2 отношение интенсивностей на шумовой и инжектируемой линиях составляло 1/40. Поскольку ЗГ позволял осуществлять плавную перестройку спектра по всему контуру усиления, его излучение было настроено на минимум

усиления между линиями. При этом отношение интенсивностей на шумовой компоненте и инжектируемой линии было $1/4$.

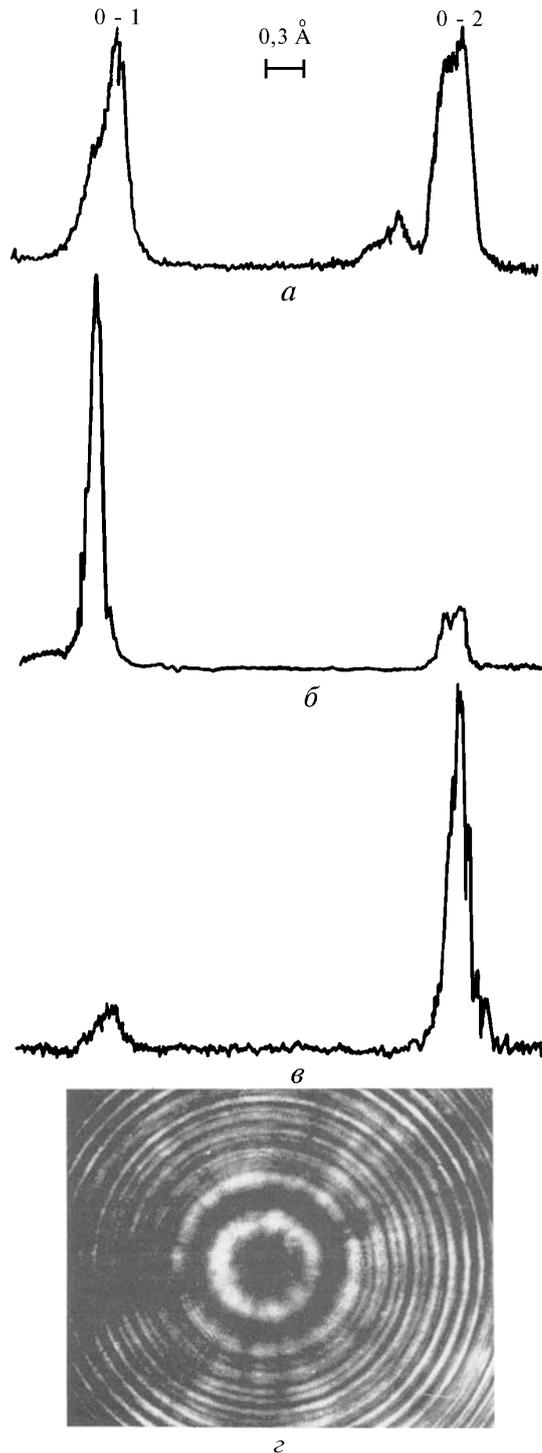


Рис. 2. Денситограмма спектра излучения в режиме свободной генерации (а), инжекционной синхронизации на переходе 0-1 (б) и 0-2 (в) и интерферограмма спектра излучения управляемого лазера (г)

Ширина спектральной линии выходного излучения в режиме ИС определялась с помощью интерферометра. На рис. 2, г приведена интерферограмма излучения. Из нее следует, что полуширина линии генерации составляет $0,01 \text{ см}^{-1}$, т.е. такая же, как у ЗГ.

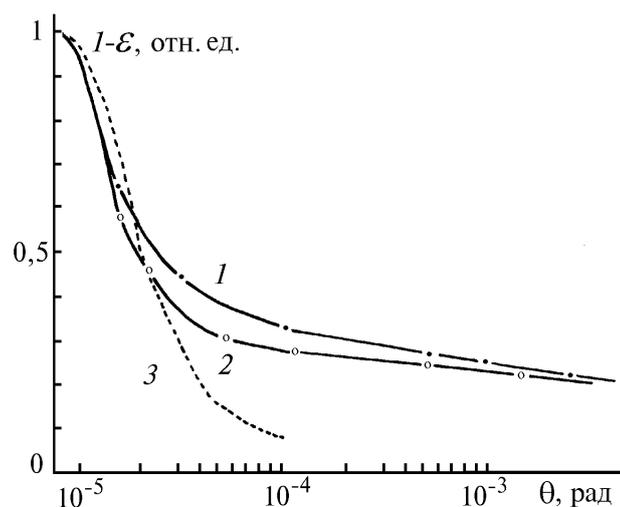


Рис. 3

На рис. 3 приведена энергетическая диаграмма направленности выходного излучения в режимах свободной генерации (кривая 1) и ИС (2). Для сравнения здесь же показана теоретическая кривая для пучка диаметром 15 мм. Видно, что при инжекции уменьшается доля энергии в крыльях диаграммы направленности, которые содержат значительную энергию по сравнению с расчетным значением. Доля энергии излучения в дифракционном угле для режима ИС превышала 50%.

Форма импульса излучения управляемого лазера приведена на рис. 4. Первый максимум на импульсе излучения обусловлен накачкой от обострительной емкости, второй – от накопительной.

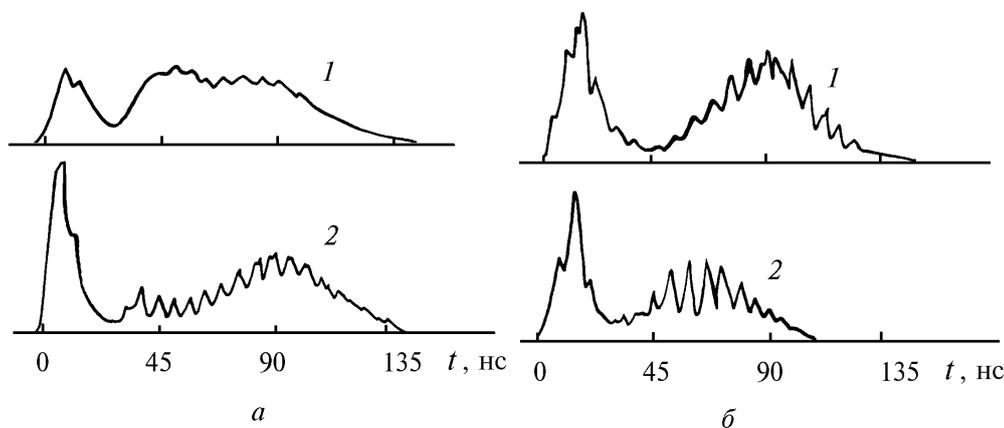


Рис. 4. Осциллограммы импульсов излучения в режимах свободной генерации (1) и инжекционной синхронизации (2): а – смесь Ne:Xe:HCl = 1000:10:1; $P = 4$ атм; б – Ne:Xe:HCl = 2500:10:1, $P = 3,5$ атм

Из рисунка видно, что на импульсе излучения присутствует модуляция, глубина которой зависит от экспериментальных условий. При инжекции внешнего сигнала (кривая 2) либо при снижении коэффициента усиления активной среды (рис. 4, б) глубина модуляции возрастает. Период наблюдаемой модуляции совпадает с временем обхода резонатора, которое составляло 6 нс. Следовательно, можно полагать, что сама модуляция связана с формированием поперечных мод резонатора [10, 11], а ее глубина определяется соотношением между скоростью нарастания фотонной лавины и скоростью накачки активной среды. В случае инжекции дифракционного пучка время формирования мод резонатора уменьшается, что приводит к увеличению глубины модуляции.

Таким образом, создана лазерная система на молекулах XeCl ($\lambda = 308$ нм) со спектральной яркостью излучения $2 \cdot 10^{16}$ Вт/см²·ср·А° и продемонстрирована возможность эффективного управления выходными характеристиками излучения лазера с супергауссовым неустойчивым резонатором в режиме ИС. Данная система может использоваться для различных приложений, требующих качественного излучения в ультрафиолетовой области спектра.

1. Sugii M., Okabe M., Watanabe A., and Sasaki K. // IEEE J.Quant.Electr. 1988. V. 24. N 11. P. 2264–2269.
2. Michael C. Cates. // SPIE. Excimer Laser and Applications. 1988. V. 24. N 11. P. 2264–2269.
3. Кудинов И. А., Платоненко В. Т., Слободчиков Е. В. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. N 5. С. 543–547.
4. Джиджоев М. С., Долгий С. В., Кудинов И. А. и др. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. N 6. С. 697–703.
5. Goldhar J., Rapoport W. R., and Murray J. R. // IEEE.J.Quantum.Electron. 1980. V. 16. N 2. P. 235–241.
6. Bigio I. J. and Slatkine M., IEEE.J.Quantum.Electron. 1983. V. 19. N 9. P. 1426–1436.
7. Белаш В. И., Картазаев В. А., Наумович В. А. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. N 6. С. 1135–1138.
8. Лосев В. Ф., Панченко Ю. Н. // Квантовая электроника. 1994. Т. 24. N 1. С. 55–56.
9. Kovalenko S. E., Losev V. F., and Perrone M. R. // Applied Optics. 1994. V. 33. N 18. P. 4082–4086.
10. Simonis G. J. // Appl.Phys.Lett. 1976. V. 19. N 1. P. 42–44.
11. Борисов В. П., Великанов С. Д., Квачев Д. Д. и др. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. N 6. С. 1208–1214.

Институт сильноточной электроники СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
18 мая 1995 г.

N. G. Ivanov, S. E. Kovalenko, V. F. Losev, Yu. N. Panchenko. XeCl laser System with High Spectral Emission Brightness.

The XeCl laser system with high spectral brightness is demonstrated and its parameters are investigated. The system consists of two electric discharge XeCl lasers. One of them is master oscillator; the second is an injection-locked unstable superGaussian resonator generator. The 80 mJ, 100 ns of the laser pulse with spectral linewidth of $0,01 \text{ cm}^{-1}$ and a divergence close to the diffraction limit were obtained.