«Квантовая электроника», 14, № 5 (1987) УДК 621.373.826.038.823

Ю. И. Бычков, М. Л. Винник, С. Е. Коваленко, В. Ф. Лосев

УПРАВЛЕНИЕ XeCl-ЛАЗЕРОМ С ПОМОЩЬЮ ВНЕШНЕГО СИГНАЛА ИНТЕНСИВНОСТЬЮ МЕНЕЕ 2 Вт/см²

Сообщается о результатах исследования условий управляемости узкополосного XeCl-лазера с инжекционной синхронизацией (ИС) при длительности импульса генерации лазера 60 нс и длительности задающего сигнала 15 нс. Вводится определение эффективности ИС XeCl-лазера. Показано, что эффективность ИС достигает 95 % при интенсивности задающего сигнала ∽2 Вт/см², а при интенсивности 7 мВт/см² падает до нуля. Мощность лазера превышала 100 кВт, расходимость была не хуже 0,15 мрад при спектральной ширине линии 5 пм.

В режиме свободной генерации выходное излучение эксимерных лазеров имеет спектральную ширину линии несколько ангстрем [1]. Угловая расходимость лазеров обычно намного превышает дифракционный предел [2]. В лазерах со слабосвязанным нижним уровнем, например на молекуле XeCl, наблюдаются несколько линий генерации одновременно.

Большие ширина линии и расходимость затрудняют либо ограничивают использование лазеров на галогенидах инертных газов для таких применений, как генерация гармоник, фотолитография, воздействие на вещество, нелинейная оптика и др. Существенное улучшение качества излучения мощных УФ лазеров возможно за счет инжекционной синхронизации (ИС) [3—5]. В [5] сообщалось о получении генерации XeCl-лазера со спектральной шириной линии 0,04 пм в импульсно-периодическом режиме со средней мощностью ∼5 Вт. В [3] получена энергия генерации XeCl-лазера 1,3 Дж при ширине линии 0,1 $см^{-1}$ и расходимости луча 0,2 мрад.

Полость резонатора управляемого лазера (УЛ) перед его включением заполняется опорным излучением высокого качества от задающего генератора (ЗГ). Уровень мощности излучения ЗГ должен превышать уровень спонтанного фона с единицы объема активной среды лазера в соответствующем телесном угле. Количественное определение условий синхронизации при уровне мощности управляющего сигнала, сравнимом с мощностью спонтанного фона управляемого лазера, несомненно, представляет интерес при создании эксимерных лазеров с высоким качеством излучения.

В настоящей работе впервые исследованы условия управляемости узкополосного XeCl-лазера с ИС при интенсивности управляющего сигнала $7 \cdot 10^{-3}$ — 2 Вт/см², что близко к интенсивности спонтанных шумов активной среды XeCl-лазера [4], и введен параметр эффективности ИС такого лазера.

В качестве ЗГ и УЛ использовались электроразрядные лазеры с плазменным электродом [6]. Резонатор ЗГ длиной $L_{зг}=1{,}2$ м был образован плоскопараллельным зеркалом с $R=0{,}3$ и двумя дифракционными решетками 1200 штрих/мм. Внутри резонатора устанавливалась диафрагма с круглым отверстием диаметром 1,5 мм. Резонатор УЛ был образован сферическим зеркалом с алюминиевым напылением и выпуклой поверхностью стеклянной линзы, расположенными на расстоянии $L_{ул}=1{,}8$ м друг от друга. Увеличение телескопического резонатора было равно четырем. В резонатор помещались 2 диафрагмы с отверстиями ∅ 12 мм. Излучение от ЗГ инжектировалось в полость резонатора УЛ через полупрозрачное зеркало с $R=0{,}5$, расположенное у выпуклого зеркала. Энергия генерации измерялась с помощью измерителя мощности и энергии ИМО-2М. Форма импульсов и мощность регистрировались с помощью фотоэлементов ФЭК-22, ФК-20 и осциллографов С8-14 и 6ЛОР. Спектральные характеристики измерялись с помощью спектрографа СТЭ-1 и интерферометра ИТ-28-30, расходимость — по распределению излучения в дальней зоне.

Задающий генератор работал на смеси He:Xe:HCl=500:5:1 при давлении 3 атм и имел активный объем 1,5×0,5×35 см. Длительность импульса излучения составляла 15 нс, расходимость 0,3 мрад. Генератор можно было настраивать на любой из переходов 0—0, 0—1, 0—2 и 0—3 полосы $B—X$ со спектральной шириной линии $\Delta\lambda=5$ пм, что соответствует длине когерентности 2 см. На рис. 1 показана зависимость мощности генерации на этих переходах от давления смеси. Поведение генерации на переходе 0—3 практически совпадает с поведением на переходе 0—0. В экспериментах по ин-

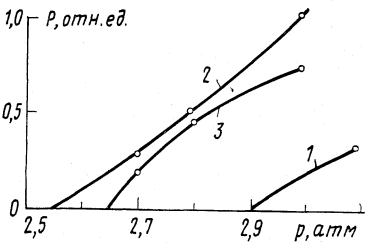

Рис. 1. Зависимость мощности излучения ЗГ от давления рабочей смеси на переходах молекулы XeCl 0—0 (*1*); 0—1 (*2*); 0—2 (*3*)

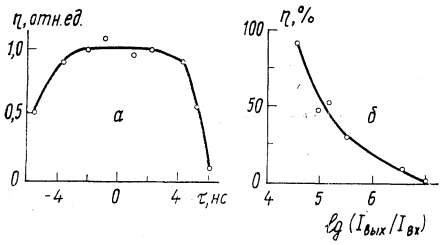

Рис. 2. Зависимость эффективности ИС от задержки τ между моментом заполнения резонатора УЛ излучением ЗГ (отсчет ведется от начала импульса излучения ЗГ) и моментом достижения порога генерации в активной среде УЛ (*а*) и амплитуды опорного сигнала $I_{вх}$ (*б*)

жекции генератор был настроен на центр перехода 0—1 (λ=307,96 нм). Управляемый лазер работал на смеси Ne:Xe:HCl= =750:5:1 при давлении 3 атм и имел активную область 3×1,5×70 см. В режиме свободной генерации он излучал импульс длительностью 60 нс на полувысоте с энергией 7 мДж. В спектре генерации присутствовали две линии, соответствующие переходам 0—1 и 0—2. Точность синхронизации ЗГ и УЛ была не хуже 2 нс.

В экспериментах исследовалась эффективность ИС в зависимости от мощности задающего сигнала и времени заполнения опорным излучением резонатора УЛ, определяемого как $2L_{УЛ}/c$, где c — скорость света (рис. 2). Эффективность ИС определялась из соотношения

$$\eta = \left(1 - W_1^{0-1} W_2^{0-2} / W_1^{0-2} W_2^{0-1}\right),$$

где W_i^{α} — энергия излучения на переходе α, в режимах свободной генерации (i= =1) и управления внешним сигналом (i= =2).

Длительность импульса ЗГ была сравнима с временем заполнения резонатора УЛ (12 нс), что позволяло определять поведение эффективности синхронизации при частичном «назаполнении» резонатора в конце либо начале импульса ЗГ (рис. 2,*а*). Видно, что при появлении «незаполненной» опорным излучением части резонатора УЛ эффективность синхронизации резко уменьшается. При уровне интенсивности опорного сигнала 2 Вт/см^2 эффективность синхронизации достигала 95 % (*б*). Уменьшение интенсивности ЗГ ниже 2 Вт/см^2 приводило к уменьшению эффективности синхронизации, и при уровне 7 мВт/см^2 управляемость лазера полностью исчезала. Во всех случаях уровень выходной мощности УЛ был одинаков и равнялся 110 кВт. Расходимость излучения УЛ была не хуже 0,15 мрад. Дальнейшее уменьшение ширины линии излучения и повышение уровня энергии генерации авторы связывают с повышением качества оптических элементов.

1. R. G. Caro, M. C. Gower, C. E. Webb. *J. Phys. D*, **15**, 767 (1982).
2. Y. J. McKee, J. Banic, A. Jares, B. P. Stoicheff. *IEEE J.* **QE-15**, 332 (1979).
3. J. C. Xusan, L. Qihong, W. Renwen. *Acta Opt. Sin.*, **5**, 865 (1985).
4. P. B. Corcum, R. S. Taylor. *IEEE J.* **QE-18**, 1962 (1982).
5. O. L. Borne, A. J. Alcock. *Appl. Phys. Letts*, **49**, 777 (1983).
6. В. М. Борисов, Р. И. Высикайло, О. Б. Христофоров. *ТВТ*, **21**, 844 (1983).

Институт сильноточной электроники СО АН СССР, Томск

Поступило в редакцию 15 сентября 1986 г.

Yu. I. Bychkov, M. L. Vinnik, S. E. Kovalenko, V. F. Losev.

XeCl Laser Control by Means of an External Signal With the Intensity Less Than 2 W/cm^2.

Results are reported of studies of conditions for controllability of a narrowband injection-locked (IL) XeCl laser, the lasing pulse duration being 60 ns and the driving signal duration being 15 ns. A definition is introduced of the efficiency of the XeCl laser injection locking. The IL efficiency is shown to amount to 95 %, the driving signal intensity being 2 W/cm^2. At the intensity of 7 mW/cm^2 the laser controllability falls to zero. The laser power exceeded 100 kW, the beam divergence was not worse than 0.15 mrad, the spectral linewidth was 5 pm.