

Вначале основной ТЭ выводился в стационарный режим. Время выхода в стационарный режим при $l=102$ мм составляло 260—290 мин (около 5 ч). На рис. 2 изображена синхронная зависимость ΔT_{\max} при ступенчатом изменении тока. Как видно, целесообразным оказалось проведение всего четырех импульсов тока, поскольку четвертый (последний) импульс давал

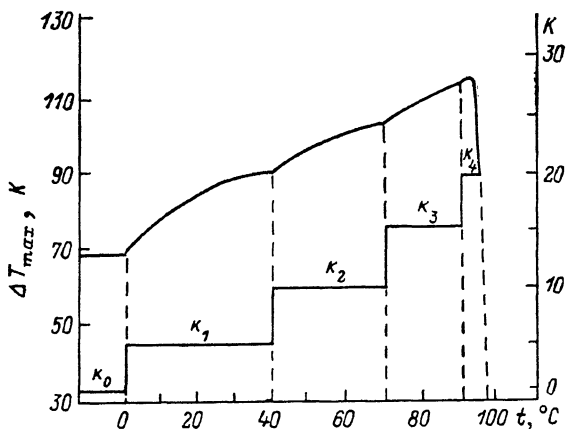


Рис. 2. Зависимость общего перепада температур ΔT_{\max} от времени в режиме многоступенчатого изменения тока $K=J/J_{\text{опт}}$, t — текущее время.

приращение ΔT всего в 2 °С. Общая разность температур, добавленная в результате наложения на оптимальный ток четырех импульсов, составила 45 К.

Суммарная разность температур четырехступенчатого охлаждения в комбинированном режиме $\Delta T_{\max} = 114$ °С. Указанный результат, по-видимому, можно считать на сегодняшний день предельным для однокаскадного термоэлемента с современным уровнем термоэлектрической эффективности Z .

Литература

- [1] Field R. L., Blum H. A. Energy Conv., 1979, v. 19, N 3, p. 159—165.
- [2] Сильбанс Л. С., Федорович Н. А. ЖТФ, 1958, т. 28, № 3, с. 489—492.
- [3] Бабин В. П., Иорданишвили Е. К., Кодиров А. А. Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1985, т. 51, № 1, с. 106—112.
- [4] Бабин В. П., Иорданишвили Е. К., Грязнов О. С. и др. В кн.: Физика полупроводниковых первичных преобразователей, их применение для теплофизических измерений. Ташкент, 1984, с. 94—103.
- [5] Грязнов О. С., Иорданишвили Е. К., Кодиров А. А. ИФЖ, 1984, т. 47, № 6, с. 1018—1019.
- [6] Бабин В. П., Иорданишвили Е. К., Кайданов А. И. и др. Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1985, т. 52, № 2, с. 60—68.
- [7] Бабин В. П., Иорданишвили Е. К. ЖТФ, 1972, т. 12, № 1, с. 227—228.
- [8] Иорданишвили Е. К., Малкович Б. Е.-Ш., Хазанович И. И. ИФЖ, 1971, т. 21, № 4, с. 632—638.
- [9] Иорданишвили Е. К., Малкович Б. Е.-Ш., Вейц Н. Н. ИФЖ, 1972, т. 22, № 2, с. 220—226.
- [10] Иорданишвили Е. К., Малкович Б. Е.-Ш. ИФЖ, 1972, т. 23, № 3, с. 498—505.

Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока
Отделение в г. Ленинграде

Поступило в Редакцию
22 мая 1987 г.
В окончательной редакции
28 марта 1988 г.

ВКР ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ХеСІ ЛАЗЕРА В ПАРАХ СВИНЦА

И. М. Исаков, В. И. Немержуцкий

Лазеры на моногалогенидах инертных газов являются в настоящее время самыми мощными и эффективными источниками когерентного излучения в ультрафиолетовом диапазоне. Вместе с тем область их приложений может быть значительно расширена, если использовать

возможности вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) для преобразования их излучения в другие спектральные диапазоны, в частности в видимую область спектра. Для этих целей в качестве активных нелинейных сред используются молекулярные (H_2 , D_2 , CH_4 и т. д.) и атомарные (Pb, Bi, Tl и т. д.) газы. Преимущества последних заключаются в том, что:

- 1) большие частотные сдвиги, соответствующие электронным переходам, позволяют получать излучение требуемой длины волны уже в первой стоксовой компоненте рассеянного излучения;
- 2) квазирезонансный характер ВКР позволяет получать значительные коэффициенты усиления для давлений паров металлов порядка 0.1—10 Тор; при этом другие конкурирующие нелинейные процессы проявляются слабо или не проявляются вообще. ВКР преобразования излучения эксимерного лазера в парах металлов было впервые осуществлено в [1].

Вскоре [2] те же авторы продемонстрировали высокую эффективность (~40 %) ВКР преобразования энергии излучения ХеСl лазера ($\lambda=308$ нм) в видимую область спектра ($\lambda=459$ нм) в парах свинца. И наконец, в [3] было получено излучение с энергией 0.73 Дж в синей области. Коэффициент преобразования по энергии составил в этой работе 50 %.

Целью настоящей работы было исследование возможностей ВКР при температурах паров Рb до 1400 °С, что соответствует давлениям, в 3—4 раза превышающим используемые в [2, 3], а также при накачке УФ излучением с менее жесткими требованиями на его качество (улучшение расходимости и повышение спектральной яркости зачастую сопряжено со значительными потерями в выходной энергии и КПД лазера [1]).

Для возбуждения процесса ВКР использовалось излучение ХеСl лазера с возбуждением электронным пучком. Длительность импульса тока составляла 50 нс, плотность тока 80 А/см², энергия электронов 250 кэВ. Объем активной среды 20×4×4 см, рабочая смесь Ar : Хе : ССl₄ = 3000 : 20 : 0.7 (Тор). При применении неустойчивого резонатора с увеличением $M=3$ за полный проход энергия УФ излучения составляла 0.42 Дж. Длительность импульса излучения на полувысоте 35 нс. Форма импульса генерации представлена на рис. 1, б. Измерения расходимости излучения, проведенные по распределению интенсивности в фокальной плоскости сходящегося лазерного пучка, полученного подстройкой расстояния между зеркалами неустойчивого резонатора, показали, что 80 % энергии излучения содержится в угле 0.4 мрад. Излучение лазера фокусировалось в высокотемпературную кювету линзой с фокусным расстоянием 175 см. Величина интенсивности в фокусе линзы составляла 2 ГВт/см². Спектр излучения ХеСl лазера (рис. 1, а) регистрировался спектрографом СТЭ-1. Три хорошо разрешенные линии относятся к (0—1), (0—2), (0—3) колебательным переходам полосы (В—Х) молекулы ХеСl с длинами волн 308.0, 308.2 и 308.5 нм соответственно. Ширина каждой линии на полувысоте 0.45 А. Интенсивности линий относятся как 7 : 9 : 2 соответственно. Высокотемпературная кювета представляла собой трубку из ВеО внутренним диаметром 25 мм, которая нагревалась вольфрамовым нагревателем до температуры 1400 °С. Длина участка однородного нагрева трубки 25 см. Измерение распределения температур проводилось вольфрам-рениевой термопарой. По показаниям термопары калибровался оптический пирометр ЭОП-66, который использовался для контроля температуры в ходе экспериментов. Для предотвращения быстрого ухода паров металла из горячей зоны по внутренней стенке нагреваемой трубки была выложена группа капилляров, выполненная из вольфрамовой проволоки диаметром 0.1 мм. Это позволило работать с кюветой в течении нескольких дней без дозаправки ее металлом. В качестве буферного газа в кювете использовался аргон под давлением, примерно равным давлению паров Рb при максимальной рабочей температуре.

Генерация излучения в синей области становилась заметной при температуре 1000 °С. Спектр излучения при этом состоял из одной узкой линии $\lambda=458.8$ нм (рис. 1, б). По мере повышения температуры и плотности паров происходило уширение спектра ВКР генерации и появлялись линии $\lambda=458.4$ (рис. 1, в) и 459.2 нм (рис. 1, з). На рис. 1, е—з представлены осциллограммы импульсов ВКР излучения при последовательном увеличении температуры в кювете вплоть до 1370 °С, когда наблюдавшийся КПД преобразования по числу фотонов достиг 80 %, а выходная энергия стоксова излучения — 155 мДж. Дальнейший рост температуры не приводил к росту КПД, что связано скорее всего с плохой расходимостью излучения ХеСl лазера на начальной стадии формирования импульса в неустойчивом резонаторе [4]. Это подтверждается при рассмотрении осциллограмм УФ излучения, прошедшего через высокотемпературную кювету, но не подвергнувшегося ВКР (рис. 1, е—з).

На рис. 2, а представлена зависимость выходной энергии преобразованного излучения от температуры кюветы. Насыщение процессов ВКР по энергии УФ излучения накачки (0.3 Дж) очевидно при температурах, больших 1370 °С. На рис. 2, б изображена зависимость тех же величин от концентрации атомов свинца в горячей зоне кюветы. Оценки показывают,

что суммарное число фотонов ВКР излучения оказывается примерно равным числу атомов в области, перекрываемой излучением накачки. При температурах более 1370 °С преобразование УФ излучения становится практически полным. Характер механизма насыщения процесса ВКР становится более очевидным, если обратиться к рис. 2, *в*. На нем представлены зависимости выходной энергии ВКР излучения от энергии УФ излучения накачки, которая

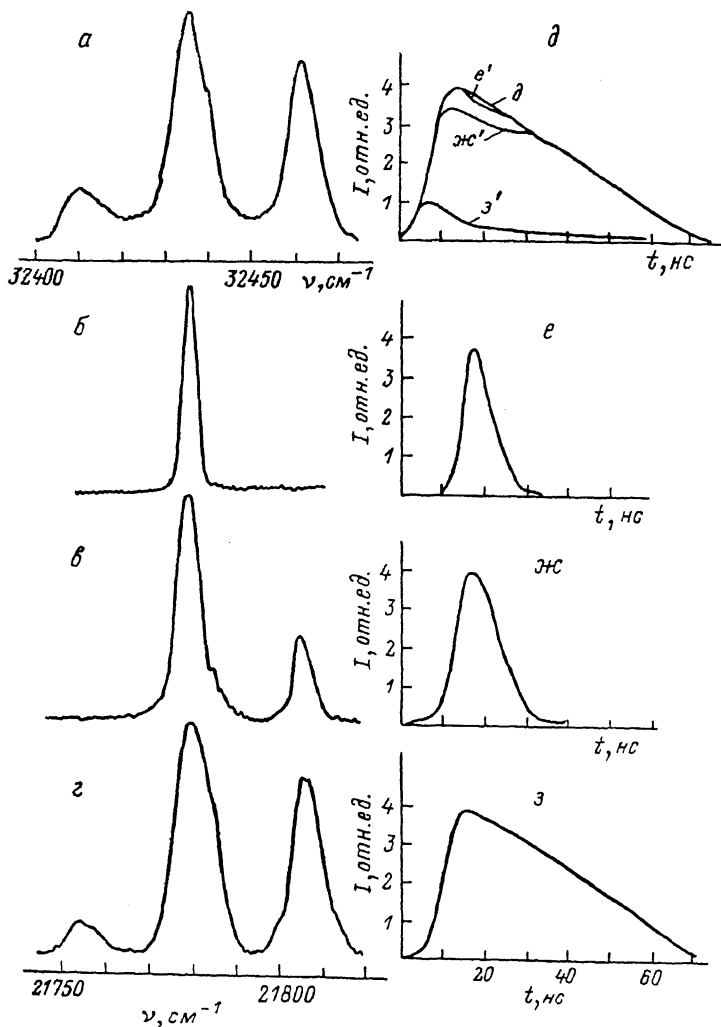


Рис. 1. Спектры УФ генерации ХеСl лазера (*а*) и ВКР излучения вблизи порога ($t \sim 1000$ °С) (*б*), при превышении порога в 2 раза (*в*), при максимальном КПД преобразования (*г*). Осциллограммы импульса УФ излучения (*д*) и излучения ВКР при последовательном увеличении температуры кюветы вплоть до максимальной (*е—з*).

е', *ж'*, *з'* — соответствующие осциллограммы импульсов УФ излучения, прошедшего через кювету с парами Рb. При переходе от *а* к *з* вертикальные масштабы различны для *б—г* и *е—з*.

изменялась путем постановки различных ослабляющих фильтров перед кюветой. Измерения проводились для двух разных температур кюветы: 1270 (*1*) и 1370 °С (*2*). Из рис. 2, *е* (кривая *1*) можно заключить, что максимальный КПД преобразования достигается не при максимальной энергии накачки. Это значит, что при энергиях УФ излучения, больших 0.1 Дж, наступает насыщение ВКР, связанное с недостатком атомов в зоне прохождения процесса. Подобный эффект не наблюдается при температуре 1370 °С (кривая *2* на рис. 2, *б*), для которой указанное количество атомов оказывается примерно равным количеству фотонов УФ излучения накачки. Таким образом, при низких интенсивностях излучения накачки и высоких концентрациях атомов свинца определяющим является насыщение ВКР, связанное с недостатком числа фотонов в импульсе УФ излучения, а при больших интенсивностях и низких концентрациях Рb — насыщение, обусловленное обеднением активной среды.

В заключение отметим, что генерация стокового излучения наблюдалась только в направлении распространения излучения накачки. Это согласуется с принятыми представлениями об асимметрии коэффициента усиления ВКР для попутного и встречного направлений при широкополосной накачке [6]. В спектре ВКР не обнаружено никаких, кроме указанных, компонент в диапазоне 220—900 нм.

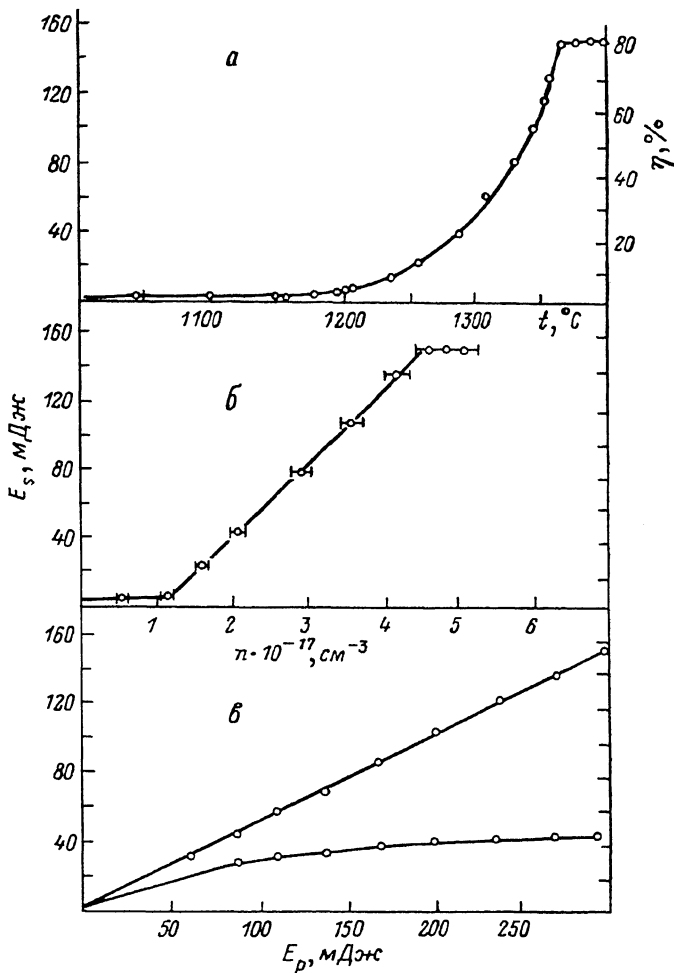


Рис. 2.

Таким образом, полученные результаты указывают на возможность создания импульсных и импульсно-периодических источников когерентного излучения в видимом диапазоне с высоким КПД ($\sim 1\%$). Использование рабочих температур 1400°C , а также более длинных кювет позволит получать в импульсе энергию в несколько джоулей.

Литература

- [1] Djue N., Burnham R. Appl. Phys. Lett., 1977, v. 30, N 9, p. 473—475.
- [2] Burnham R., Djue N. Opt. Lett., 1978, v. 3, N 6, p. 215—217.
- [3] Brosnan S. T., Komine H., Stapperts E. A. et al. Opt. Lett., 1982, v. 7, N 4, p. 154—156.
- [4] Аланьев Ю. А., Аникитчев С. Г. ЖТФ, 1983, т. 53, № 10, с. 1959—1965.
- [5] Murray F. R., Stoldhar F., Eimerl D., Sgoke A. IEEE T. Quant. Electron., 1979, v. QE-15, N 5, p. 342—368.

Московский
физико-технический институт
Долгопрудный Московской обл.

Поступило в Редакцию
24 мая 1987 г.