

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.373:535

В.А. Герасимов, А.В. Павлинский

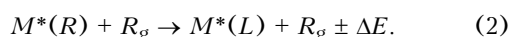
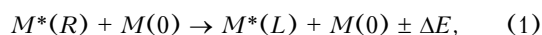
**О механизме формирования инверсии населенности
в импульсных лазерах на парах редкоземельных элементов**

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 25.02.2003 г.

Экспериментально исследованы процессы заселения нерезонансных верхних лазерных уровней в лазере на парах тулия. Показано, что эти уровни заселяются в процессах столкновительной передачи возбуждения. Столкновительными партнерами при передаче возбуждения атомам тулия являются атомы тулия и гелия.

К настоящему времени генерация лазерного излучения получена на шести элементах подгруппы лантаноидов. К ним относятся самарий, европий, иттербий, тулий [1, 2], гольмий и диспрозий [3, 4]. Для первых четырех количество генерирующих переходов было увеличено в работах [5–9]. Длины волн лазерного излучения в основном находятся в ближней инфракрасной области спектра. Особенностью лазеров на парах редкоземельных элементов является то, что из почти 40 лазерных переходов только у 5 верхний лазерный уровень является резонансным. У остальных переходов верхние лазерные уровни имеют ту же четность, что и основное состояние, и не могут эффективно заселяться прямым электронным ударом в газовом разряде. В работах [3–8] высказывалось предположение, что основным механизмом создания инверсии населенности в данном случае является столкновительная передача возбуждения от близко расположенных резонансных уровней. При этом столкновительными партнерами могут являться атомы как металла, так и буферного газа:



Здесь $M^*(R)$, $M(L)$, $M(0)$ – атомы металлов в возбужденном резонансном, верхнем лазерном уровнях и основном состоянии соответственно; R_g – атомы буферного газа.

Близкорасположенными уровнями полагаются те, между которыми разность энергии $\Delta E < kT_g$, где k – постоянная Больцмана, T_g – температура газа.

Целью данной работы является экспериментальная проверка оправданности вышеуказанных предположений.

Для исследований был выбран лазер на парах тулия по двум причинам. Первая – достаточно низкие рабочие температуры (давление насыщенных паров достигает 1 мм рт. ст. при температуре 1100 °С). Вторая – большое количество лазерных переходов (около 20), имеющих дефект энергии в реакциях (1), (2) $\Delta E = 27 \div 500 \text{ см}^{-1}$.

В работе [8] было проанализировано поведение импульсов генерации при изменении концентрации атомов тулия n_{Tm} и гелия n_{He} (буферный газ). Исходя из результатов анализа, лазерные переходы можно разделить на три группы по форме импульса генерации и его положению относительно импульса тока. Соответствующие осциллограммы показаны на рис. 1.

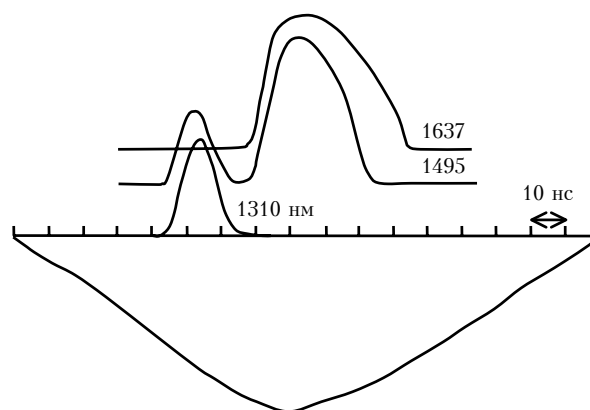


Рис. 1. Форма импульсов генерации и их положение относительно импульса тока накачки. Числа справа от импульсов генерации обозначают длину волны в нм

Первая группа, представленная переходом с длиной волны $\lambda = 1310 \text{ нм}$, отличается чувствительностью к концентрации гелия, импульс генерации расположен на переднем фронте импульса тока. Вторая группа, для которой импульс генерации расположен на заднем фронте импульса тока, характеризуется работой при очень низких давлениях гелия ($P_{He} < 0,5 \text{ мм рт. ст.}$). В третьей группе ($\lambda = 1495 \text{ нм}$) импульс генерации имеет два максимума – на переднем и заднем фронтах импульса тока.

В данной работе приведены результаты исследований зависимости мощности лазерного излучения от концентрации атомов тулия для переходов первой и второй групп. Такие данные позволяют более определенно судить о механизме формирования инверсной заселенности.

Схема экспериментальной установки аналогична описанной в работе [9]. Экспериментальная установка включала в себя газоразрядную трубку, имеющую внешний подогрев. Диаметр газоразрядного канала, выполненного из оксида алюминия, был равен 15 мм, длина активной зоны – 400 мм. Навески рабочего металла располагались непосредственно на внутренней поверхности газоразрядного канала по всей его длине. Температура в трубке измерялась с помощью вольфрам-рениевой термопары, давление гелия контролировалось вакуумметром ВДГ-1.

Система возбуждения была выполнена по схеме с прямым разрядом накопительной емкости через газоразрядную трубку. В качестве коммутатора применялся водородный тиратрон ТГИ1-1000/25. Величина накопительной емкости составляла 2,35 нФ, а напряжение на ней регулировалось от 2 до 15 кВ. Частота следования импульсов возбуждения выбиралась исходя из требования незначительности вклада энергии в нагрев газоразрядного канала за счет диссипации энергии разряда и составляла 50 Гц. Ток разряда фиксировался поясом Роговского. Система регистрации лазерного излучения состояла из монохроматора МДР-23, стробоскопического осциллографа С7-17, фотоэлектронного умножителя ФЭУ-62. Визуально наличие лазерного излучения контролировалось электронно-оптическим преобразователем.

Измерение мощности лазерного излучения производилось по отражению во втором порядке дифракционной решетки, которая являлась одним из зеркал резонатора. Второе (плоское) зеркало имело алюминиевое покрытие. Выбор нужного лазерного перехода осуществлялся поворотом решетки. Мощность лазерного излучения измерялась калориметрическим приемником ИМО-2Н.

На рис. 2 приведены зависимости мощности лазерного излучения от концентрации атомов тулия для линий генерации с $\lambda = 1310$ и 1637 нм. Данные получены при давлении буферного газа гелия 1 мм рт. ст. и напряжении на накопительном конденсаторе 8 кВ.

Из рис. 2 видно, что зависимости мощности лазерного излучения от концентрации атомов тулия для вышеуказанных переходов функционально различны. Если для линии с $\lambda = 1310$ нм зависимость линейна, то для линии с $\lambda = 1637$ нм – квадратична. Это указывает на то, что инверсия населенности на одном переходе ($\lambda = 1310$ нм) формируется за счет реакции (2), а на другом ($\lambda = 1637$ нм) – за счет реакции (1). Отход от функциональной зависимости для обеих линий в их верхней части обусловлен, видимо,

уменьшением электронной температуры с увеличением концентрации атомов тулия.

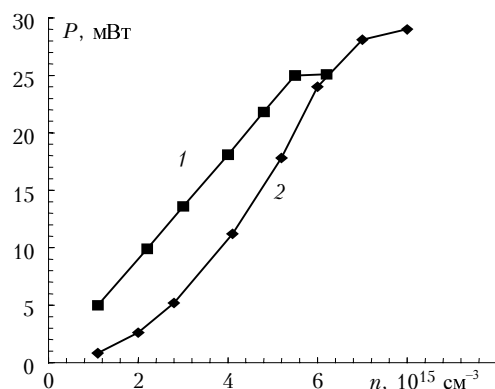


Рис. 2. Зависимость мощности лазерного излучения от концентрации атомов тулия. Кривая 1 – $\lambda = 1310$, 2 – 1637 нм

Таким образом, показано, что формирование инверсии заселенности в лазерах с косвенным заселением верхних лазерных уровней осуществляется столкновительной передачей возбуждения с участием как атомов тулия, так и атомов гелия.

1. Cahuzac Ph. Emission laser infrarouges dans les vapeurs de thulium et d'ytterbium // Phys. Lett. A. 1968. V. 27. № 8. P. 473–474.
2. Cahuzac Ph. Emission laser infrarouges dans les vapeurs de terres rares // Phys. Lett. A. 1970. V. 31. № 10. P. 541–542.
3. Герасимов В.А. Газоразрядный импульсный лазер на парах гольмия // Оптика и спектроскопия. 1999. Т. 87. № 1. С. 156–158.
4. Герасимов В.А., Старкова Л.Н. Генерация импульсного лазерного излучения в парах диспрозия // Оптика и спектроскопия. 2002. Т. 92. № 2. С. 335–337.
5. Клишкин В.М. Исследование газового лазера на парах иттербия // Квант. электрон. 1975. Т. 2. № 3. С. 579–584.
6. Бохан П.А., Клишкин В.М., Прокопьев В.Е. Исследование лазера на самоограничивающихся переходах атома и иона европия // Квант. электрон. 1977. Т. 4. № 1. С. 152–154.
7. Герасимов В.А., Прокопьев В.Е., Соколов В.Г., Солдатов А.Н. Новые линии генерации в видимой и ИК-областях спектра в лазере на парах тулия // Квант. электрон. 1984. Т. 11. № 3. С. 624–626.
8. Герасимов В.А., Юнжаков Б.П. Исследование лазера на парах тулия // Квант. электрон. 1989. Т. 16. № 12. С. 2386–2393.
9. Герасимов В.А., Старкова Л.Н. Дискретно-перестраиваемый импульсный газоразрядный лазер на парах тулия // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. Вып. 2. С. 51–55.

V.A. Gerasimov, A.V. Pavlinskii. On the mechanism of formation of population inversion in pulsed rare earth lasers.

Processes of population of non-resonant upper laser levels were researched experimentally. It was shown that such levels are populated in collisional transfer of excitation. Both thulium and helium atoms can be collisional partners in the processes of excitation transfer.