

Энергетические характеристики самоохлаждающегося лазера в четырехуровневой схеме

С.Н.Андрианов, Ю.Е.Польский, В.В.Самарцев

Рассмотрен энергетический баланс четырехуровневого самоохлаждающегося лазера в двухпримесной схеме. Показано, что построение самоохлаждающегося твердотельного лазера с обычной четырехуровневой схемой невозможно на основе традиционных активных сред. Самоохлаждение может оказаться возможным при использовании новых материалов или иной схемы энергетических уровней.

Ключевые слова: лазерное охлаждение, твердотельные лазеры, вынужденное излучение.

В последнее время появился ряд работ [1–7], посвященных возможности построения самоохлаждающихся твердотельных лазеров, в которых часть энергии излучения используется для антистоксова охлаждения рабочего вещества [6] лазера за счет введения в него дополнительных центров. Концепция самоохлаждающегося лазера была предложена в работах [1, 2] в рамках двухуровневой схемы генерации без учета выделения тепла при накачке. В [3–6] были проанализированы условия реализации самоохлаждающегося лазера в четырехуровневой схеме с учетом выделения тепла при переходах только между верхними подуровнями четырехуровневой схемы (рис. 1,а), что эквивалентно использованию трехуровневой схемы. В лазерах с четырехуровневой схемой наиболее часто основное количество тепла выделяется при переходах между нижними подуровнями схемы (рис. 1,а). В настоящей работе анализируется влияние дополнительных центров антистоксова самоохлаждения (рис. 1,б) на энергетические и пространственные характеристики твердотельных лазеров, работающих по четырехуровневой схеме.

Для определения энергетического баланса при антистоксовом самоохлаждении необходимо рассмотрение следующих условий:

$$\Delta E_{34} = E_3 - E_4 \simeq E_{A3} - E_{A2} \quad (1)$$

– для передачи энергии от генерационных центров к центрам антистоксова охлаждения,

$$E_4 - E_1 \geq 3kT \quad (2)$$

– для возбуждения генерации лазера по четырехуровневой схеме (иначе лазер следует считать квазидвухуровневым) и

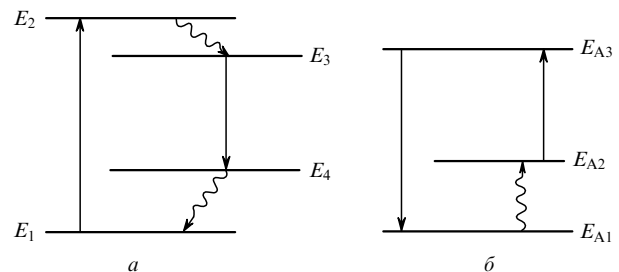


Рис.1. Основная энергетическая схема самоохлаждающегося четырехуровневого лазера (а) и схема уровней дополнительных центров антистоксова самоохлаждения (б).

$$\Delta E_{ast} = E_{A2} - E_{A1} \leq 1.5kT \quad (3)$$

– для обеспечения эффективного антистоксова охлаждения [7].

В этом случае на антистоксово охлаждение может быть затрачено не более 50 % энергии, идущей на нагрев в идеализированном генерационном цикле лазера, работающего по четырехуровневой схеме. При этом не учитываются все другие источники нагрева, возникающие в процессе создания инверсии населенностей на рабочих центрах. Если учесть, что на антистоксово охлаждение может идти лишь относительно малая часть энергии генерационных переходов рабочих центров, то доля тепловой энергии, уносимой за счет антистоксова охлаждения, будет еще ниже.

Выходная мощность лазера при однородном уширении линии генерации и оптимизированной прозрачности выходного зеркала в приближении Ригрода определяется соотношением [8]

$$P_{out} = \kappa_0 I_{sat} S L \left[1 - \left(\frac{2\beta L + \delta_{dif}}{2\kappa_0 L} \right)^{1/2} \right]^2, \quad (4)$$

где κ_0 – коэффициент усиления; I_{sat} – поток мощности насыщения; S и L – площадь поперечного сечения и длина активного элемента; β – показатель поглощения в активном веществе, обусловленный наличием центров антистоксова поглощения; δ_{dif} – дифракционные потери

С.Н.Андрианов, Ю.Е.Польский. ФГУП «НПО "Государственный институт прикладной оптики"», Россия, 420075 Казань, ул. Липатова, 2

В.В.Самарцев. Казанский физико-технический институт Казанского научного центра РАН, Россия, 420029 Казань, Сибирский тракт, 10/7

Поступила в редакцию 23 июля 2004 г.

в резонаторе, определяющие возможность селекции мод по поперечным индексам. При эффективном антистоксовом охлаждении

$$2\beta L > \delta_{\text{dif}}, \quad (5)$$

поэтому в резонаторе невозможна селекция мод по поперечным индексам, а расходимость излучения, как и при работе лазера в режиме сверхизлучения, будет определяться только геометрией активного вещества. При этом соотношение (4) принимает следующий вид:

$$P_{\text{out}} = \kappa_0 I_{\text{sat}} S L \left[1 - \left(\frac{\beta}{\kappa_0} \right)^{1/2} \right]^2, \quad (6)$$

где подкоренное выражение есть не что иное, как отношение концентрации центров антистоксова охлаждения (β) к концентрации рабочих центров (κ_0).

Из рассмотренных выше условий следует, что при использовании традиционных материалов построение самоохлаждающегося твердотельного лазера, работающе-

го по обычной четырехуровневой схеме затруднительно. Для создания самоохлаждающихся лазеров необходимо использование схем генерации, в которых тепло при накачке не выделяется, или применение материалов с большей допустимой частотной отстройкой при охлаждении, но это требует дополнительного изучения.

1. Andrianov S.N., Samartsev V.V. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **4605**, 208 (2001).
2. Andrianov S.N. *Proc. Int. Conf. «Fundamental Problems of Optics»* (St.Petersburg: GITMO, 2002, p. 131).
3. Petrushkin S.V., Shakhmuratov R.N., Samartsev V.V. *Laser Phys.*, **12**, 1387 (2002).
4. Петрушкин С.В., Самарцев В.В. В кн.: *Когерентная оптика и оптическая спектроскопия* (Казань: КГУ, 2002, с. 366).
5. Petrushkin S.V., Samartsev V.V. *Laser Phys.*, **13**, 1290 (2003).
6. Петрушкин С.В., Самарцев В.В. *Твердотельный оптический рефрижератор: проблемы и ожидания* (Казань: КГУ, 2003).
7. Hoyt C.W. *Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy* (Albuquerque: University of New Mexico, 2003).
8. Вайсфельд М.П., Воронов В.И., Орлов Б.В., Польский Ю.Е., Русяев Н.Н. *Проектирование оптических квантовых генераторов* (Казань: Казанский авиационный институт, 1980).