

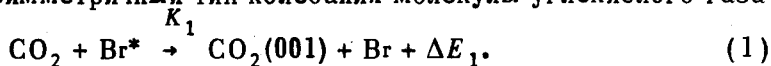
О ГАЗОВОМ ЛАЗЕРЕ С СОЛНЕЧНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Б.Ф.Гордиец, Л.И.Гудзенко, В.Я.Ланченко

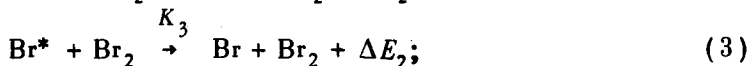
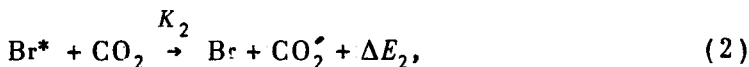
Анализируется возможность эффективного преобразования солнечной энергии в лазерное излучение. Рассмотрен пример газового лазера с солнечным возбуждением на смеси газов CO_2 , Br_2 и He .

Применение монокристаллов в качестве активной среды лазеров на солнечной накачке (см., например, [1 - 3]) приводило до сих пор к сложным устройствам с низкой интенсивностью лазерного излучения. Переход к усилению на газах даст преимущества, связанные с возможностью использования больших объемов активной среды и с меньшими пороговыми значениями мощности накачки. Естественно, надеяться на получение в сравнительно простых условиях непрерывной генерации значительной мощности.

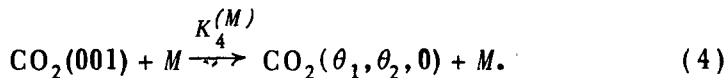
Трудности выбора активной среды солнечного лазера связаны с малой плотностью падающего на Землю потока солнечной радиации ($J_{\odot} \sim 1 \text{ квт} \cdot \text{м}^{-2}$), а также с тем, что основная ее доля лежит в неудобной для накачки длинноволновой (видимой) области спектра. Возможность запуска солнечного лазера с газовой активной средой проиллюстрируем анализом усиления света в конкретном газе $\text{Br}_2 - \text{CO}_2 - \text{He}$. Состав газа выберем, исходя из следующих соображений: Солнечная радиация должна поглощаться бромом в ходе диссоциации $\text{Br}_2 + h\nu \xrightarrow{\sigma} \text{Br}^* + \text{Br}$. Образующиеся при этом метастабильные атомы $\text{Br}^* \equiv \text{Br}(4^2P_{1/2})$ возбуждают асимметричный тип колебаний молекулы углекислого газа



Гелий улучшает охлаждение газа путем теплопроводности к стенкам сосуда. Инверсная заселенность и генерация получаются на переходе $001 \rightarrow 100$ молекулы CO_2 . Помимо (1) важными каналами дезактивации атомов Br являются столкновения



для определенности будем здесь считать, что в (2) не включены акты (1), т.е. $\text{CO}_2' \neq \text{CO}_2(001)$. Вредными для образования инверсных населенностей являются также нагрев газа и дезактивация верхнего рабочего уровня в соударениях ($M = \text{CO}_2, \text{Br}_2, \text{Br}, \text{He}$)



Существенно отметить здесь, что на смеси $\text{Br}_2 - \text{CO}_2 - \text{He}$ лазер уже работает, правда в импульсном режиме с накачкой от мощной лампы-

вспышки [4]. Но, для обсуждаемой в данной статье задачи этого, конечно, недостаточно. Покажем, что выбранная среда позволяет осуществить непрерывную генерацию на солнечной накачке, причем при реальных значениях концентрации солнечной радиации. Стационарные значения концентрации возбужденных атомов Br^* и молекул CO_2 (001) на верхнем рабочем уровне лазера опишем уравнениями

$$-\frac{dN_{\text{Br}^*}}{dt} = 0 = K_{\Phi} N_{\text{Br}_2} - N_{\text{Br}^*} [(K_1 + K_2) N_{\text{CO}_2} + K_3 N_{\text{Br}_2}], \quad (5)$$

$$\frac{dN_{100}}{dt} = 0 = K_1 N_{\text{Br}^*} N_{\text{CO}_2} - N_{001} \sum_M K_4^{(M)} N_M.$$

Здесь $K_{\Phi} = \sigma \Phi \Delta \lambda$ — частота актов фотодиссоциации молекул брома солнечными фотонами, Φ — интенсивность потока квантов солнечной радиации в активной среде, приведенная к одному \AA спектра $\Delta \lambda \approx 1500 \text{\AA}$ — ширина спектральной полосы поглощения, приводящего к образованию Br^* , $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ — среднее сечение фотопоглощения в этой полосе. Учитывая, что из-за столкновений населенность N_{100} нижнего рабочего уровня лазера близка к равновесной, получим

$$\Delta N \equiv N_{001} - N_{100} = A \Phi - N_{\text{CO}_2} \exp(-E_{100}/T). \quad (6)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$A \equiv K_1 \sigma \Delta \lambda \{ [a(K_1 + K_2) + K_3] (K_4^{\text{CO}_2} + (b/a) K_4^{\text{He}}) \}^{-1}$; $N_{\text{Br}_2} : N_{\text{CO}_2} : N_{\text{He}} = 1 : a : b$; E_{100} — энергия уровня CO_2 (100); T — температура среды.

При $T = 300 \text{ К}$ имеем $K_1 \approx 6 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$ [4], $K_2 \approx 10^{-11} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$ [5], $K_3 \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$ [5], $K_4^{\text{CO}_2} \approx K_4^{\text{He}} \approx 10^{-14} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}$ [6]. Температура газа, а значит и величина A зависят от интенсивности Φ потока солнечных фотонов в среде, давления и состава смеси. Поэтому значения ΔN не являются монотонной функцией выписанных параметров. Анализ показывает, что инверсия имеет место в случае выполнения условий

$$\Phi / N_{\text{Br}_2} > \frac{a}{A} \exp(-E_{100}/T_0), \quad \Phi N_{\text{Br}_2} \ll \kappa [h \bar{\nu} \sigma \Delta \lambda l^2 (E_{100}/T_0)]^{-1}, \quad (7)$$

где κ — коэффициент теплопроводности смеси (конвекция только облегчит охлаждение газа); $h \bar{\nu}$ — средняя энергия поглощаемых при фотодиссоциации фотонов солнечной радиации; T_0 — температура стенок сосуда; l — его размер, определяющий теплопроводность к стенкам,

Переходя к численным оценкам, положим, что сосуд с активной средой имеет квадратное поперечное сечение с размерами стороны H и состоит из набора $n = H/l$ кубов. Для смеси с отношением плотностей компонент $N_{\text{Br}_2} : N_{\text{CO}_2} : N_{\text{He}} = 1 : 2 : 8$ при $T_0 = 230 \text{ К}$, $l = 2 \text{ см}$, $n = 10$ и общем давлении газа $\sim 10 \text{ тор}$ условия (7) выполняются при концентрации потока солнечной радиации ~ 100 . При этом коэффициент лазер-

ного усиления в среде составляет $\sim 4 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$, а удельная мощность лазерной генерации $\sim 10 \text{ вт}$ на метр длины активного вещества. Таким образом, здесь для надежной генерации потребуются длины $L \gtrsim 10 \text{ м}$.

Обсуждавшийся химический состав среды скорее всего далеко не оптимальен. Коэффициент преобразования энергии здесь не может превысить $\sim 1\%$ (бром поглощает $\sim 0,3$ падающей солнечной радиации, а квантовый выход среды $\sim 1/20$). Реальный КПД будет ниже, так как для выполнения условия (7), обеспечивающего малую населенность N_{100} , нужно довольно низкое давление газа; при этом падает поглощение средой солнечного света. Мы хотели, обратив внимание на реальность мощных солнечных лазеров, стимулировать этим поиск соответствующих активных сред.

Авторы благодарны И.И.Собельману за обсуждение.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 июня 1977 г.

Литература

- [1] А.А.Каминский, Л.С.Корниенко, А.М.Прохоров. ДАН СССР, 161, 1063, 1965.
 - [2] Н.А.Козлов, А.А.Мак, В.М.Седов. Оптико-механич. промышл., № 11, 25, 1966.
 - [3] С.С.Young. Appl. Opt., 5, 993, 1966.
 - [4] А.В.Petersen, С.Witting. Appl. Phys. Lett., 27, 305, 1975.
 - [5] R.J.Donouan, D.Husain. Chem. Rev., 70, 489, 1970.
 - [6] Б.Ф.Гордиец, А.И.Осипов, Е.В.Ступоченко, Л.А.Шелепин. УФН, 108, 655, 1972.
-