

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ УРОВНЯ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПОТЕРЬ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПРОФИЛЯМ ИНВЕРСИИ

А.В. Боровский, А.Л. Галкин, В.В. Коробкин,
В.Б. Мокров, А.В. Морозов

Предложен метод диагностики степени влияния суперлюминесцентного излучения на энергию, запасенную в активном элементе, по экспериментальным профилям инверсии.

Для активных элементов (АЭ) мощных твердотельных усилителей величина энергии, запасенной в них на верхнем лазерном уровне в момент времени, предшествующий прохождению через АЭ усиливаемого импульса, ограничена нежелательными процессами, такими как генерация паразитных мод /1/ и суперлюминесцентное излучение (СИ) /2/. В настоящей работе предлагается новый метод диагностики степеней влияния СИ на запасенную энергию по экспериментальным профилям инверсной населенности в твердотельных АЭ, в которых подавлены моды паразитной генерации /1/.

Для запасенной в АЭ энергии имеем $\epsilon(t) = \hbar\omega \int dr n(r, t)$, где $\hbar\omega$ — энергия кванта, $n(r, t)$ — распределение инверсной населенности в момент времени t . В предположении отсутствия вынужденного излучения $W = 0$ можно рассчитать соответствующее распределение инверсной населенности $n_0(r, t)$ и соответственно максимально возможное значение запасенной энергии ϵ_0 для данного АЭ и для данного распределения скорости накачки: $\epsilon_0(t) = \hbar\omega \int dr n_0(r, t)$.

Степень влияния СИ на запасенную в АЭ энергию можно количественно охарактеризовать фактором $Q(t) = \epsilon(t)/\epsilon_0(t)$. При $Q = 1$ суперлюминесценция не существенна, при $Q \gg 1$ энергия накачки в значительной степени преобразуется в энергию суперлюминесцентного высвечивания. Практический интерес представляет значение фактора Q в момент времени t_1 , когда значение запасенной в АЭ энергии максимально. В момент времени t_1 скорость накачки на верхний лазерный уровень также максимальна: $dP/dt = 0$. Характерная длительность импульса накачки $\tau \sim 10^{-3}$ с, характерное время установления распределения инверсной населенности $\tau_0 \sim 1/(P + W + A)$ (для Nd стекла $\tau_0 \sim 10^{-4}$ с), где $A = A_r + A_{nr}$ — константа распада верхнего лазерного уровня (A_r и A_{nr} — соответственно скорости спонтанного излучательного и безызлучательного распада), W — скорость вынужденного распада верхнего лазерного уровня. Таким образом, значения величин $n(r, t)$ и $n_0(r, t)$ в момент времени t_1 также достигают максимума.

Предлагаемый метод диагностики основан на том обстоятельстве, что значения $n(r)$ и $n_0(r)$ в момент времени t_1 связаны между собой однозначным образом уравнениями кинетики инверсной населенности. Для четырехуровневой схемы имеем:

$$\frac{dn(r, t)}{dt} = [N_0 - n(r, t)]P(r, t) - n(r, t) \cdot [A + W(r, t)],$$

где N_0 — плотность активных частиц. Для $n_0(r, t)$ имеем аналогичное уравнение, в котором $W = 0$. Исключая из этих двух уравнений скорость накачки P в момент времени t_1 , получим

$$n_0(r) = n(r) [1 + W(r)/A] [1 + n(r)W(r)/N_0 A]^{-1},$$

где $W(r)$ является результатом действия на $n(r)$ интегрального оператора:

$$W(r) = \int d\omega \int dr_1 F(\omega, r_1 \rightarrow r) A_{34} S(\omega) \pi^2 c^2 / \omega^2.$$

Здесь $F(\omega, r_1 \rightarrow r)$ — поток фотонов, приходящих в точку r из точки r_1 на частоте ω ; $S(\omega)$ — полный

контур линии рабочего перехода $3 \rightarrow 4$; A_{34} — скорость спонтанного распада верхнего лазерного уровня на нижний. Подробно вывод выражения для W дан в /2/, там же приведено выражение для W в частном случае плитообразного АЭ из Nd стекла для схемы двухсторонней накачки. При расчете фактора Q основную сложность представляет расчет пространственного распределения величины $W(r)$, поскольку она определяется четырехкратным интегралом по объему АЭ и по траекториям распространения квантов излучения. Точность различных математических моделей расчета значений оператора W для плитообразных АЭ исследована в /3/.

В качестве иллюстрации использования предлагаемого метода в данной работе обработаны экспериментальные профили $n(r)$ /4/ для плитообразного АЭ из неодимового стекла ГЛС-22 и размером $73 \times 24 \times 4$ см³. Для импульсов накачки с длительностью по поперечному сечению 1,2 мс при значениях полной электрической энергии разряда $E = 70$ и 154 кДж в /4/ приведены профили ненасыщенного показателя усиления. На основе этих данных получены следующие значения факторов Q : $4,3 - 5,4$ ($E = 70$ кДж), $6,7 - 8,0$ ($E = 154$ кДж). Два различных значения фактора Q при одном и том же E связаны с тем, что в первом случае предполагается, что длина прокачиваемой области совпадает с длиной блока ламп накачки (60 см), во втором случае считается, что прокачивается весь АЭ длиной 73 см.

Приведенные значения Q близки к результатам работы /3/, где рассчитаны пространственно-временные профили инверсной населенности в плитообразном АЭ из Nd стекла ГЛС-22П размером $72 \times 24 \times 4$ см³ с учетом и без учета СИ при длительности импульса накачки $\tau = 1,5$ мс (форма импульса прямоугольная) для различных значений E . По этим профилям инверсной населенности непосредственно были рассчитаны значения факторов Q : $2,4$ ($E = 50$ кДж), $3,4$ ($E = 100$ кДж), $5,2$ ($E = 200$ кДж).

В заключение сформулируем основные выводы данной работы: во-первых, экспериментальные профили инверсии несут в себе информацию о степени влияния СИ (определяемую фактором Q) на запасенную в АЭ энергию; во-вторых, предложена методика определения фактора Q по экспериментальным профилям инверсии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б у к о в В.П. и др. Препринт ИПМ АН СССР № 50, М., 1984.
2. Б о р о в с к и й А.В. и др. Препринт ИОФ АН СССР № 25, М., 1989.
3. Б о р о в с к и й А.В. и др. Препринт ИОФ АН СССР № 21, М., 1990.
4. И в а ш к и н П.И. Автореферат канд. диссертации, ИОФ АН СССР, М., 1985.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 8 декабря 1989 г.