

УДК 621.375.826

ФИЗИКА

М. А. Андриасян, Р. Б. Костанян

Влияние усиленного спонтанного излучения на некоторые характеристики ОКГ на ИАГ: Nd^{3+}

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 10/VI 1978)

Усиленное спонтанное излучение (УСИ), распространяющееся под разными углами к направлению генерации, приводит к сбросу инверсии в активной среде, уменьшению эффективности и мощности генерации. Особенно сильно этот эффект сказывается в средах с большими коэффициентами усиления. Явление УСИ было исследовано в работах (1-6). Сокращение времени жизни метастабильного уровня в рубине наблюдалось ранее (6-11).

Целью данной статьи является изучение явления УСИ в ИАГ: Nd^{3+} на время жизни метастабильного состояния ${}^4F_{3/2}$ и связанное с ним изменение эффективности генерации.

1. Наличие УСИ в активном элементе ОКГ приводит к установлению некоторого эффективного времени жизни ($\tau_{эфф}$) для уровня ${}^4F_{3/2}$, которое вводится обычным способом:

$$\frac{1}{\tau_{эфф}} = \frac{1}{\tau_{32}} + W_1, \tag{1}$$

где W_1 — вероятность ненаправленного индуцированного излучения, τ_{32} — время жизни уровня ${}^4F_{3/2}$. Для четырехуровневой схемы, по которой работает ОКГ на ИАГ: Nd^{3+} , вероятность ненаправленного индуцированного излучения можно определить по формуле: (выпол аналогичен приведенному в (12) для трехуровневой схемы)

$$W_1 = \left(\frac{n_0}{\Delta_n} - 1 \right) \frac{\omega(t_2)}{\int_0^{t_2} \omega(t) dt} \ln \left(1 - \frac{\Delta_n}{n_0} \right) - \frac{1}{\tau_{32}}, \tag{2}$$

где n_0 — плотность атомов Nd в ИАГ, Δ_n — пороговая плотность инверсной населенности, $\omega(t)$ — форма импульса накачки, нормированная к ее максимальному значению, t_1 и t_2 соответственно моменты времени

возникновения и окончания генерации. Формула (2) справедлива при больших уровнях превышения энергии накачки над ее пороговым значением ($\theta \gg 1$). Учитывая, что Δ_n/n_0 в ОКГ на гранате с примесью неодима обычно много меньше единицы, из формул (1) и (2) можно найти:

$$\frac{\tau_{32}}{\tau_{эфф}} = \left(1 - \frac{\Delta_n}{n_0}\right) \frac{\omega(t_2)\tau_{32}}{\int_0^{t_n} \omega(t)dt}. \quad (3)$$

В настоящей работе экспериментально определялось отношение $\tau_{32}/\tau_{эфф}$ подставлением измеренных величин $\omega(t_2)$ и $\int_0^{t_n} \omega(t)dt$ в формулу (3).

Исследования проводили на ОКГ с кристаллами ИАГ: Nd^{3+} длиной 80 и диаметром 6 мм, который работал в режиме свободной генерации. Накачку осуществляли импульсной лампой ИФП—800, с длительностью импульса $\sim 300 \mu\text{сек}$. Резонатор состоял из плоскопараллельных зеркал с коэффициентом отражения для выходного зеркала $\sim 93,8\%$.

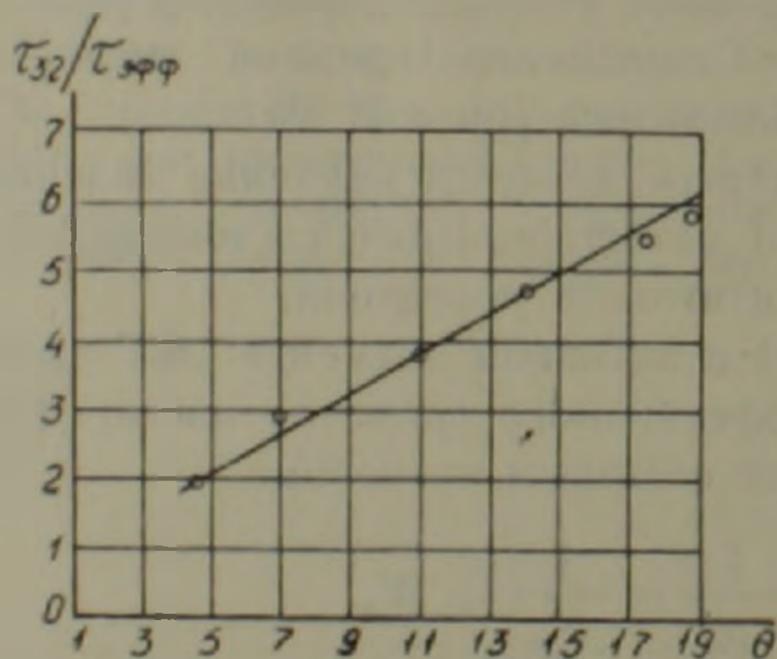


Рис. 1. Зависимость эффективного времени жизни верхнего рабочего уровня ${}^4F_{32}$ от уровня накачки

Величины $\omega(t_2)$ и $\int_0^{t_n} \omega(t)dt$ вычисляли по осциллограммам формы импульса накачки, на которые накладывались генерационные пички. Эксперименты проводили при различных уровнях накачки θ . Значение Δ_n/n_0 принималось равным 0,3 (¹³). На рис. 1 изображен график зависимости $\tau_{32}/\tau_{эфф}$ от θ при больших уровнях накачки. Видно, что время жизни метастабильного уровня за счет УСИ уменьшается до $\sim 6,5$ раз, что соответствует значению $W_1 = 1,8 \cdot 10^4 \text{сек}^{-1}$.

Экстраполяция экспериментальной кривой в область малых θ показывает, что при значении $\theta = 1/\tau_{\text{эфф}}$ становится равным τ_{32} , что согласуется с начальными условиями, принятыми при выводе формулы (2).

2. Перейдем к рассмотрению влияния УСИ на к.п.д. (η) генератора, который определяется как отношение выходной энергии U_2 к энергии накачки U_{11} . В предположении прямоугольной формы импульса накачки, выражение, определяющее выходную энергию, записывается в виде

$$U_2 = P(\tau_{11} - t_n), \quad (4)$$

где τ_{11} — длительность импульса накачки, P — мощность выходного излучения, которая с учетом УСИ имеет вид

$$P = \frac{h\nu_{32}n_0V}{\tau_{32}(\beta + \beta_2)/\beta_2} \left[k - \left(k + \frac{\tau_{32}}{\tau_{\text{эфф}}} \right) \frac{\Delta_{11}}{n_0} \right], \quad (5)$$

где ν_{32} — частота индуцированного излучения, V — объем активного элемента, β — коэффициент нерезонансных потерь, β_2 — потери на излучение, $k = W_{11}\tau_{32}$, W_{11} — вероятность вынужденного перехода в единицу времени из основного состояния на верхнее под действием энергии импульса накачки. Величины U_{11} и k можно записать в виде:

$$U_{11} = U_n\theta, \quad k = k_n\theta, \quad (6)$$

где U_n , k_n характеризуют соответственно пороговую энергию и пороговую мощность накачки. k_n определяется из выражения (5) при $P=0$. Время возникновения генерации

$$t_n = \frac{\tau_{32}}{k+1} \ln \frac{k}{k - (k+1)(\Delta_{11}/n_0)}$$

при $\Delta_{11}/n_0 < 1$ запишется в виде

$$t_n = \frac{\tau_{32}}{\theta} \left(1 - \frac{\Delta_{11}}{n_0} \right). \quad (7)$$

Принимая во внимание формулы (4)–(7), выражение для η можно записать следующим образом:

$$\eta = \gamma_0 \frac{\theta - \tau_{32}/\tau_{\text{эфф}}}{\theta} \left(\frac{\tau_{11}}{\tau_{32}} - \frac{1 - \Delta_{11}/n_0}{\theta} \right), \quad (8)$$

где

$$\gamma_0 = \frac{h\nu_{32}n_0V}{U_n(\beta + \beta_2)/\beta_2} \frac{\Delta_{11}}{n_0}$$

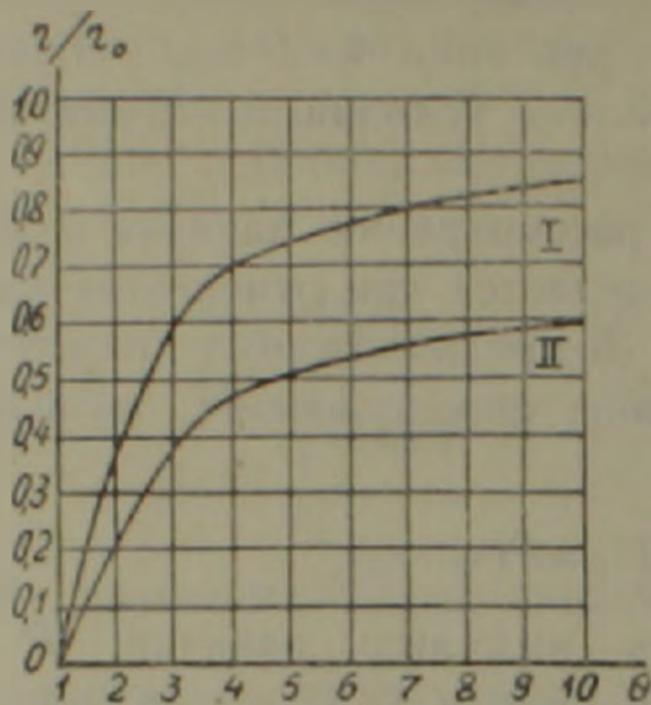


Рис. 2. Зависимость к. п. д. ОКГ на ИАГ: Nd^{3+} от уровня накачки: I—расчетная кривая, без учета УСИ, II—экспериментальная

На рис. 2 приведены зависимости η от θ . Кривая I (расчетная) соответствует $\eta(\theta)$ без учета $W_2(\tau_{\phi\phi} = \tau_{32})$, а II—экспериментальная. Она строилась с использованием рис. 1. Видно, что при больших превышениях энергии накачки над ее пороговым значением УСИ приводит к уменьшению максимального к.п.д. генератора в 1,4 раза.

Авторы выражают благодарность профессору чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляну и Ю. Г. Туркову за полезные обсуждения

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Մ. Ա. ԱՆԴՐՈՒԱՅԱՆ, Ռ. Բ. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ

Ուժեղացված ինքնաբերական ճառագայթման ազդեցությունը
 $YAG: Nd^{3+}$ ՕՔԳ-ի ուղղ բնութագրերի վրա

Աշխատանքում փորձնականորեն ուսումնասիրված է այլումինա-իտրումային նոնաբարում նեոդիումի իոնների ${}^4F_{3/2}$ մեթասթարիլ մակարդակի կյանքի տևողության և օպտիկական գեներատորի էֆեկտիվության վրա ուժեղացված ինքնաբերական ճառագայթման ազդեցությունը:

Քերված է նշված մակարդակի կյանքի տևողության և գեներացիայի էֆեկտիվության կախվածությունը զրգոման էներգիայի մեծությունից: Ցույն է տրված, որ ուժեղացված ինքնաբերական ճառագայթման առկայության հետևանքով ${}^4F_{3/2}$ մակարդակի կյանքի տևողությունը կարող է կարճանալ մոտ 6,5 անգամ, իսկ գեներացիայի էֆեկտիվությունը՝ փոքրանալ 1,4 անգամ:

ЛИТЕРАТУРА — ЧРЦЦЦПРФБОРГ,

- ¹ Ю. А. Ананьев, А. А. Мак, Б. М. Седов, ЖЭТФ, 7, 48 (1965) ² Ю. А. Ананьев, И. И. Балашов, А. А. Мак, ДАН СССР, 166, 825 (1966) ³ Б. А. Ермаков, А. В. Лукин, А. А. Мак, «Оптика и спектроскопия», 18, 353, 1965 ⁴ J. A. Fleck, J. Appl. Phys., 36, 1301 (1965). ⁵ П. В. Елютин, ЖЭТФ, 43, 2407 (1973) ⁶ В. И. Мэрзозов, «Оптика и спектроскопия», 21, 230 (1966) ⁷ И. И. Розанов, «Оптика и спектроскопия», 39, 724 (1975) ⁸ В. И. Марин, В. И. Никитин, М. С. Соскин, А. И. Хижняк, «Квантовая электроника», 2, 1340 (1975) ⁹ F. J. McClung, R. W. Hellwarth, Proc. IEEE, 51, № 1, 46 (1963) ¹⁰ В. К. Конюхов, Л. А. Кулевский, В. М. Прохоров, ДАН СССР, 154, 1072 (1964) ¹¹ М. Д. Галанин, З. А. Чижикова, «Оптика и спектроскопия», 17, 402 (1964) ¹² А. Л. Микаэлян, М. Л. Тер-Микаэлян, Ю. Г. Турлов, Оптические квантовые генераторы на твердом теле, Изд. «Советское радио», М., 1967 ¹³ А. Л. Микаэлян, В. М. Гардашьян, В. В. Дьяченко, А. Н. Филатов, П. И. Царев, «Квантовая электроника», № 4 (16), 13 (1973).