

Письма в ЖЭТФ, том 17, вып. 8, стр. 405 – 409

20 апреля 1973 г.

РЕЖИМЫ ГЕНЕРАЦИИ КОЛЬЦЕВОГО ОКГ НА ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

*Е. А. Ключан, Л. С. Корниенко, Н. В. Кравцов,
Е. Г. Ларионцев, А. Н. Шелаев*

В подавляющем большинстве работ, посвященных лазерам с кольцевым резонатором, исследования проводились на газовой активной среде с неоднородно уширенной линией люминесценции. В то же время несомненный интерес представляет изучение динамики генерации кольцевых лазеров на активных кристаллах с однородно уширенной линией

люминесценции. В таких ОКГ возникает сильная конкуренция между встречными волнами [1, 2]. В данной работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование режимов генерации в твердотельном кольцевом ОКГ.

1. Динамика генерации кольцевого ОКГ описывается на основе следующей системы уравнений для комплексных амплитуд встречных волн $\tilde{E}_{1,2}$ и плотности инверсии N :

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{E}}_{1,2} = & -\frac{\omega}{2Q} \tilde{E}_{1,2} + \frac{i\tilde{m}_{1,2}}{2} \tilde{E}_{2,1} + i\frac{\Omega}{2} \tilde{E}_{1,2} + \\ & + \frac{\sigma}{2T} \left(\tilde{E}_{1,2} \int_0^{\ell} N dx + \tilde{E}_{2,1} \int_0^{\ell} N e^{\pm i2kx} dx \right), \\ \dot{N} = & W - \frac{N}{T_1} - \frac{\sigma}{T_1} N \left| \tilde{E}_1 e^{-ikx} + \tilde{E}_2 e^{ikx} \right|^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $\tilde{m}_{1,2} = m_{1,2} e^{\pm i\theta_{1,2}}$ — комплексные коэффициенты связи через обратное рассеяние ($m_{1,2}$, $\theta_{1,2}$ — модули и фазы коэффициентов связи), ω/Q — ширина полосы резонатора, $T = L/c$ — время обхода светом резонатора, σ — сечение перехода, W — скорость накачки, T_1 — продольное время релаксации, ℓ — длина активного элемента, $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, $\Omega = \omega_1 - \omega_2$ — разность собственных частот резонатора для встречных волн, $\sigma = \sigma_0 T_1 / 8\pi \hbar \omega$. Предполагается, что режим генерации является одномодовым, с частотой близкой к центру линии люминесценции.

2. В кольцевом ОКГ может существовать режим взаимной синхронизации встречных волн (амплитуды волн $\tilde{E}_{1,2}$ и разность фаз $\Phi = \phi_1 - \phi_2$ постоянны во времени). Режим синхронизации может иметь место при расстройках собственных частот резонатора Ω , лежащих внутри полосы синхронизации $|\Omega| < \Omega_0$. Внутри области синхронизации интенсивности и разность фаз встречных волн являются функциями от расстройки Ω . В случае равных модулей коэффициентов связи ($m_1 = m_2 = m$) условие устойчивости режима синхронизации встречных волн имеет вид:

$$m \left| \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right| > \frac{\omega}{Q} \left[1 - \frac{\sqrt{1 + 8(1 + \eta)} - 1}{2(1 + \eta)} \right]. \quad (2)$$

Отсюда следует, что в случае равных фаз коэффициентов связи ($\theta_1 = \theta_2$) режим стоячей волны неустойчив при любых m . В случае $\theta_1 \neq \theta_2$ режим стоячей волны может стать устойчивым при достаточно сильной связи. Нетрудно видеть, что при больших значениях η режим стоячей волны может стать неустойчивым.

Ширина полосы синхронизации Ω_0 определяется выражением

$$\Omega_0 = \sqrt{m^2 \sin^2 \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} - \frac{1}{4} \left(\frac{\omega}{Q} \eta - m \left| \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right| \right)^2}. \quad (3)$$

Отсюда видно, что при заданном модуле коэффициента связи Ω_0 оказывается наибольшей при $|\theta_1 - \theta_2| = \pi$. Ширина полосы синхронизации зависит от накачки, уменьшаясь с ростом η .

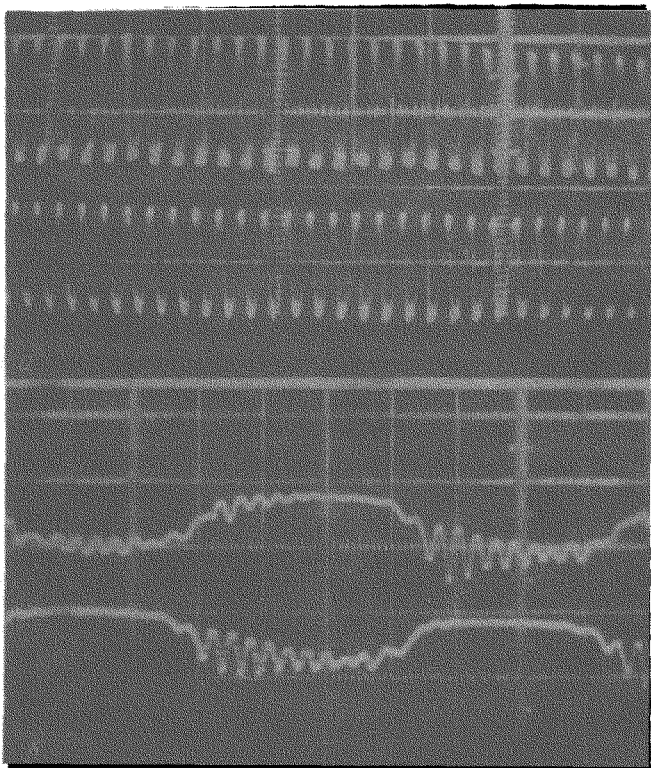


Рис. 1

3. В кольцевом ОКГ возможен также стационарный режим генерации с существенно неравными амплитудами волн (режим однонаправленной генерации). Этот режим исследовался нами в предположении $\Omega = 0$ и комплексно-сопряженных коэффициентов связи ($m_1 = m_2 = m$, $\theta_1 = \theta_2$). Режим однонаправленной генерации может существовать при условии

$$m \ll \frac{\omega}{Q} \frac{\eta}{1+\eta} \text{ и устойчив, если } m < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega}{Q} \frac{1}{\eta} \frac{1+\eta}{T_1} \frac{1+\eta}{2+\eta}}.$$

Из полученных результатов следует, что в случае коэффициентов связи, близких к комплексно-сопряженным, при $m > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega}{Q} \eta \frac{1+\eta}{2+\eta} / T_1}$

оказываются неустойчивыми режим однонаправленной генерации и режим синхронизации встречных волн, т. е. становится невозможной генерация со стационарными амплитудами и разностью фаз встречных волн. В этом случае должен возникнуть автомодуляционный режим (амплитуды и разность фаз периодически изменяются со временем).

4. Режимы генерации кольцевого ОКГ на $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$ исследовались экспериментально. ОКГ работал в непрерывном режиме на длине волны $\lambda = 1,06$ мкм. Торцы активного элемента были просветлены (остаточный коэффициент отражения от торца не более 0,4%).

Было показано, что режимы генерации существенно зависят от настройки кольцевого резонатора и скорости вращения (ОКГ установлен

на вращающейся платформе). В покоящемся ОКГ в зависимости от настройки резонатора (например, при изменении положения одного из зеркал) наблюдались два режима: режим синхронизации двух встречных волн и режим автомодуляции интенсивностей встречных волн.

Внутри области синхронизации разность интенсивностей встречных волн являлась функцией скорости вращения и увеличивалась при приближении к границе области синхронизации. В покоящемся ОКГ разность интенсивностей зависела от настройки резонатора. От настройки зависела также величина области синхронизации, и при определенных настройках не удавалось выйти из области синхронизации (максимальная разность собственных частот при вращении ОКГ достигала 1 МГц). Было обнаружено, что режим синхронизации встречных волн может стать неустойчивым при превышениях накачки над порогом, больших некоторого значения, зависящего от настройки резонатора. Все эти результаты находятся в качественном согласии с приведенным выше теоретическим рассмотрением.

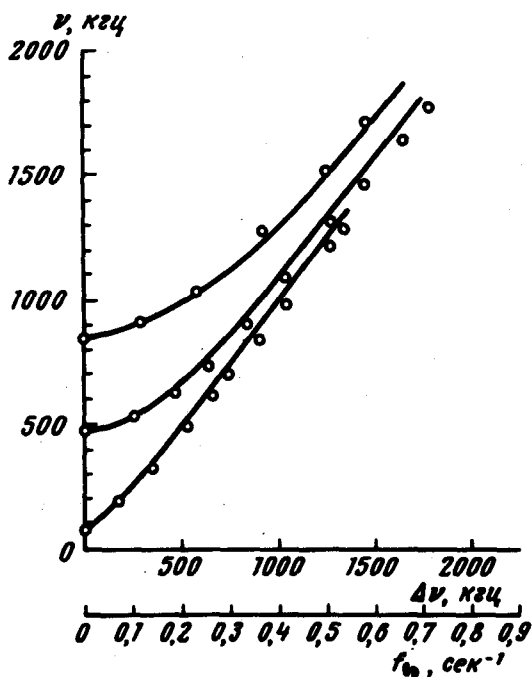


Рис. 2

Характерные осциллограммы автомодуляционных режимов приведены на рис. 1 (200 мксек/дел). Как следует из рис. 1, автомодуляция интенсивностей встречных волн может быть периодической (рис. 1, а) или иметь более сложный характер (рис. 1, б — автомодуляционные колебания промодулированы более низкой частотой). Частоты автомодулированных колебаний существенно зависят от настройки резонатора и лежат в области от нескольких кГц до 1 МГц . Автоколебания интенсивностей встречных волн близки к противофазным. Зависимость частоты автомодуляционных колебаний ω_m (при фиксированной настройке) от скорости вращения кольцевого ОКГ достаточно хорошо описывается формулой $\omega_m (\Omega) = \sqrt{\omega_m^2(0) + \Omega^2}$. Экспериментальные данные и рассчитанные по этой формуле значения ω_m приведены на рис. 2.

Частота автомодуляции в покоящемся ОКГ $\omega_m(0)$ определяется величиной связи [2]. В случае комплексно-сопряженных коэффициентов связи $\omega_m(0) = m$. Представив коэффициент связи в виде $m = \sqrt{R}/T$ (R — отношение интенсивности волны, рассеянной назад, к интенсивности падающей волны) и полагая $T = 0,3 \cdot 10^{-8}$ сек, $\omega_m/2\pi = 10^6$ иц, получим, что $R = 4 \cdot 10^{-4}$.

Институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
28 февраля 1973 г.

Литература

- [1] Б.Л.Желнов, А.П.Казанцев, В.С.Смирнов. ФТТ, 7, 2816,
[4] И.П.Ефанова, Е.Г.Ларионцев. ЖЭТФ, 55, 1532, 1968.
-