

## ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ ФАЗОВОЙ РЕШЕТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ РОС-ЛАЗЕРОМ НА КРАСИТЕЛЯХ

РОС-лазеры на красителях являются перспективными генераторами ультракоротких импульсов излучения, использующими источники возбуждения наносекундной длительности [1]. Ввиду отличного от единицы квантового выхода люминесценции и наличия стоксовых потерь определенная часть энергии импульса накачки переходит в тепло, и таким образом в активной среде РОС - лазера формируется помимо периодической структуры инверсии населенности ещё и периодическая тепловая фазовая решетка (ТФР). Наличие ТФР в активной среде может повлиять на процесс развития генерации и привести к изменению генерационных характеристик ультракоротких импульсов (УКИ). В связи с этим исследование влияния ТФР на генерацию УКИ РОС-лазером и их параметры является актуальной задачей.

Указанные исследования выполнялись в работе посредством расчёта кинетики генерации РОС - лазера методом скоростных уравнений [2].

Возбуждение раствора красителя двумя сходящимися когерентными световыми пучками формирует в активной среде пространственно-периодическую решетку. Скорость возбуждения  $I_u(t)$  задавалась в виде гауссова импульса.

Изменение населенности  $n(t)$  определяется уравнением:

$$\frac{dn(t)}{dt} = I_u(t)\sigma_{11}(N - n(t)) - \frac{\sigma_{12}c}{n_2} n(t)q(t) - \frac{nn(t)}{\tau}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{11}$  – сечение поглощения излучения накачки,  $\sigma_{12}$  – сечение вынужденного излучения,  $c$  – скорость света,  $n_2$  – показатель преломления раствора красителя;  $q(t)$  – плотность числа фотонов;  $\tau$  – время жизни возбужденного состояния молекул красителя.

Изменение плотности фотонов генерируемого РОС - лазером излучения  $q(t)$  можно записать следующим образом :

$$\frac{dq(t)}{dt} = \frac{(\sigma_{12} - \sigma_{21})}{n_2} I_u(t)n(t) - \frac{q(t)}{\tau_q(t)} - \frac{O}{\tau} n(t), \quad (2)$$

где  $\sigma_{21}$  – сечение поглощения молекул красителя на длине волны генерации;  $\tau_q$  – эквивалентное время жизни фотона в резонаторе;  $O$  – коэффициент, учитывающий фотоны спонтанного излучения

Периодическая пространственная структура инверсии населенности и ТФР обеспечивают необходимую для развития генерации положительную обратную связь, которую можно оценить, проанализировав их вклады в величину времени жизни фотона в резонаторе  $\tau_{\phi}$  [3]:

$$\tau_{\phi} = \tau_r + \tau_a \quad (3)$$

Величины  $\tau_r$  и  $\tau_a$  описывают время жизни фотона в резонаторе, обусловленное наличием ТФР и решетки инверсии населенности, соответственно:

$$\tau_r = \frac{n_p L^3}{2 c \lambda_r} \Delta n^2, \quad \tau_a = \frac{n_r l^2}{8 c \pi^2} \Delta \alpha^2 \quad (4)$$

Здесь  $\Delta n$  – изменение показателя преломления,  $L$  – длина периодической структуры,  $\lambda_r$  – длина волны генерируемого излучения,  $\Delta \alpha$  – амплитуда изменения усиления, обусловленного периодической пространственной структурой инверсии населенности.

Для определения  $\Delta n$ , вызванного иницированием в среде ТФР, воспользуемся соотношением [3]:

$$\Delta n = A_T \frac{E(t)}{I} \left( 1 - \exp \left( -\frac{t}{\tau_r} \right) \right), \quad (5)$$

где  $A_T = \left( \frac{dn}{dT} \right) \frac{2 \tau_p}{C \rho V_r} \left( 1 - f \frac{\lambda_p}{\lambda_r} \right)$ ,  $f$  – квантовый выход люминесценции,  $V_r$  – генерирующий объем красителя,  $\tau_p$  – время релаксации ТФР,  $C$  – теплоёмкость,  $\rho$  – плотность.

При выполнении численных исследований влияния ТФР на генерационные характеристики УКИ использовались параметры красителя родамин 6Ж: длина волны генерации – 570 нм, сечение усиления красителя –  $1,4 \cdot 10^{-16}$  см<sup>2</sup>, сечение поглощения красителя –  $2,4 \cdot 10^{-17}$  см<sup>2</sup>, показатель преломления раствора – 1,36, время жизни возбужденного состояния красителя – 5,9 нс, длина РОС-структуры – 1 см. Концентрация раствора родамина 6Ж варьировалась в пределах от  $C = 5 \cdot 10^{-4}$  до  $10^{-4}$  моль/л. Длительность импульсов накачки была выбрана равной 14 нс.

Рассчитано временное поведение плотности фотонов генерации  $q$  и населенности верхнего лазерного уровня  $n$  при изменении плотности мощности накачки  $\gamma$ , нормированной на величину порога, т. е.  $\gamma = I_{\text{н}}/I_{\text{пор}}$  (степень превышения порога).

Величины  $\tau_n$  и  $\tau_a$  изменяются в процессе генерации существенно различно. Величина  $\tau_n$  при наносекундной длительности возбуждения испытывает релаксационные колебания [4], а величина  $\tau_a$  за время действия накачки постоянно нарастает (рис. 1)

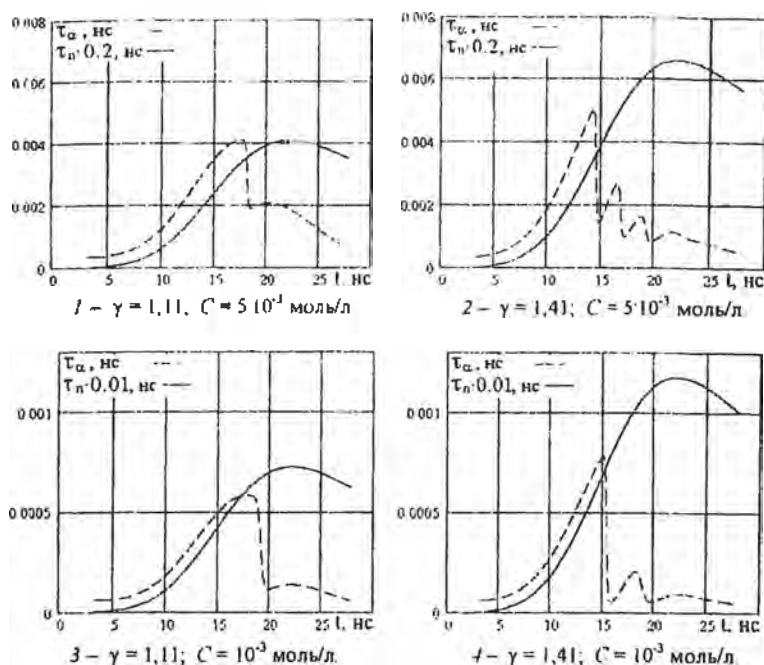


Рис. 1. Временные зависимости времени жизни фотона в резонаторе, соответствующего периодической структуре инверсии населённости -  $\tau_n$  и тепловой периодической структуре -  $\tau_a$  при величине превышения порога накачки  $\gamma = 1,11$  - 1 и 3 и при  $\gamma = 1,41$  - 2 и 4 для концентрации молекул красителя  $C = 5 \cdot 10^{-3}$  моль/л - 1 и 2 и при  $C = 10^{-3}$  моль/л - 3 и 4

$\tau_n \sim (\gamma E_{пор})^2$ , где  $E_{пор}$  - пороговая энергия накачки. Из рис. 1. видно, что при высокой концентрации красителя ( $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л), величина  $\tau_n$  почти пятикратно превышает  $\tau_a$  к моменту возникновения генерации. При малой же концентрации красителя в растворе величина  $\tau_n$  превосходит  $\tau_a$  более чем в 100 раз. Каждое резкое падение  $\tau_n$  соответствует

генерации УКИ, хотя при этом  $\tau_n$  достаточно велико. Генерация УКИ обусловлена соответствующим резким падением инверсии населённости, т.е. самомодуляцией усиления, а не добротности, поскольку  $\tau_n$  на генерацию УКИ не реагирует. Утверждение о том, что генерация УКИ обусловлена самомодуляцией добротности [4] справедливо в том случае, если  $\tau_n \ll \tau_{in}$ . Но поскольку ТФР в активной среде РОС-лазера присутствует практически всегда, то механизм генерации УКИ состоит в самомодуляции усиления развивающимся в активной среде излучением.

Результаты численных исследований позволили определить изменение длительности и мощности одиночных УКИ с учетом ТФР по отношению к случаю отсутствия ТФР (рис. 2 и 3), в зависимости от уровня возбуждения  $\gamma$ , соответственно.

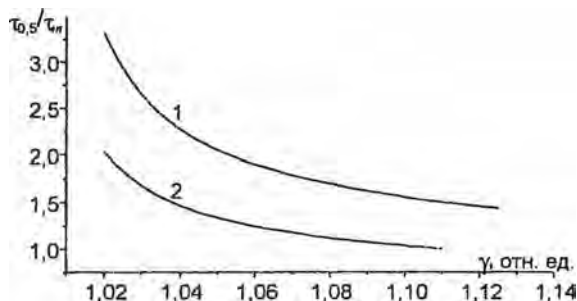


Рис. 2. Зависимость длительности одиночного УКИ  $\tau_{0,3}/\tau_n$ , генерируемого РОС-лазером, от превышения порога накачки  $\gamma$  с учетом ТФР – 1 и без учета ТФР – 2

С ростом уровня накачки длительность одиночного УКИ сокращается как при наличии ТФР, так и без нее. При наличии ТФР длительность одиночного УКИ в 1,5 раза больше (при  $\gamma = 1,11$ ), чем в случае её отсутствия. Уменьшение  $\gamma$  приводит к еще большему различию длительностей – в 1,65 раза (при  $\gamma = 1,02$ ). Длительность  $\tau_n$  при  $\gamma = 1,11$  и указанных параметрах красителя составляла 180 пс.

Мощность одиночных УКИ при наличии ТФР заметно увеличивается по сравнению со случаем её отсутствия (рис. 3) и это увеличение наибольшее при максимальном  $\gamma = 1,12$  и составляет 1,9 раза. Наличие заметно большей величины положительной обратной связи уве-

личивает эффект на ось энергодлины активной среды и тем самым увеличивает мощность импульсов.

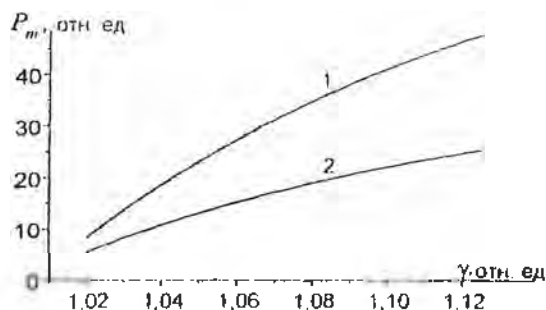


Рис. 3. Зависимость мощности одиночного УКИ  $P_m$ , генерируемого РОС-лазером, от превышения порога накачки  $\gamma$  с учетом ТФР - 1 и без учета ТФР - 2

Стремясь уменьшить влияние ТФР на длительность УКИ и тем самым получить более короткие импульсы, следует выбирать условия работы РОС-лазера с меньшей пороговой энергией возбуждения.

#### Литература

1. Генерация пикосекундных импульсов в голографическом РОС-лазере на красителях при наносекундном возбуждении / В.Ю. Курстак, А.Н. Рубинов, С.А. Рыжечкин, Т.Ш. Эфендиев // ЖТЭС. 1990. Т.52, №2. С. 202-206.
2. Ultrashort pulse generation by distributed feedback dye lasers / Temporal characteristics / Zs. Bor, A. Muller, B. Racz, F.P. Schafer // Appl. Phys. 1982. Vol. B27, № 1. P. 9-14.
3. Generation of picosecond impulses by dye laser with distributed feedback / S.S. Anufrik, V.Yu. Kurstak, A.N. Rubinov, T.Sh. Efendiev // High performance optical spectrometry. Proc. of the Int. Conf. Washington 1993. SPIE Vol. 1711. P. 215-224.
4. Bor Zs. Tunable picosecond pulse generation by an  $N_2$  laser pumped self Q-switched distributed-feedback dye laser // IEEE J. Quant. Electron. 1980. Vol. QE-16, № 5. P. 517-524.