

УДК 621.373 : 535

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ СУММАРНЫХ И РАЗНОСТНЫХ ЧАСТОТ

Волосов В. Д., Калинин А. Г.

Для процессов генерации суммарных и разностных частот в отрицательных одноосных нелинейных кристаллах типа KDP и LiJO₃ получены аналитические выражения для спектральной и угловой ширины синхронизма. Изучено влияние ширины спектра и угловой расходимости смешиваемых излучений на спектральный состав, угловое распределение и эффективность преобразования частоты в приближении заданного поля излучений.

Теоретически исследовался процесс квазистационарного смешения широкополосных расходящихся излучений (генерация суммарных и разностных частот) в нелинейных кристаллах.

Фазовая расстройка $\Delta = k_3 - (k_1 \pm k_2)$ процесса коллинеарного смешения ча-

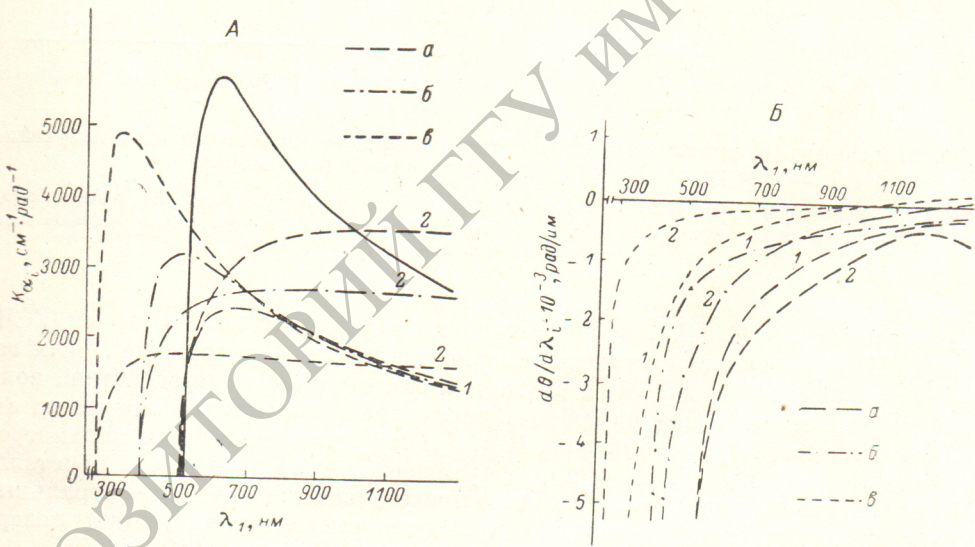


Рис. 1. Зависимость параметров K_{α_i} А и $\partial\theta/\partial\lambda_i$ Б от длины волны λ_1 при фиксированных значениях λ_2 (нм): а — 532, б — 694, в — 1064.

Сплошная кривая — процесс ГВГ. Цифра у кривой соответствует индексу $i=1, 2$.

стот $\omega_1 \pm \omega_2 = \omega_3$ ($\lambda_1^{-1} \pm \lambda_2^{-1} = \lambda_3^{-1}$) с углом синхронизма θ_0 представляется в виде разложения в ряд по малым отклонениям $\Delta\alpha_i$ и $\Delta\lambda_i$

$$\Delta = K_{\alpha_1} \Delta\alpha_1 \pm K_{\alpha_2} \Delta\alpha_2 + K_{\lambda_1} \Delta\lambda_1 \pm K_{\lambda_2} \Delta\lambda_2 + \dots \tag{1}$$

K_{α_i} и K_{λ_i} — частные производные фазовой расстройки Δ по соответствующим переменным

$$K_{\alpha_i} = \frac{\partial\Delta}{\partial\alpha_i}, \quad K_{\lambda_i} = \frac{\partial\Delta}{\partial\lambda_i}. \tag{2}$$

Посредством параметров K_{α_i} и K_{λ_i} определяются частные спектральные и угловые ширины синхронизма процесса коллинеарного смешения частот

$$\delta\alpha_i = \frac{5.56}{K_{\alpha_i} l}, \quad \delta\lambda_i = \frac{5.56}{K_{\lambda_i} l}. \quad (3)$$

Параметры K_{α_i} и K_{λ_i} связаны между собой через частные дисперсии направления коллинеарного синхронизма

$$K_{\lambda_i} = (K_{\alpha_i} \pm K_{\alpha_2}) \frac{\partial\theta}{\partial\lambda_i}. \quad (4)$$

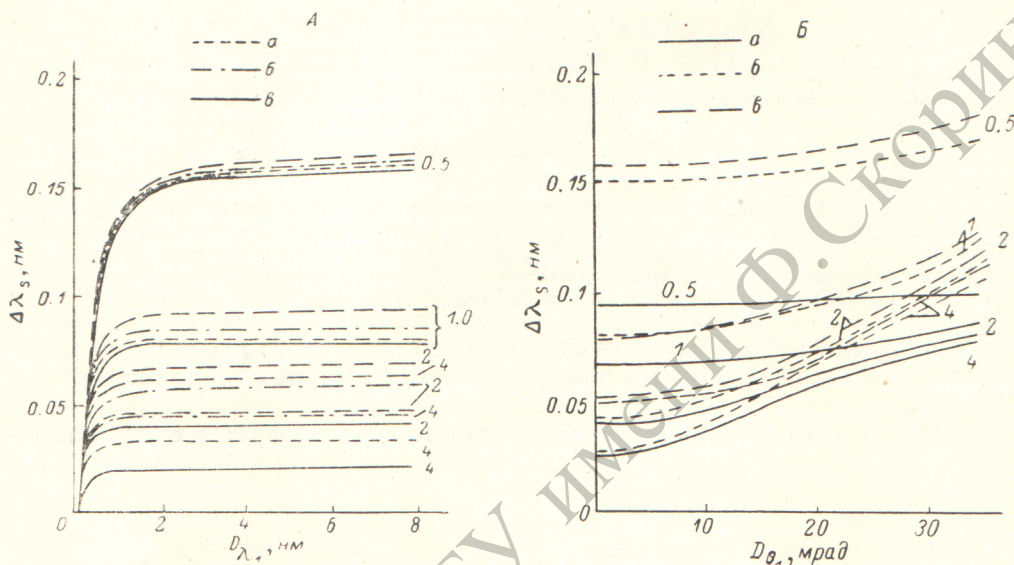


Рис. 2. Зависимость ширины спектра суммарной частоты от ширины спектра излучения лазера на красителе А и от его угловой расходимости В.

Параметры зависимостей: А: $D_{\theta_1} = D_{\theta_2} = 0$. Для остальных кривых $D_{\theta_2} = 0.58$ мрад; D_{θ_1} , мрад: 0.58 (а), 1.16 (б), 1.75 (в); Б: Для всех кривых $D_{\theta_2} = 0.58$ мрад; D_{λ_1} , нм: 0.5 (а), 2 (б), 8 (в). Число у кривой соответствует длине кристалла в см.

Для параметров K_{α_i} , K_{λ_i} и $\partial\theta/\partial\lambda_i$ при взаимодействии волн типа ooe (ГСЧ) и eoO (ГРЧ) получены аналитические зависимости (см. Приложение). Для oee и eoO взаимодействий при ГСЧ, а также для oee , eoO и eoO взаимодействий волн при ГРЧ указанные выше параметры рассчитывались численными методами на ЭВМ. В качестве примера на рис. 1, а, б приведены зависимости параметров K_{α_i} и $\partial\theta/\partial\lambda_i$ от длины волны λ_1 при фиксированном значении λ_2 в кристалле KDP ooe взаимодействия волн. В таблице представлены значения спектральных и угловых ширин синхронизма для процессов смешения излучения лазера на красителе ($\lambda_{10} = 560$ нм) и гармоник лазера на АИГ с неодимом.

Спектрально-угловое распределение интенсивности суммарной или разност-

Процесс	Кристалл и тип взаимодействия	Угол синхронизма	$\delta\alpha_i$, угл. мин.		$\delta\lambda_i$, нм	
			1	2	1	2
ГСЧ $\omega_{кр} + 2\omega$	KDP $o_1o_2e_3$	71°26'	9.17	8.70	0.34	0.32
ГСЧ $\omega_{кр} + \omega$	KDP $o_1e_2e_3$	57°30'	8.59	16.8	2.37	15.2
ГРЧ $\omega_{кр} - \omega$	KDP $e_1o_2o_3$	42°01'	2.86	5.24	2.56	37.1
ГРЧ $\omega_{кр} - \omega$	LiO ₃ $e_1o_2o_3$	27°49'	1.10	2.02	0.46	9.35

Примечание. $l_{кр} = 1$ см.

ной частоты в приближении заданных полей взаимодействующих волн описывается выражением

$$S_3(\omega, \alpha; l) = \sigma_3^2 l^2 \int \dots \int S_1(\omega', \alpha') S_2(\omega'', \alpha'') \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\Delta l}{2}\right) \delta(\omega - (\omega' \pm \omega'')) \times \\ \times \delta(\alpha - (\alpha' \pm \alpha'')) d\omega' d\omega'' d\alpha' d\alpha'', \quad (5)$$

где $S_i(\omega, \alpha)$ — спектрально-угловое распределение интенсивности возбуждающих излучений (стационарное во времени).

Численными методами по (5) рассчитаны спектральное и угловое распределения, а также эффективности преобразования в комбинационную частоту в кристаллах KDP и LiIO_3 в зависимости от расходимости D_{θ_i} и спектральных ширин D_{λ_i} возбуждающих излучений. Расчеты проводились для ситуаций экспериментального исследования процессов ГСЧ или ГРЧ лазера на красителе $\lambda_{10} = 560$ нм и квазимонохроматического лазера на АИГ или его второй гармоники $\lambda_{20} = 532$ нм и $\lambda'_{20} = 1064$ нм. Форма спектрального распределения излучения лазера на красителе и углового распределения обоих излучений считалась гауссовской

$$S_i(\omega, \theta) = S_{i0} \exp\left\{-4 \ln 2 \left[\frac{(\omega - \omega_{0i})^2}{D_{\omega_i}^2} + \frac{(\theta - \theta_{0i})^2}{D_{\theta_i}^2} \right]\right\}. \quad (6)$$

На рис. 2 показана зависимость ширины спектра суммарной частоты (по уровню интенсивности 0.5) от ширины

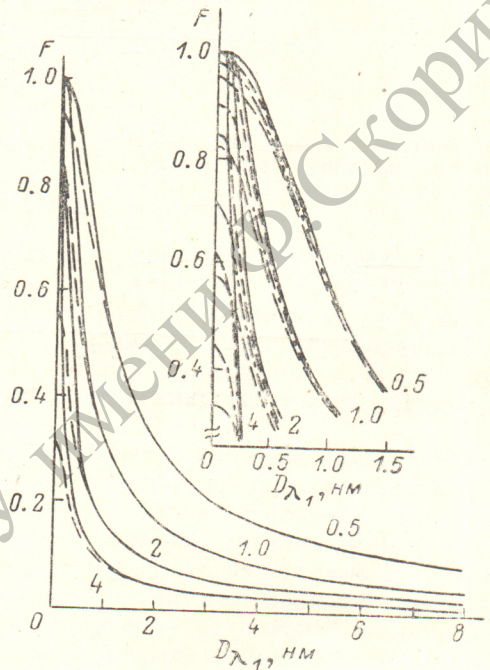


Рис. 3. Зависимость функции F от ширины спектра излучения лазера на красителе.

Обозначения те же, что на рис. 2, а.

рины спектра D_{λ_1} лазера на красителе а и от его расходимости D_{θ_1} — б.

Как видно из рис. 2, расходимость излучения существенным образом влияет на спектральную ширину преобразованного излучения, увеличивая ее. Зависимость ширины спектра преобразованного излучения от ширины спектра лазера на красителе имеет насыщение, причем величина D_{λ_1} , при которой наступает насыщение, и само значение $\Delta\lambda_s$ определяются спектральной шириной синхронизма $\delta\lambda_1$.

Интегральная интенсивность преобразованного излучения представляется в виде

$$W_3 = \sigma_3^2 l^2 W_1 W_2 F(D_{\lambda_1}, D_{\lambda_2}, D_{\theta_1}, D_{\theta_2}, l). \quad (7)$$

Здесь W_i — интегральные интенсивности смешиваемых излучений, σ_3 — коэффициент нелинейной связи, l — длина нелинейной среды. Функция F нормирована таким образом, что для смешения плоских монохроматических волн ее величина равна 1.

Зависимость функции F от ширины спектра лазера на красителе представлена на рис. 3. Из вида функции F следует, что расходимость излучений заметным образом влияет на эффективность преобразования в области малых ширин спектра лазера на красителе.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Приводятся формулы для параметров фазового синхронизма при коллинеарном смещении частот в отрицательных одноосных кристаллах.

Генерация суммарной частоты $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$, $\lambda_1^{-1} + \lambda_2^{-1} = \lambda_3^{-1}$. Фазовая расстройка при $o_1 o_2 e_3$ взаимодействии волн

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda_1} \left[\frac{n_{3o} n_{3e} (1 + \beta)}{\sqrt{(n_{3o}^2 - n_{3e}^2) \sin^2 \theta + n_{3e}^2}} - n_{1o} - \beta n_{2o} \right], \quad (1)$$

где $\beta = \lambda_1 / \lambda_2$, θ — угол между оптической осью и направлением волнового вектора суммарной частоты; n_{ji} — показатели преломления i -й волны, $i=1, 2, 3$; θ_0 — угол синхронизма, определяемый из условия $\Delta = 0$.

$$K_{\alpha_1} = \frac{2\pi n_{1o} n_{3o}^{-1} n_{3e}^{-1} (1 + \beta)^{-2} \lambda_1^{-1} \times}{\times \sqrt{[n_{3o}^2 (1 + \beta)^2 - (n_{1o} + \beta n_{2o})^2] [(n_{1o} + \beta n_{2o})^2 - n_{3e}^2 (1 + \beta)^2]}}, \quad (2)$$

$$K_{\alpha_2} = K_{\alpha_1} \beta n_{2o} / n_{1o}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial \lambda_i} = & \beta^{(i-1)} \left\{ \frac{\partial n_{3o}}{\partial \lambda} (n_{1o} + \beta n_{2o}) n_{3e} [(n_{1o} + \beta n_{2o})^2 - (1 + \beta)^2 n_{3e}^2] + \right. \\ & \left. + \frac{\partial n_{3e}}{\partial \lambda} (n_{1o} + \beta n_{2o}) n_{3o} [n_{3o}^2 (1 + \beta)^2 - (n_{1o} + \beta n_{2o})^2] + \right. \\ & \left. + \frac{\partial n_{oi}}{\partial \lambda} n_{3o} n_{3e} (1 + \beta)^4 (n_{3e}^2 - n_{3o}^2) + (-1)^i n_{3o} n_{3e} (n_{3o}^2 - n_{3e}^2) (n_{2o} - n_{1o}) (\beta + 1)^3 \beta / \lambda_1 \right\} \times \\ & \times \{ (1 + \beta)^2 (n_{1o} + \beta n_{2o}) (n_{3o}^2 - n_{3e}^2) \} \times \\ & \times \sqrt{[n_{3o}^2 (1 + \beta)^2 - (n_{1o} + \beta n_{2o})^2] [(n_{1o} + \beta n_{2o})^2 - n_{3e}^2 (1 + \beta)^2]}^{-1}, \quad i = 1, 2. \quad (4) \end{aligned}$$

Значения производных $\partial n_j / \partial \lambda$ вычисляются на j -й длине волны.