

Г.В. Ланский

Алгоритмы оценок угловой ширины фазового синхронизма

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 6.12.2005 г.

Представлены конкретизированные алгоритмы оценок угловой ширины синхронизма для различных процессов преобразований частоты, исключающие необходимость использования различных алгоритмов для оценок угловой ширины вне и в условиях некритичного 90°-го синхронизма. Приведены данные об угловой ширине синхронизма для генерации второй гармоники CO₂-лазера в кристаллах ZnGeP₂ при температуре 20 и 200 °С, оцененные с использованием предлагаемого и традиционных алгоритмов.

Введение

В случае квадратичного приближения выражение для определения угловой ширины синхронизма для трехчастотных процессов преобразования частоты в нелинейных кристаллах, представленное через первую и вторую производные волновой расстройки Δk от угла синхронизма θ , имеет вид

$$\Delta k(\delta\theta) = \Delta k(0) + \frac{\partial(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)} \Delta\theta + \frac{1}{2} \frac{\partial^2(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)^2} \Delta\theta^2. \quad (1)$$

Согласно принятой методике [1] второй производной в выражении (1) пренебрегают при углах, далеких от некритичного 90°-го синхронизма, а ширину синхронизма определяют с учетом только первой производной. За ее значение принимают тот диапазон углов, в пределах которых волновая расстройка $\Delta k = 0,886\pi/L$, где L — длина кристалла, а мощность преобразованного по частоте излучения падает на половину от максимального значения, имеющего место при точном согласовании фаз $\Delta k(0) = 0$.

Для условий некритичного 90°-го фазового синхронизма и близких к нему первая производная обращается в нуль, а оценка угловой ширины синхронизма ведется с учетом только второй производной. При этом длины волн перехода от одного алгоритма оценок к другому остаются неопределенными, появляется проблема «сшивания» результатов оценок по первому и второму алгоритмам. Алгоритмы оценок угловой ширины синхронизма, представленные в данной статье, позволяют устранить указанные недостатки.

Алгоритмы оценок угловой ширины синхронизма для генерации второй гармоники

Отклонение от точного угла фазового синхронизма обозначим как $\delta\theta = \theta - \theta_{pm}$, где θ — текущее

значение угла, а θ_{pm} — угол синхронизма, и преобразуем выражение (1) к виду квадратного уравнения

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)^2} \Delta\theta^2 + \frac{\partial(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)} \Delta\theta - 0,886 \frac{\pi}{L} = 0. \quad (2)$$

Из его решения определим угловую полуширину синхронизма:

$$\Delta\theta = \frac{\sqrt{1,772\pi\alpha + L\beta^2}}{\sqrt{L\alpha}} - \frac{\beta}{\alpha}, \quad (3)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{\partial^2(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)^2}; \quad \beta = \frac{\partial(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)}.$$

Для случая генерации второй гармоники (ГВГ) в положительном кристалле по первому типу взаимодействия *ee-o* получим

$$\Delta k = 4\pi[n_o(\lambda_2) - n_e(\theta, \lambda_1)]/\lambda_1; \quad (4)$$

$$\beta(\lambda_1, \theta) = \frac{2\pi \sin(2\theta) [n_o^2(\lambda_1) - n_e^2(\lambda_1)] n_e^3(\lambda_1, \theta)}{\lambda n_o^2(\lambda_1) n_e^2(\lambda_1)}; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \alpha(\lambda_1, \theta) = & \{ \pi n_e^5(\lambda_1, \theta) [n_e^2(\lambda_1) - n_o^2(\lambda_1)] \times \\ & \times \{ [n_e^2(\lambda_1) - n_o^2(\lambda_1)] [\cos(4\theta) - 5] - \\ & - 4 \cos(2\theta) [n_e^2(\lambda_1) + n_o^2(\lambda_1)] \} \} / 2\lambda n_e^4(\lambda_1) n_o^4(\lambda_1). \end{aligned} \quad (6)$$

Для случая ГВГ в положительном кристалле по второму типу взаимодействия *oe-o* имеем

$$\Delta k = 2\pi[n_o(\lambda_1) + n_e(\theta, \lambda_1) - 2n_o(\lambda_2)]/\lambda_1; \quad (7)$$

$$\beta(\lambda_1, \theta) = \frac{\pi \sin(2\theta) [n_e^2(\lambda_1) - n_o^2(\lambda_1)] n_e^3(\lambda_1, \theta)}{\lambda n_o^2(\lambda_1) n_e^2(\lambda_1)}; \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \alpha(\lambda_1, \theta) = & \{ \pi n_e^5(\lambda_1, \theta) [n_e^2(\lambda_1) - n_o^2(\lambda_1)] \times \\ & \times \{ 4 \cos(2\theta) [n_e^2(\lambda_1) + n_o^2(\lambda_1)] - \\ & - [n_e^2(\lambda_1) - n_o^2(\lambda_1)] [\cos(4\theta) - 5] \} \} / 4\lambda n_e^4(\lambda_1) n_o^4(\lambda_1). \end{aligned} \quad (9)$$

Для случая ГВГ в отрицательном кристалле по первому $oo-e$ и второму типам взаимодействия будем соответственно иметь

$$\Delta k = 2\pi[n_o(\lambda_1) - n_e(\theta, \lambda_2)]/\lambda_2; \quad (10)$$

$$\beta(\lambda_2, \theta) = \frac{\pi \sin(2\theta)[n_o^2(\lambda_2) - n_e^2(\lambda_2)]n_e^3(\lambda_2, \theta)}{\lambda_2 n_o^2(\lambda_2) n_e^2(\lambda_2)}; \quad (11)$$

$$\alpha(\lambda_2, \theta) = \pi n_e^5(\lambda_2, \theta)[n_e^2(\lambda_2) - n_o^2(\lambda_2)] \times \\ \times \{[n_e^2(\lambda_2) - n_o^2(\lambda_2)][\cos(4\theta) - 5] - \\ - 4 \cos(2\theta)[n_e^2(\lambda_2) + n_o^2(\lambda_2)]\} / 4\lambda_2 n_e^4(\lambda_2) n_o^4(\lambda_2); \quad (12)$$

$$\Delta k = \pi[n_e(\theta, \lambda_1) + n_o(\lambda_1) - 2n_e(\theta, \lambda_2)]/\lambda_2; \quad (13)$$

$$\beta(\lambda_1, \lambda_2, \theta) = \pi \sin(2\theta) \times \\ \times \left(\frac{n_e^3(\lambda_1, \theta)[n_e^2(\lambda_1) - n_o^2(\lambda_1)]}{\lambda_1 n_o^2(\lambda_1) n_e^2(\lambda_1)} - \frac{n_e^3(\lambda_2, \theta)[n_e^2(\lambda_2) - n_o^2(\lambda_2)]}{\lambda_2 n_o^2(\lambda_2) n_e^2(\lambda_2)} \right); \quad (14)$$

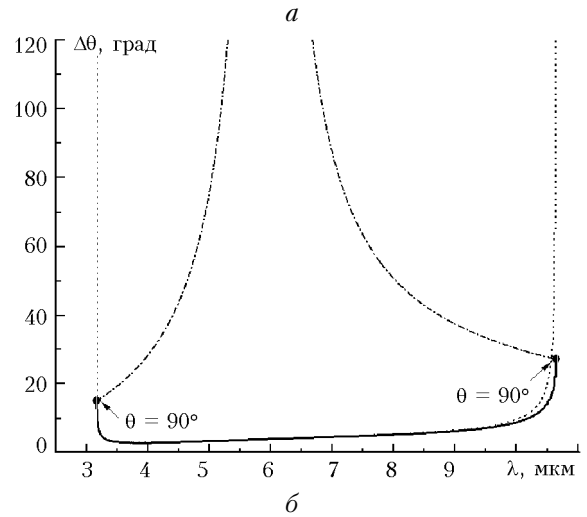
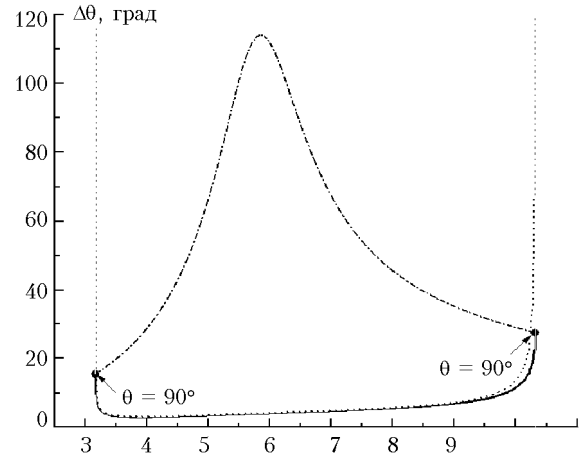
$$\alpha(\lambda_1, \lambda_2, \theta) = \frac{\pi}{4} \{ n_e^5(\lambda_1, \theta) \{ 4 \cos(2\theta) [n_e^4(\lambda_1) - n_o^4(\lambda_1)] - \\ - [n_e^2(\lambda_1) - n_o^2(\lambda_1)]^2 [\cos(4\theta) - 5] \} / \lambda_1 n_e^4(\lambda_1) n_o^4(\lambda_1) \} - \\ - \frac{\pi}{4} \{ n_e^5(\lambda_2, \theta) \{ 4 \cos(2\theta) [n_e^4(\lambda_2) - n_o^4(\lambda_2)] - \\ - [n_e^2(\lambda_2) - n_o^2(\lambda_2)]^2 [\cos(4\theta) - 5] \} / \lambda_2 n_e^4(\lambda_2) n_o^4(\lambda_2) \}. \quad (15)$$

Результаты оценок

На рисунке в качестве примера приведены результаты оценок по предлагаемым алгоритмам для генерации второй гармоники в кристаллах $ZnGeP_2$ с учетом температурных зависимостей показателей преломления [2].

Из рисунка видно, что угловая ширина синхронизма, рассчитанная по традиционной методике с учетом только второй производной, дает принципиальную ошибку оценок в спектральных областях, далеких от условий некритичного синхронизма. Оценки по традиционной методике с учетом первой производной дают существенно завышенные результаты при условиях синхронизма, близких к некритичному 90° -му в районе длинноволновой границы условий синхронизма, а оценки по предложенному алгоритму при этом самоограничены и в наибольшей степени (с точностью до $0,3^\circ$) соответствуют полученным и известным экспериментальным результатам. В частности, при генерации второй гармоники излучения CO_2 -лазера с длиной волны $\lambda = 10,25$ мкм при температуре кристалла $20^\circ C$ угол синхронизма $\theta_{pm} = 82,97^\circ$. Оценки угловой ширины синхронизма по традиционной методике в этом случае дают угловую ширину синхронизма $\Delta\theta_{trad} = 26,78^\circ$, а при применении предложенного алгоритма она определится как $\Delta\theta_{new} = 16,88^\circ$. Различие в оценках на $9,9^\circ$ может существенно из-

менить параметры разрабатываемых устройств прикладной оптики с применением рассматриваемого генератора второй гармоники.



Полная угловая ширина синхронизма по полувысоте амплитуды (FWHM) для генерации второй гармоники в кристалле $ZnGeP_2$ длиной 1 мм по I ($ee-o$) типу взаимодействий при температуре $20^\circ C$ (а) и $200^\circ C$ (б) по традиционным (пунктирная — с учетом только первой, а штрихпунктирная — с учетом только второй производной) и по предлагаемому алгоритмам (сплошная линия)

Отметим, что при расчетах по традиционной методике выбор одной из используемых формул [1] производится в зависимости от результатов сравнения полученных значений угловых ширин синхронизма. При генерации второй гармоники других линий излучения CO_2 -лазера в кристаллах $ZnGeP_2$ и при других температурах расхождение в результатах оценок существенно не изменяется. Так, при температуре кристалла $200^\circ C$ для генерации второй гармоники линии излучения на длине волны $10,58$ мкм $\theta_{pm} = 83,67^\circ$. Рассчитанные значения угловой ширины синхронизма составляют $\Delta\theta_{trad} = 26,85^\circ$ и $\Delta\theta_{new} = 17,22^\circ$ соответственно, а расхождение результатов оценок остается практически неизменным и равным $9,63^\circ$. Аналогичным образом могут быть конкретизированы алгоритмы оценок

угловых ширин синхронизма для других процессов параметрического преобразования частоты.

Заклучение

Предложена простая методика для определения конкретизированных алгоритмов угловых ширин синхронизма для различных процессов параметрического преобразования частот. Продемонстрированное ее применение к процессу генерации второй гармоники в положительных нелинейных кристаллах ZnGeP_2 показало увеличение точности оценок на величину до 10° .

G. V. Lanskii. Algorithms for estimation of phase matching angular bandwidth.

Concretized algorithms for estimation of angular bandwidth for different frequency conversion processes are presented, wich exclude a necessity of using different algorithms for estimation of angular width under conditions of not critical 90° – phase matching and without such conditions. Data on angular bandwidth for CO_2 laser second harmonic generation in ZnGeP_2 crystals at 20 and 200 °C estimated with traditional and developed algorithms are shown.

Автор статьи выражает благодарность за частичную финансовую поддержку данных исследований РФФИ (грант № 05-02-98005-р_обь_а) и Совету по грантам Президента РФ для ведущих научных школ (грант № НШ-1008. 2003.5).

1. *Dmitriev V.G., Gurzadyan G.G., Nikogosyan D.N.* Handbook on nonlinear optical crystals. Springer, 1999. 413 p.
2. *Bhar G.C., Gosh G.C.* Temperature dependent phase-matched nonlinear optical devices using GdSe and ZnGeP_2 // IEEE J. Quantum Electron. 1980. V. QE-16. N 3. P. 838–843.