

П.П. Гейко, Е.П. Коцубинская

Новый нелинейный кристалл $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ для преобразования частоты излучения лазеров ближнего ИК-диапазона

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

Поступила в редакцию 1.09.2005 г.

Впервые установлены коэффициенты дисперсионных уравнений Сельмейера новых перспективных нелинейных кристаллов смешанного типа $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ ($0 \leq x < 1$) класса симметрии $\text{mm}2$ при различном отношении смешения x . Рассчитаны и построены диаграммы фазового синхронизма для генерации второй гармоники и параметрической генерации в главных плоскостях кристалла. Перестроенные кривые для параметрической генерации света с накачкой излучением Nd : YAG-лазера перекрывают весь длинноволновый диапазон прозрачности кристаллов вплоть до 13,2 мкм. Найдены спектральные зависимости допустимых значений вариаций отношения смешения x .

Введение

При решении практических задач, связанных с высокоэффективным преобразованием частоты лазерного излучения в нелинейных кристаллах, к ним предъявляется целый ряд жестких требований. В ИК-диапазоне спектра, где набор реально доступных кристаллов очень ограничен [1], особенно важны поиск и создание подходящих нелинейных материалов, имеющих высокое оптическое качество, большую нелинейность, высокий порог разрушения и т.д. В последнее время резко возрос интерес к Li-содержащим сульфидам и селенидам в качестве нелинейно-оптических сред, прежде всего LiInS_2 , LiInSe_2 , LiGaS_2 , LiGaSe_2 [2–5].

Однако все упомянутые кристаллы в общем случае не позволяют выполнить условия не критичного фазового синхронизма для любой выбранной заранее длины волны накачки. Одним из путей оптимизации характеристик нелинейных элементов является применение кристаллов твердых растворов, в которых за счет изменения химического состава соединения возникает возможность вариации оптических параметров. Тройные халькогенидные кристаллы с высокой нелинейной квадратичной восприимчивостью находят применение для преобразования частоты излучения от видимого до среднего ИК-диапазона, в том числе в пико- и фемтосекундной лазерной технике. Ранее показано, что получение твердых растворов двух полупроводниковых кристаллов типа $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$ [6] или $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}_2^{\text{VI}}$ и $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$ [7] является перспективным способом создания кристаллов с широкой областью прозрачности и управляемым двулучепреломлением. Среди кристаллов нецентросимметричных сульфидов и селенидов также известно достаточно много пар изоструктурных соединений, способных к образованию

твердых растворов при частичном замещении S на Se [8].

Эти кристаллы также позволяют реализовать не критичный фазовый синхронизм, достигаемый выбором отношения смешения. Ранее сообщалось о разработке различных лазерных устройств, использующих не критичный фазовый синхронизм в кристаллах $\text{CdGe}(\text{As}_x\text{P}_{1-x})_2$, $\text{AgGa}_x\text{In}_{1-x}\text{S}_2$ [9], $\text{AgGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$ [10]. В данной работе исследованы дисперсионные свойства смешанного кристалла $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$, являющегося твердым раствором кристаллов LiGaS_2 : LiGaSe_2 .

1. Физические свойства

Кристаллы LiGaS_2 и LiGaSe_2 принадлежат к точечной группе симметрии C_{2v} ($\text{mm}2$) и имеют структуру типа вюрцита. Параметры решетки LiGaS_2 : $a = 652$, $b = 787$ и $c = 624$ пм и отличаются по данным различных авторов [5,11]. Параметры решетки LiGaSe_2 : $a = 683$, $b = 824$ и $c = 654$ пм [12]. Увеличение параметров элементарной ячейки кристаллов LiGaSe_2 по сравнению с параметрами кристаллов LiGaS_2 связано с заменой аниона S^{2-} более крупным анионом Se^{2-} . На рис. 1 приведен фрагмент кристаллической решетки, основными элементами в структурах LiGaS_2 и LiGaSe_2 служат тетраэдры $\text{LiS}_4(\text{Se}_4)$ и $\text{GaS}_4(\text{Se}_4)$. Так же, как и LiInS_2 совместно с LiInSe_2 [13], кристаллы LiGaS_2 и LiGaSe_2 образуют семейство изоструктурных соединений, способных образовывать твердые растворы с различными соотношениями S/Se. Диапазоны оптического пропускания, измеренные по уровню поглощения $\alpha = 5 \text{ см}^{-1}$, составляют для LiGaS_2 0,32–11,6, а для LiGaSe_2 0,37–13,2 мкм соответственно [5, 12]. С увеличением относительного содержания селена, как более тяжелого элемента, чем сера, коротковолновая граница спектра про-

зрачности смещается в область больших длин волн. Этого и следовало ожидать, поскольку рассматриваемые соединения являются полупроводниками с ширинами запрещенных зон $E = 3,76 \div 4,15$ эВ в LiGaS_2 [5, 11] и $3,34 \div 3,65$ эВ в LiGaSe_2 [12, 14].

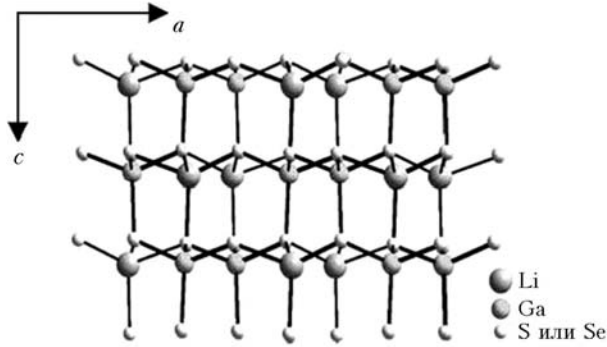


Рис. 1. Кристаллическая структура соединений LiInS_2 или LiInSe_2

Нелинейные коэффициенты, оцененные на $\lambda = 2,53$ мкм, по отношению к коэффициенту $d_{36} = 13,9$ пм/В для кристалла AgGaS_2 имеют значения 5,8–10 для LiGaS_2 и 9,9–18,2 пм/В для LiGaSe_2 соответственно [12]. Кристаллы LiGaSe_2 превосходят по этому параметру кристаллы LiInS_2 на четверть, однако уступают кристаллам LiInSe_2 на 20% [13]. Этого и следовало ожидать, поскольку известно, например, что в тройных халькогенидах при замене атомов серы на атомы селена или теллура область прозрачности смещается в длинноволновую часть спектра, при этом также увеличивается нелинейная восприимчивость с увеличением массы халькогена [15]. Выражения для эффективного нелинейного коэффициента для исходных и смешанных кристаллов совпадают и имеют вид $d_{\text{ef}}(eo-e) = -(d_{24}\sin^2\varphi + d_{15}\cos^2\theta)$ в плоскости XY , $d_{\text{ef}}(oe-o) = -d_{24}\sin\theta$ в плоскости YZ , $d_{\text{ef}}(oo-e) = -d_{31}\sin\theta$ и $d_{\text{ef}}(eo-e) = d_{15}\sin\theta$ в плоскости XZ соответственно.

2. Условия фазового синхронизма

Фазовое согласование волн, взаимодействующих по типу $(oo \rightarrow e)$, достигается при одновременном выполнении условий

$$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda_3},$$

$$\frac{n_1^o}{\lambda_1} + \frac{n_2^o}{\lambda_2} = \frac{n_3^e(\theta)}{\lambda_3} = \frac{n_3^o n_3^e}{\lambda_3 \sqrt{(n_3^o \sin\theta)^2 + (n_3^e \cos\theta)^2}}, \quad (1)$$

являющихся, по сути, законами сохранения энергии и квазиимпульса, подобные выражения можно записать и для других типов взаимодействия. Здесь λ_i — длины волн взаимодействующих излучений, мкм; n_i — показатель преломления на λ_i ; θ — угол синхронизма.

Дисперсионные зависимости показателей преломления для исходных кристаллов LiGaS_2 и LiGaSe_2 в трех главных плоскостях измерялись в работе [12]. Отметим, что главные значения показателей преломления n_y и n_z очень близки и имеют точки пересечения на длинах волн $\sim 6,5$ мкм для LiGaS_2 и ~ 8 мкм для LiGaSe_2 . Следуя общепринятому соглашению [16], полагаем, что $n_x < n_y < n_z$, тогда оптические оси лежат в главной плоскости XZ и оптическая система координат соотносится с кристаллографической системой как $XYZ \leftrightarrow bac$. Для твердых растворов показатели преломления могут быть найдены по следующей формуле:

$$n_i(x) = [(n_i^A)^2 x + (1-x)(n_i^B)^2]^{1/2}, \quad i = X, Y, Z. \quad (2)$$

Здесь А — LiGaS_2 и В — LiGaSe_2 . Полученные данные затем аппроксимировались в области 0,5–11,5 мкм методом наименьших квадратов уравнениями Сельмейера вида

$$n^2 = A + B/(\lambda^2 - C) - D\lambda^2. \quad (3)$$

Определенные таким образом константы приведены в таблице. Кроме того, коэффициенты Сельмейера находились методом пропорционального усреднения соответствующих коэффициентов для исходных кристаллов LiGaS_2 и LiGaSe_2 . Результаты в обоих случаях практически совпали.

Коэффициенты Сельмейера для кристалла $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$

x	n	A	B	C	D
0	n_x	4,32683	0,103091	0,030988	0,003702
	n_y	4,47891	0,120426	0,034616	0,003512
	n_z	4,49388	0,117745	0,033700	0,003777
0,2	n_x	4,46118	0,10810	0,06083	0,00343
	n_y	4,62533	0,13108	0,05297	0,00324
	n_z	4,64036	0,12865	0,05140	0,00349
0,4	n_x	4,59533	0,11704	0,07431	0,00316
	n_y	4,77143	0,14379	0,06305	0,00296
	n_z	4,78655	0,14139	0,06126	0,00320
0,5	n_x	4,66224	0,12250	0,07853	0,00302
	n_y	4,84441	0,15055	0,06654	0,00282
	n_z	4,85958	0,14813	0,06469	0,00305
0,6	n_x	4,72903	0,12776	0,08181	0,00289
	n_y	4,91736	0,15749	0,06938	0,00267
	n_z	4,93258	0,15503	0,06750	0,00291
0,8	n_x	4,86252	0,13930	0,08659	0,00261
	n_y	5,06319	0,17174	0,07372	0,00239
	n_z	5,07853	0,16919	0,07179	0,00261
1	n_x	4,99592	0,15130	0,08989	0,00233
	n_y	5,20896	0,18632	0,07687	0,00211
	n_z	5,22442	0,18365	0,07493	0,00232

Вырожденным случаем трехчастотных взаимодействий является генерация второй гармоники (ГВГ). На рис. 2 показаны кривые синхронизма

для ГВГ при различном содержании S/Se в главных плоскостях XU и XZ , в плоскости YZ двулучепреломление очень мало и ГВГ возможна в узких спектральных диапазонах 2,1–2,3 и 4,8–7,81 мкм.

Как следует из рис. 2, изменяя отношение смещения, можно реализовать ГВГ в области 2,1–7,81 мкм в плоскости XU ($\varphi = 43\text{--}90^\circ$) и 1,5–11,72 мкм в плоскости XZ ($\theta = 0\text{--}57^\circ$). Также можно достичь перестраиваемый по длине волны не критичный (90°) фазовый синхронизм путем выбора отношения смещения. Параметрическая генерация света (ПГС) в кристаллах $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ с накачкой излучением Nd : YAG-лазера представляет особый интерес.

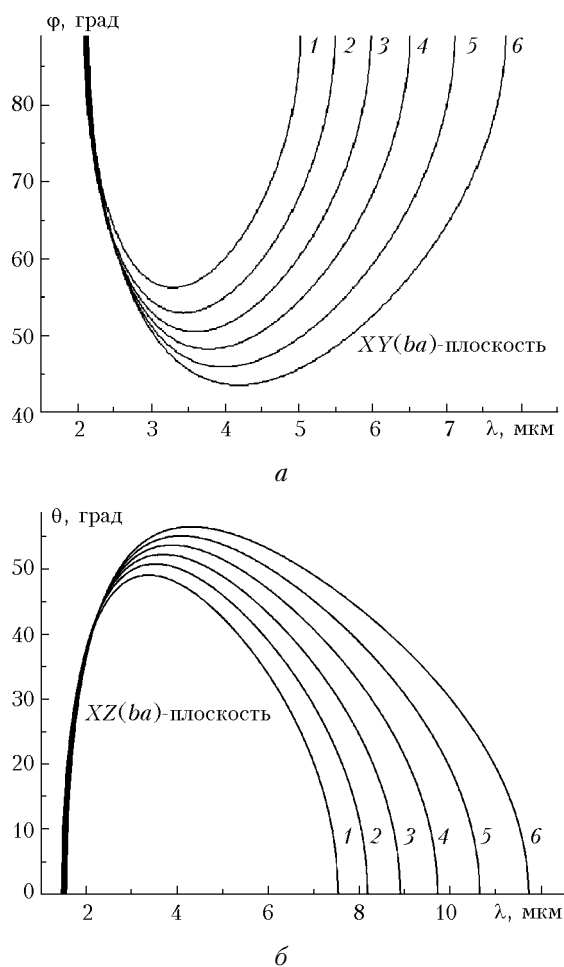


Рис. 2. Кривые фазового синхронизма для ГВГ в $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ при $x=0$ (кривая 1), 0,2 (2), 0,4 (3), 0,6 (4), 0,8 (5), 1,0 (6) в главных плоскостях XU (а) и XZ (б)

Для оценки общих тенденций поведения угловых перестроенных кривых параметрической генерации мы рассчитали зависимости возбуждаемых частот (длин волн) от угла между волновым вектором накачки и оптической осью (рис. 3).

Перестроенные кривые не имеют разрывов и позволяют получить ПГС в длинноволновой области прозрачности кристалла 1,2–13 мкм ($\varphi = 30\text{--}90^\circ$) – плоскость XU ; 1,2–13 мкм ($\theta = 40\text{--}55,8^\circ$) –

плоскость XZ ; 1,98–2,8 мкм ($\theta = 0\text{--}90^\circ$) – плоскость YZ .

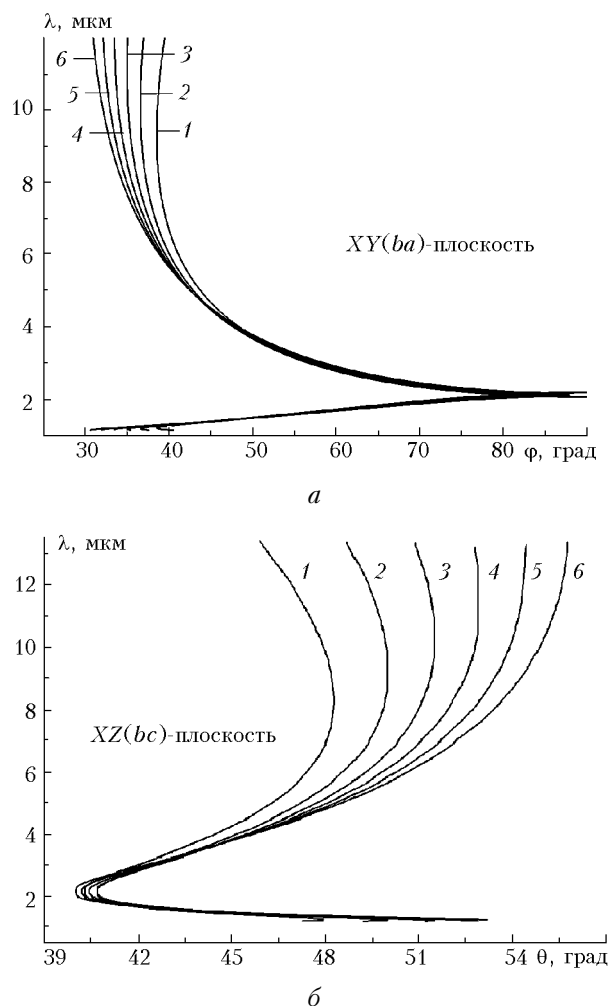


Рис. 3. Перестроенные кривые фазового синхронизма для ПГС с накачкой излучением с длиной волны $\lambda_p = 1,06$ мкм при $x = 0$ (кривая 1), 0,2 (2), 0,4 (3), 0,6 (4), 0,8 (5), 1,0 (6) в главных плоскостях XU (а) и XZ (б)

3. Допустимые вариации отношения смещения

В реальных преобразователях частоты невозможно достичь точного фазового согласования, т.е. выполнить условие $\Delta k = 0$ для взаимодействующих волн, и поэтому необходимо знать угловую $\Delta\theta$, спектральную $\Delta\lambda$ и температурную ΔT ширины синхронизма. Они позволяют оценить допустимую расходимость излучения, спектральную ширину линии источника накачки, а также случайное или систематическое изменение температуры кристалла – преобразователя частоты. Кроме того, для смешанных кристаллов возникает необходимость в учете вариаций отношения смещения x прежде всего вдоль направления распространения, поскольку отношение смещения может сильно изменяться в процессе выращивания кристаллов в направлении

роста [17]. Тогда в линейном приближении Δk можно представить в виде разложения:

$$\Delta k = \frac{\partial(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)}\delta\theta + \frac{\partial(\Delta k)}{\partial\lambda}\Delta\lambda + \frac{\partial(\Delta k)}{\partial T}\Delta T + \frac{\partial(\Delta k)}{\partial x}\Delta x; \quad (4)$$

где

$$\frac{\partial(\Delta k)}{\partial x} = \frac{2\pi}{\lambda_1} \frac{\partial n_1}{\partial x} + \frac{2\pi}{\lambda_2} \frac{\partial n_2}{\partial x} - \frac{2\pi}{\lambda_3} \frac{\partial n_3}{\partial x}, \quad \lambda_1 \geq \lambda_2 > \lambda_3; \quad (5)$$

k – волновой вектор; $\delta\theta$ – угловая расстройка от направления синхронизма; T – температура.

Уменьшение вдвое мощности преобразованного излучения происходит при волновой расстройке $\Delta k = 0,886\pi/L$ [1], где L – длина кристалла. С учетом этого можно оценить соответствующие ширины синхронизма:

$$\Delta\theta = 1,772\pi \left\{ L \frac{\partial(\Delta k)}{\partial(\delta\theta)} \right\}^{-1}, \quad \Delta\lambda = 1,772\pi \left\{ L \frac{\partial(\Delta k)}{\partial\lambda} \right\}^{-1},$$

$$\Delta T = 1,772\pi \left\{ L \frac{\partial(\Delta k)}{\partial T} \right\}^{-1}, \quad \Delta x = 1,772\pi \left\{ L \frac{\partial(\Delta k)}{\partial x} \right\}^{-1}. \quad (6)$$

В этой работе нас интересовало прежде всего спектральное поведение допустимых, т.е. приводящих к 50%-м потерям эффективности преобразования, вариаций отношения смещения Δx^+ и Δx^- . Результаты соответствующих расчетов для кристалла длиной 1 см в главной плоскости кристалла XU приведены на рис. 4.

Из рис. 4,а видно, что для случая ГВГ имеется длина волны 2,45 мкм, которая является не критичной по отношению к вариациям отношения смещения, что полностью соответствует результатам, представленным на рис. 2. Для случая ПГС (рис. 4,б) с накачкой излучением с длиной волны 1,06 мкм поведение спектральной зависимости допустимого отношения смещения подобно ГВГ и содержит не критичную точку, отвечающую $\lambda = 4,1$ мкм. Итак, приемлемый диапазон вариаций отношения смещения определяется структурой кривых фазового синхронизма, а также длины волны накачки.

Для преобразования частоты сверхкоротких импульсов важнейшим параметром, определяющим эффективность, является групповая длина L_g , увеличение которой пропорционально уменьшению групповой расстройки участвующих во взаимодействии импульсов. Групповая длина взаимодействия L_g для ГВГ определялась по выражению $L_g = \tau_p / |\Delta u^{-1}|$, где $\Delta u^{-1} = u_1^{-1} - u_2^{-1} = c^{-1}(n_1 - \lambda_1 \partial n_1 / \partial \lambda_1 - n_2 + \lambda_2 \partial n_2 / \partial \lambda_2)$ – групповая расстройка; τ_p – длительность импульса, $u_{1,2}$ и $\lambda_{1,2}$ – групповые скорости, показатели преломления и длины волн накачки и второй гармоники [18]. Несмотря на то что $L_g \rightarrow \infty$ только на фиксированных длинах волн, для практической реализации фемтосекундных преобразователей частоты могут быть использованы кристаллы $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ с конечными, но доста-

точно большими групповыми длинами, составляющими единицы миллиметров.

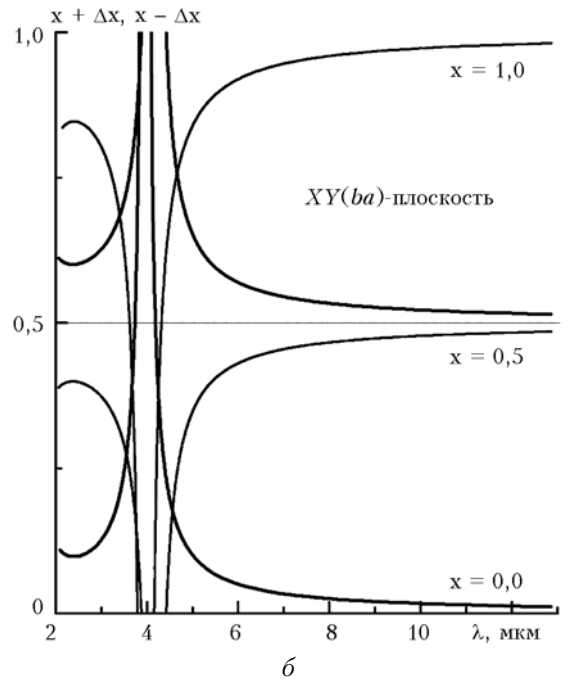
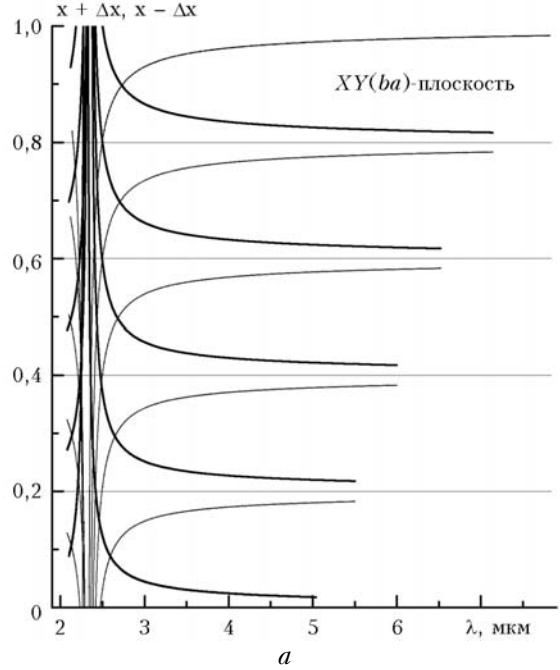


Рис. 4. Спектральные зависимости ширины отношения смещения, приводящие к 50%-м потерям эффективности ГВГ (а) и ПГС с накачкой излучением Nd : YAG-лазера (б) в плоскости XU

Заключение

На основании проведенных исследований и систематизации известных данных впервые для смешанных нелинейных кристаллов $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ определены коэффициенты дисперсионных уравнений Сельмейера. Найдены условия фазового

синхронизма для любых трехчастотных взаимодействий, ПГС с накачкой твердотельными лазерами и ГВГ как функции процентного состава селена и серы. В отдельных случаях путем варьирования отношения смешения x можно достигать синхронизма, близкого к некритичному. Таким образом, исключается влияние эффекта сноса излучения и, как следствие, возрастает эффективность преобразования. При накачке излучением фемтосекундных лазеров ($\lambda = 0,7\div 1,32$ мкм) в направлении фазового синхронизма выполняются и условия группового синхронизма. Сравнительный анализ известных физических характеристик кристаллов для нелинейно-оптических взаимодействий в ИК-диапазоне спектра показывает, что кристаллы $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ являются одной из наиболее многообещающих нелинейных сред для создания параметрических генераторов света с накачкой твердотельными лазерами ближнего ИК-диапазона и для преобразования частоты фемтосекундного излучения в ИК-диапазон.

1. Dmitriev V.G., Gurzadyan G.G., Nikogosyan D.N. Handbook of Nonlinear Optical Crystals. New-York; Berlin: Springer-Verlag, 1999. 413 p.
2. Fossier S., Salain S., Mangin J., Bidault O., Thenot I., Zondy J.-J., Chen W., Rotermund F., Petrov V., Petrov P., Henningsen J., Yeliseyev A., Isaenko L., Lobanov S., Balachminaite O., Sleky G., Sirutkaitis V. Optical, vibrational, thermal, electrical, damage and phase-matching properties of lithium thioindate // J. Opt. Soc. Amer. B. 2004. V. 21. N 11. P. 1981–2007.
3. Андреев Ю.М., Гейко Л.Г., Гейко П.П., Гречин С.Г. Оптические свойства нелинейного кристалла LiInS_2 // Квант. электрон. 2001. Т. 31. № 7. С. 647–648.
4. Badikov V.V., Chizhikov V.I., Efimenko V.V., Efimenko T.D., Panyutin V.L., Shevyrdyaeva G.S., Sherbakov S.I. Optical properties of lithium indium selenide // Opt. Mater. 2003. V. 23. N 5. P. 575–581.
5. Isaenko L., Yeliseyev A., Lobanov S., Titov A., Petrov V., Zondy J.-J., Krinitsin P., Merkulov A., Vedenyapin V., Smirnova J. Growth and properties of LiGaX_2 ($X = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) single crystals for nonlinear optical applications in the mid-IR // Cryst. Res. Technol. 2003. V. 38. N 3–5. P. 379–387.
6. Mikkelsen J.C., Kildal H. Phase studies, crystal growth, and optical properties of $\text{CdGe}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ and $\text{AgGa}(\text{Se}_{1-x}\text{S}_x)_2$ solid solutions // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. N 1. P. 426–431.

7. Andreev Yu.M., Geiko P.P., Badikov V.V., Bhar G.C., Das S., Chaudhury A.K. Nonlinear optical properties of defect tetrahedral crystals HgGa_2S_4 and AgGaGeS_4 and mixed chalcopyrite crystal $\text{Cd}_{(0.4)}\text{Hg}_{(0.6)}\text{Ga}_2\text{S}_4$ // Nonlinear Opt. 2002. V. 29. N 1. P. 19–27.
8. Лазарев В.Б., Куш З.З., Переш Е.Ю., Семрад Е.Е. Сложные халькогениды в системах $\text{A}^{\text{I}}\text{-B}^{\text{III}}\text{-C}^{\text{VI}}$. М.: Металлургия, 1993. 240 с.
9. Samanta L.K., Ghosh D.K., Bhar G.C. Optical nonlinearity, band structure parametric, and refractive indices of some mixed chalcopyrite crystals // Phys. Rev. B. 1986. V. 33. N 6. P. 4145–4148.
10. Андреев Ю.М., Батулин И.В., Гейко П.П., Гусамов А.И. Удвоение частоты CO_2 лазеров в новом нелинейном кристалле $\text{AgGa}_x\text{In}_{1-x}\text{Se}_2$ // Квант. электрон. 1999. Т. 29. № 1. С. 66–70.
11. Куш З.З., Лоцак В.В., Переш Е.Ю., Семрад Е.Е. Свойства монокристаллов LiGaS_2 // Неорган. матер. 1989. Т. 25. № 12. С. 1959–1962.
12. Petrov V., Yeliseev A., Isaenko L., Lobanov S., Tito A.V., Zondy J.-J. Second harmonic generation and optical parametric amplification in the mid-IR with orthorhombic biaxial crystals LiGaS_2 and LiGaSe_2 // Appl. Phys. B. 2004. V. 78. P. 543–546.
13. Andreev Yu.M., Atuchin V.V., Geiko P.P., Popov V.V., Lanskii G.V., Trocenko N.C. New mixed $\text{LiIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ crystals for frequency conversion of IR lasers // Eleventh Int. Sympos. on Atmospheric and Ocean Optics / Atmosph. Phys.: Proc. SPIE. 2005. V. 5743. P. 420–427.
14. Isaenko L., Vasilyeva I., Merkulov A., Yeliseyev A., Lobanov S. Growth of new nonlinear crystals LiMX_2 ($M = \text{Al}, \text{In}, \text{Ga}; X = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) for the mid-IR optics // J. Cryst. Growth. 2005. V. 275. N 1–2. P. 217–223.
15. Кабанов М.В., Андреев Ю.М., Бадиков В.В., Гейко П.П. Параметрические преобразователи частоты на основе новых нелинейных кристаллов // Изв. вузов. Физ. 2003. Т. 46. № 8. С. 85–94.
16. Roberts D.A. Simplified characterization of uniaxial and biaxial nonlinear optical crystal: a plea for standardization of nomenclature and conventions // IEEE J. Quantum Electron. 1992. V. 28. N 10. P. 2057–2074.
17. Huang J.-Z., Ren D.-M., Qu Y.-C., Hu X.-Y., Andreev Y., Geiko P., Badikov V., Lanskii G. Nonlinear Optical Properties of mixed $\text{Cd}_{0.35}\text{Hg}_{0.65}\text{Ga}_2\text{S}_4$ crystal // Acta Physica Sinica. 2004. V. 53. N 11. P. 3761–3765.
18. Лукашев А.А., Магницкий С.А., Прялкин В.И. Дисперсия групповых синхронизмов в нелинейно-оптических преобразователях частоты сверхкоротких световых импульсов // Изв. РАН. Сер. физ. 1995. Т. 59. № 12. С. 123–129.

P.P. Geiko, E.P. Kotsubinskaya. A new nonlinear crystal $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ for radiation frequency conversion of near-IR-lasers.

The coefficients of Sellmeier's dispersion equations for the new promising nonlinear mixed crystals like $\text{LiGa}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ ($0 \leq x < 1$) belonging to mm2 point group have been found for the first time. The phase matching diagrams for the second harmonics generation and optical parametric oscillation for the principal crystal plane have been calculated and plotted. Tuning curves for optical parametric oscillator pumped by Nd : YAG-laser cover long-wave part of crystal transparency spectrum $\sim 13,2$ μm . The spectral dependences of acceptable composition ratio variations of a mixed nonlinear crystal have been developed.