

Оптические свойства нелинейного кристалла LiInS_2

Ю.М.Андреев*, Л.Г.Гейко*, П.П.Гейко*, С.Г.Гречин**

Исследованы линейные и нелинейные оптические свойства, а также лучевая стойкость монокристалла LiInS_2 . Впервые представлены результаты расчета условий фазового синхронизма.

Ключевые слова: нелинейные кристаллы, преобразование частоты, фазовый синхронизм.

Несмотря на широкую спектральную область прозрачности, достаточно высокую нелинейную восприимчивость и удовлетворительное двулучепреломление, полупроводниковые нелинейные кристаллы LiInS_2 [1–3] не привлекли внимания специалистов. Уступая оксидным кристаллам видимого и ближнего ИК диапазонов в лучевой стойкости, а многим кристаллам среднего ИК диапазона и в коэффициенте нелинейной восприимчивости, они не могут претендовать на лидирующее положение ни в одном участке спектра. Трудности выращивания качественных образцов приемлемых размеров явились дополнительным сдерживающим фактором. Они же не позволили оценить преимущества кристаллов LiInS_2 перед кристаллами среднего ИК диапазона, которые может дать наличие более легких катионов Li. Однако технологические успехи последнего времени [4, 5] стимулируют проведение исследований с целью изучения физических свойств, определения роли и места кристаллов LiInS_2 в нелинейной оптике.

Двухосные отрицательные кристаллы LiInS_2 относятся к точечной группе симметрии $mm2$. Они не гигроскопичны, имеют плотность 3.5 г/см^3 , температуру плавления 880°C , твердость по Моосу 3–4 [1]. В наших исследованиях использовались прозрачные или слегка желтоватые образцы кристаллов относительно высокого оптического качества, выращенные методом Бриджмена–Стокбаргера, размером до $4 \times 4 \times 4 \text{ мм}$. Область прозрачности неокрашенных кристаллов длиной 3.6 мм по уровню 0.1 лежит в пределах 0.4–12.5 мкм, а по уровню 0.5 – в диапазоне 0.5–11 мкм (рис.1).

В области максимальной прозрачности 1.0–8.0 мкм коэффициент оптических потерь $\alpha \approx 0.1 - 0.25 \text{ см}^{-1}$, а на длинах волн CO_2 -лазеров 9.2–10.8 мкм $\alpha = 1.1 - 2.3 \text{ см}^{-1}$. Коротковолновая граница спектра прозрачности для кристалла длиной 3.5 мм по уровню $\alpha = 200 \text{ см}^{-1}$ определена как 330–334 нм при температуре кристалла $T = 80 \text{ К}$ и как 342–343 нм – при $T = 300 \text{ К}$ для различных поляризаций оптического излучения [4]. Длинновол-

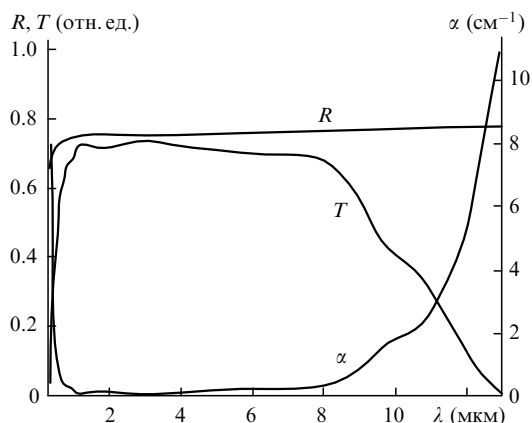


Рис.1. Спектры френелевских потерь R , прозрачности T и коэффициента поглощения α монокристалла LiInS_2 длиной 3.6 мм.

новую границу по тому же уровню α можно определить как близкую к 13.2 мкм.

Дисперсионные зависимости показателей преломления определялись методом наименьшего отклонения с помощью призм и рассчитывались с погрешностью $\sim 10^{-3}$ для уравнения Селлмейера вида

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

Коэффициенты Селлмейера представлены в табл.1 для диапазона 0.45–11.5 мкм в кристаллооптической системе координат. Существенных различий между измеренными и описанными в работе [1] показателями преломления не обнаружено.

Коэффициенты тензора нелинейной восприимчивости второго порядка $d_{31} = 6.2 \text{ пм/В}$, $d_{32} = 5.4 \text{ пм/В}$ и $d_{33} = 9.8 \text{ пм/В}$ (погрешность определения $\pm 15\%$) оказались ниже соответствующих известных значений примерно на 80% [1, 5]. Они получены из сравнительных измерений эффективности ГВГ методом тонкого клина с ис-

Табл.1. Коэффициенты Селлмейера.

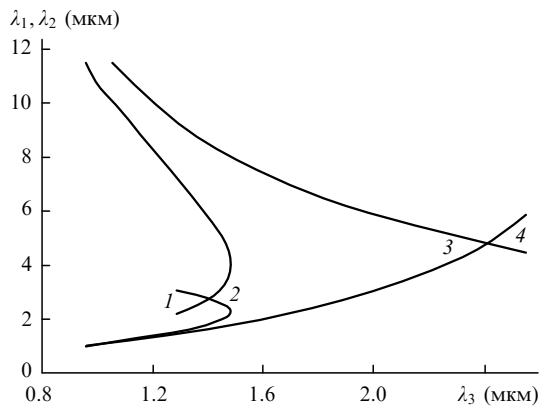
Кристалло-оптические оси	A	B	C	D
y	4.418222	0.1254461	0.0657432	0.0028850
x	4.559534	0.1403701	0.069233	0.0028731
z	4.59206	0.1410887	0.069287	0.0030589

*Институт оптического мониторинга, Россия, 634055 Томск, Академический просп., 10/3; e-mail: andreev@iom.tsc.ru

**НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э.Баумана, Россия, 107105 Москва, 2-я Бауманская ул., 5; e-mail: gega@mx.bmstu.ru

Табл.2. Длины волн переходов по диаграмме направлений фазового синхронизма ГВГ.

Переход	Тип взаимодействия	λ (нм)	Ось
00–10	ssf	1573.5	y
10–30	ssf	1731.9	z
30–31	sff	2294.8	y
31–33	sff	2638.3	z
33–31	sff	5104.7	z
31–30	sff	5785.7	y
30–10	ssf	7945.2	z
10–00	ssf	8498.5	y

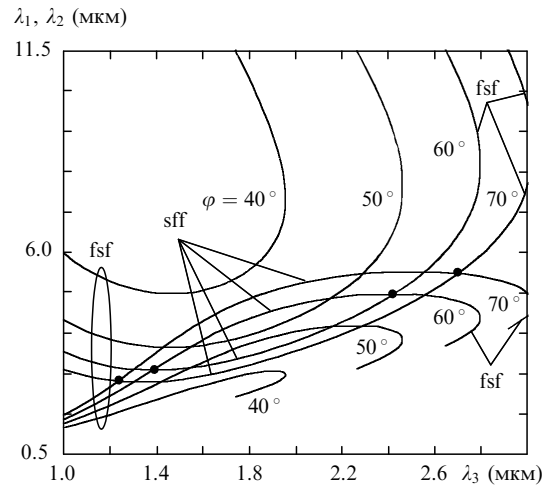
Рис.2. Спектральная зависимость длин волн группового синхронизма для волн s_1 и f_3 (1), s_2 и f_3 (2), f_1 и f_3 (3) и f_2 и f_3 (4) при взаимодействиях sff-типа (1, 4) и fsf-типа (2, 3) (индексы 1, 2, 3 соответствуют номеру волны).

пользованием импульсно-периодического СО-лазера [1]. Коэффициенты $d_{14} = d_{36}$ опорных клиньев из ZnGeP_2 принимались равными 75 пм/В. Отметим, что измеренный и расчетный углы синхронизма совпали с погрешностью не более 0.3° (направление фазового синхронизма определяется стандартным способом углами θ и φ [6]).

Лучевая стойкость определялась для лидирующих пиков импульсов излучения ТЕА CO_2 -лазера ($\lambda = 9.55$ мкм) длительностью 36 ± 2 нс, содержащих не менее 85 % общей энергии импульса. Порог разрушения составил не менее 180 МВт/см².

Анализ коэффициентов тензора нелинейной восприимчивости показывает, что для sff-типа взаимодействия эффективный нелинейный коэффициент отличен от нуля в плоскости xz при $\theta < V_z$ (V_z – угол наклона к оптической оси z). Для sff- и fsf-типов взаимодействия эффективный нелинейный коэффициент отличен от нуля в плоскости xz при $\theta > V_z$ и в плоскостях xu и uz при любых θ . Эффективный коэффициент нелинейности максимален для второго типа взаимодействия в направлении оси u .

Фазосинхронные свойства ГВГ для кристалла LiInS_2 удобно представить с помощью диаграммы направлений фазового синхронизма в двухосных кристаллах [6]. В табл.2 приведены номера переходов с одной проекции на другую по диаграмме, взятой из работы [6], для которых направление фазового синхронизма совпадает с одной из оптических осей. Также в табл.2 приведены длины волн основного излучения, на которых имеют место эти переходы, и названия осей. Из этих результатов следует, что

Рис.3. Перестроенные по длине волны характеристики в плоскости xu . Точки отделяют решения для sff- и fsf-типов взаимодействия.

ни на одной из длин волн не реализуется синхронизм в направлении оси x . «Петлевой» характер переходов по диаграмме направлений фазового синхронизма при изменении длины волны показывает, что в кристалле должен существовать частный случай не критичного по длине волны синхронизма – групповой синхронизма.

На рис.2 представлены зависимости длин волн λ_1 и λ_2 от длины волны λ_3 ($\lambda_3^{-1} = \lambda_1^{-1} + \lambda_2^{-1}$), для которых в направлениях фазового синхронизма fsf- и sff-типов в плоскости xu выполняется условие группового синхронизма. Эти результаты показывают, что преобразование частоты (ГВГ, генерация суммарной и разностной частот) фемтосекундных импульсов может быть реализовано в широком диапазоне длин волн. В частности, кристаллы LiInS_2 являются единственными известными кристаллами для преобразования частоты фемтосекундных лазеров трехмикронного диапазона. Перестроенные по длине волны характеристики в плоскости xu при разных углах φ представлены на рис.3 и свидетельствуют о возможном преимуществе кристалла LiInS_2 по совокупности его параметров перед другими известными кристаллами при ГВГ лазеров трехмикронного диапазона.

В заключение следует отметить, что спектр прозрачности, нелинейные свойства и двулучепреломление монокристаллов LiInS_2 позволяют рассматривать их как перспективные кристаллы для преобразования частоты фемтосекундных лазеров, в том числе как единственные известные на сегодняшний день преобразователи частоты фемтосекундных эрбиевых лазеров трехмикронного диапазона. Результаты расчета условий синхронизма получены с использованием справочно-расчетного пакета прикладных программ LID-SHG (www.bmstu.ru/~lid).

- Boyd G.D., Kasper H.M., McFee J.H. *J. Appl. Phys. Letts*, **44**, 2808 (1973).
- Negran T.J., Kasper H.M., Glass A.M. *Mat. Res. Bull.*, **8**, 743 (1973).
- Kamijoh T., Kuriyama K. *J. Cryst. Growth*, **46**, 801 (1979).
- Isaenko L., Yelisseyev A., Zondy J.J., Payne S. *Proc. of Asian Conf. on Crystal Growth* (Sendai, Japan, 2000, p.144).
- Isaenko L., Vasilieva I., Yelisseyev A., Labanov S., Malakhov V., Dovlitova L., Zondy J.J., Kavun I. *J. Cryst. Growth*, **218**, 318 (2000).
- Гречин С.Г., Гречин С.С., Дмитриев В.Г. *Квантовая электроника*, **30**, 377 (2000).