

ГВГ излучения фемтосекундного лазера на хром-форстерите в режиме группового синхронизма взаимодействующих волн

В.М.Гордиенко*, А.А.Иванов**, А.А.Подшивалов*, В.И.Прялкин*

Проанализирована возможность использования группового синхронизма взаимодействующих волн в нелинейно-оптических кристаллах при удвоении частоты излучения фемтосекундного лазера на хром-форстерите. Показано, что условие точного группового синхронизма можно реализовать в частично дейтерированном кристалле CDA, а также в кристалле LBO при соответствующей настройке по полярному и азимутальному углам. Экспериментально исследована ГВГ излучения хром-форстеритового лазера с длительностью импульса 130 фс в частично дейтерированных кристаллах CDA разной длины.

Ключевые слова: генерация второй гармоники, групповой синхронизм, фемтосекундный хром-форстеритовый лазер, кристаллы CDA и LBO.

Фемтосекундные лазерные системы на основе форстерита, легированного хромом, в последнее время находят все более широкое применение [1–3]. Очевидно, что преобразование частоты излучения таких систем позволит значительно расширить их возможности. Как известно, при ГВГ фемтосекундных импульсных лазеров одновременное выполнение условий фазового и группового синхронизмов позволяет достичь предельных эффективностей преобразования без искажения временной огибающей импульса второй гармоники [4].

Целью настоящей работы является поиск кристаллов, в которых возможна ГВГ излучения хром-форстеритового лазера в режиме группового синхронизма. В работе [5] было показано, что реализация таких условий возможна в ближнем и среднем ИК диапазонах длин волн при использовании в качестве преобразователя различных нелинейно-оптических кристаллов.

На основании данных, приведенных в [5], для ГВГ излучения хром-форстеритового лазера ($\lambda = 1.23 - 1.27$ мкм) перспективными являются следующие кристаллы: RbH₂AsO₄ (RDA), ND₄D₂PO₄ (DADP), CsH₂AsO₄ (CDA), CsD₂AsO₄ (DCDA) и LiB₃O₅ (LBO). Используя уравнения Селлмейера [6], можно определить направления синхронизма для ГВГ первого типа в указанных кристаллах и рассчитать групповую длину взаимодействия. Последнюю в соответствии с [5] определим как

$$L_{gr} = \frac{\tau_p}{|\Delta u_{12}^{-1}|},$$

где

$$\Delta u_{12}^{-1} = \frac{1}{u_1} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{c} \left(n_1 - \lambda_1 \frac{\partial n_1}{\partial \lambda_1} - n_2 + \lambda_2 \frac{\partial n_2}{\partial \lambda_2} \right)^{-1}$$

– групповая расстройка; $u_{1,2}$, $n_{1,2}$ и $\lambda_{1,2}$ – групповые скорости, показатели преломления и длины волн накачки и второй гармоники соответственно; τ_p – длительность падающего на кристалл импульса.

Результаты расчета для импульсов основного излучения длительностью 100 фс приведены в табл.1; здесь же указаны угловая ширина синхронизма $\Delta\theta$, угол сноса ρ лучевых векторов взаимодействующих волн, эффективная нелинейность d_{eff}^2/n^3 и длина волны λ_{gr} , для которой выполняется групповой синхронизм. Для двухосного кристалла LBO результаты приведены для направления синхронизма, лежащего в главной плоскости $\varphi = 0$.

Как видно из табл.1, групповая длина для ГВГ хром-форстеритового лазера (в отличие от таковой для фемтосекундного лазера на титан-сапфире), в силу дисперсионных характеристик показателей преломления кристаллов в данной области спектра, достигает примерно сантиметра. Особо следует отметить, что среди пар недейтерированный кристалл–дейтерированный выделяется пара CDA–DCDA, длины волн группового синхронизма в которой соответственно меньше (1.21 мкм) и больше (1.339 мкм) длины волны хром-форстеритового лазера. Очевидно, что изменением степени дейтерирования кристалла CDA можно «настроиться» на точный групповой синхронизм ГВГ хром-форстеритового лазера.

Для проведения экспериментальных исследований нами были изготовлены пять преобразователей частоты длиной 1.5, 3.6, 5.2, 8.0 и 14 мм из кристалла DCDA со

Табл.1. Параметры ГВГ для импульсов длительностью 100 фс излучения с $\lambda = 1.24$ мкм.

Кристалл	I_{gr} (мм)	λ_{gr} (мкм)	θ (°)	$\Delta\theta$ (мрад)	ρ (мрад)	d_{eff}^2/n^3 (10^{26} М/В)
RDA	6.9	1.19	48.8	1.5	23.3	2.5
DADP	7.5	1.17	36.6	1.3	27.4	1.9
CDA	12.3	1.21	75.4	5.5	6.4	4.0
DCDA	5.3	1.34	69.1	4.7	6.8	3.8
LBO	9.2	1.30	87.3 ($\varphi = 0$)	15.1	3.3	17.5

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119899 Москва, Воробьевы горы
**Центр фотохимии РАН, Россия, 117421 Москва, ул. Новаторов, 7а

Поступила в редакцию 28 ноября 2000 г., после доработки – 19 февраля 2001г.

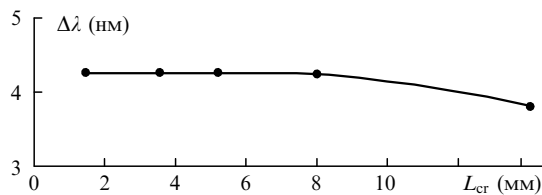


Рис.1. Зависимость ширины спектра второй гармоники излучения хром-форстеритового лазера от длины преобразователя на кристалле DCDA.

степенью дейтерирования η , равной 56.7%. Измерения ГВГ проводились с использованием излучения хром-форстеритового лазера, который имел следующие параметры: длительность импульса 130 фс, ширина спектра 16.7 нм, $\lambda = 1.24$ мкм, средняя мощность 50 мВт, частота повторения импульсов 100 МГц. Излучение фокусировалось в кристалл линзой с фокусным расстоянием 40 см, что обеспечивало диаметр перетяжки 300 мкм и интенсивность $I = 5.4$ МВт/см². Спектр второй гармоники измерялся оптическим многоканальным анализатором со спектральным разрешением 0.3 нм, длительность импульса определялась из автокорреляционной функции (разрешение 5 фс).

Результаты измерений приведены на рис.1, где представлена зависимость ширины спектра второй гармоники от длины кристалла-преобразователя. Видно, что ширина спектра второй гармоники (и, соответственно, длительность импульса) практически не зависит от длины кристалла вплоть до $L_{cr} = 8$ мм, а в кристалле DCDA длиной 14 мм происходит сужение спектра второй гармоники примерно на 10%. На рис.2 даны огибающие спектра второй гармоники, полученной в кристаллах длиной 8 и 14 мм. Здесь же дана огибающая для второй гармоники, полученной в кристалле LiIO₃ длиной 10 мм (этот кристалл также использовался в качестве удвоителя частоты излучения хром-форстеритового лазера в работе [7]).

Из полученных результатов следует, что в кристаллах DCDA с $\eta = 56.7\%$ условия группового синхронизма точно не выполняются, и для их достижения необходимо использовать кристаллы с меньшей степенью дейтерирования. Оценки показывают, что в предположении линейной зависимости длины волны группового синхронизма от степени дейтерирования кристалла последняя должна составлять примерно 23%. Однако даже при неоптимальной степени дейтерирования кристаллов возможно эффективное удвоение частоты фемтосекундных импульсов лазера на хром-форстерите сравнительно невысокой мощности. Расчет нелинейной длины (при $L_{cr} = L_{NL}$ имеем $\eta = 50\%$ для излучения с однородным пространственным профилем и $\eta = 30\%$ для излучения с гауссовым распределением) для ГВГ излучения хром-форстеритового лазера в кристалле CDA, проведенный согласно [8],

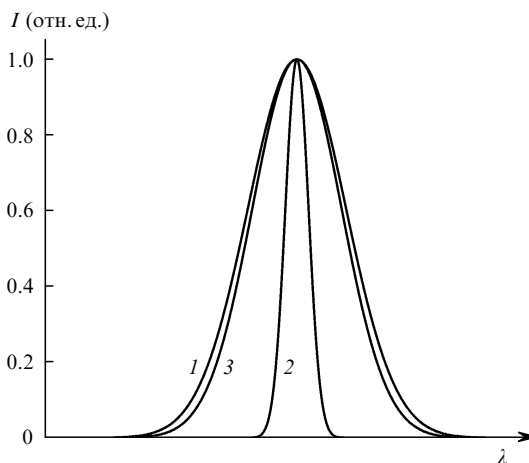


Рис.2. Спектр второй гармоники хром-форстеритового лазера при удвоении в кристаллах DCDA (1, 3) и LiIO₃ (2) при $L_{cr} = 8$ (1), 10 (2) и 14 мм (3).

показал, что она составляет 1.67 см при интенсивности излучения 100 МВт/см², тогда как длина дисперсионного расплывания для импульсов накачки и второй гармоники длительностью 100 фс превышает 8 см.

В добавление к вышеизложенному также отметим, что весьма перспективным преобразователем частоты фемтосекундного хром-форстеритового лазера является кристалл трибората лития. Как отмечалось в работе [5], в двухосных кристаллах возможна «настройка» на групповой синхронизм при «движении» по поверхности направлений фазового синхронизма. Наши расчеты показывают, что такая настройка возможна при удвоении излучения хром-форстеритового лазера в кристалле LBO. Подробные результаты расчетов и экспериментов будут опубликованы отдельно.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 00-02-17269).

1. Иванов А.А., Камалов В.Ф., Лифанов А.П., Лукасен Дж., Минков Б.И., Слободчиков Е.В. *Квантовая электроника*, **20**, 1039 (1993).
2. Liu X., Qian L., Wise F., Zhang Z., Itatani T., Sugaya T., Nakagawa T., Torizuka K. *Optics Letts*, **23**, 5 (1998).
3. Shcheslavsky V., Noak F., Petrov V., Zhavoronkov N. *Appl. Optics*, **38**, 3294 (1999).
4. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. *Оптика фемтосекундных лазерных импульсов* (М., Наука, 1988).
5. Лукашев А.А., Магницкий С.А., Прялкин В.И. *Изв. РАН. Сер. физич.*, **59**, № 12, 123 (1995).
6. Dmitriev V.G., Gurzadyan G.G., Nikogosyan D.N. *Handbook of nonlinear optical crystals* (Berlin, Springer, 1997, v.64).
7. Sennaroglu A., Pollock C.R., Nathel H. *IEEE J. Quantum Electron.*, **30**, 1851 (1994).
8. Шен И.Р. *Принципы нелинейной оптики* (М., Наука, 1989).