

На правах рукописи

Вьюнышев Андрей Михайлович

НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ
В НЕРЕГУЛЯРНЫХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУРАХ ТЕТРАБОРАТА СТРОНЦИЯ

01.04.05 – оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Красноярск – 2009

Работа выполнена в Институте Физики им. Л. В. Киренского СО РАН

Научные руководители: доктор физико-математических наук,
профессор **Архипкин В. Г.**

кандидат физико-математических наук
Александровский А. С.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор **Геллер Ю. И.**

кандидат физико-математических наук
Сорокин А. В.

Ведущая организация: Иркутский филиал Института Лазерной физики
СО РАН
(г. Иркутск)

Защита состоится “ _____ ” _____ 2009 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 003.055.01 в Институте физики им. Л. В. Киренского СО РАН по адресу: 660036, г. Красноярск, Академгородок 50, стр. 38.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики им. Л. В. Киренского СО РАН.

Автореферат разослан “ _____ ” _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

Втюрин А. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Расширение спектрального диапазона лазерного излучения является актуальной задачей современной лазерной физики. Особую важность представляет получение когерентного излучения в области вакуумного ультрафиолета, в том числе излучения фемтосекундной длительности. Выбор нелинейных сред в этой области невелик, поскольку фундаментальный край поглощения ограничивает использование хорошо изученных к настоящему времени эффективных нелинейных кристаллических сред в указанной области спектра. Генерация излучения в газах осуществляется за счет нелинейностей более высокого порядка, что в совокупности с малой концентрацией активных частиц требует значительных плотностей мощности основного излучения. Использование газовых сред в качестве нелинейно-оптических преобразователей сопряжено с многочисленными трудностями, что существенно ограничивает их практическое применение. Для эффективного нелинейно-оптического преобразования наносекундных импульсов в кристаллических средах необходимым и достаточным условием является сочетание ненулевой квадратичной нелинейности оптически прозрачного кристалла с наличием углового синхронизма. Выполнение этого условия затруднено в области длин волн короче 200 нм, особенно для импульсов фемтосекундной длительности [1].

Кристалл тетрабората стронция (SBO) известен достаточно давно [2]. Данный кристалл имеет область прозрачности вплоть до 125 нм [3], при этом его нелинейные коэффициенты самые высокие среди кристаллов прозрачных в дальней ультрафиолетовой области спектра. Однако малое двупреломление тетрабората стронция означает отсутствие углового синхронизма в таком процессе, как генерация на суммарной частоте. В таких случаях наиболее приемлемым путем достижения эффективного нелинейно-оптического преобразования является осуществление квазифазового синхронизма [4], реализация которого требует наличия регулярной доменной структуры. Такая структура может быть получена, например, путем переполаризации сегнетоэлектрического кристалла внешним электрическим полем. В настоящее время нет достоверной информации, подтверждающей сегнетоэлектрическую природу тетрабората стронция.

В ИФ СО АН выполнен цикл работ по нелинейной оптике пространственно-модулированных сред, в частности, обнаружено возникновение второй гармоники в кристалле $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$ при его переходе в несоразмерную фазу [5]. Исследована угловая зависимость ГВГ в кристалле селенида цинка [6], содержащем двойниковую структуру с размером двойников порядка длины когерентности, причем отмечалась нерегулярность толщины двойников, приводящая к широкому спектру векторов обратной решетки. Недавно в Институте физики им Л.В.

Киренского в кристаллах тетрабората стронция были обнаружены доменные структуры, формирующиеся в процессе роста кристалла. Доменные структуры характеризуются высокой степенью упорядоченности вдоль кристаллографических осей b и c , но сильно разупорядочены вдоль кристаллографической оси a . В таких структурах, как предсказывается [7], будет иметь место разновидность коллинеарного синхронизма, названная случайным квазифазовым синхронизмом. Генерация излучения в неколлинеарной схеме в доменных структурах получила название нелинейной дифракции [8]. Указанные типы синхронизма открывают новые возможности для преобразования излучения в ультрафиолетовую область спектра с помощью доменных структур тетрабората стронция, в том числе для фемтосекундных импульсов.

Целью данной работы является исследование свойств доменных структур тетрабората стронция нелинейно-оптическими методами и особенностей нелинейно-оптических процессов в них.

Научная новизна

1. Впервые обнаружено рассеяние излучения на частоте второй и третьей гармоники в кристалле тетрабората стронция. Это явление интерпретировано, как нелинейная дифракция (нелинейное рассеяние) на доменной структуре тетрабората стронция.
2. Впервые экспериментально зарегистрировано увеличение эффективности генерации второй гармоники вследствие эффекта случайного квазифазового синхронизма в доменной структуре тетрабората стронция.
3. Впервые теоретически рассмотрены спектральная и угловая зависимости эффекта случайного квазифазового синхронизма.
4. Впервые осуществлена перестраиваемая по частоте генерация второй гармоники фемтосекундного Ti:sapphire лазера в ультрафиолетовую область спектра в режиме нелинейной дифракции. Максимальная эффективность преобразования во вторую гармонику составила 0.63%.
5. Предложено ввести понятие зонной структуры нелинейного фотонного кристалла. Предсказано, что при повороте кристалла эффективность генерации излучения сохраняется с увеличением длины волны излучения накачки.

Практическая значимость

1. Кристалл тетрабората стронция, содержащий доменную структуру, может быть положен в основу компактного твердотельного перестраиваемого нелинейно-оптического преобразователя излучения фемтосекундных лазеров в ультрафиолетовую область спектра.
2. Нелинейно-оптические методы могут быть положены в основу структурного анализа доменных структур, в частности, генерация излучения в режиме

нелинейной дифракции позволяет оценить спектр векторов решетки и его распределение по объему нелинейного фотонного кристалла.

Защищаемые положения

1. В процессе роста в кристаллах тетрабората стронция образуются нерегулярные доменные структуры, содержащие противоположно поляризованные домены. Доменные стенки совпадают с кристаллографической плоскостью bc . Доменная структура достаточно хорошо упорядочена в направлениях осей b и c , но сильно разупорядочена вдоль кристаллографической оси a . В данных структурах наблюдается рассеяние лазерного излучения на частоте его второй гармоники. Угловая зависимость этого рассеяния свидетельствует, что его следует интерпретировать как нелинейную дифракцию (нелинейное рассеяние). Спектр векторов обратной решетки типичных доменных структур лежит в пределах от $\pi/0.18$ до $\pi/7.2$ мкм⁻¹. Граничные значения диапазона векторов обратной решетки хорошо воспроизводятся от одного ростового эксперимента к другому, в то время как детали спектров могут заметно отличаться.
2. В типичных для SBO доменных структурах, отличающихся большой степенью рандомизации, эффект случайного квазифазового синхронизма сохраняется. Угловая зависимость эффекта случайного квазифазового синхронизма радикально отличается от угловой зависимости ГВГ для монодоменных образцов и хорошо описывается в рамках предложенной нами теоретической модели. Фактор увеличения эффективности удвоения частоты излучения на длине волны 532 нм за счет случайного квазифазового синхронизма составляет 500 раз и находится в хорошем согласии с теорией. Теоретическая спектральная зависимость эффекта случайного квазифазового синхронизма для типичной доменной структуры SBO имеет вид отдельных пиков в спектральной области длин волн накачки от ближнего ИК до ближнего УФ. Фактор увеличения максимален в ближней УФ области спектра и достигает нескольких тысяч раз. Поворот доменной структуры относительно излучения накачки позволяет скомпенсировать деструктивную интерференцию генерируемого поля. Зонная структура нелинейного фотонного кристалла, образованного доменной структурой испытывает красный вращательный сдвиг.
3. Спектр векторов обратной решетки типичной доменной структуры SBO позволяет осуществлять эффективную генерацию второй гармоники в режиме нелинейной дифракции широкополосного излучения фемтосекундной длительности в полосе перестройки центральной длины волны от 710 нм до 1020 нм. Сужение спектра излучения второй гармоники не превышает 10-20%. При существующей технологии роста доменных структур наиболее эффективная генерация излучения второй гармоники наблюдается в

небольшой части доменной структуры с размерами, не превышающими 40 мкм. Для эффективного нелинейно-оптического преобразования излучения фемтосекундного лазера на титан-сапфире диапазон толщин доменов должен лежать в пределах от 0.55 мкм до 0.88 мкм. Для эффективного нелинейно-оптического преобразования излучения второй гармоники фемтосекундного лазера на титан-сапфире диапазон толщин доменов должен лежать в пределах от 0.12 мкм до 0.23 мкм.

Достоверность результатов определяется согласием между теорией и экспериментом. Экспериментальные результаты воспроизводятся от эксперимента к эксперименту.

Личный вклад автора заключается в планировании и проведении экспериментов, анализе полученных результатов и выполнении теоретических расчетов.

Апробация работы.

Результаты работы были представлены на следующих конференциях: International Conference “Laser Optics 2008” (Санкт-Петербург 2008), 5th International Symposium “Modern Problems of Laser Physics” (Новосибирск 2008), X и XI Международная школа-семинар по люминесценции и лазерной физике (Иркутск 2006, 2008), International Conference on Coherent and Nonlinear Optics and Conference on Lasers, Applications, and Technologies “ICONO/LAT 2007” (Minsk 2007), XVIII Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (Санкт-Петербург 2008), II Всероссийская конференция по наноматериалам “НАНО 2007” (Новосибирск 2007), Всероссийская научно-техническая конференции с международным участием “Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы: получение, свойства, применение” (Красноярск 2007), XXXVI и XXXVII региональная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков “НКСФ-XXXVI” и “НКСФ-XXXVII” (Красноярск 2007, 2008), Конкурс-конференция молодых ученых Красноярского научного центра (Красноярск 2007, 2008, 2009).

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 работах. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации

Работа начинается с введения и последовательно изложена в четырех главах: одной обзорной и трех оригинальных. Список литературы включает 88 наименований. Работа изложена на 110 страницах и иллюстрируется 34 рисунками и 4 таблицами.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется цель исследований, а также научная новизна и практическая значимость полученных результатов, перечисляются положения, выносимые на защиту.

Первая глава является обзорной. В ней кратко рассматриваются способы нелинейно-оптического преобразования излучения в кристаллических средах, использующих различные типы синхронизма. Особое внимание уделяется генерации и распространению излучения фемтосекундной длительности в ультрафиолетовой области спектра.

Вторая глава начинается с описания нелинейно-оптических свойств кристалла тетрабората стронция и нерегулярных доменных структур, формирующихся в процессе роста кристалла. Показано, что при распространении излучения в направлении перпендикулярном доменным стенкам, то есть в направлении кристаллографической оси a , имеет место коллинеарная генерация второй гармоники (ГВГ) в условиях случайного квазифазового синхронизма [7]. Угловая зависимость сигнала на удвоенно частоте, при повороте исследуемого образца вокруг кристаллографической оси c кардинально отличается от угловой зависимости, которая имеет место в монодоменном образце (рис.1). Для объяснения этой зависимости была разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитать суммарную амплитуду поля, сгенерированного отдельными доменами, с учетом набега фазы до плоскости детектирования. Наилучшее согласие между теоретической кривой и экспериментальными данными было достигнуто при волновой расстройке, отличающейся от её расчетного значения на 0.55%, путем варьирования её значения методом наименьших квадратов вблизи расчетного значения. Измеренный фактор увеличения эффективности генерации второй гармоники при случайном квазифазовом синхронизме в нерегулярной доменной структуре, соответствующей углу поворота 10 градусов, составил 500 раз по отношению к эффективности генерации второй гармоники в монодоменном образце, измеренной при нормальном падении излучения накачки.

Используемый подход позволяет рассчитать теоретическую спектральную зависимость эффективности ГВГ при случайном квазифазовом синхронизме в исследуемом образце, содержащем нерегулярную доменную структуру (рис. 2 а). Максимальная величина коэффициента увеличения за счет случайного квазисинхронизма по сравнению с несинхронной генерацией в монодоменном образце ожидается при накачке в ближнем УФ диапазоне и достигает нескольких тысяч. Из расчетной спектральной зависимости эффективности случайного квазифазового синхронизма следует, что эффект увеличения будет иметь место для наносекундных импульсов, однако может быть не столь эффективным для коллинеарного преобразования широких по спектру фемтосекундных импульсов.

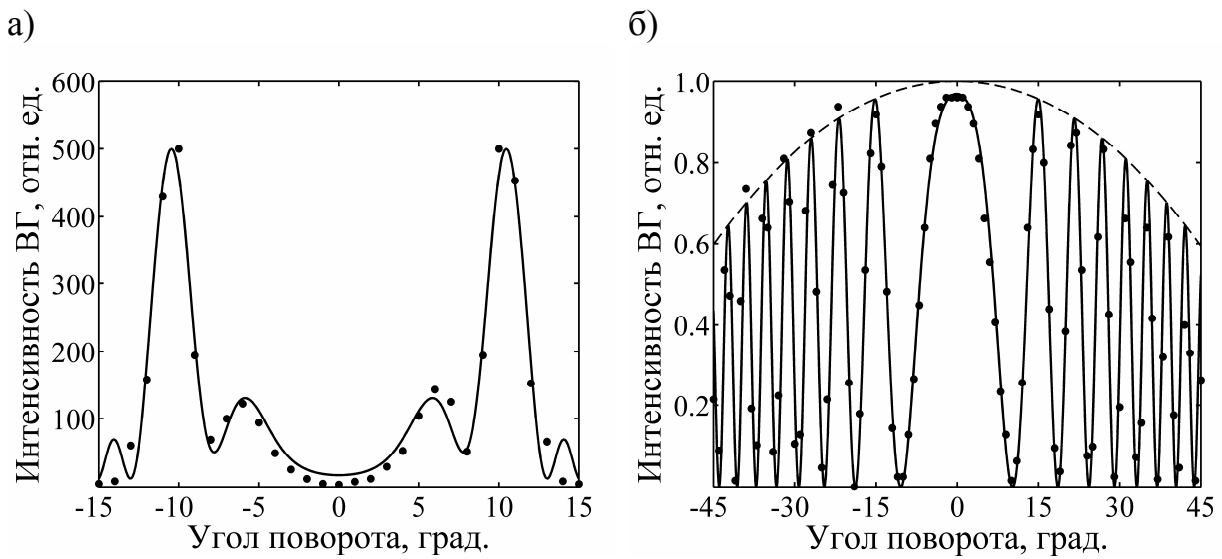


Рис. 1 а) Угловая зависимость интенсивности второй гармоники при случайном квазифазовом синхронизме в нерегулярной доменной структуре SBO. б) Угловая зависимость мощности второй гармоники в монодоменном образце. Обе шкалы нормированы на максимальный сигнал второй гармоник в монодоменном образце. Фактор увеличения эффективности составил 500 раз. Эффективный нелинейный коэффициент d_{eff} .

В соответствии с классификацией [9] доменная структура в кристалле SBO представляет собой одномерный нелинейный фотонный кристалл. В связи с этим, предложено ввести понятие зонной структуры нелинейного фотонного кристалла, которая обусловлена периодичностью изменения знака нелинейной

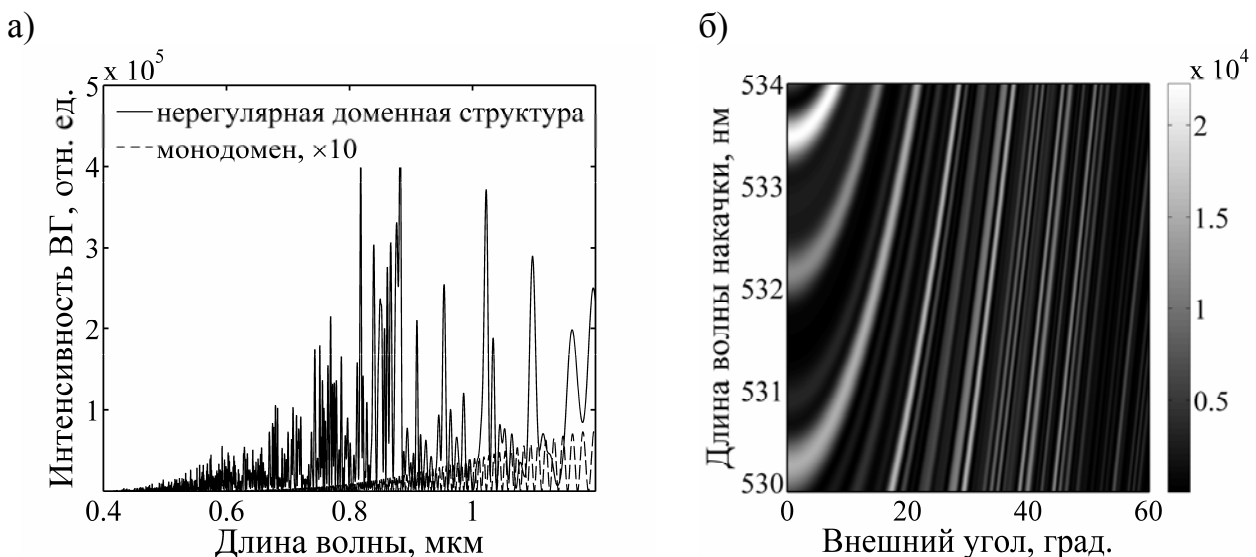


Рис. 2. а) Теоретическая спектральная зависимость эффективности ГВГ при случайном квазифазовом синхронизме в нерегулярной доменной структуре SBO и в монодоменном образце в отсутствии синхронизма. б) Зонная структура нелинейного фотонного кристалла.

восприимчивости второго порядка от пространственной координаты. Естественными координатами зонной структуры нелинейного фотонного кристалла будут длина волны и угол падения. Таким образом, зонная структура нелинейного фотонного кристалла является обобщением его спектральных и угловых характеристик, отражая области наиболее эффективной генерации излучения (рис. 2 б). Отличительной особенностью зонной структур нелинейного фотонного кристалла является красный вращательный сдвиг, который заключается в сохранении эффективности генерации излучения при совместном увеличении длины волны основного излучения и угла падения излучения на доменную структуру.

В третьей главе рассмотрен процесс генерации второй гармоники в режиме нелинейной дифракции [8] на доменной структуре тетрабората стронция. В этом случае излучение на основной частоте распространяется в плоскости доменных стенок либо под углом к ним. В качестве источника излучения использовался лазер на алюмо-иттриевом гранате с неодимом, излучение которого было сфокусировано внутрь исследуемого образца, с помощью линзы с фокусным расстоянием 10 см. Поляризация излучения содержала как горизонтальную, так и вертикальную компоненты. За кристаллом был расположен экран, на который проецировались пучки второй гармоники, число которых определялось поляризацией основного излучения и ориентацией кристалла. При нормальном падении накачки на входную грань кристалла наблюдались две группы пучков второй гармоники, каждая из которых содержала по три компоненты различной поляризации, происхождение которых соответствует нелинейно-оптическим процессам, указанным в таблице 1. Измеренные углы нелинейной дифракции на частоте второй гармоники находятся в хорошем согласии с их расчетными значениями и приведены в таблице 1.

Таблица. 1. Измеренные и расчетные углы нелинейной дифракции на частоте второй гармоники, обусловленные различными нелинейно-оптическими процессами.

Нелинейный коэффициент	Измеренный угол ВГ, град	Расчетный угол ВГ, град.
d_{aac}	13.4	13.4
d_{ccc}	14.2	14.5
d_{caa}	15.4	15.3

Измерена зависимость угла, под которым распространяется генерируемое излучение на удвоенной частоте, обусловленное нелинейным коэффициентом d_{caa} от угла поворота доменной структуры (рис. 3 а). Эта зависимость находится в хорошем соответствии с теоретической кривой, подтверждая предположение о том, что излучение на удвоенной частоте обусловлено нелинейной дифракцией на

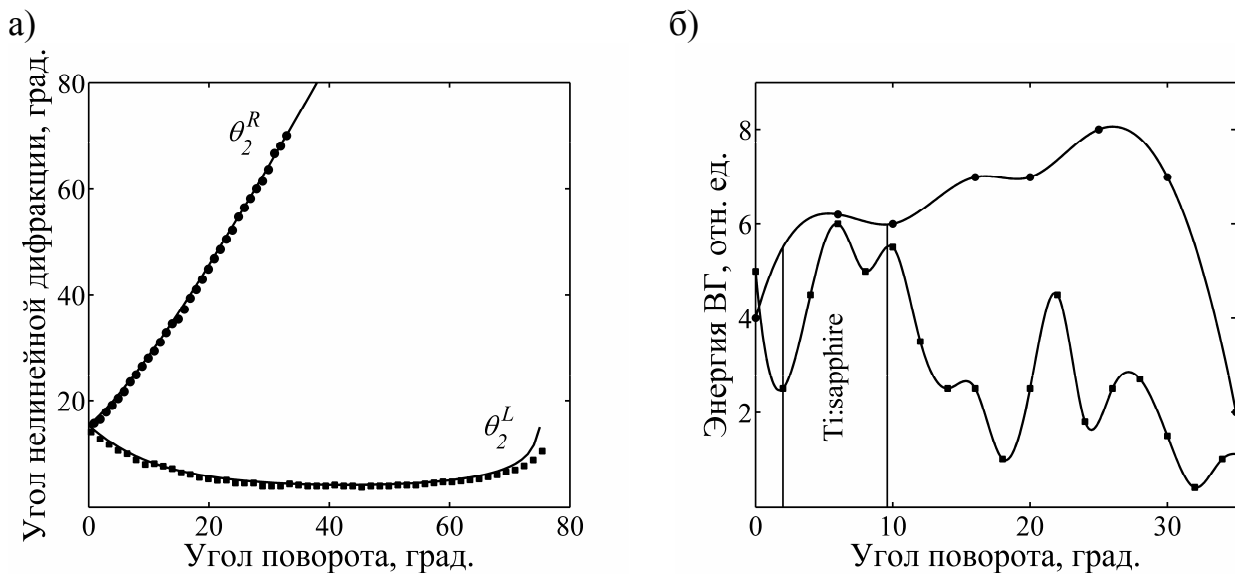


Рис. 3. а) Зависимость угла нелинейной дифракции от угла поворота кристалла. Сплошная линия является расчетной кривой, точками обозначены экспериментальные данные. б) Угловая зависимость энергии правого пучка второй гармоники в двух исследуемых образцах, полученных в отдельных ростовых экспериментах. Выделенная область от 2° до 9.6° соответствует диапазону векторов обратной решетки, дающих вклад в нелинейную дифракцию в области перестройки лазера на титан-сапфире.

доменной структуре SBO. Наблюдалась нелинейная дифракция на частоте третьей гармоники при накачке первой и второй гармониками, обусловленная нелинейным коэффициентом d_{aac} . Измеренное значение угла нелинейной дифракции на частоте третьей гармоники, равное 16° , находится в достаточно хорошем согласии с расчетным значением 16.5° . Во всех случаях, при повороте кристалла вокруг кристаллографической оси c пучки второй гармоники лежат в кристаллографической плоскости ab . При распространении излучения накачки в плоскости ac , пучки второй гармоники лежат в кристаллографической плоскости ac . Это означает, что доменные стенки компланарны кристаллографической плоскости bc .

Измерена угловая зависимость энергии пучков второй гармоники при накачке излучением с длиной волны 1.064 мкм, которая представляет Фурье-образ функции нелинейной восприимчивости второго порядка от координаты в направлении, перпендикулярном стенкам доменов (рис. 3 б). Эта зависимость показывает, что эффективные толщины доменов, вносящие вклад в нелинейную дифракцию, лежат в пределах от 0.18 до 7.2 мкм. Сравнение спектров векторов обратной решетки в двух образцах, полученных в отдельных ростовых экспериментах, показывает, что диапазон значений векторов обратной решетки, дающий вклад в эффективную нелинейную дифракцию, воспроизводится, в то время как детали спектров могут заметно отличаться. Расчеты показывают, что

спектр векторов обратной решетки исследованных нами образцов включает область значений, которая будет давать вклад в эффективную неколлинеарную ГВГ в диапазоне длин волн накачки вплоть до 460 нм. Указанный спектральный диапазон включает область перестройки фемтосекундного лазера на титан-сапфире. На угловой зависимости этой области соответствует диапазон углов поворота доменной структуры от 2° до 9.6° .

В четвертой главе рассмотрена возможность нелинейно-оптического преобразования ультракоротких импульсов в нерегулярных доменных структурах в режиме нелинейной дифракции. Приведены результаты экспериментальных исследований генерации второй гармоники фемтосекундного лазера в неколлинеарной схеме для двух образцов, исследованных в третьей главе с помощью излучения Nd:YAG лазера. В качестве накачки использовался фемтосекундный лазер на титан-сапфире, генерирующий спектрально ограниченные импульсы длительностью 40-100 фс с частотой следования 80 МГц.

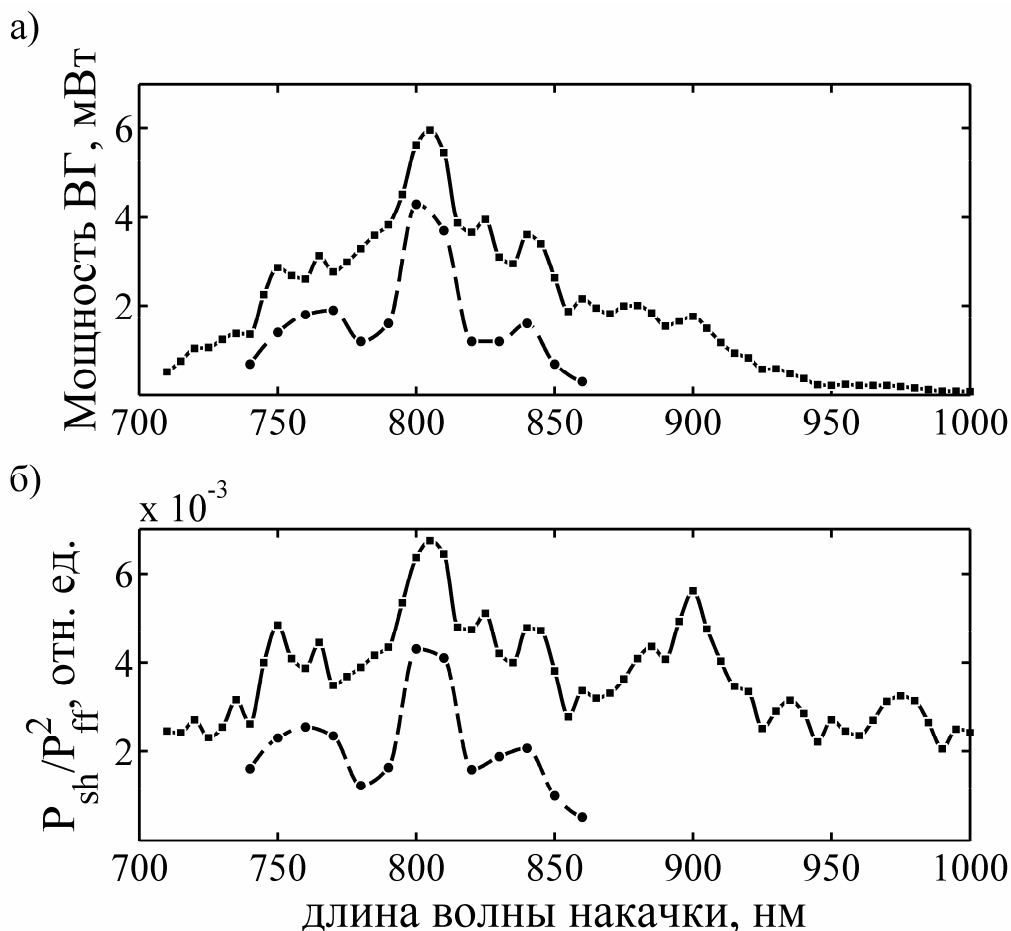


Рис. 4. а) Спектральная зависимость мощности ГВГ Ti:sapphire лазера. б) Отношение мощности второй гармоники к квадрату мощности накачки. Сплошная линия – с подстройкой кристалла на максимальную мощность ГВГ; пунктирная линия – фиксированное положение кристалла; точки – экспериментальные данные.

Излучение лазера средней мощностью до 1 Вт было сфокусировано внутрь кристалла с помощью 10 см линзы, так что размер фокального пятна составил 40 мкм, а пиковая плотность мощности достигала 25 ГВт/см^2 . Поляризация излучения накачки и генерируемой второй гармоники была направлена вдоль кристаллографической оси c . При удалении кристалла из области распространения лазерного излучения форма пятна накачки сохраняется, что свидетельствует об отсутствии термической самофокусировки, присутствующей в аналогичной работе в кристалле ниобата стронция бария (SBN) [10].

Измерена спектральная зависимость мощности второй гармоники для фиксированного положения кристалла относительно накачки и с подстройкой на максимальную мощность ВГ при данной длине волны излучения накачки (рис. 4 а). Подстройка осуществлялась путем перемещения кристалла вдоль кристаллографической оси a , а также путем вращения вокруг кристаллографической оси c , таким образом, что в область пучка накачки попадали различные области доменной структуры, содержащие наиболее благоприятный спектр векторов обратной решетки для эффективного преобразования. Максимальная мощность второй гармоники в режиме нелинейной дифракции составляет 6 мВт в двух пучках при мощности накачки 940 мВт. Коэффициент преобразования во вторую гармонику составляет 0.63%, что превышает достигнутый для кристалла SBN [10], несмотря на то, что нелинейная восприимчивость последнего более чем в 4 раза выше, чем у SBO. Нормировка спектральных зависимостей мощности второй гармоники на квадрат мощности Ti:sapphire лазера позволяет избавиться от энергетических параметров накачки, тем самым, проявив спектр векторов обратной решетки (рис. 4 б).

Для двух образцов измерена зависимость мощности второй гармоники от

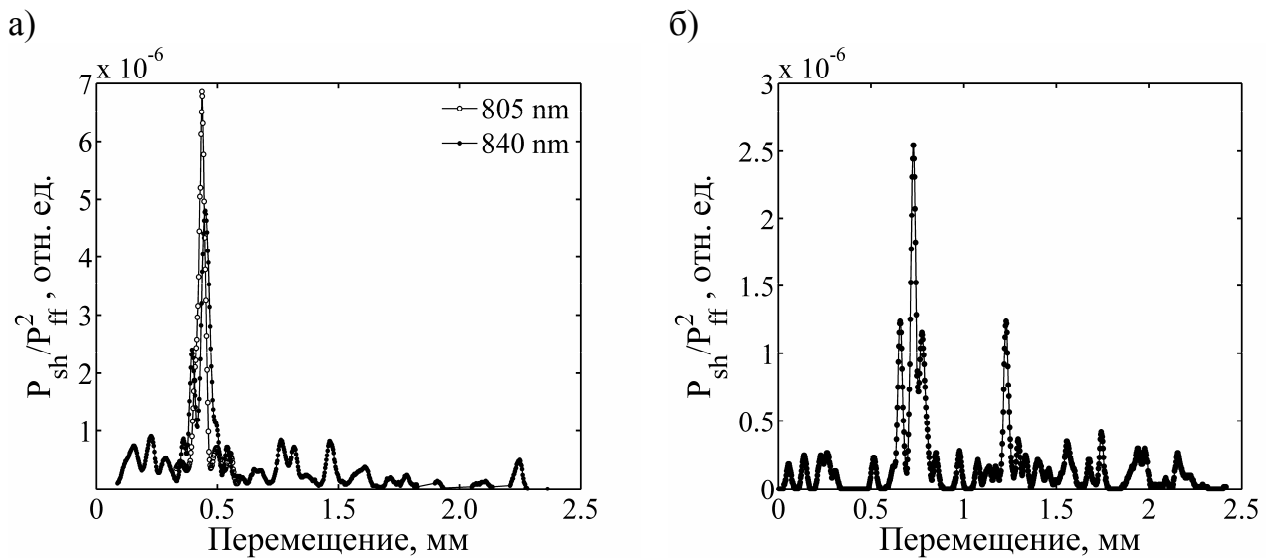


Рис. 5. Зависимость отношения мощности второй гармоники к квадрату мощности накачки от смещения доменной структуры в направлении кристаллографической оси a : а) образец №1; б) образец №2.

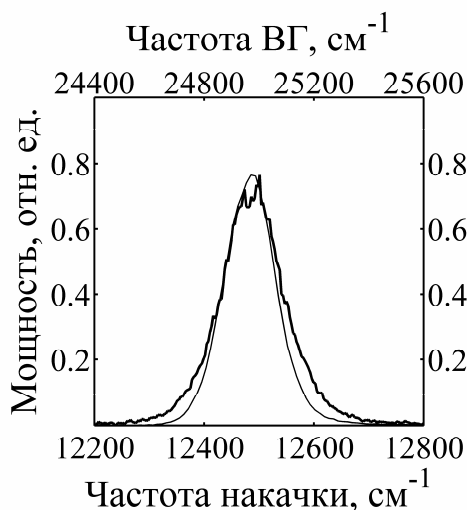
перемещения их в направлении кристаллографической оси a . Эта зависимость, нормированная на квадрат мощности накачки, приведена на рисунке 5. Из графика следует, что в эффективную генерацию излучения на данной длине волны вносят вклад отдельные участки доменной структуры, протяженность которых не превышает размер фокального пятна. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего развития технологии роста доменных структур. Рассчитаны требуемые векторы обратной решетки, дающие вклад в эффективную неколлинеарную генерацию излучения в области перестройки лазера на титан-сапфире и в области перестройки его второй гармоники, а также соответствующие им эффективные толщины доменов (Таблица 2).

Таблица. 2. Расчетные значения векторов обратной решетки и соответствующие им эффективные толщин доменов.

Длина волны накачки, нм	Q , мкм ⁻¹	$d_{эфф} = Q/\pi$, мкм
710-930	3.56-5.67	0.55-0.88
800	4.56	0.69
355-465	13.7-26.3	0.12-0.23
400	19.5	0.16

Спектры излучения накачки на центральной длине волны 800 нм и генерируемой второй гармоники приведены на рисунке 6 а. Спектр накачки не имеет признаков фазовой самомодуляции и вызванного ею уширения, наблюдавшихся в кристалле SBN [10]. Спектр второй гармоники имеет небольшое сужение, которое не превышает 10-20% относительно спектра накачки для

а)



б)

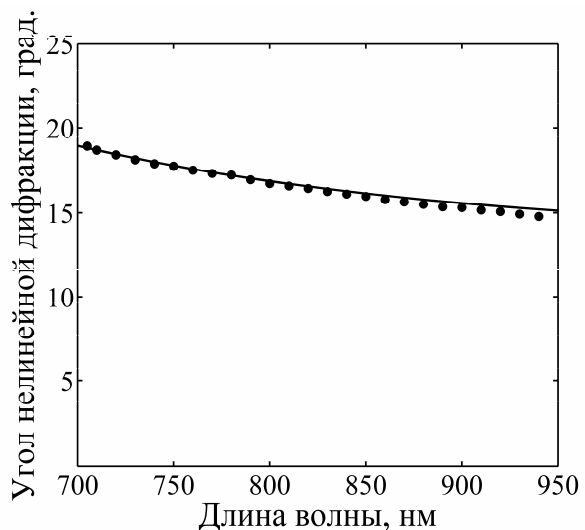


Рис. 6. а) Спектр накачки (толстая линия) на центральной длине волны 800 нм и второй гармоники (тонкая линия). б) Спектральная зависимость угла нелинейной дифракции в области перестройки титан-сапфирового лазера.

различных длин волн. Это подтверждает предположение о том, что в нерегулярных доменных структурах неколлинеарная генерация излучения благоприятна для преобразования широких по спектру фемтосекундных импульсов.

Измеренная спектральная зависимость угла нелинейной дифракции находится в хорошем согласии с теоретической кривой (рис. 6 б). При перемещении исследуемого образца вдоль кристаллографической оси c , форма пучков второй гармоники, их положение, спектр излучения второй гармоники, а также мощность сохраняются, что свидетельствует о том, что доменная структура достаточно хорошо упорядочена в кристаллографической плоскости bc . Наблюдался линейный характер роста эффективности ГВГ от мощности накачки, который свидетельствует об отсутствии самофокусировки в кристалле тетрабората стронция.

Заключение

Основные результаты работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Исследован процесс генерации второй гармоники в условиях случайного квазифазового синхронизма в кристалле тетрабората стронция, содержащем нерегулярную доменную структуру. Эффективность генерации второй гармоники за счет случайного квазифазового синхронизма в нерегулярной доменной структуре SBO превышает эффективность несинхронной генерации второй гармоники в монодоменном образце в 500 раз.
2. Наблюдалась генерация второй и третьей гармоник в режиме нелинейной дифракции, которая свидетельствует о наличии доменных структур, хорошо упорядоченных в направлениях кристаллографических осей b и c , но сильно разупорядоченных в направлении кристаллографической оси a . Диапазон векторов обратной решетки воспроизводится от одного ростового эксперимента к другому. Спектр векторов обратной решетки содержит компоненты, обеспечивающие эффективную неколлинеарную генерацию второй гармоники в широком спектральном диапазоне.
3. Продемонстрирована перестраиваемая по частоте генерация второй гармоники фемтосекундного Ti:sapphire лазера в ультрафиолетовую область спектра в режиме нелинейной дифракции на доменной структуре тетрабората стронция. Максимальная эффективность преобразования во вторую гармонику составила 0.63%. Сужение спектра излучения второй гармоники не превышает 10-20%.

Публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. A. S. Aleksandrovsky, A. M. Vyunishev, I. E. Shakhura, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov. Random quasi-phase-matching in nonlinear photonic crystal structure of strontium tetraborate // Phys. Rev. A. – 2008. – Vol. 78. – P. 031802-1-031802-4.

2. A. S. Aleksandrovsky, A. M. Vyunishev, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov, and V. G. Arkhipkin. Detection of randomized nonlinear photonic crystal structure in a non-ferroelectric crystal // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. – 2007. – Vol. 9. – S334-S338.
3. A. S. Aleksandrovsky, V. G. Arkhipkin, I. E. Kuzey, A. M. Vyunishev, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov. Nonlinear optical characterization of spontaneously grown domain structures in SBO crystals // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6729. – P. 67290L-1-67290L-8.
4. A. S. Aleksandrovsky, A. M. Vyunishev, A. I. Zaitsev, and A. V. Zamkov Characterization of Domain Structure in Strontium Tetraborate Crystals Via Nonlinear Diffraction // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2007. – Т. 51. – № 10/2. – С. 120.
5. А. С. Александровский, А. М. Вьюнышев, А. И. Зайцев, А. В. Замков. Исследование доменной структуры в кристалле тетрабората стронция с помощью нелинейной дифракции // X Международная школа-семинар по люминесценции и лазерной физике, сборник трудов, Иркутск. – 2007. – С. 29-38.
6. А. С. Александровский, А. М. Вьюнышев, А. И. Зайцев, А. В. Замков, В. Г. Архипкин. Исследование доменной структуры в кристалле тетрабората стронция с помощью нелинейной дифракции // X Международная школа-семинар по люминесценции и лазерной физике, тезисы докладов, Иркутск. – 2006. С. 13-14.
7. А. С. Александровский, А. М. Вьюнышев, И. Е. Шахура, А. И. Зайцев, А. В. Замков. Нелинейно-оптические процессы в рандомизированных структурах тетрабората стронция // XI Международная школа-семинар по люминесценции и лазерной физике, тезисы докладов, Иркутск. – 2008. – С. 7-8.
8. A. Aleksandrovsky, A. Vyunishev, A. Zaitsev, A. Zamkov and V. Arkhipkin. Detection of randomized nonlinear photonic crystal structure in a non-ferroelectric crystal // Advance programme, First Topical Meeting on Nanophotonics and Metamaterials. – 2007. – P. 37.
9. А. С. Александровский, А. М. Вьюнышев, В. В. Слабко, А. И. Зайцев, А. В. Замков, Нелинейно-оптическая характеристика доменных наноструктур в кристаллах тетрабората стронция // II Всероссийская конференция по наноматериалам “НАНО-2007”, тезисы докладов, Новосибирск. – 2007. – С. 438.
10. A. S. Aleksandrovsky, V. G. Arkhipkin, A. M. Vyunishev, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov, Nonlinear optical characterization of spontaneously grown domain structures in SBO crystals // ICONO/LAT 2007 Conference Program, Minsk. – 2007. - P. 22. Report I08/IV-3.
11. А. И. Зайцев, А. С. Александровский, А. М. Вьюнышев, А. В. Черепяхин, И. Е. Шахура, А. В. Замков. Доменная структура в тетраборате стронция // XVIII

- Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков, тезисы докладов, Санкт-Петербург. – 2008. – С. 57.
12. A. S. Aleksandrovsky, I. E. Shakhura, A. M. Vyunishev, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov. Nonlinear optical processes in randomized domain structures of strontium tetraborate // International Conference “Laser Optics 2008”, technical program, St. Petersburg, Russia. – 2008. – P. 55.
 13. A. S. Aleksandrovsky, I. E. Shakhura, A. M. Vyunishev, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov. Nonlinear photonic crystals of strontium tetraborate // The Fifth International Symposium “Modern Problems of Laser Physics”, technical digest, Novosibirsk. – 2008. – P. 206-207.
 14. I. E. Shakhura, A. S. Aleksandrovsky, A. M. Vyunishev, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov. Random quasi-phase matching in domain structure of strontium tetraborate crystals // The Fifth International Symposium “Modern Problems of Laser Physics”, technical digest, Novosibirsk. – 2008. – P. 219-220.
 15. A. M. Vyunishev, A. S. Aleksandrovsky, I. E. Shakhura, A. I. Zaitsev, A. V. Zamkov. Second harmonic generation in randomized domain structure of strontium tetraborate. The Fifth International Symposium “Modern Problems of Laser Physics”, technical digest, Novosibirsk. – 2008. – P. 226-227.
 16. А. С. Александровский, А. М. Вьюнышев, А. С. Крылов, А. И. Зайцев, А. В. Замков. Доменная структура в кристалле тетрабората стронция // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием “Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы”, тезисы докладов, Красноярск. – 2006. – С. 205-208.

Список литературы

1. Petrov V., Rotermund F., Noack F., Ringling J., Kittelmann O. and Komatsu R. Frequency Conversion of Ti:Sapphire-Based Femtosecond Laser Systems to the 200-nm Spectral Region Using Nonlinear Optical Crystals // IEEE J. Sel. Top. in Quant. Electron. – 1999. – Vol. 5, N. 6. – P. 1532-1542.
2. Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. I., Starshenko V. V., Osadchuk V., Pisarevsky A. I., Belokrysk S. P., Korol A. S., Svitanko N. V., Krikunov S. A., Selevich A. F. New nonlinear optical crystals: strontium and lead tetraborates // Opt. Mater. – 1995. – Vol. 4. – P. 669-674.
3. Petrov V., Noack F., Shen D., Pan F., Shen G., Wang X., Komatsu R., Alex V. Application of the nonlinear crystal SrB_4O_7 for ultrafast diagnostics converting to wavelengths as short as 125 nm // Opt. Lett. – 2004. – Vol. 29, N. 4. – P. 373-375.
4. Fejer M. M., Magel G. A., Jundt D. H. and Byer R. L. Quasi-Phase-Matched Second Harmonic Generation: Tuning and Tolerances // IEEE J. Quant. Electron. – 1992. – Vol. 28. – P. 2631-2654.
5. Vtyurin A. N., Shabanov V. F. and Aleksandrov K. S. Nonlinear optical properties of incommensurate phase of a ferroelectric crystal // Sov. Phys. JETP. – 1979. – Vol. 50, N. 6. – P. 1137-1141.

6. Виноградов Е. А., Втюрин А. Н., Гончаров А. Ф., Жижин Г. Н., Кабанов И. С. и Шабанов В. Ф. Генерация второй оптической гармоники в кристалле с макроскопическими неоднородностями // *Опт. Спектр.* – 1982. – Т. 52, № 1. – С. 159-160.
7. Baudrier-Raybaut M., Haïdar R., Kupecsek Ph., Lemasson Ph., Rosencher E. Random quasi-phase-matching in bulk polycrystalline isotropic nonlinear materials // *Nature.* – 2004. – Vol. 432. – P. 374-376.
8. Freund I. Nonlinear diffraction // *Phys. Rev. Lett.* – 1968. – Vol. 21, N. 19. – P. 1404-1406.
9. Berger V. Nonlinear Photonic Crystals // *Phys. Rev. Lett.* – 1998. – Vol. 81, N. 19. – P. 4136-4139.
10. Fischer R., Saltiel S. M., Neshev D. N., Krolikowski W. and Kivshar Yu. S. Broadband femtosecond frequency doubling in random media // *Appl. Phys. Lett.* – 2006. – Vol. 89. – P. 191105-1-191105-3.

Подписано в печать 22.05.2009 г.
Формат 60×85/16. Гарнитура Таймс. Уч. изд. л. 1.25
Усл. печ. л. 1.0. Тираж 70. Заказ №

Отпечатано в типографии Института физики СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок
