

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЛАЗЕР С ВНУТРИРЕЗОНАТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВТОРУЮ ГАРМОНИКУ

© 2014 г. В. Н. Алексеев*, доктор техн. наук; А. С. Волков**, доктор физ.-мат. наук;
В. И. Либер*; Ю. И. Пестов*

*Научно-исследовательский институт оптико-электронных приборов, г. Сосновый Бор, Ленинградская область

**ООО “Интегрированные технологии”, Санкт-Петербург

E-mail: av@sbor.net

Экспериментально исследована возможность подавления деполяризации излучения, возникающей в активном элементе лазера на АИГ: Nd^{3+} , накачиваемого линейками лазерных диодов с частотой следования импульсов накачки 1 кГц. Показано, что полному подавлению деполяризации излучения лазера препятствует возникновение двулучепреломления в кристаллах электрооптических затворов и активной среде вращателя Фарадея. Обсуждается схема резонатора с расщеплением пучка на поляризованные компоненты, которая позволила получить энергию выходных импульсов на второй гармонике более 10 мДж с внутриврезонаторным преобразованием излучения с длительностью импульсов 25 нс.

Ключевые слова: лазер с диодной накачкой, деполяризация излучения, тепловая линза, внутриврезонаторное преобразование во вторую гармонику.

Коды OCIS: 140.3489, 140.3410, 140.3570, 140.3280.

Поступила в редакцию 16.05.2014.

Введение

Высокая частота следования лазерных импульсов в твердотельных лазерах на основе АИГ: Nd^{3+} обычно достигается в режиме их непрерывной накачки. Для модуляции добротности используются акустооптические модуляторы излучения (АОЗ), которые не критичны к поляризации излучения. Достижимые коэффициенты усиления в активных элементах (АЭ) обычно лежат в диапазоне 0,05–0,1 см⁻¹, как для случая ламповой накачки [1], так и для диодной накачки. В случае диодной накачки требуются существенно меньшие мощности накачки. С ростом частоты следования импульсов их энергия при неизменной скорости накачки неизбежно снижается, растет время развития моноимпульса, увеличивается его длительность. В случае непрерывной накачки в изотропном активном элементе АИГ: Nd^{3+} возникает наведенная тепловая линза и деполяризация излучения из-за

возникновения двулучепреломления. Деполяризация за один проход АЭ может достигать 20–30%.

Для решения некоторых технологических задач требуются лазеры, работающие на частоте следования импульсов 1–3 кГц с энергией импульса на второй гармонике до 5–15 мДж (например, для накачки титансапфировых технологических лазеров). Как показывают оценки, для таких относительно невысоких частот следования импульсов дешевле использовать лазер с импульсной накачкой, так как при непрерывной накачке для получения импульсов с энергией, приблизительно равной 20–40 мДж, на основной гармонике требуются высокая скорость накачки, т.е. большое количество достаточно дорогих линеек накачки.

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования возможности создания лазера с импульсной накачкой с частотой следования 1000 Гц и энергией импульса на второй гармонике до 10–15 мДж.

1. Методики и результаты исследования энергетических характеристик, тепловой линзы и степени деполяризации излучения

При проведении исследований использовался лазерный квантрон RBA30-1C2-FA1 фирмы NG CEO с диффузными отражателями. В нем используется АЭ из алюмоиттриевого граната с неодимом с размерами $\varnothing 0,3 \times 6,3 \text{ см}^3$. Нами использовались АЭ как с плоскими торцами, так и с вогнутыми торцами с радиусами кривизны $R = -50, -70$ и -100 см . Накачка АЭ осуществлялась с трех сторон девятью двухсотваттными линейками лазерных диодов, накачиваемая длина АЭ была около 3 см. Напряжение источника питания линеек было около 20 В, максимальная амплитуда импульсов тока при проведении работы не превышала 150 А. Концентрация активатора в АЭ была равна 0,6 или 0,9 весовых процентов.

Источник питания линеек и система охлаждения лазера разработаны ООО “Интегрированные технологии”. Источник питания обеспечивал работу лазера при частоте следования импульсов накачки до 1000 Гц. Причем импульсы управления на открытие электрооптического затвора (ЭОЗ) могли подаваться как с частотой следования накачки 1000 Гц, так и в 100 раз реже, т.е. с частотой 10 Гц для сохранения неизменной тепловой линзы. Это существенно облегчало проведение измерений. При работе затвора на частоте следования импульсов управления 10 Гц энергия излучения лазера измерялась с помощью калориметра и осциллографа. При частоте 1000 Гц измерялась средняя мощность излучения с помощью измерителей мощности ИМО-2Н и клиновых делителей пучка. Длительность моноимпульсов генерации измерялась с помощью коаксиального фотоэлемента и широкополосного осциллографа. Измерение распределения инверсной населенности в поперечном сечении АЭ на его торце проводилось с помощью управляемой компьютером цифровой камеры путем построения изображения торца АЭ на матрице ПЗС. Фокус тепловой линзы определялся путем регистрации распределения коллимированного пучка гелий-неонового лазера, прошедшего через АЭ с помощью телевизионной цифровой камеры, и измерения расстояния от плоскости максимальной фокусировки пучка на матрице ПЗС до торца АЭ. Распределение плотности энергии в пучках ос-

новной и деполяризованной моды на выходном торце АЭ также регистрировались на матрице ПЗС, перед объективом которой устанавливался поляризатор с ортогональными ориентациями азимута наибольшего пропускания. В некоторых экспериментах регистрация осуществлялась с помощью клина из Исландского шпата (кальцита), работающего в паре со стеклянным клином. Вне резонатора преобразование излучения во вторую гармонику осуществлялось с помощью кристалла КТР с длиной 6 мм. Форма импульса накачки, его длительность, временная структура и длительность импульса свободной генерации регистрировались с помощью фотодиода ФД24К и PIN фотодиода G8376-03 с полосой пропускания 400 МГц. С помощью последнего также проверялась работа ЭОЗ, измерялся фронт нарастания импульса и значение пропускания в открытом состоянии. Усиление АЭ измерялось, как и в [2], путем определения отношения сигнала излучения непрерывного лазера с полупроводниковой накачкой в момент импульса накачки АЭ к сигналу в промежутке между импульсами накачки.

При длительности импульса тока 250 мкс с амплитудой 150 А и частоты следования импульсов накачки 10 Гц в коротком плоском резонаторе с выходным зеркалом, имеющим пропускание 50%, достигалась энергия импульса свободной генерации 105 мДж. При частоте следования импульсов 1000 Гц в свободной генерации достигалась средняя мощность излучения 95 Вт (амплитуда импульсов тока – 140 А, длительность – 250 мкс). Это предельные характеристики излучения и накачки. Большинство исследований на частоте 1000 Гц проводились в диапазоне амплитуд токов 60–130 А.

Распределение инверсной населенности в поперечном сечении АЭ на его торце имеет осесимметричный вид и неплохую равномерность (особенно для концентрации активатора 0,6%) на диаметре около 0,6–0,7 от диаметра АЭ. Затем интенсивность люминесценции плавно спадает к краям АЭ.

Для выбора конфигурации резонатора важно знать размеры тепловой линзы, возникающей в АЭ при его накачке. Фокус тепловой линзы для АЭ с плоскими торцами при токе 145 А был равен 150 мм с длительностью импульса 250 мкс. В диапазоне токов 70–100 А фокус линзы АЭ менялся от 250 до 180 мм. Использование вогнутых торцов АЭ позволяло варьировать параметры резонатора без дополнительных

оптических элементов. Оценка границ устойчивости резонаторов и диаметров пучков осуществлялась методами матричной оптики [3].

2. Исследование методов подавления деполаризации лазерного излучения в резонаторе и особенности схем резонаторов

Известно, что наличие анизотропии в АЭ лазера даже чисто фазового характера существенно ухудшает характеристики лазерного излучения [4]. Еще в 60–70 годы были предложены способы компенсации деполаризации излучения в стержнях АЭ лазеров (см. [5]). Первый из них заключается в использовании двух идентичных по распределению анизотропии АЭ и установкой между ними вращателя поляризации излучения на 90° . При прохождении пучка через второй АЭ деполаризация в значительной степени компенсируется. Как показано в более поздних работах, степень компенсации зависит от точности пространственного совпадения зон анизотропии, и она максимальна при изображении АЭ друг на друга [6, 7]. Второй способ пригоден для одного АЭ в резонаторе и заключается в установке между “глухим” зеркалом резонатора и АЭ вращателя Фарадея на 45° за проход, причем максимальная степень компенсации также достигается при изображении АЭ на себя самого [6, 7]. Существуют и другие способы уменьшения деполаризации, например, использование четвертьволновой пластинки [7]. Известны также методы уменьшения вредного влияния деполаризации, заключающиеся в расщеплении пучка на поляризованные компоненты, изменения состояния их поляризации и последующего соединения расщепленных пучков в резонаторе (см. [4]).

На рис. 1а представлены ближнепольные распределения плотности энергии в “слабой” и “сильной” компонентах коллимированного излучения гелий-неонового лазера, прошедшего АЭ $\emptyset 0,3 \times 6,3 \text{ см}^3$ в зависимости от амплитуды импульсов тока накачки (длительность импульса накачки – 250 мкс). На рис. 1б приведена схема регистрации пучков. На схеме использованы следующие обозначения: 1 – гелий-неоновый лазер, 2 – расширяющий телескоп, 3, 5 – призмы Глана, 4 – АЭ, 6 – светофильтры НС10, ЗС8, СЗС23, 7 – телевизионная цифровая камера. Фотография сфокусированных пучков “сильной” (слева) и “слабой” ком-

понент приведена на рис. 2в для тока 100 А и длительности импульсов 130 мкс при разделении компонент с помощью клина из кальцита.

Количественные измерения степени деполаризации (отношение энергии деполаризован-

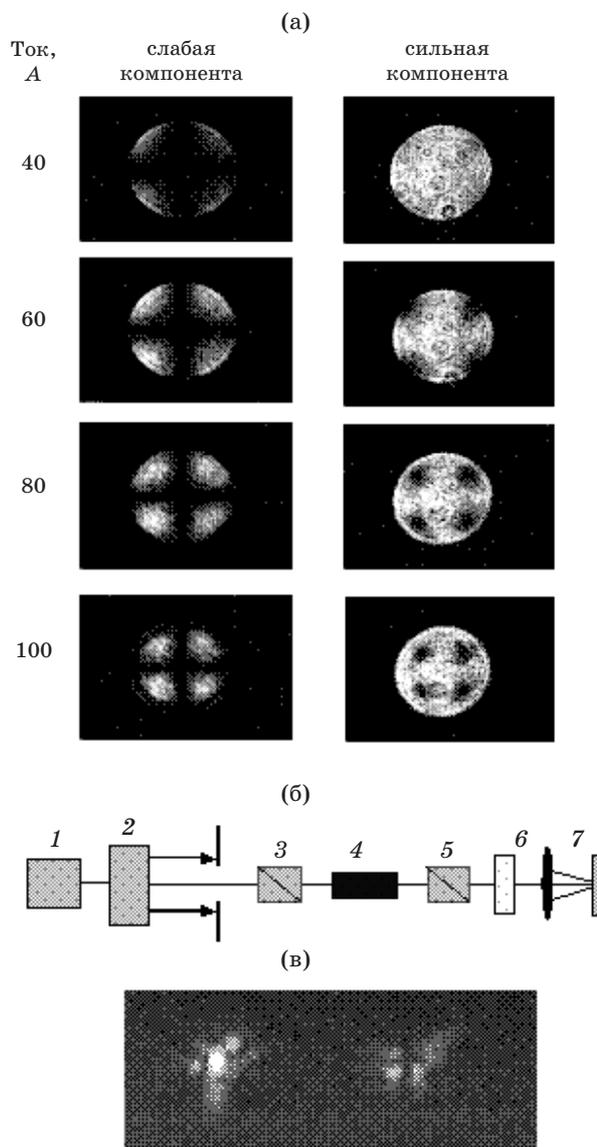


Рис. 1. Ближнепольные распределения плотности энергии в “слабой” и “сильной” компонентах коллимированного излучения гелий-неонового лазера (а), прошедшего АЭ в зависимости от амплитуды импульсов тока накачки (длительность импульса накачки – 250 мкс) и схема регистрации пучков (б). На схеме 1 – гелий-неоновый лазер, 2 – расширяющий телескоп, 3, 5 – призмы Глана, 4 – АЭ; 6 – светофильтры НС10, ЗС8, СЗС23; 7 – телевизионная цифровая камера VBS 522. Фотография сфокусированных пучков “сильной” (слева) и “слабой” компонент приведена на (v) для тока 100 А и длительности импульсов 130 мкс при разделении компонент с помощью клина из кальцита.

ного излучения к полной энергии излучения) дают до 24–28% за один проход АЭ. В режиме свободной генерации (отличается от моноимпульсного большим количеством проходов) в резонаторе с поляризатором большая часть излучения отражается от него, и только небольшая доля энергии проходит через выходное зеркало.

Таким образом, деполаризация излучения в АЭ круглого сечения является главным ограничивающим энергией излучения фактором при использовании поляризатора в резонаторе, который необходим для работы ЭОЗ и последующего преобразования излучения во вторую гармонику.

Следует также сразу отметить следующее. Полученное распределение инверсной населенности в поперечном сечении АЭ имеет довольно равномерную структуру. Распределение же в промежуточных зонах пучка, полученное при определении фокусного расстояния тепловой линзы, имеет вид ярко выраженного треугольника. На рис. 1в приведены распределения плотности энергии излучения в дальней зоне для “сильной” компоненты пучка и для “слабой” деполаризованной компоненты пучка. Расстояние от вогнутого торца АЭ с $R = -100$ см до плоскости матрицы ПЗС равно 50 см (амплитуда тока равна 100 А, длительность импульса накачки равна 130 мкс). Из рисунка видно, что “сильная” компонента сфокусирована, а “слабая” имеет вид как и в ближнем поле (в данном эксперименте разделение компонент осуществлялось с помощью клина из кальцита перед камерой).

Все попытки использовать сферические зеркала в резонаторе для получения нулевой поперечной моды с диаметром близким к диаметру АЭ приводили к существенному (на порядок) снижению средней мощности излучения лазера. Этот факт можно связать только с плохим качеством возникающей тепловой линзы в АЭ.

В процессе исследований были опробованы известные способы подавления деполаризации для одного АЭ в резонаторе. Исследования проводились в режиме свободной генерации. Результаты исследований отражены на рис. 2. Исследованные в работе схемы резонаторов приведены на рис. 2а. Результаты измерения выходной мощности P излучения, мощности деполаризованного излучения P_d , отраженного от внутрирезонаторного поляризатора и степени деполаризации D излучения приведены на рис. 2б.

Под степенью деполаризации D в статье мы понимаем отношение мощности деполаризованного излучения P_d отраженного от поляризатора к вычисленному значению мощности излучения P_1 до поляризатора со стороны АЭ. $D = P_d / \{ [P / (1 - K)] + P_d \}$, где K – коэффициент отражения выходного зеркала.

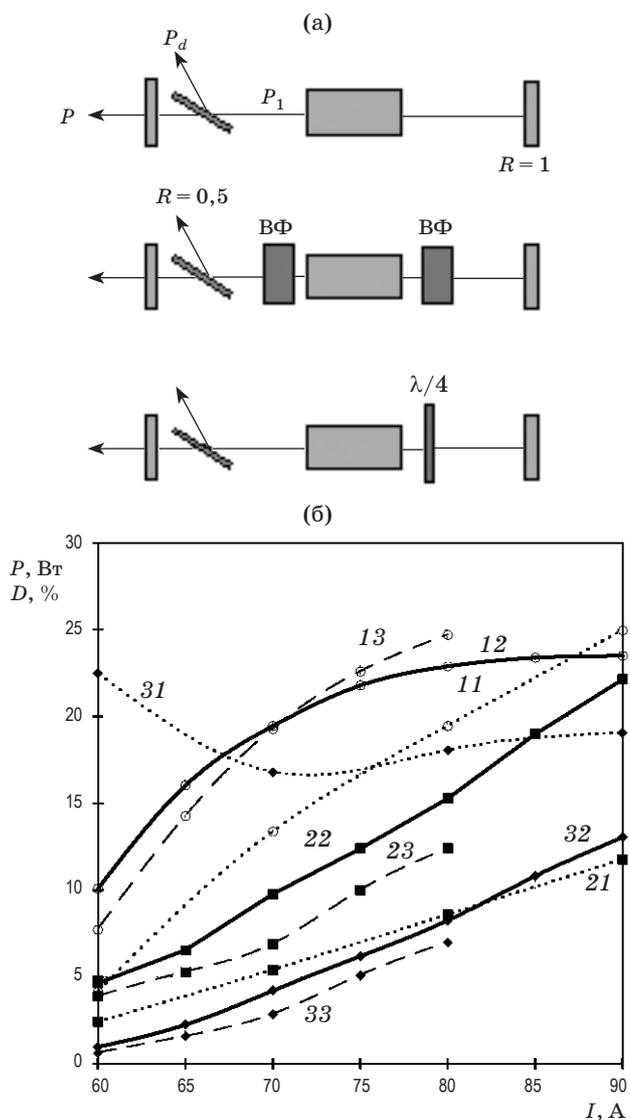


Рис. 2. Исследованные схемы резонаторов (а) и полученные зависимости выходной мощности излучения P в Вт (кривая 1), мощности деполаризованного излучения P_d (кривая 2), отраженного от внутрирезонаторного поляризатора, и степени деполаризации излучения D (кривая 3) в % от амплитуды тока накачки I в А (б). Кривые с мелкими штрихами (индекс 1) для верхней схемы резонатора, сплошные кривые (индекс 2) для резонатора с вращателями Фарадея (ВФ), с крупными штрихами (индекс 3) для случая четвертьволновой пластины в резонаторе. Кривые получены для режима свободной генерации при длительности импульса накачки 210 мкс.

По сравнению со случаем пустого резонатора с поляризатором (верхний рис. 2а) для токов 60–65 А все использованные способы дали заметное уменьшение степени деполяризации излучения почти на порядок. С ростом мощности накачки эффект заметно уменьшается.

Использовался вращатель Фарадея (ВФ) на постоянных магнитах с кристаллом ТГГ диаметром 4 мм в качестве активной среды. Для вывода излучения через второе зеркало резонатора требуется второй вращатель Фарадея (средняя схема рис. 2а). В экспериментах замечено, что деполяризация пучка быстро достигает определенного значения, затем наблюдается медленный непрерывный ее рост в течение нескольких минут. Объяснение этому эффекту только одно – это разогрев кристалла ТГГ и возникновение в нем двулучепреломления. Для его исключения автор работы [8] предлагает выполнять для больших средних мощностей ВФ из двух фрагментов кристаллов ТГГ с кварцевым вращателем поляризации между ними. Из рис. 2б видно (сплошные линии), что при достижении тока накачки 75–80 А выходная мощность лазера насыщается, а степень деполяризации близка к степени деполяризации без ВФ, т.е. метод перестает работать.

Проведенный модельный эксперимент с ВФ, аналогичный эксперименту, выполненному в работе [7], когда деполяризация в АЭ сильная, и есть только слабый пробный пучок, показывает, что ВФ обеспечивает устранение деполяризации излучения до уровня 1–3% при использовании резонатора с изображением АЭ самого на себя с помощью концевое сферического вогнутого зеркала. Но в реальном резонаторе и изображение АЭ на себя не помогает. Как показывают расчеты, существует возможность использовать резонатор с расширенным диаметром пучка у изображающего зеркала и тем самым снизить плотность энергии пучка в кристалле ТГГ, но тогда требуется ВФ с большой апертурой (7–10 мм).

Как и в работе [7] мы попробовали использовать четвертьволновую пластину из кварца для подавления деполяризации (ось Z пластинки ориентирована перпендикулярно плоскости рисунка). Пластина очень неплохо работает при малой деполяризации пучка, но с ростом мощности накачки степень деполяризации начинает возрастать (рис. 2, кривые с длинными штрихами).

Таким образом, полностью устранить деполяризацию излучения при средних мощностях излучения в резонаторе порядка 30–60 Вт нам не удалось.

3. Исследование работы лазера с электрооптическими модуляторами добротности резонатора и АОЗ

При включении драйвера ЭОЗ только на каждом сотом импульсе накачки были достаточно быстро получены энергии на основной гармонике порядка 20–30 мДж и энергии импульсов 15–20 мДж на второй гармонике на выходе резонатора для затворов на основе кристаллов из высокоомного КТР [9] и на основе танталата лития. Кристалл метаниобата лития разрушался при энергиях более 20 мДж на основной гармонике.

Но при включении драйвера ЭОЗ на частоте следования импульсов управления 1000 Гц кристалл метаниобата лития разрушился в течение 1 с, кристалл танталата лития проработал только несколько секунд. Кристалл КТР не разрушился, но через несколько секунд энергия моноимпульсов снизилась вдвое, и возникла свободная генерация из-за его нагрева и возникновения двулучепреломления в кристалле (первоначальный измеренный контраст последнего затвора был около 47). При пониженной энергии моноимпульса не более 10 мДж кристалл метаниобата лития успешно работал на частоте следования 1000 Гц.

После проведения экспериментов с ЭОЗ на рабочей частоте стало понятно, что ни на одном известном ЭОЗ импульсный лазер невозможно будет реализовать при средней мощности основной гармоники достаточной для получения 50% преобразования излучения во вторую гармонику вне резонатора. Кристалл ВВО имеет наиболее высокую лучевую прочность, но чтобы его использовать необходимо, вероятно, разработать систему охлаждения, т.к. по коэффициентам поглощения он мало отличается от других электрооптических кристаллов.

В то же время известно, что элементы из кристаллического кварца (90° пластины, акустооптические затворы (АОЗ), четвертьволновые пластины) имеют высокую теплопроводность, высокую лучевую прочность, малое поглощение и успешно работают в лазерах с непрерывной накачкой на высоких частотах следования импульсов. Также известно, что внутрирезонаторное преобразование излучения во вторую гармонику имеет более высокую

эффективность, что может позволить снизить энергию основной гармоники.

Выпускаемые ранее промышленностью АО затворы типа МЗ-301 имеют совсем небольшую дифракционную эффективность и не могут работать при усилении на проход $G = 2-3,5$. Современный АОЗ типа МЗ-321М имеет дифракционную эффективность порядка 75% и, ввиду конструктивных особенностей (использован кристалл кварца, вращающий поляризацию падающего излучения на 90°) не вносит потерь для любой поляризации падающего излучения. Кристалл кварца охлаждается проточной водой. Время фронта открытия затвора – порядка 250 нс для рабочей апертуры пучка 3 мм. Однако, при уменьшении диаметра пучка фронт открытия АОЗ заметно сокращается. Потери в АОЗ весьма малы и определяются в основном качеством просветления поверхностей. На длине волны 0,67 мкм затвор обеспечивает контраст около 9 для пучка 2,5 мм. Работа АОЗ была опробована в лазере с импульсной накачкой, резонатор которого был сильно несимметричен, т.е. АЭ был установлен вблизи первого зеркала резонатора, а в длинном плече резонатора вблизи второго зеркала устанавливался АОЗ. Были получены моноимпульсы излучения с длительностью около 25 нс и с энергией порядка 20–25 мДж при частоте включения затвора 1000 Гц. Энергии импульсов вполне достаточно для получения внутри резонатора требуемой энергии импульсов на второй гармонике. Требуется только решить вопрос с утилизацией деполяризованной компоненты основной гармоники.

В работе [10] лазер с ламповой накачкой с внутррезонаторным преобразованием излучения во вторую гармонику работал на частоте следования импульсов до 500 Гц. В резонаторе использовано расщепление пучка на ортогональные поляризационные компоненты, пропускании их через полуволновой затвор и последующее соединение пучков с помощью двух зеркал.

4. Исследование работы и характеристики лазера с расщеплением пучка поляризатором

Некоторые схемы поляризационного расщепления пучка описаны в [4]. В связи с тем, что ни один кристалл ЭОЗ не смог обеспечить нормальную работу лазера, вместо полуволнового

ЭОЗ как в работе [10] было решено использовать 90° -градусный кварцевый вращатель поляризации (рис. 3), а у противоположного зеркала резонатора с несимметричным расположением АЭ использовать АОЗ. В отличие от работы [10] расщепленные пучки замыкаются не тремя, а двумя зеркалами. Поэтому в АЭ пучки не переворачиваются в пространстве справа налево. Получившаяся схема похожа на схему с использованием ВФ – обе поляризованные компоненты поворачиваются на 90° . Только поляризатор установлен не слева от АЭ, а справа. Главное отличие схемы с компенсацией деполяризации с помощью ВФ заключается в том, что в схеме с ВФ после второго прохождения АЭ деполяризация компенсируется и остается одна поляризация, а в схеме с расщеплением поляризации остаются 2 пучка с ортогональными поляризациями. Любопытно, что после каждых 4-х проходов резонатора “сильная” (прошедшая через поляризатор) и “слабая” (отраженная от поляризатора) компоненты излучения

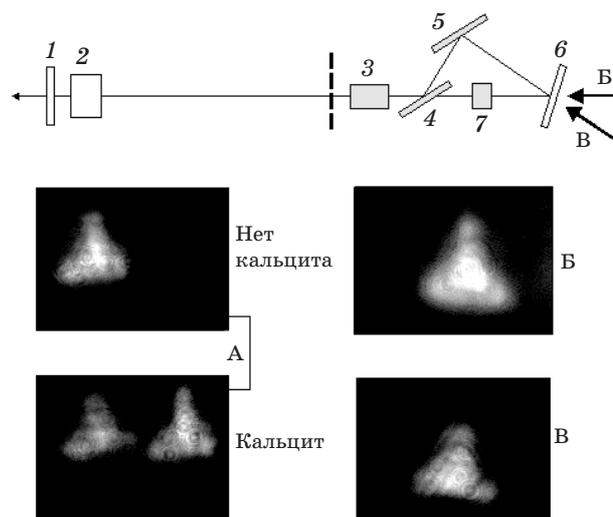


Рис. 3. Схема лазера и фотографии пучков в режиме свободной генерации: 1 – зеркало $K = 20\%$, 2 – АОЗ, 3 – АЭ, 4 – поляризатор, 5, 6 – зеркала с $K = 100\%$, 8 – кварцевый вращатель поляризации на 90° . На врезках слева приведены фотографии распределения плотности энергии в пучке в сечении А (штриховая линия) резонатора (нижнее фото при установленном клине из кальцита перед матрицей ПЗС камеры, разделяющий ортогональные поляризации). Справа приведены фотографии пучков, полученные при фотографировании в направлениях стрелок Б и В при расстоянии от матрицы ПЗС до зеркала 6 около 10 см. Масштаб фотографий 6,3×4,7 мм².

как бы меняются местами при распространении в “петле” после поляризатора.

Лазер по схеме рис. 3 был исследован при работе в режиме свободной генерации. При отражении выходного зеркала $K = 20\%$ и амплитуде импульса накачки 100 А получена мощность излучения порядка 20–25 Вт с пучком неплохого качества. Исследование энергетических характеристик поляризаций выходного пучка дало интересный результат. Оказалось, что две трети энергии пучка имеют поляризацию излучения ортогональную к азимуту наибольшего пропускания внутрирезонаторного поляризатора, а треть энергии пучка имеет поляризацию, совпадающую с азимутом наибольшего пропускания поляризатора. Пространственные распределения плотности энергии в обоих поляризационных компонентах близки. На врезках рис. 3 приведены фотографии распределения плотности энергии в пучке в сечении А, которые были получены переносом изображения из плоскости А резонатора на матрицу ПЗС с помощью клинового делителя пучка на выходе резонатора и линзы с фокусным расстоянием 0,5 м, так что плоскость изображения и матрица ПЗС находятся на двойном фокусном расстоянии от линзы (масштаб пучка и его изображения 1:1). Пучки с разной поляризацией разделены на матрице ПЗС с помощью клина из кальцита. Справа приведены фотографии пучков, полученные при фотографировании в направлениях стрелок Б и В при расстоянии от матрицы ПЗС до зеркала 6 около 10 см (отметим, что волновой фронт пучков в этой части резонатора близок к плоскому). Анализируя полученные изображения, можно сказать, что они имеют практически одинаковый вид и не имеют никаких особенностей, связанных с наличием деполяризованной компоненты (см. рис. 1а). Свободная генерация подчеркивает незначительно большее усиление в АЭ напротив линеек накачки (сверху и под углом 120° с обеих сторон).

Достоинством схемы является возможность преобразования во вторую гармонику излучения обоих ортогональных компонент и отсутствие излучения, которое необходимо утилизировать при использовании резонатора с зеркалами со 100% отражением.

На рис. 4 приведена схема лазера с АОЗ и преобразователем во вторую гармонику. Для вывода излучения из резонатора использована

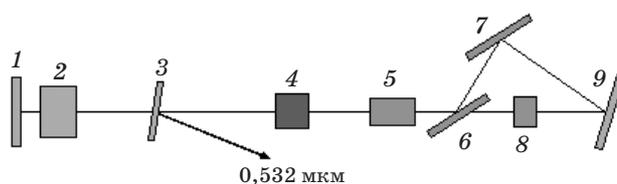


Рис. 4. Схема лазера с импульсной накачкой, в котором получена энергия импульсов 12 мДж на второй гармонике при частоте следования импульсов накачки 1000 Гц: 1, 7, 9 – зеркала с $K = 100\%$, 2 – АОЗ, 3 – зеркало с $K = 100\%$ для второй гармонике; 4 – кристалл КТР для преобразования излучения во вторую гармонику с длиной 9,3 мм, 5 – АЭ, 6 – поляризатор, 8 – кварцевый вращатель поляризации на 90° .

лось зеркало с $K = 100\%$ для длины волны 0,532 мкм, вторая поверхность которого просветлена для длины волны 1,064 мкм. АОЗ находится после выводящего зеркала, где существует только излучение с длиной волны 1,064 мкм, оставшееся после преобразования, т.е. в зоне с меньшей лучевой нагрузкой.

В данной схеме лазера получена энергия импульсов 12 мДж с длительностью импульсов 25 нс при частоте следования 1000 Гц.

Заключение

Таким образом, нами экспериментально показана возможность реализации импульсного лазера с частотой следования 1000 Гц и внутрирезонаторном преобразовании излучения во вторую гармонику.

Показано, что деполяризацию излучения полностью устранить не удастся. В использованной схеме с расщеплением поляризаций не требуется утилизировать деполяризованное излучение и не теряется энергия из-за деполяризации излучения, которую вносит в резонатор сам кристалл преобразователя во вторую гармонику.

Лучшим вариантом подавления деполяризации излучения в импульсных лазерах с высокой частотой следования импульсов является использование двух идентичных квантронов с кварцевым вращателем поляризации между их активными элементами. К тому же, использование квантронов с уменьшенной в два раза запасенной энергией приводит к двукратному удлинению тепловой линзы в каждом АЭ, а следовательно, к повышению качества, как отдельной линзы, так и суммарной линзы резонатора.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зверев Г.М., Голяев Ю.Д., Шалаев Е.А., Шокин А.А.* Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. М.: Радио и связь, 1985. 144 с.
2. *Алексеев В.Н., Котылев В.Н., Либер В.И.* Исследование характеристик излучения сканирующего лазера с активным элементом Yag:Nd^{3+} при его накачке линейками лазерных диодов и частоте следования импульсов до 400 гц. // *Оптический журнал.* 2009. Т. 76. № 9. С. 14–18.
3. *Джеррард А., Берч Дж.М.* Введение в матричную оптику. М.: Мир, 1978. 341 с.
4. *Мезенов А.В., Сомс Л.Н., Степанов А.И.* Термооптика твердотельных лазеров. Л.: Машиностроение, 1986. 199 с.
5. *Мак А.А., Сомс Л.Н., Фромзель В.А., Яшин В.Е.* Лазеры на неодимовом стекле. М.: Наука, 1990. 288 с.
6. *Denman C.A., Libby S.I.* Birefringence compensation using a single Nd:YAG rod // *Proc. of Advance Solid State Lasers.* 1999. V. 26. P. 608–612.
7. *Ostermeyer M.R., Klemz G., Kubina P., Menzel R.* Quasi-continuous-wave birefringence-compensated single- and double-rod Nd:YAG lasers // *Applied Optics.* 2002. V. 41. № 36. P. 7573–7582.
8. *Хазанов Е.А.* Компенсация термонаведенных поляризационных искажений в вентилях Фарадея // *Квантовая электроника.* 1999. Т. 26. № 1. С. 59–64.
9. *И.А. Паргачёв, Л.Я. Серебренников, А.Е. Мандель, В.А. Краковский, С.М. Шандаров, Г.И. Шварцман.* Электрооптические модуляторы лазерного излучения на основе высокоомных кристаллов КТР // *Доклады ТУСУРа.* Декабрь 2011. № 2 (24). Ч. 2. С. 115–118.
10. *Коновалов В.А., Павлович В.Л., Раевский Е.В.* Высокоэффективные лазеры на АИГ:Nd с преобразованием частоты // *Квантовая электроника.* 2002. Т. 32. № 3. С. 192–195.