

УДК 535.628.373.8; 535.548.0; 539.293; 621.382; 535.015

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДИОДНЫХ ЛАЗЕРОВ

Паращук Валентин Владимирович,

канд. физ.-мат. наук, доцент, ведущ. науч. сотр. Института физики
им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, 220072, Минск, пр. Независимости, 68.
E-mail: v.parashchuk@ifanbel.bas-net.by, v_shchuka@rambler.ru

Гуделев Валерий Георгиевич,

канд. физ.-мат. наук, ведущ. науч. сотр. Института физики
им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, 220072 Минск, пр. Независимости, 68.
E-mail: v.gudelev@dragon.bas-net.by

Актуальность работы обусловлена необходимостью конструирования новых перспективных оптических приборов, в частности диодных лазеров с заданным пространственным распределением диаграммы направленности излучения, предназначенных для использования в акустооптике, системах оптической связи, обработки и хранения информации и т. д.

Цель исследования: разработка нового эффективного метода формирования однородного или заданного пространственного распределения диаграммы направленности излучения диодных лазеров, основанного на использовании явления множественного лучеотражения (лучерасщепления) в анизотропных средах.

Методы исследования: экспериментальное исследование распределения интенсивности для лучей, выходящих из одиночной четырехлучеотражающей призмы и системы таких призм; изучение особенностей эффекта множественного лучеотражения в зависимости от геометрии и условий опыта на примере кристаллов кальцита, характеризующегося средней величиной двулучепреломления (с достаточным угловым разрешением) и сравнение результатов с литературными данными; выяснение возможности использования данного явления для повышения эффективности формирования пространственно-однородного лазерного излучения, существенного упрощения и расширения функциональных возможностей преобразования (коррекции) поперечного распределения интенсивности излучения и совершенствования на этой основе выходных характеристик диодных лазеров; анализ поляризационно-амплитудных характеристик эффекта, однородности или требуемой конфигурации диаграммы направленности излучения диодного лазера в зависимости от параметров исходного пучка и геометрии опыта, установление оптимальных условий повышения эффективности разрабатываемого метода.

Результаты. Установлено, что степень однородности формируемого светового профиля пропорциональна количеству генерируемых системой пучков – в случае 16-и лучевой геометрии достигнута наибольшая степень однородности пространственного распределения и максимальная интенсивность выходного излучения. Геометрия двумерной световой матрицы, образуемой при использовании многолучевого отражения, зависит как от взаимной ориентации призм, так и от направления лучей. Предложен вариант системы призм, обеспечивающий формирование матричных световых полей различной конфигурации, которыми можно эффективно управлять посредством изменения поляризационных и других характеристик исходного пучка. Предложенный способ по сравнению с аналогами характеризуется простотой использования и экономичностью, не требует применения сложных внутрирезонаторных схем и связанных с ними юстировочных процессов, позволяет осуществлять эффективную коррекцию различных нерегулярностей волновой поверхности, в том числе обусловленных многомодовостью излучения и трудноустраняемых иными способами. В исследуемых кристаллах обнаружено дополнительное (поперечное) смещение отраженных лучей, аналогичное наблюдавшемуся в других соединениях и обуславливающее повышение эффективности преобразования светового пучка. Показано, что в условиях данного метода возможно как ослабление, так и усиление световых пучков, имеющие практическое значение.

Ключевые слова:

Диодный лазер, диаграмма направленности излучения, множественное лучеотражение (лучерасщепление), эффективность.

Введение

В последнее время диодные лазеры получили широкое применение в различных областях науки и техники – медицине, акустооптике, информатике (вычислительной технике), в военных целях, космических исследованиях и т. д. – благодаря известным преимуществам: компактности, высокой эффективности и простоте управления и использования. Однако имеются и недостатки, в ряде случаев серьезно затрудняющие их применение, в частности наличие относительно широкой и несимметричной диаграммы направленности излучения, характеризующейся мелкой структурой дальнего поля даже в случае одномодового режима. Предыдущие исследования авторов были направлены на улучшение ряда базовых характеристик мощных

диодных лазеров – повышение их эффективности, выходной мощности, оптимизацию тепловых режимов с использованием современных теплопередающих материалов, в том числе алмазов [1–3]. В настоящей работе показано, что применение так называемого явления множественного лучеотражения в анизотропных средах позволяет существенно улучшить пространственные характеристики (однородность картины дальнего поля излучения) диодных лазеров и расширить их функциональные возможности. Основное внимание в работе авторы уделяют практическому применению указанного явления (по которому в литературе имеется мало сведений), не претендуя на выяснение его механизма. О предварительных результатах авторов по данному вопросу ранее сообщалось в [4].

Известно явление двойного лучеотражения – разновидности двойного лучепреломления, заключающееся в разделении луча на два – обыкновенный и необыкновенный – при полном внутреннем отражении в кристалле [5, 6]. В работе [7] впервые сообщалось, что кристалл (оптическую призму) можно вырезать особым способом, при котором один падающий луч при отражении от наклонной грани внутри кристалла возбуждает 4 луча – 2 обыкновенных и 2 необыкновенных, идущих в разных направлениях, – явление четырехлучеотражения (четверного лучеотражения). В ряде последующих работ обоснован механизм эффекта [8–17]. Считается, что это происходит вследствие несовпадения плоскостей главного сечения для падающего и отраженного лучей и эффекта сноса необыкновенных лучей за счет двулучепреломления. Однако до сих пор не выявлены все особенности и закономерности четырехлучеотражения во многих кристаллах и окончательно не ясен механизм указанного явления [18, 19], в связи с чем соответствующие исследования актуальны. Модификация данного метода с использованием нескольких призм позволяет сформировать многолучевое отражение и довести количество выходных пучков до 16-и и более [18–22]. Примечательно, что в рассматриваемой системе возможен и обратный процесс – суммирование (совмещение) нескольких лучей в один пучок [18, 19, 23]. Представляют интерес также свойства систем призм из различных материалов – положительных и отрицательных в отношении смещения лучей [18–23].

Свойства четырехлучеотражения в кристаллах CaCO_3 и его применение

Эффект четверного лучеотражения наблюдался в одно- и двухосных кристаллах, таких как иодат лития LiIO_3 , парателлурит TeO_2 , ниобат лития LiNbO_3 и др., в том числе исследуемых нами кристаллах кальцита CaCO_3 (исландский шпат). Однако в литературе имеются неполные сведения о свойствах множественного лучеотражения в указанном соединении. В настоящей работе использовались призмы, изготовленные по аналогии с данными для кристаллов иодата лития, в которых этот эффект изучен в достаточной степени ([7–10] и др.). Основные параметры призмы: входная и выходная (рабочие) грани нормальны друг к другу, наклонная грань относительно них составляет угол $\sim 45^\circ$, величина двулучепреломления равна $\Delta n = n_e - n_o \approx -0,17$. Рассмотрены два случая ориентации оптической оси кристалла – с расположением ее в плоскости входной (выходной) грани под углом $\alpha \approx 45^\circ$ или 135° к боковой поверхности призмы. Источником излучения служил диодный лазер (модуль) типа МЛМ ЛЕМТ с длиной световой волны $\lambda = 630\text{--}675$ нм и выходной мощностью $P_{\text{вых}} \leq 5$ мВт, работающий в непрерывном режиме. Выходное излучение было поляризовано и сфокусировано в виде полоски $\sim 1 \times 5$ мм с расходимостью $\sim 0,5$ мрад (квазипараллельный пучок).

На рис. 1, а представлена картина распределения интенсивности четырех лучей на экране, расположенном за призмой в нашем случае, в случае исходного (не расфокусированного) пучка света. Для разрешения и наблюдения поперечной структуры пучка использовалась его расфокусировка цилиндрическими линзами с $F \sim 50$ мм (рис. 1, б) и $F \sim 1$ мм (стеклянный стержень $d = 3$ мм) (рис. 1, в–е) в двух случаях: в меридиональной (перпендикулярно активному слою лазера) (рис. 1, б, в, д, е) и азимутальной плоскостях. При этом стеклянный стержень располагался соответственно параллельно световому полюсу, или ортогонально ему. В первом случае, представляющем наибольший интерес (основные закономерности эффекта изучены на примере данной геометрии опыта), поперечная структура пучка достаточно сложна и носит преимущественно линейчатый характер. Структура излучения в другой геометрии (в плоскости активного слоя) аналогична вышеописанной. Данная неоднородность коррелирует с наибольшей расходимостью несфокусированного пучка диодного лазера $\sim 30\text{--}40^\circ$ (перпендикулярно активному слою) и трудно поддается устранению или уменьшению обычными (оптическими) способами.

Для этой цели требуется применение, в частности, специальных оптических преобразователей-транспарантов, киноформных элементов, сложных голографических или аподизационных внутрирезонаторных методов (например, [24, 25]). Среди внутрирезонаторных способов коррекции волновых фронтов следует отметить метод получения негауссовых световых пучков с равномерным пространственным распределением интенсивности, основанный на выполнении одного из отражателей обобщенного конфокального резонатора в виде маски с дискретно расположенными фазосдвигающими неоднородностями [25]. Данный метод требует создания сложной маски-отражателя и использования специфической геометрии резонатора. В более сложном внутрирезонаторном методе аподизации излучения полупроводникового лазера использован преобразователь на основе двухосного кристалла КТР, ориентированного вдоль бинормали [25].

Условно наиболее «ближним» к заявляемому по технической сущности является способ генерации профилированных лазерных пучков с использованием «мягкой» аподизирующей диафрагмы на основе комбинации двулучепреломляющий элемент – оптическое стекло – поляризатор [26]. В этом способе оптическая ось нелинейно-оптического элемента, выполненного в виде кварцевой линзы, нормальна к направлению распространения излучения и ориентирована под углом $\alpha = 0\text{--}45^\circ$ относительно направления поляризации падающего луча. В процессе аподизации, т. е. перекрытия диафрагмой части дифракционного изображения, осуществляется коррекция волнового фронта, позволяющая создавать безаберрационные пучки с однородным по сечению распределе-

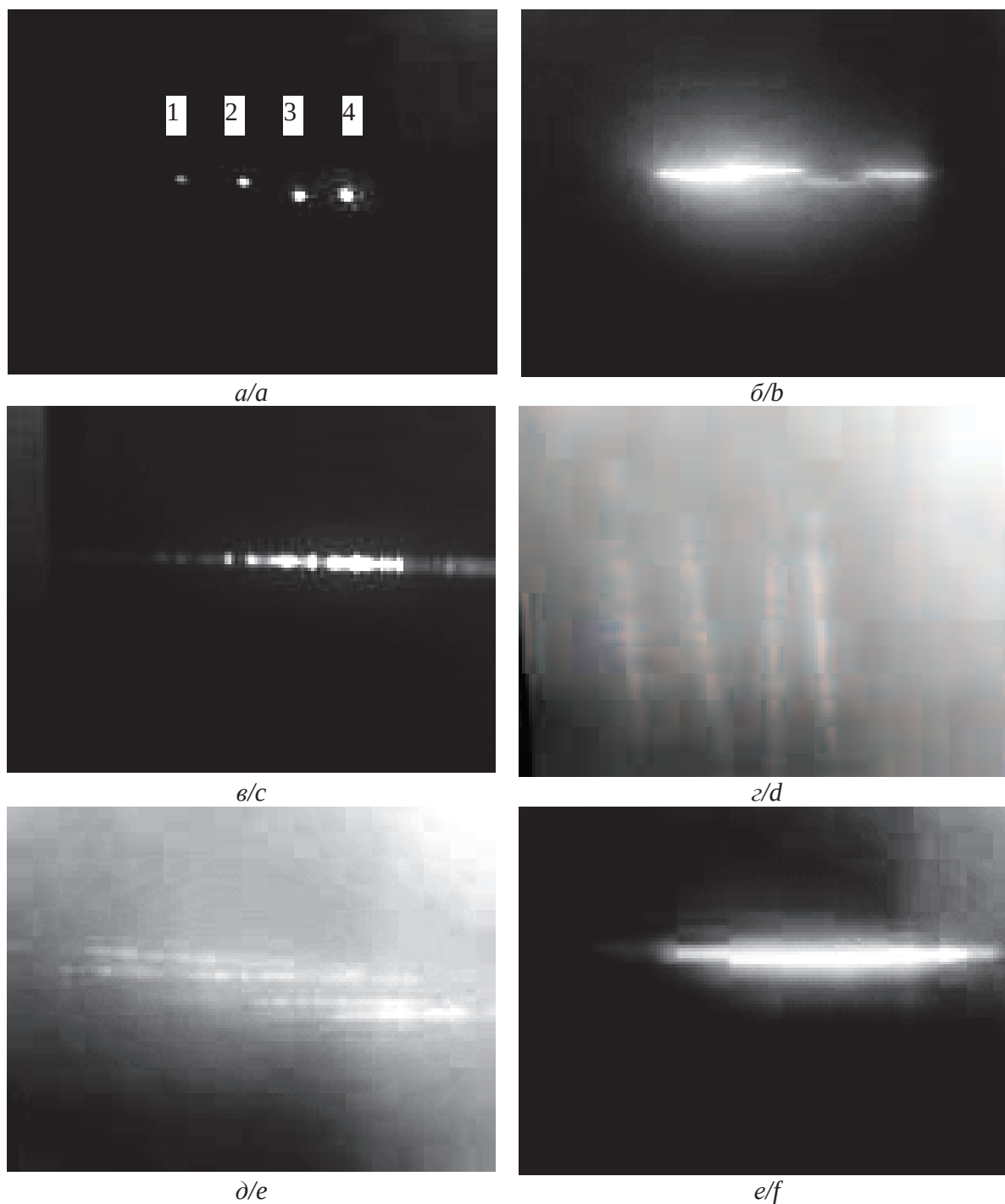


Рис. 1. Четверное лучеотражение в кристаллах кальцита и формирование однородной картины дальнего поля излучения диодного лазера. Лучи (взаимодействия): 1 – ое, 2 – оо, 3 – ее, 4 – ео; 1 и 3 – необыкновенные, 2 и 4 – обыкновенные лучи

Fig. 1. Fourfold beam-reflection in calcite crystals and formation of uniform pattern of the far field of diode laser radiation

нием интенсивности излучения. Однако при этом также значительно уменьшается диаметр пучка, что приводит к существенному падению энергии генерации и необходимости оптимизации параметров аподизирующей диафрагмы.

Следует отметить, что в действительности близких к разрабатываемому способам не существует и

приводимое выше сравнение носит условный характер. При этом простота и экономичность изложенного ниже метода очевидны, так как номинально в нем требуется применение всего одной призмы без сложных юстировок.

Сущность предлагаемого метода поясняется рис. 1–5. При повороте плоскости поляризации ла-

зерного пучка относительно входной грани призмы (путем поворота излучателя вместе с линзой) происходит соответствующее вращение и сближение по вертикали четырех расфокусированных треков лучей (рис. 1, *г, д*) и их наложение (совмещение), чем достигается заметное выравнивание распределения интенсивности суммарного трека (рис. 1, *е*).

Обнаруженный эффект выравнивания поперечного распределения интенсивности лазерного пучка становится возможным также вследствие того обстоятельства, что составляющие треки последовательно смещены по горизонтали друг относительно друга (рис. 1, *д*) и при их совмещении происходит эффективное заполнение несветящихся областей светящимися одновременно от нескольких треков.

Обращает внимание наличие в кристаллах CaCO_3 дополнительного (поперечного) смещения отраженных лучей (рис. 1, *а, б, д*), т. е. имеет место смещение первого и второго типов, аналогичное наблюдавшемуся в других соединениях. При этом отраженные лучи смещаются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и каждое из них вносит свой вклад в повышение эффективности преобразования луча: как отмечалось выше, поперечная структура лазерного пучка носит преимущественно линейчатый характер вдоль расфокусированного полоска (одной из координат), однако в целом она двумерна.

Анализ поляризационных характеристик (рис. 2) показывает, что распределение интенсивности лучей в рассматриваемой системе зависит от ориентации оптической оси © призмы и геометрии опыта. Так, в случае, когда оптическая ось находится в плоскости входной грани призмы под углом $\alpha = 135^\circ$ к плоскости боковой грани, зависимость интенсивности лучей 1, 2 от угла поворота плоскости поляризации (α_1) соответствует кривой 1, а интенсивности лучей 3, 4 – кривой 2 (рис. 2, *а*). Когда ось С находится при прежних условиях в плоскости выходной грани, поведение лучей аналогично для групп лучей 1, 3 и 2, 4.

Изучена зависимость интенсивности отраженных лучей от степени поляризации падающего лазерного излучения (угла вращения поляризатора φ) (рис. 2, *б*). В случае, когда все четыре отраженных от наклонной грани призмы луча характеризуются примерно равной интенсивностью, поведение лучей 1, 2 описывается кривой 1, а поведение лучей 3, 4 – кривой 2 на рис. 2, *б*. Если одна из указанных пар лучей погашена частично или полностью вследствие вращения плоскости поляризации (изменения угла α_1) излучения лазера, то соответствующие зависимости представлены кривыми 3 и 4. В последнем случае наблюдается как ослабление, так и усиление исходных пучков (кривая 4) в области углов $\varphi \sim 45^\circ$, что может быть использовано на практике.

Следует отметить, что описанное здесь поведение поляризационных характеристик (рис. 2) отличается от случая кристаллов LiIO_3 [10], что может быть обусловлено различием кристаллографической симметрии сравниваемых соединений: кристаллы иодата лития характеризуются гексагональной сингонией точечной симметрии, а кристаллы кальцита – тригональной. Кроме того, эффект чувствителен к параметрам используемых источников.

Особенности формирования многолучевого отражения

Исследовалась система двух призм, изготовленных из кристаллов кальцита, для трех вариантов их расположения. В одном варианте из системы выходит 8 лучей, в другом – 16, в третьем (промежуточном) формируется двухмерная матрица (рис. 3). Использовалась система, составленная из одинаковых кристаллов. Оптическая ось кристаллов расположена в плоскостях граней 3 и 4 под углом 45° к плоскости рисунка, при этом указанные грани могут быть взаимно параллельными или перпендикулярными.

В случае когда оптические оси призм параллельны, четыре луча, выходящие из первой призмы, вхо-

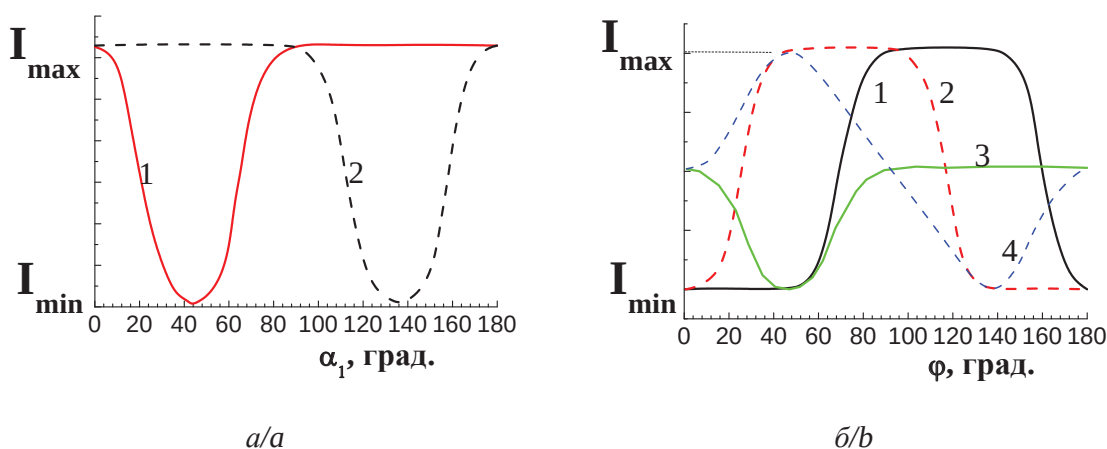


Рис. 2. Зависимость интенсивности системы отраженных лучей при четырехлучеотражении в кристаллах CaCO_3 от ориентации вектора $\mathbf{E}$ (*а*) и степени поляризации излучения (*б*)

Fig. 2. Dependence of intensity of reflected beam system at four-beam-reflecting in CaCO_3 crystals on $\mathbf{E}$ vector orientation (*a*) and on radiation polarization level (*b*)

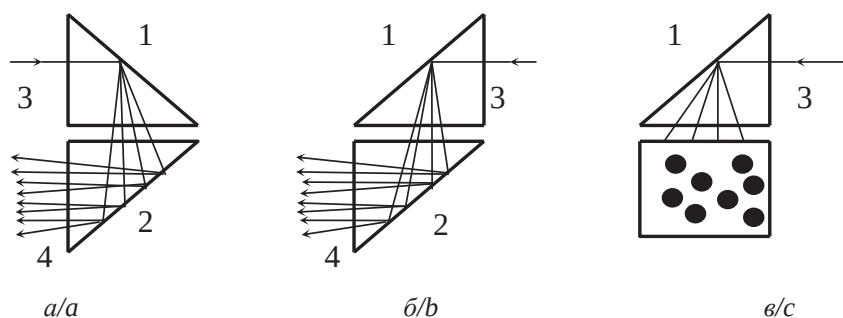


Рис. 3. Основные варианты расположения системы призм полного внутреннего отражения и ход лучей в призмах при множественном лучеотражении: а) обратный ход; б) прямой ход

Fig. 3. Basic variants of position of complete inner reflection prism system and beam direction in prisms at multiple beam reflection: a) back stroke; b) forward stroke

дят во вторую без удвоения и удваиваются только при отражении от наклонной грани второй призмы. В таком случае из системы выходит 8 лучей (рис. 3, б). Если оптические оси призм, составляющих систему, перпендикулярны, то лучи удваиваются при входе во вторую призму и при отражении от ее наклонной грани [18–22]. В результате этого из второй призмы выходит 16 лучей (рис. 3, а), которые разбиваются на семь групп (рис. 5, а) в соответствии с известными литературными данными (рис. 4).



Рис. 4. Схема пространственного распределения 16 лучей на экране, расположенном за системой призм, в случае обратного хода лучей [21, 22] 1 и 2 – типы лучей с ортогональными поляризациями

Fig. 4. Diagram of spatial distribution of 16 beams on the screen behind the prism system. In the case of back stroke of 1, 2 beams (kinds of beams with cross polarization)

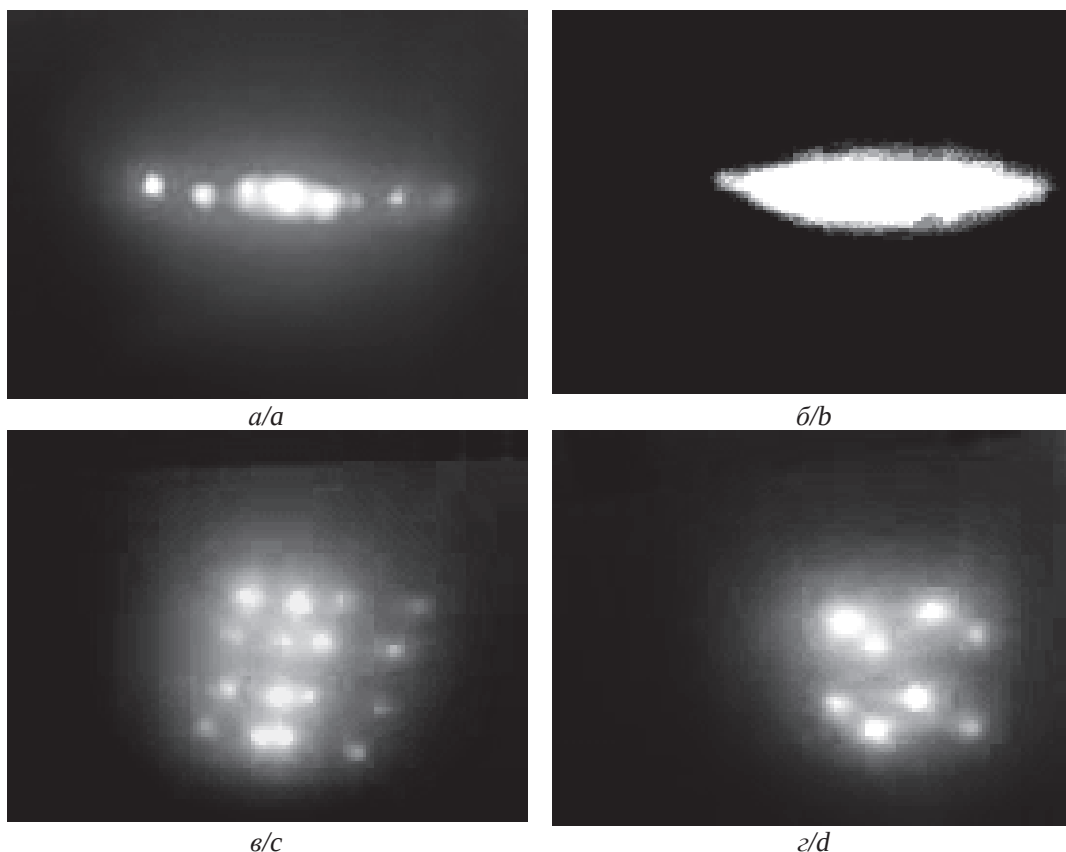


Рис. 5. Эффект множественного лучеотражения в кристаллах CaCO_3 (а) и его использование для эффективной коррекции (увеличения однородности) поперечного распределения интенсивности лазерного пучка (б) и для создания матричного светового поля различной конфигурации (в, г)

Fig. 5. Effect of multiple beam reflection in CaCO_3 crystals (a) and its application for effective correction (homogeneity increase) of lateral distribution of laser beam intensity (b) and for development of light field with different configuration (c, d)

В каждой группе имеются лучи двух типов с взаимно перпендикулярными поляризациями. Распределение интенсивностей указанных групп лучей зависит от направления поляризации падающего излучения относительно направления оптической оси первой призмы.

В случае множественного лучеотражения (рис. 5, б), как и ожидалось, достигнута большая эффективность выравнивания светового поля по сечению системы пучков, чем при 4-х лучеотражении (рис. 1, е). Кроме того, оказалось, что при пропускании световых пучков последовательно через систему двух призм, повернутых основаниями на 90° (промежуточный вариант), возможно формирование матричных световых полей различной конфигурации (рис. 5, в, г), которыми можно эффективно управлять посредством изменения поляризационных и других характеристик исходного пучка. В данном случае грани призм, в которых находятся оптические оси, располагались параллельно (рис. 5, в) либо перпендикулярно друг другу (рис. 5, г).

Заключение

Таким образом, в случае многолучевого отражения в анизотропном кристалле можно реализовать не только режим своеобразного переключения, т. е. управления интенсивностью и взаимным расположением отраженных лучей, но также осуществлять эффективную коррекцию пространственного распределения световых полей и синтезировать их заданную конфигурацию. В результате варьирования условий падения излучения на кристалл происходит изменение углов отражения лучей, обусловленных различными типами взаимодействий. В системе, состоящей из двух и более призм, можно менять число лучей и их интенсивность за счет взаимного расположения призм и изменения поляризации входного излучения. Величину углов выходящих из призмы расщепленных

лучей можно плавно варьировать и тем самым эффективно регулировать степень заполнения (однородности) картины дальнего поля излучения диодного лазера, а также локально управлять состоянием поляризации его излучения. Кроме того, степень однородности формируемого светового профиля пропорциональна количеству генерируемых системой пучков: в частном случае 16-лучевой геометрии достигнута наибольшая степень однородности пространственного распределения и максимальная интенсивность выходного излучения. Геометрия образуемой при использовании многолучевого отражения двумерной матрицы зависит как от взаимной ориентации призм, так и от направления лучей. Предлагаемый способ по сравнению с аналогами характеризуется простотой использования и экономичностью, не требует применения сложных внутрирезонаторных схем и связанных с ними юстировочных процессов, позволяет осуществлять эффективную коррекцию различных нерегулярностей волновой поверхности, в том числе обусловленных многомодовостью излучения и трудноустраняемых иными способами.

Рассмотренный эффект можно использовать в квантовой электронике, при конструировании новых оптических приборов, в частности, в системах оптической связи для разделения одного оптического канала на несколько, в системах обработки и хранения оптической информации (дефлекторы, сплиттерные модули и регистры) и для других аналогичных целей. Использование данного явления позволяет также эффективно формировать из точечного источника (случай одиночного лазерного диода) протяженного квазилинейного излучателя, что важно, например, для целей акустооптики, а в случае лазерной диодной линейки – существенно улучшить однородность картины дальнего поля и расширить функциональные возможности управления характеристиками лазеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация тепловых режимов диодных лазеров / В.В. Паращук, А.К. Беляева, В.В. Баранов, Е.В. Телеш, Vu Doan Mien, Vu Van Luc, Pham Van Truong // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 137–141.
2. Parashchuk V.V., Ryabtsev G.I., Belyaeva A.K., Bezyazhynaya T.V., Baranov V.V., Telesh E.V., Vu Doan Mien, Vu Van Luc, Pham Van Truong. Improving the efficiency of high-power diode lasers using diamond heat sinks // Quantum Electronics. – 2010. – V. 40. – № 4. – P. 301–304.
3. Parashchuk V.V., Vu Doan Mien. Effect of thermal processes on critical operation conditions of high-power laser diodes // Quantum Electronics. – 2013. – V. 43. – № 10. – P. 907–913.
4. Паращук В.В., Гуделев В.Г. Нелинейно-оптический метод управления пространственными характеристиками излучения диодных лазеров // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: Сборник статей IX Белорусско-Российского семинара. – Минск, 2013. – С. 206–209.
5. Кизель В.А. Отражение света. – М.: Наука, 1973. – 352 с.
6. Строганов В.И., Самарин В.И. Полное внутреннее отражение необыкновенных лучей // Кристаллография. – 1995. – Т. 20. – № 3. – С. 652–653.
7. Алексеева Л.В., Повх И.В., Строганов В.И. Особенности полного внутреннего отражения в оптических кристаллах // Письма в ЖТФ. – 1999. – Т. 25. – № 1. – С. 46–51.
8. Алексеева Л.В., Кидяров Б.И., Пасько П.Г., Повх И.В., Строганов В.И. Четырехлучевое расщепление в оптических кристаллах // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69. – № 6. – С. 79–81.
9. Карась К.Г. Расщепление световых лучей в оптических кристаллах: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Хабаровск, 2004. – 97 с.
10. Филиппова И.С., Пикуль О.Ю., Строганов В.И. Зависимость интенсивности отраженных в кристалле лучей от угла падения и поляризации излучения // Оптика-2005: Труды IV Междунар. конф. – С.-Петербург, 2005. – С. 340–341.
11. Филиппова И.С., Кравцова Н.А., Строганов В.И., Алексеева Л.В., Соколовский Р.И. Снос необыкновенных лучей при четырехлучевом расщеплении // Оптика-2005: Труды IV Междунар. конф. – С.-Петербург, 2005. – С. 342–343.
12. Повх И.В. Многолучевое отражение световых волн в анизотропных кристаллах: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Хабаровск, 2001. – 103 с.
13. Смышляева М.М. Оптические явления в анизотропных и композитных материалах и возможности их применения в волоконно-оптических системах передачи: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Хабаровск, 2003. – 115 с.

14. Независимое проявление сноса и преломления необыкновенных лучей в анизотропных кристаллах / В.И. Строганов, Л.В. Алексеева, М.Н. Литвинова, В.А. Лебедев, И.А. Гаранькова // Вестник ТОГУ. Физ.-мат. науки. – 2012. – Т. 24. – № 1. – С. 61–64.
15. Four-ray splitting in optical crystals / L.V. Alekseeva, I.V. Povkh, V.I. Stroganov, B.I. Kidyarov, P.G. Pas'ko // Journal of Optical Technology. – 2002. – V. 69. – № 6. – P. 441–442.
16. Propagation of an extraordinary beam through a plane-parallel crystal plate / L.V. Alekseeva, I.V. Povkh, M.N. Litvinova, V.I. Stroganov, I.A. Garankova // Russian Physics Journal. – 2010. – V. 53. – № 5. – P. 539–540.
17. Additional beams in optically uniaxial crystals / M.N. Litvinova, V.I. Stroganov, V.I. Doronin, P.G. Pas'ko // Russian Physics Journal. – 2007. – V. 50. – № 7. – P. 687–690.
18. Кузнецов В.А. Оптические свойства лучерасщепляющих призм на основе одноосных кристаллов: дис.... канд. физ.-мат. наук. – Хабаровск, 2009. – 110 с.
19. Crystal-based device for combining light beams / V. Kuznetsov, D. Faleiev, E. Savin, V. Lebedev // Optics Letters. – 2009. – V. 34. – № 18. – P. 2856–2857.
20. Wang C.C., Racette G.W. Calcite prisms as high-power laser beam combiners // Applied Optics. – 1965. – V. 4. – № 6. – P. 759–761.
21. Множественное отражение световых лучей в системе двух призм / И.С. Филиппова, Л.В. Алексеева, И.В. Повх, В.И. Строганов // Оптика-2005: Труды IV Междунар. конф. – С.-Петербург, 2005. – С. 192–193.
22. Оптическая система из двух призм с анизотропными свойствами / И.С. Филиппова, Л.В. Алексеева, И.В. Повх, В.И. Строганов // Известия вузов. Приборостроение. – 2008. – Т. 51. – № 1. – С. 69–70.
23. A nonreciprocal optical element / L.V. Alekseeva, I.V. Povkh, V.I. Stroganov, B.I. Kidyarov, P.G. Pas'ko // Journal of Optical Technology. – 2003. – V. 70. – № 7. – P. 525–526.
24. Волноводный CO₂-лазер с квазиоднородным распределением интенсивности выходного излучения / С.А. Власенко, О.В. Гурин, А.В. Дегтярев, В.А. Маслов, В.А. Свич, А.Н. Топков // Квантовая электроника. – 2013. – Т. 43. – № 5. – С. 472–476.
25. Аполизация излучения полупроводникового лазера преобразователем на основе полупроводникового лазера / А.А. Рыжечин, С.В. Солоневич, Н.А. Хило, Н.С. Казак // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: Сборник статей IX Белорусско-Российского семинара. – Минск, 2013. – С. 210–213.
26. Малевич Н.А., Малевич П.Н., Конойко А.И. Внутррезонаторная генерация профилированных и спиральных лазерных пучков // Лазерная физика и оптические технологии: Труды VIII Междунар. науч. конф. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 16–20.

Поступила 10.01.2014 г.

UDC 535.628.373.8; 535.548.0; 539.293; 621.382; 535.015

METHOD FOR CONTROLLING SPATIAL CHARACTERISTICS OF DIODE LASERS RADIATION

Valentin V. Parashchuk,

Cand. Sc., Stepanov Institute of Physics of NASB, 68, Nezavisimosti Avenue, Minsk, 220072, Belarus. E-mail: v.parashchuk@ifanbel.bas-net.by

Valeriy G. Gudelev,

Cand. Sc., Stepanov Institute of Physics of NASB, 68, Nezavisimosti Avenue, Minsk, 220072, Belarus. E-mail: v.gudelev@ifanbel.bas-net.by

The urgency of the discussed issue is caused by necessity of designing new perspective optical devices, in particular diode lasers with the given spatial distribution of radiation directivity diagram intended for being used in acoustooptics, systems of optical communication, information processing and storage, etc.

The main aim of the study is to develop a new effective method of forming homogeneous or given spatial distribution of the directivity diagram of diode lasers radiation based on application of multiple-beam-reflection (beam-splitting) phenomenon in anisotropic environments.

The methods used in the study: experimental research of intensity distribution for the beams leaving a single four-beam-reflecting prism and the system of such prisms; studying the features of the multiple-beam-reflection effect depending on geometry and test conditions by the example of calcite crystals with average size of birefringence (with sufficient angular resolution) and comparison of the results with the literary data; finding-out of an opportunity of applying the phenomenon for increasing the efficiency of formation of the spatial-homogeneous laser radiation, essential simplifying and expanding functionalities of transformation (correction) of cross-section radiation intensity distribution and perfection of diode laser output characteristics on this basis; analysis of polarization-amplitude characteristics of the effect, uniformity or required configuration of the directivity diagram of diode lasers radiation depending on initial beam parameters and test geometry, set of optimum conditions for increasing the efficiency of the developed method.

The results: It was ascertained that the uniformity degree of a formed light profile is proportional to quantity of beams generated by the system – in the case of 16-beam geometry the greatest degree of uniformity of spatial distribution and the maximal intensity of output radiation were achieved. The geometry of a two-dimensional light matrix formed when applying multiple-beam-reflection depends both on mutual orientation of prisms, and on beams direction. The authors have proposed the variant of prism system providing the formation of matrix light fields of various configurations. The fields can be operated effectively changing polarizing and other characteristics of the initial beam. The method proposed in comparison with analogues is characterized by simplicity in use and profitability; does not demand application of complicated intraresonator schema and adjusting processes connected with them; allows correcting effectively various irregularities of a wave surface, including those which are difficult to be removed by the other ways and caused by radiation multiple-mode. In the crystals researched the additional (transversal) shift of the reflected beams was observed. The similar shift was observed in another matters and caused the increase of efficiency of light beam transformation. It is shown, that both attenuation and intensification in the context of the method. It is of practical value.

Key words:

Diode laser, radiation directivity diagram, multiple-beam-reflection (beam-splitting), efficiency.

REFERENCES

1. Parashchuk V.V., Belyaeva A.K., Baranov V.V., Telesh E.V., Vu Doan Mien, Vu Van Luc, Pham Van Truong. Optimizatsiya teplovikh rezhimov diodnykh lazerov [Optimization of diode laser thermal conditions]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2009, vol. 315, no. 4, pp. 137–141.
2. Parashchuk V.V., Ryabtsev G.I., Belyaeva A.K., Bezyazychnaya T.V., Baranov V.V., Telesh E.V., Vu Doan Mien, Vu Van Luc, Pham Van Truong. Improving the efficiency of high-power diode lasers using diamond heat sinks. *Quantum Electronics*, 2010, vol. 40, no. 4, pp. 301–304.
3. Parashchuk V.V., Vu Doan Mien. Effect of thermal processes on critical operation conditions of high-power laser diodes. *Quantum Electronics*, 2013, vol. 43, no. 10, pp. 907–913.
4. Parashchuk V.V., Gudelev V.G. Nonlinear-optics method of spatial characteristics control of diode lasers radiation. *Book of papers of 9th Belarusian–Russian Workshop. Semiconductor Lasers and Systems*. Minsk, 2013, pp. 206–209.
5. Kizel V.A. *Otazhenie sveta* [Light reflection]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 352 p.
6. Stroganov V.I., Samarin V.I. Polnoe vnutrennee otobrazhenie neobyknoennykh luchey [Full internal reflection of extraordinary beams]. *Kristallografiya*, 1995, vol. 20, no. 3, pp. 652–653.
7. Alekseeva L.V., Povkh I.V., Stroganov V.I. Osobennosti polnogo vnutrennego otazheniya v opticheskikh kristallakh [Features of full internal reflection in optical crystals]. *Pisma v ZhTF – Technical Physics Letters*, 1999, vol. 25, no. 1, pp. 46–51.
8. Alekseeva L.V., Kidrov B.I., Pasko P.G., Povkh I.V., Stroganov V.I. Chetyrekhлучевое rasshcheplenie v opticheskikh kristallakh [Four-ray-splitting in optical crystals]. *Opticheskiy Zhurnal – Journal of Optical Technology*, 2002, vol. 69, no. 6, pp. 79–81.
9. Karas K.G. *Rasshcheplenie svetovykh luchey v opticheskikh kristallakh*. Kand. Diss. [Splitting of light rays in optical crystals. Cand. Diss.]. Khabarovsk, 2004. 97 p.
10. Filippova I.S., Pikul O.Yu., Stroganov V.I. Zavisimost intensivnosti otazhennykh v krystalle luchey ot ugla padeniya i polarizatsii izlucheniya [Dependence of intensity of the beams reflected in a crystal on a angle of slope and polarization of radiation]. *Trudy IV Mezhdunarodnoy Konferentsii «Optika-2005»* [Proc. 4th Int. Conf. Optics-2005]. S.-Peterburg, 2005. pp. 340–341.
11. Filippova I.S., Kravtsova N.A., Stroganov V.I., Alekseeva L.V., Sokolovskii R.I. Snos neobyknoennykh luchey pri chetyrekhлучевом rasshcheplenii [Shift of an extraordinary beams at the four-ray-splitting]. *Trudy IV Mezhdunarodnoy Konferentsii «Optika-2005»* [Proc. 4th Int. Conf. Optics-2005]. S.-Peterburg, 2005, pp. 342–343.
12. Povkh I.V. *Mnogoluchevое otazhenie svetovykh voln v anizotropnykh kristallakh*. Kand. Diss. [Multiple-ray-reflection of light rays in anisotropic crystals. Cand. Diss.]. Khabarovsk, 2001. 103 p.
13. Smyshlyaeva M.M. *Opticheskie yavleniya v anizotropnykh i kompozitnykh materialakh i vozmozhnosti ikh primeneniya v volokonno-opticheskikh sistemakh peredachi*. Kand. Diss. [The optical phenomena in anisotropic and composite materials and opportunity of their application in optical fibre systems of transfer. Cand. Diss.]. Khabarovsk, 2003. 115 p.
14. Stroganov V.I., Alekseeva L.V., Litvinova M.N., Lebedev V.A., Garankova I.A. Nezavisimoe proyavlenie snosa i prelomleniya neobyknoennykh luchey v anizotropnykh kristallakh [Independent display of shift and refraction of extraordinary beams in anisotropic crystals]. *Vestnik TOGU. Fiz.-matem. nauki*, 2012, vol. 24, no. 1, pp. 61–64.
15. Alekseeva L.V., Povkh I.V., Stroganov V.I., Kidyarov B.I., Pasko P.G. Four-ray splitting in optical crystals. *Journal of Optical Technology*, 2002, vol. 69, no. 6, pp. 441–442.
16. Alekseeva L.V., Povkh I.V., Litvinova M.N., Stroganov V.I., Garankova I.A. Propagation of an extraordinary beam through a plane-parallel crystal plate. *Russian Physics Journal*, 2010, vol. 53, no. 5, pp. 539–540.
17. Litvinova M.N., Stroganov V.I., Doronin V.I., Pasko P.G. Additional beams in optically uniaxial crystals. *Physics Journal*, 2007, vol. 50, no. 7, pp. 687–690.
18. Kuznetsov V.A. *Opticheskie svoystva lucherasshcheplyayushchikh prizm na osnove odnoosnykh kristallov*. Kand. Diss. [Optical properties of ray-splitting prisms on a basis single-axis crystals. Cand. Diss.]. Khabarovsk, 2009. 110 p.
19. Kuznetsov V., Faleiev D., Savin E., Lebedev V. Crystal-based device for combining light beams. *Optics Letters*, 2009, vol. 34, no. 18, pp. 2856–2857.
20. Wang C.C., Racette G.W. Calcite prisms as high-power laser beam combiners. *Applied Optics*, 1965, vol. 4, no. 6, pp. 759–761.
21. Filippova I.S., Alekseeva L.V., Povkh I.V., Stroganov V.I. Mnozhestvennoe otazhenie svetovykh luchey v sisteme dvukh prizm [Multiple reflection of light beams in system of two prisms]. *Trudy IV Mezhdunarodnoy Konferentsii «Optika-2005»* [Proc. 4th Int. Conf. Optics-2005]. S.-Peterburg, 2005. pp. 192–193.
22. Filippova I.S., Alekseeva L.V., Povkh I.V., Stroganov V.I. Opticheskaya sistema iz dvukh prizm s anizotropnymi svoystvami [Optical system of two prisms with anisotropic properties]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie*, 2008, vol. 51, no. 1, pp. 69–70.
23. Alekseeva L.V., Povkh I.V., Stroganov V.I., Kidyarov B.I., Pasko P.G. Nevzaimnye opticheskiye elementy [Nonreciprocal optical elements]. *Opticheskiy Zhurnal – Journal of Optical Technology*, 2003, vol. 70, no. 7, pp. 525–526.
24. Vlasenko S.A., Gurin O.V., Degtyarev A.V., Maslov V.A., Svits V.A., Topkov A.N. Waveguide CO₂-laser with quasihomogeneous distribution of intensity of output radiation. *Quantum Electronics*, 2013, vol. 43, no. 5, pp. 472–476.
25. Ryzhevich A.A., Solonevich S.V., Khilo N.A., Kazak N.S. Apodization of radiations of the semiconductor laser by the converter on the basis of the semiconductor laser. *Book of papers of 9th Belarusian–Russian Workshop. Semiconductor Lasers and Systems*. Minsk, 2013. pp. 210–213.
26. Malevich N.A., Malevich P.N., Konoyko A.I. Vnutrirezonnaya generatsiya profilirovannykh i spiralnykh lasernykh puchkov [Intraresonator generation of profiled and spiral laser beams]. *Trudy VIII Mezhdunarodnoy Nauchnoy Konferentsii «Lasernaya fizika i opticheskiye tekhnologii»* [Proc. 8th Int. Sci. Conf. Laser Physics and Optic Theknology]. Minsk, 2010. Vol. 1, pp. 16–20.

Received: 10 January 2014.