

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЛАЗЕРНЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

УДК 537.8:535.8

НЕСТЕРОВ Александр Владимирович

**ЛАЗЕРНЫЕ ПУЧКИ С ОСЕСИММЕТРИЧНЫМ
СОСТОЯНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИИ**

(05.27.03 – квантовая электроника)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Шатура 2000

Работа выполнена в ИНСТИТУТЕ ПРОБЛЕМ ЛАЗЕРНЫХ И
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАН

Научные руководители:

доктор физ.-мат. наук Низьев Владимир Григорьевич

кандидат физ.-мат. наук Семингов Владимир Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, профессор Емельянов Владимир Ильич (МГУ
им. М.В. Ломоносова)

кандидат физ.-мат. наук Дубров Владимир Дмитриевич (ИПЛИТ РАН)

Ведущая организация:

Центр естественно-научных исследований Института общей физики РАН

Защита состоится «21» дек. 2000 года в 14.00 часов на заседании
Диссертационного Совета К200.14.01 по адресу: 140700 Шатура,
ул. Святоозерская 1, ИПЛИТ РАН, Круглый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПЛИТ РАН

Автореферат разослан «16» нояб. 2000 года

Ученый секретарь Диссертационного Совета

доктор технических наук, профессор

Л.А. Новицкий
15.11.00

Л.А. Новицкий

2008-4
1715

2602863
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Во многих применениях лазерного излучения его состояние поляризации является важным параметром, определяющим результат взаимодействия лазерного излучения с веществом. В ряде задач необходимо использовать лазерный луч, обладающий осевой симметрией, включая поляризацию. В этом случае лазерный пучок с однородным распределением вектора электрического поля (электрический вектор линейно поляризован и имеет общее направление по всему поперечному сечению луча) оказывается неприемлемым. При круговой поляризации параметры взаимодействия излучения с веществом оказываются усредненными, а, значит, не оптимальными ни с точки зрения минимальных потерь, ни с точки зрения максимального поглощения. Осесимметрично поляризованные лазерные пучки могли бы обеспечить оптимальные параметры взаимодействия излучения с веществом. Так, например, лазерный пучок с азимутальным состоянием поляризации имеет минимальные потери при прохождении через полый металлический волновод с круглым сечением: радиальное состояние поляризации обеспечивает максимальное поглощение излучения при лазерной обработке металлов (френелевское поглощение), при распространении пучка в неоднородной плазме (резонансное поглощение Р-волн вблизи области с критической плотностью).

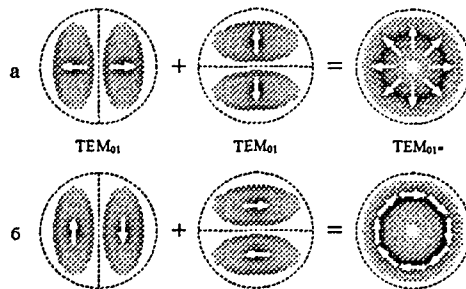


Рис. 1. Мода TEM_{01} с радиальным (а) и азимутальным (б) состояниями поляризации как суперпозиция двух линейно поляризованных мод TEM_{01}

Лазерные пучки с азимутальным и радиальным состояниями поляризации известны из теории открытых резонаторов. Их существование связывают с суперпозицией двух линейно поляризованных мод TEM_{01} , повернутых друг относительно друга на 90° (рис.1).

В зависимости от ориентации вектора электрического поля (поперек или вдоль пятен моды TEM_{01}) и фазы колебаний результирующая мода TEM_{01} может иметь радиальный или азимутальный типы поляризации. Осесимметрично поляризованные лаггер-гауссовы пучки, описываемые в терминах поперечной моды TEM_{01} , являются автомодельными, т.е. пучками, распространяющимися в свободном пространстве без изменения геометрической формы их поперечного сечения. В ряде работ указывалось на возможность существования неавтомодельных осесимметрично поляризованных лазерных пучков. К ним относятся бессель-гауссовы пучки с азимутальной поляризацией, которые, как предполагается, излучает полупроводниковый лазер типа CCGSE (concentric-circle-grating, surface emitting).

В некоторых работах указывалось на сходство осесимметрично поляризованных бессель-гауссовых пучков и мод TEM_{01} с волноводными модами TE_{01} и TM_{01} , которые также имеют осесимметричное состояние поляризации.

Следует отметить, что с теоретической точки зрения вопросы, связанные с описанием лазерных пучков и селекцией мод с осесимметричным состоянием поляризации, исследованы недостаточно. В литературе не были даны ответы на вопросы: какие моды в принципе могут иметь осесимметричное состояние поляризации, у каких пучков осесимметричное распределение поляризации сохраняется по мере распространения в свободном пространстве. Без ответа на эти вопросы невозможно было решать задачу получения излучения с осесимметричным состоянием поляризации.

До настоящего времени не были предложены простые и эффективные методы получения лазерного излучения такого типа. Известно несколько принципиальных методов решения этой задачи: использование конического

отражателя или бростеровского конического окна в резонаторе, наведённое осесимметричное двулучепреломление в активном элементе твердотельного лазера, поляризационный эффект Зеемана в осесимметричном магнитном поле, висрезонаторная реконструкция осесимметрично поляризованных лазерных пучков из пучков с круговой и линейной поляризацией. Все из перечисленных методов или являются технически сложными или их применение ограничено излучением низкой интенсивности. Таким образом важное место в исследованиях по осесимметрично поляризованному излучению занимает проблема его получения.

Цели работы.

1. Анализ решений векторного волнового уравнения в параксиальном приближении, описывающего пучки с осесимметричным состоянием поляризации.
2. Теоретическая и экспериментальная разработка новых эффективных универсальных дифракционных методов получения осесимметрично поляризованного излучения.

Методы исследования.

В настоящей работе использовались как теоретические, так и экспериментальные методы исследования. При анализе решений векторного волнового уравнения учитывалась зависимость вектора поляризации от азимутального угла. При расчете оптимальных параметров мелкомасштабных решеток использовался подход, согласно которому периодический рельеф с периодом d много меньшим длины волны λ может быть заменен однородным слоем с эффективной диэлектрической проницаемостью, различной для волн с электрическим вектором, перпендикулярным и параллельным штрихам. При расчете оптимальных свойств мелких решеток $d \cong \lambda$, $h \ll \lambda$ использовалась аналитическая теория, базирующаяся на гипотезе Рэлея. Для расчета глубоких решеток $d \approx 2\lambda$, $h \approx 0,5\lambda$ использовался численный метод, основанный на решении системы интегральных уравнений, вытекающих из соотношений Стреттона-Чу и граничных условий.

Внутрирезонаторные дифракционные элементы были получены фотолитографическим методом. Генерация радиально поляризованного излучения осуществлялась в технологическом CO_2 -лазере ТЛ-2,5. Для анализа поперечной структуры генерируемого пучка использовалась диагностическая система Mode Analysis Computer-2.

Научная новизна и практическая ценность.

Для получения осесимметрично поляризованных лазерных пучков предлагается использовать отражательные оптические дифракционные элементы как внутри, так и вне резонатора. Внутрирезонаторные элементы могут применяться в существующих лазерах с многомодовым режимом генерации, включая мощные лазеры.

Впервые в мощном CO_2 -лазере осуществлена генерация излучения с преимущественно радиальным состоянием поляризации на базе дифракционного элемента, используемого в качестве глухого зеркала резонатора лазера. Определены оптимальные параметры необходимых для этого рельефных дифракционных решеток с высокой (близкой к 100%) поляризационной селективностью.

Радиально поляризованный луч, обеспечивающий максимальное резонансное поглощение на сферической плазменной мишени, предлагается использовать в экспериментах по лазерному термоядерному синтезу. Применение радиально поляризованного луча в технологии может существенно повысить эффективность лазерной обработки металлов.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на семинарах Института проблем лазерных и информационных технологий РАН, в Лаборатории физики плазмы в Физическом институте РАН им. П.Н. Лебедева, на Международной конференции “Лазерные технологии-98” /Шатура, 1998/, конференции “Лазерные и информационные технологии” /Шатура, 1999/, Международной конференции “Оптика-99” /Санкт-Петербург, 1999/, Международной конференции “Advanced high power lasers and applications-99”

/Япония, Осака, 1999/, X-ой Международной конференции "Оптика лазеров"
/Санкт-Петербург, 2000/.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. В конце каждой главы дано заключение, в котором формулируются основные выводы по материалу данной главы. К тексту диссертации прилагаются 36 рисунков и 4 таблицы. Список цитируемой литературы включает 106 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненных исследований, сформулированы цели диссертационной работы, защищаемые положения, и дано краткое содержание диссертации.

Первая глава посвящена теоретическим аспектам существования и селекции мод с осесимметричным состоянием поляризации. Лазерный пучок называется осесимметрично поляризованным, если в каждой точке поперечного сечения луча угол α между вектором электрического поля и прямой, проходящей через центр сечения в рассматриваемую точку, остается постоянным во всем сечении. Примером осесимметрично поляризованного излучения могут быть пучки с радиальным ($\alpha=0$) или с азимутальным ($\alpha=90$) направлениями колебания вектора электрического поля в сечении пучка.

Осесимметрично поляризованный параксиальный пучок может быть представлен в виде: $E(\rho, \varphi, z, t) = f(\rho, \varphi, z, t) \mathbf{n}_\alpha(\varphi) \exp(ikz - i\omega t)$, где $f(\rho, \varphi, z, t)$ – медленная скалярная амплитуда, $\mathbf{n}_\alpha(\varphi)$ – вектор поляризации, зависящий только от азимутального угла, ρ, φ, z - цилиндрические координаты (ось OZ направлена по ходу пучка), угол α является параметром. Единичный вектор $\mathbf{n}_\alpha(\varphi)$ удовлетворяет следующим соотношениям:

$$\frac{\partial n_{\alpha}(\varphi)}{\partial \varphi} = n_{\alpha}^*(\varphi), \quad \frac{\partial^2 n_{\alpha}(\varphi)}{\partial \varphi^2} = -n_{\alpha}(\varphi)$$

Здесь единичный вектор $n_{\alpha}^*(\varphi) \perp n_{\alpha}(\varphi)$.

Подстановка E в векторное волновое уравнение в параксиальном приближении дает систему уравнений для скалярной медленной амплитуды f. На основании данной системы было показано, что среди автомодельных решений этого уравнения могут быть только пучки типа TEM_{p1} ($p=0,1,2,\dots$). Доказано общее утверждение, что осесимметричное состояние поляризации может сохраняться только у пучков (включая неавтомодельные) с осесимметричным распределением интенсивности.

Установка внутри резонатора осесимметричного поляризационно селективного элемента (ПСЭ), характеризуемого величиной $\sigma = (k_r - k_a)100\%$ (k_r и k_a – коэффициенты отражения для радиально и азимутально поляризованной составляющей волны), приводит к дополнительным потерям лазерных мод. Если селективность σ велика, то добротность моды будет в значительной мере определяться её поляризационными свойствами. Таким образом, осесимметричный ПСЭ наряду с обеспечением осесимметричной структуры поляризации лазерного излучения выполняет ещё одну функцию: участвует в селекции поперечных мод.

Были рассчитаны потери при однократном отражении от осесимметричного ПСЭ с разным значением σ для линейно поляризованных мод, а также составных мод, являющихся суперпозицией двух линейно поляризованных мод.

Вторая глава посвящена дифракционным методам получения лазерного излучения с осесимметричной поляризацией. Внутррезонаторный осесимметричный дифракционный ПСЭ можно создать путем нанесения на металлическую отражающую поверхность осесимметричного периодического рельефа. Осесимметричный рисунок поверхностного рельефа может быть

выполнен либо в виде секторов со штрихами, параллельными биссектрисе в каждом из секторов, либо в виде concentрических окружностей (см. рис. 2). При ограничении на радиус кривизны линии штрихов $R \gg d$ (d - период штрихов) можно считать, что в локальной области D диаметром $d \ll D \ll R$ периодический рельеф сформирован параллельными штрихами. На основании этого для оценки степени селективности осесимметричного ПСЭ можно исследовать поляризационно селективные свойства решетки с параллельными штрихами.

На основе анализа поляризационно селективных свойств решеток показано, что дифракционные ПСЭ с высокой поляризационной селективностью σ можно создать на базе мелкомасштабных решеток, период которой много меньше длины волны излучения ($d \ll \lambda$) и среднемасштабных решеток с периодом кратным длине волны. Вторая возможность заключается в реализации режима возбуждения поверхностных волн с целью использования аномальных дифракционных свойств периодической структуры.

Были предложены внрезонаторные методы получения осесимметрично поляризованного излучения с помощью дифракционных элементов. Внрезонаторный способ получения осесимметрично поляризованного излучения состоит в изменении поляризации в сечении лазерного пучка. Этот способ может быть применен к пучкам с кольцевым распределением интенсивности, полученным в лазере с неустойчивым резонатором и состоит в применении дифракционных элементов, обладающих локальными фазосдвигающими свойствами $\lambda/4$ или $\lambda/2$ и со специальным рисунком штрихов на рабочей поверхности. Было также показано, что на основе двух расположенных по ходу луча фазосдвигающих элементов $\lambda/2$ можно реализовать способ преобразования одного вида осесимметричной поляризации в другой.

В третьей главе проводится расчет оптимальных параметров дифракционных решеток, обладающих высокой (близкой к 100%-там) поляризационной селективностью. При этом рассматривается задача дифракции

плоско поляризованной волны с вектором E перпендикулярным (Н-поляризация) и параллельным (Е-поляризация) штрихам при нормальном падении на среднюю поверхность решетки. Оптимальные параметры дифракционной решетки определяются из требования, чтобы коэффициент зеркального отражения волны с одной из указанных поляризаций был близок к единице, а в случае другой поляризации был бы равен нулю. Исследованы три класса решеток: $d \ll \lambda$, $d \approx \lambda$ и d порядка λ .

В случае мелкомасштабных дифракционных решеток с $d \ll \lambda$ периодический рельеф представляет собой параллельные металлические полоски прямоугольного профиля (с конечной глубиной и произвольным значением диэлектрической проницаемости ϵ_2), расположенные на диэлектрической подложке с показателем преломления n_3 . Оптимальные параметры таких решеток: скважность $P_{\text{опт}}$ и глубина штриха $h_{\text{опт}}$ описываются выражениями

$$P_{\text{опт}} = \frac{n_1}{n_3}, \quad h_{\text{опт}} = \frac{(1 + 2s)\lambda}{4 \cdot \sqrt{n_1 n_3}}, \quad s=0, 1, 2, \dots,$$

где n_1 – показатель преломления среды над решеткой. В случае медных полосок на кремниевой подложке с верхним воздушным слоем на длине волны $\lambda=10,6$ мкм при оптимальных параметрах $P_{\text{опт}}=0,3$ $h_{\text{опт}}=\lambda/7,2$ достигается поляризационная селективность $\sigma=99\%$. При этом Е-поляризованная волна имеет высокий коэффициент отражения как при отражении от плоской металлической поверхности, а в случае Н-поляризованной волны проявляется эффект полного просветления поверхности. Поэтому для внутрирезонаторной генерации радиально поляризованного излучения следует использовать секториальное зеркало, а для формирования азимутально поляризованной моды - зеркало с концентрической геометрией штрихов (см. рис. 2, случай $d \ll \lambda$).

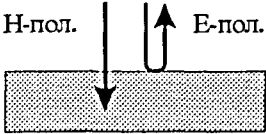
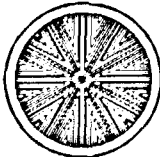
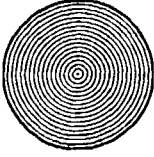
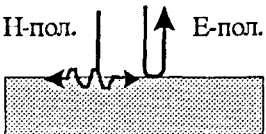
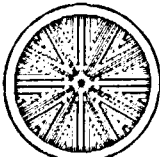
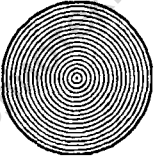
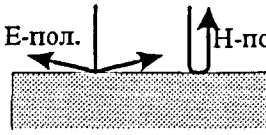
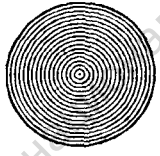
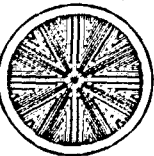
Период рельефа, и ход лучей.	Радиально поляризованная мода	Азимутально поляризованная мода
$d \ll \lambda$ Н-пол.  Е-пол.		
$d \approx \lambda$ Н-пол.  Е-пол.		
$d \sim 2\lambda$ Е-пол.  Н-пол.		

Рис. 2. Схематическое представление хода лучей и рисунка штрихов на поверхности дифракционных зеркал для генерации осесимметрично поляризованных пучков

Высокая поляризационная селективность может быть достигнута и на чисто металлических решетках с произвольной формой поверхностного рельефа в условиях проявления полного подавления зеркального отражения Н-поляризованной волны при резонансном возбуждении поверхностных электромагнитных волн. При этом как и в предыдущем случае Е-поляризованная волна отражается как от плоской металлической поверхности, а Н-поляризованная волна полностью поглощается поверхностью. Для реализации этого эффекта при каждой заданной геометрической форме профиля штрихов период и высота поверхностного рельефа должны быть оптимальными. В частности, при $\lambda = 10,6$ мкм и оптимальных параметрах медных решеток с треугольным

($d=d_{\text{отт}}=h_{\text{отт}}=\lambda/33$) и синусоидальный ($d=d_{\text{отт}}=h_{\text{отт}}=\lambda/40$) профилем штриха поляризационная селективность $\sigma=99\%$. Тип зеркала для внутрирезонаторной генерации радиально и азимутально поляризованных мод приведен на рис. 2, случай $d\approx\lambda$.

Третьим классом решеток, которые могут обладать высокой поляризационной селективностью, являются решетки с $d\sim 2\lambda$. Эта их особенность обусловлена возбуждением поверхностных или приповерхностных радиационных волн на первой и второй фурье-гармониках поверхностного рельефа с последующим перерасеянием в нулевой, первый и минус первый порядки дифракции. На основе численного анализа системы интегральных уравнений, описывающих дифракцию плоско поляризованной волны на периодическом рельефе поверхности, показано, что при $\lambda=10,6$ мкм медные решетки с трапецидальной формой поверхностного рельефа с периодом $d=19-21$ мкм и глубиной $h\approx 0,5\lambda$ могут обладать поляризационной селективностью $\sigma>95\%$. Исследованы зависимости поляризационно селективных свойств таких решеток относительно вариаций угла падения на решетку, длины волны излучения и формы профиля штриха. В отличие от двух предыдущих случаев на таких решетках Н-поляризованная волна имеет высокий коэффициент зеркального отражения (за счет перерасеяния резонансных волн в нулевой порядок дифракции), а энергия Е-поляризованной волна полностью перерасеивается в первый и минус первый радиационные порядки дифракции. Таким образом, внутрирезонаторное зеркало на базе таких решеток должно иметь на рабочей поверхности рисунок штрихов в виде концентрических окружностей для генерации радиально поляризованного излучения и в виде секторов для формирования азимутально поляризованного излучения (см. рис. 2, $d\sim 2\lambda$).

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований, связанных с получением преимущественно радиально поляризованного излучения в технологическом CO_2 -лазере ТЛ-2,5. Вместо

обычного заднего зеркала резонатора было установлено специальное дифракционное зеркало, обеспечивающее большую добротность резонатора для мод с радиальной поляризацией излучения (рис. 3).

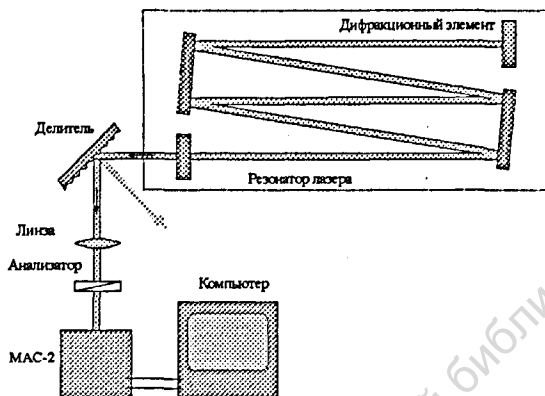


Рис. 3. Оптическая схема экспериментальной установки

Излучение, вышедшее из лазера, направлялось на дифракционный ответвитель, формирующий два отраженных луча. Основной луч поступал на охлаждаемый поглотитель. Второй, имеющий мощность 0,1% от мощности падающего излучения, проходя через анализатор, поступал в диагностическую систему. Анализ распределения интенсивности при различном положении оси анализатора позволял делать выводы о состоянии поляризации луча и вычислять степень радиальной поляризации по сечению пучка в дальней зоне $P = (I_r - I_a) / (I_r + I_a)$, где I_r и I_a - интенсивности радиальной и азимутальной компонент поля.

Для генерации радиально поляризованного излучения в резонаторе лазера ТЛ-2.5 в качестве глухого зеркала использовались два дифракционных зеркала с секториальной и кольцевой структурой штрихов на рабочей поверхности. Рабочая поверхность секториального элемента состояла из 36 секторов. Штрихи внутри каждого сектора были параллельны биссектрисе секториального угла, период $d = 12$ мкм. Рабочая поверхность кольцевого элемента состояла из штрихов в виде

концентрических окружностей с постоянным периодом $d=19$ мкм. Экспериментально определенная поляризационная селективность секториального и кольцевого элементов составила 22% и 60% соответственно.

С секториальным дифракционным элементом лазер генерировал преимущественно радиально поляризованное излучение мощностью до 1,5 кВт. Типичная картина распределения интенсивности в поперечном сечении луча, прошедшего через анализатор, представлена на рис. 4. Расположение двух пятен вдоль оси при вращении поляризатора свидетельствует о преимущественно радиальной поляризации луча. Степень радиальной поляризации выходного излучения в центре была равна нулю и увеличивалась к периферии до 0,85. Этот факт объясняется тем, что выходное излучение состояло из двух мод: основной TEM_{00} со случайным направлением поляризации и радиально поляризованной моды типа TEM_{01} (рис 5а).

Без поляризатора

С поляризатором

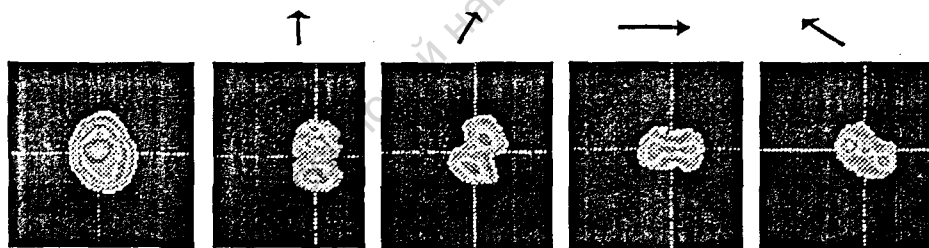


Рис. 4. Диагностика радиально поляризованного излучения; стрелка указывает направление оси анализатора

Использование внутри резонатора дифракционного элемента с кольцевой структурой, обладающей более высокой поляризационной селективностью, привело к существенному подавлению основной моды (рис. 5б). Степень радиальной поляризации P по всему сечению пучка превышала 0,8 при выходной мощности до 600 Вт.

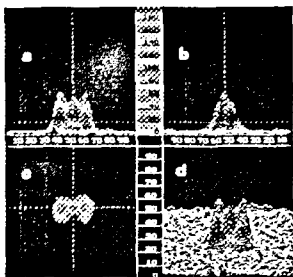


Рис. 5а. Типичная картина распределения интенсивности по сечению лазерного луча после прохождения анализатора, полученная с помощью МАС-2. Три проекции (a,b,c) и аксонометрическое представление (d). Максимумы интенсивности располагаются вдоль оси анализатора. Поляризационная селективность 22%

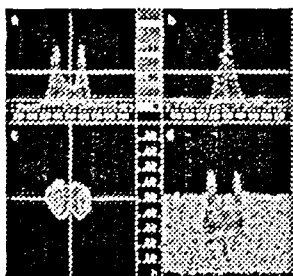


Рис. 5б. Типичная картина распределения интенсивности по сечению лазерного луча после прохождения анализатора, полученная с помощью МАС-2. Три проекции (a,b,c) и аксонометрическое представление (d). Максимумы интенсивности располагаются вдоль оси анализатора. Поляризационная селективность дифракционного элемента 60%

Пятая глава посвящена особенностям взаимодействия высокоинтенсивного осесимметрично поляризованного излучения с веществом. Использование внутррезонаторных и внрезонаторных оптических дифракционных элементов, описанных во второй главе, делает возможным получение высокоинтенсивного осесимметрично поляризованного излучения в существующих лазерах, что, в свою очередь, ставит задачу по его эффективному применению. Решение этой задачи сопряжено с выбором явления, в котором поляризация излучения играет существенную роль, и анализом этого явления в системе с осевой симметрией. Именно по такому принципу в настоящей главе исследуются особенности взаимодействия высокоинтенсивного осесимметрично поляризованного излучения с плазмой, металлами и релятивистскими электронами.

При фокусировке кольцевого радиально поляризованного луча на сферическую плазменную мишень, градиент концентрации которой направлен по радиусу к центру, вся поверхность мишени взаимодействует с Р-поляризованными волнами (рис. 6).

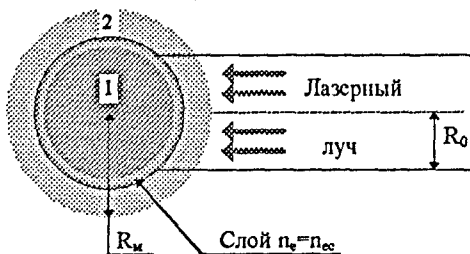


Рис. 6. Взаимодействие плазменной мишени радиусом R_m с лазерным лучом радиуса R_0 . 1 и 2 - области мишени $n_e > n_{ec}$ и $n_e < n_{ec}$ соответственно (n_e - концентрация плазмы, n_{ec} - критическая концентрация). Резонансное поглощение происходит в слое $n_e = n_{ec}$.

Вследствие этого, именно радиально поляризованный луч должен обеспечить наибольшее резонансное поглощение. В силу кольцевого распределения интенсивности в поперечном сечении существует оптимальный радиус луча, соответствующий максимальному резонансному поглощению на сферической поверхности. Максимум резонансного поглощения при кольцевом распределении интенсивности наблюдается в том случае, когда кольцевая зона R_{max} , где сосредоточен максимум интенсивности, взаимодействует с поверхностью мишени радиусом R_m под оптимальным углом, т.е. $R_{max} = R_m \cdot \sin \theta_{opt}$ ($\sin \theta_{opt} \approx 0,8 \cdot (\lambda / 2\pi z_c)^{1/3}$; λ - длина волны излучения, z_c - размерный параметр в приближении линейной зависимости концентрации плазмы от расстояния). Действие радиально поляризованного излучения оказывается более эффективным по сравнению со случаями каких-либо других типов поляризации: резонансное поглощение при оптимальных размерах пятна увеличивается по крайней мере в два раза.

Показана особенность взаимодействия поверхности металла с излучением при лазерной резке радиально поляризованным кольцевым пучком с поперечной структурой типа TEM_{01} . Френелевское поглощение в этом случае превышает френелевское поглощение циркулярно поляризованного пучка типа TEM_{01} . Это связано с тем, что коэффициент поглощения излучения в первом случае определяется поглощением Р-поляризованной волны как на фронте, так и на

стенках реза, а во втором - средним арифметическим между поглощением S- и P-поляризованных волн, что должно существенно влиять на параметры реза.

Радиально поляризованное излучение может найти применение для ускорения релятивистских электронов на основе обратного черенковского эффекта.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации:

1 Осесимметричное состояние поляризации при распространении пучка в свободном пространстве может сохраняться только при осесимметричном распределении интенсивности в поперечном сечении пучка.

Автомодельные пучки с осесимметричным состоянием поляризации имеют в поперечном сечении распределение электрического поля типа TEM_{p1} ($p=0,1,2,\dots$).

2 Внутррезонаторная генерация осесимметрично поляризованных мод TEM_{p1} может быть осуществлена с использованием поляризационно селективного рельефного дифракционного элемента, размещенного в качестве глухого зеркала в устойчивом резонаторе лазера.

Определены оптимальные параметры трех классов дифракционных рельефных решеток, обладающих высокой поляризационной селективностью: мелкомасштабных ($d \ll \lambda$), среднемасштабных мелких ($d \approx \lambda$, $h \ll \lambda$) и глубоких ($d \sim 2\lambda$, $h \approx 0,5\lambda$) дифракционных решеток.

3. Исследована возможность внerezонаторной трансформации линейно или циркулярно поляризованных пучков в пучки с осесимметричным состоянием поляризации на базе дифракционных элементов. Рассчитана необходимая для этого геометрическая форма штрихов.

4. В технологическом CO_2 -лазере осуществлена внутррезонаторная генерация радиально поляризованного излучения мощностью до 600 Вт и степенью радиальной поляризации свыше 0,8.

5. Показано, что при взаимодействии кольцевого радиально поляризованного пучка со сферической плазменной мишенью, градиент концентрации которой

направлен по радиусу к центру мишени, максимум резонансного поглощения наблюдается, когда кольцевая зона пучка, где сосредоточен максимум интенсивности, падает на поверхность мишени под оптимальным углом $\theta_{\text{опт}}$. Найдено, что оптимальная фокусировка радиально поляризованного лаггер-гауссова пучка TEM_{01+} , приводит к увеличению резонансного поглощения более чем в два раза по сравнению со случаем взаимодействия неполяризованного или линейно поляризованного гауссова пучок TEM_{00} .

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях:

1. А.В. Нестеров, В.Г. Низьев, А.Л. Соколов, А.В. Хрипунов. Лазерное излучение с осесимметричным состоянием поляризации // Вестник МЭИ, 1999, №2, с.76-79.
2. A.V. Nesterov, V.G. Niziev. Laser beams with axially symmetric polarization // J.Phys. D: Appl. Phys., 2000, v.33, p.1817-1822.
3. А.В. Нестеров, В.Г. Низьев, В.П. Якунин. Оптический элемент лазерного резонатора // Патент RU №2156528 (1998).
4. A.V.Nesterov, V.G.Niziev, V.P. Yakunin. Generation of high power radially polarized beam // J.Phys. D: Appl. Phys., 1999, v.32, p.2871-2875.
5. A.A. Goncharsky, A.V. Nesterov, V.N. Seminogov. Inside-resonator diffraction elements with high polarization selectivity for generation of radially polarized radiation // Book of abstracts of X Conference on Laser Optics/First International Conference for Young Scientists on Laser Optics, St. Petersburg, 2000, p.107.
6. А.В. Нестеров, В.Г. Низьев, В.П. Якунин. Физические принципы применения радиально поляризованного излучения и его получение в мощных газовых лазерах // Тезисы докладов конференции "Оптика-99", Санкт-Петербург, 1999, с.119.
7. А.А. Гончарский, А.В. Нестеров, В.Г. Низьев, Л.В. Новикова, В.П. Якунин. Оптические элементы лазерного резонатора для генерации луча с осесимметричной поляризацией // Оптика и спектроскопия, 2000, т. 89, вып.1, стр. 160-163.

8. V.P. Yakunin, A.V. Nesterov, V.G. Niziev. High power CO₂ laser with radially polarized beam // Book of abstracts of International forum on Advanced High-Power Lasers and Applications (AHPLA'99), Osaka, Japan, 1999, p.224.
9. V.P. Yakunin, A.V. Nesterov, V.G. Niziev. High power CO₂ laser with radially polarized beam // SPIE, 1999, v.3889, p.603-606.
10. A.V. Nesterov, V.G. Niziev, V.Ya. Panchenko. Peculiarities of interaction of radially polarized radiation with the plasma target // Book of abstracts of X Conference on Laser Optics/First International Conference for Young Scientists on Laser Optics, St. Petersburg, 2000, p.137.
11. В.Г. Низьев, А.В. Нестеров. Форма и глубина реза поляризованным лучом // Физика и химия обработки материалов. 1999, №1, с.21-28.
12. В.Г. Низьев, А.В. Нестеров. Особенности резки металлов осесимметрично поляризованным излучением // Известия РАН, сер. физ., 1999, т.63, №10, с.2041-2048.
13. В.Г. Низьев, А.В. Нестеров, О.А. Новодворский. Динамика формы и глубины канала при пробивке отверстий лазерным лучом // Вестник МГУ, сер. 3: Физика. Астрономия, 1997, №4, с.64-66.
14. V.G. Niziev, A.V. Nesterov. Peculiarities of Laser Cutting with Polarized Radiation // Proc SPIE, Shatura, 1998, v.3688, p.169-178.
15. А.В. Нестеров, В.Г. Низьев. Способ лазерной обработки металлов // Патент RU №2146989 (1998).
16. V.G. Niziev, A.V. Nesterov. Influence of beam polarization on laser cutting efficiency // J.Phys. D: Appl. Phys, 1999, v.32, p.1455-1461.
17. А.В. Нестеров, В.Г. Низьев. Устройство поворота плоскости поляризации // Положительное решение о выдаче патента по заявке № 98122955/28(025199).
18. A.V. Nesterov, V.G. Niziev, V.P. Yakunin. Radially polarized beam generation in the high power CO₂ laser // Selected Papers on Progress in Research and Development of High-Power Industrial CO₂ Lasers, 2000, SPIE v.4165, p.223-229.



Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

ЛБ ЛФ

РНБ Русский фонд

2008-4

1715

Из фондов Российской национальной библиотеки



27 НОЯ 2000