

УДК 535.32

А.В. Шульга, А.В. Хомченко, И.В. Шилова
(Могилев, Беларусь)

ВНУТРИРЕЗОНАТОРНЫЙ ВОЛНОВОДНЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

Предложен метод и оптическая схема формирования лазерных пучков с радиальной поляризацией подавлением основной TEM_{00} моды брюстеровским переменным устройством связи, помещенного в резонатор газового лазера и выполняющего роль источника контролируемых внутриврезонаторных потерь, а также устройства вывода излучения из резонатора лазера. Подавление основной моды

приводит к доминированию TEM_{10} моды. Получаемый радиально-поляризованный пучок является результатом суперпозиции выводимых призмой связи световых пучков, один из которых поворачивается системой зеркал на 90° .

Ключевые слова: призмное устройство связи, внутрирезонаторная волноводная спектроскопия, радиально-поляризованные пучки.

A new technique and optical layout of generation of radially polarized laser beams by suppressing the main TEM_{00} mode by Brewster prism coupler placed in the gas laser cavity as a source of controlled intracavity losses and laser beam output coupler were proposed. The suppressing of the main intracavity mode leads to the TEM_{10} mode domination. The obtained radially-polarized beam is the result of the superposition of the outputted by the prism input faces beams with one been rotated with mirrors by 90° .

Keywords: prism coupler, intracavity waveguide spectroscopy, radially polarized beam.

Введение

Лазерные пучки с радиальной и азимутальной поляризацией находят широкое научное и практическое применение в таких областях, как микроскопия, уменьшение размеров пятна фокусировки излучения, изучение ориентации дипольных молекул и т. д. Особенность таких пучков заключается в том, что колебание вектора напряженности электрического поля осуществляется вдоль линии, проходящей через рассматриваемую точку и ось пучка (радиальная поляризация), перпендикулярно данной линии (азимутальная поляризация) или под углом к ней. При этом колебания вектора напряженности электрического поля в диаметрально противоположных точках происходят в противофазе. Существуют различные методы создания таких пучков: преобразование циркулярно поляризованного излучения при помощи фазовой маски [1], применение преобразователей поляризации [2], интерференционные методы [3; 4]. В работе [5] описан метод формирования радиально-поляризованных пучков, в основу которого положена идея, заключающаяся в суперпозиции излучений TEM_{10} мод лазера с поворотом одного относительно другого на 90° . Получить излучение TEM_{10} моды можно внесением в резонатор многомодового лазера потерь, селективно подавляющих основную TEM_{00} моду лазера, не затрагивая остальные. В данной работе предлагается применить брестеровское призмное устройство связи в качестве устройства дискриминации основной моды лазера и вывода излучения из резонатора для дальнейшей его суперпозиции и получения пучков с радиальной поляризацией.

Эксперимент

Призмное устройство связи брестеровского типа [6] предназначено для возбуждения внутрирезонаторным излучением лазера волноводных

мод в планарных диэлектрических волноводах (рис. 1). Такое устройство представляет собой призму 1 в виде параллелепипеда, изготовленного из оптически прозрачного на заданной длине волны материала. Входные грани призмы расположены под таким углом к основанию призмы, чтобы свет падал на них под углами близкими к брюстеровским для минимизации френелевских потерь отражения. Малые потери при отражении и поглощении являются необходимым условием помещения призмы связи в резонатор лазера с низким коэффициентом усиления без внесения значительных потерь и, как следствие, без срыва генерации. Другое преимущество брюстеровской призмы связи состоит в том, что незначительная отстройка призмы связи от брюстеровского угла приводит к увеличению коэффициента отражения на гранях, обеспечивая тем самым отвод излучения из резонатора лазера.

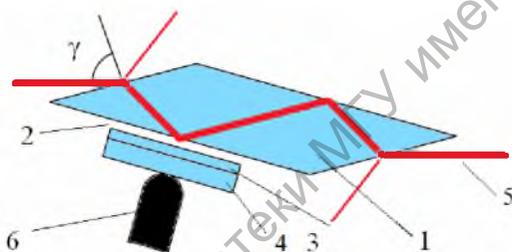


Рис. 1. Призменное устройство связи брюстеровского типа

При помещении брюстеровского призмного устройства связи в резонатор лазера, внутризональное р-поляризованное излучение 5 будет почти полностью преломляться, падать на основание призмы, отражаться от противоположной грани, преломляться и выходить из призмы под первоначальным углом, т. е. претерпевать двойное внутреннее отражение. Подобная конфигурация обеспечивает неизменность углового положения пучка, проходящего через призму, что позволяет избежать разъюстировки лазера при ее повороте. К основанию призмы связи через воздушный зазор 2 прижимается планарный диэлектрический волновод 3 на подложке 4 прижимным устройством 6. Поворотом призмы связи можно выбрать угол падения луча на основание, при котором будет выполняться условие фазового синхронизма, когда проекция фазовой скорости отраженного от основания пучка будет равна фазовой скорости распространения волноводной моды. В этом случае при толщине воздушного зазора (фотонного барьера) меньшем, чем полдлины волны падающего света, часть световой энергии будет туннелировать в волновод, распространяться в нем и выходить об-

ратно, т. е. будет происходить его возбуждение. Часть энергии пучка поглощается вследствие волноводных потерь. Отстройка призмы связи от угла возбуждения исключит вклад волноводных потерь во внутрирезонаторные потери. Таким образом, призмное устройство связи можно рассматривать как источник контролируемых внутрирезонаторных потерь и применять его для дискриминации как продольных, так и поперечных мод лазера. В нашей работе призмное устройство связи применялось для подавления основной TEM_{00} моды, и генерации излучения на моде TEM_{10} .

На рис. 2 показана схема установки для создания радиально-поляризованного излучения.

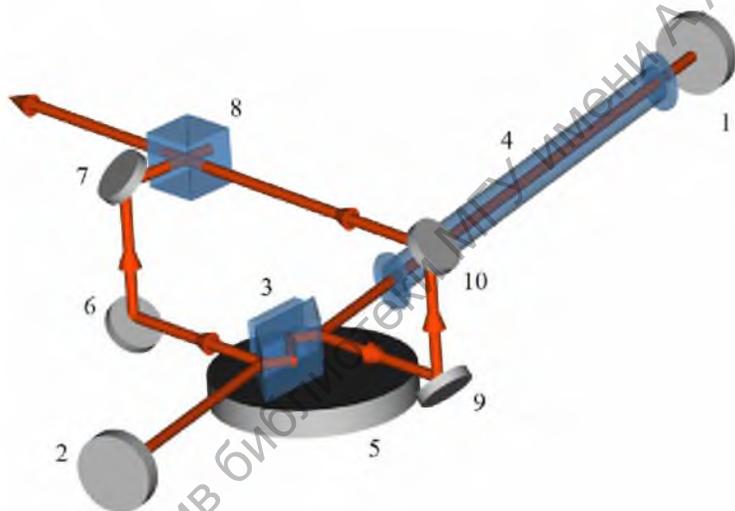


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

В резонатор гелий-неонового лазера, состоящего из глухих сферических зеркал 1 и 2, помещалось призмное устройство связи 3 между зеркалом 2 и газоразрядной трубкой 4. Угловое положение призмы связи регулировалось при помощи поворотной платформы 5, на которой была установлена призма, и выбиралось таким образом, чтобы возбуждение волновода могло осуществляться только излучением основной моды резонатора. В качестве волновода применялся ионнообменный волновод, потери которого на задействованной волноводной моде $Im h/k \sim 3 \cdot 10^{-5}$. Волноводные потери в сумме с другими внутрирезонаторными потерями превышали усиление лазера, и тем самым исключалась возможность генерации на данной моде. В результате конкуренции мод доминирующей модой ста-

новились TEM_{10} мода, излучение которой отводилось входными гранями призмы в диаметрально противоположных направлениях. Один из пучков, отводимый призмой связи при отражении на грани зеркалами 6 и 7, поворачивался на 90° и направлялся на делительный куб 8. Излучение, отводимое другой гранью призмы, направлялось зеркалами 9 и 10 и направлялось на делительный кубик, где оно накладывалось на повернутое излучение. Таким образом, из делительного кубика выходил радиально-поляризованный пучок. Синфазность накладываемых пучков обеспечивалась изменением оптической длины пути излучения путем продольного перемещения при помощи микрометрических винтов зеркал 9 и 10. На рис. 3 показаны пространственные распределения интенсивностей первого и второго пучков и их суперпозиция.



Рис. 3. Наблюдаемое распределение интенсивности: 1) пучка, отводимого одной из граней призмы связи; 2) пучка, отводимого другой гранью призмы и повернутого системой зеркал на 90° ; 3) суперпозиции первого и второго пучков

Идеальный пучок с радиальной поляризацией имеет осесимметричное распределение не только интенсивности, но и направления поляризации. Прохождение данного пучка через поляризатор гасит поляризационную компоненту на направление, перпендикулярное плоскости пропускания поляризатора, тем самым формируя пучок с зеркальной симметрией относительно плоскости, в которой лежит ось пучка, и перпендикулярной плоскости пропускания поляризатора. При этом получаемое излучение должно иметь распределение TEM_{10} моды лазера, повернутого вместе с поляризатором. Поэтому анализ состояния поляризации результирующего пучка осуществлялся при помощи поляризатора, установленного на выходе из делительного кубика. Полученные на выходе распределения интенсивности пучка показаны на рис. 4.

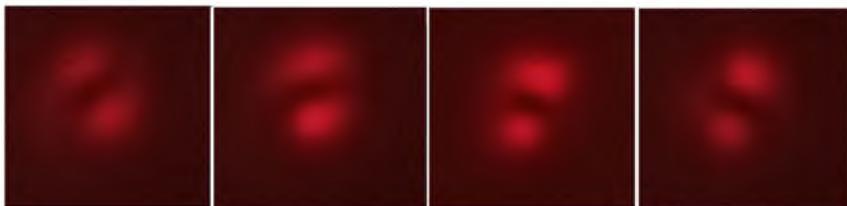


Рис. 4. Наблюдаемое распределение интенсивности сформированного внутрирезонаторным волноводным методом радиально-поляризованного пучка, прошедшего через поляризатор при различных углах поворота

Заключение

Предложен метод и оптическая схема формирования радиально-поляризованного светового пучка путем наложения двух пучков излучения TEM_{10} моды лазера с поворотом на 90° одного из них. В предложенном подходе брюстеровское призмное устройство связи выполняло двойную роль: дискриминатора TEM_{00} моды и устройства вывода излучения из резонатора лазера. Пучки, отводимые призмой связи в силу ее симметрии и однородности материала, имели равные интенсивности, что упрощало задачу корректировки интенсивности при их наложении для получения близкого к идеальному радиального распределения поляризации.

Литература:

1. Moh K.J. et al. Generating radial or azimuthal polarization by axial sampling of circularly polarized vortex beams *Applied Optics* 207 Vol. 46, – N. 30. – P. 7544.
2. Konoiko A.I., Zdanovich S.N. Formation of radial and azimuthal polarization of light *Journal of Optical Technology* 2007. – Vol. 5. – Pp. 356–358
3. Passilly N. et al. Simple interferometric technique for generation of a radially polarized light beam *J. Opt. Soc. Am. A*. V. 22, N. 5. – Pp. 984–991.
4. Han Ch.-Y. et al. Generating radially and azimuthally polarized beams by using a pair of lateral displacement beamsplitters *Appl. Sciences* 2016 6, 241
5. Novotny L. Longitudinal Filed Modes Probed by Single Molecules 2001 V. 86, N. 23. – Pp. 5251–5254
6. Shulga A.V. et al. Intracavity waveguide spectroscopy of thin films 2018, V. 44, Issue 11. – Pp 953–955.