文章编号:1001-5078(2006)07-0555-03

一种实现半导体激光器和多模光纤耦合的实用技术

王 帆,王春霞,王田虎,毛海涛,李方正 (河南大学物理与信息光电子学院,河南开封 475001)

摘 要:文中提出了一种实现半导体激光器和多模光纤耦合的实用化方法。用一段直径为 600µm的裸石英光纤代替柱透镜对半导体激光器输出光束进行准直整形;用半球端光纤对光 束进行聚焦后直接实现和光纤耦合,来代替聚焦透镜和光纤耦合的环节。研究表明:采用该方 法耦合效率在 80.0%左右,同时最大程度解决了使用柱透镜和聚焦透镜的组合透镜耦合系统 时存在的调试与封装困难的问题,且工艺稳定,因而有着广泛的应用前景。 关键词:半导体激光器;石英光纤;半球端光纤;耦合效率

中图分类号: TN253 **文献标识码**: A

A Practical Technology for Completion Coupling between Laser D iode and Multimode Optical Fiber

WANG Fan, WANG Chun-xia, WANG Tian-hu, MAO Hai-tao, LI Fang-zheng (School of Physics and Information Op to electronics, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract: A new coupling method between laser diode and multi-mode optical fiber is presented The output light from laser diode is collimated using a section of optical fiber with the diameter of 600 μ m instead of cylinder lens, and a sphere-end lens fiber replaces the coupling part with focus lens coupling the light to the fiber Results show that the coupling efficiency is about 80.0%, at the same time the difficulties of debugging and encapsulation in coupling system is greatly reduced, composed with cylinder lens and focus lens And the process is stable. So this coupling system will be widely used in the future

Key words: Laser Diode; quartz optical fiber; optical fiber with sphere-end; coupling efficiency

1 引 言

半导体激光器 (以下简称 LD)具有体积小、重 量轻、寿命长、电光转换效率高、可直接调制等优点, 目前在信息、能源、医疗、材料娱乐等诸多领域都得 到了广泛应用^[1]。但是它的光波导存在较强的不 对称性,垂直于结平面和平行于结平面的发散角差 异很大,直接限制了它在许多方面的应用,并且影响 了它与光纤(束)耦合时的耦合效率。按照 LD与光 纤之间是否存在光学元件,耦合方式可分为两种,即 直接耦合与间接耦合^[2]。直接耦合直接把光纤端 面加工成微透镜,光纤微透镜的形状一段有锥形、楔 形、斜面和球面等,其中球形端面因为制作简单、调 试方便,应用最为广泛^[3]。本研究中针对在使用柱 透镜和聚焦透镜组成的组合透镜耦合系统中存在的 封装与调试困难等问题,采取了用一段直径为 600µm的裸石英光纤代替柱透镜,用电极放电的方 法在石英光纤端面制作球透镜,形成了半球端光纤, 更便于和 LD耦合,提高耦合效率。

2 光纤柱透镜对半导体激光的准直

LD光波导存在较强的非对称性,垂直于结平面 的发散角一般在 40 左右,而平行于结平面的发散 角一般在 10 左右,远场光斑为椭圆形。这样,平行 于结平面方向的光可以全部进入光纤,但由于光纤 的数值孔径有限,垂直于结平面的光就不能全部进 入光纤内。对垂直于结平面方向的光进行单方向的 整形、准直,可以改善光斑的质量,提高耦合效率。

作者简介:王 帆(1979-),女,硕士研究生,主要从事激光应 用和光纤技术方面的研究。Email:wangfan_29@163.com. 收稿日期:2005-11-14

微型柱透镜可对光束进行单方向的准直,而多 模光纤去除覆盖层可制成性能良好的柱透镜^[4]。 可以用一般裸石英光纤来代替微型柱透镜,这样既 压缩了光斑,又节约了成本。

556

因为 LD 输出光波有很大的发散角,其远场光 分布特点已不满足傍轴光学。下面是根据非傍轴远 场分布理论,用光线追迹法分析的 LD 光场经柱透 镜系统的准直特性^[5]。



图 1 光线在柱透镜中传播示意图

如图 1所示,假设入射角为,经柱透镜后的出 射角为₁,柱透镜的折射率为 n₁,柱透镜的半径为 r,LD发射端面到柱透镜表面的距离为 z₆ 图 1中各 角关系为:

$$_{1} = +2(B - A);$$
 (1)

$$A = D = \sin^{-1} \left| \frac{z + r}{r} \sin \right|; \qquad (2)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{C} = \sin^{-1} \left| \frac{\sin A}{n} \right|; \tag{3}$$

式中, z为 LD发射端面到透镜表面的距离; r是透镜的半径; n_0 和 n_1 分别为空气和透镜的折射率; $n = n_1/n_0$ 。

3 半球端光纤的制作及工艺稳定性分析

为了提高耦合效率,降低装配难度,可直接把光 纤端面加工成各种形状的微透镜,来代替聚焦透镜 和光纤的耦合部分。研究中直接在石英光纤的端面 上烧制一个球形,加工简单,工艺稳定。

3.1 圆球形端面的制作和稳定性分析

获得圆球形光纤端面的方法有很多种,一种比 较简单的方案是在光纤端面上制造一个树脂的半球 透镜;另一种更实用的方案是在光纤的端面烧制出 特殊形状端球,烧制的热源可以采用电弧、气体火焰 或大功率激光器。光纤端面在这些热源的作用下, 熔化后再自然冷却,由于表面张力的作用,所以就会 形成各种弧度的圆球形端面^[6]。

研究中把石英光纤一端放在光纤自动熔接机的 两个电极中间,在电弧的作用下形成球形端面,在高 倍显微镜下拍摄到的它的轮廓图,如图 2(a)所示。

实验中对用自动熔接机来做球形端面时所形成 球形的尺寸进行了分析,以研究工艺的稳定性。在 两电极距离 1=2 300mm,熔接电流 I=46mA,熔接 时间 t=6s条件下,烧制了 10个球形端面并分别记 作样品 1到样品 10,得到的数据如表 1。表中各个 参数如图 2(b)中所示。

(a) (b)
 图 2 半球端光纤端面图
 表 1 球端面各个参数数据 (单位:mm)

	-	-								
样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d	0 5207	0 5130	0 5278	0 5190	0 5257	0 5296	0 5202	0 5219	0 5322	0 5327
r	0 2716	0 2619	0 2910	0 2763	0 2843	0 2711	0 2756	0 2802	0 2756	0 2898
D	0 5385	0 5520	0 5572	0 5463	0 5533	0 5557	0 5543	0 5498	0 5679	0 5568
其	中,	d = 0	524	0mm,	$d_{\rm max}$	- <i>d</i> _m	_{in} = (019)7mm	; $r =$
0. 2777mm, $r_{max} - r_{min} = 0.$ 0199mm; $D = 0.$ 5532mm,										
D_{r}	nax - 1	D_{\min}	0. 01	94mr	n。并	且d	1/2 =	0. 262	20mm	,而 /
=	0. 27	77mn	n,所以	以使用	月自动	的熔接	机的	两个	电极	放电
可	在光	纤端	面上升	形成i	丘似I	求形约	结构	(误差	在 5	5%左
右)。以上各个数据的变化范围可控制在 20µm以										
内,可以满足制作球形端面的要求。										

3.2 耦合理论

为了分析方便,以下仅分析在阶跃型光纤中子 午光线在端面入射时和在端面出射时的情况^[7]。 先讨论平端面的情形,如图 3所示,设 n₀, n₁, n₂ 分 别是空气、光纤芯和包层的折射率,在纤维界面的内 壁上,若满足条件



图 3 平端面光纤的中光线传播图 就是全反射临界角,并用 。表示,则

$$\sin_{c} = \frac{n_2}{n_1}; \tag{5}$$

由于
$$_{c} = 90$$
 °- $_{c}$,因此

$$\sin_{c} = \sqrt{1 - |n_{2}/n_{1}|^{2}}; \qquad (6)$$

$$n_0 \sin \phi = n_1 \sin ; \qquad (7)$$

所以

则

$$n_0 \sin \phi_c = n_1 \sin_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2};$$
(8)

临界角 ϕ_c 表示光纤的集光能力的大小,通常称孔径 角。 f_c

$$\Phi_c = \arcsin \sqrt{n_1^2 - n_2^2 / n_0}$$
(9)

当光纤端面变成半球形端面时,如图 4所示,经 过粗略的计算,可得光线经过球透镜后的有效接收

角 *• 。*变为 :

$$\Phi_{c} = \arcsin \left\{ \frac{n_{1}}{n_{0}} \sin \left[\arcsin \left(\frac{d}{2} \right) - \arccos \left(\frac{n_{2}}{n_{T}} \right) \right] - \arccos \left(\frac{d}{2} \right) \right\} - \arccos \left(\frac{d}{2} \right), \quad (10)$$

式中, r为球透镜半径; d为光纤芯径; n_0 , n_1 , n_2 分别 是空气、光纤芯和包层的折射率。光纤端面经过这 样的简单变换就可以使 ϕ_a 扩大许多倍。



图 4 球透镜光纤中光线传播示意图

4 实验及讨论

研究中所使用的 LD (TO - 18封装)参数为:波 长 = 650nm, = 32 ; = 10 ;输出功率为 5 ~ 30mW。首先把激光二极管固定在做好的夹具上, 在显微镜下把一段直径为 600µm的裸石英光纤粘 固在激光二极管管壳金属边缘面上。取一段内径为 400µm的石英光纤,两端面先要进行研磨、抛光,一 端在熔接机上制作成圆球形,另一端用于直接和光 功率计连接,读取输出光能量。把半球端光纤装在 光纤夹里,并固定在五维调节架上,用数字功率计测 量输出的光能量。实验装置示意图如图 5所示。



图 5 实验装置示意图

为了分析半导体激光器的输出光束,首先进行 准直再与半球端光纤耦合后的耦合效率,实验中耦 合用的光纤为直径 400µm的石英光纤,根据文献 [8],耦合光纤的直径应该和光纤柱透镜的尺寸相 当,烧制的半球端光纤的圆球直径超过 500µm,所 以用内径为 600µm的裸光纤作准直用比较合适。 分别用 400µm和 600µm的裸石英光纤作准直光 纤,并且选择了两个制作好的半球端光纤进行研究, 来比较系统耦合效率的差异。发现,用 400µm的裸 石英光纤来对 LD输出光准直的系统耦合效率不如 用 600µm的裸石英光纤的耦合效率高。可能是因 为半导体激光器的出光面到裸石英光纤的距离满足 600µm的裸石英光纤对光斑的聚焦条件。

实验中的参数如下:LD的输出光能量 P_0 = 20.0mW,两个半球端光纤分别记为样品 1和样品 2。样品 1的参数为: D_1 = 0.5810mm, d_1 = 0.5576 mm。样品 2的参数为: D_2 = 0.5925mm, d_2 = 0.5628

mm。其中样品 1 和样品 2 的球端直径相差为 11. 5µm。

实验数据记录如表 2。其中 P_1 和 P_2 分别为 LD 输出光经过 600µm 准直光纤后再和半球端光纤耦 合后的输出光能量。 1、2分别为经过样品 1和样 品 2后的耦合效率。(1 = P_1/P_0 , 2 = P_2/P_0)

为了考察耦合调节时耦合效率是否稳定,每次 做精密调节时都把整个耦合系统打乱,重新进行调 节。从表 2中的数据可以看出,耦合效率基本稳定, 且耦合效率在 80.0%左右。样品 1和样品 2耦合 效率相差不大,表明:所制作的球透镜在一定的误差 范围可以满足耦合的要求。

表 2 输出光能量和耦合效率

次数	1	2	3	4	5
P_1 (mW)	16.7	16.6	16.2	16.4	16.6
1	0. 835	0. 830	0. 810	0. 820	0.830
P_2 (mW)	15.8	16. 2	16. 0	16.1	15.9
2	0. 790	0. 810	0. 800	0. 805	0. 795

5 结 论

为了研究半导体激光器和多模光纤的高效、实 用化的耦合,提出了一种新的耦合系统。研究表明: 使用柱透镜和聚焦透镜组成的耦合系统,可以首先 使用裸石英光纤对半导体激光器输出光束进行整 形,然后用与半球端光纤进行耦合的系统来代替,结 果耦合效率在 80.0%左右,且系统各部分操作简 单,稳定可靠,便于推广应用。该系统在信息、材料、 医疗等方面有广阔的应用前景,比如可用在光动力 治疗机的半导体激光器和光纤耦合的环节,使用 400µm的光纤连接器,400µm的光纤直接输出(光 纤头经过处理),可以在肿瘤治疗等方面直接应用。

参考文献:

- [1] 陈少武,韩勤,等.大功率半导体激光器光纤耦合模块
 的耦合光学系统 [J].半导体学报,2002,22(12):
 1572
- [2] 焦明星,陈书练,等.大功率 LD 与多模光纤的直接耦合[J].激光技术,1997,21(2):77.
- [3] 牛金星,毛海涛,等.半导体激光器和变芯径光纤实用 化耦合技术研究[J].激光与红外,2005,35(6):424.
- [4] 薄报学,高欣,等. 808nm 波长光纤耦合高功率半导体 激光器 [J].中国激光,1999,26(3):194.
- [5] 崔兆云,曾晓东,等.LD光场柱透镜准直技术研究 [J].激光杂志,2003,24(4):14-15.
- [6] 杨瀛海,吴金生,等.球形光纤端面效应及其应用[J].
 光学技术,1999,(4):56
- [7] 马惠萍,刘丽华,等.光纤耦合问题的研究及球形端面 光纤的应用[J].光电工程,2002,29(4):47-48.
- [8] Dacid F. Head Apparatus for coupling a multiple emitter laser diode to a multimode op tical fiber[P]. United States Patent, Patent Number 5, 436, 990, 1995.