

文章编号: 0258-7025(2003)08-0687-04

望远镜准直系统应用于激光的单模光纤耦合

魏荣, 王育竹

(中国科学院上海光学精密机械研究所量子光学重点实验室研究室, 上海 201800)

摘要 介绍了用望远镜准直系统提高激光光纤耦合效率的方法, 提出对于那些直接耦合效率非常低的系统, 利用合适的望远镜准直, 耦合效率可以大大提高。激光器为 TA100 型, 1.6:1 的望远镜系统使单模光纤的耦合效率达到 70%, 保偏光纤耦合效率达到 67%。介绍了实验中两透镜距离如何影响耦合效率, 望远镜系统选取的原则, 并将其应用于其他激光器的情况。

关键词 激光技术; 单模光纤; 望远镜系统; 耦合效率

中图分类号 TN 622 **文献标识码** A

Telescope System Used to the Single Mode Fiber Coupling of the Laser

WEI Rong, WANG Yu-zhu

(Laboratory for Quantum Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract The paper introduces a way that uses telescope for increasing the coupling efficiency of the fiber. It aims at that to those low-coupling-efficiency system, proper telescope can increase coupling efficiency greatly. To the laser TA-100, the telescope of 1.6:1 makes the coupling efficiency of single mode fiber reach to 70%, and which of polarization-maintaining single mode fiber reach to 67%. The paper also introduces how the distance of two lenses affects the coupling efficiency in experiments, how to select the telescope, and the fiber couplings of other lasers.

Key words laser technique; single-mode fiber; telescope system; coupling efficiency

1 引言

激光器输出光斑的形状和质量受许多因素的影响, 其横模有可能是高阶模, 并且光斑的光强分布也是不规则的。许多精密实验中对激光的光斑有比较严格的要求, 在这些实验中往往需要用空间滤波器、单模光纤等对激光进行整模。其中单模光纤输出的激光 TEM₀₀ 模为理想的高斯分布, 加之光纤具有可以弯曲的特点, 故它的应用非常广泛。但是单模光纤的耦合调节非常困难, 效率非常低, 这些都限制了它在实验室中的实际应用, 我们在调节光纤的实践

中发现, 利用合适的望远镜准直系统可以极大地提高单模光纤的耦合效率。

实验装置见图 1。激光器为 TA-100 型 (Toptica), 工作波长为 780 nm, 它是 Rb 的激光冷却原子实验中非常常见的大功率激光器。光纤为 Thorlabs 公司的保偏光纤 FS-PM-4621 和单模光纤 FS-SC-4314, 它们都配标准的 FC 接头, 并用 Thorlabs 公司的 FC 耦合头 F220FC-B 对输入、输出的激光进行准直。光纤头固定在 S-L₅-5V 精密光纤调整架上, 激光能量的探测由 LP-3A 激光功率计完成。

收稿日期: 2002-04-30; **收到修改稿日期:** 2002-07-02

基金项目: 国家自然科学基金 (6008002)、中国科学院知识创新重大项目 (KJ CX2-W7-2) 和上海市光科技专项发展基金 (01DJGK015) 资助项目。

作者简介: 魏荣 (1976—), 男, 山西省太原市人, 在读博士生, 主要从事冷原子应用于量子频标的研究。E-mail: weirong@siom.ac.cn

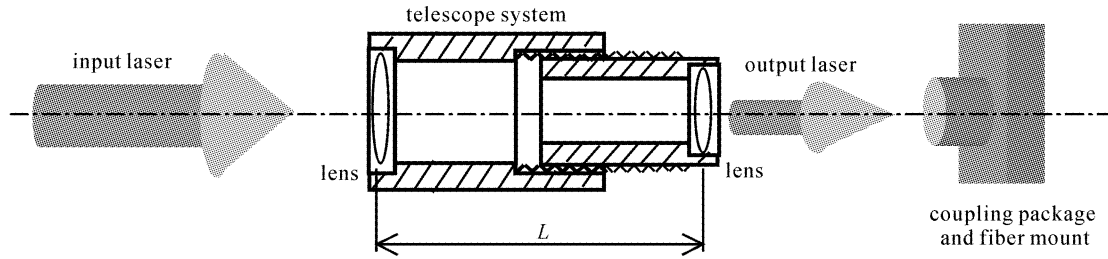


图 1 用于光纤耦合的望远镜系统。物镜目镜的间距 L 可调

Fig. 1 Telescope system used in fiber coupling. L : the distance of two lenses of the telescope, is variable

2 光纤耦合的初调

直接调节单模光纤出光非常困难,需要将光纤的四个自由度都调整到某一很小的范围,文献[1]给出利用成像耦合光纤的方法,我们对其作了简化和改进。其光路如图 2,原理如图 3。

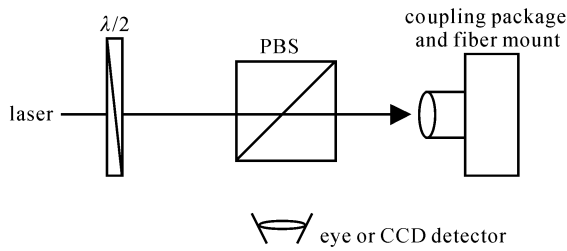


图 2 调节光纤出光的光路

Fig. 2 Light path used to adjust fiber lighting

首先将耦合头基本放好,使光束尽可能打到耦合头中心,并使耦合头尽可能与激光垂直。然后在光纤耦合头前面加入一块半波片和一块偏振分束棱镜(PBS),旋转半波片,使激光功率尽可能多地穿过 PBS(激光器的输出为线偏振光),进入光纤耦合头。在 PBS 的另一个方向观察激光入射到耦合头的像。该像为一个圆型光场,光场中有一个亮斑、一个暗斑。圆形光场为耦合透镜形成的光阑,亮斑为激光经耦合透镜会聚的焦点,暗斑为光纤的核,由于光阑及其像点不在同一平面,所以亮斑、暗斑一般都不在圆形光场中心。调节光纤调整架,使亮斑与暗斑重合,光纤的输出端就会有比较强的激光输出了,进一步微调调整架,就可以得到经过优化的激光输出。做该实验的时候要注意反射的激光有可能对眼睛造

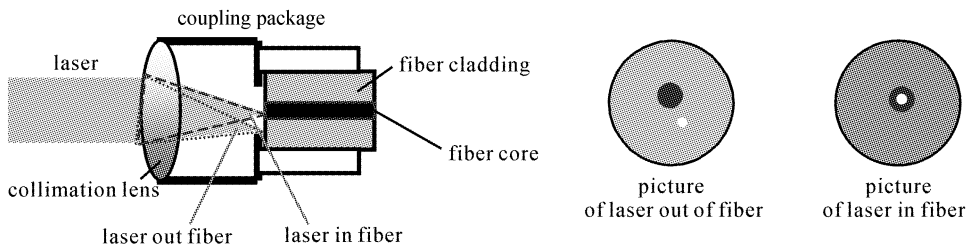


图 3 激光入射到耦合头中的剖面图及其所成的像

图像中有一个亮斑一个暗斑,亮斑为激光的聚焦点,暗斑为光纤的芯。两个光斑没有重合时,激光未进入光纤,散射光照亮整个区域;调节调整架使两个斑点重合,激光进入光纤,背景光场变暗

Fig. 3 Cross section of the laser in the package and its pictures

There are a light dot and a dark dot in picture. The light dot is the focus of the laser, and the dark dot is the fiber core. When two dots are not coincident, the laser is out of the fiber and the field is bright. By adjusting the fiber and making two dots coincident, the field will become dim and the laser will enter the fiber

成的伤害,所以必要的时候加衰减片或者用 CCD 代替眼睛直接观察。

3 准直系统在光纤耦合中的应用

TA-100 型激光器在不加望远镜准直以前,单

模光纤的耦合效率是非常低的($<20\%$)。加入准直望远镜系统后,耦合效率大大提高。望远镜系统的选取与激光器的光斑、光纤及其耦合头的具体参数(接收面积及数值孔径)有关,TA-100 型激光器出射的激光光斑直径比较大(约 5 mm),接近耦合头整个的接收直径(6.2 mm),而它的发散性非常好,

所以我们选用压缩光束的准直系统。实验中发现, 望远镜系统的放大(压缩)倍率, 及两镜片间的间隔对光纤耦合影响非常大, 而在我们的测量范围(<3

m)内, 望远镜系统距离入射激光器的光路长度对影响可以忽略。

表 1 几组望远镜系统及它们的最大耦合效率

Table 1 Some telescope system and their maximum coupling efficiency

Focal length of object lens/cm	Focal length of image lens/cm	Ratio	Optimum length L /cm	Input power /mW	Output power /mW	Coupling efficiency
39.5 ± 0.5	25 ± 0.5	1.58	74.5 ± 0.2	224	140	62.5%
39.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5	4.65	55 ± 0.2	230	64	27.8%
24.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5	2.88	38 ± 0.2	225	92	40.9%
24.5 ± 0.5	12 ± 0.5	2.04	39.5 ± 0.2	216	123	56.9%
12 ± 0.5	8.5 ± 0.5	1.41	23 ± 0.2	213	119	55.9%

从一组凸透镜镜片中组合出多组望远镜系统, 并调节它们的间距, 从中选出其中的最佳组合比例, 表 1 为实验结果。选取的光纤为保偏光纤 FS-PM-4621。实验中输出功率有约 ± 8 mW 左右的误差。由表 1 可以看出, 对于实验中使用的激光器, 用 1.6:1 的望远镜系统压缩光束后获得的耦合效率最高。于是设计了 1.6:1 望远镜系统, 如图 1。作为一个整体, 该系统物镜与目镜通过机械结构保证了比较严格的共轴性, 它们的间距可以通过螺纹调节, 故可以观察耦合效率随距离的细微变化。利用该系统对耦合效率随物镜与目镜距离的变化做了比较精密的测量。

图 4 为 FS-PM-4621 与 FS-SC-4314 的耦合效率随 240 mm/-150 mm 凸凹望远镜系统两透镜间距的变化, 横坐标实际是相对坐标, 因为我们只关心

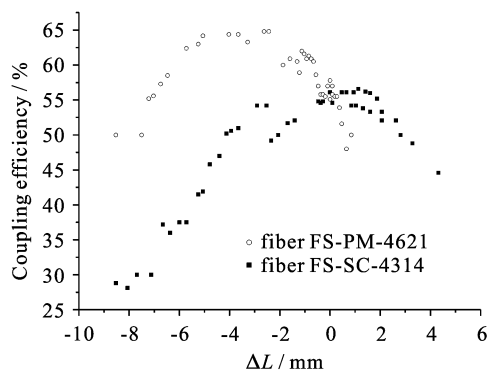


图 4 两种光纤的 ΔL -耦合效率曲线

FS-PM-4621 的最大耦合效率比 FS-SC-4314 的大, 它们最佳耦合点的 L 值不同

Fig. 4 Curve of ΔL -coupling efficiency of two fibers

Maximum coupling efficiency of FS-PM-4621 is larger than which of FS-SC-4314, and their L of maximum coupling efficiency is different

最佳耦合点及在其附近耦合效率的变化。从图 4 可以看出, FS-PM-4621 的最大耦合效率达到 65%, FS-SC-4314 的最大耦合效率为 57%。离开最大耦合点, 耦合效率衰减非常快。不同的光纤达到最大耦合点的 L 值是不同的, 由于 L 值实际是表征光束通过望远镜系统的发散性能, 可以得到以下结论: 对于不同的光纤, 最佳耦合点的入射光束发散性不同。

由于光纤调整架调节不准, 造成图 4 中耦合效率误差比较大。另外, 我们选的 FS-SC-4314 光纤其 FC 接头与光纤芯径不相同(折断后重新匹配的), 故这根普通单模光纤耦合效率反倒不如保偏光纤 FS-PM-4621——保偏光纤属于单模光纤, 但选模条件更苛刻。

图 5 为利用 80 mm/50 mm 凸凸望远镜系统准

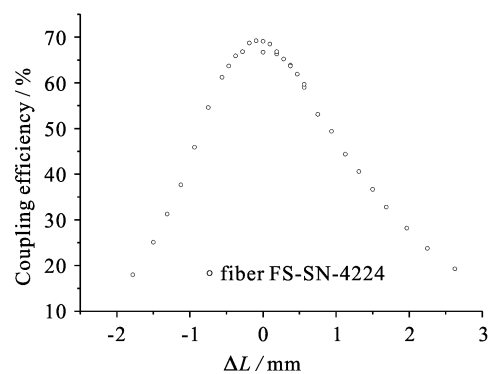


图 5 FS-SN-4224 光纤的 ΔL -耦合效率曲线

耦合效率随 ΔL 急剧变化, 并且变化不对称。其最大值达 70%, 是三种光纤中最高的

Fig. 5 Curve of ΔL -coupling efficiency of the fiber FS-SN-4224

The coupling efficiency varies steeply following ΔL , the two side of the curve is different, and the maximum reach to 70%, which is largest in the three fibers

直激光时,FS-SN-4224 光纤的耦合效率随两透镜间距的变化。同样, L 坐标零点的选取有一定的任意性。由于物镜和目镜选择得比上一个实验的系统小,所以图 5 中耦合效率随 L 的变化(ΔL) 比图 4 更加明显,耦合效率大于 20% 的 ΔL 的范围只有 4 mm,在这个范围,耦合效率由 20% 急剧增加到 70%,然后急剧减小,又恢复到小于 20%。由图 5 也可以看出,耦合效率随 ΔL 的变化在最大耦合点的两边是不对称的。图 5 的最大耦合效率达到 70%,是 3 根光纤中最大的,这也说明通常情况下单模光纤的耦合效率的确比保偏光纤高。

我们也做了一些其他实验,将望远镜系统应用于钛宝石激光器(Coherent 公司),DL-100 半导体激光器(TuiOptics 公司)的光纤耦合。这两台激光器的光斑口径小、发散角大,所以要对激光扩束。直接用(FS-SN-4224)光纤耦合,两台激光器的耦合效率分别为 30%,16%,使用望远镜系统后,钛宝石激光器的耦合效率超过 75%,DL-100 激光器的耦合效率为 54%。另外还得到两点结论:将激光束光斑压缩到 FC 耦合头接收直径的一半左右的望远镜系统耦合效率最高;入射光斑越好,越接近高斯光束,耦合效率越高。钛宝石激光器之所以能有这么高的耦合效率,与它的出射光斑质量比较好,已经接近高斯光束有关。

如果使用的激光器的光束能直接耦合进光纤,效率一般只有 20% 左右,利用望远镜系统,通过控制激光的光斑口径和发散性,耦合效率可以提高 3 倍甚至更高。有了 60% 以上的耦合效率,光纤就可以有效利用起来。在国外的文献或产品中,单模光

纤耦合效率做得最好,略高于 80%,最多也不超过 90%,但这样的装置和产品往往比较复杂、价格昂贵,操作和使用也不是特别简便,而在我们的系统中,以 FS-SN-4224 光纤为例,通过简单的望远镜系统就可以达到 70%,并且使用非常简便。如果进一步改进望远镜系统,利用三透镜组成可变焦的望远镜系统,就可以更精确地找到最佳耦合效率。

4 结 论

合适的望远镜系统可以显著提高激光的光纤耦合效率。可以按照把光束压缩(或放大)到光纤耦合头直径一半的原则选择望远镜系统的倍率,并在这个基础上优化。最好的办法是用可变焦的望远镜系统用采样的办法找出最佳倍率及最佳耦合点。好的光斑质量有助于提高耦合效率,所以如果想进一步提高耦合效率,可以先对光斑进行整形和滤波。耦合效率最大的望远镜系统,经它出射的光斑直径是 FC 耦合头接收直径的一半左右。

本实验利用 1.6:1 的望远镜系统,获得的耦合效率最大可以达到 70%。对于同一套系统,不同光纤的最佳耦合点是不同的,在最佳耦合点附近,耦合效率随距离的变化而迅速衰减。

致谢 感谢周蜀渝助研在光纤耦合的初调方面的帮助和讨论。

参 考 文 献

- 1 Zhou Shuyu. Auxiliary regulating of real-time observing fiber-coupling [P]. China, ZL 00 2 49352.7, 2001.6.23