

单晶光纤损耗谱测量装置*

董绵豫 张松斌 沈永行 吴明忠 童利民 丁祖昌

(浙江大学物理系, 杭州 310027)

提 要

本文描述了一套用以测量单晶光纤损耗谱的装置。本装置由卤钨灯, 单色仪, 积分球, AgORbCs 光电倍增管以及数据采集, 处理和控制系统组成。可测量 300~1150 nm 的光谱范围。利用本装置可获得单晶光纤的吸收光谱, 透过率谱, 散射光谱以及散射位置谱。

关键词: 单晶光纤。

一、引 言

各种单晶光纤光学器件对单晶光纤材料提出了不同的要求。其中损耗谱和光学均匀性是单晶光纤材料的一个重要光学特性, 而且直接影响器件的质量。如用作微型单晶光纤激光器的单晶光纤, 不但要求有很好的吸收特性, 而且散射损耗和光学均匀性将直接影响激光器的效率和阈值。因此精确地测量光损耗, 便于选择高质量的单晶光纤, 同时还可用于研究损耗与生长晶体条件之间的关系, 以便确定制备晶纤的最佳生长条件。

单晶光纤损耗主要包含散射与吸收两部分。测量这两部分损耗是评价单晶光纤材料质量优劣的主要指标之一。由于单晶光纤在物理特性及制备工艺上与石英光纤有很大差异。精确测量单晶光纤各部分损耗有很大困难, 又不能借用通常石英光纤损耗的测量方法^[1]。由于单晶光纤直径波动, 掺杂浓度涨落, 生长缺陷以及表面包裹物等因素会引起较大的散射损耗, 影响光纤的光学均匀性。D. H. Jundt^[2] 等人对蓝宝石单晶光纤的散射及吸收损耗分别用积分球法和量热法进行了测量。此方法不能获得沿光纤长度不同位置处的散射损耗来检查单晶光纤的光学均匀性。本文较详细地提出了一种同时测量散射及吸收损耗的测量装置。它能在紫外至近红外波长范围内, 对芯径从 50 μm 到 2 mm 较宽范围内的单晶光纤较方便地获得所希望的损耗光谱以及散射位置谱。此装置采用了特定的数据处理, 设计一套耦合和收集光量的机械装置。采用高灵敏度的探测器。本装置测量精度可达 0.05 dB。

二、实验装置

测量单晶光纤损耗谱的方法采用插入损耗法, 在样品光纤前插入一段参考光纤。有利于把入射光注入到被测光纤。测量参考光纤的输出光强作为样品光纤的输入光强 $P_i(\lambda)$, 然后测量样品光纤的输出光强 $P_o(\lambda)$ 。样品光纤的总损耗系数定义为:

收稿日期: 1990年8月6日; 收到修改稿日期: 1990年11月15日

* 国家自然科学基金资助的项目。

$$\alpha_t(\lambda) = (10/L) Lg[P_i(\lambda)/P_o(\lambda)] \quad (\text{dB/cm}),$$

式中 L 为单晶光纤的长度。

利用带有探测器的积分球测量单晶光纤的散射光强 $P_s(\lambda)$ 。散射损耗系数 $\alpha_s(\lambda)$ 定义为:

$$\alpha_s(\lambda) = (10/D) [P_s(\lambda)/P_i(\lambda)] \quad (\text{dB/cm}),$$

式中 D 为积分球内径。吸收系数表示为:

$$\alpha_a(\lambda) = \alpha_t(\lambda) - \alpha_s(\lambda)。$$

1. 光路的设计

光路如图 1 所示,光源采用 24 V, 150 W 的卤钨灯,由恒流源供电。入射光由一个透镜汇聚至单色仪入口。单色仪由 WDG-30 光栅单色仪改制,并装入步进电机和自动波长定位装置,便于微机控制。为了消除光栅单色仪二级以上的光,在单色仪前加一块截止波长为 600 nm 的滤色片。单色仪出来的光由一个 8× 的显微物镜聚焦,并注入参考光纤。被测光纤放在由五维光纤微调架控制的光纤夹具上,微调架调节精度为 0.5 μm。并由数字表头显示参考光纤与被测光纤之间的耦合情况。在耦合调节至最佳位置后,在耦合处滴加匹配液。样品光纤的输出光直接用光电倍增管接收,散射光用另一只带有积分球的光电倍增管接收。测量入射光强时,取下样品光纤,由光电倍增管接收参考光纤的输出光强。光电倍增管均采用阴极材料为 AgORbCs 的 GDB-411,积分球内径为 1 cm,内表面多次喷涂 MgO,为了便于测量沿光纤长度上的散射,利用步进电机控制光电倍增管沿光纤移动。

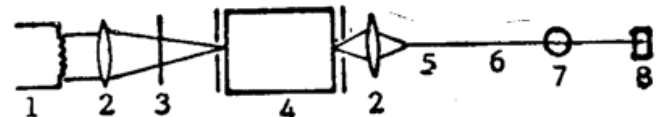


Fig 1. Optical arrangement of SCF loss spectrum measurement set

1. tungsten halogen lamp; 2. lens; 3. filter;
4. monochromator; 5. reference fiber; 6. sample fiber;
7. integrating sphere; 8. detector

2. 探测和数据处理

单晶光纤输出光强的探测和数据处理系统如图 2 所示,由卤钨灯发射的光通过调制器经单色仪,照射到参考光纤的一个端面,经光电转换器将要测量的光强转换为电信号,加到程控锁相放大器以提高被测信号的动态范围和信噪比。A/D 卡将模拟信号转变为数字信号存入计算机。同时计算机可以控制步进电机,分别带动单色仪转动使单色仪在要求测量的光谱范围内扫描;或带动积分球沿被测单晶光纤长度上移动。并对大量的数据进行处理,并打印输出。

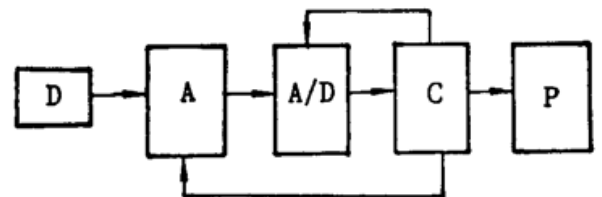


Fig 2. The detector and data handling system

- D—detector A—digital control lock-in amplifier
C—computer P—printer

3. 系统部件的性能

(1) 卤钨灯的稳定性

插入损耗法测量输出光强和输入光强是分两次进行。因此系统准确度要求小于 0.05 dB。则卤钨灯的稳定性必须小于此值。性能测试表明:带动卤钨灯的恒流源输出电流为 6 A 时,恒流源稳定性可达 0.1%,电网电压改变 10% 时,恒流源输出改变为 0.05%,而卤钨灯输出光强稳定性可达 0.2% (≈ 0.01 dB)。

(2) 单色仪分辨率

由 WDG-30 改制的单色仪配有一块 1200 l/mm 光栅和一块 600 l/mm 光栅, 波长范围为 200~1500 nm, 杂散光小于 10^{-3} , 狭缝宽度为 0.01~3 mm, 狭缝取 0.4 mm 时分辨率为 1 Å, 在测量散射时, 狭缝开得稍大些以提高注入光强, 而测量单晶光纤中掺杂离子的吸收线时尽量把狭缝开得小, 以提高波长的分辨率。

(3) 探测器

GDB-411 光电倍增管阴极材料为 AgORbCs。光阴极的量子效率为 0.0043 electron/photon, 虽然这种光阴极量子效率较低, 但响应光谱可以覆盖 200~1150 nm 的范围。在阳极加 800 V 负高压时透过单晶光纤的光强可转变为毫伏量级的电信号, 散射光达微伏量级, 经程控锁相放大器放大后被计算机采集。光电倍增管光谱响应灵敏度在不同波段相差很大, 为了提高测量的动态范围和采集精度, 采用程控放大器, 自动补偿探测器的响应。

(4) 控制部分

IBM-PC 计算机除了采集和处理数据外, 可以对单色仪定位, 波长扫描, 带动积分球移动以及控制程控锁相放大器的放大倍数。单色仪定位精度可达 1 Å, 扫描间隔可达 2 Å, 而积分球移动的间隔可达 0.2 mm。

4. 系统部件的误差。

(1) 系统部件的误差

本测量装置采用高稳定性的光源, 程控锁相放大器, 以及测量数据经多次采集平均。系统部件引起的误差小于 0.02 dB。

(2) 光纤与探测器耦合误差

单晶光纤在测量之前, 两端面经过精磨或抛光处理。光从光纤端面耦合到探测器主要误差是非涅耳反射。尽管单晶光纤菲涅耳反射率可达 8% 左右 (Al_2O_3 折射率为 1.78, YAG 折射率为 1.836), 由于这部分误差是固定的, 在数据处理时可以给予修正。

(3) 参考光纤与样品光纤的耦合损耗

这部分耦合损耗是本装置的关键。文献[3]对光纤耦合损耗进行了研究, 表明影响耦合损耗的因素主要有: 耦合光纤的轴偏离, 耦合间隔, 角度倾斜, 端面不完整。为了减小这部分误差, 测量之前对光纤进行处理, 然后由五维光纤微调架控制光纤夹具, 对耦合情况进行调节, 并由数字表头监视。耦合轴偏离和间隙小于 $0.5 \mu\text{m}$, 角度倾斜小于 1 度。对于纤径为 $100 \mu\text{m}$ 的单晶光纤耦合损耗测量表明: 耦合损耗仅为 0.03 dB。尽管耦合损耗与光波长有关, 但测量耦合处的散射损耗及耦合损耗表明: 损耗随波长的变化影响很小。同时不同耦合的情况下测量结果的相对误差小于 0.2%。

三、测量结果

利用本测量装置对激光加热基座法(简称 LHPG 法)生长的 Nd:YAG, Nd:YAP, Cr: Al_2O_3 , Ti: Al_2O_3 和 Al_2O_3 等单晶光纤进行了大量的测量和研究。图 3 为 Nd:YAG 单晶光纤的吸收光谱, 在 200 至 1100 nm 波段之间有 11 个吸收带^[4], 并且近红外吸收很小, 特别是 $1.06 \mu\text{m}$ 处没有由于稀土杂质而引起的吸收。

图 4 是红宝石(Cr: Al_2O_3)单晶光纤的吸收光谱, 由图可见, 除了吸收中心分别为

4100 nm 和 5500 nm 的 *U* 带和 *Y* 带强吸收外。在 6940 nm 附近有较锐的吸收线 *R*, 4760 nm 附近有较弱吸收线 *B* 和 6600 nm 附近有一组弱吸收线 *S*^[4], 因 *R* 和 *S* 线相对 *U* 和 *Y* 带很弱, 故图中 *R* 和 *S* 线进行了放大。

图 5 是掺 Ti 宝石 (Ti:Al₂O₃) 单晶光纤的吸收谱, 在 5000 nm 附近有一个强而宽的吸收带。同时在 8000 nm 附近有一个很弱的吸收峰, 是由于 Ti⁴⁺ 离子引起的吸收^[5]。

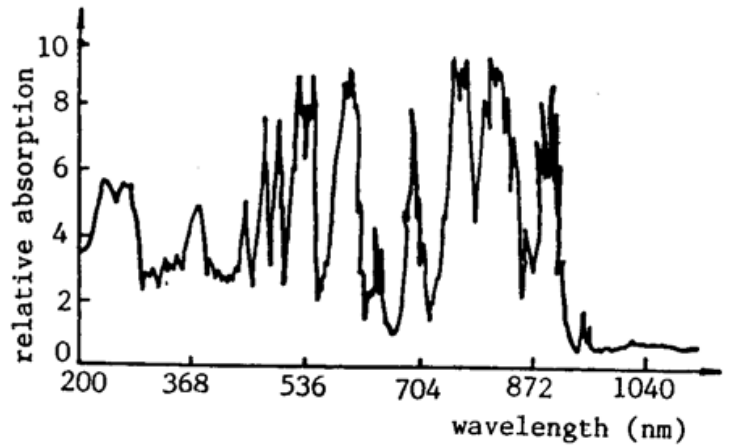


Fig. 3 Absorption loss spectrum for Nd: YAG SCF

图 6 是 Nd:YAG 单晶光纤散射位置谱。单晶光纤前半段散射较大。在金相显微镜下观察发现, 前半段生长缺陷和直径波动均比后半段厉害, 而且表面存在包裹物。10 cm 附近有激烈的直径波动, 并且产生了晶纤弯曲。这是由于拉制过程中, 拉速或送速突然变化^[6], 或激光束位置偏离进行调整造成生长平衡状态被破坏, 导致生长不稳, 引起直径的变化。后部分散射主要是由于表面包裹物和直径波动引起的。

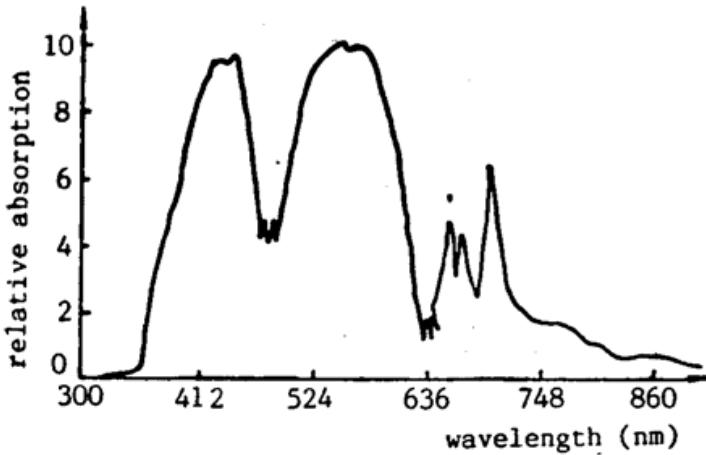


Fig. 4. Absorption loss spectrum for Cr: Al₂O₃ SCF

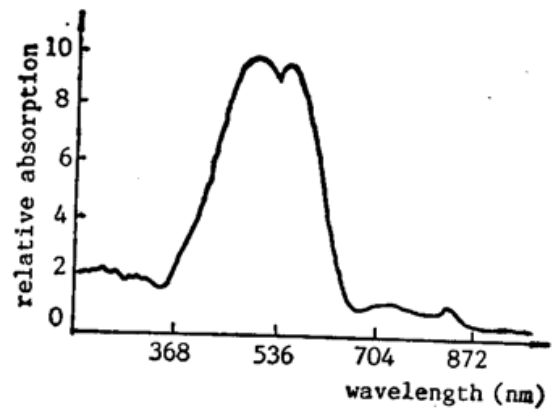


Fig. 5 Absorption loss spectrum for Ti: Al₂O₃ SCF

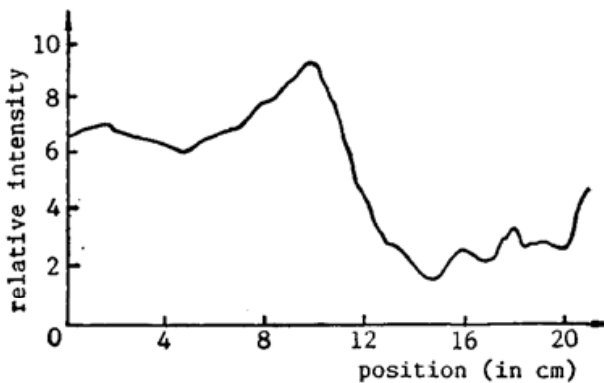


Fig. 6 Scattering loss as a function of position for 248 μm diameter Nd:YAG SCF

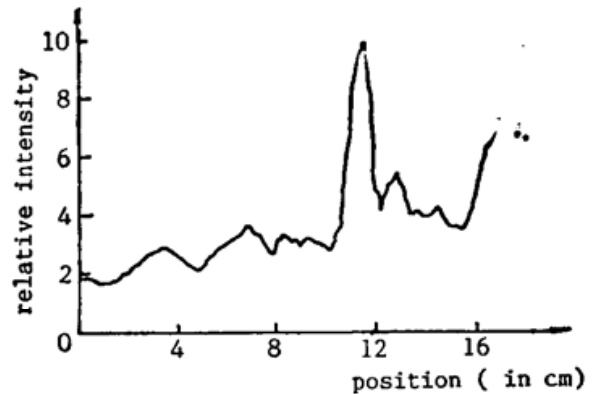


Fig. 7 Scattering loss as a function of position for 0.9 mm diameter Al₂O₃ SCF

图7是蓝宝石单晶光纤的散射位置谱。用金相显微镜观察,该光纤散射主要是直径波动引起的,而图中11cm处的散射是由于单晶内部存在气泡而引起的,其散射损耗为0.09 dB。

参 考 文 献

- [1] D. Marcuse; *«Principles of Optical Fiber Measurements»*, (Academic Press, London, 1981).
 [2] D. H. Jundt, M. M. Fejer *et al.*; *Proc. SPIE*, 1989, **1048**, 39.
 [3] H. Tsuchiya, H. Nakagome *et al.*; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 5 (May), 1323.
 [4] 激光晶体编写组; *«激光晶体»*, (上海人民出版社, 1976), 42.
 [5] P. Lacovara, L. Esterowitz *et al.*; *IEEE. J. Q. E.*, 1985, **QE-21**, No. 10 (Oct), 1614.
 [6] 卢子宏, 陈继勤等; *«硅酸盐学报»*, 1990, **18**, No. 2 (Mar), 262.

Measurement set for single crystal fiber loss spectra

DONG MIANYU, ZHANG SONGBIN, SHEN YONGHANG, WU MINZONG, TONG LIMIN AND DING ZUCHANG
 (Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract

A set for measuring single crystal fiber (SCF) loss spectra is described. The set consists of a tungsten halogen lamp, a monochromator, a integrating sphere, AgORbCs photomultiplier, and a data collecting and processing system. Fully resolved spectra are obtained from 200 nm to 1150 nm. The SCF absorption loss spectra, scattering loss spectra, and scattering position spectra can be measured.

Key words: single crystal fiber.

(上接封4英文目录)

Light Source

Xe-lamps disruption scheme analysis in group lamps pumped high power solid laser..... Mao Jianhua (656)

Optical Measurement

Measurement set for single crystal fiber loss spectra..... Dong Mianyu *et al.* (660)

Nulling procedures used in the ellipsometry for anisotropic surface..... Liang Minji (665)

Surface Physics

Phenomenological parameters a and b at Ag surfaces affected by the adsorption of oxygen..... Liu Yanghua *et al.* (669)

Meeting Reports

International Conference on Thin Film Physics & Applications ('91 TFPA) held in Shanghai..... Li Feng *et al.* (583)

4th National Symposium on Opto-Electro Technology held in Hefei & Huangshan..... Li Feng (606)