

Ho³⁺:ZBLAN 光纤中的 3 μm 与 2 μm 级联振荡辐射

董淑福^{1,2}, 门健¹, 张锐¹, 陈国夫²

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 中国科学院西安光学精密机械研究所
瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 陕西 西安 710068)

摘要:利用美国 Thorlabs 公司生产的一种 Ho³⁺:ZBLAN 光纤,采用 F-P 腔型结构,在光纤长度为 1.8 m 时,获得了 3 μm 和 2 μm 波长的微弱级联振荡辐射。对于推动医用光纤激光领域的研究具有重要价值。

关键词:钬光纤;双包层光纤;光纤激光器;红外激光;光纤激光理论

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)01-0049-04

在适当波长激光的泵浦下, Ho³⁺:ZBLAN 光纤激光器通过级联振荡不但可由一个振荡器同时输出 3 μm 与 2 μm 两种波长的激光,而且还可提高输出功率及转换效率,因此引起了国内外研究者的高度关注^[1-5]。1998 年,日本 NEC 公司光电子和高频器件研究室首次实现了 Ho³⁺:ZBLAN 光纤激光器的级联振荡,获得了 180 mW(各 90 mW)输出功率为^[1];1999 年,该小组将输出功率提高到 3 W(各 1.5 W),斜率效率达到 65%,并与日本国防医学院联合将该双波长激光进行手术实验(用 3 μm 波长的激光进行精确切割,同时用 2 μm 波长的激光凝结止血),取得了非常好的效果^[2]。

本文给出了对 3 μm 与 2 μm 级联振荡 Ho³⁺:ZBLAN 光纤激光器的初步实验研究结果。在多次实测过程中,通过调整优化,成功的获得了 3 μm 和 2 μm 波长的微弱级联振荡辐射。

1 光纤特性及实验装置

1.1 光纤特性及端面制备

实验中采用美国 Thorlabs 公司生产的 F600-325-1 型 Ho³⁺:ZBLAN 光纤,其纤芯中 Ho³⁺ 掺杂浓度为 2 500 ppmW。该光纤为双包层结构,纤芯直径 2.4 μm,数值孔径 0.28;内包层直径 125 μm,数值孔径 0.55。该光纤的损耗谱如图 1 所示,它在 1.18 μm 处有一吸收峰(峰值吸收系数约 0.27 dB/m),但具有较大的背景损耗(约 0.2 dB/m)。

由于该光纤使用紫外光固化的聚丙烯酸酯作为被覆层,它不能用机械方法除去。在实验中,采用脱脂棉浸泡丙酮后多次擦拭欲除去被覆层部分,使被覆层变软,然后用刀片轻轻将其除去。

由于该光纤为氟化物基质,其端面制作亦不能用常规的方法进行。具体切割过程如下:首先将除掉被覆层的光纤放置在橡胶板上,使用光纤切割刀垂直于光纤的轴线轻轻的划(或擦)光纤表面;然后拿住光纤两边有被覆层的区域,弯曲支撑光纤的橡胶板使其断裂。通过数次尝试后,基本能够制作出性能较好的光纤端面,以满足实验中对光纤端面的苛刻要求。

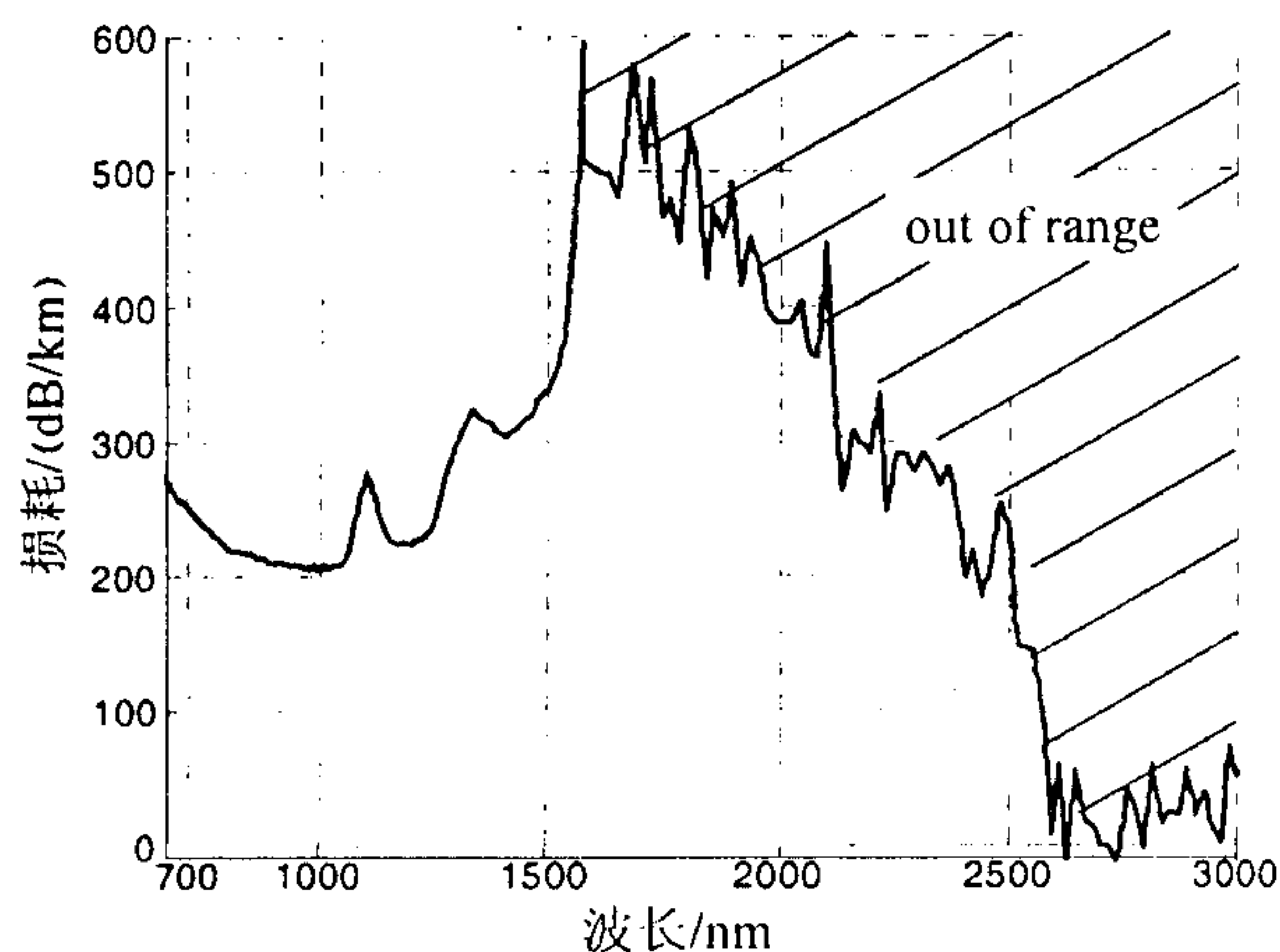


图 1 F600-325-1 型 Ho³⁺:ZBLAN 光纤的损耗谱

收稿日期:2005-07-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60007003)

作者简介:董淑福(1971-),男,山东胶南人,博士,副教授,主要从事光通信系统与器件、全光网络技术研究。

1.2 实验装置

实验中所用泵浦源为美国 QPhotonics 公司制造的波长为 $1.18\ \mu\text{m}$ 的单模光纤拉曼(Raman)激光器,如图 2 中的虚框内所示。它由一 $976\ \text{nm}$ 半导体激光模块(型号 PUMA-20)泵浦的双包层掺 Yb^{3+} 光纤激光器(产生激光波长 $1\ 120\ \text{nm}$)再加一级拉曼频移构成,最大输出功率可达 $6.4\ \text{W}$ 。

对于 PUMA-20 半导体激光器,配备了合适的直流稳压电源(工作电压为 $14.5 \pm 0.5\ \text{V}$,电流从 0 到 $10\ \text{A}$ 连续可调),并为其制作了外围控制电路和散热装置,控制电路原理电路如图 3 所示。

由于 $1.18\ \mu\text{m}$ 光纤 Raman 激光器为单模尾纤输出,因此,从理论上讲只需 $1:1$ 成像系统就可以将泵浦光高效的耦合进 $\text{Ho}^{3+}:\text{ZBLAN}$ 双包层光纤的内包层。实验中选择的是—集成的由两非球面透镜组成的 $1:1$ 成像系统,该成像系统对波长 $976\ \text{nm}$ 蒸镀了增透膜,但对 $1.18\ \mu\text{m}$ 的激光透过率较低(约 90%)。

对于 $\text{Ho}^{3+}:\text{ZBLAN}$ 光纤激光器激光腔的结构,采用传统的 F-P 型腔,如图 2 所示。从 $1.18\ \mu\text{m}$ 的光纤 Raman 激光器输出的光束经耦合系统和后腔镜聚焦到 $\text{Ho}^{3+}:\text{ZBLAN}$ 光纤的端面,要求 $\text{Ho}^{3+}:\text{ZBLAN}$ 光纤的输入端要紧靠后腔镜,以提高泵浦光的耦合效率。以 $\text{Ho}^{3+}:\text{ZBLAN}$ 光纤的输出端面作为输出耦合器(即前腔镜),它具有 4% 的非涅尔反射。利用熔石英透镜来准直 $3\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 中红外激光束,经滤波后用光谱物理公司的 407A 光功率计来测量 $3\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 中红外激光。

激光腔镜由武汉华工正源光子技术公司蒸镀,在 $1.18\ \mu\text{m}$ 透过率 97% 以上(实测值,给出值为 $>99\%$),对 $3\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 带的反射率 99.9% 以上,如图 4 所示。

由于实验室当前尚无测 $1.75\sim3\ \mu\text{m}$ 激光的光谱仪,因此对于 Ho^{3+} 光纤激光器产生的 $3\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 中红外激光的光谱特性测量无疑是一大难题。在理论分析的基础上,结合实验室现有条件,提出用 PbS 探测器辅助以光栅单色仪、机械斩波器及示波器等来测量激光光谱。PbS 探测器由上海技术物理研究所制造,工作面积 $6 \times 6\ \text{mm}^2$,暗电阻 $R = 206\ \text{k}\Omega$,归一化探测度 $D^* = 7.5 \times 10^8\ \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ 。通过设计 PbS 探测器的工作电路(如图 5 所示)、更换光栅单色仪中的光栅(由 $1\ 200\ \text{line}/\text{mm}$ 更换为 $600\ \text{line}/\text{mm}$ 及 $150\ \text{line}/\text{mm}$)等工作,最终实现的 $3\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 带激光的光谱测量^[6]。

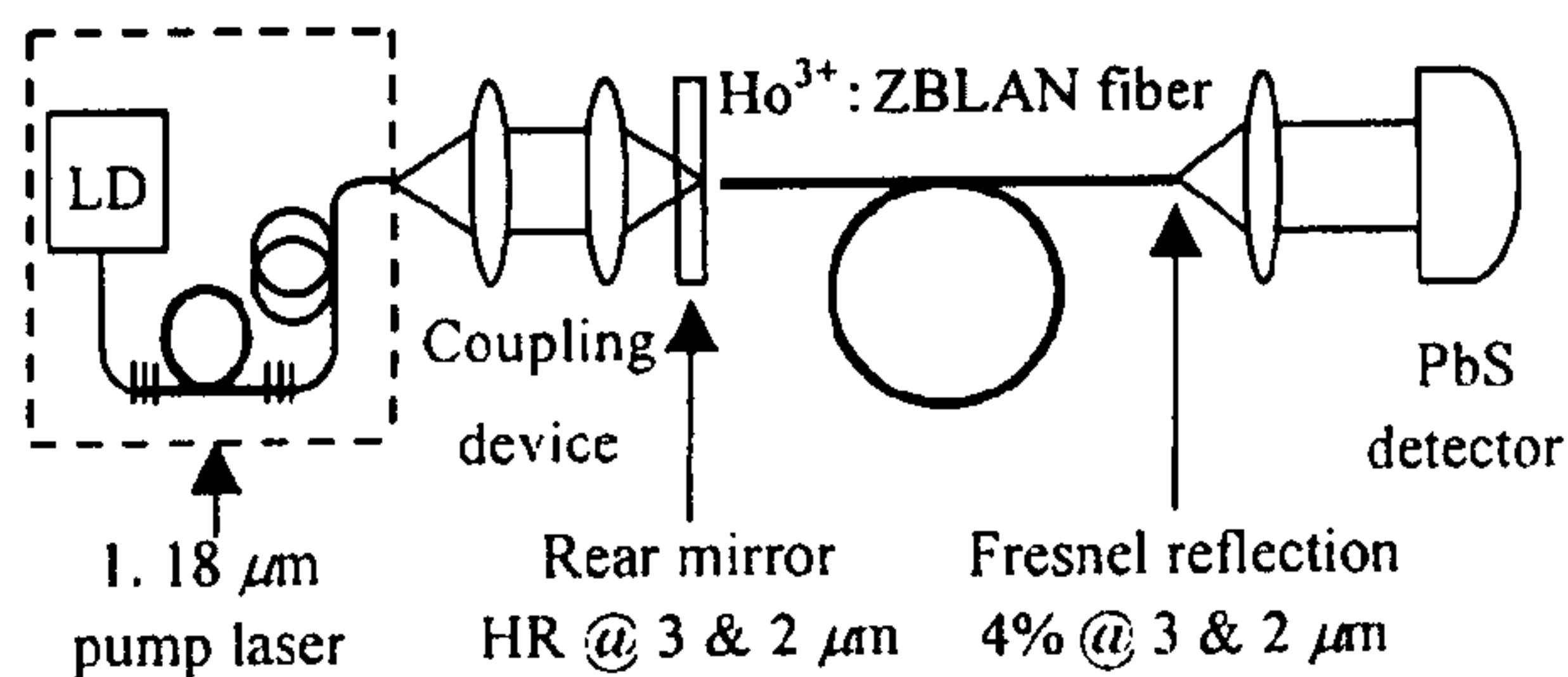


图 2 $3\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 级联振荡 $\text{Ho}^{3+}:\text{ZBLAN}$ 光纤激光器实验装置图

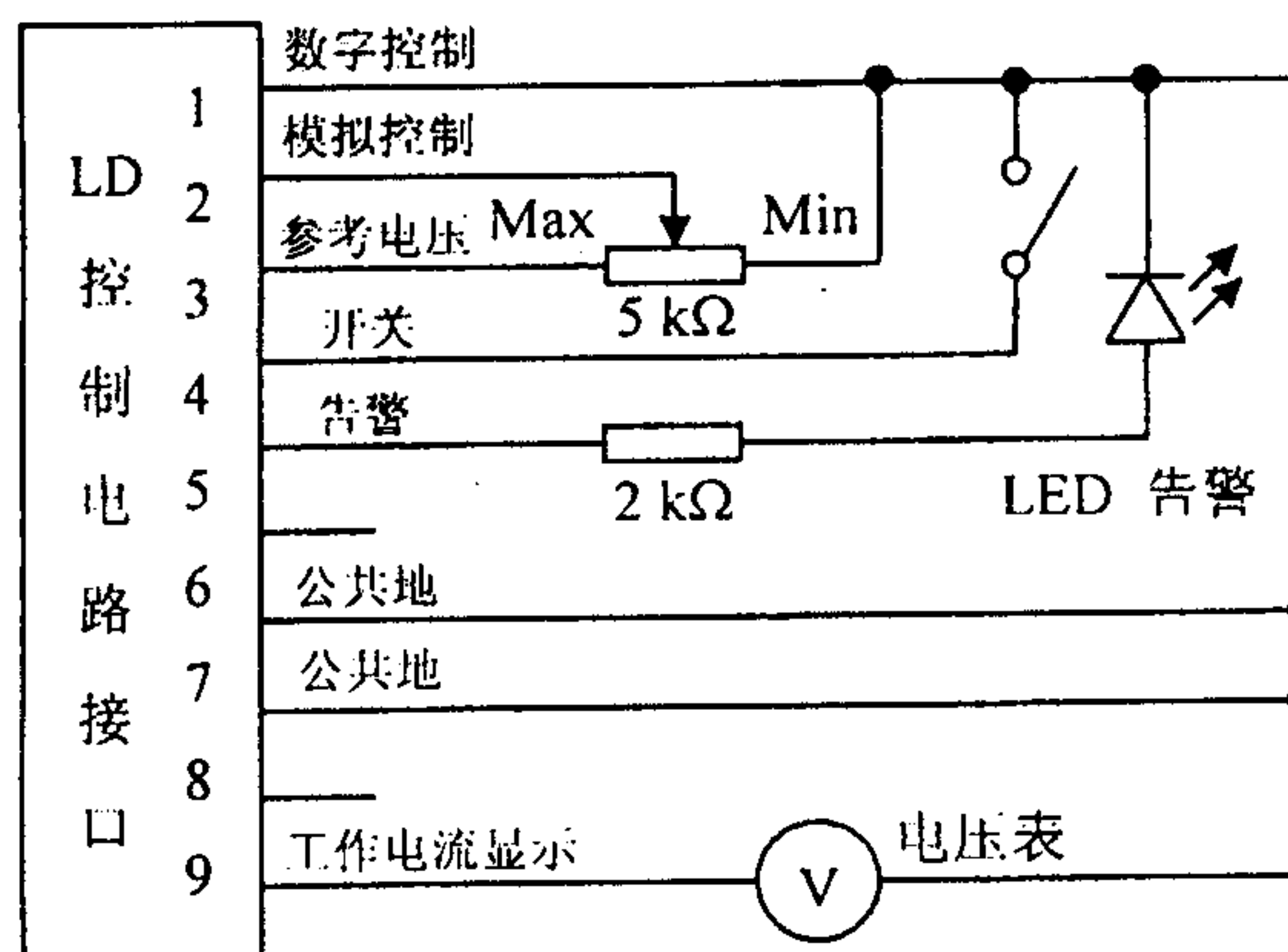


图 3 PUMA-20 半导体激光器的外围控制电路图

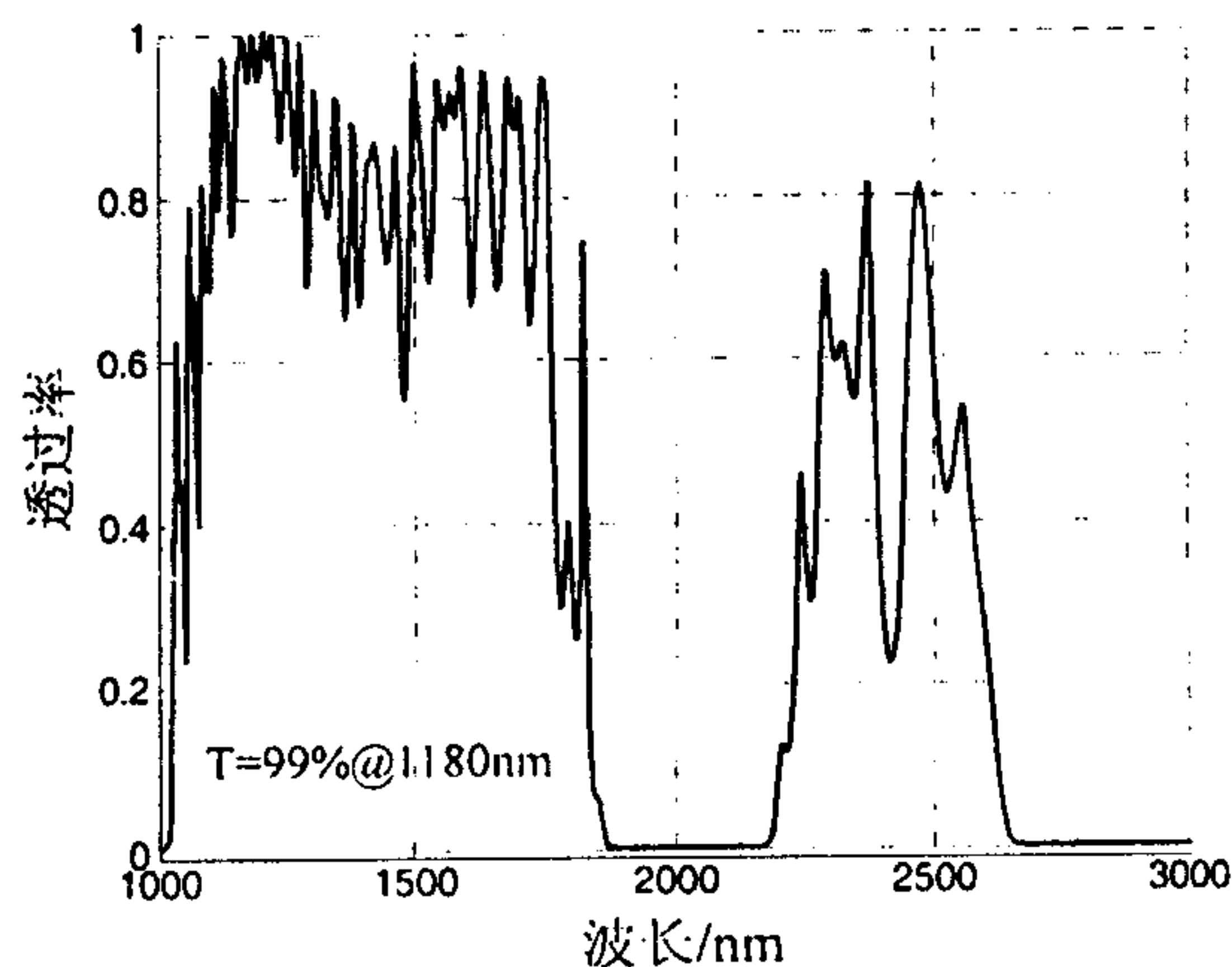


图 4 镀膜双色镜的透射谱

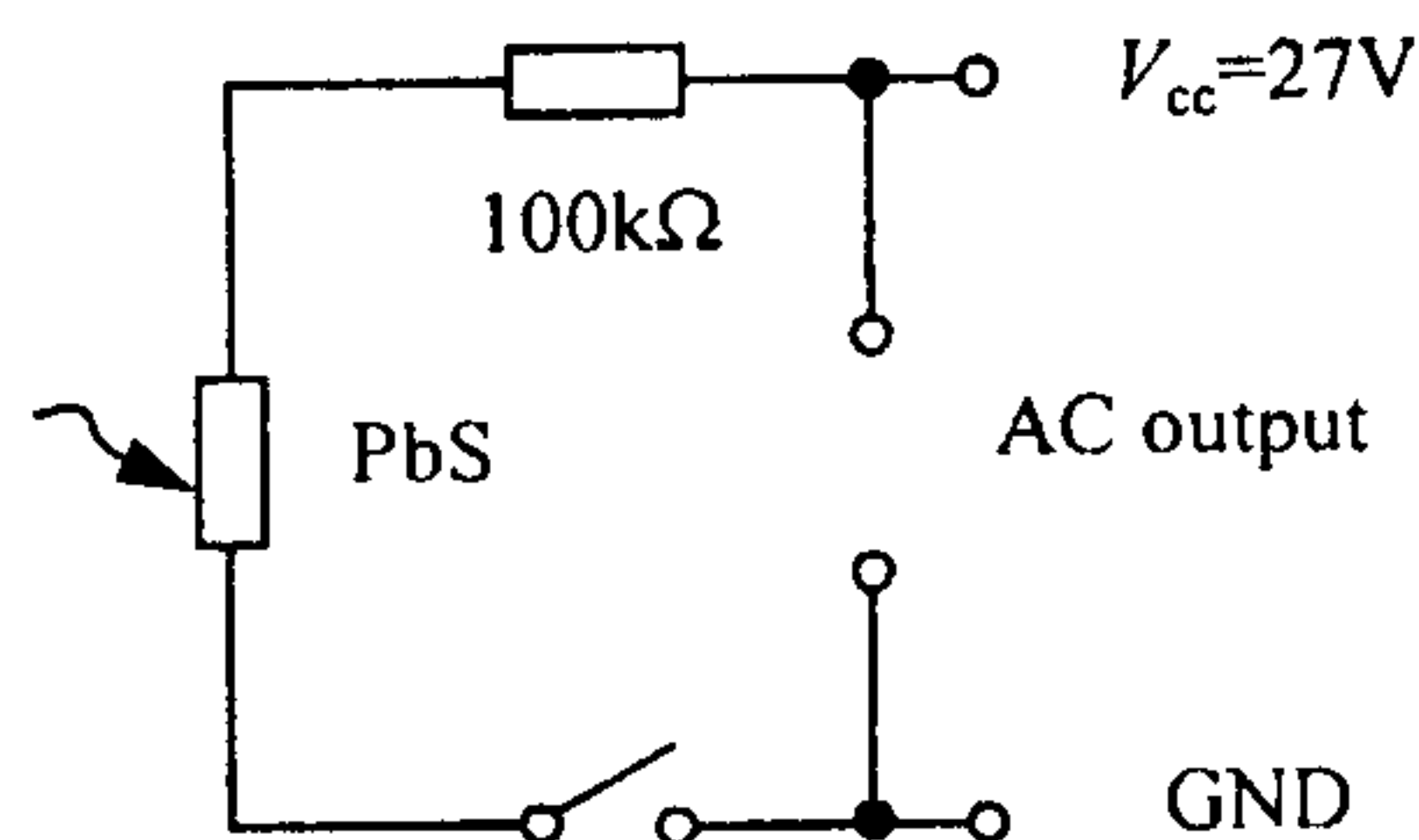


图 5 PbS 探测器工作电路图

2 实验结果

首先截取一端长约 $10\ \text{cm}$ 的 $\text{Ho}^{3+}:\text{ZBLAN}$ 光纤,按 1.1 节中描述的方法除去光纤被覆层并制作光纤端

面,然后进行泵浦光耦合实验,以确定最大入纤功率。经多次调整测量,最大入纤功率约 3.5 W。

但是,由于目前掺 Ho³⁺ 氟化物光纤的制造工艺尚不成熟,所制光纤非常脆,抗拉、抗压强度极其有限,结果所购买的 20 m Ho³⁺:ZBLAN 光纤断为 1 m 左右的十几段,同时其熔化温度远低于石英基质光纤,无法承受高的激光功率。利用其中最长的一段(约 1.8 m),按上述实验装置进行调整,但由于光纤长度太短,对泵浦光的吸收极不充分,导致最终无法产生所期望的 3 μm 和 2 μm 级联振荡激光。但是,在实验中获得了 3 μm 和 2 μm 带的微弱级联振荡辐射光,中心波长在 2 920 nm 和 2 040 nm 左右,半高谱宽约 30 nm,如图 6 所示,这与国外获得的激光波长一致^[2]。

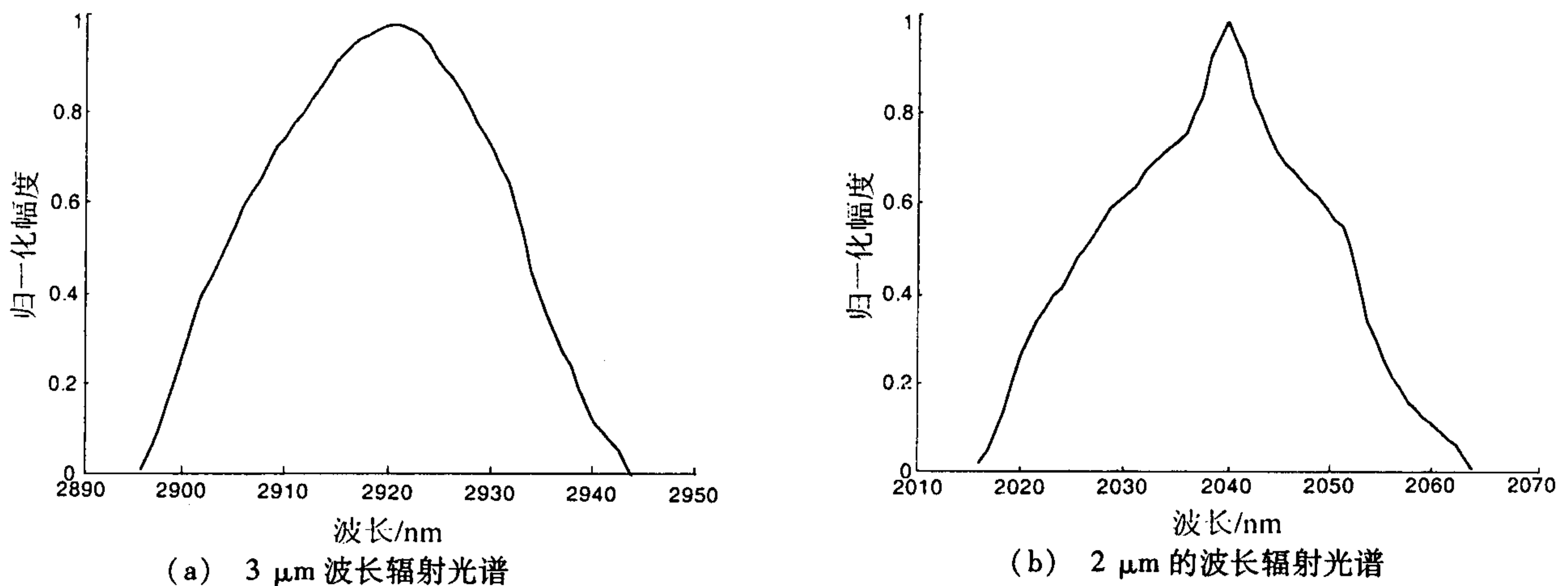


图6 1.8 m 长 Ho³⁺:ZBLAN 光纤输出的 3 μm 和 2 μm 带辐射谱

3 结束语

由于 3 μm 波长的激光能进行精确切割,而 2 μm 波长的激光能凝结止血,因此 3 μm 与 2 μm 级联振荡 Ho³⁺:ZBLAN 光纤激光器在激光诱导间质热疗法中将发挥重要作用,可用来治疗如视网膜、脑、前列腺、肝脏、子宫等许多类型的肿瘤,而且还可作为性能良好的微创激光手术刀。

通过不懈努力,我们利用美国 Thorlabs 公司生产的 F600-325-1 型 Ho³⁺:ZBLAN 光纤,获得了到 3 μm 和 2 μm 波长的微弱级联振荡辐射。随着国际上对 Ho³⁺:ZBLAN 光纤生产工艺的改进,将可以实现瓦级输出的 3 μm 与 2 μm 级联振荡激光,并可与一些大型医疗机构合作,共同开展其在医疗上的应用研究,从而带动我国在医用光纤激光前沿领域的研究,为其在医学领域的应用奠定基础。

参考文献:

- [1] Sumiyoshi T, Sekita H. Dual - Wavelength Continuous - Wave Cascade Oscillation at 3 and 2 μm With a Holmium - Doped Fluoride - Glass Fiber Laser[J]. Opt Lett, 1998, 23(23):1837 - 1839.
- [2] Sumiyoshi T, Sekita H, Arai T, et al. High - Power Continuous - Wave 3 - and 2 - μm Cascade Ho³⁺:ZBLAN Fiber Laser and Its Medical Applications[J]. IEEE J of Select Topics in Quantum Electron, 1999, 5(4):936 - 943.
- [3] Shufu Dong, Guofu Chen, Xianhua Wang, et al. Analysis and Designs of CW 3 - and - 2 μm cascade Ho³⁺: ZBLAN Fiber Laser[A]. Britton Chance, Mingzhe Chen, Gilwon Yoon. Optics in Health Care and Biomedical Optics: Diagnostics and Treatment[C]. Shanghai, China; Proc. of SPIE, 2002. 120 - 127.
- [4] 董淑福,陈国夫,王贤华,等. 医用 3 μm 与 2 μm 级联振荡钬光纤激光器的原理与初步设计[J]. 光子学报,2002,31(12):1453 - 1457.
- [5] 董淑福,占生宝,陈国夫,等. 3 μm 与 2 μm 级联振荡 Ho³⁺:ZBLAN 光纤激光器的动态特性分析[J]. 物理学报,2005,54(7):3154 - 3158.
- [6] 刘文清,文公岭. 现代实验仪器原理与应用[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [7] 庄茂录,董淑福,管桦,等. 双色层 Er³⁺/Yb³⁺ 共掺光纤放大器增益和噪声特性分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003,4(6):48 - 52.

(编辑:门向生)

3 μm and 2 μm Cascade Oscillation Radiation in Ho^{3+} : ZBLAN Fiber

DONG Shu-fu^{1,2}, MEN Jian¹, ZHANG Rui¹, CHEN Guo-fu²

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China; 2. State Key Laboratory of Transient Optics & Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710068, China)

Abstract: By using a kind of Ho^{3+} : ZBLAN fiber manufactured by Thorlabs Co., USA, weak cascade oscillation radiations at 3 μm and 2 μm are achieved based on the conventional F-P cavity when the optical fiber is 1.8m in length. The primary experimental result is of great importance to the researches in medical fiber laser field and its applications.

Key words: holmium doped fibers; double-clad fibers; optical fiber lasers; infrared lasers; optical fiber laser theory

(上接第48页)

- [4] Torres S N, Hayat M M. Kalman Filtering for Adaptive Nonuniformity Correction in Infrared Focal Plane Arrays [A]. Proc. SPIE[C]. 2000. 196 - 205.
- [5] Majeed M M, Hayat, Torres S N. Statistical Algorithm for Nonuniformity Correction in Focal - Plane Arrays [A]. Applied Optics[C]. 1999. 772 - 780.
- [6] Ratliff B M, Hayat M M, Hardie R C. Algebraic Scene - based Nonuniformity Correction in Focal Plane Arrays [A]. Proc. SPIE[C]. 2001. 114 - 124.
- [7] Scribner D A, Sarkady K A, Kruer M, et al. Adaptive Nonuniformity Correction for IR Focal Plane Arrays Using Neural Networks [A]. Proc. SPIE[C]. 1991. 100 - 109.
- [8] Torres S N, Vera E M, Reeves R A, et al. Adaptive Scene - based Non - uniformity Correction Method for Infrared - Focal Plane Arrays [A]. Proc. SPIE[C]. 2003. 130 - 139.

(编辑:田新华)

Adaptive Scene - Based Non - uniformity Correction of Infrared Focal Plane Arrays

ZHU Hong¹, XU Tian-hua¹, CHEN Hui², ZHAO Yi-gong¹

(1. Institute of Pattern Recognition and Intelligent Control, School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China; 2. Xi'an Satellite Control Centre, Xi'an, Shaanxi 710043, China)

Abstract: To improve the performance of the adaptive scene - based technology for non - uniformity correction, an adaptive non - uniformity correction technology for infrared focal plane arrays based on pre - processing with median filter is proposed. The proposed algorithm has been tested with the video sequences of simulated and real infrared data, reaching high correction levels, reducing the fixed pattern noise and preserving image details. The algorithm has low computational complexity and can obtain an efficient frame by frame adaptive estimation of detector's gain and offset.

Key words: infrared focal plane; scene - based non - uniformity correction; median filter