

有源环形腔滤波器

钱景仁 陈铭 俞本立

摘要：利用掺铒光纤放大补偿环形腔中的损耗，制作了有源带通型环形腔。初步实验表明，用它对窄带的光源进行滤波，可以获得线宽更窄的光谱。

关键词：有源环形腔；掺铒光纤放大；有源滤波器；线宽

分类号：TN929.11 **文献标识码：**A

文章编号：0253-2778(2000)01-0069-04

Active Optical Fiber Ring Resonator Filters

QIAN Jing-ren

(Dept. of EEIS, USTC, Hefei 230027, China)

CHEN Ming

(Dept. of EEIS, USTC, Hefei 230027, China)

YU Ben-li

(Dept. of Phy., Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: An active bandpass Er-doped-fiber ring resonator is proposed that uses the Er-doped-fiber amplification to compensate for round-trip optical loss. The experiments show that it can be used to filter a narrow-bandwidth laser light to obtain a narrower output spectrum.

Key words : active optical ring resonator; Er-doped-fiber amplification; active filter

1 引言

在波分复用、相干光通信系统和高灵敏高稳定度相位型的光传感技术中，窄线宽的激光光源均需要单频、窄线宽可调谐的光源。各种结构和用途的光纤环形腔被应用在频谱分析仪^[1]、传感器^[2]、滤波器^[3]等方面。90年代以来，在环形腔内加入掺铒光纤后，对各种结构和特性的光纤环形腔激光器进行了大量的研究^[4, 5]。这些环形腔激光器中的光纤放大器都工作在环形腔的阈值以上，以产生激光输出，由于激光输出有明显的模式跳变，较难形成稳定的单频激光。本文提出一种新的结构的有源环形腔，腔中的光纤放大器是用来补偿环形腔中的损耗，工作点选在环形腔不产生不同波长与输入信号光之波长的寄生激光的条件下，对输入光纤环形腔的光源进行滤波，初步实验表明，可以得到线宽更窄的光谱。

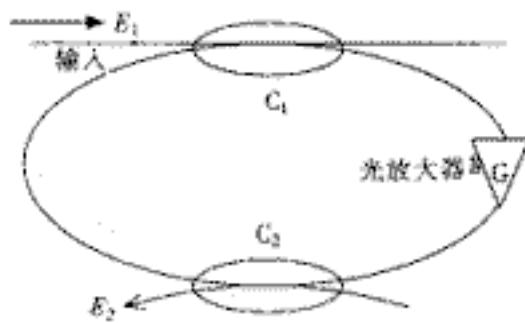


图1 有源环形腔基本结构示意图
Fig.1 The construction of an Active ring resonator

2 原理

图1所示的是包括两个耦合器和一个增益为G的光放大的带通型光纤环形腔，设 E_1 为输入耦合器 C_1 的光的幅度， E_2 为从耦合器 C_2 输出的幅度，则

$$\left| \frac{E_2}{E_1} \right|^2 = \frac{(1 - \gamma_1)(1 - \gamma_2)(1 - k_1)(1 - k_2)G}{1 + A^2 - 2A \cos \beta L} \quad (1)$$

其中

$$A = \sqrt{(1 - \gamma_1)(1 - \gamma_2)k_1(1 - k_2)} e^{-\alpha L} \quad (2)$$

γ_1 和 k_1 、 k_2 分别是耦合器 C_1 和 C_2 的损耗和耦合系数， α 和 L 分别对应光纤的衰减系数、传输常数以及环形腔的腔长， E_2 包括从耦合器 C_2 输出的光。对于环形腔来说，当环程光损耗被光放大器完全补偿后，理论上，腔的精细度将趋近无穷大，与其他参数无关[6]。因此，我们设法使环形腔工作在此点附近，得到高精细度的环形腔，从而对输入光进行滤波。

3 实验结果和分析

图2表示的是有源光纤环形腔实验结构图。环形腔内有两个 2×2 熔锥型耦合器，其中 C_1 的耦合比是2:98，用作输入耦合器；另一个耦合器 C_2 的耦合比是5:95，用作输出耦合器，环长15m，对应自由谱宽 $FSR=13.3\text{MHz}$ ，环中有6m的掺铒光纤，其掺杂浓度为870ppm，采用一个波分复用器（WDM）来耦合980nm波长的激光二极管（LD）作为泵浦，WDM在波长 $1.53\text{ }\mu\text{m}$ 耦合率为95%；环中有4m的光纤绕在压控振荡器（PZT）上，PZT上加载着频率为160Hz的三角波用以扫描改变腔长；另外，由于环形腔采用的是普通通信光纤，而非保偏光纤，故在环中加入一个偏振控制器来调整两个本征偏振态，使之不

影响线宽的测量.环中有7个焊接点，每个焊点的损耗约为0.03dB.整个环必须放置在一个稳定的环境下，尽量减少周围温度变化和机械振动对环形腔的影响.

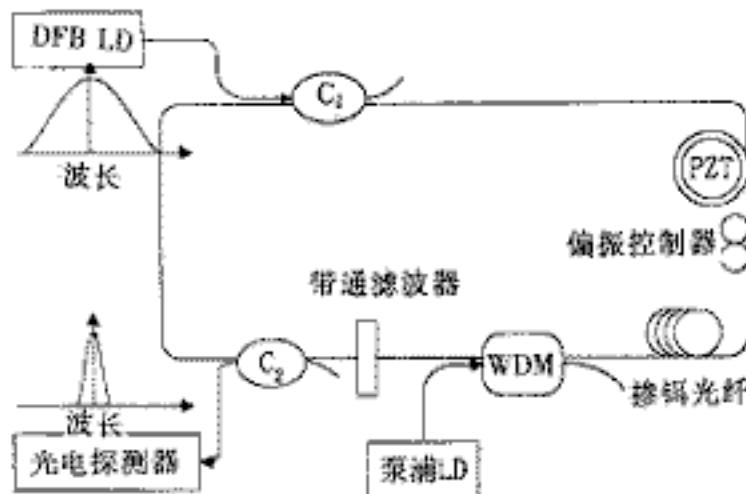


图2 有源环形腔滤波器实验结构图

Fig.2 The experimental setup of the active fiber ring resonator

输入的信号光是一个分布反馈式 (DFB) 激光器，其光谱的中心波长为1534nm.由于掺铒光纤放大器 (EDFA) 有很宽的增益谱 (约20nm)，从而引起环中产生波长不同与输入信号光波长的寄生激光，所以我们在环中引入一个带通滤波器 (如图2中所示)，其光谱特性如图3所示.在图2所示环形腔中去掉带通滤波器时，输出端的光谱将在B点附近产生寄生激光，而输入光中心波长在A点.因此我们用带通滤波器来达到抑制寄生激光的目的.当然，引入带通滤波器会增加额外的损耗，但这可以被光放大器的增益所补偿的.

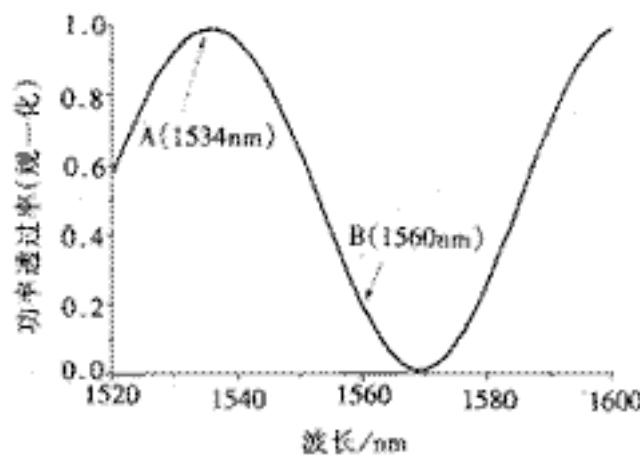


图3 带通滤波器的光谱特性
Fig.3 Wavelength response of the filter

图4所示的是环形腔的注入锁定现象，此时泵浦光功率稍高于腔的阈值.图中的光谱曲线A表示的是没有输入光的情况，而光谱曲线B是加入信号光时的情况，从图中可以看出输出光锁定在输入光的频率上了.图5是测量环形腔阈值的数据以及拟合的结果，从图中可以

得出腔的阈值约为45mA.

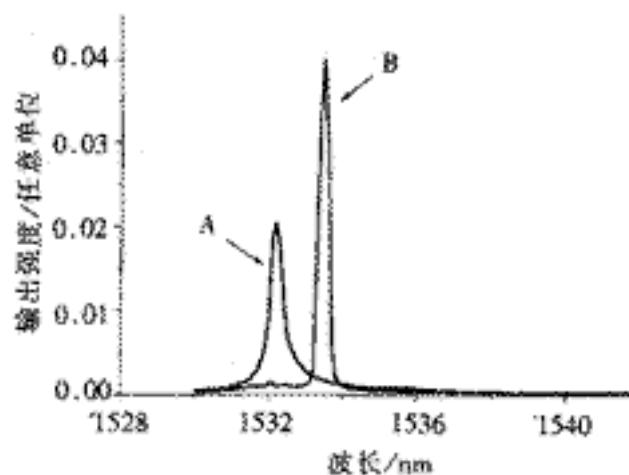


图4 有无信号光两种情况下有源环输出光谱对比(波长分辨率0.1nm)
Fig.4 Spectra of the active ring output without and with the bandpass filter

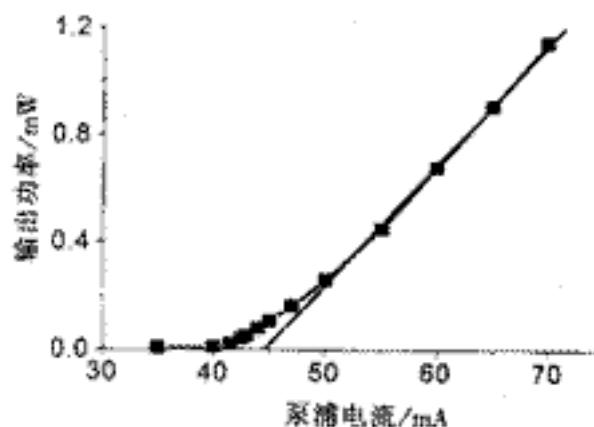


图5 环形腔输出功率与泵浦LD电流的关系
Fig.5 Ring output power against injected current of pump LD

图6则表示的是有源环形腔的输入和输出的光谱，光谱是用零拍法测得的.其中(a)图是输入光的光谱,其线宽HWHM (Half Width at Half Maximum) 是5.5MHz , (b)图是输出光的光谱 , 对应的线宽是1.5MHz.图中曲线上的小圈是读数的取样点 , 测量所用频谱仪型号为HP8591E , 分辨率为1kHz,频谱图中横坐标是频率 , 曲线的中心频率为零赫兹 , 整个频谱的跨度为50MHz , 纵坐标每格10dB.显然 , 信号光通过有源环形腔后线宽变窄了.相应的 , 输入光的功率为0.6mW,输出光的功率为0.13mW , 单位线宽所持功率基本未变.

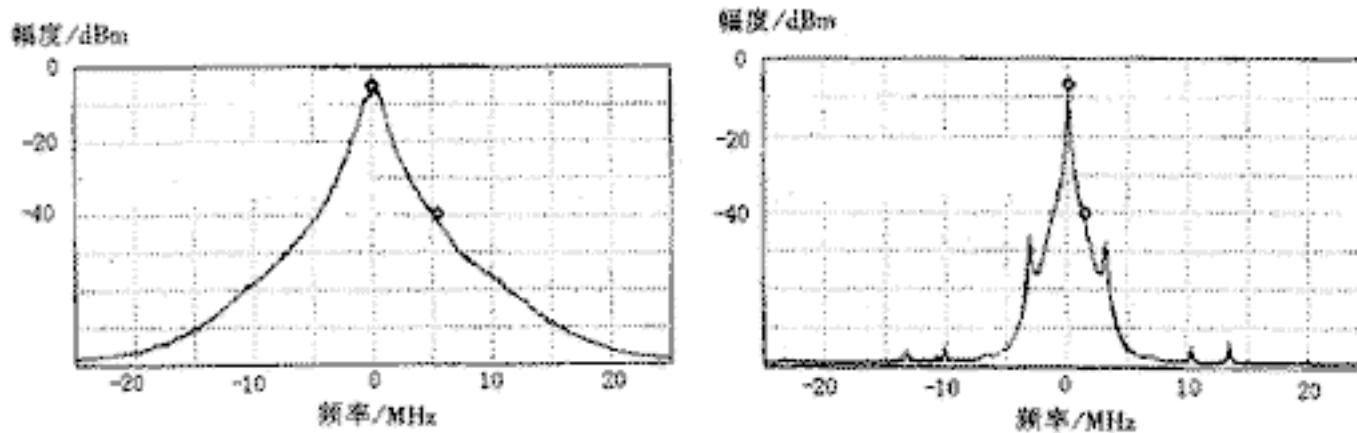


图6 零拍法测量输入和输出光谱图

Fig.6 Spectrums of the input and output light measured with homodyne method

4 结论

从实验结果中，我们可以看到，输入和输出光谱的形状都为洛伦兹型，且信号光通过有源腔后光谱明显变窄，由此认为可以用此种有源腔来对窄线宽的激光进行滤波而得到线宽更窄的光谱。由于所用信号光为DFB激光，是高稳定度的光源，在注入锁定效应下，输出光的稳定度高于环形腔激光器。由于环长可以通过PZT控制，所以输出光的中心波长可在输入信号光光谱范围内调节。以上仅是初步工作，进一步优化环形腔的参数，减少光反馈的影响，还可以进一步压窄输出光的线宽，提高输出功率。这种有源环形腔滤波器可在通信、传感等需要可调节的窄带光源的场合得到应用。

基金项目：国家自然科学基金资助项目(69677023)

作者简介：钱景仁，男，1935年7月生，教授，博士生导师，主要从事光纤元器件的理论和

技术研究。

作者单位：钱景仁（中国科技大学电子工程与信息科学系，安徽合肥230027）

陈铭（中国科技大学电子工程与信息科学系，安徽合肥230027）

俞本立（安徽大学物理系，安徽合肥230027）

参考文献：

- [1] TAI S, Kyuma K, Nakayama T. Novel measuring method for spectral linewidth of laser diodes using fiber-optic ring resonator [J]. Electron. Letter, 1985, 21(3):91 ~ 93.
- [2] Stokes L F, Chodorow M, Shaw H J. Sensitive all-single-mode-fiber resonant interferometer [J]. J. Lightwave Tech., 1983, LT-1(1):110 ~ 115.
- [3] Bowers J E, Newton S A, Sorin W V, etc. Filter response of single-mode fiber recirculating delay line [J]. Elec. Lett., 1982, 18(3):110 ~ 111.
- [4] Iwatsuki K, Okamura H, Sarumatari M. Wavelength-tunable single-frequency and single-polarization Er-doped fiber ring laser with 1.4kHz linewidth [J]. Elec. Lett., 1990, 26(4):2033 ~

2035.

[5] CHENG Y, Kringlebotn J T, Loh W H, et al. Stable single-frequency traveling-wave fiber loop laser with integral saturable-absorber-based tracking narrow-band-filter [J] . Opt. Lett., 1995 , 20 (8) : 875 ~ 877.

[6] Okamura H, Iwatsuki K. A finesse-enhance Er-doped-fiber ring resonator [J] . J. Lightwave Tech. , 1991 , 9(11) : 1554 ~ 1560.

收稿日期 : 1999-05-25

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>