

光纤光栅外腔分布布拉格反射激光器 中的波长转换*

陈高庭 瞿荣辉 赵 浩 张位在
李爱莲 张云妹 丁 浩 方祖捷

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 报道了一种新型的基于光纤光栅外腔分布布拉格反射激光器的波长转换技术。获得了 8 nm 的波长转换间隔; 对注入信号的灵敏度、转换信号之间的反相特性等进行了测量研究。讨论了波长转换的机理和该技术的特点和优点。

关键词 波长转换, 分布布拉格反射激光器, 光纤光栅。

1 引 言

在未来的波分复用(WDM)和波分多址(WDMA)光通信系统中, 光波长转换器件是一个十分重要的部件。它在光通信网络中, 可以广泛地用作为光开关、光交换、波长路由、波长再用等, 从而使波分多路的多个波长通道的利用率和系统的总容量大大提高, 并且使通信网络的管理更为灵活、合理、可靠^[1, 2]。因此光波长转换技术及其物理基础的研究吸引了国际上许多学者的重视, 进行了大量的工作, 发展了多种波长转换技术, 主要的有以下几种类型:

- 1) 采用交叉增益调制的半导体光放大(XGM-SOA)波长转换器^[2];
- 2) 采用交叉相位调制的半导体光放大(XPM-SOA)波长转换器^[3];
- 3) 利用分布布拉格反射激光器中增益饱和机制(XGM-DBR)波长转换器^[4];
- 4) 利用分布布拉格反射或 Y 形激光器中光吸收双稳态波长转换器^[5];
- 5) 利用半导体光放大器中四波混频效应(FWM-SOA)波长转换器^[6];
- 6) 利用光纤中四波混频效应(FWM)的波长转换器^[7];
- 7) 利用周期性波导中准相位匹配的四波混频效应波长转换器^[8];
- 8) 采用晶体中声光效应的波长转换器^[8]。

各种波长转换器件, 各有其不同的特点和优缺点, 发展的程度也有相当大的差别。有的还处于原理性研究的阶段, 有些已经在实验系统中试用, 但离开实用化还有一定的距离。

本文提出一种利用光纤光栅的外腔半导体激光器(FBG-DBR)的波长转换技术, 并报道

* 国家自然科学基金资助项目(编号 69576033)。

收稿日期: 1997-01-15

演示波长转换基本功能的实验结果。这一新的波长转换技术，在原理上采用半导体有源介质中的增益饱和机制，保留了半导体分布布拉格反射激光波长转换技术原有的优点。同以半导体光放大为基础的波长转换技术相比，无需另外的泵浦光源，结构简单，操作容易。由于采用了光纤光栅，更具有转换波长稳定性好，易于控制等新的长处，特别适用于未来的标准化的波分多路网络系统。

2 实验装置和工作原理

光波长转换实验用的基本装置如图 1 所示。光纤光栅外腔激光器由一个 $1.5 \mu\text{m}$ 波段的半导体激光器法布里-珀罗(F-P)腔芯片和一段光纤光栅耦合而成。尾纤与一个光纤分束器(A 端口)相连。光纤分束器的相对的一个端口(C)同一个分布反馈激光器相连。分布反馈激光器的输出作为波长转换器的输入信号，经光纤分束器注入光纤光栅外腔激光器。分束器的另一个端口(B)作为波长转换器的输出，与一个光栅光谱仪相连，用来测量光波长转换的特性，也兼作波长转换器的滤波器。从这一端口还可以用光功率计测量其输出强度。分束器的第四个端口(D)用于分布反馈激光器输出功率的监控。

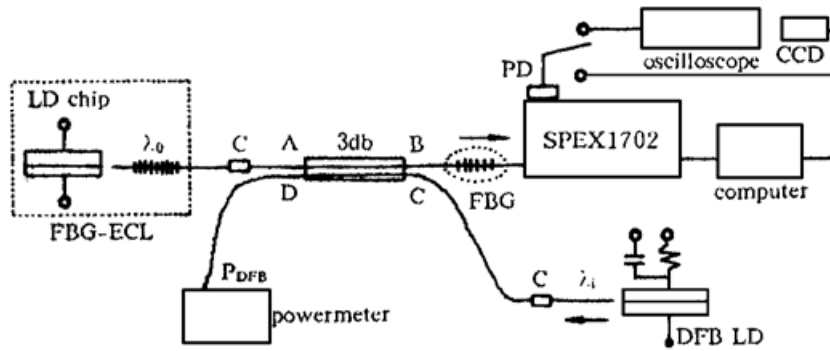


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

在本实验中作为激光器外腔分布布拉格反射器的光纤光栅，是本实验室研制的紫外激光写入的光折变光栅。图 2(a) 为它的透射谱。其峰值波长为 1529 nm ，反射率约 0.7 。半导体激光器芯片的前端面蒸镀了增透膜，根据发射谱的测试结果，计算得到反射率降低到 0.001 的量级。与光纤光栅耦合后，从光纤输出的功率-电流特性如图 2(b) 所示。阈值电流为 55 mA 。

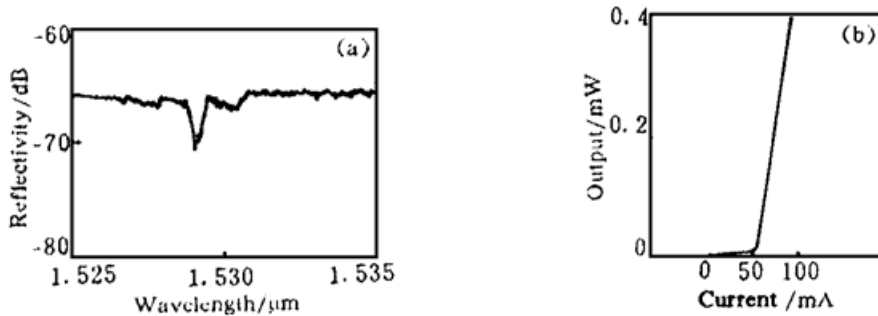


Fig. 2 Spectrum of FBG and the L-I characteristics of FBG-ECL

这一波长转换器件的工作条件是：光纤光栅外腔分布布拉格反射激光器在直流电流泵浦下单频输出。工作波长 λ_o 由光纤光栅的反射峰决定，为 1529 nm 。分布反馈激光器的工作波长 λ_i 为 1521 nm ，其阈值电流为 45 mA 。当分布反馈激光器的输出作为信号光通过光纤分束

器注入光纤光栅外腔激光器时, 在对 λ_i 光信号放大的同时, 由于芯片内有源区增益饱和均匀展宽特性, 激活区的载流子浓度被消耗而减少, 于是在 λ_0 的波长上的增益和输出功率也受到了调制, 从而把 λ_i 波长上的信号转移到 λ_0 波长上, 实现波长转换。根据上述物理过程, 可知转换后的光信号的相位同原信号之间有一个 π 的位相差。

3 实验结果

3.1 直流注入的波长转换特性

对光纤光栅外腔激光器加一恒定电流(60 mA), 改变分布反馈激光器的工作电流, 从略高于阈值的 50 mA 增加到到 80 mA, 注入功率从 0 到 540 μW , 测量从 B 端口输出信号的光谱, 得到图 3(a) ~ (f) 所示的一组光谱。明显地看到, 分布反馈布拉格激光器的输出功率随着输入光信号的增加而降低, 直至基本上被抑制。在本实验中实现了间隔为 8 nm 的波长转换。

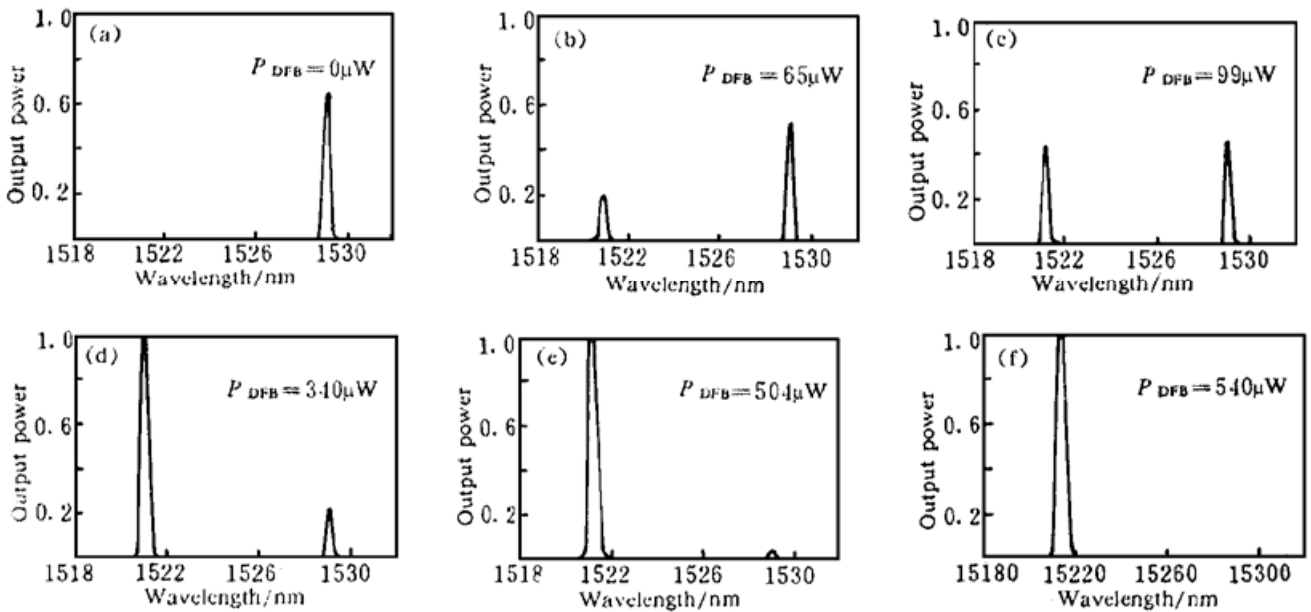


Fig. 3 Spectra of wavelength converter output

3.2 直流注入的功率变化

实验中同时测量了 B 和 D 端口的输出功率。从 B 端口的输出光谱可以得到两种波长 λ_0 和 λ_i 功率的相对比值。实验数据表明, 所用的光纤耦合器并不是一个 3 dB 的分束器。经实际测量, 分束比大致为 48/52。根据 D 端的功率监视信号, 可以得到两种波长光功率的变化如图 4 所示。由此可以求得, 在注入信号功率为 65 μW 的条件下 λ_0 波长的输出有约为 17% 的幅度变化。可见, 产生波长转换效应的最小注入信号功率小于 -12 dBm。此外, 实验中还可得到光纤光栅外腔激光器对注入光信号具有高达 20 dB 的放大作用。

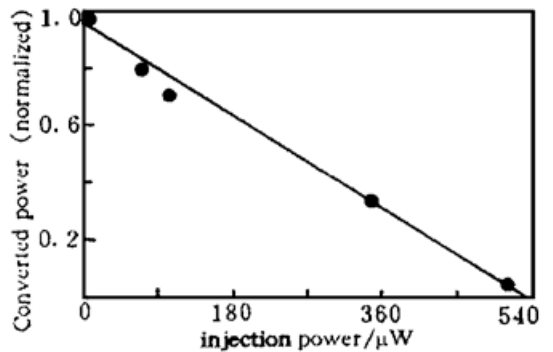


Fig. 4 Wavelength converted power VS injected power

3.3 脉冲信号注入的波长转换特性

在注入脉冲信号的情况下, 测量波长转换装置的 B 端口输出。为了同时测量两种波长的信号, B 端口输出经光谱仪分光后, 用示波器分别测量了两种波长的输出波形, 如图 5 所示。显而易见, 两种波长的波形存在 π 位相差。证明了这

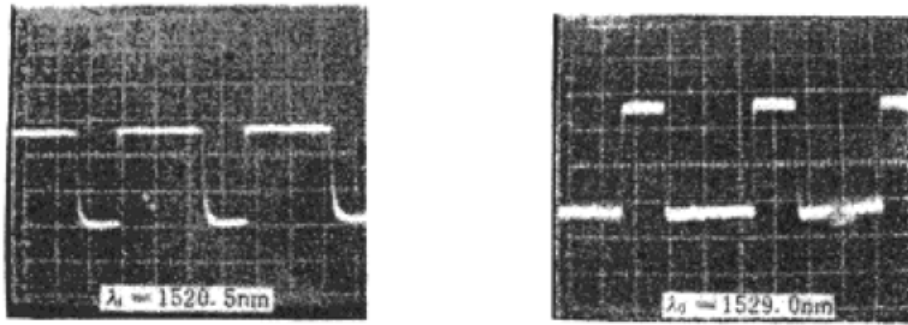


Fig. 5 Waveforms of injected signal and converted signal

一波长转换是基于载流子耗尽的机制。

4 讨 论

1) 本实验由于条件的限制,只进行了低频调制信号下波长转换的测试,目的是验证其增益饱和机制。在增益饱和机制下,其调制频率的限制决定于载流子的寿命。可以推断,该波长转换技术的频率限制大致在 GHz 的量级。

2) 由上述实验结果可见,在注入信号功率为 -12 dBm 的情况下,测量到了波长转换效应。这一结果优于文献报道的单片集成分布布拉格反射激光器幅移键控(ASK)调制的的数据。当然,实际器件的工作信号电平需要高于此数值。降低最低信号功率,提高转换效率,是进一步研究的课题。

本实验获得的波长转换范围为 8 nm。由于所用的信号光的波长不能调谐,也缺乏挑选的条件,这里只是一个具体的例子。波长转换的范围实际上决定于所用法布里-珀罗管芯的增益谱,因此获得 20 nm 的波长转换范围是可能的。另一方面,在本实验中,转换后的波长决定于光纤光栅的光谱,是固定的。同一般分布布拉格反射激光器方案一样,波长可调谐的范围很小。但是在未来的波分多路通信系统中,所采用的波长将是标准化的,因此这种固定波长的转换器也是十分有用的。本技术所采用光纤光栅,其光谱的稳定性比半导体材料好得多,有利于满足实际系统的使用要求。

3) 上述实验结果还表明,在光纤光栅外腔激光器的波长转换器的输出端(B)获得的光信号,包含有两种波长的成分。由于其转换机制是基于增益饱和,必然对输入信号产生放大作用。与文献报道的同一机制的结果一样,必须采用一个输出滤波器,去除输入信号的波长。在本实验中,光谱仪实际上起到了滤波器的作用。对于固定波长之间的转换器件,可以采用对应于输入信号波长的光纤光栅作为滤波器。这样的器件将是十分小型紧凑的。

4) 本实验采用的光纤光栅外腔分布布拉格反射激光器的方案,与单片集成的分布布拉格反射激光器相比,具有一些突出的特点和优点:(1) 波长稳定性好。光纤光栅峰值波长的温度变化率约为 0.01 nm/ $^{\circ}$ C,比半导体材料小一个量级。光纤光栅是一个无源器件,不需也不能加电流,也不存在波长啁啾的问题。(2) 所采用的管芯为法布里-珀罗芯片,其价格大致比分布反馈结构低一个量级,比单片集成的分布布拉格反射更为低廉。(3) 不需另外进行尾纤耦合,可以直接接入系统使用。(4) 由于芯片的耦合端面镀了很好的增透膜,有源区与外腔之间的耦合很强,因而信号注入的效率和波长转换效应的灵敏度相当高。与从两端耦合的半导体光放大器方案相比,结构简单,效率较高。

本工作的结果表明, 采用光纤光栅作为外腔的分布布拉格反射激光器, 可以用于波长转换器件。随着波分复用的发展和光纤光栅性能的提高, 相信这一波长转换技术将是一个有竞争力的、有实用意义的方案。

参 考 文 献

- [1] K. C. Lee, O. K. Li, A wavelength-convertible optical network. *J. Lightwave Technol.*, 1993, **11** (5/6) : 962~ 970
- [2] S. Dubovitsky, P. Daniet Dapkus, Atul Mathur *et al.*, Wavelength conversion in a quantum well polarization insensitive amplifier. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(7) : 804~ 806
- [3] T. Durhuus, C. Joergensen, B. Mikkelsen *et al.*, All optical wavelength conversion by SOA's in a Mach-Zehnder configuration. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(1) : 53~ 55
- [4] T. Durhuus, B. Mikkelsen, R. J. S. Pedersen *et al.*, Optical wavelength conversion over 18 nm at 2.5 Gb/s by DBR-Laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(1) : 86~ 88
- [5] Kozi Nonaka, Yoshio Noguchi, Hiroyuki Tsuda *et al.*, Digitall signal Regeneration with side-injection-light-controlled bistable laser diode as a wavelength converter. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7** (1) : 29~ 31
- [6] J. Zhou, N. Park, Tay W. Dawson *et al.*, Efficiency of broadband four-wave mixing wavelength conversion using semiconductor traveling-wave amplifiers. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(1) : 50~ 52
- [7] P. A. Andrekson, 16 Gbit/s all-optical demultiplexing using four-wave mixing. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(11) : 922~ 924

Wavelength Conversion in a DBR Laser with Fiber Bragg Grating External Cavity

Chen Gaoting Qu Ronghui Zhao Hao Zhang Weizai
Li Ailian Zhang Yunmei Ding Hao Fang Zujie

(Shanghai Insititute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Science, Shanghai 201800)

(Received 15 January 1997)

Abstract A new type of wavelength conversion technology is presented, which is based on a hybrid integrated DBR laser with a fiber Bragg grating as its external cavity. A conversion spacing of 8 nm was obtained. Measurement results of sensitivity on injected signal and the out-of-phase characteristics between input and output pulse signals are described. The mechanism of the wavelength conversion is discussed.

Key words wavelength conversion, DBR laser, fiber grating.