

文章编号: 0258-7025(2005)01-0072-03

铒镱共掺光纤二次谐波的产生

宋继恩^{1,2}, 郭 勇³, 杨广强¹, 黄永清¹, 任晓敏¹, 陈 雪¹

¹ 北京邮电大学电信工程学院光通信中心, 北京 100876

² 华信邮电咨询设计研究院有限公司传输设计研究院, 浙江 杭州 310014; ³ 北京交通大学电子工程学院, 北京 100044

摘要 报道了一种在光纤中激发二次谐波振荡(SHG)的简单方法:利用紫外脉冲激光在载氢后的高浓度铒、镱共掺的光纤上刻制布拉格光栅。从而打破了石英光纤二阶极化率为零的固有限制,形成了极大的永久的二阶极化率,周期性的结构辅助实现了相位的匹配。在实验中,利用波长为 980 nm 的半导体激光器(LD)抽运该光纤光栅,在只有几毫瓦的抽运功率下,便观察到了显著的蓝绿光辐射,而且强度随抽运功率的增加而增加。在显微镜下对光纤光栅发光现象进行了观测并拍摄了数码相片,在相片中观测到光纤光栅纤芯处的蓝绿光辐射,而非光栅区没有发光现象,同时观测到了紫外光辐射。

关键词 非线性光学;二次谐波振荡;掺杂光纤;光纤光栅;蓝绿光辐射

中图分类号 O 437 文献标识码 A

Second Harmonic Generation Based on Er-Yb Co-Doped Fiber Gratings

SONG Ji-en, GUO Yong, YANG Guang-qiang,
HUANG Yong-qing, REN Xiao-min, CHEN Xue

¹Optical Communication Center, Telecommunication Engineering School,
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

²Transmission Design Institute, Huaxin P&T Consulting and
Designing Institute Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang 310014, China

³School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract A novel method of second harmonic generation (SHG) is reported. A permanent second order nonlinearity which is zero in theory has been induced simultaneously by ultraviolet (UV)-excited poling in a high concentration Er-Yb co-doped fiber Bragg gratings, and the phase-match has been satisfied with periodic structure. When a 980-nm laser diode (LD) pumped the fiber gratings, SHGs in such a fiber gratings with low pump power (<4 mW) were observed and the intensity increased with the increase of pump power. The SHG light radiating phenomenon was observed under microscope and some microscope photograph were taken. It was found that the radiation occurred only in the core of the fiber gratings. And then UV radiation from the structure was also recorded.

Key words nonlinear optics; second harmonic generation; doped optical fiber; fiber gratings; blue-green light

1 引 言

二次谐波产生是最重要的非线性光学现象之一,它被应用于短波长激光的产生,成为产生绿、蓝、紫外短波长激光的重要手段。产生二次谐波需要两个基本条件,一是激光,二是要有二阶非线性极化率

不为零的材料。激光技术已经比较成熟,而非线性材料相对并不成熟。目前主要的二阶非线性材料为天然的晶体。与通常晶体相比,光纤更加适合于二次谐波的产生^[1]。光纤是优良的导波材料,色散低、损耗低,易于输入输出的耦合,可以简化系统结构从而降低系统成本、减小系统体积;光纤体积小、重量

收稿日期:2003-09-15;收到修改稿日期:2004-02-23

基金项目:国家自然科学基金(60077027)资助项目。

作者简介:宋继恩(1976—),男,内蒙古人,博士,主要从事传输网规划设计工作。E-mail: sjnmm@sohu.com

轻、抗干扰,对振动、温度不敏感;光纤制作技术非常成熟,成本很低,远远低于晶体;可以人为地灵活设计光纤的结构等以适用于特定的需要。这许多性能上的优势,使得人们渴望在光纤中实现二次谐波。然而,由于石英光纤固有的反演对称性,光纤二阶极化率在理论上为零。实际上,由于杂质的存在,二阶极化率虽然并不为零,但极其小,在石英光纤里不能够直接得到有效的二次谐波。

自 1986 年国际上首次在光纤中实现二次谐波以来^[2],人们一直在努力开展这方面的研究。目前有两种方法可以在光纤中实现二次谐波,一是自组组织法^[2,3],二是热电极化法^[4~7]。自组织法效率低,而且存在饱和效应,渐渐被淘汰;而热电极化法工艺复杂,需要高温和几千伏的高电压,而且需要在光纤纤芯上制作周期性的电极,对光纤结构具有一定的破坏性。

实际上,提高光纤中的二阶极化率可以有两种思路,一是利用强光、强电、强磁等外界条件来激发。自组织法和电极化法属于这种情况;二是采用新的纤芯材料。可以寻找高二阶极化率物质制作纤芯,也可以在纤芯中掺入一定量的杂质来打破石英材料的反演对称性,从而实现高的二阶极化率。基于这样的思路,在实验中采用了两种方式结合的方案。用紫外光对高浓度铈共掺光纤曝光并刻制了光纤光栅。利用波长为 980 nm 的半导体激光器(LD)对刻制的光纤光栅进行抽运。

2 基本理论和实验结果

在强光电场的作用下,任何电介质对光的响应都会表现出非线性。介质的非线性响应的起因与光电场影响束缚电子而产生非谐振运动有关,结果导致电偶极子的极化强度对于电场是非线性的

$$P^{(n)}(\omega) = \chi(\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n) : E_1(\omega_1)E_2(\omega_2)\dots E_n(\omega_n), \quad (1)$$

其中 n 表示非线性的阶数。与电场的二次方成比例的极化强度所对应的系数称为二阶极化率,公式(1)中 $n = 2$ 。

设光电场表示为

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kz), \quad (2)$$

则有

$$\vec{P}^{(2)}(\omega) = \epsilon_0 \chi^{(2)} \vec{E} \vec{E} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \chi^{(2)} \vec{E}_0^2 [1 + \cos 2(\omega t - kz)], \quad (3)$$

其中 ϵ_0 为介电常数。由(3)式可以看出,由于二阶非线性极化率的作用,频率为 ω 的输入光场激发了频率为 2ω 的光波。要实现高效率的二次谐波,还需要相位匹配的条件。在光纤中,由于色散相对很小,相位匹配条件容易实现,因而更容易产生二次谐波。

实验中使用的铈共掺光纤掺杂浓度约为 500×10^{-6} ,经过载氢、紫外曝光等工艺处理,在光纤纤芯形成了 2 cm 长的光栅。利用波长为 980 nm 的红外半导体激光器对光纤光栅进行抽运。当抽运功率为该激光器最小功率 4 mW 时,在光纤光栅处肉眼仍可以观察到显著的蓝绿光激发。利用光谱分析仪(安腾 AQ 6315B)记录了实验结果。实验结构如图 1 所示。

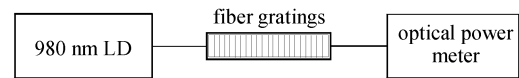


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Scheme of experiment

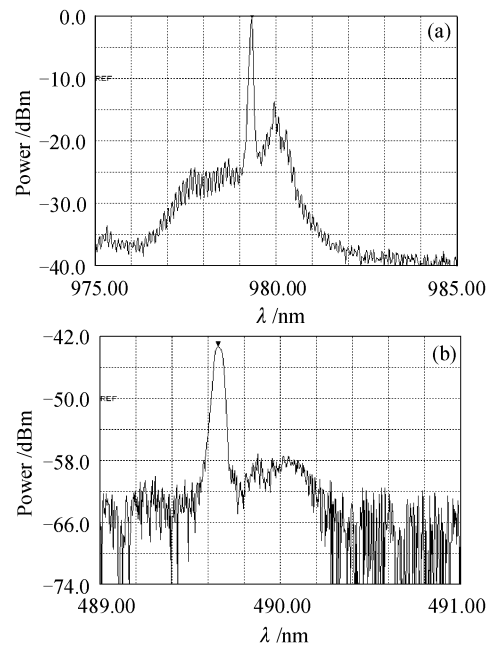


图 2 光纤光栅输出 980 nm 光(a)和发射光(b)光谱图
Fig. 2 Spectrum of 980 nm LD (a) and light (b) out of fiber grating

图 2(a),(b)为光谱仪所记录的经光纤光栅后的光谱图。图 2(a)的峰值波长为 979.340 nm,而图 2(b)中峰值波长为 489.656 nm,波长为倍数关系,且光谱形状也很相似。利用该光谱仪未记录到其他波段光谱。因此可以初步判断,该蓝绿光为红外光的二次谐波。

将光纤光栅置于显微镜下进行观测,并利用数

数码相机进行了记录,结果如图 3(a),(b)所示。观测用显微镜放大倍数为 16×40 ,数码相机分辨率为 3 百万像素。

图 3(a)为有背景光时光纤激发的显微照片。图中左半部分为没有经过处理的光纤区域,无光辐射现象;右半部分为刻制光栅的光纤区域,有显著的光辐射。

图 3(b)为无背景光时显微镜下光激发的照片。由图 3(b)可以看到,在光纤纤芯附近伴随有光辐射产生。从彩色照片可以看出此光辐射是紫色的,但肉眼并未观测到紫光,因为相机的感光范围大于肉眼,所以可以判断此光辐射为紫外光。

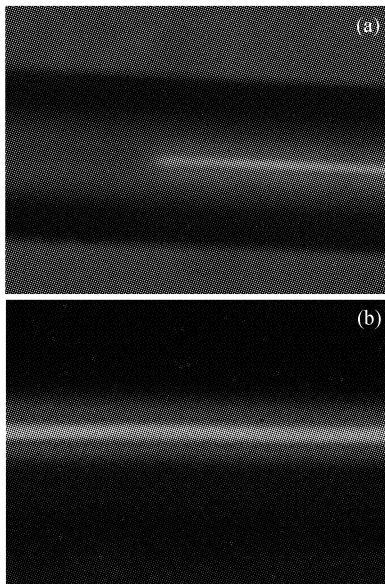


图 3 980 nm LD 抽运时光纤光栅的显微照片
(a) 有背景光;(b) 无背景光

Fig. 3 Microgram of fiber gratings with 980 nm LD pump

(a) with background light; (b) without background light

在实验中,采用了两个必要的条件:一是选用高浓度稀土离子掺杂的光纤。通过高浓度的掺杂,可以在纤芯里形成一定程度的不对称性,从而在一定程度上打破晶体的反演对称性。二是对掺杂光纤进行特殊处理。通过对掺杂光纤进行载氢增敏和紫外曝光,在纤芯中发生了永久性的变化,从而打破了石英光纤二阶极化率为零的固有限制,形成了极大的永久性的二阶极化率。

3 结 论

提出了一种简单的在光纤中激发二次谐波的新方法,利用紫外脉冲激光在载氢后的高浓度铟、镱共掺的光纤上刻制布拉格光栅^[8],使用波长为 980 nm 的半导体激光器,在只有几毫瓦的抽运功率下,便观察到了显著的蓝绿色(波长为 490 nm)二次谐波。

本实验在光纤中实现了大的二阶非线性极化率,利用这一效应,有望在光纤中实现光学调制器、短波长激光器、光学参量放大器、波长转换器等光学器件。

致谢 感谢南开大学董孝义教授和袁树忠教授提供的帮助。

参 考 文 献

- 1 Sun Xiaohan, Zhang Mingde, Shen Guangjun *et al.*. SHG in the silica optical fiber and its mechanism analysis [J]. *Acta Optica Sinica*, 1994, **14**(11):1151~1154
孙小瀚,张明德,沈光骏等. 石英光纤中二次谐波的产生及机理分析[J]. 光学学报, 1994, **14**(11):1151~1154
- 2 U. Osterberg, W. Margulis. Dye laser pumped by Nd:YAG laser pulses frequency doubled in glass optical fiber [J]. *Opt. Lett.*, 1986, **11**(8):516~518
- 3 U. Osterberg, W. Margulis. Experimental studies on efficient frequency doubling in glass optical fibers [J]. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(1):57~59
- 4 Valerio Pruneri, Peter G. Kazansky. Electric-field thermally poled optical fibers for quasi-phase-matched second-harmonic generation [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(2):185~187
- 5 V. Pruneri, G. Bonfrate, P. G. Kazansky *et al.*. Greater than 20%-efficient frequency doubling of 1532-nm nanosecond pulses in quasi-phase-matched germanosilicate optical fibers [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(4):208~210
- 6 Xu Jiandong, Liu Shutian, Yang Kun *et al.*. Corona poling and second harmonic generation in fused silica [J]. *Chinese J. Lasers*, 1996, **A23**(9):827~831
徐建东,刘树田,杨 昆等. 熔融石英的电晕极化及其二次谐波产生[J]. 中国激光, 1996, **A23**(9):827~831
- 7 Chen Xianfeng, Xie Shengwu, Xia Yuxing *et al.*. Experimental study of quasi-phase-matched second harmonic generation in annealed proton-exchanged lithium niobate waveguides [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(7):591~594
陈险峰,谢绳武,夏宇兴等. 周期性极化准位相匹配铌酸锂波导中二次谐波的产生[J]. 中国激光, 2001, **A28**(7):591~594
- 8 Guo Yong, Song Ji'en, Huang Yongqing *et al.*. Resonant enhanced nonlinearity in Yb:Er co-doped fiber Bragg grating [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(4):449~451
郭 勇,宋继恩,黄永清等. 铟镱共掺光纤光栅的谐振增强型非线性光学效应[J]. 中国激光, 2004, **31**(4):449~451