

文章编号: 0258-7025(2004)06-0709-04

采用 Sagnac 反馈环的高效宽带 L-波段 放大自发辐射源

蒋俏峰, 刘小明, 倪 屹, 王 青

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要 采用掺铒光纤在 L-波段的放大自发辐射(ASE)构成的宽带光信号源在光纤传感、器件测试等方面有着广泛的应用需求,而抽运转换是制作这种光源的关键技术之一。基于 C-波段放大自发辐射对 L-波段信号具有二次抽运作用的机理,在光纤的一端采用 Sagnac 反馈环将输出的 C-波段放大自发辐射反馈回到掺铒光纤中,这些被反馈的 C-波段放大自发辐射像注入的信号光一样消耗上能级粒子数而受到放大并沿光纤的同一方向传输,同时成为 L-波段放大自发辐射的抽运源。由于 Sagnac 反馈环减少了泄漏的 C-波段放大自发辐射功率,因而抽运转换效率大大提高。实验中,在不加平坦滤波器的情况下,在 125 mW 980 nm 抽运光输入时输出 L-波段放大自发辐射宽谱功率达到 14 dBm,抽运转换效率(PCE)达到 20%,1 dB 带宽达到 31.1 nm(1568.9~1600 nm),获得了高转换效率且宽带平坦的 L-波段放大自发辐射谱输出。

关键词 光纤通信技术;L-波段;放大自发辐射源;掺铒光纤放大器;sagnac 环

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

High Pump Conversion Efficiency and Broad L-Band ASE Source by Using Sagnac Feedback Loop

JIANG Qiao-feng, LIU Xiao-ming, NI Yi, WANG Qing

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Optical wideband source of L-band amplified spontaneous emission (ASE) from erbium doped fiber has extensive application in fiber sensors and device testing; here the pump power conversion is one of the key technique. In this work, based on the secondary pumping mechanism by C-band power for L-band signal, a Sagnac loop is used to feed-back the output of C-band ASE, the reflected C-ASE propagates along single direction in the fiber and is amplified in expending inversion population, so that the utility of pump power for L-band ASE is increased. Experimentally, the total output power was 14 dBm at 125 mW 980 nm pumping i. e. pump power conversion efficiency up to 20% was achieved. Without gain flatten filter, the 1 dB bandwidth was 31.1 nm (1568.9 ~1600 nm), so that high pump conversion efficiency and broad L-band ASE source was demonstrated.

Key words fiber communication technique; L-band; ASE source; erbium-doped fiber amplifier (EDFA); Sagnac loop

1 引 言

光通信和掺铒光纤放大技术的迅猛发展使得实用的光纤传输带宽已经从传统的 C-波段(1530~1570 nm)扩展到了 L-波段(1570~1610 nm)。在 L-波段掺铒光纤放大器(EDFA)技术得到长足发展

的同时,人们对 L-波段放大自发辐射(ASE)源也提出了更高的指标要求,并且已有专门的研究报道^[1]。由于掺铒光纤在 L-波段的发射系数比 C-波段低,所吸收的抽运功率首先大量转换成 C-波段放大自发辐射,然后通过二次抽运作用再次被吸收而转换成 L-波段的信号或放大自发辐射功率^[2],因此充分利

收稿日期:2003-02-17; 收到修改稿日期:2003-05-06

作者简介:蒋俏峰(1978—),男,浙江东阳人,清华大学电子工程系物理电子学专业硕士研究生,主要从事 L-波段掺铒光纤放大器研究。E-mail:jqf00@mails.tsinghua.edu.cn

用中间过程所产生的 C-波段放大自发辐射是提高 L-波段掺铒光纤器件抽运效率的技术关键。针对 L-波段掺铒光纤放大器,人们研究提出了采用光纤光栅、光反射镜等将反向输出的 C-波段放大自发辐射回收,或者将一定功率的 C-波段激光或 C-波段放大自发辐射从输入端注入抑制反向 C-波段放大自发辐射^[3~6]的产生。其中,最简单实用的是一种 C-波段放大自发辐射注入的两段结构方案:低抽运短光纤的第一段产生一定功率的 C-波段放大自发辐射,注入到第二段抑制第二段的反向放大自发辐射的产生,而正向传输的进一步被放大的放大自发辐射正好是 L-波段信号所需要的二次抽运源。无疑,这些技术方案用于 L-波段放大自发辐射源也会取得良好效果。本文针对 L-波段放大自发辐射源的抽运效率提高问题,采取前端加 Sagnac 环将反向输出的 C-波段放大自发辐射反馈回掺铒光纤的单段结构。和经过优化的 C-波段放大自发辐射注入两段结构方案相比,掺铒光纤的利用率和抽运转换效率都有量级上的提高,说明采用 Sagnac 反馈环的单段结构是设计制作 L-波段放大自发辐射源的最佳选择。

2 实验装置

图 1(a),(b)分别是本文采用的 Sagnac 反馈环单段结构和对比实验用的 C-波段放大自发辐射注入两段结构的结构图。所用 L-波段掺铒光纤均为朗讯公司的 MP1480 L092202,所用抽运激光器均为 SDL 公司产品,波长为 977.6 nm。图 1(a)中

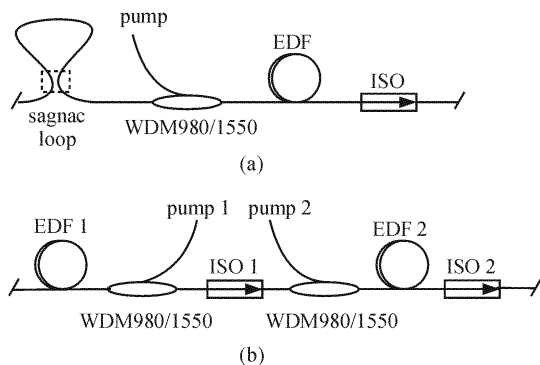


图 1 L-波段放大自发辐射源的两段结构

(a) 采用 Sagnac 反馈环的单段结构;

(b) C-波段放大自发辐射注入两段结构

Fig. 1 Two configurations of L-band ASE source studied in this work

(a) Sagnac-single-stage; (b) C-ASE-two-stage

Sagnac 环采用 1:1 的 1550 nm 耦合器构成对 C-波段的全反射,掺铒光纤采用正向抽运方式,为了防止端面反射的影响,在输出端采用了隔离器。图 1(b)中,第一段采用反向抽运而第二段采用正向抽运。为了防止第二段光纤产生的反向放大自发辐射对第一段光纤的影响,除了输出端的隔离器之外,在两段光纤之间也采用了一个隔离器。考虑到可以利用掺铒光纤 L-波段本身约 30 nm 的本征增益带宽^[7],在上面两种结构中都没有加平坦滤波器。

3 实验结果

图 2 是在图 1(a)所示的利用 Sagnac 反馈环的实验中,考虑相同掺铒光纤长度不同抽运功率的情况下输出的 L-波段放大自发辐射谱,可以看出随着抽运功率的增加,放大自发辐射谱整体上升,其中短波长端上升比较快,在抽运功率为 125 mW 的时候,输出的 L-波段放大自发辐射谱最平坦,1 dB 带宽达到 31.1 nm,输出总功率为 14 dBm。图 3 是抽运功率相同,掺铒光纤长度不同情况下输出的 L-波段放大自发辐射谱,可以看出随着掺铒光纤长度的增加,输出的 L-波段放大自发辐射谱向长波长方向移动。

图 2,3 所示实验结果符合掺铒光纤本征特性决定的基本规律:光纤长度越短抽运功率越高,造成的平均粒子数反转水平也越高,则总的放大自发辐射输出功率越高且较集中在短波长端;反之,平均反转粒子数越低,放大自发辐射谱越趋向于长波长端。可见,对于不同长度的掺铒光纤,达到平坦输出谱所需的抽运功率是不同的,为了达到一定要求或尽可能大的功率和尽可能宽的放大自发辐射输出谱,需要综合调整掺铒光纤长度和抽运功率。作为例子,

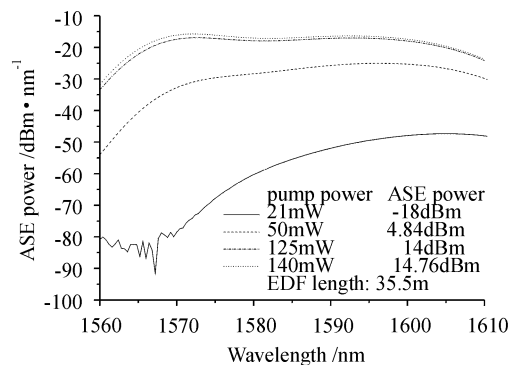


图 2 Sagnac-单段结构在相同光纤长度不同抽运功率时输出的 L-波段放大自发辐射谱

Fig. 2 L-ASE output spectra at different pump power and fixed fiber length for the Sagnac-single-stage configuration

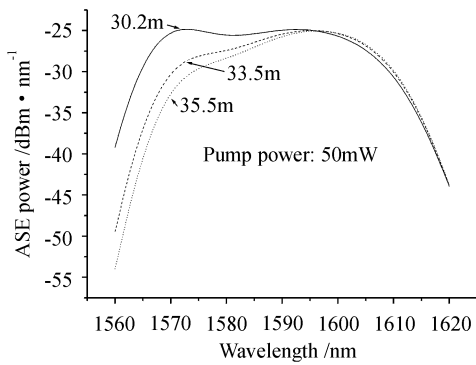


图 3 Sagnac-单段结构在相同抽运功率不同光纤长度时输出的 L-波段放大自发辐射谱

Fig. 3 L-ASE output spectra at different fiber lengths and fixed pump power for the Sagnac-single-stage configuration

图 4 给出了几组不同条件下实现的平坦 L-波段放大自发辐射谱。

在图 1(b)所示的 C-波段放大自发辐射注入两段结构的实验中,第一段掺铒光纤(EDF1)长度为 9 m,第二段掺铒光纤(EDF2)长度为 49 m,达到最平坦输出时,第一段的抽运功率为 25 mW,第二段的抽运功率为 75 mW,这是在 100 mW 抽运功率水平下经过模拟设计和实验调整得到的优化结果。图 5 给出了实验得到的输出 L-波段放大自发辐射谱,作为比较,图 5 中还同时画出图 4 中采用 Sagnac 反馈环输出总功率为 14 dBm 和 11.5 dBm 的两组输出谱。表 1 列出了图 5 所示 3 组实验所采用的光纤长度、抽运功率、输出平坦 L-波段放大自发辐射谱总功率以及抽运转换效率。

表 1 Sagnac 环单段结构和 C-波段放大自发辐射注入两段结构下光纤长度、抽运功率与输出 L-波段放大自发辐射谱功率以及抽运转换效率的关系

Table 1 Relationship of fiber length, pump power, output L-ASE power and PCE for Sagnac- single-stage and C-ASE-two-stage configurations

L-band ASE source configuration	Fiber length /m	Pump power /mW	Output L-ASE power /dBm	PCE /%
Sagnac-single-stage	35.5	125	14	20
Sagnac-single-stage	33.5	85	11.5	16.6
C-ASE-two-stage	58	100	3	2

显然,采用 Sagnac 反馈环的单段结构无论从节省掺铒光纤长度还是提高抽运转换效率上看,都要远远优于不采用 Sagnac 环的 C-波段放大自发辐射注入两段结构。图 6 是在相同条件下即掺铒光纤总长度均为 33.5 m,抽运功率均为 85 mW 时,有 Sagnac 反馈环和没有反馈环的单段结构的输出 L-波段放大自发辐射谱。可见,采用 Sagnac 环后输出

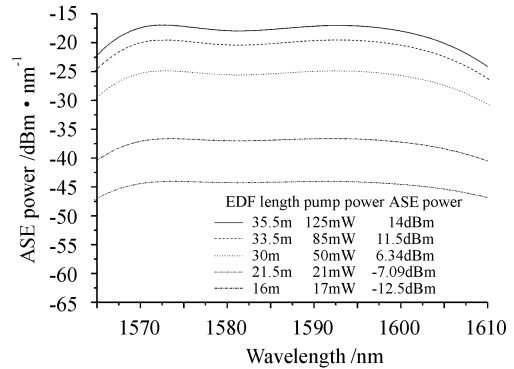


图 4 Sagnac-单段结构几组平坦的 L-波段放大自发辐射输出谱

Fig. 4 Several flat L-ASE output spectra from Sagnac-single-stage configuration

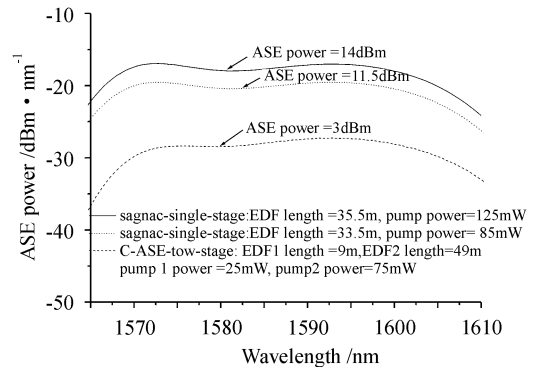


图 5 C-波段放大自发辐射注入两段结构和 Sagnac-单段结构输出的 L-波段放大自发辐射谱

Fig. 5 Comparison of L-ASE output spectra from Sagnac-single-stage and C-ASE-two-stage configurations

总功率要高 34.5 dB。这是因为在没有任何反馈或注入措施的情况下,反向泄漏的 C-波段放大自发辐射造成了很大的能量浪费。

4 讨论

总结上述实验结果可知,输入端采用全反射

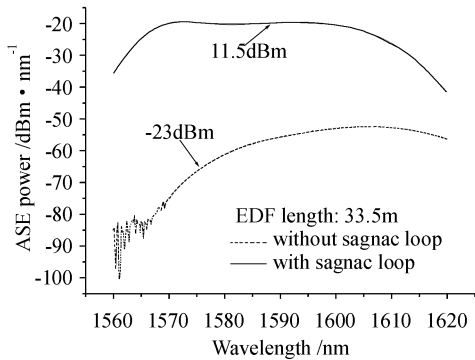


图 6 有 Sagnac 反馈和无反馈情况下的单段结构输出的 L-波段放大自发辐射谱

Fig. 6 Comparison of L-ASE output spectra from a single-stage configuration with and without Sagnac feedback loop

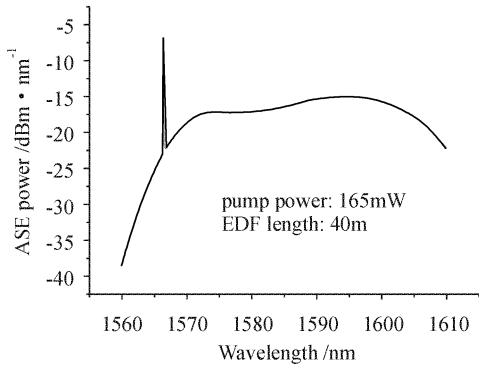


图 7 Sagnac-单段结构在大抽运功率长光纤时可能出现的自激现象

Fig. 7 Oscillation phenomenon may arise if pump power is high enough and/or fiber length is long enough in Sagnac-single-stage configuration

Sagnac 环可以将反向泄漏的 C-波段放大自发辐射功率回收,也可以理解为经过反射重新进入光纤的 C-波段放大自发辐射在被放大的过程中抑制了反向放大自发辐射的产生,而正向传输的进一步被放大的放大自发辐射被用作二次抽运源,因此抽运转换效率大大提高。图 7 所示是 Sagnac 环单段结构下,掺铒光纤长度为 40 m,抽运功率为 165 mW 时的输出谱,显然出现了自激现象。这是因为输出端一些不可避免的焊点反射、器件反射以及掺铒光纤本身的瑞利反射等和 Sagnac 反射环构成了一个谐振腔,当掺铒光纤比较长而抽运又比较足的时候,增益非

常高,增益大于损耗的条件很容易满足从而出现自激。所以,采用 Sagnac 反馈环结构时必须非常注意光纤熔接工艺和元器件的筛选,尽量降低各种原因造成的反射,才能容许尽可能大的输入抽运功率以得到尽可能大的功率输出。

5 结 论

设计 L-波段放大自发辐射宽谱源的时候,采用 Sagnac 环将掺铒光纤输入端产生的反向 C-波段放大自发辐射反馈回掺铒光纤可以大大提高抽运转换效率,在 35.5 m 长的掺铒光纤以及 125 mW 的 980 nm 抽运功率下,获得了 14 dBm 的平坦 L-波段放大自发辐射谱的输出,不采用平坦滤波器的情况下 1 dB 带宽为 31.1 nm (1568.9~1600 nm)。这种方案具有全光纤结构、参量优化设计简单的优点。与经过优化的 C-波段放大自发辐射注入两段结构相比,抽运转换效率有量级上的提高。

参 考 文 献

- 1 Szu-Chi Tsai, Tseng-Chien Tsai, Pi-Cheng Law *et al.*. High pumping-efficiency L-band erbium-doped fiber ASE source using double-pass bidirectional-pumping configuration [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(2):197~199
- 2 Hiroataka Ono, Makoto Yamada, Terutoshi Kanamori *et al.*. 1.58- μm band gain-flattened erbium-doped fiber amplifiers for WDM transmission systems [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(3):490~496
- 3 Jung Mi Oh, Hyun Beom Choi, Donghan Lee *et al.*. Demonstration of highly efficient flat-gain L-band erbium-doped fiber amplifiers by incorporating a fiber Bragg grating [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(9):1258~1260
- 4 Seongtaek Hwang, Kwan-Woong Song, Hyung-Jin Kwon *et al.*. Broad-band erbium-doped fiber amplifier with double-pass configuration [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(12):1289~1291
- 5 Bo-Hun Choi, Hyo-Hoon Park, Moojung Chu *et al.*. High-gain coefficient long-wavelength-band erbium-doped fiber amplifier using 1530-nm band pump [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(2):109~111
- 6 Bumki Min, Hosung Yoon, Won Jae Lee *et al.*. Coupled structure for wide-band EDFA with gain and noise figure improvements from C to L-band ASE injection [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(5):480~482
- 7 Zhang Yan-bin, Peng Jiang-de, Liu Xiao-ming *et al.*. Characteristics of L-band erbium doped fiber amplifier gain spectra [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(11):1013~1016
张岩滨,彭江得,刘小明等. L-波段掺铒光纤放大器增益谱特性研究[J]. *中国激光*, 2001, **A28**(11):1013~1016