

半导体光放大器在传输结构和反射结构中的噪声性能实验研究

黄嘉麟 李新碗 陈建平

(上海交通大学“区域光纤通信网与新型光通信系统”国家重点实验室)

摘要: 半导体光放大器(SOA)在光信号处理中起着非常重要的作用。文章比较研究了SOA传输结构和反射结构的不同噪声特性。实验表明,SOA的反射结构与传输结构有着不同的噪声特性,特别是当SOA工作在饱和状态时,SOA对反射信号噪声进行二次抑制,输出噪声特性得到明显改善。

关键字: 半导体光放大器 光纤延时线 法拉第旋转反射镜 噪声

Experimental Study on Noise Property of Semiconductor Optical Amplifier Applied in Transmission Type and Reflection Type

Huang Jialin Li Xinwan Chen Jianping

(State Key Lab of Advanced Optical Communication Systems and Networks Shanghai Jiao Tong University)

Abstract: Semiconductor optical amplifier (SOA) plays a very important role in optical signal process. We study on the noise property of SOA in transmission type and reflection type. As experiment shows, the noise properties of them are different. Particularly when the SOA works in saturation, the noise of reflected signal can be suppressed again in SOA. This obviously improves the output noise property.

Key words: SOA, Fiber delay line, Faraday rotation mirror, Noise

引言

半导体光放大器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)作为一种非线性光放大器件,在光通信领域,尤其是全光信号处理方面得到很广泛的应用,包括信号放大,光开关,波长变换等[1]。信号在SOA中传输的噪声性能是对SOA研究的一个重点。光信号经SOA传输后,呈现出一些独特的噪声特性。M. Shtaif, G. Eisenstein, Udvary等人在[2][3]中对SOA传输结构的噪声特性做出了理论和实验上的分析。在非饱和工作状态下,放大自发发射噪声(Amplified Spontaneous Emission Noise, ASE Noise)在输出端噪声中占主导地位,并随偏置电流增大而增大;在饱和工作的状态下,信号与噪声之间的非线性相互作用对输出噪声影响更大,对噪声产生一定的抑制作用[2]。

在光纤链路中,SOA不但有传输结构,也有反射结构。对SOA在反射结构中的噪声特性研究方面的文献尚不多见,本文中的实验平台(在基于SOA的新型3n光纤延时线[4]单元的基础上搭建)对这两种结构的SOA输出噪声特性进行比较和分析。通过实验得到,不同偏置电流、输入信号功率条件下,两种结构中的输出噪声呈现不同特性。具体的,在小偏置电流的情况下,SOA在反射结构中的噪声略低于传输结构;在大偏置电流的情况下,SOA反射结构工作在饱和状态时,会对噪声产生的二次抑制,使噪声特性大大优于传输结构。

本文首先阐述了在传输结构中的SOA的噪声种类,变化特性,以及其产生原因;然后介绍了基于SOA的新型3n

光纤延时线结构,以及在此基础上搭建的传输结构和反射结构的实验平台;接着分析了SOA传输结构和反射结构中,不同偏置电流状态下噪声随输入功率变化的情况,并解释现象产生的原因。

1. SOA噪声特性

在光纤链路中,SOA能为光信号提供一定的增益,增益值随SOA工作状态的不同而改变。当输入光信号功率大于饱和输入功率值,SOA工作在饱和状态下,增益随着输入光功率的增加而急剧减小;而在非饱和状态下,增益随输入光功率反向变化较为平缓。SOA在饱和状态下的这种特性,常被用于光信号处理,如波长转换等。

SOA输出端的噪声包含多种不同成分:光信号散弹噪声、放大自发发射噪声、噪声与噪声的拍噪声、噪声与信号的拍噪声等[3]。其中,ASE噪声以及信号与噪声在SOA腔中传播的过程中发生的非线性相互作用,对输出端的噪声影响较大。ASE噪声大部分是在接近SOA的输入端产生的,在沿着SOA腔体传播的过程中,受到SOA对它的放大作用而形成的,它在输出端噪声中占很大比例[2]。一般情况下,光信号都带有一定的噪声,在SOA腔体中传播的过程中,噪声与信号之间的非线性相互作用,对输出端的噪声特性也有很大影响[2]。尤其在接近饱和和饱和状态下,当噪声使输入功率增大时,增益相应减小,反之当噪声减小输入光功率时,增益随之增大。光信号对噪声起到了一定的抑制作用[5]。

当输入信号功率比较大,信噪比较高时,信号和噪声

的非线性作用超过ASE噪声，在输出端的噪声中起主要作用。较大的输入端信号功率，使SOA工作在饱和或者接近饱和的状态（SOA增益饱和输入功率点取决于SOA的偏置电流），SOA的增益随输入信号功率增大而下降的现象较为显著。这种情况下，信号与噪声之间的非线性相互作用对SOA的噪声特性的影响超过ASE噪声，ASE噪声可以忽略。

在小功率信号输入的情况下，ASE噪声在输出噪声中占很大比例。SOA工作在非饱和区时，增益随输入功率变化缓慢（对功率钳制SOA而言，非饱和区增益几乎不随输入功率变化而变化）[1]。这样，SOA对噪声的抑制作用较为不明显。因此，在输出端，被SOA放大的ASE噪声对噪声特性的影响更大。

2. 实验平台

基于SOA的新型3n光纤延时线单元是由我们在2007年文献[4]中首次提出的。由于考虑到光在传输中的偏振依赖特性，这种结构中加上了旋转角度为45°的法拉第旋转反射镜(Faraday rotation mirror, FRM)，使光信号反射后偏振状态旋转90°，来抵消入射光所受的偏振影响。每一个延时控制单元由一个三端口环行器，一个1×3耦合器，三个开关型SOA（作为延时通路选通控制器件），三个法拉第旋转镜（用以降低偏振状态对系统的影响），和若干经精密拉伸的光纤延时线构成。SOA开关速度为几十ns，精密延时线的精度能够达到约0.1mm（即产生1ps的延时量），因此，采用这种结构能够实现高精度高速度的开关延时切换。通过改进，我们就可以在这个延时线结构的基础上搭建起SOA的反射结构和传输结构两种实验平台。

对于SOA的反射结构如图1所示，SOA的传输结构如图2所示，SOA不同接入结构下噪声特性测试实验框图如图3所示。光源Anritsu MG 9638A，光衰减器Agilent N3977A，光谱仪Anritsu MS9710B。

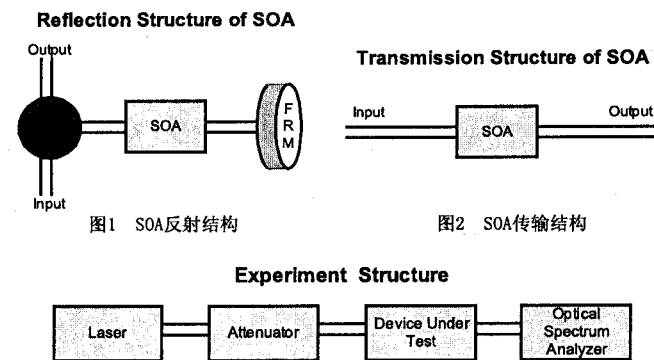


图3 噪声特性测试实验框图

光源发出波长为1550.60nm的激光，经由光衰减器调节信号强度（以-5.67dBm为初始强度，每降低3dB为一个测量点），输入不同测量平台。调节SOA偏置电流，使SOA对强度为-5.67dBm的信号增益分别为-10dB、-5dB、0dB和5dB四种状态，分别测试不同状态下，SOA反射结构（延时线单元）和SOA传输结构（单个SOA）的不同噪声输出。这里需要说明的是本文虽然使用增益值表示偏置

电流大小，但并非任何输入信号下实际获得标称的增益，而是SOA工作在同等偏置电流下进行的测试。

3. 实验结果及分析

在-10dB，-5dB，0dB等小偏置电流情况下，结果如图4所示。SOA传输结构的噪声输出较为平稳，-10dB的状态下约为-56dBm，-5dB的状态下约为-52dBm，0dB的状态下约为-48dBm。SOA反射结构对噪声略起到抑制作用。

SOA偏置电流较小的情况下，增益饱和和输入功率点较高，SOA大多工作在非饱和或者浅饱和状态，对传输结构而言，输出端ASE噪声占主要因素，ASE噪声随偏置电流增大而增大[2]。反射结构对噪声产生略微抑制。

Dependence of Output Noise on Input Signal Power under Low Gain

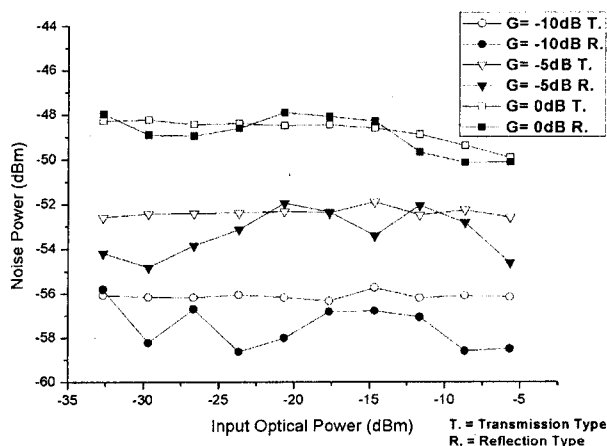


图4 低增益状态下两种结构输出端噪声与输入功率关系图

Dependence of Output Noise on Input Signal Power under High Gain

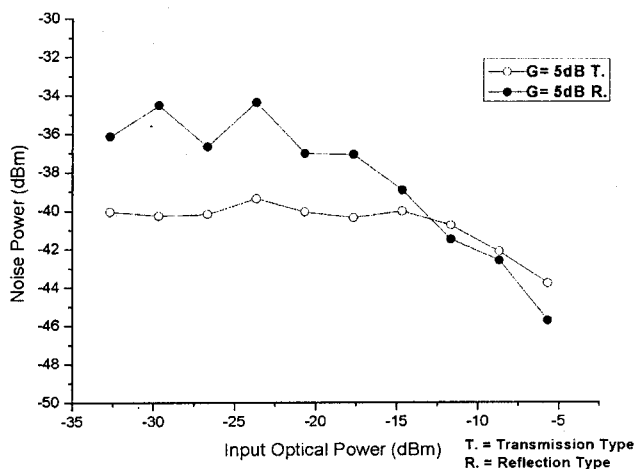


图5 高增益状态下两种结构输出端噪声与输入功率关系图

当SOA工作在较大偏置电流（增益为5dB）时，噪声特性如图5所示。具体的传输结构中，输入功率若超过增益饱和功率（-14.67dBm），输出端噪声功率则开始明显下降。反射结构中，输入功率若超过-17.67dBm，噪声功率则随着输入信号功率增大而急剧下降，而且下降速率大于传输结构；最终，当输入功率为-5.67dBm时，反射结构噪声小于传输结构约2dBm。

传输结构的噪声抑制原理如下, 偏置电流较大时, SOA由于增益饱和和输入功率值的降低, 因而较大输入功率就能使SOA工作在饱和区, 光信号与噪声之间的非线性相互作用增强, 超过ASE噪声成为输出端噪声的主要成分。这种信号与噪声间的非线性相互作用, 对噪声产生抑制。随着饱和程度的加深, 抑制效果更加明显[2][5]。

在反射结构中, 噪声下降速率较大, 是因为SOA工作在饱和状态时, 信号在入射过程中受到SOA的一次噪声抑制, 经由FRM反射, 再次经过SOA腔体, 又一次受到SOA的噪声抑制, 这就是反射结构中存在的二次噪声抑制现象。因此, 当SOA饱和工作时, 在相同输入功率的情况下, 反射结构输出的噪声功率小于传输结构。反射结构的二次噪声抑制现象随着饱和程度的加深而更为明显, 噪声随输入功率增大而下降的速率比传输结构更快。此外, 随着输入光功率的增大, 反射结构先于传输结构产生噪声抑制现象(传输结构约为-14.67dBm, 反射结构约为-17.67dBm), 是由于在大偏置电流情况下, 经过FRM反射后输入SOA的反射信号, 已在入射过程中经过SOA的放大, 因此即使入射光信号功率小于SOA增益饱和和功率值, 相应的反射信号仍有可能因被放大而大于饱和增益功率值, 从而在反射过程中开始产生噪声抑制。

综上所述, SOA的反射结构在噪声抑制方面比传输结构更为出色。尤其是在大偏置电流, 饱和工作的状态下, 由于反射结构对噪声二次抑制, 输出噪声相比传输结构大为减小; 在输入光功率略小于饱和功率值的情况下, 反射结构同样能够对噪声产生抑制作用。

4. 总结

SOA产生的噪声有两个重要成分, 一是SOA的ASE噪声, 在非饱和状态下起主要作用; 二是信号与噪声之间的非线性相互作用, 在饱和状态下占主导地位, 会抑制信号所携带的噪声。本文研究的SOA反射结构工作在饱和区(常用工作状态)时, 由于存在二次噪声抑制, 噪声性能优于SOA传输结构; 而且反射结构能在较小的输入光功率下提前获得噪声抑制。SOA反射结构形式简单, 易于实现, 在抑制噪声方面性能优秀, 同时还能降低系统的偏振依赖性, 为降低噪声提供了一条新的思路。

本文工作得到国家863项目(ID: 2006AA01Z242, 2007AA01Z275), 国家自然科学基金项目(ID: 90704002), 以及航天创新基金, 教育部新世纪人才计划, 上海市曙光人才计划项目资助。

参考文献

- [1] Boula-Picard, R. Bibey, M-B. Vodjdani, N., "Semiconductor Optical Amplifiers for microwave photonics links", Microwave Photonics(2001. MWP' 01), 01/07/2002-01/09/2002
- [2] M. Shtaif and G. Eisenstein, "Experimental Study of the Statistical Properties of Nonlinearly Amplified Signals in

Semiconductor Optical Amplifiers", PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 9, NO. 7, JULY 1997
Udvary, E., "Noise Performance of Semiconductor Optical Amplifiers", EUROCON' 2001, Trends in Communications, 4-7 July 2001: p161-163 vol.1

- [3] Xinwan Li, Limei Peng, Songbo Wang, Young-Chon Kim, Jianping Chen, "A novel kind of programmable 3n feed-forward optical fiber true delay line based on SOA", OPTICS EXPRESS, 2007.10. 15(25): p. 16760-16766.
- [4] M. Shtaif and G. Eisenstein, "Noise properties of nonlinear semiconductor optical amplifiers", November 15, 1996/Vol. 21, No. 22/OPTICS LETTERS