

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 93



全光波长变换器及其 在光网络中的应用研究

- 作者：方 捻
- 专业：通信与信息系统
- 导师：黄肇明



G643/179

001280782

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 93



全光波长变换器及其 在光网络中的应用研究

- 作者：方 捻
- 专业：通信与信息系统
- 导师：黄 肇 明



贵阳学院图书馆



GYXY1280782

S8T08S100

图书在版编目(CIP)数据

2005 年上海大学博士学位论文. 第 2 辑/博士论文编辑部编. —上海: 上海大学出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-81118-367-2

I. 2… II. 博… III. 博士—学位论文—汇编—上海市—2005 IV. G643. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 180878 号



2005 年上海大学博士学位论文

——第 2 辑

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人: 姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 890×1240 1/32 印张 274.25 字数 7641 千

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1~400

ISBN 978-7-81118-367-2/G·490 定价: 980.00 元(49 册)

Shanghai University Doctoral Dissertation (2005)

All Optical Wavelength Converter and Its Application in Optical Network

Candidate: Fang Nian

Major: Communication and Information System

Supervisor: Huang Zhaoming

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

主任:	方祖捷	高级研究员,上海光机所	201800
委员:	曾庆济	教授,上海交大电子信息学院	200030
	刘丽英	教授,复旦大学信息学院	200433
	王子华	教授,上海大学通信工程系	200072
	叶家骏	教授,上海大学通信工程系	200072
导师:	黄肇明	教授,上海大学	200072

评阅人名单:

陈建平	教授, 上海交大电子信息学院	200030
徐 雷	教授, 复旦大学信息学院	200433
方祖捷	高级研究员, 上海光机所	201800

评议人名单:

胡卫生	教授, 上海交大电子信息学院	200030
王子华	教授, 上海大学通信工程系	200072
王延云	教授, 上海大学通信工程系	200072
陈云志	高级工程师, 上海光桥公司	200233

答辩委员会对论文的评语

该博士论文研究了 XGM 全光波长变换的实现技术,提出了可变光缓存器的设计方案,对非对称孪生波导技术进行了理论探讨,并分析了光混沌通信技术的保密性。该论文的选题具有前沿性,是光通信研究领域中的热点课题,论文依托于科研项目,注重解决实际问题,具有一定的学术意义和实际应用价值。

本论文的主要工作包括:第一,采用半导体光放大器(SOA)的自发辐射(ASE)和延迟干涉仪实现了无需探测光、码字又同相的 XGM 全光波长变换;第二,利用四波混频波长变换技术设计了可变光延迟线,提出了两种可用于 HORNET 的 MAC 改进方案;第三,把可变光延迟线的设计方案推广成为应用范围更加广阔的十进制可编程光缓存器,该设计已申请发明专利。第四,对非对称孪生波导进行了理论分析,给出了 MQW 波导与无源波导的 ATG 结构的电场分布和色散方程,为单片集成波长变换器的设计打下了基础。第五,对 PolSK 光混沌通信系统进行了初步的实验研究,验证了系统具有中高维度的混沌特性和较强的保密性。以上工作具有创新性。

论文数学推导严密,理论分析充分;图表制作精良,实验数据可靠。文章层次分明,行文流畅,体现了作者具有较扎实的数理基础,较深的专业知识积累,严谨的学风和熟练的实验操作能力。在答辩过程中,能够正确回答专家提出的有关问题,思路清晰,对所从事的研究工作有清楚的了解,反映了该同学具有较强的分析问题、解决问题的能力,具有独立科研的能力。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会无记名投票表决,全票同意通过方拯同学的
的博士论文答辩,并建议学位委员会授予工学博士学位。

答辩委员会主席: **方祖捷**

2005年9月19日

摘 要

近年来全光通信网(AON)成为光通信领域的一个研究热点,也是未来光网络发展的必然趋势。AON的关键技术主要包括光交换/光路由、光交叉连接、波长变换以及光缓存等。光交换/光路由实质是波长交换或波长路由,AON在干线网的交叉节点引入 OXC 和波长变换器,从而形成了端到端的“虚波长”通道,只要各段链路分别存在未被占用的空闲波长,就可以通过波长变换器建立通信路由,大大提高了波长利用率。尤其是对大容量、多节点的网状网,波长变换器的加入能大大降低网络的阻塞率。波长变换技术已经成为光通信基础研究的一个热点,并且已应用于一些全光试验网中。本论文主要包括以下内容:

首先,采用半导体光放大器(SOA)的自发辐射(ASE)和延迟干涉仪实现了不用外加探测光、码字又同相的 XGM 全光波长变换。借助 SOA 的 ASE 作探测光,利用 SOA 的交叉增益调制效应实现全光波长变换,对变换后的 ASE 输出滤波,可选出所需要的一个或多个变换波长,再通过一个非对称的马赫-泽德尔干涉仪(AMZI)将系统变换后的反相码转换为同相码。该方案可取得较高的变换效率和较宽的变换带宽,使系统更加简单,提高了性价比。

其次,提出一个用于 HORNET 接入控制的可变光延迟线及其改进型——十进制可编程光缓存器的设计方案。可变光

延迟线的主要特点在于利用了四波混频波长变换技术,具有结构紧凑、性价比高、对信号透明以及延迟范围适合于 IP 包的实际长度等优点。可变光延迟线方案可以推广变成一个十进制、可编程的光缓存器,从而具有更加广阔的应用价值。不仅可用于光信号处理领域、光包交换网的交换系统和接入系统,还可用于军事领域中导弹的精确制导或微波雷达技术领域代替用电缆制作的延迟线。改进后的缓存器利用数学上常用的十进制的进位关系,采用级联结构,实现了可编程的大范围光延迟;利用两个四波混频波长变换器级联的结构实现了同一信道组内波长信道的逐级递减;可灵活用于不同速率的光信号与电信号的延迟;每级缓存器实现模块化,便于按需灵活接配使用。

第三,把可变光延迟线用于 HORNET 网节点,提出两种新节点模型和两种相应的 MAC 改进方案。光包冲突的回避主要是通过增加一个可变光延迟线支路来实现。可变光延迟线的延迟时间由上载包的大小、上传时间和比特率来决定,没有额外的光包延迟。两种方案都能传送任意长度的 IP 包,没有中心控制、无需同步,也没有带宽浪费。第二种改进方案更可保证在出现冲突时,高优先级的光包首先传送,因此,两种改进的 IP-MAC 方案使得 IP 包能够更加有效地在 WDM 网上传送。

第四,用正交模式理论对最新的光子集成平台技术——非对称孪生波导技术进行了理论分析。给出了多量子阱波导与无源波导垂直集成的 ATG 结构的电场分布和色散方程。整个分析与计算过程没有引入任何近似处理,每个参数的物理意义也很明确,为基于 ATG 技术的器件设计打下了良好的基础。

最后,对混沌光通信技术做了初步的实验和分析。我们采

用半导体光放大器(SOA)构成光纤环形激光器产生偏振态混沌信号,通过 SOA 的交叉相位调制(XPM)效应将传输数据动态地调制到混沌信号的偏振态上,实现了数据保密通信。并对该系统的信号进行了分析:在三维相空间观察到奇异吸引子;无论是从最大 Lyapunov 指数满足的方程出发进行计算,还是利用 wolf 方法计算,其最大 Lyapunov 指数都明显大于零;其自功率谱为噪声背景下的宽峰的连续谱,说明系统传输的信号确实是混沌信号。用 FNN 法计算该混沌信号的嵌入维数达到 6,属于中高维度混沌;结合系统的抗攻击性分析,得出结论:相比于一般的混沌掩盖方案,该系统具有较强的保密性和安全性。

关键词 全光波长变换器, 半导体光放大器, 全光缓存器, HORNET, 非对称孪生波导技术, 正交模式, 光混沌保密通信, 偏振态移位健控调制

Abstract

In recent years, a focus on the study of optical fiber communication is All Optical Network (AON), and it is the necessarily developing result for optical network. The key techniques of AON include optical switching/routing, Optical Cross Connecting (OXC), All Optical Wavelength Conversion (AOWC) and all optical buffering, et al. Optical switching/routing is wavelength switching/routing in fact. OXC and WC are introduced into the cross nodes of gone network of AON, thus, a "virtual wavelength path" is established. Communication route can be formed by WC, only if there is empty wavelength in individual segment link. The use rate of wavelength is greatly increased. The blocking rate of network can be reduced evidently by adding WCs, especially for huge capacity, multiple nodes ones. WCs have been paid great attention in the basic research of optical communication, and used in some experiment networks. The main contribution of this dissertation is classified into five parts stated as follows.

Firstly, AOWC is demonstrated by using a spectrum-sliced ASE in the SOA as the probe light and a delay interference configuration. Spectral response of the ASE output under the co-propagating injection by a signal light is

analyzed theoretically. Analytical expressions for the ASE output in terms of power and phase changes in the wavelength conversion are deduced. An experimental system based on this scheme is built and its operation principles are introduced. System performances are investigated and several experimental results are presented.

Secondly, a new scheme of variable optical delay line for IP packets is reported. It may be used in access control of HORNET (Hybrid Optoelectronic Ring Network) to avoid collision of added packet and the packet already on the ring and improve the loss rate of the packets. This architecture uses the wavelength converter to specify the packets delay and wavelength conversion is accomplished by the technique of FWM with a SOA. The architecture is impact and the ratio of performance to price is high. The delay line is transparent to signal modulation and bit rate. The delay range of the delay line is large enough and suitable to variable IP packets.

Having being improved, the delay line becomes a decade scale and programmable buffer. So it can be used not only in the field of optical signal processing, switching and access system of optical packet switching, but also in martial field such as guided missile precision bombing, or microwave radar field for replacing of cable delay line. The multi-stage structure makes its delay flexible and extendable. The buffer can delay various bit rate signal by replacing the unit fiber loop with different length. Wavelength channels can reduce stage by stage in the same group channels by a FWM-WC in

series with another. Each stage of the buffer is blocking, so can be linked neatly according to need.

Thirdly, using the variable optical delay line in AP (Access Point) of HORNET, two improved AP models and IP-MAC (Media Access Control) schemes are brought forward. Optical packet collision is avoided by adding a variable optical delay line side circuit. The delay time is determined by the length, transmitted time, and the bit rate of the packet being added, without additional packet delay. Both two schemes can transmit any size IP packet, do not need centralized control, makes the network remain unslotted and bandwidth is not wasted. The packet with higher priority is ensured to transmit first when conflict emergence for the second improved scheme.

Fourthly, analysis of monolithic integrated MQW (multi quantum well) waveguide and passive waveguide with ATG (asymmetric twin-waveguide) structure is presented by using normal mode theory. The electric field distribution and dispersion equation are reported. The process hasn't introduced any approximation, and physical meaning of each parameter is clear. It provides good basis of designing optical integrated devices with ATG structure.

Finally, we make a pilot study of chaos secure optical communication. The PolSK modulation technology is used in the chaos secure optical communication. A SOA-based fiber ring laser as the transmitter is built to generate the chaos carrier with dynamically fluctuating states of light

polarization. In this scheme, the data transmit in the secure optical communication is dynamically modulated onto the state of the chaotic carrier's polarization through a XPM effect in the SOA induced by the input signal light. By direct watching with eyes, the maximal Lyapunov index and self-power spectrum method, the judgment of chaos for the signal transmitted in the system is presented. The minimal embodied dimension of the signal is given and it is higher. The anti-attack ability is analyzed for the system too.

Key words All Optical Wavelength Converter (AOWC), Semiconductor Optical Amplifier (SOA), all optical buffer, HORNET, Asymmetric Twin-waveguide (ATG), normal mode, chaos secure optical communication, PolSK modulation

目 录

第一章 绪论	1
1.1 光通信网络的研究进展	1
1.2 集成光学发展概述	5
1.3 混沌保密通信的发展现状	8
1.4 论文的主要研究内容	11
第二章 全光波长变换技术概述	13
2.1 引言	13
2.2 基于交叉增益调制(XGM)效应的波长变换技术	14
2.3 基于交叉相位调制(XPM)效应的波长变换技术	17
2.4 基于四波混频(FWM)效应的波长变换技术	21
2.5 基于差频(DFG)效应的波长变换技术	24
2.6 本章小结	26
第三章 SOA-ASE 频谱分割全光波长变换器研究	28
3.1 引言	28
3.2 半导体光放大器(SOA)的工作原理	30
3.3 ASE 频谱分割实现波长变换的工作原理	33
3.4 光纤非对称马赫-泽德尔干涉仪(AMZI)的工作原理	38
3.5 实验和结果	40
3.6 本章小结	43
第四章 可变光缓存器设计	44
4.1 课题来源与研究意义	44
4.2 用于 HORNET 接入控制的可变光延迟线的设计	45

4.3	十进制可编程光缓存器的提出	51
4.4	本章小结	59
第五章	HORNET 网 MAC 层协议的改进	60
5.1	HORNET 网简述	60
5.2	相关的 MAC 层协议	63
5.3	改进的无优先级的 MAC 层协议	66
5.4	进一步改进的有优先级的 MAC 层协议	69
5.5	本章小结	73
第六章	非对称孪生波导结构理论分析	75
6.1	引言	75
6.2	一个通用的光子集成平台——非对称孪生波导技术	76
6.3	ATG 结构的分析方法	78
6.4	非对称孪生波导(ATG)结构的理论分析	78
6.5	计算实例	88
6.6	本章小结	90
第七章	PolSK 光混沌通信系统的保密性分析	91
7.1	引言	91
7.2	实验系统及工作原理简介	92
7.3	判定系统信号的混沌性	93
7.4	系统保密性分析	96
7.5	本章小结	99
第八章	总结与展望	100
8.1	本文工作总结	100
8.2	进一步的工作	102
参考文献		104
致谢		115