

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 200429029

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

高速全光纤声光开关的关键技术

Key Technologies of High-Speed All-fiber Acousto-optic Switch

朱 贇

指导教师姓名: 翁梓华 副教授

专业名称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2007 年 4 月

论文答辩时间: 2007 年 5 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。

本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

全光开关是未来全光网络的核心器件之一,对全光开关展开研究具有重大意义。本论文主要研究基于声光效应的高速全光纤声光开关,这种全光开关具有开关切换速度快、插入损耗低、能耗低和易集成的特点。

本论文的研究内容主要包括以下几个方面:

1) 全光纤声光开关的新方案设计。论文首先阐述了构成声光开关的物理要素及基本原理,总结和分析了已研、在研各类声光开关的发展状况和优缺点,确立了将全光纤声光开关作为本论文的研究重点。论文随后分析了此类型声光开关存在的两大主要问题:开关切换速度慢和模式耦合效率低的原因及影响因素,并重新设计了超声换能器、模式选择耦合器和声光可调滤波器(AOTF)。此三点亦为本论文的三个主要创新点,由此构建出三种新型的全光纤声光开关方案,并将其中的 MZI 型全光纤声光开关作为重点研究对象。经文献、专利查找认证,本论文提出的三种新方案具有一定先进性和新颖性。

2) 射频信号发生器的设计与分析。锁相环频率合成(PLL)和直接数字频率合成(DDS)是最适合制作高速全光纤声光开关射频信号发生器的两种技术。论文首先设计并应用软件 ADIsimPLL 仿真了基于 PLL 的频率合成电路。仿真结果表明,其频率锁定所需时间过长(约为 $30\mu\text{s}$)而不能满足高速全光纤声光开关对射频信号发生器的要求。其次,本文设计、制作并实现了基于 STEL-1175+80 和 AD9713 的 DDS 频率合成电路。由实验结果可知,采用 DDS 频率合成技术的射频信号发生器具有频率产生快(约 60ns)、分辨率高(数赫兹)的特点而成为制作全光纤声光开关射频信号发生器的最理想方式。

3) 超声换能器的设计与分析。超声换能器是全光纤声光开关的核心部分,本文选用了光纤镀氧化锌(ZnO)的超声换能器结构。通过对换能器进行数学建模及等效电路转化后求得了表征其性能的最重要参数:压电层反射系数 S_{11} 。然后利用 MATLAB 软件对各参数如内外电极厚度、镀层角度等变化时对 S_{11} 的影响做出了仿真和分析。根据仿真结果本文获得了一组优化设计的参数用以样品制作的理论指导。样品采用磁控溅射技术进行加工,并使用 Agilent-E8362B 射频网络分析仪进行检测,测得样品的谐振频率发生在 227.8MHz 和 600MHz 附近。

最后，本文对整个研究进行了全面总结以及对未来的研究做出了展望。

关键词：声光开关；超声换能器；磁控溅射

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

All-optical switch is one of the core components for building future All-optical Network (AON), into which the research delved should have tremendous significances. In this dissertation, a novel high-speed all-fiber Acousto-optic (AO) switch has been studied and designed based on AO effect. The newly developed AO switch is characterized as high switching speed, low insertion loss (IL), low power consumption and easy for integrations etc.

The whole research efforts can be summarized as the following:

1) To design new configurations of all-fiber AO switch. Firstly, the AO effect and its theory have been described in the dissertation. Secondly, the current research status and their strong/weak points of all types of the AO switches available have been summarized and analyzed. As a result, the all-fiber AO switch has been chosen as the main research directions. After that, the root causes analyzing for the low switching speed and coupling efficiency, high insertion loss existed in current all-fiber AO switch have been carried out, based on which the new transducer, mode selective coupler and AOTF have been re-designed. Finally, by using these three newly designed main components, three new configurations of the all-fiber AO switch have been brought forward, among which the all-fiber AO switch built on MZI would be specifically studied.

2) To design, analyze and test the RF signal generator. The RF signal generator is an important part for all-fiber AO switch. Currently, the PLL and DDS frequency synthesis are two most well-developed techniques fitting for developing the RF signal generator. Firstly, the frequency synthesis circuit based on PLL has been designed and simulated by using software ADIsimPLL. As shown in the simulation result, the frequency locking time required are too long (about 30 μ s) to meet the preplanned requirements. Then, chip STEL-1175+80 and AD9713 have been used to build the DDS frequency synthesis circuit. The whole circuit was controlled by the MCU 89C51. Finally, the electric circuit board has been made together with the experiment launched. The final result reading from the oscilloscope showing the frequency was 618.7 kHz which was very close to the expected value 625 kHz. Comparing with the PLL, the frequency synthesis developed based on DDS has shorter frequency

generation time and higher frequency resolution which make it becomes the most ideal technique for fabrication the all-fiber AO switch's signal generator.

3) To design and test new transducer. Transducer is the core parts of the AO switch. In the dissertation, the new transducer developed by coating the ZnO in the fiber was adopted. The mathematic mode building and equivalent circuit transferring was obtained to analyze the transducer theoretically. As a result, the paramount parameter S_{11} , the piezoelectric layer reflection coefficient was deduced. Then, software MATLAB was used to simulate the relation between the parameters variations such as the depth of the inner/outer electrode, the coating angle and S_{11} were achieved, based on which an optimized group parameters was obtained for samples fabrication. The samples were manufactured in the MEMS center by the Magnetron Sputtering technique and then tested by the RF network parameters analyzer Agilent-E8362B, which shows the resonance frequency occurring near 227.8 MHz and 600 MHz.

Finally, the whole research areas and future research plans have been summarized and brought forward.

Key Words: Acousto-optic switch; Transducer; Magnetron Sputtering Technology

中文摘要	I
英文摘要	III
第一章 绪 论	1
§1.1 全光网络的关键技术	1
§1.2 光开关	4
§1.2.1 光开关的应用领域	5
§1.2.2 光开关介绍	6
§1.2.3 光开关的发展趋势	10
§1.3 声光开关的研究进展	11
§1.3.1 选择声光开关的原因	11
§1.3.2 市场上主流的声光开关产品	11
§1.4 本文的主要研究工作	15
§1.4.1 全光纤声光开关的总体设计	15
§1.4.2 本文的研究内容	16
§1.5 本章小结	17
参考文献	18
第二章 声光效应与声光开关理论	20
§2.1 声光效应的基本概念	20
§2.2 声光效应的定性描述	20
§2.3 光纤中的弹性波的传播	24
§2.3.1 圆柱声波导的基本概念	25
§2.3.2 弹性波动方程及其解	26
§2.3.3 声波模式及色散关系	27
§2.4 声光器件及其应用	32
§2.5 本章小结	33
参考文献	34

第三章 全光纤声光开关的分析与设计	36
§3.1 声光开关的各组成部分及其功能	36
§3.2 已有的声光开关总结与分析	37
§3.2.1 体声光开关与集成波导型声光开关	38
§3.2.2 全光纤型声光开关	42
§3.2.3 各类声光开关总结与分析	46
§3.3 新型全光纤声光开关的分析与设计	48
§3.3.1 制约全光纤声光开关性能参数的因素分析	48
§3.3.2 全光纤声光开关各关键部分的设计	49
§3.4 全光纤声光开关新型方案设计	53
§3.4.1 全光纤声光开关新方案	54
§3.4.2 改进前后对比	57
§3.4.3 创新点与查新	58
§3.5 研究重点和实验安排	58
§3.6 本章小结	59
参考文献	60
第四章 射频信号发生器的研制	63
§4.1 频率合成技术的发展介绍	63
§4.2 锁相环频率合成法	64
§4.3 基于 PLL 的电路设计与分析	68
§4.3.1 电路设计	69
§4.3.2 电路仿真与分析	70
§4.4 直接数字频率合成法	73
§4.5 基于 DDS 的电路设计及实验测试	77
§4.5.1 电路设计	77
§4.5.2 电路实验以及结果分析	79
§4.6 本章小结	83
参考文献	85

第五章 超声换能器的研制	87
§5.1 超声换能器的概述	87
§5.1.1 压电材料与换能器性能指标	87
§5.1.2 压电振子的振动模式和谐振频率	90
§5.1.3 压电振子的梅森等效电路	92
§5.2 超声换能器的数学建模与 MATLAB 仿真分析	94
§5.2.1 超声换能器数学模型	94
§5.2.2 超声换能器的压电层反射系数	97
§5.2.3 MATLAB 仿真与分析	99
§5.3 光纤镀 ZnO 超声换能器的制作	107
§5.3.1 实验步骤	108
§5.3.2 性能测试	109
§5.4 本章小结	109
参考文献	111
第六章 实验与结论展望	113
§6.1 全光纤声光开关实验	113
§6.1.1 实验方案与结果测量	113
§6.1.2 实验结果分析与总结	115
§6.2 全文总结与展望	117
§6.2.1 本文的研究结论	117
§6.2.2 目前存在的问题	118
§6.2.3 研究展望	119
攻读硕士学位期间发表的论文与专利申请	120
致 谢	121

Table of Contents

Abstract	I
Chapter I Introduction	1
§1.1 Key Technologies for All Optical Network	1
§1.2 All Optical Switch	4
§1.2.1 Optical Switch and its Applications	5
§1.2.2 Optical Switch Introduction	6
§1.2.3 Optical Switch Developing Trends	10
§1.3 Research Status of Acousto-optic Switch	11
§1.3.1 Reasons of Choosing AO Switch	11
§1.3.2 Currently Market Available AO Switches	11
§1.4 Outline of the Dissertation	15
§1.4.1 Overall Design of the All-fiber AO Switch	15
§1.4.2 Research Areas of the Dissertation	16
§1.5 Chapter Conclusions	17
References	18
Chapter II AO Effect and Theory of AO Switch	20
§2.1 Basic Concept of AO Effect	20
§2.2 Qualitative Description of AO Effect	20
§2.3 The Propagation of the Elastic Wave in Fiber	24
§2.3.1 Concept of the Cylinder Acoustic Waveguide	25
§2.3.2 Equation of the Elastic Wave and its Solutions	26
§2.3.3 Acoustic Wave Mode and its Relations with Dispersion	27
§2.4 AO Devices and Applications	32
§2.5 Chapter Conclusions	33
References	34
Chapter III The Design and Analysis of All-fiber AO Switch	36
§3.1 AO Switch's Components and their Functions	36
§3.2 Summary and Analysis of Available AO Switches	37
§3.2.1 Bulk AO Switch and SAW AO Switch	38

§3.2.2 All-fiber AO Switch	42
§3.2.3 Summary and Analysis of all Category AO Switches	46
§3.3 Novel All-fiber AO Switch Analysis and Design	48
§3.3.1 Factors Affecting AO Switch’s Performances Analyzing.....	48
§3.3.2 Core Components Design	49
§3.4 Design of New Configurations of All-fiber AO Switch	53
§3.4.1 New Configurations of the All-fiber AO Switch	54
§3.4.2 Comparison Before and After Improvement.....	57
§3.4.3 Innovation Points and Novelty Investigation.....	58
§3.5 Major Research Areas and Plans	58
§3.6 Chapter Conclusions	59
References	60
Chapter IV The Study and Design of the RF Signal Generator	63
§4.1 Introduction to the Frequency Synthesis Techniques	63
§4.2 PLL Frequency Synthesis Technique	64
§4.3 Design and Analysis of the PLL Electric Circuit	68
§4.3.1 Circuit Design	69
§4.3.2 Circuit Simulation and Analysis	70
§4.4 DDS Frequency Synthesis Technique	73
§4.5 Design and Test of the DDS Electric Circuit	77
§4.5.1 Circuit Design	77
§4.5.2 Experiments and Results Analysis	79
§4.6 Chapter Conclusions	83
References	85
Chapter V The Study and Design of the Transducer	87
§5.1 General Introduction	87
§5.1.1 Piezoelectric Materials and Transducer’s Performance Index.....	87
§5.1.2 Vibration Mode and Resonance Frequency	90
§5.1.3 Mason Equivalent Electric Circuit.....	92
§5.2 Mathematic Mode Building and MATLAB Simulation	94
§5.2.1 Transducer’s Mathematic Mode.....	94
§5.2.2 Transducer’s Piezoelectric Layer’s Reflection Coefficient.....	97

§5.2.3 MATLAB Simulation and Analysis	99
§5.3 Fabrication of the Fiber Coating ZnO Transducer	107
§5.3.1 Fabrication Procedures.....	108
§5.3.2 Performance Test.....	109
§5.4 Chapter Conclusions	109
References	111
Chapter VI Experiment and Outlook	113
§6.1 Experiment on All-fiber AO Switch	113
§6.1.1 Experiment Scheme and Results Mearsuring	113
§6.1.2 Results Analysis and Summary.....	115
§6.2 Summary and Outlook	117
§6.2.1 Conlutions of the Research.....	117
§6.2.2 Remaing Problems	118
§6.2.3 Research Outlook.....	119
Publications and Patents	120
Acknowledgement	121

第一章 绪论

光纤通信正朝着密集波分复用（DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing）结合光放大器（OA, Optical Amplifier）的高性能、大容量、灵活的全光网络（AON, All Optical Network）方向发展^[1,2]。AON 是以光纤为基本传播媒质，采用 WDM（Wavelength Division Multiplexing）技术提高网络的传输容量，在光节点采用光插分复用（OADM, Optical Add-Drop Multiplexing）和光交叉连接（OXC, Optical Cross-Connect）技术，依靠光层面上的波长连接来提高吞吐量。在点对点 DWDM 的基础上，以波长路由分配（RAW, Routing and Assignment of Wavelength）为基础，引入光交叉连接和分插复用节点，建立具有高度灵活性和生存性的全光网络^[2,3]。全光开关是构成 OADM、OXC、DWDM 的关键器件，其性能在一定程度上影响甚至决定着整个全光网络的性能。因此对全光开关开展研究具有重要意义。

§ 1.1 全光网络的关键技术

所谓全光网络，就是指网络中直到用户端节点之间的信号通路仍保持着光的形式，即端到端的链路中间没有光电转换。换言之，只有信号在进入和离开网络时候才进行电/光和光/电（E/O 和 O/E）转换。全光网络主要由核心网、城域网和接入网组成，三者的基本结构类似，都是由 DWDM、OA、OADM 和 OXC 等设备组成。全光网有三种基本类型：星型网、总线网和树形网。全光网络的结构分为服务层（Services Layer）和传送层（Transport Layer）。网络传送层分为 SDH（Synchronous Digital Hierarchy）层、ATM（Asynchronous Transfer Mode）层和光传送层。光传送层由 OADM 和 OXC 组成并通过迂回路由波长，在网络中形成大宽带的重新分配。在光缆断开时，光传送层起网络恢复（Restoration）的作用。在远端，光纤环中的 OADM 插入、分离所确定的波长通道至 ATM 复用器，而 OXC 则连接两个光 WDM 环路到交换机。为了实现真正意义上的全光网络通信，必须具备下列关键技术。^[4-10]

（1）全光交换技术

传统的光交换，在交换过程中存在光变电、电变光的过程，而且它们的交换

容量都要受到电子器件工作速度的限制，从而限制了整个光通信系统的带宽。全光交换无需在光纤传输线路和交换机之间设置光端机进行光变电、电变光转换，因而在光交换过程中能充分发挥光信号的高速、大带宽和无电磁感应等优点，它是未来高速、大容量通信网络主要的发展方向。从交换技术角度上看，光交换技术可分为光电路交换（OSC）和光分组交换（OPS）二种类型。光电路交换工作方式与现存的电路交换技术相类似，中间节点不需要光缓存，这种技术的研究相对比较成熟。根据交换对象的不同可分为：空分（SD）光交换、时分（TD）光交换、波分（WD）光交换、复用型光交换、自由空间光交换（FSPS）、码分光交换、ATM 光交换等七种形式。光分组交换是将光交换技术与分组交换技术融为一体，彻底消除光变电、电变光转换这一瓶颈并可按照用户的需求灵活地进行带宽的动态分配和资源的统计复用以提高带宽和资源的利用率。因而，它在全光网络中占有重要地位，同时也是实现宽带信息网络的一项高新技术。光分组交换系统根据对控制包头处理及交换粒度的不同可分为：光分组交换、光突发交换、光标记分组交换和光子时隙路由等。该技术能确保用户与用户之间的信号传输与交换全部采用光波技术，即数据从源节点到目的节点的传输过程都以光的形式进行。^[4, 11-22]

（2）OXC 技术

OXC 是用于光纤网络节点的设备，通过它对光信号进行交叉连接，能够灵活有效地管理光纤传输网络，是实现可靠的网络保护/恢复以及自动配线和监控的重要手段。OXC 主要由光交叉连接矩阵、输入/输出接口管理控制单元等模块组成。为了增加 OXC 的可靠性，每个模块都具有主用和备用的冗余结构，OXC 自动进行主/备倒换。输入/输出接口直接与光纤链路相连，分别对输入/输出信号进行适配、放大。管理控制单元通过编程对光交叉连接矩阵、输入/输出接口模块进行监测和控制。光交叉连接矩阵是 OXC 的核心，它要求无阻塞、低串扰、低延迟、无偏振依赖、大带宽和高的可靠性，并要求具有单向、双向和广播形式的功能。OXC 和光交换一样，也有空分、时分和波分三种类型，其中空分和波分技术比较成熟。实现 OXC 的硬件结构也有多种方案，比较现实可行的是基于光开关阵列和阵列波导光栅（AWG, Arrayed Wavelength Grating）复用/解复用器，同时辅有波长变换器组成的 OXC。现有的 OXC 节点功能还限于波长路由交

又连接，而随着波长变换器件的成熟。OXC 则由波长路由交叉连接向波长交叉连接方向发展，因而在网络管理上需要考虑“虚波长”通道的设置，以保证交叉连接畅通无阻。

OXC 的核心技术是光开关阵列。到目前为止，实现光开关阵列的技术有很多种，例如微光机电技术 (MOEMS)、液晶技术、气泡技术、热光技术、全息技术、声光技术、电光技术和磁光技术等。OXC 是组成透明、多波长光网络 and 进行波长选择所必需的网元，其重要性在于能使光网络进行波长级的重新配置，进而优化了网络 and 解决了拥塞的问题。由于全光网络在节点中增加了更多的光纤和波长，对带宽管理的需求也就更加迫切，OXC 可在光纤中动态地再分配光纤路由，将光纤中的一些波长调出，并将它们合并到别的光纤中去，使一些光纤有成为空闲和作为备用（用于光层保护交换）的可能。^[2, 4, 10, 23-25]

(3) OADM 技术

OADM 是 WDM 全光通信网络的核心设备之一，它对全光网络的传输能力、组网方式、关键特性等具有重大的影响。在目前基于 DWDM 技术的光网络中，它可以在复杂的网络中灵活地提取和载入任何格式和速率的信号以提高网络的可靠性、降低节点成本、提高网络运行效率。同时，OADM 和 OXC 的技术组合是实现最高形式的全光网络：具有光交叉互连功能的全光网络的重要技术支撑。

实现 OADM 的方案根据上/下路波长是否固定可分为两类：非重构型和重构型。光开关阵列是可重构型 OADM 的重要组成部分。OADM 技术节点的开放性、兼容性、网络的自愈功能、性能监测和网络管理以及对全光网络的传输性影响是面临的需重点解决的技术问题。^[2, 4, 26-28]

(4) 波长变换技术

波长变换 (W-C) 是指将一个调制在载波上的信息变换成不同波长的光载波技术，此变换可以允许在几个全光网段中的波长得到重新使用。目前，基于 DWDM 技术的光网络的带宽可以满足每个用户的要求，但是波长的数目却远远少于实际所需的数量，而波长的数量决定了具有独立地址的节点数或可选路由数。因此，波长的匮乏使基于波长选路和 OXC 的 DWDM 光网络的阻塞率大大提高，同时当两个或多个波长信号向相同的路由连接时，就会引发波长竞争。如果在光网络干线网的交叉点引入 OXC 器件和 W-C 器件，便可形成端到端的“波

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库