

同行专家业内评价意见书编号: 20250854427

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名: 王舜

学号: 22260366

申报工程师职称专业类别（领域）: 电子信息

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年03月23日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院(浙江大学工程师学院)工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

作为一名光学工程专业研究生，我系统掌握了本专业的基础理论和专业技术知识，涵盖光学材料、微纳加工、光学器件、光通信系统及其在工程应用中的优化与实现。在材料与加工工艺方面，我熟悉铌酸锂(LN)、硅基光子(Si

Photonics)、聚合物光波导等材料的光学特性及其在光子集成中的应用，铌酸锂(LN)因其优异的非线性光学性能和高速电光调制能力成为研究热点，但波导制造仍面临刻蚀损伤等挑战；硅光子技术因其CMOS兼容性和高密度集成优势被广泛应用，但热光效应管理仍是难点；了解其在非线性光学、高速调制、CMOS兼容性等方面的优势与挑战。同时，我掌握薄膜沉积(PVD、ALD)、干法刻蚀(ICP-

RIE)、光刻(DUV、EBL)等微纳加工技术，并能结合工艺参数优化器件性能，确保加工精度和可靠性，并通过调控刻蚀速率、掺杂浓度等工艺参数提升器件质量。

在光学器件与集成光子学领域，我具备硅光子芯片、铌酸锂薄膜光子器件、III-V族半导体光器件的设计和制备能力，深入研究MZI相位调制器、微环谐振调制器、Mach-Zehnder结构EO调制器的工作原理及优化方法。此外，我熟悉光纤耦合、光栅耦合及模式转换等光学耦合技术，能够基于仿真工具(如Lumerical、COMSOL)优化光场分布，降低插损，提高耦合效率。

此外，我熟悉行业标准、法规及生产规范，掌握新材料、新工艺的前沿发展趋势，并通过实验实践积累默会性工程知识，包括光刻、刻蚀、镀膜、封装、光学测量等技能。同时，我具备跨学科交叉知识，结合计算机科学、材料科学、电子工程等领域，推动光子集成技术在通信、传感、计算等方面的应用和发展。通过工程实践和理论结合，我不断优化设计方案，提高器件性能，推动光学工程领域的技术创新和产业化发展。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

我围绕铌酸锂(LN)波导器件的设计、加工及测试，完成了一款基于多模干涉(MMI)耦合器的宽带光酉转换器的研制工作。在设计阶段，我利用Lumerical、COMSOL等仿真软件优化了MMI耦合器的结构参数，使其能够在铌酸锂平台上实现高效的模式转换。通过反复仿真与优化，我最终设计出一款在1550 nm波段具有46 nm宽带的光酉转换器，满足宽带、高效低损耗的设计要求。

在光波导器件的制作过程中，我全程参与了从晶圆制备到最终封装的工艺流程。首先，在铌酸锂薄膜上进行光刻工艺，利用电子束光刻(EBL)精确定义波导图形，以保证纳米级加工精度。随后，通过感应耦合等离子体刻蚀(ICP-

RIE)工艺刻蚀波导，并优化刻蚀速率和气体比例，以降低侧壁粗糙度，从而减少散射损耗。在沉积工艺方面，我采用物理气相沉积(PVD)技术，在波导表面沉积保护层或电极材料，以提升器件稳定性。在蒸镀过程中，我通过热蒸发或电子束蒸镀的方法制备金属电极，并利用光刻和湿法刻蚀工艺定义电极图形，以保证电光调制器的高效工作。最终，通过打线封装技术，实现了电光调制器的集成封装，为后续测试提供稳定的电气连接。

在测试阶段，我熟练使用光学测试设备对器件性能进行表征。首先，我利用高稳定性窄线宽激光器作为光源，将光信号耦合至器件输入端，并通过高精度调整光纤耦合位置以优化入射效率。使用光谱仪测量透射光谱，以评估器件的带宽和插入损耗；采用高频示波器和射频信号源，对电光调制特性进行分析，以验证调制深度和响应速度。此外，我熟练使用编程语言

(如Python、MATLAB)开发自动化测试程序,实现对光谱数据的实时采集、处理和分析,提高了测试效率和精度。同时,我利用通信接口完成设备的远程控制和数据交互,确保测试的稳定性和可重复性。

通过本次工程实践,我不仅提升了铌酸锂光子器件的设计、制造和测试能力,还深入掌握了从仿真优化到加工工艺,再到实验测试和数据处理的完整流程。这次经历不仅加深了我对集成光子学和光通信技术的理解,也为后续的科研和产业化应用奠定了坚实的基础。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例 (不少于1000字)

长距离超大容量多维复用光传输技术需要大规模MIMO解调技术做支撑,而现有的MIMO解调技术均在电域进行处理,一方面基于FPGA芯片的实时MIMO解调技术需要多路宽带高速电系统来实现,不仅价格十分昂贵,而且功耗十分巨大。另一方面,随着处理路数的不断提升,即使是并行的多路宽带高速电系统也无法实现实时MIMO解调。因此迫切需要另辟蹊径,开展光层面MIMO解算的相关研究工作。光酉转换器(OUC)是光通信系统和光神经网络中的关键组成部分,其主要作用是通过光学方式实现输入信号的调制、解调以及多模信号的解复用等。然而,在实际应用中,传统的OUC系统存在着带宽不足、高损耗和器件尺寸过大的问题,这些问题严重制约了其在高效光信号传输中的作用。因此,结合所学的理论知识与技术,提出创新的解决方案以应对这些挑战。

1. 工作内容与应用背景

OUC作为一种基于酉矩阵的光学器件,广泛应用于光通信、多模光纤系统和光神经网络中。其主要功能是在多模光通信系统中进行信号的解复用,支持高效的信号传输。然而,传统OUC系统在面对现代高带宽需求时,往往存在带宽窄、损耗大和尺寸过大等问题,这些不足影响了其在实际工程中的应用。

针对这些问题,结合多方面的光学理论与器件设计技术,提出并实现了三种不同的OUC系统,包括基于脊型uMMI、nMMI和SOI平台SWGnMMI的设计。通过这些创新设计,解决了传统OUC在带宽、损耗、尺寸等方面的不足,提升了光通信和光神经网络的信号处理能力。

2. 宽带OUC器件

2.1. 基于脊型uMMI的宽带低损耗uMMI-OUC系统

首先,针对传统MMI-

OUC系统带宽不足和损耗较大的问题,本文运用了光学器件设计中的波导耦合原理和光模式匹配的知识,提出了基于脊型uMMI结构的宽带低损耗uMMI-OUC系统。uMMI (Uniform Multi-Mode

Interferometer) 结构利用了更先进的波导耦合方式和优化的结构设计,使得输入信号在更宽的波长范围内得到有效处理。

宽带uMMI: 通过波导几何结构的优化,提高了光学耦合效率,拓宽了工作带宽。特别是在光模式的耦合和干涉过程中,充分运用了多模干涉器的原理,优化了器件尺寸和耦合方式,使得4模信号解复用得以实现,并且保持了较低的损耗。

优化器件尺寸与带宽: 通过数值仿真和优化设计,成功将3 dB带宽提升至46 nm ($1.536 \mu\text{m} - 1.582 \mu\text{m}$), 并将单个uMMI耦合器的附加损耗降低至0.26

dB。测试结果表明,采用uMMI结构的OUC系统不仅提升了带宽,而且使得系统尺寸得到了有效缩小,解决了传统OUC系统尺寸过大、集成度低的问题。

2.2. 基于脊型nMMI的宽带紧凑型nMMI-OUC系统

在进一步提升OUC系统性能的基础上,本文继续运用了光学微结构设计和集成光子学的知识,提出了基于脊型nMMI的宽带紧凑型nMMI-

OUC系统。该设计相较于传统uMMI结构,采用了更为紧凑的nMMI (Non-uniform Multi-Mode Interferometer) 结构,通过优化波导尺寸和耦合结构,进一步降低了损耗并提升了带宽。

nMMI结构的优势：通过优化设计，nMMI结构的尺寸减少了一半，并且保持了更大的带宽和更低的损耗。在1.55 μm 波段，最低附加损耗为0.06 dB，3 dB带宽达到了100 nm (1.52 μm - 1.62

μm)。这表明，nMMI结构不仅提升了带宽，还有效降低了系统的尺寸和功耗，使得光子系统的集成度得以提升。

尺寸与带宽平衡：结合所学的光学和材料科学知识，进一步提高了器件的集成度，同时保证了系统的高效性能。这一设计不仅提高了带宽，还缩小了器件的物理尺寸，满足了现代光通信系统对高带宽和小尺寸的需求。

2.3. 基于SOI平台的SWGnMMI-OUC系统

为了进一步提升带宽并减小器件尺寸，本文引入了亚波长光栅 (SWG) 结构，并结合硅光子平台 (SOI) 进行了设计。SWGnMMI结构不仅提高了OUC系统的带宽，还有效减小了器件的尺寸，实现了更高效的光学信号处理。

SWG结构的创新：SWG被引入OUC系统，通过在硅光子平台上设计SWGnMMI结构，显著提升了OUC的带宽，并使得附加损耗保持在极低水平 (0.1 dB $\pm$ 0.03

dB)。这一结构突破了传统设计的带宽限制，为高效的光信号处理提供了更多的可能性。

平台兼容性与系统集成：通过将SWGnMMI结构集成到SOI平台上，不仅提升了系统的性能，还减少了设备的尺寸。这一创新方案使得OUC系统在集成光电子学领域得到了更广泛的应用，同时降低了系统的复杂性和成本。

3. 总结与展望

本工作展示了如何通过综合运用所学的光学设计、器件仿真和系统集成等知识，成功解决了OUC系统在带宽、损耗和尺寸等方面的挑战。基于uMMI、nMMI和SWGnMMI的设计不仅提升了系统的性能，还为光通信和光神经网络提供了更高效的信号处理方案。

未来的研究可以进一步优化uMMI、nMMI和SWGnMMI结构，探索更高带宽、更低损耗的光学集成方案，并推动这些技术在实际光通信网络和光神经网络中的应用。此外，通过多平台的结合与兼容性研究，OUC系统将更具商业化和工程化的潜力，为下一代光通信系统的发展提供技术支持。

通过这一工作，不仅展示了如何运用理论知识解决复杂的工程问题，还为光学集成和信号处理领域的创新提供了新的技术路径。

(二) 取得的业绩(代表作)【限填3项,须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实,并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

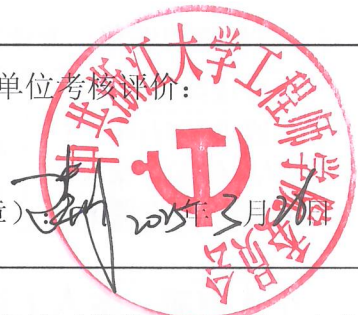
成果名称	成果类别 [含论文、授权专利(含发明专利申请)、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/ 授权或申 请时间等	刊物名称 /专利授权 或申请号等	本人 排名/ 总人 数	备注
Broadband MIMO all-optical unitary converter based on compact multimode interference on LNOI	TOP期刊	2025年02月01日	Optics Letters	1/7	SCI期刊收录

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 82 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1.1 年（要求1年及以上） 考核成绩： 83 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！	
申报人签名： 	

22260366

二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现 考核评价	非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价： ☒ 优秀 ☐ 良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）：  2015年3月20日
申报材料 审核公示	根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下： ☐ 通过 ☐ 不通过（具体原因： 工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）：) 年 月 日

浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260366	姓名：王舜	性别：男	学院：工程师学院	专业：电子信息	学制：2.5年						
毕业时最低应获：25.0学分			已获得：28.0学分		入学年月：2022-09	毕业年月：					
学位证书号：				毕业证书号：			授予学位：				
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	86	专业学位课	2022-2023学年春季学期	优化理论基础		2.0	69	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	工程伦理		2.0	82	专业学位课	2022-2023学年春季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	77	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	创新设计方法		2.0	通过	专业选修课	2022-2023学年春季学期	研究生论文写作指导		1.0	92	专业选修课
2022-2023学年秋冬学期	研究生英语		2.0	88	专业学位课	2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	89	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	机器视觉及其应用		2.0	76	专业学位课	2022-2023学年夏季学期	物联网智能信息处理		2.0	86	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	光电遥感技术与应用		2.0	84	专业选修课	2023-2024学年夏季学期	研究生英语应用能力提升		2.0	77	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	90	专业学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	
2022-2023学年秋冬学期	高阶工程认知实践		3.0	77	专业学位课						

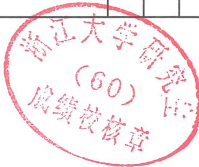
说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制，两级制（通过、不通过），五级制（优、良、中、及格、不及格）。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章：

成绩校核人：张梦依

打印日期：2025-03-20



Broadband MIMO all-optical unitary converter based on compact multimode interference on LNOI

By	Wang, S (Wang, Shun) ^[1] ; Lian, DX (Lian, Daixin) ^[1] ; Ye, YQ (Ye, Yongqi) ^[1] ; Zhao, S (Zhao, Shi) ^[1] ; Chen, JY (Chen, Jingye) ^[1] ; Dai, DX (Dai, Daoxin) ^[1] ; Shi, YC (Shi, Yaocheng) ^[1]
Source	OPTICS LETTERS  Volume: 50 Issue: 3 Page: 952-955 DOI: 10.1364/OL.546350
Published	FEB 1 2025
Indexed	2025-02-23
Document Type	Letter
Abstract	We propose and demonstrate a reconfigurable 4 x 4 multiinput multi-output (MIMO) all-optical unitary converter (OUC) based on non-uniform multimode interference (nMMI-OUC) on a lithium-niobate-on-insulator (LNOI) platform, which has the advantages of broadband operation, compactness, low loss, and fabrication-friendliness. To enhance the bandwidth, compact non-uniform multimode interference is utilized to replace uniform multimode interference, achieving the same cross talk and larger bandwidth. Compared with OUC based on uniform multimode interference (uMMI-OUC), the couplers using nMMI-OUC are only half length. The experimental results show that the reconfigurable four mode demultiplexing have been realized with wavelength-dependent loss of less than 3 dB and cross talk of less than -17.3 dB over 100 nm (from 1520 nm to 1620 nm) wavelength range and similar to 0.21 dB/coupler at 1550 nm wavelength for nMMI-OUC. (c) 2025 Optica Publishing Group. All rights, including for text and data mining (TDM), Artificial Intelligence (AI) training, and similar technologies, are reserved.
Author Information	Corresponding Address: Chen, Jingye (corresponding author)  Zhejiang Univ, Coll Opt Sci & Engrn, Int Res Ctr Adv Photon, State Key Lab Modern Opt Instrumentat,Ctr Opt & EI, Ningbo 315100, Peoples R China E-mail Addresses : jingyechen@zju.edu.cn Addresses :  ¹ Zhejiang Univ, Coll Opt Sci & Engrn, Int Res Ctr Adv Photon, State Key Lab Modern Opt Instrumentat,Ctr Opt & EI, Ningbo 315100, Peoples R China E-mail Addresses : jingyechen@zju.edu.cn
Data availability statement	Data underlying the results presented in this paper may be obtained from the authors upon reasonable request.
Categories/ Classification	Research Areas: Optics
Web of Science Categories	Optics
Funding	

Journal information

OPTICS LETTERS 		3.1 Journal Impact Factor ™ (2023)
ISSN	0146-9592	
eISSN	1539-4794	1.08 Journal Citation Indicator™ (2023)
Current Publisher	Optica Publishing Group, 2010 MASSACHUSETTS AVE NW, WASHINGTON, DC 20036	
Journal Impact Factor	Journal Citation Reports™	
Research Areas	Optics	
Web of Science Categories	Optics	

Optics Letters

Broadband MIMO all-optical unitary converter based on compact multimode interference on LNOI

SHUN WANG,[†] DAIXIN LIAN,[†] YONGQI YE, SHI ZHAO, JINGYE CHEN,^{*} DAOXIN DAI, AND YAOCHENG SHI 

State Key Laboratory for Modern Optical Instrumentation, Center for Optical and Electromagnetic Research, International Research Center for Advanced Photonics, Ningbo Innovation Center, College of Optical Science and Engineering, Zhejiang University, Ningbo 315100, China

[†]These authors contributed equally to this work.

*jingyechen@zju.edu.cn

Received 28 October 2024; revised 8 December 2024; accepted 26 December 2024; posted 2 January 2025; published 27 January 2025

We propose and demonstrate a reconfigurable 4×4 multi-input multi-output (MIMO) all-optical unitary converter (OUC) based on non-uniform multimode interference (nMMI-OUC) on a lithium-niobate-on-insulator (LNOI) platform, which has the advantages of broadband operation, compactness, low loss, and fabrication-friendliness. To enhance the bandwidth, compact non-uniform multimode interference is utilized to replace uniform multimode interference, achieving the same cross talk and larger bandwidth. Compared with OUC based on uniform multimode interference (uMMI-OUC), the couplers using nMMI-OUC are only half length. The experimental results show that the reconfigurable four mode demultiplexing have been realized with wavelength-dependent loss of less than 3 dB and cross talk of less than -17.3 dB over 100 nm (from 1520 nm to 1620 nm) wavelength range and ~ 0.21 dB/coupler at 1550 nm wavelength for nMMI-OUC. © 2025 Optica Publishing Group. All rights, including for text and data mining (TDM), Artificial Intelligence (AI) training, and similar technologies, are reserved.

<https://doi.org/10.1364/OL.546350>

The $N \times N$ multi-input multi-output (MIMO) all-optical unitary converter (OUC) is capable of performing the $N \times N$ unitary transformations on optical signals, enabling the parallel conversion of N mutually orthogonal input optical signals into an arbitrary set of N mutually orthogonal output optical signals without loss. $N \times N$ OUC can achieve demultiplexing of N modes, making it a key component for mode-division multiplexing, which is a crucial technology to increase the capacity beyond 100 Tbps [1]. Due to its capability of performing efficient linear transformations, achieving lossless multiplexing and demultiplexing, and handling complex signal processing, OUC has been widely applied in various fields such as optical communication, quantum information processing, and photonic neural networks.

The integrated reconfigurable OUC has been demonstrated on indium phosphide (InP) [2], silicon nitride (SiN) [3], and silicon-on-insulator (SOI) platforms [4–6], utilizing cascaded 2×2 Mach–Zehnder interference (MZI) based on Reck’s scheme or its variation. However, the existing MZI-based OUC has several challenges: First, the path-dependent loss due to unequal

number of MZI increases as the chip scales up, resulting in deviations from being a truly unitary transformation matrix of MZI-based OUC. Second, perfect 50:50 beam splitters are required because MZI is sensitive to fabrication inaccuracies. An alternative approach to realizing OUC is based on multi-plane light conversion (MPLC), which has been demonstrated on SOI [7,8] and InP platforms [9,10]. For MPLC-based OUC, it exhibits excellent robustness and high tolerance for manufacturing variations [11] but is limited by narrow bandwidth (usually smaller than 20 nm) and high insertion loss.

In this Letter, leveraging broad optical transparency window and low transmission loss of a lithium-niobate-on-insulator (LNOI) platform [12], we propose and demonstrate a broadband low-loss compact 4×4 MIMO all-optical OUC based on MPLC using cascaded 4×4 multimode interference (MMI) couplers separated by phase-shifter arrays. This approach addresses the aforementioned limitations of existing OUC and expands the application range of OUC. The selection of the MMI coupler is attributed to its fabrication robustness and broad bandwidth. By calibrating the thermo-optic phase shifters (PSs) with an optimization algorithm, we demonstrate the 4×4 MIMO all-optical OUC based on uniform-multimode interference (uMMI-OUC) that achieves reconfigurable four modes demultiplexing simultaneously at the output ports with a 3 dB bandwidth of over 46 nm (1536 nm to 1582 nm) and signal cross talk of less than -14.4 dB. We further optimize the couplers utilized in the uMMI-OUC by employing half-length non-uniform multimode interference (nMMI) couplers to replace uniform multimode interference (uMMI) couplers. This modification maintains the original low-level signal cross talk while enhancing the 3 dB bandwidth and reducing both the excess loss and footprint of the OUC. Ultimately, we experimentally demonstrate the broadband, low-loss, and compact 4×4 MIMO all-optical OUC based on non-uniform multimode interference (nMMI-OUC) with a 3 dB bandwidth over 100 nm and signal cross talk of less than -17.3 dB.

The schematic structure of the $N \times N$ MIMO all-optical OUC is depicted in Fig. 1(a), which comprises a cascade of MMI couplers and phase-shifter arrays. The distorted signals caused by coupling are effectively retrieved after passing through the OUC. The transfer matrix of $N \times N$ OUC, denoted as T_{OUC} , describes the coupling of the signals’ electric field from the