

第二届光电子集成电路立强论坛 暨硅光技术与应用研讨会

2021年5月 | 重庆

第二届光电子集成电路立强论坛专题总结

目录

圆桌会议：硅光前沿技术和产业需求.....	2
专题 1：前沿光电子器件及集成.....	3
专题 2：光电子集成工艺技术.....	5
专题 3：光电子仿真与设计.....	6
专题 4：光电子集成芯片封装与测试.....	6
专题 5：光通信与数据中心应用.....	8
专题 6：新型光通信芯片.....	9
专题 7：智能光计算.....	10
专题 8：多维光存储.....	12
专题 9：微波光子集成.....	14
专题 10：激光雷达芯片.....	16
专题 11：光量子器件及芯片.....	18
审查专家.....	20

第二届光电子集成电路立强论坛 暨硅光技术与应用研讨会

2021年5月 | 重庆

圆桌会议：硅光前沿技术和产业需求

撰稿人：苏翼凯（上海交通大学）、黄卫平（海信宽带多媒体有限公司/山东大学）

1. 专题简介：

本专题围绕硅光前沿技术和产业发展需求，针对硅光发展极限问题和发展路径，探讨下一代前沿技术和产品化的挑战。研讨在轻松自由的气氛中展开，鼓励百家争鸣，对未来技术进行探讨和预测。

本圆桌会议分为基础前沿和产业化二部分，共有 7 位报告人。前三位报告人探讨前沿问题，包括北京大学周治平（硅基光电子路线图）、浙江大学戴道铨（大规模硅光集成的发展与挑战）、国际信息光电子创新中心张宇光（硅光调制器技术极限性能分析和展望）。产业部分有四位报告人，包括腾讯胡胜磊（硅光集成在数据中心的成就、问题和未来趋势）、旭创研究院郑学哲（硅光在数据通讯领域的成就、问题和未来发展趋势）、曦智科技沈亦晨（硅光在智能计算领域的成就、问题和未来趋势）、思异半导体王霆（硅光集成光源领域的成就、问题和未来趋势）。

2. 主要观点：

- 1) 硅波导由于其本身固有的特点，适合高密度集成和低成本制备；
- 2) 硅光已经在相干通信和数据通信中获得了成功应用。然而如果要得到广泛应用产品上量，需要拓展到消费电子市场。目前已经有一些企业在开始进行研发工作；
- 3) 硅光发展目标主要面向低成本、小尺寸、低功耗。光源仍然是个瓶颈。异质集成、光电集成可能是必经之路；
- 4) 要实现以上目标，需要在材料选取、芯片架构、器件设计、高精度高稳定性加工等方面进行研究，实现大容差、高良率、高集成度、高性能的芯片；
- 5) 在产业方面，需要关注新兴应用，例如人工智能中的计算、消费电子等。

3. 发展建议：

- 1) 在前沿研究方面，面向较长时期（5-10年），找出限制技术发展的根本性因素，探索可能的解决方案，时刻考虑路径发展的问题。以圆桌会议等自由探讨和争辩的形式，充分交流思想，爆发思想火花。设立立强论坛下的小规模研讨会，深入讨论重要问题；
- 2) 在产业方面，加强产学技术和人才交流，让前沿技术有出口，让企业判断基础研究的长远价值。同时建立校所企接口为企业输送人才；
- 3) 在国家研发计划方面，探讨适合研发和市场化规律的研究活动，考虑技术研发和人才培养的延续性，找出适合中国国情发展的研发模式和体系。

专题 1: 前沿光电子器件及集成

撰稿人: 苏翼凯 (上海交通大学)、戴道铨 (浙江大学)

1. 专题简介:


本专题针对前沿光电子器件的关键技术和集成芯片进行了交流。一共有 13 篇特邀报告, 包括 Advanced Heterogeneous Quantum-Dot Light Sources on Silicon (LIANG Di, HP Labs, USA)、亚波长集成光子器件逆向设计方法与应用 (张敏明, 华中科技大学)、硅基 InAs/GaAs 量子点激光器研究进展 (张建军, 中科院物理研究所)、硅基逆向设计器件 (俞泽杰, 浙江大学)、(Hybrid) PIC Packaging and the Volume Scale Up (Jeroen DUIS, PHIX B.V., Netherlands)、硅基亚波长模式处理集成器件 (张永, 上海交通大学)、基于氮化硅辅助的薄膜铌酸锂高速电光调制器 (田永辉, 兰州大学)、铌酸锂电光调制型片上静态傅里叶光谱仪 (祁志美, 中科院空天信息创新研究院)、基于硅光的分布式光学传感器引擎 (姚晓天, 河北大学)、中红外四族光子学 (程振洲, 天津大学)、拓扑光子学与光子集成 (彭超, 北京大学)、Toward Fully Integrated Nonlinear Photonics (CHANG Lin, UCSB, USA)、Integrated Photonics Detection of Biological Particles for Fast Diagnosis and Early Treatment of Diseases (Sarp KERMAN, SITRI, China)。

2. 主要观点:

- 1) 光电子材料种类较多, 各有特点, 未来的发展趋势之一是混合集成;
- 2) 近期比较集中的热点是硅基光源、铌酸锂薄膜器件、硅基混合集成器件、逆向设计、亚波长结构等;
- 3) 各个报告主要还是分别聚焦在某个具体的技术点上, 整个领域发展状况还不十分清晰, 需要进一步研讨;
- 4) 波导/耦合损耗、器件性能、设计方法、加工难度、集成度及良率是大家关注的技术指标;
- 5) 基于硅光集成的光学分布式传感解调器 (Interrogator) 在技术上已无难点, 可以用较为成熟的片上器件集成。一个解调芯片可以适用于多个应用, 包括 OCT, OFDR 和 LiDar 等, 将对分布式传感技术应用的大面积推广起到积极作用。

3. 发展建议:

- 1) 在基础前沿方面, 需要进一步讨论和明确未来面临的瓶颈问题, 各个技术的理论极限, 从而判断未来技术发展路线的走向;
- 2) 专题一的产业方面的报告很少, 只有二位海外报告人, 需要进一步加强产学之间的交流和合作;
- 3) 未来的研讨可进一步引入命题作文和发散思维的二种模式, 通过研讨和争辩厘清未来集成光电子器件发展过程中的关键制高点和可能的进展路径, 从而提高研发效率和成果转化成效;



第二届光电子集成芯片立强论坛 暨硅光技术与应用研讨会

2021年5月 | 重庆

- 4) 硅光器件制作团队应与多应用团队交流合作，尤其在分布式光传感领域，把较为成熟的硅光技术集成为子系统，解决应用中的成本和体积问题。

专题 2：光电子集成工艺技术

撰稿人：冯俊波（联合微电子中心有限责任公司）、余明斌（上海微技术工业研究院）

1. 专题简介：

本专题从光电子集成工艺技术和平台的角度，探讨光电子集成工艺技术的最新进展和发展趋势。报告嘉宾来自于国内外知名光电子工艺平台和代表性企业，包括硅基光电子工艺平台、III-V、PLC、铌酸锂、硅基改性材料多种材料平台和企业。

本专题共计包括 6 份报告，其中 2 份报告来自于国外代表性硅光平台，重点介绍了国外平台最近在集成工艺和应用上的进展。其余 4 份报告来自于国内平台，分别是硅光平台-上海工研院、铌酸锂平台-华中科技大学、PLC 平台-仕佳光子、硅基改性材料平台-奇芯光电。4 份报告根据平台不同的特点定位及材料不同的应用场景介绍了各自的能力，展示了在具体应用场景下的所涉及的关键技术研究和产业化进展。专题各报告内容紧贴主题，既有广度又有深度，覆盖了目前光电子集成主流材料工艺体系，对行业发展做了一个很好的总结和展望，为与会人员提供了很有价值的参考。

2. 主要观点：

- 1) 硅光工艺平台是大规模光电子集成的重要工艺平台，目前在全球约有 30 家左右可提供硅基光电子芯片流片的平台。在数据中心和相干高速传输中已得到应用，主流平台已实现单波 100Gbps 的流片能力，未来向更多的应用方向发展，对工艺也提出不同的要求；
- 2) 异质多材料集成是光电子集成的重要发展方向，需要多平台协同发展；
- 3) 平台要为不同的应用需求开发新的工艺能力，如：低损耗氮化硅工艺，光电单片集成工艺等，在拓展工艺支持下的应用方面起到积极作用。

3. 发展建议：

- 1) 基础研究方面，建议加强国内工艺平台的支持，加大研发投资和特色完整平台建设，鼓励和支持芯片在国内平台流片。开展光电子大规模集成工艺、混合集成工艺和光电集成工艺的研究；
- 2) 应用研究方面，建议加速产学研协同，加强生态链建设，以市场应用牵引工艺平台发展，实现关键核心光电子芯片的国产化；
- 1) 大规模光电集成是未来发展趋势，需要同步发展光电融合 EPDA 工具、工艺和封装平台，在五年内实现光电子集成系统规模达到十万量级器件的设计、制备和封装平台能力。

专题 3：光电子仿真与设计

撰稿人：赵佳（山东大学）、刘晓明（北京华大九天科技股份有限公司）

1. 专题简介：

光电子集成芯片技术作为下一代具有高性能、多功能的芯片技术，已经在国内外军事与民用各领域受到广泛关注，随着微电子行业遭遇物理瓶颈，整个电子信息产业进入后摩尔时代，光电子技术将有希望成为下一代信息系统的核心，近年来已初露端倪，随着信息系统的需求持续增长，光电子技术也将更为快速地发展。芯片集成技术的研究离不开芯片设计、芯片制造、芯片测试与封装这三项共性平台技术，无论产品面向何种应用，其开发过程都要涉及到这三项技术。目前已经有多个国家建立起了光电子器件的制造、测试和封装平台，但在光电子集成芯片的设计平台方面，国内外的光电集成全链条仿真设计工具还远未成熟，因此设置光电集成仿真与设计专题。

2. 主要观点：

- 1) 原理图驱动设计流程符合集成光电子芯片的发展趋势与技术特点，将成为系统级设计的主流方式；
- 2) 集成光电子芯片规模的扩大，亟需设计自动化水平和设计层次的提升，需要加强集成设计环境、工艺平台以及关键功能模块的联系；
- 3) 集成光电子芯片性能和集成度要求的不断提高，机器学习赋能的器件及芯片级逆向设计优化算法显示了极大的优越性；
- 4) 面向光电子和微电子融合发展需求，需要开发“光-电-热-量子”一体化的光电子器件多物理场、多级仿真求解器，实现 TCAD 仿真、射频仿真、光场仿真的无缝连接，进一步建立光电器件的紧凑模型，探索光电子和微电子的联合仿真。

3. 发展建议：

光电芯片设计 EDA 在最近一年成为热点，科研单位和高校拥有部分核心算法，但缺少工程和商业能力，光电芯片仿真设计的生态及标准建设方面仍未有进展。

标准方面：建议着眼于未来的光电一体化设计，制定器件模型，PDK，网表格式，版图数据接口，物理验证规则等标准

生态方面：建议相关部门提供专项资金，打造自主知识产权光电芯片仿真设计平台。同时鼓励 foundry 制造厂提供国产软件的配套工艺文件，鼓励设计者采用国产 EDA 在过程 foundry 投片。

专题 4：光电子集成芯片封装与测试

撰稿人：肖希（国家信息光电子创新中心）、王建伟（苏州旭创研究院）

1. 专题简介：

随着智能化时代的到来，为适应大数据、云计算和 5G 应用发展的需求，更高密度光电集成，特别是基于硅基的光电子集成技术发展趋势正逐步在业界形成共识。与会专家围绕光电子芯片封装与测试中涉及的关键技术和相关产品的市场需求等进行了最新成果介绍和面对面技术交流。在前沿技术机构，硅基晶圆级自动检测和芯片分选技术已逐渐成熟并进入实用；针对规模化产品制造的多种光耦合技术，比如端面直接耦合和通过微透镜的耦合等均已研究成熟并进入产品化应用；先进的 3D 打印光子联结技术，光电合封（CPO）及其涉及的 2.5D/3D 集成技术正在进入应用开发和研究阶段，为适应新一代高密度先进光电子集成产品需求的光电协同设计也正在提上议事日程。在产业部门，先进集成封装和测试技术正在不断增加规模，越来越多的光电集成产品，特别是越来越多的硅基光电子产品正在进入市场；同时，产业界对新兴的光电子集成技术的发展保持着很高的兴趣，十分关注高密度高速光模块从可插拔向光电共封装发展的这一新趋势。

2. 主要观点：

- 1) 通过多路并行、波分复用、信号调制格式等技术是解决大容量数据网络容量扩充的必然趋势，而光电芯片混合或单片集成和器件封装则是实现这一目标的保障；
- 2) 更高速率、更高带宽的 RF 互连，更高精度、更高效率的光互连，以及高密度集成高功率条件下的高效散热技术等已成为光电子器件封装中的共性及关键技术；
- 3) 硅基光电子的主要优势在于与 CMOS 工艺兼容，能够实现规模集成和得到高的成品率，光电协同设计将成为基于硅基的光电共封装技术的必然趋势，硅基多材料异质集成是实现具有更先进功能光电共封装的工艺发展方向；
- 4) 工艺技术层面，TSV、TGV、多层高密度互连基板、凸点制备等技术是 2.5D/3D 集成技术中的关键技术，为硅光引擎以及 ASIC 与光引擎的高效互连提供了工艺解决方案。

3. 发展建议：

- 1) 基础研究需要大力开展关于光电子芯片和器件集成封测等方面的原创性科研工作；
- 2) 应用领域的各企事业单位应尽早提供明确的产品形态和发展方向，实现引领效应，助力我国光电子领域的大跨步发展，占领行业制高点，实现“弯道超车”；
- 3) 加强创新链与产业链的对接和衔接，协同研发，突破光电子器件封装中的共性及关键技术，快速形成从基础研究到产业化的中试试验验证能力，分析解决多学科、多领域相互交织集成所带来的热、应力等光电子器件集成封装中影响可靠性的问题；
- 4) CPO 光电芯片的共融封装是可以预见的高速光电芯片集成趋势，需要国内研究所、高校和企业等多方协作和创新开拓，其成功应用将为信息光电子集成技术发展开创一个崭新的未来。

专题 5：光通信与数据中心应用

撰稿人：王会涛（中兴通讯股份有限公司）、李俊杰（中国电信）

1. 专题简介：

本专题从应用角度出发，围绕 5G、云网、数据中心等光电子器件的热点场景，探讨光电子器件的发展趋势。发言嘉宾均来自于运营商，设备商，互联网厂商国内外代表性企业。内容全面涵盖网络和系统需求，接口标准、光电子器件关键技术，未来发展展望等方面。

本专题共计包括 10 份报告，其中 4 份报告重点讲述运营商在 5G 网络中不同的前传/承载方案对光模块应用的需求，以及最新的标准化进展情况；1 份报告讲述网络开发解耦对光电子器件的影响；2 份报告从数据中心网络的角度讲述了互联网厂家在光电子器件的新技术引入、选型应用、互联互通规范化等方面的实践；3 份报告讲述了光电子器件在具体应用场景下的所涉及的关键技术研究和产业化进展。专题各报告内容紧贴主题，既有广度又有深度，为与会人员提供了很有价值的参考。

2. 主要观点：

- 1) 光模块在光通信和数据中心的应用将高速增长，5G 前传和承载、数据中心等相关应用需求将引领光模块技术持续创新发展，非气密封装、单波 100G、非制冷 EML 等新技术将率先在数据中心应用，进而在传统数据通信及电信领域推广；
- 2) 光网络将从封闭走向开放，传送与控制分离，软硬件解耦、设备与模块解耦。在互联网厂家的推动下，数据中心光互联网络的开放将进一步加快，网络将更加透明、开放；
- 3) 光模块深度标准化，新型的可调谐、BiDi 等模块即插即用自动配置，多厂家的互联互通是未来的主流，BAT 等互联网厂家在 ODCC 框架下，推动 DCFP2 模块的管理寄存器进行标准化，促使创新功能的兼容互通；
- 4) 相干光通信技术是未来高速光通信的主流技术，将从骨干网下沉至城域、接入以及数据中心内部。成本和功耗是最大瓶颈，采用普通激光器同源相干结合光层信号处理等新技术有望进一步降低成本和功耗；
- 5) 随着交换容量和互联带宽的提升，未来短距光互连将由可插拔光模块向 CPO 逐步演进。

3. 发展建议：

本专题即是聚焦于光通信与数据中心的产业应用。由于光电子行业应用范围较广，建议将应用领域进行细分，除了当前的高速传输、数据中心外，对光计算、雷达、6G 等新兴应用展开专题研讨。

基础研究方面，建议按照材料体系或器件类型进行分类，探索不同材料在不同应用中的能力极限和优化手段。

应用研究方面，建议加速产学研协同，实现关键核心光电子器件的国产化，例如可调谐激光器、相干 DSP，等等。

专题 6: 新型光通信芯片

撰稿人: 陈伟 (中科院半导体研究所)、迟楠 (复旦大学)

1. 专题简介:

本专题围绕空间光通信需求,包括可见光通信和空间激光通信。一共有 6 篇特邀报告,包括高速可见光通信器件和关键系统应用(张俊文,复旦大学)、硅衬底氮化镓可见光 LED 进展及其调制性能研究(张建立,南昌大学)、无处不在的 LED 来助力 6G 通信(陈雄斌,中国科学院半导体所)、面向下一代卫星激光通信的光子集成电路技术(汪伟,中国科学院西安光机所)、光通信用高速半导体激光器及探测器芯片(王任凡,武汉敏芯半导体股份有限公司)、空间光通信技术发展与挑战(张靓、范峰,北京遥测技术研究所)。主要报告内容有可见光通信系统的应用场景解析、技术发展趋势分析;激光器、探测器产业化需求情况介绍、高速激光器技术路线;空间激光器通信国内外现状和发展趋势;国内光子集成技术在空间激光通信领域的应用情况。

2. 主要观点:

- 1) 空间光通信是未来 6G 网络发展的重要技术路线之一,相比于微波通信,由于其频带不受限制,带宽拓展潜力巨大,具有更大的想象空间,开始逐步纳入通信行业标准体系;
- 2) 空间激光通信是未来的确定发展方向,国内外已完成了多次星载实验,正朝着实用化方向发展,我国在此领域积极布局,有望在十四五期间抢占技术制高点;
- 3) 硅光集成是光通信的确定发展方向,在空间光通信领域已经完成了预研阶段的研究,正在向工程样机迈进,基于硅光技术,未来有望实现超小型化,高速率的激光通信终端。

3. 发展建议:

空间光通信相比于光纤通信,对光器件提出了更高的技术要求,尤其是系统灵敏指标方面,需要一个数量级以上的提升,对器件的研制提出了更高的要求,未来基础研究需要重点关注调制器消光比和探测器低噪声特性、超高收发隔离度器件和模块、灵活载荷速率的超高速激光通信芯片和实现技术,超轻量低功耗的高速集成数字空间相干光通信芯片模块等。产业布局方面,空间光通信更依赖上游特定速率配套的激光器驱动芯片和 DSP 芯片的支持。

专题 7：智能光计算

撰稿人：董晓文（华为技术有限公司）、沈亦晨（上海曦智科技有限公司）

1. 专题简介：

本专题的主题是最近几年比较火热的光计算课题。专题的内容有对光计算的原理以及发展趋势的综述介绍；也有包括了光计算未来的发展趋势，应用场景的分析；也有对光机算架构中的芯片系统和空间系统架构的案例分析。

本专题一共包括 9 份报告，其中第 1 份报告是对光计算的综述，重点讲述光计算当前发展的趋势，技术难点，发展方向以及未来挑战。1 份报告讲述微波光子伊辛机的原理和实现，以及对特定优化问题求解的加速效果验证；2 份报告与衍射神经网络有关，包括衍射神经网络的制备，以及类衍射神经网络训练的应用场景和方法，对 OAM 操作的相关仿真实现。2 份报告讲述了成像系统与光计算的结合，包括单像素成像的智能化识别，以及现有智能电成像系统的智能化方式和趋势。2 偏报告重点讲述光电子器件在光计算系统的应用，以及所涉及的关键技术研究。另外有 1 篇报告讲述了表面等离子激元构建光子逻辑门的方法和相关仿真结果。专题各报告内容紧贴主题，既有广度又有深度，为与会人员提供了很有价值的参考。

2. 主要观点：

- 1) 光计算近些年来的发展，是基于应用市场对于算力和能耗的要求提出的一种潜在的优化方案。现有数字计算在 AI 领域的能效比在 2Tops/W 左右，预计未来会达到 10Tops/W。光计算在一些特定的计算场景中，对比现有的数字计算是具有数量级的优势，但是结合整个系统来看，未来提升光计算系统的能效比是关键。目前光计算的研究依然处于相对比较初期的方案，各种解决方案和系统架构依然在探索之中，任何新思路和新方向都是值得肯定和借鉴的；
- 2) 从技术和应用的结果角度看，光计算技术路径大体可以分模拟和数字两类，当前主流研究方向为模拟光计算。功能上看，当前光计算研究主要面向乘加器，优化求解加速以及 AI 三个功能方向。实现路径上来看，主要有空间光系统和片上光系统两种。但两种实现路径都有自身问题，空间系统高并行度但低操作频率（2KHz）以及体积较大，片上系统操作频率上限高（GHz 以上），但存在系统规模（当前有源器件集成仍在单芯片<5000 的规模上）受限的问题；
- 3) 光计算对相关光电子器件利用目前还比较初级，主要是相位和振幅两个维度，如何利用 OAM, 偏振以及模式等光的其他特性，来提高光计算系统性能是值得研究的课题；
- 4) 根据目前的研究成果来看，光计算只能作为通用计算的一种补充，但是在特定场景上是有巨大优势的。如何更好地将光计算融合到现有的通用计算中，并且更好的将光计算芯片化，集成化，是未来研究的方向。

3. 发展建议:

本专题即是聚焦于光计算相关的关键技术。由于光计算方向处于研究的初期阶段，是一个跨学科和跨领域的综合学科，建议将光计算涉及到的电器件，光电混合集成方法，新材料，以及新器件一同纳入到讨论中来。外围电器件主要包括 driver 和 TIA，当前 driver 和 TIA 主要针对通信系统设计，而光计算需要的大规模集成，要做到更低功耗的 driver 和 TIA，以及单路速率 GHZ 左右即可满足需求。

基础研究方面，建议针对光计算的特点和需求，探索不同与光通信场景的新材料和电器件，以及包括外围驱动电路。

应用研究方面，建议加速产学研协同，实现光计算的早日商业化和产业化。

专题 8：多维光存储

撰稿人：张启明（上海理工大学）、李向平（暨南大学）

1. 专题简介：

本专题以大数据光存储应用为牵引，围绕产业发展和技术前景等热点，追踪领域内基础研究国际最前沿，探讨光信息存储技术的阶段进展和发展趋势。发言嘉宾有来自于光信息存储的知名企业与国内顶级高校。内容全面涵盖超分辨光信息存储、多维光信息存储关键技术，未来发展展望等方面。

本专题涵盖应用需求和前沿技术两个有机部分，共计收到来自华录、华中科大、吉林大学、上海理工大学、福建师范大学、暨南大学等在内的 9 份报告，其中 1 份报告重点讲述光存储产业特别在冷数据备份发展前景和下一代工业界对光存储技术发展的展望；3 份报告汇报了远场超分辨光信息存储技术的前沿进展；3 份报告讲述基于玻璃材料为基础的多维光信息存储技术及产业化发展；2 份报告讲述了基于纳米等离子体材料的多维光信息存储技术的进展。专题各报告内容紧贴主题，既有广度又有深度，为与会人员提供了很有价值的参考。


2. 主要观点：

- 1) 十四五规划对大数据与产业链提出了整体的规划。特别提出了加快数字发展，建设数字中国，打造数字新经济。同时也指出来产业链的重要性，需要深入实施制造强国战略，提升产业链供应链现代化水平；
- 2) 无论是云存储，还是软件定义存储，数据最终会落在存储介质上，因此存储介质是关键。光存储技术是自主可控的存储技术，结合冷数据存储需求（70%的数据都是冷数据），大力发展光存储技术，在中国有巨大的市场和产业前景；
- 3) 目前蓝光存储技术的技术路线理论可能达到单盘 2TB 的容量，但超越 2TB 容量的下一代存储技术需要发展超分辨技术、全息技术、多维技术；
- 4) 利用超分辨技术实现的光存储技术可以突破衍射极限，实现纳米级的存储比特尺寸，理论上可以实现 700TB 的单盘容量；
- 5) 利用多维技术实现的光存储在存储寿命（>1000 年）、读取速度（>10 MB/s）上具有重要的优势。

3. 发展建议：

本专题即是聚焦于光存储的产业前景与技术前沿探讨。其中光存储在冷数据备份存储方面具有重大技术优势，正逐渐在国内大数据中心内推广，产生示范应用，目前国内已经产生 10 多个蓝光光盘数据存储示范应用。

基础研究方面，在下一代的光存储技术中我国已经积累了相关技术人才的优势，上



第二届光电子集成芯片立强论坛 暨硅光技术与应用研讨会

2021年5月 | 重庆

述前沿技术路线的领军人才分布在国内各大院校，为大规模发展未来光存储技术奠定了充分的人才储备和技术基础。

应用研究方面，建议加速产学研协同发展，加快在下一代光存储技术上的战略布局，推进新一代超过 2TB 容量的光存储器件的技术成熟化和国产化，例如超过 2TB 光盘、速度大于 100MB/s 的驱动器、1000PB 级别的光盘库等。

专题 9：微波光子集成

撰稿人：潘时龙（南京航空航天大学）、李王哲（中科院空天信息创新研究院）

1. 专题简介：

本专题面向集成微波光子器件与芯片，兼顾微波光子系统集成化过程中遇到的工程技术问题以及前沿科研热点，围绕器件封装与测试、信号产生、信号处理、信号探测等方面的关键技术和底层工作原理开展探讨。

本专题共包含 8 个来自高校、科研院所和工业界的特邀报告以及 1 篇会议投稿，报告内容涵盖微波光子信号产生、处理、探测以及器件测试、芯片封装等多方面，其中，44 所孙力军研究员和信及公司李冰博士从工程技术的角度探讨集成微波光子封装与测试面临的紧迫问题，并提出了相应的解决方案；华科董建绩教授、暨南大学张杰君教授和北理工张伟锋教授分享了各自在集成微波光子处理器方面的工作，展示了基于可重构硅光芯片和基于非厄密系统的信号处理成果；南航李昂教授的报告侧重于微波光子信号探测与分析，采用波分复用型频谱分析技术，实现了高性能近红外光谱分析芯片和实时微波频谱分析芯片；重庆大学韦玮教授展示了基于石墨烯材料的高性能中红外传感器、红外探测器、高速调制器等；北邮桂丽丽教授则提出采用新型材料和物理效应实现高性能集成微波光子器件的思路，并介绍了基于超构表面的一系列微波光子传感器件和信号处理器件等。

2. 主要观点：

- 1) 到会专家一致认为微波光子已全面迈进集成化，一大批高性能功能器件或芯片已经问世，比如超 10GHz 调节范围的可调微波光子滤波器、超低相噪可调集成光电振荡器 ($<100\text{dBc}/\text{Hz}@10\text{kHz}$)、10ns 级可调集成延迟器、125GHz 集成脉冲整形器、多种可编程微波光子信号处理器等。但这些芯片要走向应用仍面临较多的工程问题，如热光效应功耗太大 (P_{π} 在数十 mW 量级)、响应速度过慢 (数十到数百微妙)、电光调制器插损过大 ($>10\text{dB}$) 且调制效率较低 ($V_{\pi}L_{\pi} > 2\text{V} \cdot \text{mm}$)、难以实现大规模芯片可靠性测试等，需要科研人员高度重视；
- 2) 针对上述部分问题，目前已探索出一些新型解决方案，如采用 PT 对称结构可缩短加热器与波导距离，从而实现低功耗 (mW 量级)、高速 (亚微妙级) 热调；采用铌酸锂与硅基混合集成高速调制器，可大幅降低插入损耗并提升带宽至 100GHz 以上；采用等离子高速调制器结构可提高调制效率若干个数量级至 $1\text{V} \cdot \mu\text{m}$ ；
- 3) 目前集成微波光子应用场景仍集中于国防军工领域，缺少在民口方向的规模应用；
- 4) 多位老师的工作均采用硅基光子芯片实现集成微波光子器件或系统，体现了硅光在集成微波光子领域的良好前景。但不足之处在于缺少低相噪片上激光器 ($\text{RIN}<145\text{dBc}/\text{Hz}$)、低功耗器件高速调控机理 ($P_{\pi}<1\text{mW}$ 、响应速度 $<100\text{ns}$) 等；

5) 新型材料与硅光平台的结合（如二维材料、相变材料、铌酸锂）在集成微波光子系统中具有重要科学意义和应用前景，但规模化、低成本加工仍面临较大问题。

3. 发展建议：

本次专题探讨了集成微波光子技术的科研热点以及工程技术方面的问题和解决路径。集成微波光子学在功能器件开发上已取得全面进展，实现了超 10GHz 调节范围的微波光子滤波器、125GHz 带宽的集成脉冲整形器、10ns 级调谐速度的可调集成延迟器、多种可编程微波光子信号处理器等。

不足之处在于：学术研究与工程难题未能协同，针对工程技术难题开展的研究仍然不足（如如何大幅降低硅光器件热调功耗与响应时间、大幅降低电光调制器半波电压、插入损耗等）；对新材料、新物理、新理论等方面的基础研究仍需加强。

在产业应用方面，目前集成微波光子仍主要面向国防、军工等应用，在民口方面的应用仍需探索，一部分原因及工程技术难题未能在科研阶段得到充分关注和解决，比如过高的功耗极大的限制了集成微波光子器件和系统的应用场景，动辄几十瓦甚至上百瓦的热光调制功耗在某些领域已被“宣判死刑”。

专题 10: 激光雷达芯片

撰稿人：曾理（华为技术有限公司）、潘教青（中科院半导体研究所）

1. 专题简介：

本专题面向固态化激光雷达，围绕激光器、扫描器、探测器和传感集成芯片，探讨激光雷达光电集成芯片的关键技术，受邀的发言嘉宾分别来自高校和企业代表，展示了各种最新研究成果，精彩报告也引发听众积极提问，专题会场研讨热烈。

本专题共计包括 9 个报告。报告 1 和 2 分别从硅基波导和 GaAs 纳米结构光学扫描天线方案介绍了激光雷达相控阵，并报道了很好的实验结果，部分指标达到国际领先水平。基于调频连续波（FMCW）的激光雷达是未来高性能固态激光雷达潜在方向，而窄线宽高线性调频激光器是其中核心光电器件之一。报告 3 至 6 介绍了面向激光雷达应用的激光器，包括直调、注入锁定、外调等技术方案，并针对激光雷达探测需求所关注的窄线宽和高线性度指标、低发散角，提出各自观点。报告 7 至 9 则介绍激光雷达的接收机，其中报告 7 探讨新型高增益的 APD 结构，并对比不同倍增材料的性能，报告 8 介绍业界单光子面阵探测器研究进展以及实现自主可控的 SPAD 探测器技术，报告 9 则介绍基于 CMOS 工艺的 ToF 图像传感器芯片的关键技术。专题各报告内容均面向固态化激光雷达核心芯片研究，并具有一定代表性，展示芯片研究关键技术和发展趋势，为参会人员提供高价值的技术参考。

2. 主要观点：

- 1) 光学相控阵激光雷达是一种有潜力，但技术挑战很大的固态激光雷达。目前基于硅基波导相控阵是主要研究的技术方向，但依然存在降低波导插损，抑制旁瓣影响，降低发散角和大阵列波导工艺一致性等技术难题。采用纳米结构的光学相控阵天线也是新兴技术方向之一。同时相控阵的扫描控制驱动芯片也是关键技术之一；
- 2) 传统激光器存在光束发散角大，光斑形状不对称，影响光束能量分布和空间分辨率。通过引入光子带隙结构（PBG）调控光模式，可实现光束整形，达到高亮度光源目的；
- 3) 面向 FMCW 应用的窄线宽高线性激光器是固态激光雷达关键器件，针对窄线宽的主要技术路线有集成外腔结构，例如光栅外腔、集成片上微环外腔等，而实际线宽又受到外部应力、腔内噪声和驱动电路低频噪声影响而展宽。高线性是实现高信噪比探测信号解调的关键指标，需要对激光器驱动提供闭环控制或者线性失真的预补偿；
- 4) 通过新结构（吸收/倍增层）创新和新材料（InAlAs 等）探索，实现高增益、低暗电流的 APD 芯片；
- 5) 大规模面阵探测器有利于实现高空间分辨率成像雷达，主要可分为基于 i-ToF 的 CIS 面阵探测器和基于 d-ToF 的 SPAD 面阵探测器。面阵探测器集成了微光学透镜阵列、感光像素阵列、阵列化的读出电路和信号处理单元。通过 3D 集成封装技术，最终可

第二届光电子集成芯片立强论坛 暨硅光技术与应用研讨会

2021年5月 | 重庆

实现感存算一体化的智能光电感知系统，是未来潜在的高性能激光雷达传感器关键芯片之一。

3. 发展建议：

本专题探讨面向固态激光雷达应用的核心光电集成芯片技术。激光雷达是自动驾驶汽车的核心传感器，未来市场值得期待，结合自动驾驶应用，针对远距离探测、大视场覆盖、高分辨率成像、固态低成本等需求，依然存在许多技术挑战，建议在高亮度窄线宽激光器、光学扫描/光天线和高灵敏度接收机等光电芯片上，加强新材料、新结构方案、新光电集成技术等基础研究和创新，加强知识产权布局，实现车载核心零部件的国产化和自主可控。

专题 11：光量子器件及芯片

撰稿人：王剑威（北京大学）、何琼毅（北京大学）

1. 专题简介：

本专题围绕光量子芯片的不同材料体系、量子光源和单光子探测器、量子纠缠态的制备与量子操控，及其在量子密钥分发和量子计算中的应用等出发，探讨光量子器件及其芯片的发展趋势。发言嘉宾均来自于国内光量子芯片领域的专家学者。


本专题共计包括 10 份报告，其中 3 份报告重点介绍目前主流的光量子芯片材料体系，包括硅、铌酸锂和二氧化硅等；3 份报告讨论核心光量子器件及其功能模块，包括量子纠缠光源、多光子源和单光子探测器等；2 份报告讨论基于光子芯片的量子密钥分发和量子网络实验进展及其发展趋势；2 份报告讲述了基于光量子芯片的量子计算和量子模拟的实验进展。专题各报告内容紧贴主题，既有广度又有深度，为与会人员提供了很有价值的参考。

2. 主要观点：

- 1) 光量子芯片利用半导体微纳制造技术加工大规模集成的高性能量子器件，实现片上光量子态的高效制备、操控和探测，是实现量子密码、量子计算和量子模拟的重要途径。目前该领域存在的主要技术问题包括：如何实现高亮度、高纯度、高效率、规模化可集成性等关键指标同时满足的集成单光子源，如何实现低损耗、可编程、高保真度的大规模集成量子光路，如何实现高速度、高效率的集成型单光子探测器阵列等；
- 2) 芯片集成化是量子密码技术走向实际应用的关键，实现低成本、高性能是其关键技术指标。专用型光量子计算技术已获得了重要突破，例如九章玻色采样型光量子计算机已展现出远优于经典计算机的计算能力。研究芯片集成化的专用型光量子计算机、可编程量子计算芯片是主要发展趋势。片上模拟复杂化学和物理问题是光量子计算和量子模拟的重要应用；
- 3) 集成光量子信息技术可以使光量子信息系统实现更简便和稳定，是实现大规模光量子信息系统的核心。目前光量子信息技术能够支持的系统规模依然有限，如何发展新机制、新原理和新方法提升光量子信息功能集成的规模是光量子信息应用发展的迫切要求。

3. 发展建议：

本专题即是聚焦于光量子芯片的材料、器件、物理和应用，属于量子信息和集成光子学的新型交叉领域。建议推进关键光量子功能器件和芯片技术的自主研发，包括量子



第二届光电子集成芯片立强论坛 暨硅光技术与应用研讨会

2021年5月 | 重庆

纠缠光源、超导纳米线单光子探测器 and 大规模集成光量子芯片等。建议重点研究片上复杂光量子纠缠态的制备和量子调控技术。建议发展量子密钥分发终端光量子芯片和基于量子纠缠分发网络的量子芯片。建议重点发展专用型、通用可编程型光量子计算芯片和量子模拟芯片。

第二届光电子集成电路立强论坛 暨硅光技术与应用研讨会

2021年5月 | 重庆

审查专家（音序）：

安俊明	胡胜磊	祁志美	王 宇	张杰君
熬 立	焦述铭	强晓刚	韦 玮	张静宇
白 冰	金贤敏	任希锋	吴冰冰	张俊文
蔡鑫伦	孔月婵	阮 昊	吴南健	张 凯
蔡 艳	兰 胜	沙 威	夏金松	张利剑
曹国威	雷述宇	沈世奎	谢长生	张 亮
曹良才	李 昂	时尧成	谢臻达	张 靓
曹耀宇	李 冰	史 强	熊永华	张 林
岑启壮	李方超	宋俊峰	徐飞虎	张敏明
陈明华	李良川	苏晓龙	徐 平	张尚剑
陈岐岱	李 明	孙崇磊	徐 毅	张峭峰
陈雄斌	李 涛	孙建锋	许鹏飞	张伟锋
陈云天	李志华	孙力军	薛晓晓	张冶金
程 东	梁 伟	谭德志	杨 林	张 永
程 鹰	林 泉	田永辉	杨 妍	张忠祥
程振洲	刘丰满	佟存柱	姚晓天	张子邦
储 涛	刘会田	汪 伟	俞泽杰	赵复生
崔大健	刘 进	王斌浩	恽斌峰	赵彦立
董建绩	刘马良	王春晖	张宝顺	赵毅强
董晓文	陆 睿	王 栋	张 博	周林杰
冯勇华	罗 勇	王光全	张德朝	周晓祺
傅焰峰	吕名扬	王 皓	张 玏	周治平
甘棕松	马小松	王 健	张 华	朱樟明
关 培	宁永强	王 磊	张继军	朱振华
桂丽丽	彭 超	王任凡	张建军	邹卫文
何建军	祁 楠	王 霆	张建立	邹喜华
贺志学				