

# Research on High-Performance Passive Optoelectronic Materials and Devices

Yuanda Wu<sup>1</sup>, Yue Wang<sup>2</sup>, Zhiyong Li<sup>2</sup>, Yi Jiang<sup>3</sup>, Beiju Huang<sup>2</sup>, Qin Chen<sup>4</sup>, Jiashun Zhang<sup>2</sup>, Lei Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Henan Shijia Photons Technology Co., Ltd., Hebi Henan

<sup>2</sup>Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing

<sup>3</sup>Accelink Technologies Co., Ltd., Wuhan Hubei

<sup>4</sup>Suzhou Institute of Nano-Tech and Nano-Bionics, Chinese Academy of Sciences, Suzhou Jiangsu

Email: wuyuanda@semi.ac.cn

Received: Aug. 27<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 13<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 16<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Geared to the urgent needs of strategic high-performance passive optoelectronic materials and devices in the constructions of China's Internet+, cloud computing data center and super computer, the paper proposes that it needs to take mastering novel Si-based passive optoelectronic materials and devices with independent intellectual property rights as the goal, and take complex multi-function integrated chip technology as the traction, and strive to solve the key technologies, such as the design and fabrication of low-loss cross-cycle large-range wavelength tunable filter and material, double-effect mutual-coupling enhancement mechanism of SiGe heteroepitaxy material in the electro-optic composite waveguide, electro-optic conversion efficiency and energy consumption of ultrahigh-speed modulator, low-temperature deposition technology of top-layer waveguide in multi-function integrated multilayer optical cross connector, design and fabrication of high-efficiency coupling and isolation of multilayer optical waveguide, principle, technology and industrialization of Si-based ultrasmall low-loss thermal-insensitive passive multiplexer, the integration of grating coupler, filter, and microelectronic device, and the realizations of temperature-control-on-chip and wavelength automatic locking algorithm. Through the technical research, it is expected to make breakthrough in key technologies of a batch of Si-based optoelectronic core chips, provide effective support to the development of information industry and the national security, and serve national strategic requirements of intelligent information technology, advanced semiconductor manufacturing technology, and new generation large-scale integrated circuit.

## Keywords

Tunable Filter, High-Speed Modulator, Optical Cross Connector, Passive Multiplexer, Grating Coupler, Temperature-Control Filter

---

# 高性能无源光电子材料与器件研究

吴远大<sup>1</sup>, 王 玥<sup>2</sup>, 李智勇<sup>2</sup>, 江 毅<sup>3</sup>, 黄北举<sup>2</sup>, 陈 沁<sup>4</sup>, 张家顺<sup>2</sup>, 张 磊<sup>2</sup>

<sup>1</sup>河南仕佳光子科技股份有限公司, 河南 鹤壁

<sup>2</sup>中国科学院半导体研究所, 北京

<sup>3</sup>武汉光迅科技股份有限公司, 湖北 武汉

<sup>4</sup>中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 江苏 苏州

Email: wuyuanda@semi.ac.cn

收稿日期: 2016年8月27日; 录用日期: 2016年9月13日; 发布日期: 2016年9月16日

## 摘 要

面向我国互联网+、云计算数据中心及超级计算机建设中战略性高性能无源光电子材料与器件的迫切需求, 本文提出要以掌握自主知识产权的新型硅基无源材料及器件为目标, 以复杂多功能集成芯片技术为牵引, 着力解决低损耗、跨周期大范围波长可调谐滤波器设计与材料制备; 电光复合波导中锗硅异质外延材料双效应互耦合增强机理, 极高速率调制器电光转换效率、能耗; 多功能集成多层光交叉连接器顶层波导低温沉积技术、多层光波导高效耦合和隔离设计及制备; 硅基超小型、低损耗、热不敏感无源合波器原理、工艺及产业化; 光栅耦合器、滤波器和微电子器件的融合, 片上温控及波长自动锁定算法及实现等关键技术。通过技术攻关, 有望突破一批硅基光电子核心芯片关键技术, 对信息产业发展和国家安全保障提供有效地支撑, 服务于国家在智能化信息技术、先进半导体制造技术、新一代大规模集成电路等方面的战略需求。

## 关键词

可调谐滤波器, 高速调制器, 光交叉连接器, 无源合波器, 光栅耦合器, 温控滤波器

## 1. 研究目的

21 世纪第二个十年以来, 世界各国为了促进经济发展, 打造新的信息环境, 提出了建设新的高速宽带网络的计划。国务院将物联网、云计算、下一代宽带网、下一代移动互联网、三网融合等新一代信息技术定位为 2020 年国民经济的四大支柱产业之一。

互联网和智能终端的快速应用使全球数据量爆发式增长, 极大地推动了以高速路由器、高性能超算中心(HPC)和数据中心市场的发展, 高速率、高密度、低功耗的高性能无源光电子材料及器件是支撑其发展的基础。

国外对于硅基无源光电子器件开展了深入的研究, 可调滤波器方面, 美国高通公司于 2015 年提出了一种利用微机电系统(MEMS)来调节微环谐振器的谐振波长的方法, 其最大优势是无静态功耗[1]。调制器方面, 2014 年, 卡尔鲁厄理工学院的 Luca Alloatti 等人设计验证的硅有机物混合(SOH)调制器 3dB 带宽达 100 GHz [2]。多层交叉连接器方面, 美国 UC Davis 分校和 UC Santa Barbara 分校、Sandia 国家实验室与新加坡微电子研究所(IME)都先后展开了低损耗、低串扰的层间光连接器的理论分析与实验研究[3]-[5]。2015 年 UC Davis 分校在  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$  平台上, 实现了 0.05 dB 耦合损耗的垂直耦合结构[6]。合波器方面, 阵列波导光栅(AWG)、刻蚀衍射光栅(EDG)及微环方法均有报道, 但 AWG 可实现更多的通道数

合波, 新加坡 IME 报道了中心波长热可调的 8 通道硅纳米线 AWG [7]。光栅耦合器方面, 2013 年 IME 研制了耦合效率分别为 70.8% (1550 nm)和 63% (1310 nm)的单偏振光栅耦合器及偏振分离光栅耦合器[8] [9]。微环温度控制器方面, 哥伦比亚大学、甲骨文实验室、圣地亚国家实验室通过抖动信号、平衡零拍探测、结合外围电路等方案实现了宽工作温度范围的滤波器。Yu Li 等人在 2015 年通过在绝缘层上硅(SOI)微环上注入  $\text{BF}_2$  离子制作基于缺陷态的光电探测器用于监测微环中光功率, 结合外部电路完成对微环器件的温度反馈控制, 实现在 14 度温度范围内的稳定工作[10]。Intel、IBM 及 Luxtra 等公司已实现多波长 100 Gb/s 硅光子集成芯片。

国内多家高校及研究机构也在积极开展硅基无源光电子器件研究, 研制出 4 通道可调谐光滤波器和 3 dB 带宽大于 50 GHz 的可调滤波器; 研制出最高调制速率为 70 Gb/s 硅基调制器; 研制出 45 通道硅纳米线 AWG 芯片; 在互补金属氧化物半导体(CMOS)集成电路芯片表面开展了光子层的生长和器件制作, 实现氮化硅波导光栅耦合器等无源光电子器件[11]。国内主要以分离硅光子芯片为主, 集成芯片研究基础较薄弱。

因此, 面向我国互联网+、云计算数据中心及超级计算机建设中战略性高性能无源光电子材料与器件的迫切需求, 务必以掌握自主知识产权的新型硅基无源材料及器件为目标, 以复杂多功能集成芯片技术为牵引, 着力解决低损耗、跨周期大范围波长可调谐滤波器设计与材料制备; 电光复合波导中锗硅异质外延材料双效应互耦合增强机理, 极高速率调制器电光转换效率、能耗; 多功能集成多层光交叉连接器顶层波导低温沉积技术、多层光波导高效耦合和隔离设计及制备; 硅基超小型、低损耗、热不敏感无源合波器原理、工艺及产业化; 光栅耦合器、滤波器和微电子器件的融合, 片上温控及波长自动锁定算法及实现等关键技术。

## 2. 研究意义

通过高性能无源光电子材料与器件的研究, 有望在自主知识产权的新型硅基无源光电子材料及芯片关键技术取得突破, 系统掌握低损耗、跨周期大范围波长可调谐滤波器设计与材料制备; 电光复合波导中锗硅异质外延材料双效应互耦合增强机理, 极高速率调制器电光转换效率、能耗; 多功能集成多层光交叉连接器顶层波导低温沉积技术、多层光波导高效耦合和隔离设计及制备; 硅基超小型、低损耗、热不敏感合波器原理、工艺及产业化; 光栅耦合器、滤波器和微电子器件的融合, 片上温控及波长自动锁定算法及实现等关键技术。确立可调滤波器、高速调制器、三维光交叉连接器、无源合波器、光栅耦合器、温控滤波器材料制备、器件设计及制备工艺, 获得一批无源光器件基础原理设计、原型器件及产业应用示范产品。通过在硅晶圆上生长 CMOS 兼容的多系化合物光学材料, 研制出更小、更快、损耗更低的光子器件, 而且能实现三维光学耦合、交叉、传输和信道切换等功能, 推进新一代宽带光互连的数据传输容量指数增长、完成光通信技术的代际更新。

## 3. 社会影响力

大数据、云计算、物联网等是继“互联网”之后的新一代信息通信技术, 相关新兴技术成果在十三五期间将进入应用阶段, 亟待硬件技术的巨大提升, 迫切需要更高速率、更低功耗、更大集成度的硬件基础。研制和开发多路并行集成的光电子功能芯片, 单路数据传输能力达到 100 Gbit/s 以上, 可以有效满足从信息网络、传感系统、数据处理芯片等多层次、多领域的应用要求。开展信息光电子功能器件、集成芯片和应用模块的国际合作研究, 符合国家工业经济升级战略规划定位, 属于国家中长期科技发展纲要支持的重点领域。

随着信息技术的飞速发展, 硅基高速光电子器件在光传输网络中占有重要的地位, 根据 Ovum 报告

预测, 2019年基于硅基光电子元件(相位/强度调制器、合波器/分波器等)的100G光收发模块市场规模可以达到87亿美金, 其中短距离(<1 km)应用市场容量约10亿美金, 达到3百万条链路, 而且以每年1千万条链路增长; 中距离(1 km~40 km)应用市场容量约27亿美金; 长距离(>40 km)应用市场容量达到40亿美金。此外, 根据BCC Research数据, 光子集成产品市场在未来三年里的年复合增长率超过35%, 除光纤通信市场外, 在传感、光学信号处理、生物光子学领域的应用也会达到相当规模。因此, 本研究内容紧扣光通信、传感和生物光子等市场需求, 预期研究成果不仅有良好的产业化前景, 而且有利于极大地促进我国硅基光电子材料与器件技术发展, 提升我国硅基光电子芯片的核心竞争力, 在高端光电子器件市场上打破国外供应商垄断、加强国内通信设施基础设施建设, 其战略意义与社会效益巨大。

预期研究成果将使新建互联网数据处理中心和超级计算机多核芯片间提速100~1000倍、能源消耗减少70%、占用空间减少一半并能持续微缩化, 经济成本低于现有水平10%, 这将引发高性能计算机、光通信骨干网络、大容量传输系统、分布式数据存储中心、智能信息交换平台等领域的技术创新, 促成经济模式、工业模式和安全模式的巨大变革, 有望对信息产业发展和国家安全保障提供有效地支撑, 服务于国家在智能化信息技术、先进半导体制造技术、新一代大规模集成电路等方面的战略需求。

## 基金项目

国家重点研发计划项目(2016YFB0402500和2016YFB0402504)。

## 参考文献 (References)

- [1] Errando-Herranz, C., Niklaus, F., Stemme, G. and Gylfason, K.B. (2015) A MEMS Tunable Photonic Ring Resonator with Small Footprint and Large Free Spectral Range. 2015 18th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS), Anchorage, 1001-1004.
- [2] Palmer, R., Alloatti, L., Korn, D., et al. (2013) Low Power Mach-Zehnder Modulator in Silicon-Organic Hybrid Technology. *IEEE Photonics Technology Letters*, **25**, 1226-1229. <http://dx.doi.org/10.1109/LPT.2013.2260858>
- [3] Jones, A.M., DeRose, C.T., Lentine, A.L., Trotter, D.C., Starbuck, A.L. and Norwood, R.A. (2013) Ultra-Low Crosstalk, CMOS Compatible Waveguide Crossings for Densely Integrated Photonic Interconnection Networks. *Optics Express*, **21**, 12002-12013. <http://dx.doi.org/10.1364/OE.21.012002>
- [4] Huang, Y., Tu, X.G., Lim, A.E.-J., Song, J.F., Liow, T.-Y. and Lo, G.-Q. (2015) Ultra-Low Loss CMOS Compatible Multi-Layer Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-on-SOI Platform for 1310nm Wavelength. OFC, Paper W4A.5.
- [5] Ben Yoo, S.J. (2016) 2D and 3D Heterogeneous Photonic Integrated Circuits. OFC, Paper Th1C.5.
- [6] Shang, K.P., Pathak, S., Liu, G.Y. and Yoo, S.J.B. (2015) Ultra-Low Loss Vertical Optical Couplers for 3D Photonic Integrated Circuits. OFC, Paper Th1F.6.
- [7] Yang, Y., Hu, X.N., Song, J.F., Fang, Q., Yu, M.B., Tu, X.G. and Lo, G.-Q. (2015) Thermo-Optically Tunable Silicon AWG with Above 600 GHz Channel Tunability. *IEEE Photonics Technology Letters*, **27**, 2351-2354. <http://dx.doi.org/10.1109/LPT.2015.2464073>
- [8] Li, C., Zhang, H., Yu, M. and Lo, G. (2013) CMOS-Compatible High Efficiency Double-Etched Apodized Waveguide Grating Coupler. *Optics Express*, **21**, 21588-21594. <http://dx.doi.org/10.1364/OE.21.007868>
- [9] Shi, R.Z., Guan, H., Novack, A., Streshinsky, M., Lim, A.E.-J., Lo, G.-Q., Baehr-Jones, T. and Hochberg, M. (2014) High-Efficiency Grating Couplers Near 1310 nm Fabricated by 248-nm DUV Lithography. *IEEE Photonics Technology Letters*, **26**, 1569-1572. <http://dx.doi.org/10.1109/LPT.2014.2329326>
- [10] Li, Y. and Poon, A.W. (2015) Active Resonance Wavelength Stabilization for Silicon Microring Resonators with an In-Resonator Defect-State-Absorption-Based Photodetector. *Optics Express*, **23**, 360-372. <http://dx.doi.org/10.1364/OE.23.000360>
- [11] Zhang, Z., Huang, B.J., Zhang, X., Zhang, Z.Y., Cheng, C.T., Mao, X.R., Liu, S.J. and Chen, H.D. (2015) Monolithic Integration of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Microring Filters with Bulk CMOS IC through Post-Backend Process. *IEEE Photonics Technology Letters*, **27**, 1543-1546. <http://dx.doi.org/10.1109/LPT.2015.2429677>

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>