

集成热光和电光调节功能的硅基 16x16 无阻塞光交换芯片

周林杰[†], 陆梁军, 赵硕义, 李祖湘, 李东, 陈建平

区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室

上海交通大学

[†] 通讯作者. E-mail: lizhou@sjtu.edu.cn

下一代光通信的发展急需提高光通信系统传输容量和全光信号处理能力。集成化是光通信发展的必然趋势, 它可以有效降低系统的复杂度和功耗。光开关是光交换节点信号处理中的核心器件之一, 它可以实现光信号从多个源端口到多个目标端口的灵活连接。在全光开关中, 光信号不需要经过光-电-光转换, 因而大幅度减小了光交换系统的体积、成本和功耗。我们课题组最近采用 MZI 和微环实现了无阻塞硅基光开关芯片^[1-4]。最新实现的 16×16 光开关芯片由 56 个 2×2 的 MZI 开关单元通过 Benes 网络结构连接构成, 芯片尺寸仅为 12.3×4.6 mm²。这是目前为止 GHz 响应速度下端口数目最大的硅基集成光开关芯片。

图 1 展示了该 16×16 光开关芯片结构, 共包含了 56 个 2×2 MZI 开关单元、112 个多模干涉器、112 个微加热器、56 个 PIN 二极管、88 个波导交叉结、224 个 1:10 功分器以及 32 个光栅耦合器。在 Benes 拓扑结构中, 每个路由路径均通过 7 级单元开关, 因而能保证输出光具有较均衡的能量。Benes 结构具备可重构无阻塞特性, 在所有无阻塞结构中使用的开关单元数目最少, 因而基于该结构的光开关芯片更为紧凑。由于每个单元有 2 个状态, 因而 56 个开关单元总共包含 2⁵⁶ 个状态, 其中 16! ≈ 2.1×10¹³ 种状态是实现无阻塞交换所必需的。插图 2×2 MZI 开关单元结构, 它在 MZI 的一个干涉臂上集成了横向 PIN 二极管, 可以实现高速开关切换, 速度可达 GHz。原理上一个开关单元只需要一个 PIN 二极管就足够调节了, 然而工艺制备总会带来各种结构尺寸误差, 引起 MZI 干涉臂间的相位偏移。为了纠正这种相位误差, 每个 MZI 开关单元中均集成了一对基于 TiN 金属的微加热器, 放置于 MZI 干涉波导的顶部。该微型加热器具有较大的折射率调节范围, 调节时不会引入额外的波导损耗, 因而适用于更正波导相位误差。

图 2(a)展示了我们制备的 16×16 光开关芯片。所有的输入和输出波导均连接光栅耦合器, 放置于芯片中间, 用于方便和光纤阵列耦合。所有热光和电光引线焊盘均放置于芯片边缘, 方便和印刷电路板做引线键合。芯片尺寸为 12.1mm×4.6mm。图 2(b)为封装后的光开关芯片照片。印刷电路板与微型同轴电缆线相连, 用于加载 GHz 驱动电信号。

图 3 给出了该 16×16 光开关芯片的初步测试结果。当所有 MZI 开关单元做完相位纠正后, 光开关处于全交叉状态。我们测试了所有输入到输出的传输频谱, 图 3 中每个子图均包含了 16 条谱线, 代表从 16 个输入到 1 个输出端口的传输频谱。从测试频谱可以读出, 该芯片的片上插入损耗

在 1550 nm 波长附近为 7 dB，串扰小于-30dB。相位误差纠正后，该芯片可利用高速电光调节电极进行快速光交换。由于自由载流子吸收效应，MZI 在电调时其串扰会有恶化。实验测试表明，光开关在全平行状态时，插入损耗为 15dB，串扰为-12dB。

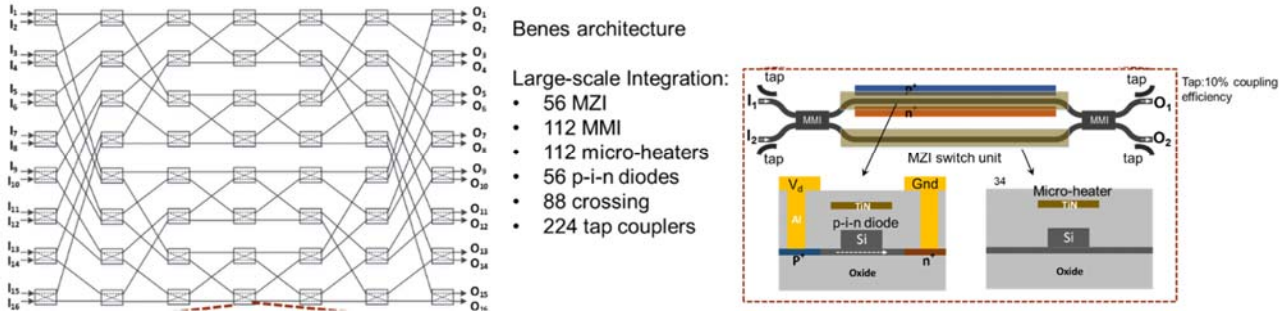


图 1 基于 Benes 结构的 16×16 光开关结构示意图

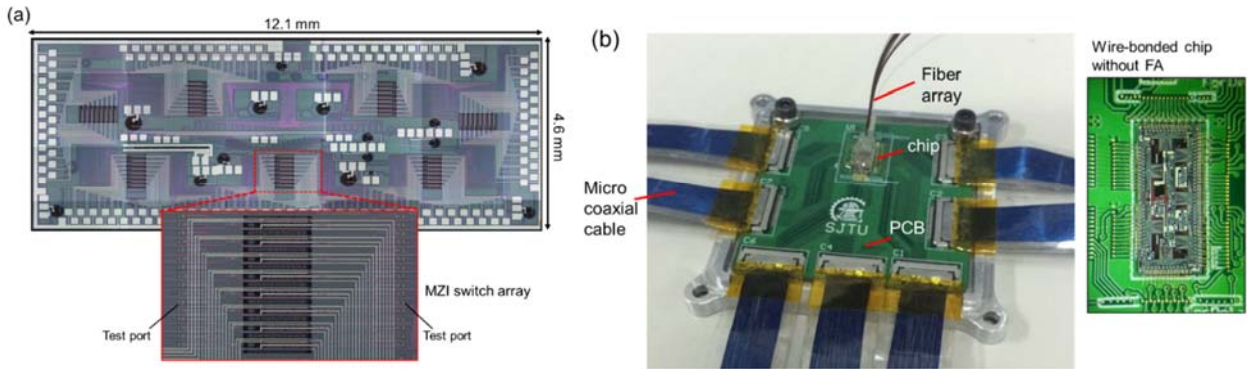


图 2 光开关实物照片：(a) 光开关芯片显微照片；(b) 封装后的光开关照片

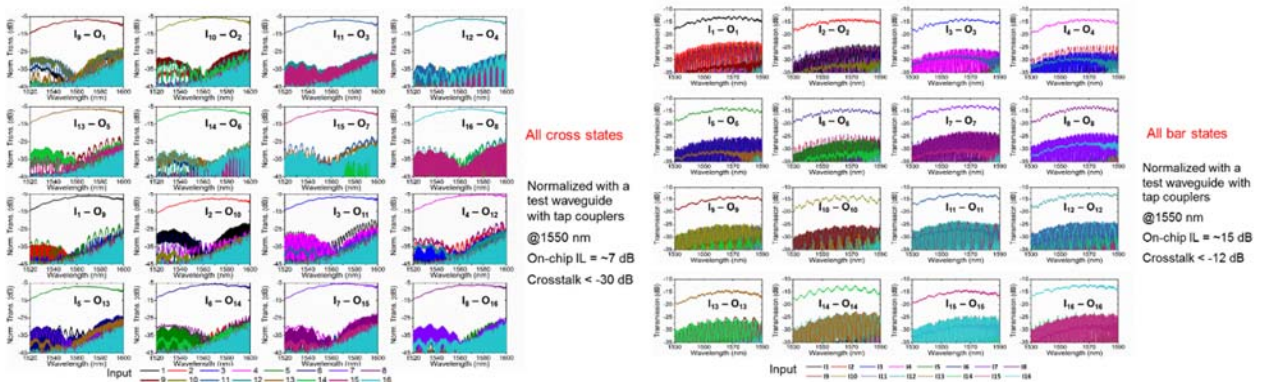


图 3 实验测试光开关传输频谱（左图：全交叉状态；右图：全平行状态）

参考文献

[1]. L. Lu, L. Zhou, S. Li, Z. Li, X. Li, and J. Chen, "4× 4 non-blocking silicon thermo-optic switches based on multimode interferometers," J. Lightwave Technol. **33**, 857-864 (2015).

- [2]. L. Lu, L. Zhou, Z. Li, D. Li, S. Zhao, X. Li, and J. Chen, "4×4 Silicon Optical Switch based on Double-Ring Assisted Mach-Zehnder Interferometers," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **27**, 2457-2460 (2015).
- [3]. L. Lu, L. Zhou, X. Li, and J. Chen, "Low-power 2× 2 silicon electro-optic switches based on double-ring assisted Mach-Zehnder interferometers," *Opt. Lett.* **39**, 1633-1636 (2014).
- [4]. L. Lu, L. Zhou, Z. Li, X. Li, and J. Chen, "Broadband 4× 4 non-blocking silicon electro-optic switches based on Mach-Zehnder interferometers," *IEEE Photon. J.* **7**, 7800108 (2015).