

# 高可靠性 $16 \times 16$ SOI 热光开关阵列\*

李运涛<sup>†</sup> 余金中 李智勇 陈少武

(中国科学院半导体研究所 集成光电子学国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 在分析加热器对热光开关阵列可靠性影响的基础上, 提出了一种新的热光开关阵列控制和驱动电路. 分析表明, 在假设加热器失效率为 5% 的情况下, 新控制和驱动电路可以使  $16 \times 16$  SOI 热光开关阵列的可靠性从 34.99% 提高到 92.30%. 同时, 采用引入控制信号预处理模式, 使封装后的热光开关阵列控制端口数从 34 个减少到 10 个. 在采用新的控制和驱动电路基础上, 研制出高可靠性的  $16 \times 16$  SOI 热光开关阵列.

**关键词:** 热光开关阵列; 控制和驱动电路; 可靠性

EEACC: 4130; 4140; 4270

中图分类号: TN491

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2007)S0-0513-03

## 1 引言

光开关提供各通道和器件之间信息交换, 是光交叉连接(OXC)和光上下路复用器(OADM)的关键器件. 以  $\text{SiO}_2$  和 SOI 材料为代表的波导型热光开关因其速度快及工艺成熟的优势越来越受到关注<sup>[1~3]</sup>. 然而, 随着光开关阵列规模的日益扩大, 光开关的可靠性问题日益成为影响其实用化的主要因素. 提高光开关可靠性的方法有很多, 包括设计新的光开关阵列结构, 使用先进工艺等. 本文中, 我们提出了一种全新的热光开关控制和驱动电路, 并在此基础上研制出高可靠性  $16 \times 16$  光开关阵列.

## 2 分析与设计

图 1 为一种阻塞型  $16 \times 16$  SOI 热光开关阵列及其基本开关单元的结构. 每个开关单元由两个多模干涉耦合器通过相移臂连接而构成. 其工作原理为: 一束光从端口 1 输入, 在经过第一个多模干涉耦合器(MMI Coupler)后, 光被分为能量相等的两束分别进入两个等长的调制臂, 调制臂为硅材料, 热光系数比较大. 如果在光传输通过两调制臂的过程中, 调制臂的温度不变, 那么在到达第 2 个多模干涉耦合器时, 两束具有相同特性的光将发生相长干涉, 干涉光由端口 4 输出. 通过加热器改变一个调制臂的温度, 则调制臂的折射率也会随之改变, 进而通过此调制臂的光相位发生变化. 如果通过控制温度使通

过一个调制臂的光恰好改变  $\pi$  相位, 那么在到达第二个多模干涉耦合器时, 两束光发生相消干涉, 干涉光由端口 3 输出. 当光由端口 2 输入时与此类似. 在光开关阵列的适当的开关单元上施加调制, 就可以控制光从开关阵列的不同端口输出.

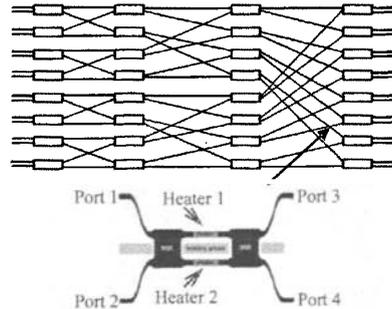


图 1  $16 \times 16$  SOI 热光开关阵列及其开关单元结构

Fig. 1 Structure of  $16 \times 16$  SOI thermo-optic switch matrix

传统的 SOI 热光开关单元驱动电路结构如图 2 所示. 驱动电路只驱动开关单元两个加热器中的一个, 另外一个用于补偿开关单元制作时的容差<sup>[4,5]</sup>. 然而随着制作工艺的改进, 工艺误差带来的影响越来越小, 此时另外一个加热器要么被闲置, 要么被另外一组控制系统所用. 对于图 1 所示的  $16 \times 16$  SOI 热光开关阵列, 总计需要 64 个电流驱动器. 所有的电流驱动器被分为两组, 分别由两个控制系统进行

\* 国家自然科学基金(批准号: 60336010, 60577044), 国家重点基础研究发展规划(批准号: G2000-03-66, 2006CB302803)和国家高技术研究发展计划(批准号: 2002AA312060)资助项目

<sup>†</sup> 通信作者. Email: ytli@red.semi.ac.cn

2006-11-16 收到, 2006-12-08 定稿

控制.当第 1 组加热器中的任何一个被损毁,可以采用第 2 组来进行替代.其整个电路结构如图 3 所示.在这种情况下,可以算出器件的可靠性  $R$  与加热器损毁概率  $x$  之间的函数关系为  $R = 1 - [1 - (1 - x)^{32}]^2$ .

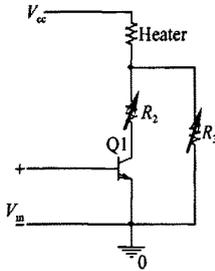


图 2 热光开关单元驱动电路

Fig.2 Schematic of conventional driving circuit for switch cell

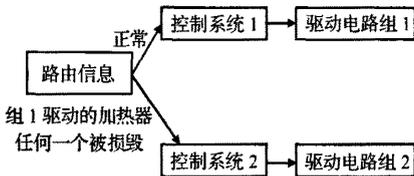


图 3 驱动系统结构图

Fig.3 Structure of driving system

图 3 所示控制和驱动电路的结构,每个加热器仅仅被一个控制系统所使用,也就是说,加热器 1 仅仅为控制系统 1 所用而和控制系统 2 无关.在这种情况下,如果一个开关单元的加热器 1 和另外一个开关单元的加热器 2(例如开关单元 1 的加热器 1 和开关单元 6 的加热器 2)同时损毁,那么整个器件就失效了.而且,随着热光开关阵列规模的不断扩大,这种失效是影响器件可靠性的关键因素<sup>[6]</sup>.

图 4 所示为一种全新的 SOI 热光开关单元驱动电路.电路在两个加热器的驱动中间引入了判决电路.该电路可以根据加热器 Heater1 一端电压的大小来判断该加热器是否被损毁.如果该加热器被损毁,则自动切换到替代的加热器 Heater2.在这种情况下,只有当一个开关单元的两个加热器同时损毁时器件才会失效.这时可以算出器件的可靠性与加热器损毁概率  $x$  之间的函数关系为  $R = (1 - x^2)^{32}$ .

图 5 为器件可靠性随着开关阵列规模以及加热器损毁概率的变化曲线.可以看到随着开关阵列规模的增大,开关单元数目的增加,开关阵列的可靠性都呈现明显的下降趋势.但是采用图 4 驱动电路的

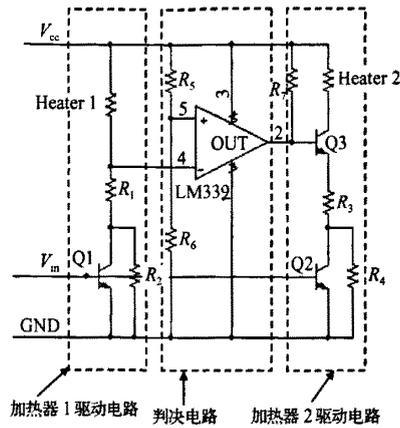


图 4 新的热光开关单元控制与驱动电路

Fig.4 Schematic of customized driving circuit for switch cell

器件下降速度明显小于采用传统驱动的器件.在假设加热器损毁概率分别为 1%,3%,5% 的情形下,采用传统驱动电路,器件的可靠性分别为 92.40%,85.70% 以及 34.99%,而采用新型驱动电路的器件可靠性则相应提高到 99.6%,97.1% 和 92.3%.

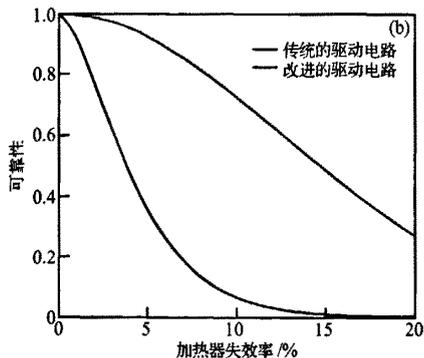
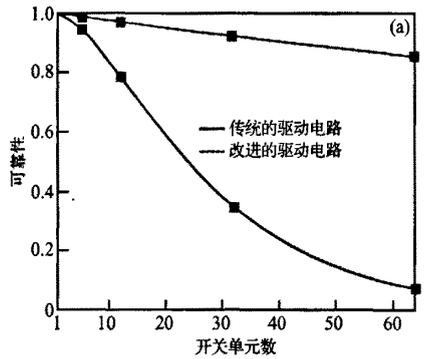


图 5 器件可靠性随开关阵列规模及加热器失效率变化曲线 Fig.5 Reliability along scale of switch matrix (a) and probability of heater destroyed (b)

### 3 高可靠性 $16 \times 16$ SOI 热光开关阵列设计

$16 \times 16$  SOI 热光开关阵列结构如图 1 所示,为了降低耦合损耗和插入损耗,器件在输入输出端波导采用了模斑转换器结构<sup>[7]</sup>.脊形波导的高度以及刻蚀深度分别为  $4 \mu\text{m}$  和  $2 \mu\text{m}$ .顶层  $\text{SiO}_2$  包层厚度为  $70 \text{nm}$ ,采用 Cr/Au 合金为加热器.整个器件尺寸为  $2 \text{mm} \times 43 \text{mm}$ ,每个开关单元尺寸为  $0.02 \text{mm} \times 6 \text{mm}$ .

除了引出新的驱动电路以提高可靠性之外,还引入一个控制信号预处理电路来简化器件的封装.不引入预处理电路的情形下,至少需要 32 个信号来控制所有开关单元的状态,加上电源信号与地信号,光开关阵列的控制端口数目将至少为 34 个.引入预处理电路,可以减少光开关阵列对外的输入输出端口数,而内部状态的确定由预处理电路来完成.设计中,我们对开关的所有可能的 256 种状态利用 8 位二进制编码来表示,而预处理电路负责把编码重新转化为每个开关单元的控制信号.这样,光开关阵列对外显示的输入输出端口数减少到 10 个,为封装提供了方便.

在输入波长  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$  的测试平台上对光开关阵列芯片的测试结果显示,该芯片开关功耗在  $200 \sim 230 \text{mW}$ ,消光比约为  $14 \sim 24 \text{dB}$ ,串扰约为  $13 \sim 33 \text{dB}$ ,开关速度为  $2.9 \mu\text{s}$ .

### 4 结论

本文提出了一种高可靠性  $16 \times 16$  SOI 热光开关阵列.应用新型的热光开关控制和驱动电路,在假设失效率 5% 的情况下,器件可靠性从 34.99% 提高到 92.30%.通过引入预处理电路,开关控制端口数目也大幅度减少,有利于开关的封装和测试.

#### 参考文献

- [1] Goh T, Yasu M, Hattori K, et al. Low loss and high extinction ratio strictly nonblocking  $16 \times 16$  thermo-optic matrix switch on 6-in wafer using silica-based planar lightwave circuit technology. *J Lightwave Technol*, 1998, 10: 371
- [2] Xia Jinsong, Yu Jinzhong, Wang Zhangtao, et al. Low power  $2 \times 2$  thermo-optic SOI waveguide switch fabricated by anisotropy chemical etching. *Opt Commun*, 2004, 232: 223
- [3] Lai Q, Hunziker W, Melchior H, et al. Low-power compact  $2 \times 2$  thermo-optic silica-on-silicon waveguide switch with fast response. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1998, 10: 681
- [4] Okuno M. Silica-based  $8 \times 8$  optical matrix switch integrating new switching units with large fabrication tolerance. *J Lightwave Technol*, 1999, 17(5): 771
- [5] Nagase R, Himeno A, Okuno M, et al. Silica-based  $8 \times 8$  optical matrix switch module with hybrid integrated driving circuits and its system application. *J Lightwave Technol*, 1994, 12(9): 1631
- [6] Li Yuntao, Chen Shaowu, Yu Jinzhong. An improved driving circuits for thermo-optical switch to improve the reliability of thermo-optical switch matrix. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2005, 28(1): 158
- [7] Li Yanping, Yu Jinzhong, Chen Shaowu. Rearrangeable non-blocking SOI waveguide thermo-optic  $4 \times 4$  switch matrix with low insertion loss and fast response. *IEEE PTL*, 2005, 17(8): 1641

## High-Reliability $16 \times 16$ SOI Thermo-Optic Switch Matrix\*

Li Yuntao<sup>†</sup>, Yu Jinzhong, Li Zhiyong, and Chen Shaowu

(Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A driving circuit is designed on the basis of analyzing of the influences of heaters on the reliability of  $16 \times 16$  SOI thermo-optic switch matrix. And the reliability of the device improves from 34.9% to 92.30%, assuming the probability of destroyed heaters is 5%. At the same time, the I/O ports after package decreases from 34 to 10. Based on the new driving circuit, a high-reliability  $16 \times 16$  SOI thermo-optic switch matrix is designed.

**Key words:** thermo-optic switch matrix; driving circuit; reliability

EEACC: 4130; 4140; 4270

Article ID: 0253-4177(2007)S0-0513-03

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 60336010, 60577044), the State Key Development Program for Basic Research of China (Nos. G2000-03-66, 2006CB302803), and the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2002AA312060)

† Corresponding author. Email: ytli@red.semi.ac.cn

Received 16 November 2006, revised manuscript received 8 December 2006