

A Review of $N \times N$ Optical Switch

Pengyuan Ni^{1,2}, Rikai Zhou², Liping Sun², Hongyong Ma², Qianggao Hu²

¹Wuhan Research Institute of Post and Telecommunications, Wuhan Hubei

²Accelink Technologies Co., Ltd., Wuhan Hubei

Email: pengyuan.ni@accelink.com

Received: Aug. 24th, 2015; accepted: Sep. 12th, 2015; published: Sep. 15th, 2015

Copyright © 2015 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

Optical switch, as one of the key technologies to realize all optical network, is widely used in OTN (optical transmission network) by various exchange principles and implementations. Different principles and techniques of optical switches have different characteristics for different occasions. In this paper, key technologies of $N \times N$ optical switches were reviewed, and each technology was analyzed and compared. Analysis and comparison results show that the applications of different principles of optical switch result in a big difference between scalability, switching time, insertion loss and other performance indicators!

Keywords

OTN, OXC, OADM, LC, LCOS, DLBS, MEMS, LOC, DMD, PLC

$N \times N$ 光开关综述

倪鹏远^{1,2}, 周日凯², 孙莉萍², 马洪勇², 胡强高²

¹武汉邮电科学研究院, 湖北 武汉

²武汉光迅科技股份有限公司, 湖北 武汉

Email: pengyuan.ni@accelink.com

收稿日期: 2015年8月24日; 录用日期: 2015年9月12日; 发布日期: 2015年9月15日

摘要

光开关是实现全光网络的核心技术之一, 在光传送网中各种不同交换原理和实现技术的光开关被广泛地

文章引用: 倪鹏远, 周日凯, 孙莉萍, 马洪勇, 胡强高. $N \times N$ 光开关综述[J]. 光电子, 2015, 5(3): 40-48.

<http://dx.doi.org/10.12677/oe.2015.53007>

应用。不同原理和技术的光开关具有不同的特性,适用于不同的场合。本文对实现 $N \times N$ 光开关的关键技术进行了综述,并对每一项技术进行了分析和对比!分析对比结果表明,由于各种光开关应用的原理不同,导致开关在拓展性、开关切换时间、插损等性能指标上存在较大的差异!

关键词

OTN, OXC, OADM, LC, LCOS, DLBS, MEMS, LOC, DMD, PLC

1. 引言

随着光纤通信技术的发展和密集波分复用(DWDM)系统的应用,在光波密集波分复用基础上组建全光传输网(OTN)是通信技术发展的必要。在全光网中,光分插复用器件(OADM)和光交叉连接(OXC)器件是不可缺少的网络节点设备,而光开关作为 OADM 和 OXC 的重要的组成部分显得尤为重要。

2. 实现 $N \times N$ 光开关的主要技术

人们对光开关的研究已经有二三十年的历史,由于人们对器件材料、器件工作原理、加工工艺等多方面认识和研究的不断进展,光开关的类型也呈现出多元化发展趋势[1]。

2.1. LC 光开关(LC: Liquid Crystal)

液晶有介于晶体与液体之间的分子排列,具有晶体固有的空间各向异性,使得液晶有电光效应(Electro Optic Effect),如图 1 所示。利用这一特性构成 LCLM(液晶光模块)加电情况下入射光经过液晶偏振态会发生改变[2]。

$N \times N$ 的液晶光开关,由输入输出保偏准直器阵列、LCLM(液晶光模块)阵列、路由元件和带反射镜的 $\lambda/4$ 平板组成,如图 2 所示。LCLM 阵列对光进行偏振态的改变,P 光和 S 光互换。路由元件利用分光元件对 S 光进行多次反射,而对 P 光直通,从而达到开关的功能。带反射镜的 $\lambda/4$ 平板进行 P 光和 S 光的互换,使得由反射镜入射和反射的光路径不同[3]。

2.2. DLBS 光开关(DLBS: Direct Light Beam Steering)

将光纤准直器直接控制在一个机械结构上,然后将其排列成一面准直器阵列,将两面准直器阵列组成相对而列,这样就构成了光开关矩阵,如图 3 所示。每一个准直器尾部与压电陶瓷相连,如图 4 所示。在进行交叉连接时控制需要连接两个光纤准直器,使其在同一条直线上,这样光信号就直接从一个准直器传人到另一个准直器里,而不需要经过任何微镜的反射,不会造成光信号的损耗。

实现光束直接控制技术的核心是固态驱动技术,利用压电陶瓷机电耦合效应特性,将电能转换成机械能,产生的位移来直接驱动准直器或者透镜的移动,改变光束的传输方向[4]。在相应的电极上施加电压,如图 5 所示。使压电陶瓷发生形变,从而改变准直器或者透镜的位置,与相对应的准直器组件进行直接的耦合!

2.3. MEMS 转镜光开关(MEMS: Micro Electro Mechanical System)

MEMS 光开关分为光路遮挡型、移动光纤对接型和微镜反射型。微镜反射型 MEMS 光开关方便集成和控制,易于组成光开关阵列,是 MEMS 光开关研究的重点,如图 6 所示。

MEMS 光开关工作原理:根据矩阵光学组成准直器阵列,将光打到 MEMS 阵列上,再通过热、静电等动力驱动,旋转微反射镜,将光直接送到或反射到输出端。以此改变光路的传输方向,起到“开”、

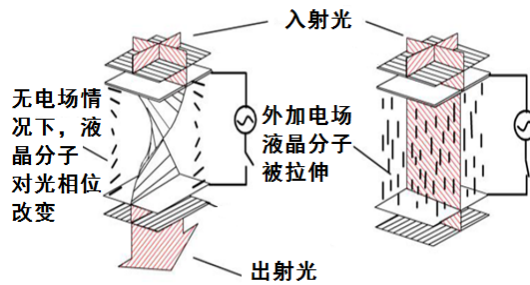


Figure 1. Electro-optic effect of LC
图 1. 液晶电光效应

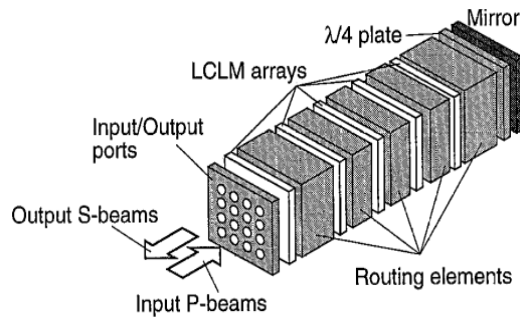


Figure 2. $N \times N$ LC optical switch
图 2. $N \times N$ 液晶光开关

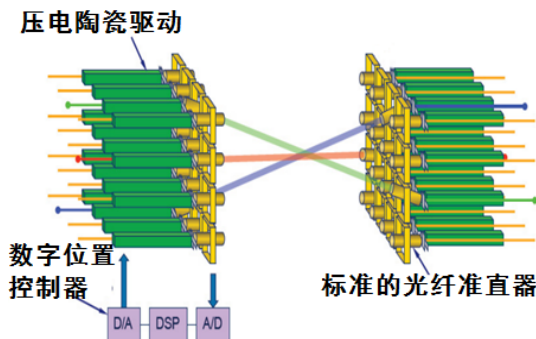


Figure 3. $N \times N$ DLBS optical switch
图 3. $N \times N$ DLBS 光开关

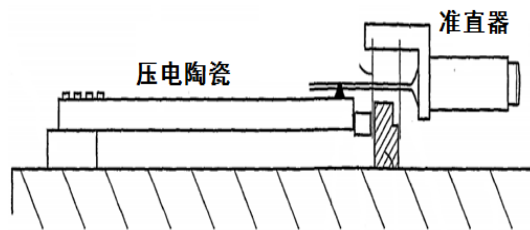


Figure 4. Piezoelectric control
图 4. 压电控制

“关”的功能。常见的驱动方式有扭臂驱动和静电梳齿驱动[5]。

上极板的上表面溅射金属做镜面，上极板两边由两对极细的扭臂支撑，下电极由四块形状为 1/4 圆形的单极板构成，如图 7 所示。当上、下极板有电势差存在并超过一定值后，在静电力的作用下上极板

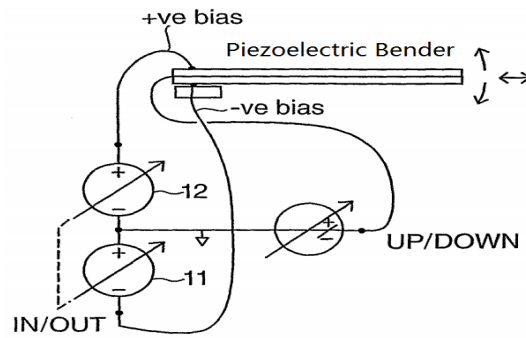


Figure 5. Principle of electric power
图 5. 加电原理

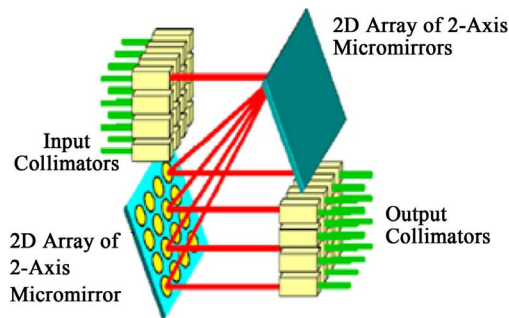


Figure 6. 3-D MEMS optical switch
图 6. 三维 MEMS 光开关

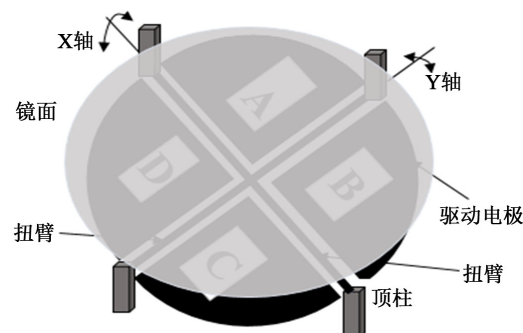


Figure 7. Torsional drive
图 7. 扭臂驱动

发生偏转，扭臂变形产生扭转力矩，当静电力矩和扭转力矩平衡后，上极板稳定在某一位置。对单极板 A、B 或者 C、D 施加电压后，微镜绕 X 轴偏转一定角度；对单极板 A、D 或者 B、C 施加电压后，微镜绕 Y 轴偏转一定角度。相邻单极板两两组施加不同电压，微镜就具有多种不同的偏转状态[6]。

在固定梳齿和可动梳齿之间加电，在交错的梳齿之间的静电力作用下，可动梳齿发生位移[7]。当弹性力与静电力平衡时，使镜平面发生形变并稳定，不通的偏置电压使镜面发生不同的偏转角度，如图 8 所示。

2.4. 锁定光耦合光开关(LOC: Latched Optical Coupling)

锁定光耦合光开关是在物理上连接两根光纤而不是通过反射镜，透镜，或准直器，在进行光路的连接或断开操作时，其内的高分辨率激光编码器可以准确地跟踪和控制每个连接器的位置[8]。通过控制器

控制上层移动手臂，利用爪钩移动上层光纤端运输板到指定的光纤耦合孔，再通过光纤松紧控制板的机械运动将光纤紧绷，如图 9 所示；同样利用下层爪钩将需要切换的下层光纤对应的下层光纤端运输板移动到同一光纤耦合孔中，完成光路的切换连接并锁定，如图 10 所示。

2.5. DMD 光开关(DMD: Digital Micromirror Device)

一个 DMD 芯片可被简单描述成为一个半导体光开关，每个 DMD 芯片是由成千上万个聚集在 CMOS 硅基片上倾斜的显微的、铝合金镜片组成[9]。每一镜片下方均设有类似铰链作用的转动装置，调节其方向与角度，如图 11 所示。

入射光通过透镜阵列，打到 DMD 芯片微镜镜面，相应的数字信号被写入 SRAM，寻址电机通过对每一个镜片下的存储单元以二进制平面信号进行寻址，被静电激活地址电极和轭板(YOKE)促使铰链装置转动使 DMD 阵列上的镜片倾斜，利用衍射效应将光反射[10]。输出透镜阵列和输出光纤阵列将对应的光耦合输出，完成光路的切换[11]，如图 12 所示。

2.6. LCOS 光开关(LCOS: Liquid Crystal on Silicon)

LCOS 阵列光开关有输入光路，波长选择光路和输出光路 3 部分组成[12]。渐变折射率光纤通过透镜将光打到光栅上，利用衍射光栅将入射光分成不同的波长成分，如图 13 所示。通过控制加载在 LCOS 液晶单元上的电压，可以调节特定的反射光的相位，两个 LCOS 芯片阵列来控制反射光的反射方向。通过输出端 LCOS 芯片，各种不同波长信号，再由输出端光栅和渐变折射率光纤输出[13]。

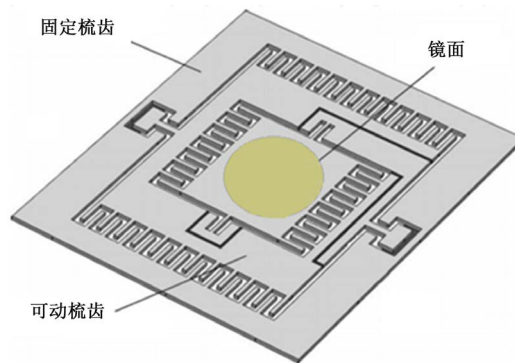


Figure 8. Comb-finger drive

图 8. 梳齿驱动

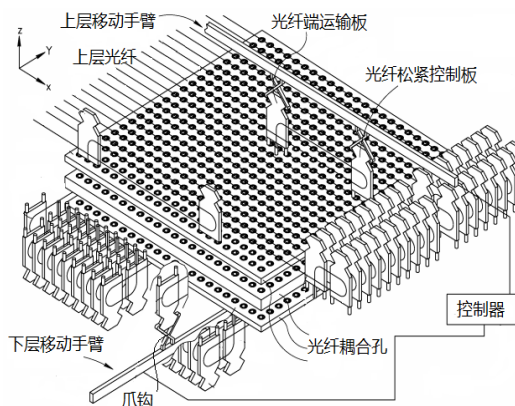


Figure 9. $N \times N$ LOC optical switch

图 9. $N \times N$ 锁定光耦合光开关

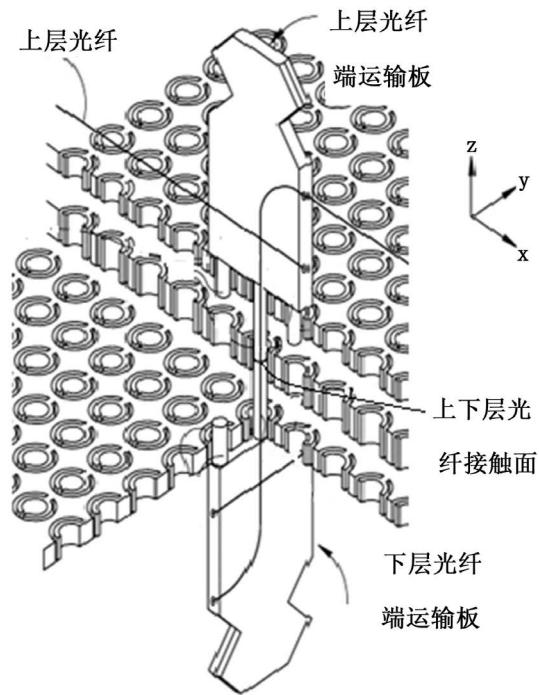


Figure 10. Upper and lower fiber coupling
图 10. 上下层光纤耦合

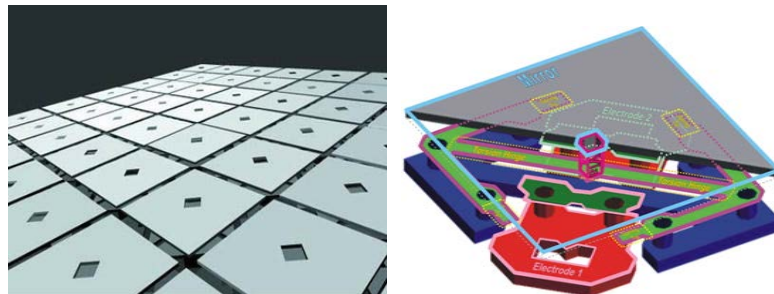


Figure 11. DMD chips
图 11. DMD 芯片

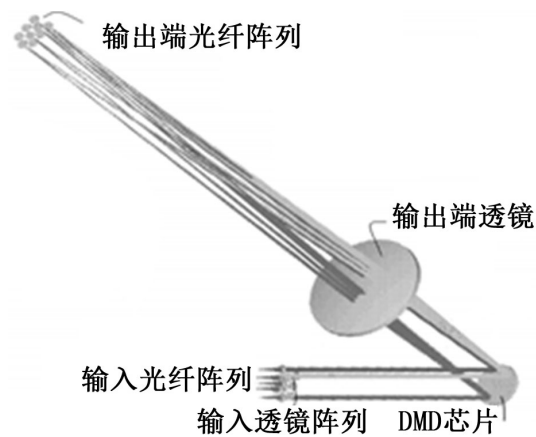


Figure 12. $N \times N$ DMD optical switch
图 12. $N \times N$ DMD 开关

2.7. PLC 光开关(PLC: Planar Lightwave Circuit)

PLC 光开关利用波导进行光的传递,通过改变波导的折射率来改变光路,从而实现光路的切换[14]。按 PLC 涉及的技术可以分为以下几类。

MZI(Mach-Zehnder interferometer)型光开关,结构单元如图 14 所示。通过向加热器中注入电流或利用热光效应改变波导的折射率,使光程相应变化以达到相干增强或相消,实现开关功能。

Y 波导光开关,结构单元如图 15 所示。对 Y 分支的一个臂加热,改变波导的折射率,从而阻断光通过此臂,由另外一个臂输出,实现开关选路功能。

Bubble 反射型光开关,由交叉的波导和位于每个交叉点的微型管道组成,微型管道填充一种与波导折射率匹配的液体,结构单元如图 16 所示。当有入射光照入并要求交换时,热敏硅片会在液体中产生一个气泡,气泡将光从入射波导全反射至输出波导,当气泡消失时,光直线通过[15]。

3. 光开关主要性能的比较

由表 1 和图 17 可以清楚的发现, MEMS 转镜光开关采用光纤阵列与透镜阵列构成准直器阵列,具有很高的拓展性,成千上万的镜面控制是制约开关集成度的关键; DMD 光开关利用独特的机械驱动,使

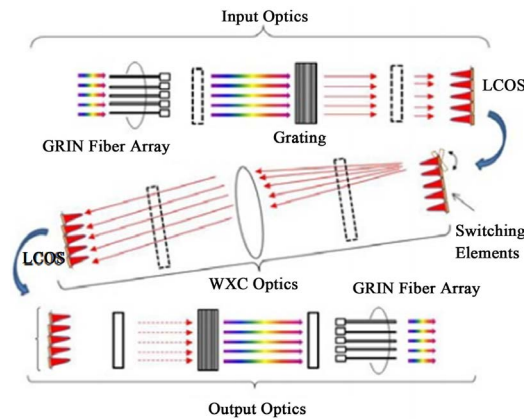


Figure 13. N × N LCOS optical switch
图 13. N × N LCOS 光开关

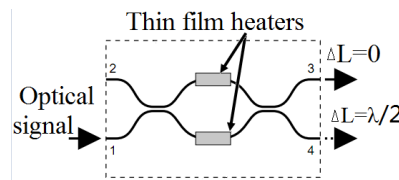


Figure 14. MZI switching unit
图 14. MZI 开关单元

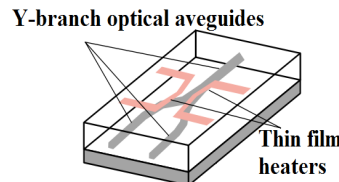


Figure 15. Y-waveguide
图 15. Y 波导开关单元

得微镜面转动极快，因而开光响应速度快。但是利用衍射效应反射光线存在较大的串扰，限制了系统的集成度；LOC 光开关将上下光纤直接相连，插入损耗极小，掉电还可以保持连接。但是上下层运输板的机械运动时间长，导致开关切换时间长；PLC 光开关靠波导单元级联 $N \times N$ 的开关，因而集成度不高；DLBS 光开关，通过加电改变压电陶瓷的位移，由于位置量不大导致装置集成度不高；LC 和 LCOS 光开关，利用液晶的光电效应，响应时间长。

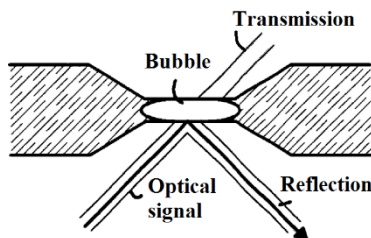


Figure 16. Bubble reflection
图 16. Bubble 反射开关单元

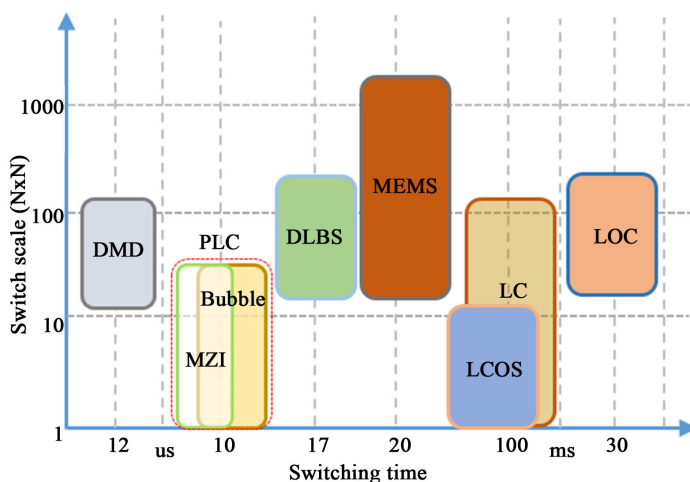


Figure 17. Switch scale and switching time of various optical switch devices
图 17. 各种开关装置拓展性和切换时间

Table 1. Various of optical switch devices performance
表 1. 各类开关性能

性能 \ 种类	MEMS	LC	LOC	DMD	DLBS	LCOS	PLC
拓展性	高	中	中	中	中	低	中
体积	小	中	大	小	大	中	中
插损	中	大	极小	小	小	大	小
回损	优	差	优	优	优	差	良
串扰	优	差	优	差	优	差	差
开关速度	快	慢	极慢	极快	快	慢	快
功耗	中	小	大	小	大	小	小
产品化应用	有 1296 × 1296	无	有 180 × 180	无	有 192 × 192	无	无

4. 总结

由于 $N \times N$ 的光开关具有高的拓展性和低插损等优点, 在全光网络中发挥着越来越重要的作用! 本文对各种 $N \times N$ 光开关的实现原理进行了详细的分析, 对比了不同开关的关键性能指标, 指出各种开关的优缺点, 对 $N \times N$ 光开关的研究和应用有很好的指导作用。

参考文献 (References)

- [1] 马慧莲 (2003) 光开关研究新进展. *光通信研究*, **3**, 51-55.
- [2] Nqguchi, K. (1997) Transparent optical crossbar switch using liquid-crystal optical light modulator arrays. *23rd European Conference on Optical Communications*, Edinburgh, 22-25 September 1997, 29-32.
- [3] Sakano, T., Kimura, K., Noguchi, K. and Naito, N. (1995) 256×256 turnover-type free-space multichannel optical switch based on polarization control using liquid-crystal spatial light modulators. *Applied Optics*, **34**, 2581-2589. <http://dx.doi.org/10.1364/AO.34.002581>
- [4] Polatis Ltd. (2001) Beam steering arrangements and optical switch. EP Patent No.1342123.
- [5] 周日凯 (2014) 一种二维微光机电系统 (MOEMS) 阵列光开关研究. 硕士论文, 华中科技大学, 武汉.
- [6] 王宝东 (2005) MEMS 光开关执行器——平行电容板结构的理论研究. 硕士论文, 北京邮电大学, 北京.
- [7] Wibool, P. and Zhen, Q. (2011) Optical MEMS. *IEICE Transactions on Electronics*, **9**, 1427-1434.
- [8] Fiber Zone Networks Ltd. (2008) Optical crossbar Switch technology. PCT Patent No WO/2010/103465.
- [9] Yoder, L., Duncan, W., Koontz, E.M., So, J., Bartlett, T., Lee, B., Sawyers, B., Powell, D.A. and Rancuret, P. (2001) DLP technology: Applications in optical networking. *Proceedings of SPIE*, **4457**, 54-61. <http://dx.doi.org/10.1117/12.447760>
- [10] Lynn, B.E., Blanche, P.-A., Miles, A., Wissinger, J. and LaComb, L.J. (2013) Design and preliminary implementation of an $N \times N$ diffractive all-optical fiber optic switch. *Journal of Lightwave Technology*, **31**, 4016-4021. <http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2013.2280431>
- [11] Arizona Board of Regents on Behalf of the University of Arizona (2013) Reconfigurable diffractive optical switch. US Patent No. 067716.
- [12] Uetsuka, H., Tachikura, M., Kawashima, H., Ikeda, K., Sorimoto, K., Tsuda, H., Sasaki, K. and Yamashita, Y. (2015) Densely packed $N \times N$ wavelength cross-connect switch module. *SPIE OPTO*, **93890C**, 1-7.
- [13] Sakurai, Y., Kawasugi, M., Hotta, Y., Khan, S., Oguri, H., Takeuchi, K., Michihata, S. and Uehara, N. (2011) LCOS-based 4×4 wavelength cross-connect switch for flexible channel management in ROADMs. *OFC/NFOEC, Paper OTuM4*, Los Angeles, 6-10 March 2011, 1-3. <http://dx.doi.org/10.1364/ofc.2011.otum4>
- [14] Lim, J.W., Kim, H.J., Kim, S.H., et al. (2006) Multi-chip integration on a PLC platform for 16×16 port optical switch using passive alignment technique. *Electronic Components and Technology Conference*, San Diego, May 30-June 2 2006, 1756-1760.
- [15] Maruno, T. (2003) Recent progress in optical switching device technologies in NTT. *NTT Technical Review*, **1**, 12-19.