

文章编号:1007-1180(2010)11-0018-07

# 全光网络中的波长选择器件

梁静秋

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 随着光通信技术的发展, 特别是光波分复用(WDM)技术的广泛应用, 光交叉连接技术(OXC)和光分插复用技术(OADM)受到了越来越多的关注。波长选择器件因具有对不同波长自由选取的功能而在以上两种技术中起到了十分重要的作用。本文介绍了目前研究的几种典型的波长选择器件, 对它们的特点进行了分析和比较。

**关键词:** 全光网络; 波长选择器件; 光开关; MEMS

**中图分类号:** TN915 **文献标识码:** A

**DOI:** 10.3788/OMEI 20102711.0018

## Wavelength Selectors in all Optical Networks

LIANG Jing-qiu

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** With the development of the optical communication, especially the wide application of wavelength division multiplexing (WDM) technology, optical cross connection (OXC) technology and optical add/drop multiplexing(OADM) technology have received more and more attention. Wavelength selection devices play an extremely important role because of their choice freedom of different wavelengths of function in above two kinds of technology. The present research of several typical wavelength selection devices is introduced in this paper, and their features are analyzed and compared.

**Keywords:** all optical networks; wavelength selector; optical switch; MEMS

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 60578036), 吉林省科技发展计划项目 (No.20080343)

## 1 引言

在全光网络 (AON) 各种设备器件中, 光交叉连接设备 (OXC) 和光分插复用 (OADM) 器件可以说是全光网络的核心器件。全光网络是通过若干节点交叉连接起来而形成的链状拓扑, OXC 器件是十分重要的节点装置, 通过它对光信号进行交叉连接, 能灵活有效地管理光纤传输网络, 实现可靠的网络保护/恢复以及自动配线和监控。OADM 器件位于多节点光纤通信网中间节点处, 其作用是下载 (Drop) 光通道中通往本地的信号, 同时上载 (Add) 本地用户发往其他节点用户的信号进入复用光通道。OADM 以波长为基本操作单位, 使用户可以方便地在节点处加载和下载信号, 它可以处理任何格式和速率的信号, 能提高网络的可靠性、降低节点成本、提高网络运行效率, 是组建全光网络必不可少的关键设备<sup>[1]</sup>。

随着波分系统的发展, 人们对系统灵活性的要求也越来越高, 而可重构的光分叉复用器 (ROADM) 是构建未来灵活、智能光网络的关键器件<sup>[2]</sup>。ROADM 的发展经历了固定 OADM 及光交叉互联 (OXC) 器件<sup>[3-4]</sup>, 波长阻塞器 (WB)<sup>[5]</sup>, 平面光波导型 ROADM<sup>[6]</sup>以及波长选择器件<sup>[7]</sup>等几个阶段。作为第三代 ROADM 器件, 波长选择器件具有任意端口波长任意上下的功能, 给光网络的灵活组网提供了必要的技术平台, 正逐渐得到应用<sup>[8-9]</sup>。

## 2 光波长选择器件

实现波长选择转换 (WSS) 主要有两种方法: (1) 基于自由空间光学和 MEMS 技术; (2) 基于平面光波回路 (PLC) 系统。基于自由空间光学和 MEMS (Micro electro mechanical systems) 技术的结构具有优异的光学性能, 但成本高, 而且生产组装工艺比较复杂。相比而言, 基于 PLC 系统的 WSS 采用集成工艺, 核心为集成光路器件, 组装简单, 但在光学性能方面不足, 表现在通道带宽、插入损耗、

偏振敏感和设备功耗等方面, 这些不足限制了其应用规模。基于 PLC 系统的 WSS 正在研究中, 目前还没有商用的产品, 由于这种结构采用固态器件代替 MEMS 实现光开关, 在可靠性方面将更好, 级联规模和插入损耗是这种结构的关注点<sup>[10]</sup>。基于自由空间光学和 MEMS 的波长选择器件引起了研究人员的极大关注, 是目前研究的一个热点方向。

### 2.1 基于声-光效应的波长选择器件

基于声光效应的各种声-光滤波器的原理如图 1 所示, 当一束复色光通过一个高频振动的具有光学弹性的晶体时, 某一波长的单色光将会在晶体内部产生衍射, 以一定角度从晶体中透射出来, 未发生衍射的复色光则沿原光线传播方向直接透射过晶体, 由此达到分光的目的。当晶体振动频率改变时, 可透射单色光的波长也相应改变, 由此可检测波长覆盖范围内的任意波长。

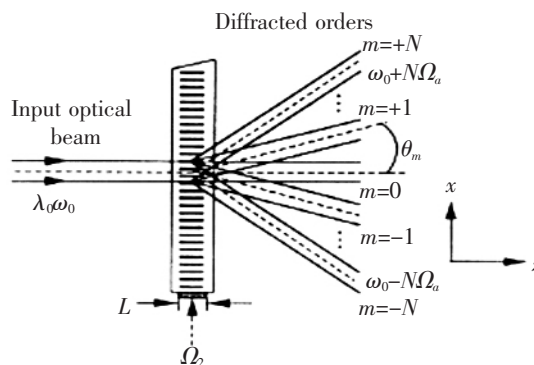


图 1 基于声光效应原理的波长选择器件示意图

声光可调滤光片 (AOTF) 是一种微型窄带可调滤光片, 出现于 20 世纪 60 年代末期。作为一种新型分光器件, AOTF 以声光作用原理达到分光目的。AOTF 作为一种全电子波长选择系统, 具有分辨率较高、无可动部件、波长调节快速、定位准确、体积小等特点。近年来, AOTF 在激光调制、传感器、拉曼光谱仪、荧光光谱仪和近红外光谱仪等领域得到了广泛的应用<sup>[11]</sup>。

由于在同时具有良好的压电、导声和导光性能的 LiNbO<sub>3</sub> 衬底上制作的平面波导集成声光波长选择器具有调谐范围宽、速度高以及非常宝贵的同步滤

波特特性, 因此倍受人们青睐, 前景十分诱人。但是, 增加集成度和减少射频驱动功率, 是目前面临的一个挑战<sup>[12]</sup>。

## 2.2 基于 Fabry-Perot 结构的波长选择器件

Fabry-Perot 标准具滤波器 (图 2) 是根据多光束干涉原理制成的, 通过调节标准具的厚度, 进而调节两相邻光的相位差来实现对某一特定波长的选择, 其它波长的光由于迅速衰减而无法出射, 从而达到选频的目的。Fabry-Perot 标准具滤波器具有高分辨滤波性能, 但对于驱动电路的波动和温度特别敏感。由一层循环楔形腔组成的机械滑行调谐滤波器具有许多优点, 如波长调谐范围宽、无极化现象、机械稳定性高等, 然而, 转换速度慢是实际应用的一个障碍<sup>[13]</sup>。

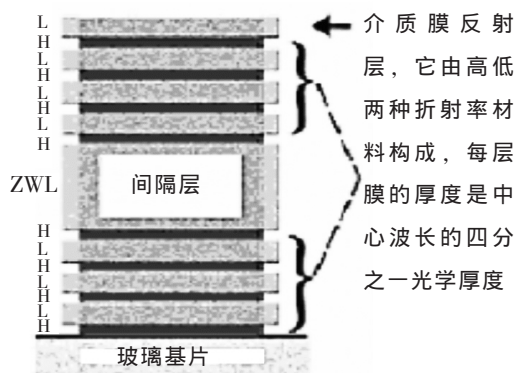


图2 F-P (Fabry-Perot) 型窄带滤光片的基本结构

上海交通大学在 2004 年提出快速可调谐波长选择光开关, 采用基于电光聚合物膜片实现电光调谐。图 3 表述了带有波长选择的光开关原理, 开关的输入光纤中的  $N$  个波长 (图中用 3 个箭头表示 3 个波长  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ), 如果有 0 个波长透过波长选择膜片并进入一个输出光纤, 则有  $N$  ( $N=3$ ) 个波长被膜片反射进入另一个输出光纤, 这就是一个典型的传统光开关工作原理。同样, 如果膜片有任意 1 个波长选择功能, 则这一个被选择波长将透过波长选择膜片并进入一个输出光纤, 有  $N-1$  ( $N=3$ ) 个波长被膜片反射进入另一个输出光纤, 此时, 实际控制状态数有  $N$  个,  $N$  的大小依赖于膜片支持的调谐波长通

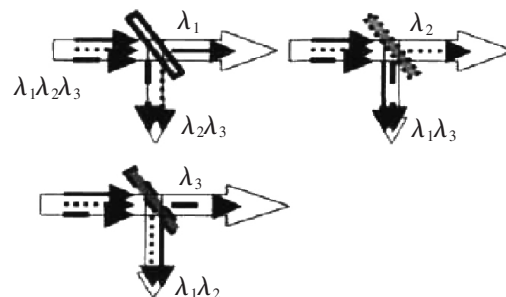


图3 带有波长选择的光开关原理

道数<sup>[14]</sup>。

## 2.3 基于薄膜滤光片的波长选择器件

Masato Mizukami 和 Yoshitada Katagiri 提出一种波长选择器件, 如图 4 所示。该器件主要由可以移动的滤波器、驱动电机、输入/输出光纤、准直器等组成, 带有滤波器的 32 个小单元器件密集排布在  $45 \text{ mm} \times 24 \text{ mm} \times 11 \text{ mm}$  的基片上。阵列滤波器由每一个微小电机独立控制, 控制滤波器进出光路, 实现波长选择功能。经过重复测试, 该器件的插入损耗  $< 25 \text{ dB}$ , 波长转换时间  $10 \text{ ms}$  (最短时间  $5 \text{ ms}$ ), 波长重复能力误差  $< 0.1 \text{ nm}$ <sup>[15]</sup>。

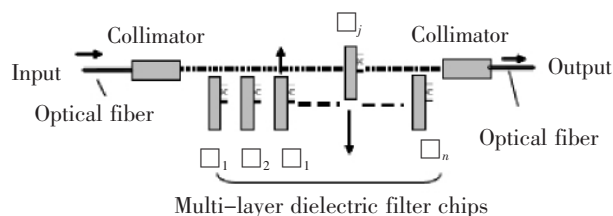


图4 机械驱动滤波器型波长选择开关原理

图 5 给出的是 Sarun Sumriddetchkajorn 等人提出的一种基于薄膜滤光片的  $1 \times 2$  波长选择器件。该器件主要由一个双光纤准直器、一个固定的薄膜滤光片 (TF)、一个可沿着  $X$  轴移动的微镜和一个单光纤准直器组成, 可以通过调整相邻部件之间的间距来减小插入损耗, 而且 TF 和微镜的位置也是可以互换的。波分复用光信号从 IN 端口进入单模光纤 (SMF), 从双光纤准直器出来, 波分复用光信号经过已经设计好的只允许  $\lambda_1$  通过的 TF。因此, 当驱动器驱动微镜离开光路时, 只有  $\lambda_1$  光信号被耦合进入单

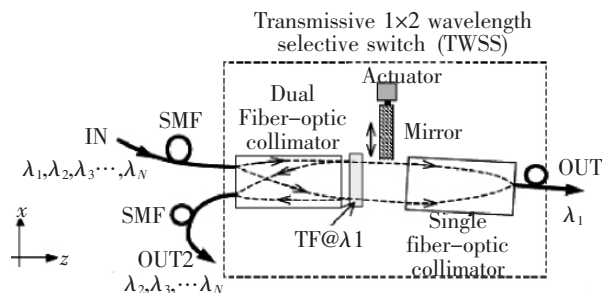


图5 基于薄膜滤光片的1x2波长选择器

光纤准直器，从OUT1端口输出；其它波长的光信号被TF反射进入双光纤准直器，最后从OUT2输出。当驱动器驱动微镜进入光路时，通过TF的 $\lambda_1$ 光信号又被微镜反射回TF，从OUT2输出；其它波长的光信号也会被TF反射回来从OUT2输出。图6是用基于薄膜滤光片的1x2波长选择器组成的1xN波长选择器件<sup>[16]</sup>。

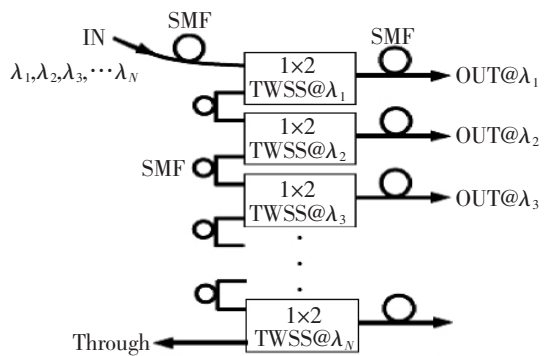


图6 用基于薄膜滤光片的1x2波长选择器组成的1xN波长选择器件

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所提出了一种将滤波技术和MOEMS光开关技术相结合的串联结构可编程1xN波长选择器<sup>[17-19]</sup>。图7为1x2波长选择器光学主体部分示意图，器件由光纤准直器、窄带滤光片、电磁驱动悬臂和双面反射棱镜4个主要部分组成。其中，电磁驱动悬臂一端固定在底座上，另一端可上下自由活动，双面反射棱镜与电磁驱动悬臂的自由端相连，可随着驱动悬臂自由端的上下运动而进出光路。当双面反射棱镜处于光路中时，入射光信号被双面反射棱镜的一个反射面反射到窄带滤光片上，对应于窄带滤光片中心波长

的光信号能够通过滤光片，从准直器OUT1输出，其它波长的光信号将被滤光片反射到达反射棱镜的另一个反射面，经过该面反射后，从准直器OUT2输出，波长选择器处于“闭合”状态，如图7(a)所示。当反射棱镜处于光路之外时，从准直器IN进入的光信号直接从反射棱镜下方通过，从准直器OUT2输出，整个过程没有任何波长的光信号被分离，波长选择器处于“断开”状态，如图7(b)所示。

图8为制作完成的1x2波长选择器的实物图，3个准直器之间的光束最大直径 $<0.48\text{ mm}$ ；反射棱镜两个反射面的有效反射面积均为 $1.5\text{ mm}\times 1.5\text{ mm}$ ，反射率 $>99.5\%$ ；窄带滤光片的有效反射面积为 $14\text{ mm}\times 14\text{ mm}$ ，通带半宽度 $<1.2\text{ nm}$ ，反射率 $>98\%$ 。使用波长范

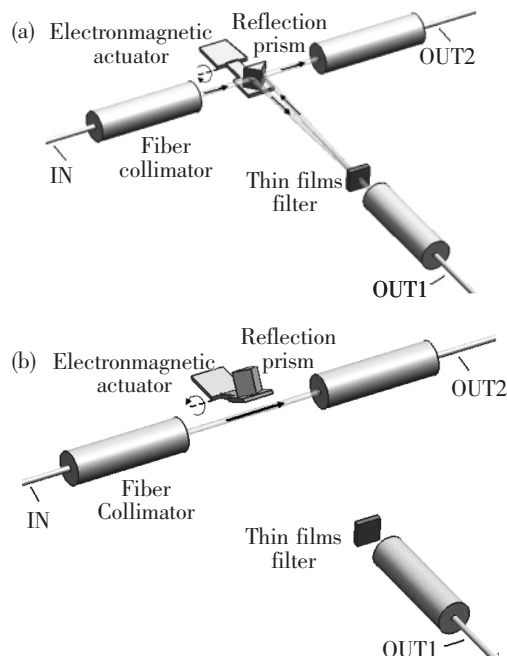


图7 1x2波长信道选择器光学结构示意图：(a)通道处于“闭合”，(b)通道处于“断开”。

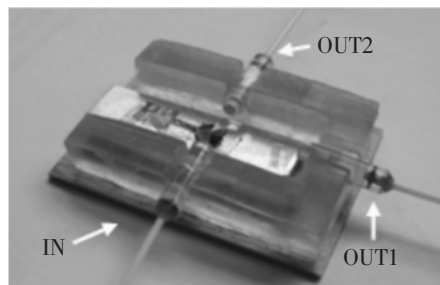


图8 1x2波长选择器照片



围为 1 530~1 570 nm 的宽谱激光器作为光源,对器件的性能进行测试。波长选择器处于“断开”状态时,从准直器 OUT2 输出的 1 530~1 570 nm 的光信号的损耗几乎相同,选取 1 548.64 nm 的测量结果为-1.249 dB。驱动器处于“闭合”状态时,在 1 550.20 nm 处的插入损耗为-1.139 dB。输出信号的通带半宽度<1.2 nm,消光比>40 dB,这是由窄带滤光片所决定的。剩余光信号的损耗几乎相同,在 1 532.64 nm 处的损耗为-1.109 dB。将  $N$  个  $1\times 2$  波长选择器级联,就组成了一个多通道波长选择器,如图 9 所示。

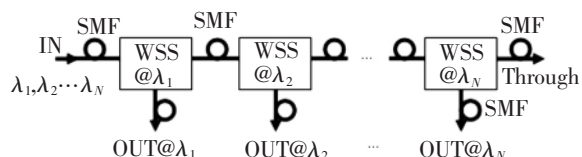


图 9 用  $1\times 2$  波长选择器作为基本单元组成的  $1\times N$  波长选择网络

华中科技大学和武汉光迅科技股份有限公司共同研究了一种基于微机电系统技术 (MEMS) 的新型波长选择器件 (图 10), 采用基于一维转镜实现切换的功能, 用透射式 MEMS 衰减器技术实现了无干扰功能, 制作并测试了这种新型器件, 实现了最大衰减量约 34 dB, 插入损耗约 6.4 dB, 通道内色散变化范围为-1.64~6 ps/nm<sup>[20]</sup>。

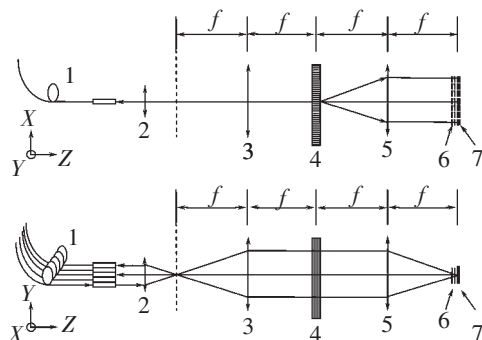


图 10 WSS 原理示意图

## 2.4 基于光栅的波长选择器件

Araya Pothisorn 等人提出了一种基于光栅的波长选择器件。它利用光栅光调节器 (GLM) 作为实现解复用和转换器件的中心单元, 不需要任何的移动

微镜阵列, 因此转换时间快。该系统的示意图如图 11 所示, 当给该器件施加合适的电压时, GLM 产生变形, 利用衍射原理进行解复用 WDM 信号来实现开关转换功能。由于组成该器件的微镜阵列只在一个轴上移动, 准直器被放置在微镜的位置, 其他的分散器件集成在该转换系统中。这种设计的优点是简化了对微镜的控制, 采用了最少数的微镜和尽可能多的端口数, 具有转换速度快和插入损耗低等优点<sup>[21]</sup>。

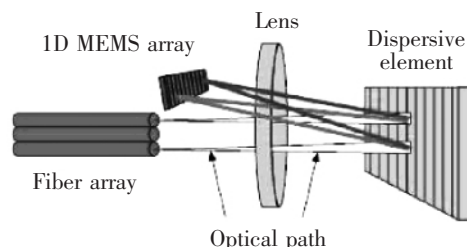


图 11 利用光栅衍射来实现 WSS 的示意图

图 12 给出的器件是利用光栅衍射和衰减阵列来实现波长选择的, 输入光束直接进入光栅, 光束在经过光栅时发生衍射, 分别进入各个信道并聚焦在带有衰减阵列的特殊像素上。衰减后的光束沿原光路返回到输出光纤中, 实现了波长选择的功能<sup>[22]</sup>。

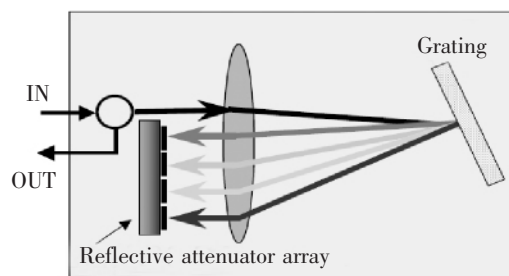


图 12 用反射像素来实现 WSS 的示意图

图 13 是单片集成  $1\times 4$  WSS 的示意图, 光波导、微光栅、准直反射镜、聚焦反射镜和 MEMS 转换微镜仅通过一次刻蚀在同一个基底上制作。端口 1 为输入端口, 端口 2~5 为输出端口。输入 WDM 信号通过准直反射镜准直后, 通过微光栅解复用。微镜阵列集成在聚焦反射镜的焦平面上用来实现波长选择

的独立转换,反射回来的光束经过聚焦反射镜准直

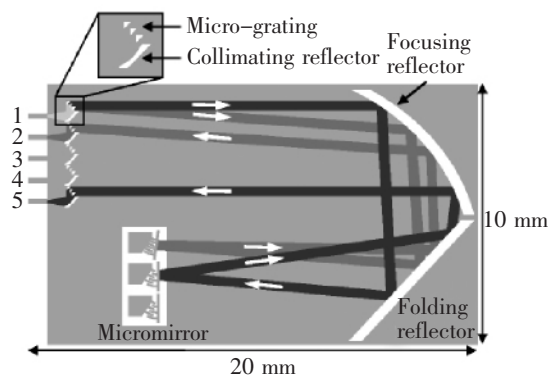


图 13 单片集成 1x4 WSS 的结构示意图

后被微光栅重新复用,最后被聚焦反射镜聚焦耦合进入期望的输出波导中<sup>[23]</sup>。

### 3 总 结

光波长选择器件具有非常广阔的发展前景,因为它将波长选择、交换结合起来,在新一代光传送网中可以作为新型光复用/解复用、新型光交叉连接器件。由于采用波长选择器件,新型光复用/解复用、新型光交叉连接设备大大降低了设备的复杂性,运用也更灵活。然而,对于它的研究现在还处于一个起步阶段。许多技术问题还有待于进一步解决。

### 参考文献

- [1] 黄章勇. 光纤通信用新型光无源器件[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.
- [2] Feuer M D, Kilper D C, Woodward S L. *Optical Fiber Telecommunications VB: Systems and Networks* [M]. Elsevier Inc., 2008: 293-305.
- [3] 宗磊, 李艳和, 郑小平, 等. 一体化 OADM/OXC 节点降低串扰结构研究[J]. 中国激光, 2002, 29(1): 57-60.
- [4] 李蔚, 刘德明, 杨春勇, 等. 一种低成本智能全光波长交叉交换连接器的设计和实现[J]. 中国激光, 2006, 33(3): 351-355.
- [5] Liu A, Lam J, Yan M. Low-loss PLC integration of wavelength blockers and monitored VOA-multiplexers for ROADMs applications[C]. *Proc. OFC2005*, 2005, JWA 73.
- [6] Eldada L, Fujita J, Radojevic A, et al. 40-Channel ultra-low-power compact PLC-based ROADM subsystems[C]. *Proc. OFC 2006*, 2006, NThc4.
- [7] Yu K, Park N, Lee D, et al. A wavelength selective switch with flat passband using a free-space grating and MEMS phase-shifters[C]. *Proc. OFC2005*, 2005, JTuC67.
- [8] Kaman V, Yuan S, Jerphagnon O, et al. Comparison of wavelength-selective cross-connect architectures for reconfigurable all-optical networks[C]. *Photonics in Switching Conference*, 2006: 1-3.
- [9] Marom D M, Neilson D, Greywall T, et al. Wavelength-selective 1xK Switches using free-space optics and MEMS micro-mirrors: theory, design and implementation[J]. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 2006, 9(22): 1620-1630.
- [10] 周斌, 张阳安, 黄永清, 等. 基于波长选择开关的 ROADM 实现研究[J]. 光通信研究, 2008 (1): 11-13.
- [11] 田媛, 赵丽巍, 孙征, 等. 声光可调滤光片作为电热原子吸收光谱仪波长选择器的研究[J]. 高等学校化学学报, 2002, 23(1): 38-41.
- [12] 陈明, 唐天同, 杨铸, 等. TE-TM 模转换型集成声-光波长选择器件的原理及研究概况 [J]. 光通信技术, 2003, (7): 30-34;.
- [13] Mekada N, AL-HAMDAN A, Chong T H, et al. Polarization independent, linear-tuned interference filter with constant transmission characteristics over 1530-1570 tuning range[J]. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1997, 9: 782-784.
- [14] 李新碗, 陈建平, 叶爱伦, 等. 基于 Fabry Perot 结构的可调波长选择光开关[J]. 电子学报, 2004, 32(12A): 57-60.

- [15] Mizukami M, Katagiri Y. Micro-mechanical wavelength-selectable switches for photonic networks[J]. *SPIE*, 2005, 6050: 605008-1-605008-8.
- [16] Sumriddetchkajorn S, Chaitavon K. Compact low crosstalk 1×2 wavelength selective switch architectures[J]. *SPIE*, 2005, 5625: 793-802.
- [17] Li Xiaoqi, Liang Jingqiu, Sun Degui, *et al.* Free-space 1×2 wavelength-selective switches for wavelength-division multiplexing optical networks[J]. *Chinese Optics Letters*, 2009, 7(7): 553-555.
- [18] Li Wei, Liang Jingqiu, Liang Zhongzhu, *et al.* Design and fabrication of a micro-optic switch[J]. *Optics Express*, 2008, 16(9): 6324-6330.
- [19] 李伟, 梁静秋, 李小奇, 等. 一种微型光开关的设计与仿真分析[J]. 光学学报, 2008, 28(6): 1151-1154.
- [20] 胡强高, 刘德明, 张均, 等. 一种基于微机电系统技术的新型波长选择开关[J]. 光学学报, 2010, 30(4): 1168-1172.
- [21] Pothisorn A, Hariz A J. Grating light modulators for use as de-multiplexer and switching device in wavelength-selective switching systems[J]. *SPIE*, 2007, 6798: 67981E-1-67981E-7.
- [22] Tomlinson J. Wavelength-selective switching-architecture and technology overview[J]. *SPIE*, 2004, 5596: 89-100.
- [23] Chi C H, Wu M C. Monolithic selective switches and cross connects with integrated MEMS mirror array[J]. *SPIE*, 2006, 6376: 63760G-1-63760G-10.

作者简介: 梁静秋(1962-), 女, 吉林长春人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事微光机电系统与光通信等方面的研究。  
E-mail: liangjq@ciomp.ac.cn

## 科学家发现部分超重元素同位素

美国能源部劳伦斯·伯克利国家实验室10月26日宣布, 该实验室的科研小组发现了部分超重元素的6种同位素。据悉, 科学家此次在获得了还未命名的第114号元素的新同位素后, 通过观察阿尔法粒子连续性辐射, 又发现了第112号元素 (copernicium)、第110号元素 (darmstadtium)、第108号元素 (hassium)、第106号元素 (seaborgium) 和第104号元素 (rutherfordium) 的5种同位素。此项研究成果将发表在10月29日出版的《物理评论快报》上。

从新的同位素中获取的信息将有助于科学家更好地认识原子核壳体结构理论, 该理论是“稳定岛理论”预测的基础。20世纪60年代, 理论物理学家预言, 位于质子数为114和中子数为184的双“幻数”球形核附近, 存在一个“超重稳定岛”, 岛内的元素具有超常寿命。

发现超重元素同位素科研小组的负责人为劳伦斯·伯克利国家实验室核科学部重元素原子核与辐射化学组组长海诺·尼奇, 他同时还是加州大学伯克利分校化学教授。研究文章第一作者为伯克利分校化学系研究生保罗·埃里森, 他负责对具体实验提出建议并进行管理。尼奇表示, 借助实验室的88 in (约2.2 m) 回旋加速器, 他们对钙48进行加速并撞击充气分离器中的钚242, 从而获得了新的超重元素的同位素。这与他们去年证实第114号元素存在时的实验布置类同。