

# ZnS/ZnSe 迭层式波导光栅的光调制特性\*

刘大力<sup>1</sup> 李公羽<sup>1</sup> 何晓东<sup>1</sup> 林久令<sup>2</sup> 范俊清<sup>2</sup> 徐 迈<sup>2</sup> 范希武<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 长春邮电学院通信工程系 长春 130012

<sup>2</sup> 中国科学院长春物理研究所激发态物理开放研究实验室 长春 130021

**提要** 报道了在 ZnS/ZnSe 非线性迭层式波导光栅中实现的光控反射特性和光学限制效应, 在控制光强为  $2.60 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$  的 Ar<sup>+</sup> 激光作用下, 得到对应于二阶 Bragg 衍射的衍射光偏转角为  $-2^\circ$ , 相应的折射率变化为  $-0.049$ , 并得到该材料的非线性折射率系数为  $-1.9 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{W}$ , 同时得到其光学限制阈值约为  $140 \text{ mW}$  ( $1.42 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ ), 限幅阈值为  $24 \text{ mW}$ 。

**关键词** 非线性迭层式波导光栅, 折射率系数, 光控, 光互连

## 1 引 言

目前, 光互连领域需要一种多功能外部控制的光学器件, 使携带信息的光束从一个位置到另一个位置, 实现两个集成光路芯片之间及同一芯片上两个不同位置之间的互连<sup>[1]</sup>。本文从目前全光互连中存在的技术问题和实际需要出发, 力求探索一种在全光互连中可实现光寻址的新方法, 为应用于全光数字计算机系统互连提供技术依据。在导波光栅的基础上, 发展了一种新型的非线性迭层式波导光栅器件即 ZnS/ZnSe 非线性迭层式波导光栅, 由于 ZnS/ZnSe 媒质具有很强的依赖于光强的折射率效应<sup>[2]</sup>, 这样, 把该光栅器件作为基本光互连器件, 通过外部控制光强的变化引起非线性媒质的折射率变化, 从而改变入射信号光的反射布喇格条件, 使光束偏转到所需要的位置或使光束透过光栅实现光开关功能<sup>[3]</sup>。

## 2 原 理

光栅分透射和反射光栅两种, 图 1 所示的光栅为反射式迭层光栅。图中  $\theta_i, \theta_d$  分别为入射和反射光与光栅条纹的夹角。 $\vec{\beta}_i, \vec{\beta}_d$  和  $\vec{K}$  分别为入射、反射和光栅的矢量, 相位匹配条件为

$$\vec{\beta}_d = \vec{\beta}_i + q\vec{K} \quad q = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (1)$$

对于上述光栅定义如下等效折射率

$$n = \frac{1}{\Lambda}(an_a + bn_b) \quad (2)$$

其中  $\Lambda = a + b, n_a$  和  $n_b$  分别为  $a$  和  $b$  层的折射率。

入射光满足 Bragg 条件时, 由  $\vec{\beta}_i, \vec{\beta}_d$  在  $\vec{K}$  矢量上的投影及上式可得

\* 国家自然科学基金资助项目。

$$\sin\theta_i = \frac{q\lambda}{2n\Lambda} \tag{3}$$

Bragg 衍射光的偏转角为

$$\theta = 2\theta_i = 2\sin^{-1}\left[\frac{q\lambda}{2n\Lambda}\right]$$

所以

$$\Delta\theta = -\frac{q\lambda}{n^2\Lambda\cos\theta_i}\Delta n \tag{4}$$

$\Delta n$  可由导波的控制光束改变引起。如图 2 所示, 对于二级 Bragg 衍射情形,  $n = 2.55$ ,  $\Lambda = 300$  nm,  $\lambda = 514$  nm,  $q = 2$ , 代入式(3), 得  $\theta_i = 42.3^\circ$ , 则

$$\cos\theta = \sqrt{1 - \left[\frac{q\lambda}{2n\Lambda}\right]^2} = \left[1 - \left[\frac{2 \cdot 514}{2 \times 2.55 \times 300}\right]^2\right]^{1/2} = 0.74 \tag{5}$$

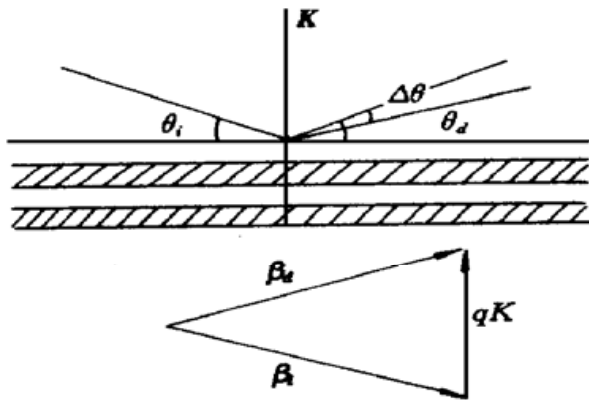


图 1 叠层光栅反射示意图与 Bragg 矢量图

Fig. 1 Reflecting schematic and Bragg vector diagram of stratified grating

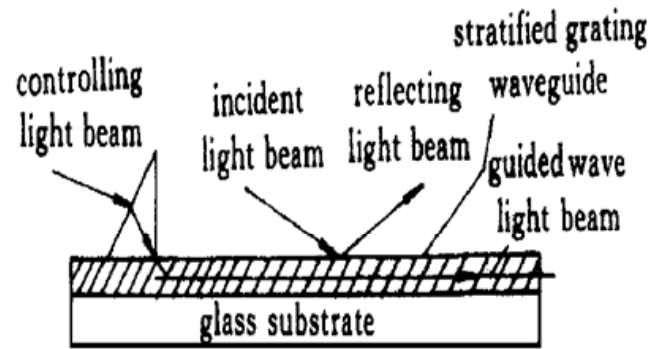


图 2 波导选层光栅光控反射特性示意图

Fig. 2 Optical controlled reflecting schematic of waveguide stratified grating

### 3 实 验

实验样品是 20 层 ZnS/ZnSe 选层式波导光栅, 其设计和制备的过程如下: 利用真空镀膜技术在 BK7 玻璃波导上交替蒸镀 ZnS, ZnSe 共 20 层, 按上述光栅 Bragg 条件设计光栅的周期为 300 nm, 每层厚度约为 150 nm, 蒸镀的真空度为  $3.99 \times 10^{-3}$  Pa, 沉积速率为 0.05~ 0.6 nm/s。这样就得到了 ZnS/ZnSe 非线性选层式波导光栅(蒸镀时, 在波导的一端大约半厘米的一段不镀膜, 以便做棱镜耦合之用)。

#### 3.1 光调制反射特性实验

实验装置如图 3 所示。实验中采用脉冲 Ar<sup>+</sup> 激光器作光源, 脉冲宽度为 300 ps, 重复频率为 82 MHz, 波长为 514.5 nm。

脉冲 Ar<sup>+</sup> 激光束经分束器 S 后分成两束, 一束强光由反射镜 M<sub>2</sub> 反射后照到棱镜上, 由棱镜耦合进入

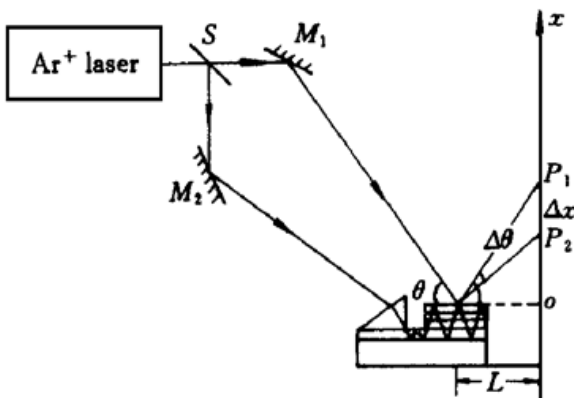


图 3 光控反射特性实验装置图

Fig. 3 Experimental setup of optical controlling reflection

波导作为控制光束;另一束弱光由反射镜  $M_1$  反射到光栅上,使入射角  $\theta$  为  $42^\circ$ 。在距离入射光点水平方向 50 cm 的位置上放一观察屏( $x$  轴),并且当不加控制光束时,反射光束达到屏上  $P_1$  点,当加控制光束且光强达到  $2.60 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$  (平均功率 240 mW) 时,反射光束发生偏转,照到屏上  $P_2$  点。设  $P_1P_2 = \Delta x$ ,  $OP_1 = x$ , 如图所示  $L = 50 \text{ cm}$ , 测得  $x = 45 \text{ cm}$ ,  $\Delta x = 3 \text{ cm}$ , 则

$$\tan\theta = x/L \quad \tan(\theta + \Delta\theta) = \frac{x - \Delta x}{L}$$

$$\Delta\theta = \arctan \frac{x - \Delta x}{L} - \arctan \frac{x}{L} = - 2^\circ \tag{6}$$

代入式(4)得

$$\Delta n = - \frac{n^2 \Lambda \Delta\theta \cos\theta_i}{q\lambda} = - 0.049 \quad (q = 2) \tag{7}$$

由非线性折射率效应公式  $n = n_0 + n_2(I)I$ , 其中  $n_0$  为低光强下的线性折射率,  $n_2(I)$  为非线性折射率系数,  $I$  为媒质中光强, 得  $\Delta n = n_2(I) \Delta I$ , 则

$$n_2(I) = \Delta n / \Delta I = - 0.049 / 2.60 \times 10^5 \text{ W/cm}^2 = - 1.9 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{W} \tag{8}$$

从上面实验结果可以看出,在低光强下,上述光栅的掠射光和衍射光(反射)能满足 Bragg 条件,此时上面动量矢量图是闭合的,光强将沿  $\theta$  角方向衍射  $\beta_d'$ ,而当光控制光强达到媒质的非线性阈值时,由光致折射率效应,媒质的折射率要发生变化  $\Delta n = n_2(I)I$ , 衍射光的传播矢量也要改变,其大小  $\beta_d = \frac{2\pi}{\lambda} n = \frac{2\pi}{\lambda} (n_0 + \Delta n)$  ( $\Delta n < 0$ ) 将减小,如图 4 所示,这时动量图就不再闭合了。光束将沿着最不违反动量守恒的方面衍射  $\beta_d$  (反射),对应于最小动量失配的方向,导致反射光束偏转一定角度  $\Delta\theta$ 。从而当光强增加时,引起  $\Delta K$  变化,反射率也随之变化了。实验中测得的  $n_2$  值与文献报道的符合得很好。

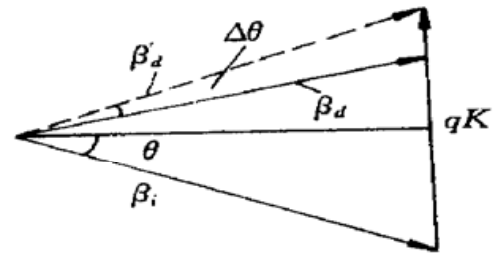


图 4 动量矢量图  
Fig. 4 Vector diagram of momentum

### 3.2 光学限制特性实验

实验装置如图 5 所示。采用脉冲锁模  $\text{Ar}^+$  激光器作为光源,激发波长为 514.5 nm,脉宽为 240 ps,重复频率为 82 MHz。激光输出功率为 500 mW,激光经中性滤光片  $P$  和透镜  $L$  后由 50% 的分光镜  $S$  分束,一束作为控制光束,经由光电探测器  $D_1$  测出其功率作为输入功率  $P_{in}$ ;另一束垂直照在被测样品上,透射光功率  $P_{out}$  由另一探测器  $D_2$  测出,利用中性滤光片改变光

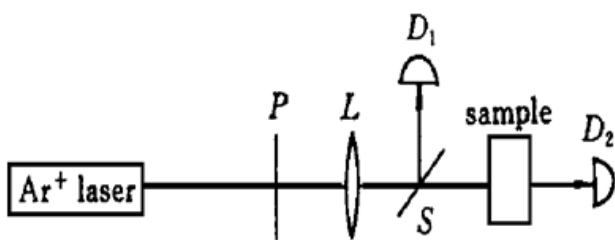


图 5 光功率限制装置图  
Fig. 5 Experimental setup of optical limiting

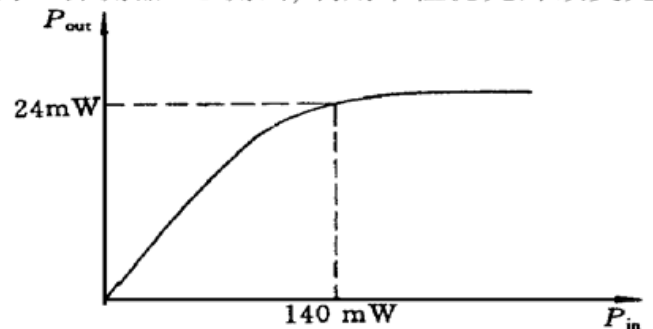


图 6 迭层光栅的输出与输入关系曲线  
Fig. 6 Output of the stratified grating as a function of input

强,测得的输入和输出功率的关系曲线如图 6 所示。

从图 6 可以看出,在输入功率较低时,输出功率随输入功率呈线性变化,当输入功率达到大约为 140 mW(功率密度为  $1.42 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ )后,输出功率不再随输入功率线性变化,出现了非线性拐点,表现出明显的光学限制特性。引起光学限制的根源也是由于随光强增加构成光栅的半导体迭层结构折射率降低。当入射光强超过一定阈值后破坏了低光强下光栅的 Bragg 条件,造成相位失配使透射光强不再增长,而保持为常数。

## 4 结 论

理论和实践都证实了该非线性迭层光栅具有光控反射特性与光学限制特性,即非线性迭层光栅的布喇格条件和反射率依赖于光强,当改变控制光束的光强时,可改变信号光束的反射率和反射方向,这一特性可用于全光动态光互连和全光逻辑器件中,使携带信息的光束由光控达到所需要的位置,实现实时光寻址。同样,利用半导体材料构成多层结构制备的光功率限制器具有比单层系统适应性更强的特点<sup>[4]</sup>。这种多层系统的光学限制器在避免光学器件超载而受损伤方面,是非常有用的。

### 参 考 文 献

- 1 J. W. Goodman, F. J. Leonberger, R. A. Athale. Optical interconnections for VLSI systems. *Proc. IEEE*, 1984, **72**(7): 850~ 866
- 2 Zhao Futan, Zhou Ping, X. W. Fan *et al.*. Measurement of time-dependence of non-linear optical absorption in ZnS/ZnSe multiple quantum well structures. *J. Opt. Commun.*, 1994, **15**(4): 138~ 140
- 3 Liu Dali, Li Gongyu, Fan Junqing *et al.*. Optical bistability in ZnS/ZnSe stratified grating. *J. Optoelectronics Laser* (光电子·激光), 1998, **9**(1): 7~ 8 (in Chinese)
- 4 E. W. Van Stryland, Y. Y. Wu, D. J. Hagan *et al.*. Optical limiting with semiconductors. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1988, **5**(9): 1980~ 1988

## Characteristic of Optical Modulation in ZnS/ZnSe Stratified Waveguide Grating

Liu Dali Li Gongyu He Xiaodong

(Changchun Institute of Post and Telecommunications, Changchun 130012)

Liu Jiulin Fan Junqing Xu Mai Fan Xiwu

(Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Physics,  
The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

**Abstract** The optical controlling reflection and the optical limiting effect realized in ZnS/ZnSe nonlinear stratified waveguide grating is reported in this paper, and the deflective angle of the second order Bragg diffraction was about  $-2^\circ$  and the change of refractive index was about  $-0.049$  at  $\text{Ar}^+$  laser optical intensity of  $2.60 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ . The refractive index coefficient of the material obtained was  $-1.9 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{W}$ , which accords with the value reported by the foreigner. The nonlinear threshold of the optical limiting was about 140 mW, the limiting amplitude threshold was 24 mW.

**Key words** nonlinear stratified waveguide grating, refractive index coefficient, optical controlling, optical interconnection