

文章编号:1002-2082(2004)01-0036-03

用于光纤通信的 Bi : DyIG 磁光晶体材料研究

荆玉兰,石 玉,张怀武

(电子科技大学 微电子与固体电子学院,四川 成都 610054)

摘要: 光纤无源开关器件是近期光通信领域研究的热点。本文就应用于光纤开关的一种新型晶体材料进行理论分析和实验研究,确定该材料可应用于 $0.5\sim1.5\mu\text{m}$ 频域内各种光纤开关器件,其驱动脉冲电流低于 4 A,脉冲宽度在 $5\mu\text{s}$ 左右。

关键词: 光纤;磁光晶体;脉冲

中图分类号:TN929.11;O734-34

文献标识码:A

Study of Bi : DyIG Magneto-optical Crystal Materials Used in Fiber Communication

JING Yu-lan, SHI Yu, ZHANG Huai-wu

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: The research on passive fiber switch is attracting the people's attention in the optical communication: In this paper a new Magneto-optical crystal material used in the fiber switch has been researched theoretically and experimentally. It is decided that the fiber switch made of the material can work in the wavelength rang of $0.5\sim1.5\mu\text{m}$, the excitation pulse current for the switch is lower than 4A and the pulse duration is about $5\mu\text{s}$.

Keywords: fiber; magneto-optical crystal; pulse

引言

伴随着光纤信息高速公路的飞速发展,出现了无源光纤器件开发的热潮,如光纤开关、环形器、隔离器及调制器等^[1~2]。国外许多学者就这些器件进行了研发,如采用掺稀土的旋磁玻璃棒作法拉第开关器件,用液相外延石榴石材料作环形器、隔离器或波导等^[3~4]。前者由于其法拉第效应弱,需要非常长的旋磁玻璃棒方可产生足够的法拉第旋转角,使开关的体积增大;后者的温度稳定性较差,工艺难度大,使器件成本增加。能否采用多晶磁光晶体薄膜来实现磁光开关的性能呢?日本学者Gomi早在90年代就对YIG多晶材料、DyIG多晶材料进行了研究。他们采用s-g热分解方法和RF溅射法对在不同衬底上生长的薄膜做了较细致的分析,但收效甚微^[5]。从1995年起我们对Bi代YIG材料进行了大量的分析研究,发现Bi³⁺有增大法拉第效应的功能,但由于各向异性差,导致开关时间较长,矫顽力较大,不利于应用于光纤开关。近

期我们又对Bi:DyIG材料进行了反复的研究,实验证明此材料可较好地应用于光纤无源开关中。

1 光纤开关模型及磁光晶体的法拉第效应模型

应用于光纤通信的无源光纤开关模型如图1所示。

开关的基本原理是通过磁光晶体的法拉第效应来实现的。一束线偏振光通过透镜2射入到磁光晶体表面,由于DyIG晶体3在整个可见光及红外波段吸光系数很小,折射光相对于入射偏振光旋转了一个角度,经另一个透镜4、起偏器1和检偏器5时角度不符,光路将被断开。产生法拉第效应的大小与外加磁场(脉冲电流)、磁光晶体法拉第角及晶体长度有关,磁光晶体中法拉第效应可通过下面模型给出。

假定垂直入射和零损耗,在用特征矩阵法计算中,每一层矩阵表示为

收稿日期:2003-02-10

作者简介:荆玉兰(1959-),女,四川成都人,电子科技大学博士研究生,主要从事电子材料与元器件研究工作。

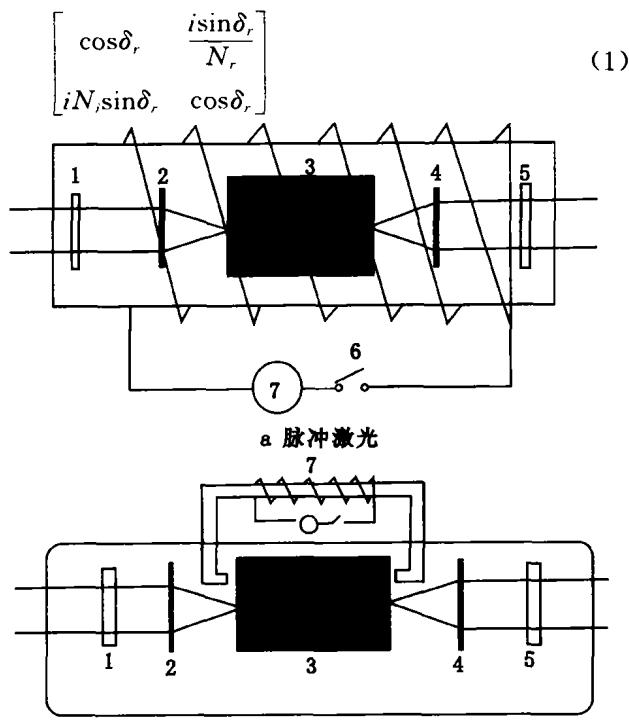


图1 无源光纤开关模型

Fig. 1 Model of passive fiber switch

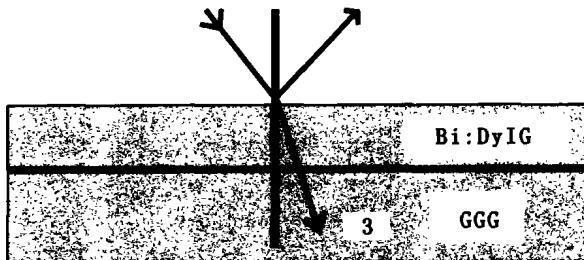


图2 磁光晶体中法拉第效应模型

Fig. 2 Faraday effect model in magneto-optical crystal

对多层膜可表示为

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{r=1}^n \begin{bmatrix} \cos \delta_r & \frac{i \sin \delta_r}{N_r} \\ i N_r \sin \delta_r & \cos \delta_r \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ N_{n+1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\delta_r = \frac{2\pi}{\lambda} N_r d_r \quad (3)$$

右旋复折射率为

$$N_r = N_+$$

左旋复折射率为

$$N_r = N_-$$

$$N_r^2 = \epsilon_{xx} + \epsilon_{xy} \quad (4)$$

反射相移为

$$\varphi_{\pm} = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{i n_0 (C B^* - B C^*)}{n_0^2 (B B^* - C C^*)} \right] \quad (5)$$

有效法拉第旋磁角为

$$\theta_F^* = (\varphi_+ - \varphi_-)/2 \quad (6)$$

式中, λ 为光波波长; N_r^- , N_r^+ 为第 r 层薄膜中左、

右复折射率; d_r 为第 r 层薄膜厚度; n_0 为入射介质折射率; B, C 为膜导纳矩阵元; $\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}$ 为介质张量对角元和非对角元; N_{n+1} 为第 $n+1$ 膜层折射率; B^*, C^* 为 B, C 的共轭复数。我们根据(6)式对掺 Bi 的 DyIG 磁光晶体材料法拉第谱进行了计算, 其曲线如图 3 所示。

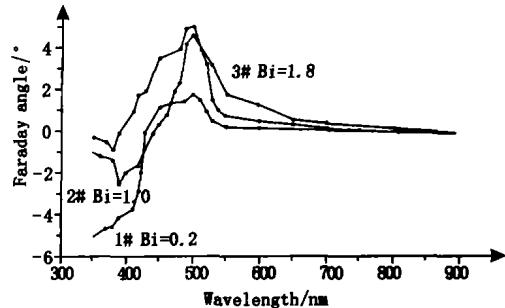


图3 法拉第效应磁谱曲线

Fig. 3 Variation of Faraday effect with wavelength

从图 3 可知, 掺 Bi 的 DyIG 晶体材料在 $400 \text{ nm} \sim 1.5 \mu\text{m}$ 波长范围都有明显的法拉第效应, 特别是在 $400 \sim 800 \text{ nm}$ 波段法拉第效应较强, 最适宜作光纤开关晶体材料。

2 实验结果及结果分析

图 3 已给出掺 Bi 的磁光石榴石晶体在 $400 \sim 800 \text{ nm}$ 波段的法拉第效应谱线。由图 3 可知它在此频段中作光纤开关器件可取度很高, 晶体厚度将进一步减小。但是决定此种开关器件的特性参数除具有极强的法拉第效应外, 还应考虑该晶体的透射率谱线、矫顽力大小以及外磁场的脉冲幅度和宽度。图 4 给出了该磁光晶体的透射率谱线。

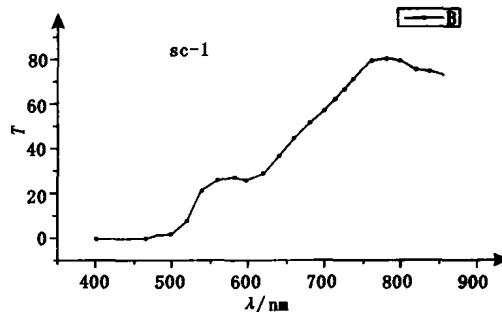


图4 磁光晶体的透射率谱线

Fig. 4 Variation of transmissivity with wavelength of MO crystal

从图 4 可以确定, 该晶体在大于 500 nm 波长的较宽范围内有较高的透射率值, 最大值在 800 nm 波长处, 透射率超过 78% ; 波长大于 800 nm 以后透射率逐渐减小。据此可以确定, 这种材料适用于 500 nm 至红外波段应用的光纤开关。晶体材料矫顽力曲线如图 5 所示。由图 5 可知, 在 650 C 以下晶化 Bi 代 DyIG 石榴石磁光晶体时, 晶体材料矫顽力一般在 $100 \sim 600$

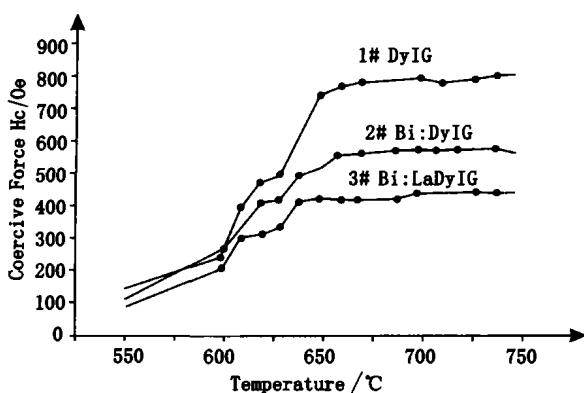


图5 磁光晶体的矫顽力随晶化温度的变化曲线

Fig. 5 Variation of coercivity with crystallized temperature in MO crystal

Oe之间。为了使晶体形成较完全,并取得最大法拉第效应,晶化温度一般取650℃,故该晶体材料的矫顽力在350~600 Oe之间。根据通电螺线管中磁场公式

$$H = \mu_0 n i \quad (7)$$

取 $H=600$ Oe, $n=10$ 匝, $\mu_0=15$, 则脉冲电流 ≤ 4 A。考虑磁光晶体的磁滞效应为 μ s量级,其光纤开关激发脉冲如图6所示。

3 结束语

本文对磁光晶体应用于光纤无源开关中的具体

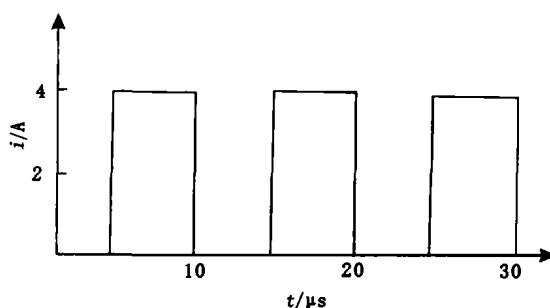


图6 光纤开关激发脉冲

Fig. 6 Excitation pulse in fiber switch

参数进行了理论和实验研究,发现掺Bi的DyIG磁光薄膜材料可作为磁光开关晶体应用于0.5~1.5 μm波长范围,光纤开关可用小于4 A,脉冲宽度为5 μs的脉冲电流作驱动力。

参考文献:

- [1] M Abe, G Gomi. Mo recording on garnet films[J]. J Magn Magn Mater, 1990, 84: 222-228.
- [2] J P Krumme. Bismuth substituted iron garnet films prepared by RF diode sputtering [J]. IEEE Trans Mag, 1984, 20: 983-985.
- [3] M Abe, M Gomi. Oxide films for MO applications[J]. J Magn Soc Japan, 1987, 11: 299-304.
- [4] J L Deschanvers. Growth of Bi-substituted YIG thin films for MO applications[J]. J M M M, 1991, 101: 224-228.
- [5] R E Marrs, D H Schneider, J W McDonald. Projection X-ray microscope powered by highly charged ions [J]. Rev Sci Instrum, 1998, 69(1): 204-209.
- [6] P Beiersdorfer, A L Osterheld, M H Chen, et al. Indirect X-ray line formation processes in highly charged barium[J]. Phys Rev Lett, 1990, 65: 1995-1998.
- [7] J R Henderson, P Beiersdorfer, C L Bennett, et al. Polarization of X-ray lines from heliumlike scandium as a probe of the hyperfine interaction[J]. Phys Rev Lett, 1990, 65: 705-708.
- [8] D Schneider, M W Clark, B M Penertrante et al. Production of high-charge-state thorium and uranium ions in an electron-beam ion trap[J]. Phys Rev, 1991, A44(5): 3119-3124.
- [9] J V Porto, I Kink, J D Gillaspy. Direct imaging of highly charged ions in an electron beam ion trap[J]. Rev Sci Instrum, 2000, 71(8): 3050-3058.

(上接第8页)

- [8] E D Donets. Electron beam ion sources and associated physics at JINR [J]. Nucl Instrum Methods, 1985, (B9): 522-525.
- [9] J P Briand, P Charles, J Arianer, et al. Observation of the KLL dielectronic recombination in highly stripped argon ions[J]. Phys Rev Lett, 1984, (8): 617-620.
- [10] R W Schmieder, C L Bisson, S Haney, et al. San-dia super-EBIS [J]. Rev Sci Instrum, 1990, 61(1): 259-261.
- [11] R E Marrs, M A Levine, D A Knapp, et al. Measurement of electron-impact-excitation cross section for very highly charged ions[J]. Phys Rev Lett, 1988, (17): 1715-1718.
- [12] M A Levine, R E Marrs, J N Bardsley, et al. The use of an electron beam ion trap in the study of highly charged ions [J]. Nucl Instrum Methods, 1989, (B43): 431-439.
- [13] E Beebe, J Alessi, A Hershkovitch, et al. Development of an electron-beam ion source for a relativistic heavy-ion collider preinjector [J]. Rev Sci Instrum, 1996, 67(3): 878-880.
- [14] D Schneider, D DeWitt, M W Clark, et al. Ion-collision experiments with slow, very highly charged ions extracted from an electron-beam ion trap [J].