

集成光学用单模磁光波导薄膜*

欧阳嘉 张 颖 何华辉

(华中理工大学固体电子学系, 武汉 430074)

提要 采用双层(BiAl)YIG 膜结构来制作单模磁光波导。通过改变外延生长工艺来调节两层薄膜的折射率,可在一定波导的厚度范围内实现单模传输。X 射线衍射测量表明薄膜质量良好,且易磁化方向平行膜面,最后利用棱镜耦合,观察了波导中的暗 m 线。

关键词 (BiAl)YIG 磁光波导, 单模传输, 棱镜耦合

1 引 言

自从田炳耕首次在石榴石液相外延膜进行光导波实验以来,以磁光薄膜作为磁光波导的集成光学器件在光纤通信、光纤传感及光信息处理等领域获得了广泛的应用^[1]。为了提高器件的性能,实现磁光波导的单模传输显得越来越重要。影响模式传输的主要因素是波导层厚度和波导层与衬底折射率之差,由于磁光薄膜与衬底的折射率相差较大,致使用它制作的磁光波导一般为多模。为了实现单模传输,必须将波导层厚度减少到 1000 nm 以下,这将引起大的线性双折射,损坏器件的性能,同时也不利于与光纤的耦合^[2]。因此本文通过改变生长工艺,在同一配方的熔料中连续生长了两层折射率相差很小的磁光薄膜,以上层膜为光波导,以下层膜作衬底,这样即可以保持波导层有一定的厚度,又可实现单模传输,此外这种结构还可以增强波导非互易特性^[3]。

2 单模磁光波导设计

我们采用的磁光波导是(BiAl)YIG 薄膜,它是采用等温液相外延(LPE)法生长在钕镓石榴石(GGG)的 111 晶面上。图 1(a)为单层膜磁光波导结构,设波导层厚度为 d , n_1 , n_2 , n_3 分别为空气、薄膜、衬底折射率。对于这种非对称波导结构, m 阶模式传输条件为

$$\Delta n d^2 \geq (2m + 1)^2 \lambda_0 / 32n_2 \quad (1)$$

其中 $m = 0, 1, 2, \dots$, λ_0 为真空波长。通常磁光薄膜与衬底折射率之差为 0.2 ~ 0.3,即使薄膜厚度与波长相当,亦为多模传输。为了保证波导有一定的厚度,只能减少 Δn 。因此,我们采用如图 1(b)所示的双层薄膜波导结构,以上层(BiAl)YIG1 膜为波导层,下层(BiAl)YIG2 膜为衬底。通常(BiAl)YIG 薄膜折射率主要与 Bi 的含量有关,当 Bi 在(BiAl)YIG 中的原子分数的浓

* 863 高技术项目资助课题。

度变化为 ΔX 时,其折射率变化

$$\Delta n = 0.14\Delta X^{[4]} \quad (2)$$

利用传输条件及折射率与 Bi 浓度关系,就得到单模传输条件

$$\frac{2\lambda_0}{n_2 d^2} > \Delta X > \frac{0.22\lambda_0}{n_2 d^2} \quad (3)$$

我们取 $\lambda_0 = 1300 \text{ nm}$, $n_2 = 2.2$, 此关系能用图 2 曲线表示,它给出了单模传输所允许的波导层厚度与 Bi 浓度差范围。

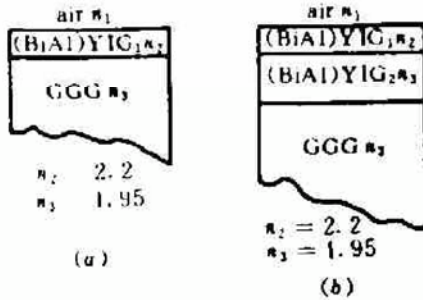


Fig. 1 Magneto-optic waveguide

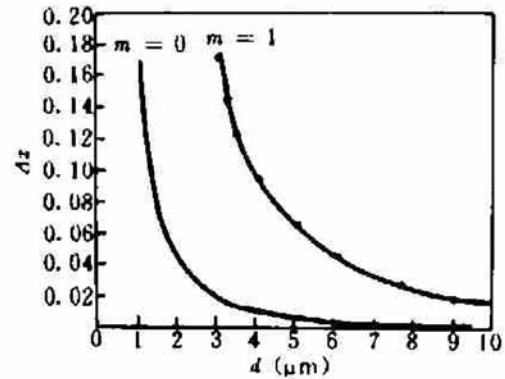


Fig. 2 Relation between Bi content and waveguide thickness for single mode waveguide

3 单模磁光波导薄膜制备

我们采用等温液相外延法(LPE)在钕钆石榴石(GGG)的111晶面上生长(BiAl)YIG薄膜,基片在生长过程中处于旋转状态。溶液配比选为: $R_1 = \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Y}_2\text{O}_3 = 15.99$, $R_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 = 32.48$, $R_3 = \text{PbO}/\text{Bi}_2\text{O}_3 = 12.40$, $R_4 = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{PbO}) = 0.258$, 溶液的生长温度为 750°C 。由于(BiAl)YIG薄膜的折射率与Bi含量成正比,在保持其他工艺条件不变情况下,提高基片

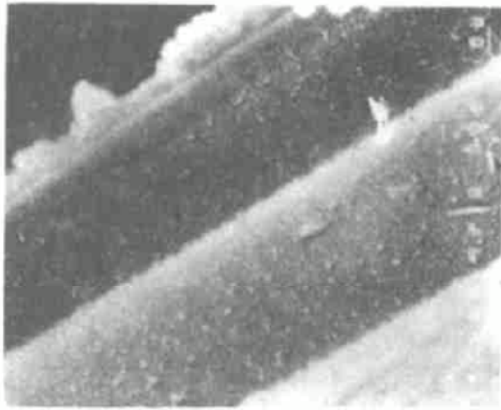


Fig. 3 SEM photography of a double layer film

旋转速率,可增加Bi的含量,使薄膜的折射率增加。在实验中,我们用 30 r/min 和 210 r/min 转速连续生长两层薄膜,测得上层膜与下层膜的Bi含量差 $\Delta X = 0.07$,其双层膜样品的自然段面用扫描电镜观察,如图3所示。

4 单模波导的特性

4.1 晶格匹配

利用X射线衍射法,测得样品下层(BiAl)YIG2膜与GGG基片的晶格失配为 $\Delta a_1 = a_{\text{GGG}} - a_{(\text{BiAl})\text{YIG}2} = 0.027$,并测得与上层相应条件下生长的膜与GGG基片的晶格失配,以GGG基片的晶格常数 $a = 12.838$ 为标准,计算出上层(BiAl)YIG1膜(波导层)与其下层(BiAl)YIG2膜(衬底层)的晶格失配为 $\Delta a_2 = 0.048$,这表明下层(BiAl)YIG2膜将同时受到GGG基片和上层(BiAl)YIG1膜的张应力的作用。两层晶格失配度分别 $\Delta a/a$ 为 2.1×10^{-3} 和 3.9×10^{-3} ,均在

10^{-3} 数量级, 满足生长良好薄膜条件。

4.2 生长感生磁各向异性

波导型磁光器件要求易磁化方向在波导平面内, 这样即可减小外加磁场又有利于消除线性双折射。我们用磁转矩法测量了不同 Bi 含量样品的感生各向异性如图 4 所示, 发现当掺 Bi 量 $X > 0.3$ 时, $K_1^g > 0$, 而当 Bi 的含量 $X < 0.3$ 时, $K_1^g < 0$, 此时易磁化方向平行膜面。根据各向异性交换模型, 生长感生磁各向异性与 Fe^{3+} 自旋轨道耦合和晶场作用有关。当 Bi^{3+} 离子进入 YIG 晶格取代 Y^{3+} 时, 由于 Bi^{3+} 离子有极强的自旋轨道耦合作用, 使得邻近的 Fe^{3+} 的自旋轨道耦合作用加强; 另外 Bi^{3+} 有较大的半径, 它的掺入将产生晶格畸变, 这种畸变相当于一个附加的局域晶场, 它将使易磁化方向垂直于膜面。由于受到上述两种作用的 Fe^{3+} 数目与 Bi^{3+} 浓度成正比, 使得生长感生各向异性常数 K_1^g 与 Bi 含量的关系基本上线性。因此, 我们可在保证一定的法拉弟旋转角的情况下, 掺 Bi 量 X 不超过 0.3, 以确保平面磁化。

4.3 模式传输

由于磁光薄膜在可见光波长范围内有较大的光吸收, 光导波传输必须在近红外波段进行。因此, 我们采用暗 m 线法^[5]来观察磁光波导中的模式。其装置如图 5, 光源采用波长为 633 nm 氦氖激光器, 其功率为 5 mW, 光束通过扩束系统后, 由物镜聚焦到等腰棱镜(金红石)底部, 待测样品和棱镜用一耦合夹具固定在测角圆盘上, 棱镜与薄膜间隙可用螺丝调节, 由棱镜底部的反射光投射到光屏上。观察时, 固定入射光束, 调节圆盘上 x - y 两维移动尺, 将棱镜移到合适的位置, 使得当圆盘旋转时, 入射点的位置基本保持不变, 此时由于物镜将光束聚成锥形入射到棱镜的底部, 因此那些处于耦合角的光束将进入波导形成导模, 而不符合耦合角的光束由棱镜底部反射, 这时在光屏将出现对应模式的暗线。在实验中, 我们观察到了一条暗线, 它对应着波导中的基模。

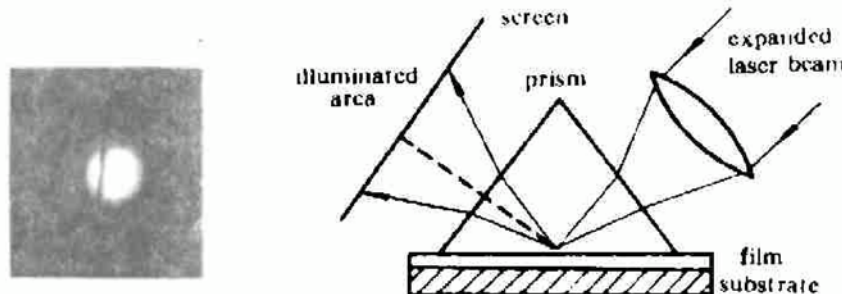


Fig. 5 Experimental arrangement for observing dark m line

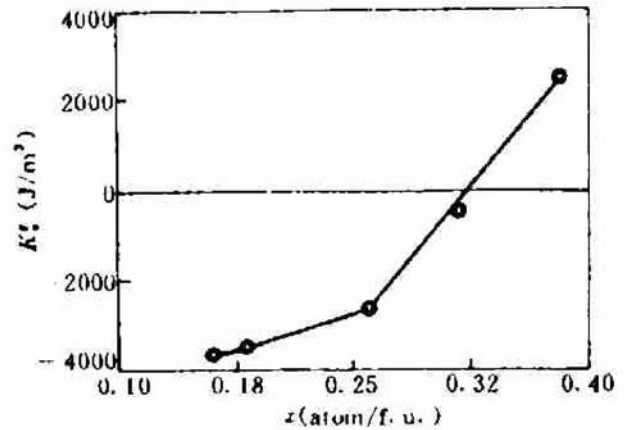


Fig. 4 Growth-induced magnetic anisotropy constant K_1^g vs Bismuth content X

综上所述, 在薄膜生长过程中, 改变基片的旋转速率, 可以对薄膜中 Bi 含量进行微量调节, 使双层膜的折射率相差在 10^{-3} 数量级, 满足单模传输的要求; 保持掺 Bi 量小于 0.3 原子分数, 可以实现易磁化方向平行于膜面, 降低器件对外磁场的要求。

参 考 文 献

- 1 R. Wolfe. *Solid Thin Film*, 1992, **216**(1) : 184~188
- 2 R. Wolfe, V. J. Fratello. Moglashan-powell. Thin film garnet materials with zero linear birefringe for magneto-optic waveguide device. *J. Appl. Phys.*, 1988, **63**(18) : 3099~3103
- 3 J. Hernandez, F. Canal, F. Dios *et al.*. Nonreciprocal signal mode conversion in multilayer magneto-optical waveguide. *Inter. J. Infrared and Millimeter Waves*, 1988, **9**(3) : 295~301
- 4 E. Pross, W. Tolksdorf, H. Dammann. Burid Channel Waveguide in magneto-optic materials. *Proc. SPIE*, 1988, **1018** : 121~125
- 5 R. Ulrich, R. Torge. Measurement of thin parameters with a prism coupler. *Appl. Opt.*, 1973, **12** : 2901~2908

Single Mode Magneto-optic Waveguide Film for Integrated Optics

Ouyang Jia Zhang Yin He Huahui

(Solid State Electronics Department, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract Single mode magneto-optic waveguides have been prepared by continuous growth of a double layer liquid phase epitaxy (BiAl)YIG film. By adjusting the difference of refractive index of the double layer film, single mode operation can be realized with a certain waveguide thickness. X-ray diffraction and magnetic anisotropy were measured respectively. Finally a dark m line was observed.

Key words (BiAl)YIG magneto-optic waveguide, single mode operation, prism coupling