

棱镜耦合方法在不可见光和非透明波导中进行的实验研究

刘用胜 陈戈林 张克潜

(清华大学电子工程系, 北京)

摘要: 本论文从理论上讨论了如何就给定的光波导选择恰当的耦合棱镜; 从实验方面研究了不可见光 (He-Ne, $1.15\mu\text{m}$) 在透可见光的波导上的耦合情况。实验结果表明棱镜材料的色散影响可以用柱面镜来消除。最后给出了不可见光在不透可见光的波导 (YIG/GGG) 上的耦合结果。

Experimental research of prism coupling method for invisible optical light on opaque optical waveguide

Liu Yongsheng, Chen Geling, Zhang Keqian

(Electronics Engineering Department, Tsinghua University)

Abstract: In this paper, we theoretically discuss the selection of prisms for a given waveguide, experimentally research the coupling of invisible light (He-Ne, $1.15\mu\text{m}$) with a transparent waveguide. The result shows that a cylindrical lens can eliminate the dispersive effect of prism material. Finally, we realize the coupling of He-Ne, $1.15\mu\text{m}$ laser with YIG/GGG waveguide.

一、引言

从1969年P.K. Tien等利用棱镜把光束耦合进波导以及发明了m线光谱学以来^[1,2], 棱镜耦合 (prism coupling) 方法被广泛用于集成光波导的光输入、输出的实验研究中。与端面耦合 (end-butting) 方法、光栅耦合 (grating coupling) 等方法相比, 棱镜耦合方法有其独特的优越性。在研究声表面波(SAW)-导行光波(GOW)、静磁波 (MSW) -导行光波相互作用机理以及光波导中非均匀区域的影响等方面, 采用棱镜耦合方式能够方便地将输入、输出光波导中的不同光波模式分开。因此, 在研究SAW-GOW、MSW-GOW等相互作用引起的光模式转换、光偏转和光衍射以及杂质注入、质子交换等方法在光波导上产生非均匀区域对光传播的影响等, 棱镜耦合方法被广泛地加以采用。此外, 棱镜耦合方法还被应用于精确测量波导薄膜材料的光学参量等方面。

对于光波导中传播的是可见光时，上述应用是比较方便的。然而当光波导薄膜不透可见光时，如磁光波导YIG/GGG，单片光电子集成器件常用材料GaAs、GaAlAs、Si波导等，用棱镜耦合方法实现非可见光的输入、输出实际上是比较困难的。这是由于：

1. 波导材料不透明，使棱镜与光波导之间的接触情况的判断变得比较困难；
2. 由于棱镜材料的色差影响，不容易象可见光那样精确地使光束照射在耦合区；
3. 在实验中，很难判断是否已发生了光耦合；不容易确定输出光的位置。

我们在研究MSW-GOW相互作用中，通常采用YIG/GGG波导。导光层YIG薄膜的光透过窗口为 $1.1\sim 5\mu\text{m}^{[3]}$ 。这就限制了我们必须采用不可见的近红外光源。而YIG当膜厚大于 $10\mu\text{m}$ 时已基本不透明。这时采用棱镜耦合方法具有一定的难度。由于棱镜耦合方法的优点，我们对这些问题进行了一些研究，实现了在不可见光波导中用棱镜耦合方法进行的输入、输出耦合实验。

二、实验系统简述

我们建立了一套如图1所示的实验系统。激光束经过扩束准直后照射到输入棱镜上。其中红外光是借助可见光束的导引照射到输入棱镜上。耦合到光波导中的光通过输出耦合棱镜耦合出来，并利用高灵敏度的IR摄影机把输出光模式显示到显示器上。IR探测器与输出耦合棱镜的相对位置是可以改变的，能方便地探测到耦合出的光束。采用显示器能较容易地知道是否已发生了耦合。



图1 实验系统示意图

三、耦合棱镜的选择

棱镜的主要参数是它的折射率 n_p 和棱镜角 ε ，其结构如图2所示。为了使激起的光波模式能在波导中传播，根据相位匹配条件，要求棱镜折射率 n_p 、导光层折射率 n_f 和衬底折射率 n_s 满足：

$$n_p > n_f > n_s \quad (1)$$

对YIG/GGG波导，其光学折射率 $n_{\text{YIG}} = 2.212$ ， $n_{\text{GGG}} = 1.94$ （光波长 $1.15\mu\text{m}$ 时）。因此，满足（1）式，在近红外区透光的晶体有金红石（ TiO_2 ）、锆酸铋（ $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ）和磷化镓（GaP）等^[4]。例如 TiO_2 ： $n_e = 2.872$ ， $n_o = 2.584$ （光波长 $0.6328\mu\text{m}$ ）。在波长 $1.15\mu\text{m}$ 时，折射率下降为 $n_e \approx 2.43$ ， $n_o \approx 2.62$ ^[5]。

对于棱镜角 ε 的输入耦合棱镜，以相位匹配条件和折射定律等关系可以推出，实现耦合的入射角 θ 满足：

$$\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max} \quad (2)$$

式中，

$$\theta_{\min} = \sin^{-1} \left\{ n_p \cdot \left[\sin^{-1} \left(\frac{n_s}{n_p} \right) - \varepsilon \right] \right\} \quad (3)$$

$$\theta_{\max} = \sin^{-1} \left\{ n_p \cdot \left[\sin^{-1} \left(\frac{n_f}{n_p} \right) - \varepsilon \right] \right\}$$

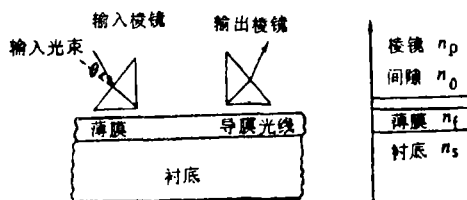


图2 棱镜耦合结构示意图

这样，对不同的 ϵ 就有不同的输入角的范围。令 $\Delta\theta = \theta_{\max} - \theta_{\min}$ 。实验中 $\Delta\theta$ 很小，具有重要的意义。例如，YIG/GGG波导用金红石棱镜在不同 ϵ 下 $\Delta\theta$ 的值有：

	$\epsilon = 30^\circ$			$\epsilon = 45^\circ$			$\epsilon = 60^\circ$		
	θ_{\min}	θ_{\max}	$\Delta\theta$	θ_{\min}	θ_{\max}	$\Delta\theta$	θ_{\min}	θ_{\max}	$\Delta\theta$
e光	71°31'	—	—	19°41'	58°31'	39°6'	-17°17'	13°34'	30°51'
o光	53°5'	—	—	7°16'	34°50'	27°34'	-33°42'	-6°18'	40°1'

可见，对于特定的光波导，只有在一定范围内的棱镜角，才能实现耦合，同时可以看出，选择合适的棱镜角 ϵ ， $\Delta\theta$ 可以很小，在实验中只要搜索比较小的输入光角度，容易实现光束的耦合。

四、实验结果

为了观察棱镜材料及其它光学元件的色差影响，我们先在透可见光和红外光的玻璃波导上进行实验，并在入射光束与输入光束之间加一个柱面镜，使入射到耦合区的光束具有小范围变化的入射角度。图3是耦合的实验结果。a图是只有可见光（He-Ne, 0.6328 μm ）入射的情形；b图是只有近红外光（He-Ne, 1.15 μm ）的情形；c图是可见光和近红外光同时入射下的实验结果。实验实现了不可见光在透明波导上的耦合。从出射光的位置变化可以看出棱镜材料的色差影响。同时，可以看出，柱面镜的会聚作用，不仅克服了棱镜材料的色差影响，使相同入射角情况下，近红外光与可见光同时实现了耦合，而且提高了输入光强密度，相应提高了耦合效果。

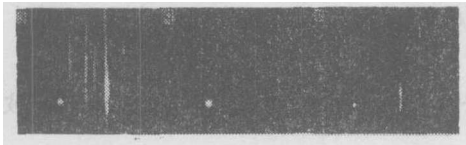


图3 利用柱面镜会聚作用在玻璃波导上的耦合实验

a—可见光（He-Ne, $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ ）情形 b—不可见光（He-Ne, $\lambda = 1.15\mu\text{m}$ ）情形 c—可见光、不可见光同时入射情形

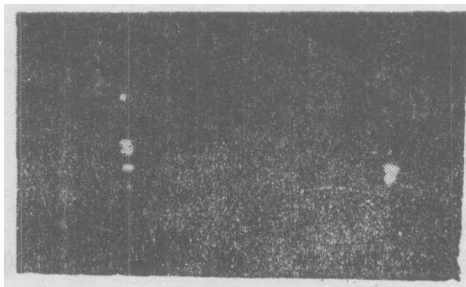


图5 近红外光（He-Ne, 1.15 μm ）利用金红石棱镜在YIG/GGG波导上的耦合实验



图4 在玻璃波导上利用棱镜耦合进行的偏转实验（折射率不均匀区由等离子体淀积的 $\alpha\text{-Si:H}$ 形成）

图4是利用棱镜耦合方法观察平面波导上制作的不均匀区域对光传播的影响。不均匀区是由 $\alpha\text{-Si:H}$ 用ECR-MPCVD方法在玻璃波导上沉积的。其形状呈三角形。实验中观察到的光束的偏转与不均匀区的折射率变化情况是符合的。

在积累了上述实验的经验后，我们在不透可见光的YIG/GGG波导上进行了耦合实验。

图5是实验结果。YIG膜厚 $4.7\mu\text{m}$ 。输入、输出都采用金红石棱镜 ($e = 45^\circ$)。实验中观察到7个波导模式, 实现了不可见光在不透可见光的波导中的耦合。

五、结 论

通过实验, 我们实现了用棱镜耦合方法对不可见光在非透明的YIG/GGG波导上的输入、输出的耦合。这种方法也完全适用于别的不透明波导和所用的相应光源。例如, GaAl、GaAlAs波导和所采用的波长 $1.37\mu\text{m}$ 和 $1.53\mu\text{m}$ 的LD光源。我们采用加柱面镜的方法克服了棱镜材料的色差影响, 并探讨了如何选择耦合棱镜以便容易实现耦合的一些问题。

利用棱镜耦合方法对非透明光波导实现不可见光具有一定束宽的光束输入、输出, 在实际操作中还要采取一些具体的措施。通过实践可以熟练其技巧, 方便地实现耦合。

我们认为, 棱镜耦合方法在不可见光、非透明波导的耦合问题中, 以及在SAW-GOW、MSW-GOW相互作用和波导非均匀区域影响等问题的研究中, 仍是一个重要的手段。

作者感谢天津大学的陈才和教授和张桂兰老师在实验初期给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] Tien P K et al., A. P. L., 1969; 14; 291
- [2] Tien P K, Appl. Opt., 1971; 10; 2395
- [3] Belt Roger F et al., SPIE, 1987; 753; 142
- [4] 金铎, 范俊清编著, 集成光学(中册)。北京: 国防工业出版社, 1982
- [5] [苏] E.M. 沃伦科娃等著, 北京玻璃研究所译, 红外光学材料手册。1973

*

*

*

作者简介: 刘用胜, 男, 1963年3月出生。硕士生, 现正在攻读博士学位, 从事静磁波与光波相互作用的研究工作。

陈戈林, 男, 1938年5月出生。副教授。现从事集成光学、微波声学、无损检测等领域的研究工作。

张克潜, 男, 1933年3月出生。教授, 博士生导师, 电子工程系主任。现从事光电子学、微波声学等领域的研究工作。

收稿日期: 1989年12月11日。

收到修改稿日期: 1990年3月17日。

· 简 讯 ·

Nd: YAG激光治疗常年性鼻炎

中国人民解放军第八一医院耳鼻咽喉科在1988年9月至1990年5月期间, 用JG-2型YAG激光治疗仪治疗常年性鼻炎211例, 经鼻腔引入带导光纤导管, 以大功率YAG激光照射翼管后、蝶腭孔区及鼻丘。激光照射治疗后观察66例, 3个月时有有效率92%, 一年以上有效率66.5%。该方法的优点是将复杂的翼管手术转变为简便的门诊治疗, 损伤小, 无严重并发症, 近似手术疗效。

(缪东生 王睿藻 供稿)