

具有 4β 倒相结构的热光定向耦合器*

陈 铮 武 刚
(电子科技大学光电系, 成都) (四川工业学院)

提 要

本文首次提出利用热光效应构成 4β 倒相结构的定向耦合器的设想, 并在玻璃衬底上作出了具有两对薄膜热子的实验器件。在 $|\text{kHz}|$ 方波调制电压下, 用配有 12 位高速 (A/D) 变换器的微机, 对定向耦合器的光输出进行分析, 表明这种器件实现了全开、全关态, 由于该类器件对入射光偏振状态无选择性, 在短波工作时无光损伤以及容易制作, 这类器件可望在对响应速率要求不高的场合获得应用。

关键词: 热光效应, 定向耦合器, 玻璃波导, 离子交换。

一、引 言

从 1981 年开始, 出现了有关利用热光效应控制的导波光学器件的研究工作的报道。对于钠玻璃, 折射率温度系数达 $1 \sim 1.5 \times 10^{-5} [1]$ 。因而, 依靠设置于其表面上薄膜热子加热作用, 温升 100°C 就可获得折射率增量达 10^{-3} , 这一增量并不亚于导波光学中常用的 LiNbO_3 波导上依靠电光效应所能取得的值。因此, 合理地设计薄膜热子以及安放的位置, 完全可以通过热光效应控制导波在波导的传输特性。已报道的有热光模截止强度调制器、热光 Y 分叉波导强度调制器和热光马赫-陈德强度调制器^[2~4]。热光效应器件的响应速率低, 但因玻璃波导对入射光偏振方向无选择性, 加之不存在 LiNbO_3 波导中的光损伤现象, 因此, 作为对响应速率要求不高的信道切换开关是有广阔的应用前景的。

在电光调制器、开关的研究中, 多电极的 4β 倒相定向耦合器最引人注目^[5], 其设计与制作工艺展现了极大的灵活性, 并取得了理想的直通态 (bar-state) 和交叉态 (cross-state) 能量传输。本文首次提出利用热光效应构成 4β 倒相定向耦合器的设想, 并报道器件的制作工艺和特性测试结果, 对其工作原理作了讨论。

二、器件的结构和制作工艺

图 1(a) 示出了具有两对电极的电光 4β 倒相定向耦合器的结构^[5], 本文设计的热光 4β 倒相定向耦合器结构如图 1(b) 所示。在电光效应器件中, 依靠外加电场与晶体光轴反向或同向来取得导波传播常数 $+4\beta$ 或 -4β 变化。对于具有两对电极的电光 4β 倒相定向耦合器, 耦合区长度 L 处于 $(\pi/2\kappa) \sim (3\pi/2\kappa)$ 之间最为合理。 κ 为波导间导模的耦合系数。

本文提出的热光 4β 倒相定向耦合器中, 两个薄膜热子交错置于沟道波导顶部, 由于热子加热作用, 可以获得类似于电光效应的 4β 倒相结果。设计的定向耦合器尺寸为: 耦合区

收稿日期: 1988年5月12日; 收到修改稿日期: 1989年5月7日

* 本课题由四川省科委科学基金资助。

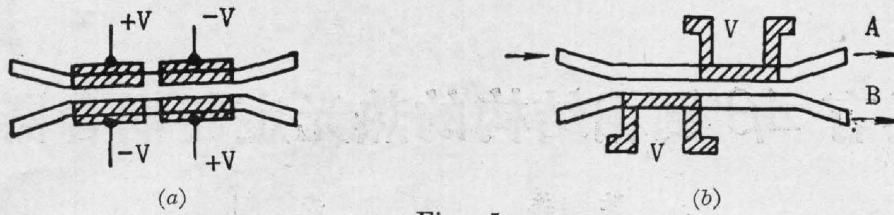


Fig. 1

(a) E-O reversed 4β directional coupler; (b) proposed T-O reversed directional coupler

沟道波导宽度为 $4\mu\text{m}$, 波导间距 $6\mu\text{m}$, 耦合区长度 8mm , 定向耦合器是在显微镜载玻片上用 K^+ 离子交换技术形成的。计算表明, 在 6328\AA 波长下, 该耦合器耦合区长度处于 $(\pi/2\kappa) \sim (3\pi/2\kappa)$ 之间。

器件的制造工艺如下所述: 第一步是在严格清洗的玻片上用光刻技术化学腐蚀形成套刻标记*。将有套刻标记的玻片真空蒸发一层厚度 1000\AA 以上的铝薄膜, 第二步采用光刻技术在铝膜上刻蚀出定向耦合器开口图案。将有铝掩膜图案的玻片放入 370°C 的硝酸钾融体中进行 1 小时 K^+ 离子交换, 无铝膜保护的玻璃表面层中的 Na^+ 被 K^+ 离子取代, 导致折射率升高, 形成波导, 在上述条件下可形成单模波导, 再将已进行 K^+ 离子交换的样品表面的铝膜去除掉, 把片子两端进行抛光。最后在其表面蒸镀一层金属 Ti 膜, 第三步是使用光刻法在波导顶部作出如图 1(b) 所示的 Ti 薄膜热子。热子宽度 $5\mu\text{m}$, 每个热子工作区长度 4mm , 电阻在 $7\text{k}\Omega$ 左右。

三、器件特性测试结果

使用 He-Ne 激光器 6328\AA 辐射作光源, 经透镜聚焦, 端射式耦合进器件的一条输入波导。图 2 为不施加电压时, 热光 4β 倒相定向耦合器输出的近场图照片, 输出波导的间距为 $165\mu\text{m}$ 。

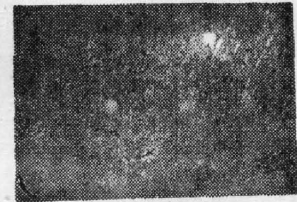


Fig. 2 Near-field pattern of T-O directional coupler output

图 3(a)、(b) 为两对热子同时施加 $1\text{k}\Omega$ 方波电压时, 从波导 A 和 B 输出的被调制的光波形照片, 双线示波器下面的波形为施加方波电压波形。在图 3(c) 和 (d) 中分别表示只在一个热子上施加同一方波电压时, 从波导 A 获得的调制光输出波形。从图 3 所示的各种波形可以清楚证明, 当器件工作在 4β 倒相状态时, 取得了优良的调制特性, 也证实了器件结构设想正确。

为了精确地定量分析脉冲调制特性, 将光电探测器的输出电压讯号与 12bit 高速

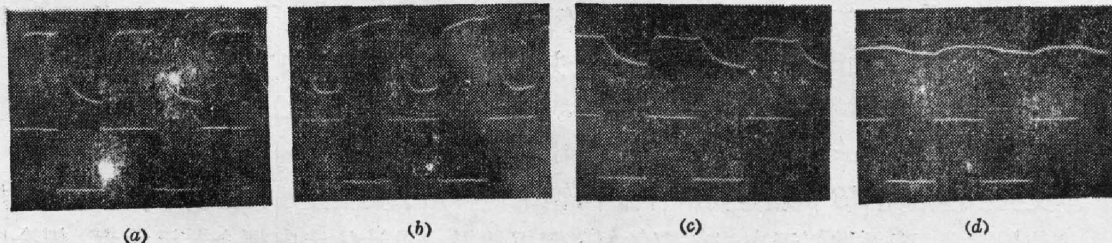


Fig. 3 Response of T-O reversed 4β directional coupler at 1kHz square wave modulation

* 有了腐蚀出的套刻标记, 方能确保后续工艺制作的薄膜加热子能精确安置于沟道波导顶部。

(A/D)变换器联通,并用微机将随时间变化的光电信号存储起来,进行高精度数据分析表明,当每个热子上施加电脉冲功率 250 mW 时,该器件取得了满意的直通态和交叉态,响应时间 $\tau \leq 0.1$ ms。

定义调制深度 $M = (I_{\max} - I_{\min}) / I_{\max}$, I_{\max} 和 I_{\min} 分别为 1 kHz 方波电压调制时输出光强的极大值及极小值。图 4 为所测得的调制深度与脉冲功率的实验结果。

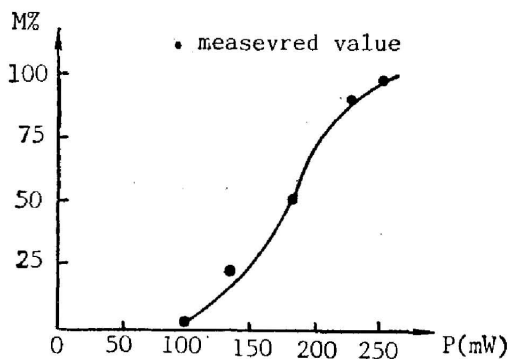


Fig. 4 Measured modulation depth versus pulse power

四、讨论和结语

在电光 4β 倒相定向耦合器理论分析的文献中^[5],已给出了具有两对电极的耦合器的开关图。要达到直通态和交叉态,要求施加不同的两组电压。

对于本文制作的热光 4β 倒相定向耦合器,当不施加电压到热子上时,波导处于室温 T_r 。当施加连续的脉冲电压时,热子发热使波导温度升高,在有脉冲以及脉冲空闲期,波导的温度均不同于室温 T_r 。设有脉冲时波导温度为 T_H ,脉冲空闲期时波导温度为 T_L 。则在连续脉冲调制下,顶部有热子的波导与相平行的无热子的波导间将周期性地出现温差 $\Delta T_1 = d(L_L - T_r)$ 和 $\Delta T_2 = d(T_H - T_r)$ 这两种热状态。 d 是考虑波导间存在热传导而引入的一个小于 1 的系数。 T_H 、 T_L 是脉冲功率和占空率的函数。因而,在连续脉冲调制下,所出现的 ΔT_1 、 ΔT_2 这两种状态,正是能取得与电光效应器件施加两种电压异曲同工的效果,从而获得了直通态和交叉态。

作者曾将 370°C 下,用 K^+ 离子交换技术制作的波导在 280°C 下烘烤 1 小时,并未发现导波传播常数发生变化,证实了波导的热稳性。

综上所述可知,由于玻璃波导制作简便、工艺成熟,不存在光损伤现象以及对光的偏振方向无选择性,这类器件在要求响应速率不高的场合下将有应用背景。

参 考 文 献

- [1] 西原 浩;《光集積回路》,才一社,1985,表 5·8.
- [2] M. Haruna, J. Koyama; *Appl. Opt.*, 1982, **21**, No. 19 (Oct), 3461~3465.
- [3] M. Haruna, J. Koyama; *2nd European Conf. On Integrated Optics, Tech. Dig.*, 129~131, Firenze, Oct., 1983.
- [4] T. Findakly, B. Chen; *Seventh Topical Meeting On Integrated and Guided-Wave Optics*. ThB5-1, Kissimmee, Florida, 1984.
- [5] H. Kogelnik, R. V. Schmidt; *IEEE J. of Quantum Electronics*, 1976, **QE-12**, No. 7 (Jul), 396~401.

Thermo-optic switched directional coupler with reversed $\Delta\beta$

CHEN ZHENG

WU GANG

(*University of Electronic Science and Technology*)

(*Sichuan Institute of Technology*)

(Received 12 May 1988; revised 7 May 1989)

Abstract

A conception of thermo-optic switched directional coupler with reversed $\Delta\beta$ is proposed and a testing device with two pairs of electric heaters has been fabricated on glass substrate. At 1 kHz square wave voltage modulation, analyzing optical output power from the device by using a high speed 12-bit A/D converter connected with a computer, shows that both a bar-state and a cross-state have been obtained. Because glass waveguides are optical damage-free, polarization-insensitive, and easy to fabricate, the device can be widely used in the cases that do not require high speeds.

Key words: Thermo-optic effect; directional coupler; glass waveguide; ion exchange.