

应用 LiNbO₃ 声表面波驱动的全光纤声光频移器*

张仲先 高航军 龙槐生 谢为一 黄介平

(浙江大学光电科仪系, 杭州 310027) (上海无线电一厂, 上海 200063)

提 要

介绍一种工作在 10.7 MHz 的全光纤声光频移器。它由在 LiNbO₃ 基片上制作的叉指电极换能器产生的声表面波驱动。当驱动电功率 1.5 W 时, 频移光转换效率达 35%。

关键词 高双折射光纤, 声表面波器件, 声光移频器, 光纤传感器。

1 引 言

为获得载频信号, 在相干光通信和光纤传感器中, 光频移器是十分有用的。通常应用的体块声光调制器及集成光学器件, 由于不能与光纤构成一体, 造成光耦合与调整上的一系列困难及插入损耗, 因此迫切需要研制全光纤声光频移器。现已研制出许多种不同类型的全光纤频移器, 它们均是利用声波与光波导相互作用, 使高双折射单模光纤中两个偏振模式相互耦合, 或使双模光纤中两个空间模式相互耦合, 伴随能量变化, 产生光频移。其声波的工作方式主要有: 体声波^[1], 由楔形换能器使体切变波转换成声表面波^[2], 沿光纤传播的柔性声行波^[3]。这些装置的缺点或是声光转换效率不高, 要求驱动功率过大, 或是结构太脆弱, 很难实用。1989年又发展了一种叉指电极激发的声表面波^[4], 由于结构简单, 转换效率高, 显示出其优越性。不过它的基片是 PZT₄, 工作频率仅 3 MHz, 本文报道在 LiNbO₃ 基片上以 10.7 MHz 驱动的全光纤频移器, 并获得了 35% 的转换效率。

2 原 理

在高双折射光纤中传播着两个正交的, 快慢轴相位常数各为 β_f 和 β_s 的偏振模式。由于 $\Delta\beta = \beta_f - \beta_s$ 很大, 故两模式不易发生能量耦合。如在此光纤上施加一空间周期性压力, 当空间周期长度 d 与光纤拍长 $L_B = (2\pi/\Delta\beta)$ 相等, 且压力与光纤主轴成 45° 时, 则两模发生能量耦合^[5]。当沿光纤施加一相位传播常数为 k_a , 频率为 Ω 的超声行波 $S = S_0 \exp \times [-i(\Omega t - k_a z)]$ 时, 应用耦合模理论可得

$$\left. \begin{aligned} \frac{da_f}{dz} &= -iC_{sf} \exp(i\Delta kz) \cdot a_s, \\ \frac{da_s}{dz} &= -iC_{fs} \exp(i\Delta kz) \cdot a_f, \\ \Delta k &= (k_f - k_s) - k_a, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

收稿日期: 1991年12月2日

* 本课题由国家自然科学基金的资助。

式中 Δk 为两模式光学传播常数差与声学传播常数之间的相位失匹配值. $C=C_{sf}=C_{fs}$ 为模式耦合系数, 它随超声功率而变. 如果全部光能从一个模式注入, 则在超声作用下, 经长度 L 耦合进另一模式的效率 η 为^[4]:

$$\eta = \frac{4C^2}{4C^2 + \Delta k^2} \sin^2 \left[\frac{1}{2} \sqrt{4C^2 + \Delta k^2} \cdot l \right]. \quad (2)$$

由(2)式知, 仅当 $\Delta k=0$, 即超声波沿光纤传播方向的波长与光纤拍长相等时, 达到相位匹配, 才能获得两模式间大的能量耦合. 此时(2)式简化为

$$\eta = \sin^2(C \cdot l). \quad (3)$$

(3)式表明: 增大耦合系数及加长声光作用距离可提高耦合效率.

伴随两模间光能的耦合, 光频也因能量增减而发生变化. 由能量守恒, 其频移值 ω 由下式决定.

$$\omega = \omega_0 + [(\beta_0 - \beta_i) / |\beta_0 - \beta_i|] \Omega, \quad (4)$$

式中 β_i 为入射光相位常数, β_0 为出射光相位常数, ω_0 为入射光频率. 由(4)式知, 从快轴耦合至慢轴光频增加, 反之减少.

3 实 验

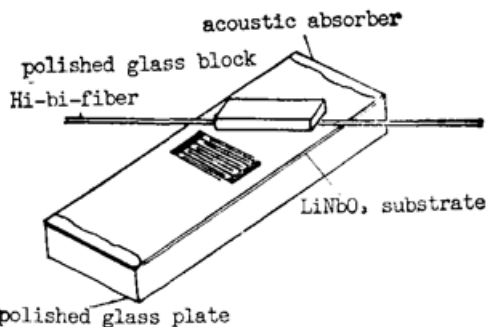


Fig. 1 HiBi fiber pressed onto surface of SAW device by glass pressure plate

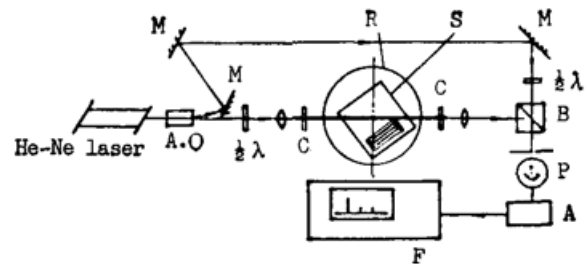


Fig. 2 Measurement system used to evaluate frequency shifter

A.O—40MHz Bragg cell, M—Mirror, C—fiber chuck, R—Rotation table, S—SAW device, P—photomultiplier, A—Amplifier, F—TF2370 Spectrum Analyser

LiNbO₃ 声光频移器如图 1 所示. 声表面波器件* 是在 $42 \times 40 \text{ mm}^2$ 厚 0.5 mm 的 LiNbO₃ 晶体上刻制 10.7 的叉指电极, 声学孔径 20 mm, 两侧面涂吸声材料以防边界反射. 高双折射光纤** 的 $L_B=1.3 \text{ mm}$, 工作波长为 632.8 nm. 剥除声光工作区的光纤外包层, 用光学平板将它压在 LiNbO₃ 上, 且使光纤与电极刻线成 50.3° , 以满足相位匹配条件. 图 2 为频移器测试装置. 它是外差马赫-陈德尔干涉系统. 带布儒斯特窗的 He-Ne 激光器发出的偏振光经工作在 40 MHz 的布拉格声光调制器分出零级光及频移 40 MHz 的一级光. 零级光经 $\lambda/2$ 波片沿光纤主轴入射. 用两光纤夹头使光纤主轴与压力方向成 45° , 再经检偏器取出频移信号. 在参考光路中加一 $\lambda/2$ 波片使两束光偏振取向相同. 经合光后用 R 456 光电倍增管接收, 放大后由 TF 2370 频谱分析仪显示频移信号如图 3 所示. 显然, 光频移

* 上海无线电一厂制作.

** 中国科学院上海硅酸盐研究所.

在 10.7 MHz. 其耦合效率由单路测量光中耦合能量测出. 不加超声, 不用检偏器时输出光电流 4.075 V, 加超声频移并检偏后为 1.402 V, $\eta \approx 35\%$. 实验中载频线 40 MHz 相当强, 这是由于电路屏蔽不佳, 直接耦合入 TF2370 的信号较大以及入射线偏光与光纤主轴未完全对准有关.

国外报道的叉指电极均制作于基片的一边, 为提高效率, 将光纤绕圈, 两次压到声表面波器件上以增加作用长度. 我们研制的叉指电极置于 LiNbO_3 基片正中, 这样将光纤弯曲压到电极左右两边即可获得相同频移而提高效率. 此实验尚在进行中.

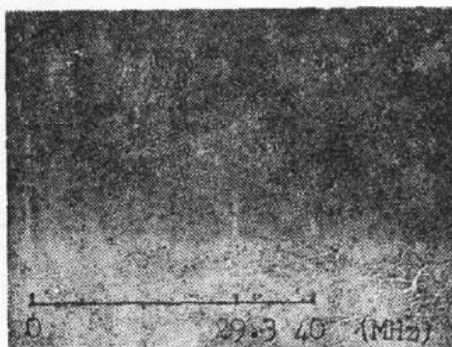


Fig.3 Spectrum analyser trace showing carrier centred on 40 MHz and down-shifted signal on 29.3 MHz (10MHz/div)

参 考 文 献

- [1] W. P. Risk *et al.*, *Opt Lett.*, 1984, **9** (7): 309
- [2] W. P. Risk *et al.*, *Opt Lett.*, 1986, **11** (5): 336
- [3] B. Y. Kim *et al.*, *Opt. Lett.*, 1986, **11** (6): 389
- [4] P. A. Greenhalgh *et al.*, *Proc. SPIE*, 1990, **1314**: 284
- [5] Zhang Zhongxian *et al.*, *Proc. SPIE*, 1991, **1572**: 5

All-fiber frequency shifter using LiNbO_3 SAW device

ZHANG ZHONGXIAN GAO HANGJUN LONG HUAISHENG

(Optical Engineering Dept. of Zhejiang University, Hangzhou 310027)

XIE WEIYI HUANG JIEPING

(Shanghai No. 1 Radio Factory, Shanghai 200063)

(Received 2 December 1991)

Abstract

An all-fiber frequency shifter operating at 10.7 MHz is described. The device was based on a SAW structure using interdigital transducer on LiNbO_3 substrate. A coupling efficiency of 35% has been achieved by using a 1.5 W electrical drive power.

Key words HiBi fibers, SAW devices, Acousto-optical frequency shifters, Optical fiber sensors.