

# 切伦科夫倍频用质子交换 $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$ 波导性能研究

牟晓东 邵宗书 岳学锋 陈军 卓壮

(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

**提要** 本文研究了用质子交换(PE)法生长的  $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$  波导的性能,分析了切伦科夫倍频条件并实现了由  $1.06 \mu\text{m}$  到  $0.53 \mu\text{m}$  的切伦科夫倍频转换(CSHG),转换效率接近1%。

**关键词** 切伦科夫倍频,质子交换  $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$  波导,有效折射率

## The characteristics of proton-exchanged $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$ waveguides used for Cerenkov second harmonic generation

MU Xiaodong, SHAO Zongshu, YUE Xuefeng, CHEN Jun, ZHUO Zhuang

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100)

**Abstract** The proton-exchanged  $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$  waveguides and its characteristics were described. The condition for Cerenkov second harmonic generation (CSHG) was analyzed. The CSHG was also demonstrated experimentally and the conversion efficiency of about 1% was obtained.

**Key words** Cerenkov second harmonic generation, proton-exchanged  $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$  waveguide, effective refractive index

## 1 引言

集成光学的出现改变了传统光学的设计方法,产生了许多新型的波导型器件,如激光器、调制器、开关、探测器、棱镜和偏振器件等<sup>[1]</sup>。目前,由于对半导体激光倍频的需求,波导型倍频器件的研制进展非常快<sup>[2,3]</sup>,其中利用波导的切伦科夫辐射进行倍频,不但可以提高光的功率密度和相互作用长度,还可以扩展可倍频波长范围,自动满足位相匹配条件和利用  $\text{LiNbO}_3$  晶体的最大非线性系数  $d_{33}$  等。本文对这种倍频的质子交换  $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$  波导的性能进行了研究,并进行了切伦科夫倍频实验。

## 2 波导性能

本文中使用的  $c$ -切 PE- $\text{MgO} : \text{LiNbO}_3$  波导,质子源为苯甲酸,基片中  $\text{MgO}$  的掺杂量摩

收稿日期:1992年7月14日;收到修改稿日期:1992年10月9日。

\* 本课题得到国家 863 计划基金的资助。

尔比为 7.5%，该波导具有以下特点：

1. 波导层折射率为近阶跃型分布，表 1 中列出了我们制作的五块样品的生长条件和测试结果。图 1 是利用 WKB 方法<sup>[4]</sup>绘制的 5 号样品在 1.064, 0.633 和 0.532  $\mu\text{m}$  三个波长的折射率分布曲线，呈很好的近阶跃分布。折射率的改变列于表 2。

Table 1 Parameters of the waveguides ( $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ )

sample No.	exchanged time (h)	mode order	effective indexes	waveguide layer indexes	waveguide depth ( $\mu\text{m}$ )
1	0.7	$m = 0$	2.2911	2.326	0.58
		$m = 1$	2.1918		
2	0.9	$m = 0$	2.3057	2.327	0.67
		$m = 1$	2.2773		
3	2.0	$m = 0$	2.3097	2.326	0.98
		$m = 1$	2.2583		
4	6.0	$m = 0$	2.3226	2.328	1.68
		$m = 1$	2.3022		
		$m = 2$	2.2685		
		$m = 3$	2.2237		
5	35	see Table 2		2.325	4.16

Table 2 The indexes of extraordinary of waveguide

$\lambda (\mu\text{m})$	$n_{3e}$	$n_{2e}$	$\Delta n_e$
0.532	2.2307	2.389	0.159
0.633	2.1911	2.325	0.134
1.064	2.1544	2.265	0.111

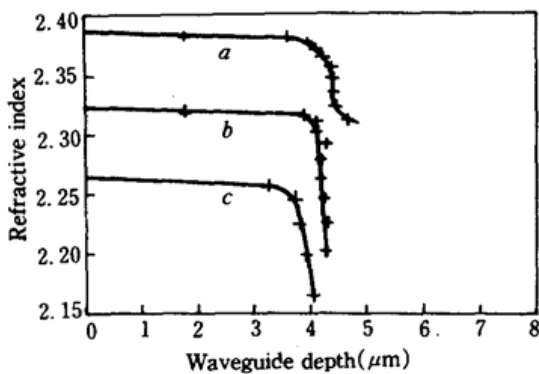


Fig. 1 The refractive index profiles of sample 5. Curves a, b and c are the refractive index profiles corresponding to wavelengths of 0.532, 0.633 and 1.064  $\mu\text{m}$  respectively

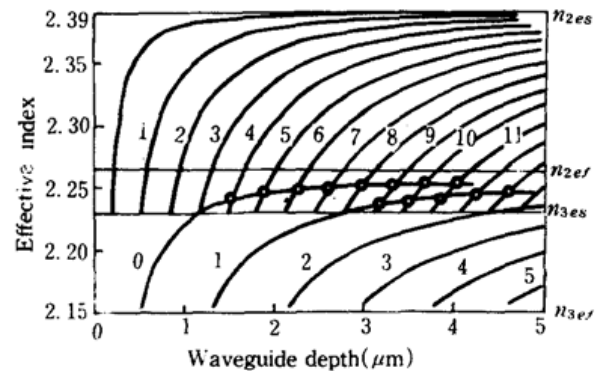


Fig. 2 The effective refractive index of guide modes as a function of the waveguide depth. the upper is the curves of harmonic wave, the lower is the curves of fundamental wave

2. 导模有效折射率随波导层厚度的增加而增加。图 2 是根据上面的结果绘制的该种波导对 1.064  $\mu\text{m}$  基频光和 0.532  $\mu\text{m}$  倍频光的导模色散曲线。

3. 存在两种类型的位相匹配。由图 2 可看出：当  $n_{\text{eff}} > n_{2\text{ef}}$  时，基频光无法形成导模，不会产生任何波导倍频；当  $n_{2\text{ef}} > n_{\text{eff}} > n_{3\text{es}}$  时，基频光和倍频光都可以形成导模，且存在位相匹配点（图中曲线的交点），说明在 PE-MgO : LiNbO<sub>3</sub> 波导中能够存在由 1.064  $\mu\text{m}$  到 0.532  $\mu\text{m}$  导模之间的倍频，已被实验证实；当  $n_{3\text{es}} > n_{\text{eff}} > n_{3\text{ef}}$  时，倍频光只能形成辐射模，由于辐射模的连续性，使得在此区域内位相匹配条件可以自动满足，这就是切伦科夫倍频；当  $n_{3\text{ef}} > n_{\text{eff}}$  时，基频光

和倍频光都只能形成辐射模,无法再实现波导倍频。

由上面的倍频条件可看出:我们制作的五块样品中,前三块样品都是只有0阶模满足此条件;4号样品只有1阶模满足此条件;5号样品对 $1.064\ \mu\text{m}$ 的光可形成五个导模,但只有2,3,4阶导模满足此条件,因此5号样品应能在三个角度上产生切伦科夫倍频。

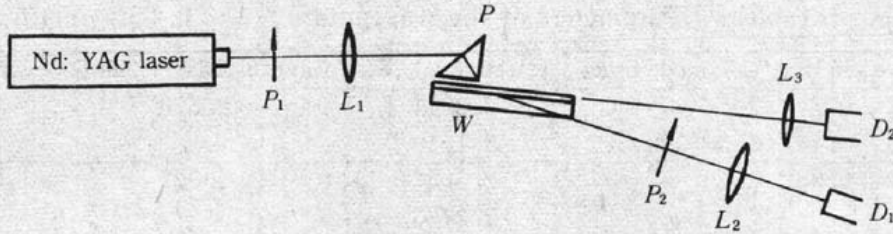


Fig. 3 The experimental arrangement of CSHG:  $P_1, P_2$  — polarizer;  $L_1, L_2, L_3$  — lens;  $P$  — rutile prism;  $W$  — waveguide;  $D_1, D_2$  — detector

### 3 切伦科夫倍频实验

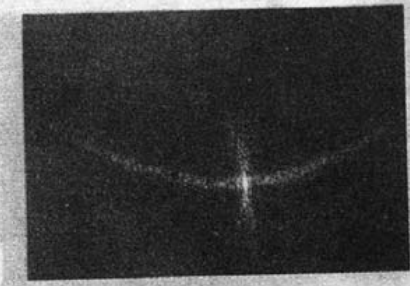


Fig. 4 The harmonic wave pattern of CSHG

倍频实验装置如图3所示。用Nd:YAG声光调Q激光作为基频光源,两块检偏器用于检偏基频光和倍频光的偏振性。在 $1.65\ \text{mW}$ 的基频光功率输入下,由2号波导得到了 $16.3\ \mu\text{W}$ 的倍频光输出,转换效率约1%,这与目前报道的此类波导的最高倍频转换效率是一致的<sup>[2]</sup>,采用周期性波导结构,可将倍频转换效率提高到20%以上<sup>[5]</sup>,目前有关实验我们正在进行之中。图4是2

号样品的切伦科夫倍频光斑。表3中给出了实验结果。可以看出这同前面的分析是一致的。

Table 3 The CSHG ( $1.064\ \mu\text{m}$  to  $0.532\ \mu\text{m}$ ) experimental results

Sample No.	Input angle	Output angle	Input power (mW)	Output power ( $\mu\text{W}$ )
1	44.8	9.1	1.65	14.3
2	45.4	9.0	1.65	16.3
3	49.5	7.8	1.65	14.0
4	54.3	7.0	1.65	10.7
	47.9			weak
5	43.5		1.65	weaker
	38.5			the weakest

### 参 考 文 献

- [美] 田炳耕, 集成光学和光学波导中的波现象, 人民邮电出版社, 1980, 1
- G. Tohmon *et al.*, *SPIE*, **898**, 75(1988)
- R. Regener, W. Sohler, *J. Opt. Soc. Am. B.*, **7**, 267(1988)
- J. M. White, P. F. Heidrich, *Appl. Opt.*, **15**, 151(1976)
- Xiaofan Cao *et al.*, *Opt. Lett.*, **17**, 795(1992)