

# 铌酸钡钠声光/倍频复合功能器件的研究

冯锡淇 唐元汾 吴惠法 卞慧安 谭浩然

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

**提要:** 在一块单畴铌酸钡钠晶体上同时实现对 Nd:YAG  $1.06\ \mu\text{m}$  激光的声光调制和腔内倍频。介绍这种复合功能器件的结构和制作工艺。器件中心频率 129MHz, 总衍射效率大于 50% ( $6328\ \text{\AA}$ , 驱动电压 3V)。

## Investigation on the barium sodium niobate acousto-optic modulator/frequency doubler for Nd:YAG lasers

Feng Xiqi, Tang Yuanfen, Wu Huifan, Bian Huian, Tan Haoren

(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica)

**Abstract:** We have achieved the acoustic-optic modulation and the second harmonic generation for Nd:YAG lasers simultaneously in the same barium sodium niobate crystal. In this paper, the structure and fabrication of this complex functional device are described. Its central frequency is 129 MHz and total diffraction efficiency higher than 50% ( $6328\ \text{\AA}$ ) at a driving voltage of 3 volts.

复合功能器件系指激光单元技术中的一类功能器件, 在一块晶体内同时实现两种或两种以上的功能。目前在激光技术中常用的氧化物铁电单晶如铌酸锂 ( $\text{LiNbO}_3$ )、铌酸钡钠 (BNN)、碘酸锂 ( $\text{LiIO}_3$ ) 等往往同时具有电光、声光、倍频、存储、受激发射等效应。这就为多种功能的组合提供了广泛的可能性。铌酸钡钠 (以下简称 BNN) 是一种优异的非线性光学晶体, 并具有适度的声光优值, 是制作复合功能器件的理想材料。下面介绍我们研制的一种具有声光调制和倍频效应的 BNN 复合功能器件 (以下简称 BNN AO/FD 器件)。

### 器件结构和工艺

BNN 为各向异性晶体, 对应于通光方向、偏振特性、通声方向、声波波型的不同组合, 非线性系数和声光优值差别甚大。限制条件是, 对二次谐波产生来说,  $1.06\ \mu\text{m}$  光束的偏振方向必须垂直  $c$  轴。如果声波为纵波, 根据文献 [1] 测算的结果, 可供选择的器件取向如表 1 所示。由表 1 可见纵波器件的结构应取  $1.06\ \mu\text{m}$  激光束沿  $b$  轴传播,  $a$  轴偏振, 通声方向平行  $c$  轴。

收稿日期: 1984年5月30日。

表 1 纵波 BNN AO/FD 器件的几种组合

1.06 μm 激光束		声 波		声光优值 $M_2/M_2$ 石英
方 向	偏 振	波 型	方 向	
a 轴	b 轴	纵 波	c 轴	0.8
a 轴	b 轴	纵 波	b 轴	0.1
b 轴	a 轴	纵 波	c 轴	1.2

器件的设计已在文献[2]中述及,对用于不同目的的器件如调制、锁模、调Q等应作调整。实际上,因受晶体尺寸、器件工艺条件和光束质量的限制,目前尚难严格按原设计制作器件。

图 1 为本文所述 BNN 驻波型声光器件结构示意图。选取单畴、已去孪晶的 BNN 晶体加工成长度分别为 2~8 mm 的六面体,透光方向不小于 6 mm。 $36^\circ y$  切 LiNbO<sub>3</sub> 作换能器,它的电声转换效率高,且声阻抗与 BNN 匹配。它与 BNN 晶体的 c 面通过真空

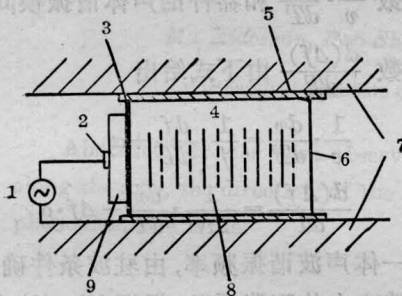


图 1 BNN AO/FD 器件示意图

1—射频源; 2—上电极; 3—键合层; 4—BNN 晶体; 5—铝箔; 6—自由面; 7—散热器; 8—驻波图案; 9—声换能器

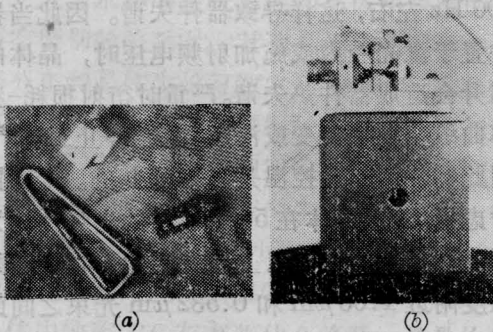


图 2 BNN AO/FD 器件的照片

(a) 左上为 BNN 晶体, 右为待装配的 BNN 器件;  
(b) AO/FD 器件, 透光圆孔中露出晶体一角。

钢压焊加以键合。键合质量对器件性能影响极大。因此,准确定位和控制压力是重要的。键合后,将 LiNbO<sub>3</sub> 晶片均匀减薄至所要求的厚度,然后按选定的声柱长度和宽度蒸镀电极。完成引线后,将其置于一小型控温炉中,并配以测温用镍铬-康铜热偶。器件的照片示于图 2(b)。

## 器件性能

BNN AO/FD 器件为驻波型器件,当对器件所加的射频电压作频率扫描时,器件呈现机械谐振特性。体声波谐振模间隔  $\Delta f = V/2W$ ,  $V$  为晶体 c 轴声速,  $W$  为 c 轴长度。改变射频频率,测量一级衍射光由明变暗的 20 个周期,测得  $\Delta f = 600$  kHz,与计算值符合。谐振峰谷处衍射光强之比为 2.5。它类似于一只 Q 值很低的机械谐振器。

首先,用 6328 Å He-Ne 激光测量了器件的声光调制性能。典型的器件性能如下:中心频率 129 MHz,三分贝带宽约 30 MHz。调节光束入射角,可使器件分别以 Raman-Nath 或 Bragg 类型衍射。该器件的 Klein-Cook 常数  $Q \approx 8$ ,接近 Bragg 型声光衍射所要求的 Q 值的下限。图 3 和图 4 分别为一级衍射光强和零级调制效率的电压特性。根据

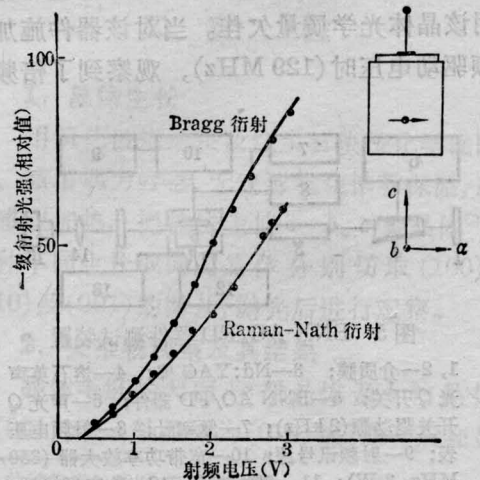


图 3 一级衍射光强的电压特性(6328 Å)

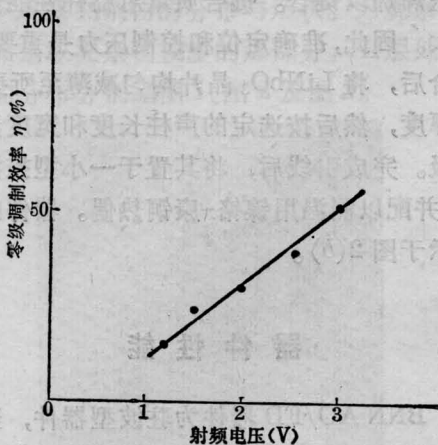


图4 零级调制效率(总效率)的电压特性(6328 Å)

熟知的声光衍射效率公式,当声功率不高时,声光衍射效率  $\eta \propto M_2/\lambda_0$  ( $M_2$  为声光优值,  $\lambda_0$  为激光波长)。可由此推算出  $1.06 \mu\text{m}$  时的衍射效率约为 6328 Å 处的 32%。同时考虑到脉冲工作时驱动电压可适当提高,可以预期该器件对  $1.06 \mu\text{m}$  光束调制时,不难得到 20% 以上的效率。此外,由于 AO/FD 器件主要用作内腔损耗调制器,因此这里不讨论各级衍射光强的时间关系。

最后,用 Nd:YAG 激光器测量了该器件的内腔倍频-声光调制复合效应。测试结果如下:二次谐波产生的相匹配温度约为  $63^\circ\text{C}$ ,倍频绿光略呈弥散状,匹配温度曲线较宽,表明该晶体光学质量欠佳。当对该器件施加射频驱动电压时(129 MHz),观察到了倍频绿

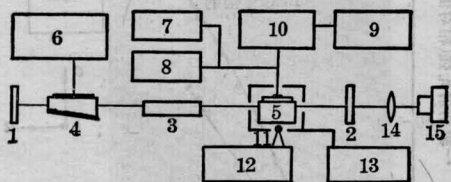


图5 BNN AO/FD 器件测试装置

1, 2—介质膜; 3—Nd:YAG 棒; 4—熔石英声光 Q 开关; 5—BNN AO/FD 器件; 6—声光 Q 开关驱动源(2 kHz); 7—频率计; 8—射频电压表; 9—射频讯号源; 10—宽带功率放大器(350 MHz, 3 W); 11—测温热偶; 12—数字毫伏计; 13—控温仪; 14—透镜; 15—照相机

光的声光调制效应(一级、二级衍射),见图 6(a)。而图 6(b)则是它作为外腔调制器对 He-Ne 激光的衍射光斑。光斑两侧的小光斑估计是横向杂波形成的驻波所引起的。



图 6

- (a) BNN AO/FD 器件倍频光的衍射光斑(129 MHz, 2 V, 5320 Å);  
 (b) BNN AO/FD 器件对 He-Ne 激光的衍射光斑(129 MHz, 1 V, 6328 Å)

当器件在室温工作时,声功率较高则衍射光强出现频率漂移。环境温度升高,频漂减小。作为一种体声波谐振器件,BNN AO/FD 器件的工作状态对温度十分敏感。声速温度系数  $\frac{1}{v} \cdot \frac{dv}{dT}$  和器件的声体谐振模间隔温度系数  $\frac{d(\Delta f)}{dT}$  由下式给出

$$\frac{1}{v} \cdot \frac{dv}{dT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{df}{dT} + \alpha \quad (1)$$

$$\frac{d(\Delta f)}{dT} = \frac{1}{2N} \cdot \frac{dv}{dT} - \Delta f \cdot \alpha \quad (2)$$

$f$  为某一体声波谐振频率,由驻波条件确定; $\alpha$  为声波方向热膨胀系数。根据(1)、(2)式以及 BNN 的数据估算,器件温度变化  $1^\circ\text{C}$  所引起的  $f$  漂移约几十千赫,  $\Delta f$  的变化为 100 Hz 左右,这样导致器件失谐。因此当器件置于激光腔内或施加射频电压时,晶体的温升会造成器件热失谐。严重时衍射损耗-频率曲线将发生畸变或滞后,甚至停止工作<sup>[3]</sup>。因此器件的精确控温是必不可少的。同时,考虑到 BNN 晶体在 5300 Å 处的光吸收约为  $1.06 \mu\text{m}$  处的十倍以上<sup>[4]</sup>,因此,在相匹配温度附近  $1.06 \mu\text{m}$  和  $0.532 \mu\text{m}$  光束之间此消彼长的转换对器件的工作温度有自稳定作用。可以设想,如果仔细选择工作点,有可能

(下转第 342 页)

值。又由于分布反馈振荡是过耦合输出，脉冲持续时间很短(一般是亚毫微秒或更短)，随着外腔振荡建立时间的延长，两个振荡经过很短一段时间交叠后就会先后分开来。这就是随着外腔腔长的增加， $I_{\lambda_1}$  迅速增大后很快趋于恒定的原因。 $I_{\lambda_2}$  的持续下降，是由于腔长的增加致使激光效率下降，而不是模式竞争的结果。

经过分析，我们得出如下的结论：(1) 只是当两个振荡的建立时间差不多时，才存在难以控制的模式竞争。这时往往由于两个振荡起振时间的涨落使得它们的相对强度不稳定。因此实验必须避免这一情况；(2) 当两个振荡的建立时间错开时，如果外腔先起振，很容易将分布反馈振荡抑制。如果分布反馈先起振，两个振荡相对稳定，强度之比易于控制。但要求外腔振荡的阈值必须低于分布反馈振荡的阈值，使得在染料激光上能级的粒子数被分布反馈振荡部分吃去之后仍然能够起振。这是实验可以应用的情况。

图 3 给出二个波长的激光强度之比随着外腔长的变化。前面斜率很陡的一段对应上述第一种情况；中间斜率平缓的一段对应(2)中的后一情况；后一段斜率上升是因外腔振荡的激光效率下降致使  $I_{\lambda_2}$  下降所引

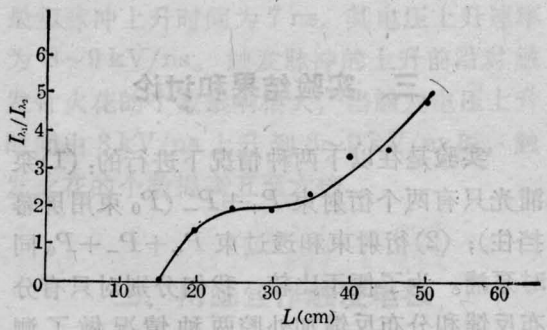


图 3  $I_{\lambda_1}/I_{\lambda_2}$  随外腔长的变化

起。

由于设备的限制，没有对两个振荡的脉冲时间进行细致的测量。我们相信，如果适当选择好两个振荡腔长的匹配，依据分布反馈脉冲串被激光猝灭的原理<sup>[1]</sup>，可以使分布反馈振荡的脉冲宽度控制在几十微微秒以内。

### 参 考 文 献

- [1] Zs. Bor, F. P. Schafer; *Appl. Phys.*, 1983, **B31**, 209.
- [2] I. Golub *et al.*; *Appl. Phys.*, 1983, **B31**, 75.
- [3] 韩全生, 张治国; 《中国激光》1984, **11**, 321.
- [4] 韩全生; 《中国激光》; 1983, **10**, 121.
- [5] Zs. Bor; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, 517.

(上接第 352 页)

用倍频效应来稳定声光调制的工作点。这是值得探索的。当然，改进器件结构和激光系统也能不同程度地减轻热效应。但关键还在于提高晶体质量，降低光吸收和声衰减系数。

王本民同志对本工作曾给予很大帮助，任国鑫同志提供了宽带功率放大器，肖兵、周

永祥同志参加了部分工作，谨致谢意。

### 参 考 文 献

- [1] R. R. Rice *et al.* *J.*; *Appl. Phys.*, 1976, **47**, 3045.
- [2] 冯锡淇; 《新型无机材料》, 1980, **9**, No. 1, 88.
- [3] R. R. Rice *et al.*; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 1824.
- [4] J. D. Barry; Thied Conf. on the Laser, Ann. N. Y. Academy of Science, 1976, V. 267, 342.