

高功率 BNN 倍频连续 YAG 激光器

吴惠法 徐惠德

(中国科学院上海硅酸盐所)

提要: 以铌酸钡钠置于 Nd:YAG 腔内, 采用温度匹配, 进行了连续倍频激光的研究, 获得 0.53 微米输出功率达瓦级水平, 最高可达 2.5 瓦以上。

A CW Nd:YAG laser frequency-doubled with a $Ba_2NaNb_5O_{15}$ crystal

Wu Huifa, Xu Huide

(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica)

Abstract: To investigate frequency doubling of CW laser output, a barium sodium niobate ($Ba_2NaNb_5O_{15}$) crystal is placed in a Nd:YAG laser cavity, and temperature phase matching is employed. Laser output on the watt level has been obtained at $0.53 \mu m$. The highest power obtained is over 2.5 watts.

实验装置和结果

实验装置方框图如图 1 所示。

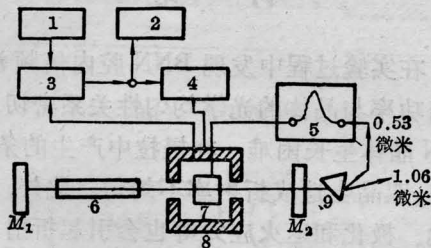


图 1 $Ba_2NaNb_5O_{15}$ 腔内倍频激光器装置方框图

1—给定器; 2—指示器; 3—差分放大器; 4—可控硅调整器; 5—X-Y 记录仪; M_1 —1.06 微米全反膜, 0.53 微米全反膜; 6—Nd:YAG; 7— $Ba_2NaNb_5O_{15}$; M_2 —1.06 微米全反, 0.53 微米高透; 8—恒温炉; 9—三棱镜分光器

Nd:YAG 激光器由泵浦部分和安装在船型导轨上的谐振腔组成, 为了产生 1.06 微

米的基波激光, 使用了两只连续氩灯泵浦, 一根 $\phi 4.1 \times 89$ 毫米的 YAG 棒, 聚光器是长轴 (2a) 为 34 毫米, 短轴 (2b) 为 30.5 毫米镀银的双椭圆筒。在最佳耦合条件下, 1.06 微米基波功率输出自数瓦至十几瓦。用 $Ba_2NaNb_5O_{15}$ (以下简称 BNN) 晶体作为二次谐波发生的非线性材料放置在 Nd:YAG 激光器的谐振腔内 (即腔内倍频)。采用温度相位匹配方法, 晶体的匹配温度是由特制的恒温炉自动加热达到的, 温度控制装置的结构如图 1 所示。BNN 晶体置于恒温炉中, 为了不至于提高产生基波的阈值, 恒温炉的窗口不用任何光学材料; 另外为了防止空气对流造成的少量热波动, 恒温炉有保温层。BNN 晶体装在恒温炉内的铜块夹具上。装在恒温炉电热丝附近的镍铬—康铜热电偶, 它的热电势和标准电压发生器设定值的偏差信号, 经过差分

收稿日期: 1981 年 7 月 2 日。

表 1 BNN 倍频激光输出功率

| 晶体编号 | 尺寸 $a \times b \times c$ (毫米 ³) | 双折射梯度 (厘米 ⁻¹) | 相位匹配 温度 T_{PM} (°C) | 倍频激光输出 功率* (瓦) (单向) | 基波功率 (瓦) | 转换效率 (%) (单向) |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|------------------|
| III ₇₉ -18① | 6.9×5.4×9.1 | 3.8×10 ⁻⁴ | 64 | 1.77 | 7.9 | 22.5 |
| III ₇₈ -44 _{2A} | 6.3×5.5×10.8 | 2.4×10 ⁻⁴ | 56.1 | 1.80 | 12.2 | 15 |
| III ₇₉ -02② | 6.9×5.5×5.5 | 2.0×10 ⁻⁴ | 72.6 | 1.91 | 7.9 | 24.5 |
| III ₇₉ -18③ | 9.0×6.0×11.2 | 3.7×10 ⁻⁴ | 71.4 | 1.94 | 7.9 | 24.5 |
| III ₇₉ -02④ | 7.0×3.3×9.0 | 2.0×10 ⁻⁴ | 76.7 | 2.05 | 12.2 | 17 |
| III ₇₈ -42⑤ | 6.9×5.3×8.2 | 2.8×10 ⁻⁴ | 75.4 | 2.11 | 12.2 | 17.5 |
| III ₇₉ -04 | 9.0×6.0×11.8 | 1.7×10 ⁻⁴ | 79.1 | 2.50 | 7.0 | 35.5 |

* 仅测一个方向的倍频功率

放大器, 进入比例、积分、微分(PID)调节器, 用可控硅电压调整器来变换加热电压, 进行温度自动控制。这种装置的温度控制精度可达 ±0.05°C。我们曾用此装置测定了 MgO:LiNbO₃ 晶体倍频输出能量 (E_{2w}) 与偏离相位匹配温度 ($T-T_{PM}$) 的关系^[1], 实验测定点的温度间隔是 0.4°C。

实验中使用的 BNN 晶体是我所制备的, BNN 晶体经极化、去双晶处理, 光学均匀性好, 双折射梯度小于 5.0×10^{-4} 厘米⁻¹, 倍频元件加工精度平行度为 10'', 平面度为 1/4 波长。

为了使 BNN 倍频激光输出稳定, 首先 Nd:YAG 1.06 微米基波输出要稳定; 其次精密控制 BNN 非线性材料的相位匹配温度也是一个重要因素。通过实验得到, 在最佳相位匹配温度上, 恒温器的温度控制精度在 ±0.05°C, 倍频激光输出功率基本稳定, 测得其稳定度为:

$$\Delta P_{2w} = (P_{2w}^{\max} - P_{2w}^{\min}) / \bar{P}_{2w} = 9\%$$

图 2 表示在相位匹配温度附近, 腔内倍频产生的二次谐波输出-温度特性曲线。根据此曲线测得非线性材料 BNN 晶体的温度半宽值为

$$\Delta t = 1.5 \sim 3.2^\circ\text{C}.$$

从表 1 可以看出, 上述倍频激光系统的连续倍频激光输出功率已达瓦级, 其最高输出功率为 2.5 瓦。因此可用固体 Nd:YAG

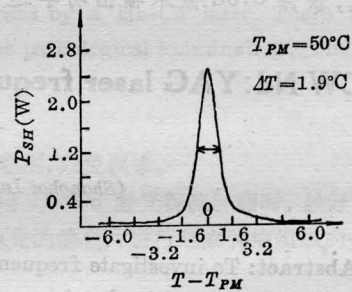


图 2 在相位匹配温度附近 Ba₂NaNb₅O₁₅ 晶体的二次谐波输出-温度特性曲线
晶体 79-04; 通光长度 9 毫米

激光的红外辐射获得高功率连续绿光输出, 并用作可见光激光光源。

讨 论

在实验过程中发现 BNN 腔内倍频激光输出功率与晶体的光学均匀性关系密切。因 BNN 晶体生长困难, 在提拉中产生的条纹、电畴、双晶会造成折射率不均匀。此外, 组分变化、极化和退火应力等也会引起折射率不均匀。折射率的细微差别, 将导致倍频激光输出功率下降。我们用自然双折射梯度来表征这种折射率的不一致性, BNN 晶体的自然双折射梯度, 一般为 $9.5 \sim 2.0 \times 10^{-4}$ 厘米⁻¹。据报导当 Δn 为 10^{-3} 厘米⁻¹ 量级时, 不易得到倍频激光的高输出, 一般要求双折射梯度为 $\Delta n \leq 10^{-4}$ 厘米⁻¹ 量级^[2]。对照 BNN 样品

表 2 在 1.06 微米低功率下, 晶体双折射梯度与倍频输出功率对照表

| 序 号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------------------------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| 晶体编号 | 76-18 ^② | 76-57 | 76-64 | 75-59 ^② | 76-16 | 77-73 ^① | 77-73 ^② | 77-73 ^③ | 77-74 |
| 双折射梯度 $\times 10^{-4}$ (厘米 ⁻¹) | 9.4 | 8.7 | 7.8 | 5.7 | 5.4 | 4.7 | 4.3 | 3.6 | 4.9 |
| 倍频输出功率 (毫瓦) | 30 | 59 | 85 | <2 | 106 | 110 | 128 | 185 | 68 |

的倍频输出功率与双折射梯度, 会看出结果是类似的(见表 2)。双折射梯度较小, BNN 光学均匀性较好, 其倍频激光输出功率也较高。但是 Δn 并不是唯一判别质量的参数(如表 2 中 9)。而可以根据实验自动记录下来的相位匹配温度附近的谐波输出-温度特性曲线(图 2)(曲线的峰值高、线宽 Δt 窄的晶体质量好, 峰值低、线宽加宽或多峰的晶体质量差^[3])来判别质量。

实验表明, 双晶存在对倍频激光输出功率的影响甚大。如果晶体存在肉眼可见的宏观双晶, 则基波光束被宏观双晶散射, 大大降低倍频激光的输出, 有时甚至使基波停振以致无倍频输出(见表 2 中 4)。为了使倍频激光输出功率达到最大, 我们在实验中使用了一种简便而直观的检查法, 即借助于 He-Ne 激光照射晶体, 以 He-Ne 光斑无畸变为佳, 其原因是 BNN 晶体的生长条纹、双晶等引起的不均匀对 He-Ne 激光也同样有影响, 图 3 是同一位置以 6328 Å (a) 和 5300 Å (b) 分别摄取的相应光斑图象的对比。图 4 表示在同一 BNN 晶体的不同部位, (a) 图为光斑畸变小, 晶体质量比较均匀($\Delta n = 5.8 \times 10^{-4}$ 厘米⁻¹), 倍频输出比畸变大的更大 ($P_2 = 216$ 毫瓦); (b) 图为光斑畸变大, 晶体均匀性较差 ($\Delta n = 2.9 \times 10^{-3}$ 厘米⁻¹), 倍频输出较小 ($P_2 = 32$ 毫瓦)。

由于我们用的 Nd:YAG 激光器未采取选模措施, 所以当基波功率增大时, 多模的出现使倍频激光输出功率增高不多或无增高; 其次基波功率增大也即提高光泵输入, 倍频



(a)

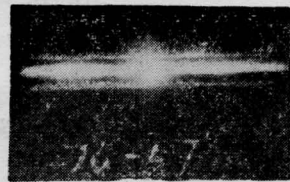


(b)

图 3 同一晶体同一位置的光斑图象



(a)



(b)

图 4 同一晶体不同位置的光斑畸变情况

激光输出功率刚达到最大, 非线性晶体随光泵输入提高温度即随之提高, 因而温度升高导致相位失配, 使倍频激光功率下降, 这也表明 BNN 晶体对基波具有吸收性。

(下转第 384 页)

的热量堆所测得的激光器输出能量在不同条件下的结果。

1. 不同放电电极形状对输出的影响(图6)。
2. 工作电压对输出能量的影响(图7)。
3. 氮气压强对输出的影响(图8)。

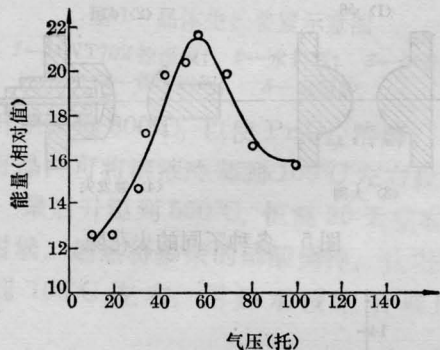


图8 激光器的输出能量随工作气压的变化
工作电压 14.5 千伏; 火花隙电极 $\phi 6$; $C=15000$ 微微法

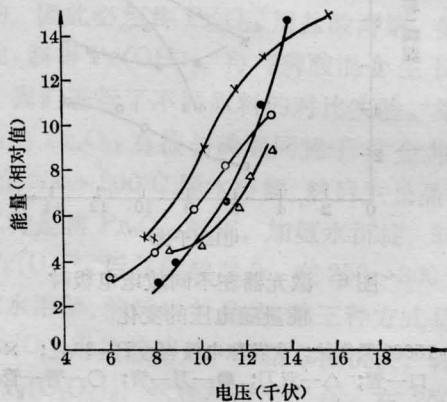


图9 激光器在不同火花隙时
能量随电压的变化

$C=15000$ 微微法; $P=30$ 托; 充气 0.5 毫升/分;
×— $\phi 6$; ○— $\phi 10$; ●—大圆; △—触发尖

4. 不同火花隙形状对输出的影响(图9)。

五、结 束 语

实验表明, 陶瓷储能小型氮分子激光器的输出能量并没有因为储能器体积的缩小而下降。相反, 由于它的结构紧凑, 电路传输性能好和储能器电容量的增加, 不单使其输出能量优于用双面敷铜板作储能器的器件^[3], 而且输出稳定性得以提高。我们用中国计量科学院提供并标定的辐射计和日本制造的 SS6300 示波器, 对一台刀口-管状电极, 间距 10 毫米, 采用普通 $\phi 6$ 火花隙的激光管进行实测, 在工作电压 12.5 千伏下, 氮气压强 50 托时测得激光器脉冲宽度为 4.5 毫微秒, 单脉冲平均能量 1.39 毫焦耳, 脉冲平均峰值功率 309 千瓦, 输出稳定性 $\pm 6\%$ 。这与自 1976 年以来, C. L. Sam 等人先后报导的工作^[4]相比, 不但结构不同, 而且各项指标均优于其测得的结果。

参加本实验工作的还有姚甸洪、陈坚斌、麦若青等。

参 考 文 献

- [1] C. L. Sam; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29**, No. 8, 505.
- [2] 《激光》, 1978, **5**, No. 2, 33.
- [3] 戚霖; 《激光》, 1976, **3**, No. 4, 29.
- [4] A. Fried *et al.*; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 12, 3077.

(上接第 373 页)

承蒙 张绶庆 研究员、谭浩然副研究员多方指导, 生长组控制晶体, 光学检验组测量双折射梯度等。在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 吴惠法, 徐惠德等; 《新型无机材料》, 1980, **8**, No. 3,

1.

- [2] 吉川省吾地; 《应用物理》, 1971, **40**, No. 10, 1102.
- [3] F. R. Nash; *J. Appl. Phys.*, 1970, **41**, No. 6, 2564.