

## $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 光参量振荡器\*

陈 琪 范琦康 吴碧珍

(浙江大学光仪系)

尤 桂 铭

(中国科学院福建物质结构研究所)

### 提 要

本文首次报道用 1.064  $\mu\text{m}$  Nd:YAG 激光二次谐波泵浦的单共振和双共振  $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 光参量振荡器(OPO)的实验结果。振荡器的调谐范围分别为 0.82~0.89  $\mu\text{m}$ 、1.63~1.73  $\mu\text{m}$ 、和 0.97~1.18  $\mu\text{m}$ 。单共振和双共振的最大输出能量分别为 200  $\mu\text{J}/\text{pulse}$  和 1  $\text{mJ}/\text{pulse}$ 。

关键词: 光参量振荡器;  $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 晶体。

### 一、前 言

$\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(BBO) 是具有较大非线性系数和极高光损伤阈值的新型非线性晶体。它的有效非线性系数为 KDP 的 5~6 倍(1.064  $\mu\text{m}$   $\rightarrow$  0.532  $\mu\text{m}$ ), 光损伤阈值则达 2  $\text{GW}/\text{cm}^2$ , 为 KDP 的 3 倍(以脉宽 7.5 ns, 重复率 10 pps 的 Nd:YAG 激光器作光源)。此外, 它还具有吸收小, 不易潮解, 抛光容易等特点。人们利用这种晶体获得了高效率的倍频及混频, 最短波长已达 2048  $\text{\AA}$ <sup>[1]</sup>, 根据上述特性, BBO 也是一种好的 OPO 材料。用这种晶体, 可望得到高功率的参量输出, 而不致出现光损伤, 陈创天等人<sup>[2]</sup>曾在 Stanford 大学作过 BBO 的光参量振荡器实验, 但仅限于简并点附近。我们在较宽的波段范围内对 BBO 参量振荡做了进一步的探索研究, 并成功地获得单共振和双共振的光参量输出。

### 二、实 验

由于 BBO 晶体 I 类相位匹配的有效非线性系数比 II 类的大, 所以选择 I 类匹配。晶体切割角度  $\theta = 22.8^\circ$  (简并点处的匹配角),  $\phi = 0^\circ$ 。晶体横截面  $9 \times 7 \text{ mm}^2$ 。长度  $l = 7.7 \text{ mm}$ 。晶体表面未镀膜。

利用下面的 OPO 相位匹配公式(1)及 Sellmeier 方程(2)便可计算出 BBO 的 OPO 角度调谐曲线。

$$n_1(\lambda_1)/\lambda_1 + n_2(\lambda_2)/\lambda_2 = n_3(\lambda_3)/\lambda_3, \quad (1)$$

收稿日期: 1988年1月30日

\* 本课题由浙江大学科学基金资助。

$$\begin{cases} n_o^2 = 2.7362 + 0.1954/(\lambda^2 - 0.01692) - 0.01296\lambda^2, \\ n_e^2 = 2.3697 + 0.01260/(\lambda^2 - 0.01641) - 0.01141\lambda^2. \end{cases} \quad (2)$$

上述 Sellmeier 方程是径 K. Kato<sup>[2]</sup>修正过的。图 2 中的实线是泵浦波长为 0.532 μm 时的 BBO 角度调谐曲线。

OPO 的实验装置如图 1 所示。泵浦光用 Nd:YAG 激光器的二次谐波(波长 0.532 μm)。泵浦脉冲的半宽度为 7 ns, 光斑半径 1.6 mm, 平均光功率密度 80 MW/cm<sup>2</sup>。OPO 腔镜采用平面镜, 或大曲率的凹面镜( $R=2\text{m}$ ), 腔长 4 cm。BBO 晶体置于角度精密可调的小平台上。OPO 的输出光通过红外滤色片, 滤掉 0.532 μm 的泵浦光之后, 经  $f=30\text{mm}$  的透镜聚焦于光栅单色仪的入射狭缝上, 缝宽 0.3 mm。在出射狭缝处, 用能量计检测或用示波器观察波形。

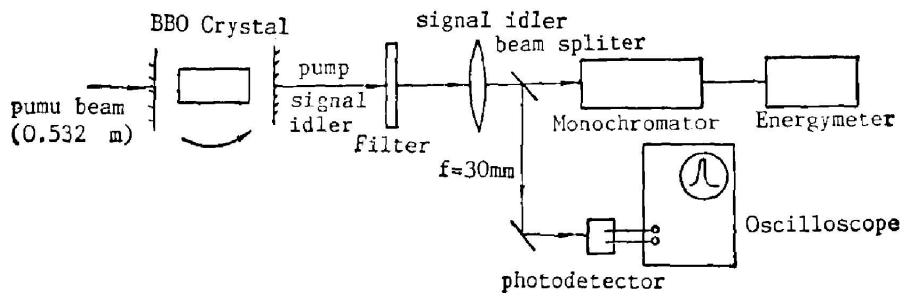


Fig. 1 Experimental setup of OPO

### 三、结果及讨论

用三组对不同波段谐振的腔镜, 测得四段调谐曲线。见图 2 中的实验点(Δ)。

曲线 A 段是双共振 DRO 的实验结果, B、C、D 段为单共振(SRO)的实验结果, 其中 D 段是相应于共振波段 C 的非共振波。OPO 的输入输出镜对 0.532 μm 均为高透过度的。对于共振波段 A、B、C, 相应反射镜的反射率由图 3(A)、(B)、(C)表示。实验测得的 OPO 调谐范围分别为 A 段: 0.97~1.18 μm; B 段: 1.63~1.73 μm; C 段: 0.83~0.89 μm。从图 2 可以看到, 实验结果与计算的调谐曲线完全吻合。

在平面波近似下, 只考虑相位匹配  $\Delta k=0$  的情况, 则低损耗的阈值由公式(3)、(4)表示<sup>[4]</sup>:

$$S_{th} = \frac{1}{2} n_p c \epsilon_0 \frac{\alpha_s \alpha_i}{K_i K_s l^2} \quad (\text{DRO}), \quad (3)$$

$$S_{th} = \frac{1}{2} n_p c \epsilon_0 \frac{2\alpha_s}{K_i K_s l^2} \quad (\text{SRO}). \quad (4)$$

式中  $S_{th}$  为阈值光功率密度;  $\alpha$  为单程功率损耗(包括 BBO 晶体两端面反射损耗);  $l$  是晶体长度;

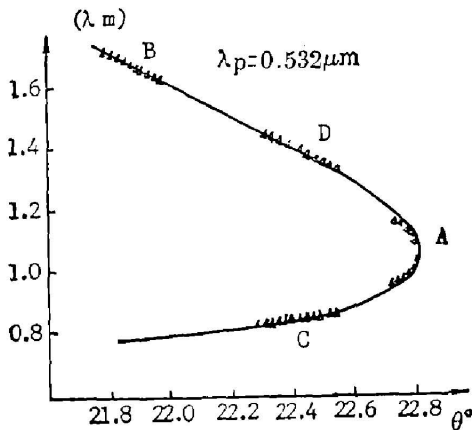


Fig. 2 Tuning curve of OPO

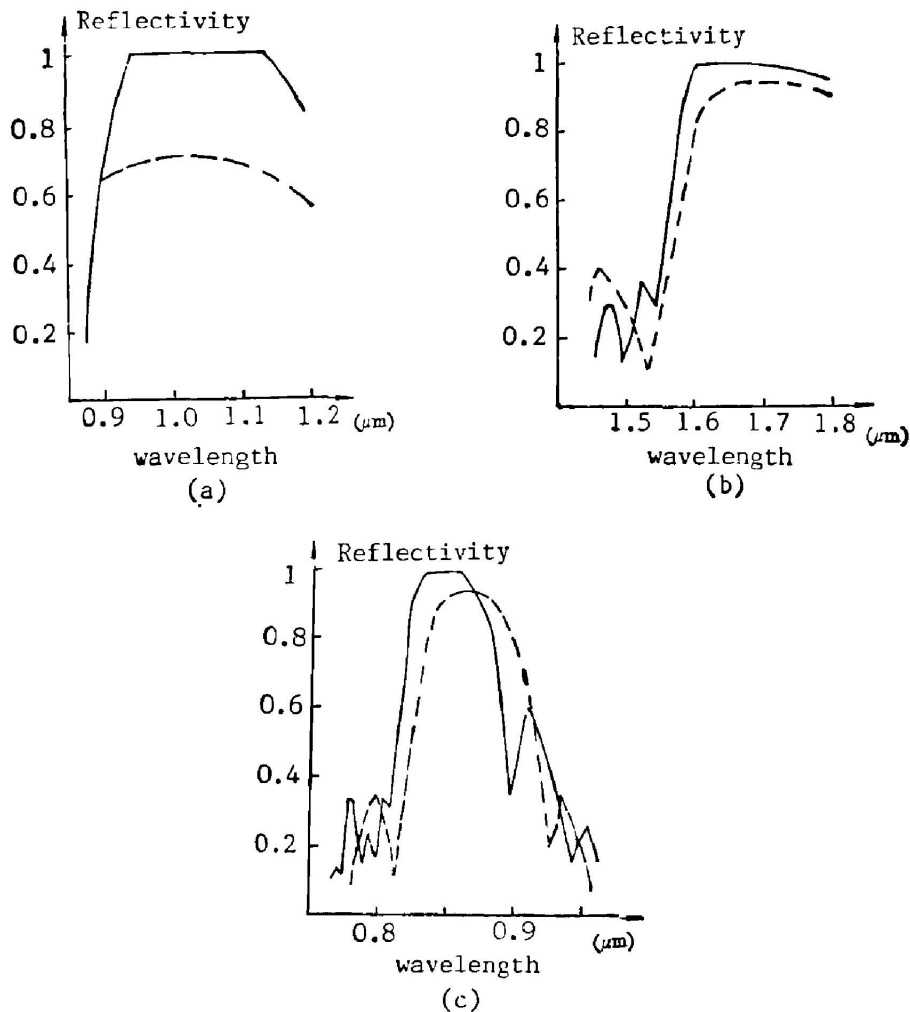


Fig. 3 Reflectivity of the mirrors in OPO input mirror: solid line—, output mirror: dash line - -

$$K_j = \frac{1}{2} \frac{\omega}{n_j c} x_{\text{eff}} (j = \hat{v}, s).$$

对于  $\lambda_s = 0.85 \mu\text{m}$  的 SRO, 各参数分别为:  $n_i = 1.65$ ,  $n_s = 1.66$ ,  $n_p = 1.55$ , 输出镜对信号波反射率为 94%, 晶体表面反射率 6%, 晶体长度  $l = 0.77 \text{ cm}$ 。  $x_{\text{eff}} = 2d_{\text{eff}} = 3.25 \times 10^{-12} \text{ V/m}$ 。将这些数值代入(4)式, 可得 SRO 稳态振荡阈值为  $31 \text{ MW/cm}^2$ 。实验中测得参量信号输出为  $2 \mu\text{J}$  时的阈值约为  $45 \text{ MW/cm}^2$ 。

对于简并点附近的 DRO,  $n_i \approx n_s = 1.655$ , 输出镜对共振波反射率是 72%。由此计算得阈值  $7 \text{ MW/cm}^2$ 。实验测量的 DRO 阈值是  $27 \sim 35 \text{ MW/cm}^2$ , 两者相差较大。这是因为(3)式为单纵模泵浦时的阈值公式, 实验所用的激光器是多纵横的, 能量分布在几个模式上。根据 Giordmaine 和 Miller<sup>[5]</sup> 的分析, DRO 实际振荡在离匹配线最近的一群或几群双共振模上。泵浦光的不同纵模分别对不同信号及空闲模产生增益, 这导致实际测量阈值上升。我们的实验证明, 在 YAG 激光器中插入  $d = 3.5 \text{ mm}$  的标准具后, 振荡模数减少, 使 DRO 阈

值能量下降到原来的 1/3 左右。

实验中我们还测得, 当泵浦平均功率密度为  $80 \text{ MW/cm}^2$  时, DRO 输出的最高能量为  $1 \text{ mJ/pulse}$ , 其平均转换效率约为 1%。当平均功率密度为  $70 \text{ MW/cm}^2$  时, SRO 输出最高能量(信号波+空闲波)为  $460 \mu\text{J/pulse}$ , 实际共振波信号输出为  $200 \mu\text{J/pulse}$ 。

利用硅、锗光电二极管及带宽 400 MHz 的示波器, 我们记录了泵浦光和参量光的波形(图 4)。泵浦光脉宽 7 ns, 单共振信号脉宽 5 ns。



Fig. 4

(a) waveform of pumping beam; (b) waveform of SRO signal

BBO 晶体的非线性系数比 LN 晶体小, 目前的生长厚度也较短, 因此在同样泵浦功率密度下 BBO 的转换效率不可能高于 LN。据报道<sup>[6]</sup>, 调  $\theta$ (脉宽 20 ns) Nd:YAG 泵浦的单共振 LN 光参量振荡器转换效率已达 15%, 输出能量为  $1 \text{ mJ/pulse}$ 。然而, 由于 LN 晶体光损伤阈值低, 很难进一步提高信号光的输出能量。BBO 晶体的光损伤阈值远高于 LN, 因此适于高功率下工作。在实验中, 信号光输出能量为  $200 \mu\text{J/pulse}$ , 转换效率低于 1%。若能进一步提高泵浦光功率密度, 并且在晶体表面, 镀涂增透膜, 降低阈值, 则可望得到高输出功率和转换效率。目前的困难在于泵浦光功率密度的提高受到 OPO 腔镜介质膜光损伤阈值的限制。

在实验过程中, 曾同陆祖康副教授进行过多次有益的讨论, 获得不少启示。金林法同志为实验提供了令人满意的膜片, 在此一并致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] Kenzo Miyazaki, Hirofumi Sakai, and Takuzo Sato, *Opt. Lett.*, 1986, Vol. 11, No. 12, p. 797—799.
- [2] K. Kato, *IEEE J. Q. E.*, 1986, QE-22, No. 7, p. 1013.
- [3] C. Chen, Y. X. Fan, R. C. Eckardt, and R. L. Byer, in *Digest of Conference on Lasers and Electro-Optics*. (Optical Society of America Washington D. C. 1986) p. 322.
- [4] «Nonlinear Optics», Edited by P. G. Harper and B. S. Wherrett.
- [5] J. A. Giordomane and R. C. Miller, in *Physics of Quantum Electronics*, ed by P. L. Kelley, B. Lax and P. E. Tannenwald (McGraw Hill, N. Y. 1965); *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 9, p. 298(1966).
- [6] B. L. Herbst, R. N. Fleming, and B. L. Byer, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 25, No. 9, p. 520 (1974).

## $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> optical parametric oscillator

CHEN QI, FAN QIKANG, WU BIZHEN

*(Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou)*

YOU GUIMING

*(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Fuzhou)*

(Received 30 January 1988)

### Abstract

This paper reports firstly the single- and double-resonant  $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> optical parametric oscillators (OPO) pumped by second harmonics of a 1.064  $\mu\text{m}$  Nd:YAG laser. The tuning range of OPO covers 0.83~0.89  $\mu\text{m}$ , 0.97~1.18  $\mu\text{m}$  and 1.63~1.73  $\mu\text{m}$ . The maximum energy output of SRO (Single-Resonant Oscillator) and DRO (Double-Resonant Oscillator) is 1mJ/pulse and 20( $\mu$ J)/pulse respectively.

**Key words:** optical parametric oscillator;  $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.