

光栅腔 BBO 光参量振荡器

韦春龙* 邱文法 范琦康

(浙江大学光科系, 杭州 310027)

摘 要 报道 0.532 μm 泵浦的光栅腔 BBO 光参量振荡器的实验研究结果. 在 1.02~1.08 μm 可调谐范围内, 其输出线宽小于 1 nm, 参量转换效率为 3.5%.

关键词 BBO 晶体, 光参量振荡器.

1 引 言

BBO 晶体具有较高的有效非线性系数, 宽透明波段, 高光损伤阈值, 折射率受温度影响小等特点^[1], 是一种较理想的非线性光学材料. 此外, 由于其双折射大, 在光参量振荡器(OPO)应用中, 采用角度调谐可获得很宽的波长调谐范围. 0.355 μm 泵浦的光参量振荡器已获得从可见光到红外波段的高效率输出^[2]. 但是 I 型相位匹配的 BBO 光参量振荡器输出线宽较大, 尤其是在接近简并点处, 线宽可达几十 nm, 这将限制其实用性. 本文设计了 0.532 μm 泵浦的光栅腔 BBO 光参量振荡器, 并进行了线宽压窄实验研究. 在可调谐范围内获得小于 1 nm 的参量输出线宽, 将原有的平行平面腔 BBO 光参量振荡器的线宽大大压窄, 并获得 3.5% 的参量转换效率.

2 腔设计和线宽估计

2.1 腔设计

2.1.1 腔结构选择 由于光参量振荡器中, 泵浦光及参量振荡光功率密度非常高, 因此, 设计光栅腔光参量振荡器时, 必须避免强光直接照射光栅. 图 1 是可供选用的几种腔型^[3].

图 1(a)中, 通过棱镜表面反射将泵浦光耦合进光参量振荡器, 同时用一对棱镜扩束以提高光栅分辨率及避免强光直接照射光栅. 棱镜对相对振荡光工作在布儒斯特角, 以降低振荡光损耗, 但这一结构泵浦耦合效率不够高, 且调整相对不易.

图 1(b)中, 插入泵浦光全反镜 M_2 , 以避免强光直接照射光栅, 同时, 泵浦光来回二次通过晶体, 有利于增加振荡光放大次数, 降低阈值. 但腔长相对加长及 M_2 的插入损耗又使阈值升高.

* 现在地址: 上海科技大学无线电系, 上海 201800.

收稿日期: 1993年9月2日; 收到修改稿日期: 1993年11月15日

图 1(c)和(d)中,都采用“L”型腔,运用分束器将泵浦光与光栅分离,避免强光直接照射光栅;同时,可在光栅与分束器之间插入棱镜或望远镜扩束以提高光栅分辨率,亦可插入法布里-珀洛标准具使振荡光线宽进一步压窄.在图 1(d)中须有良好的防震措施,否则,标准具震动,导致输出波长漂移.此外,振荡光斑不可太小,否则可能损伤光栅面.

在实验中,采用最简单的“L”型腔,运用单光栅压窄线宽.这样腔长较短,且易于调整,其装置见图 2.

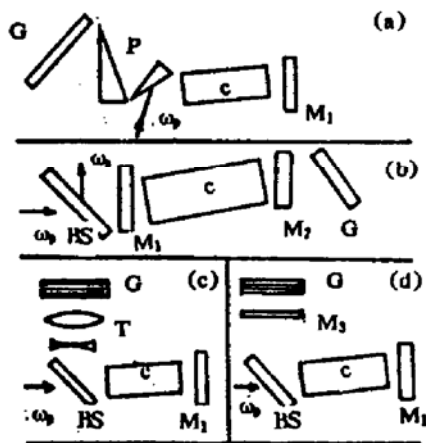


Fig. 1 The OPO cavity configuration: (a) pump input coupling using Fresnel reflection of prisms p; (b) M₂ is pump high reflector, dichroic beam splitter BS is used to separate signal output; (c) telescope T used for beam expansion; (d) partially reflecting signal mirror M₃ to act with grating G as resonant reflector. Other elements: c: crystal, M₁: output coupler

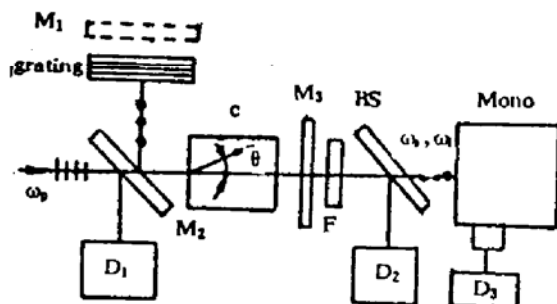


Fig. 2 BBO OPO configuration

C: BBO crystal; M₁, M₂, M₃: reflecting mirrors; F: filter; BS: beam splitter; D₁, D₂, D₃: detector; Mono: monochromator

2.1.2 光栅常数选择 在上面的光栅腔中,光栅都工作在 Littrow 自准直状态.为了提高 Littrow 光栅的衍射效率,应将光栅常数 d 设计成满足下式的数值区间内^[4]:

$$\lambda/2 < d < 3\lambda/2 \tag{1}$$

其中, λ 为振荡光波长. 以使光栅工作于一级衍射自准直状态时, 仅有该级及零衍射级存在, 从而获得高衍射效率. 当振荡光波长接近简并点时, $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$, 则有 $0.53 \mu\text{m} < d < 1.59 \mu\text{m}$, 故须 $d < 1/600 \text{ (mm/l)}$, 方能获得仅有一级和零级衍射的 Littrow 光栅. 在本实验中, 由于条件有限, 所使用的光栅 $d = 1/300 \text{ (mm/l)}$, 存在多于一级的衍射光, 一级衍射效率仅约 50%.

2.2 线宽估计

振荡参量光线宽可用下式^[5]估计

$$\Delta\lambda = 2\lambda d \cos \theta_i / m\pi\omega_0 \tag{2}$$

式中, θ_i 为光栅法线与腔轴夹角, m 为自准直衍射级, ω_0 为振荡光斑半径.

当振荡光波长接近简并点时, $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$, $d = (1/300) \text{ mm/l}$, $\omega_0 = 0.57 \text{ mm}$, $m = 1$, 则由(2)式得 $\Delta\lambda = 3.9 \text{ nm}$. 由于经光栅的振荡光存在谱线多通变窄效应, 因此, 实际的参量振荡线宽小于(2)式的理论值, 约为该值的 1/3^[5]. 对于非简并点区仍可利用(2)式来估算.

3 实验结果及讨论

3.1 实验结果

实验中, 泵浦源采用调 Q Nd:YAG 输出的倍频光($0.532 \mu\text{m}$), 脉宽为 10 ns. 所用的 I 型相位匹配的 BBO 晶体参数如下: 切角 $\theta = 22.8^\circ$, $\varphi = 0^\circ$; 宽 \times 高 \times 长 $=8.5\times9.7\times7.7 \text{ mm}^3$. 晶体表面未镀膜. 光栅采用在 $1.06 \mu\text{m}$ 波长闪耀的原刻光栅, 槽线数为 300 lines/mm, 取一级 Littrow 自准直工作状态. 光栅槽线方向与振荡光偏振方向垂直. 腔长 $L = 5 \text{ cm}$. 在图 2 中, 分束器 BS 45° 放置, 对 $0.532 \mu\text{m}$ 泵浦光高透, $T = 92\%$; $1.06 \mu\text{m}$ 附近, 反射率 $R = 97\%$. 输出镜 M_1 对 $1.06 \mu\text{m}$ 附近透过率 $T \approx 15\%$, 对 $0.532 \mu\text{m}$ 高透, $T = 90\%$.

首先, 将图 2 中的光栅换成 $1.06 \mu\text{m}$ 附近反射率 $R = 97\%$ 的 M_2 . 当泵浦能量 $I_p = 50 \text{ mJ/pulse}$, 在简并点附近测得角度能量输出曲线如图 3 所示. 用单色仪(分辨率 0.2 nm)测得参量输出线宽(FWHM)列于表 1. 将 M_2 换成光栅, 当泵浦光能量 $I_p = 50 \text{ mJ/pulse}$, 光斑半径 $\omega_s = 1.25 \text{ mm}$, 参量光斑半径 $\omega_0 = 0.57 \text{ mm}$, 晶体转角与能量输出关系如图 4 所示, 相应的效率曲线见图 5. 用单色仪测得线宽(FWHM)列于表 2. 可见, 输出参量线宽得到很大压窄.

在简并点附近, 晶体不动, 转动光栅调谐输出参量波长, 仍可获得表 2 的结果.

Table 1. Output wavelengths and linewidths

Wavelength (nm)	Linewidth (nm)
947.3	45.3
984.2	47.8
1002.0	48.2
1006.0	49.8
1045.7	64.3
1062.2	82.5
1087.4	62.1
1106.3	57.8

Table 2. Output wavelengths and linewidths

Wavelength (nm)	Linewidth (nm)
1023.3	0.9
1030.2	0.8
1040.7	0.9
1048.6	0.8
1059.8	0.8
1064.4	0.8
1071.2	1.0
1080.3	0.9

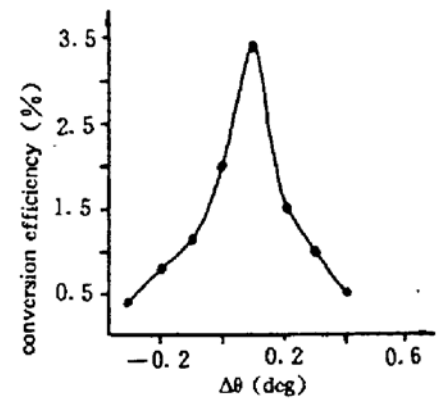
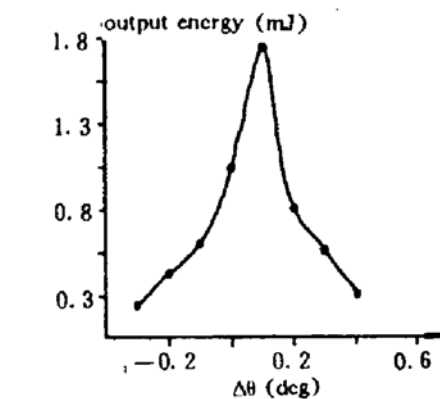
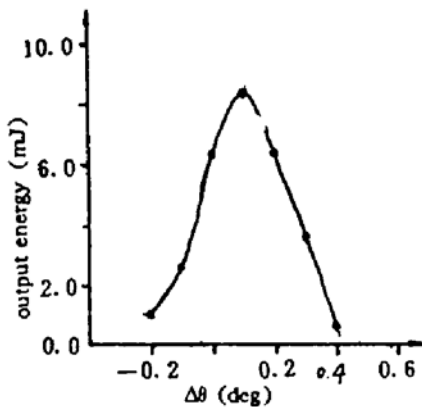


Fig. 3 Output energy of BBO OPO without a grating vs. $\Delta\theta$

Fig. 4 Output energy of BBO OPO without a grating vs. $\Delta\theta$

Fig. 5 Energy conversion efficiency vs. $\Delta\theta$

3.2 讨 论

在上面的结果中, 线宽虽有很大压窄, 但就实用而言, 仍然较宽. 这是由于所用光栅分辨率太低. 若使用槽线数大于 600 lines/mm 的光栅, 则有望将线宽压窄至 0.1 nm 左右; 若再运用扩束器和 F-P 标准具, 则有可能将线宽压窄至 0.01 nm 以下. 此外, 通过采取以下改进

措施可进一步提高参量转换效率: 1) 采用二块 BBO 晶体进行离散补偿, 表面镀 $1.06 \mu\text{m}$ 附近及 $0.532 \mu\text{m}$ 增透的光学薄膜; 2) 提高光栅衍射效率, 包括将光栅设计工作在仅有一级和零级衍射状态. 3) 寻求最佳输出耦合透过率.

结 语 作者已成功地运转了 $0.532 \mu\text{m}$ 泵浦的光栅腔 BBO 光参量振荡器, 在 $1.02 \sim 1.08 \mu\text{m}$ 可调谐范围内获得小于 1 nm 的输出线宽及 3.5% 的参量转换效率.

感谢陆祖康教授、吴碧珍高级工程师及各位给予帮助和方便的先生.

参 考 文 献

- [1] D. Eimerl, L. Davis, S. Velsko *et al.*, Optical, mechanical and thermal properties of barium borate. *J. Appl. Phys.*, 1987, **62**(5): 1968~1983
- [2] 范琦康, 叶建华, 宽调谐高效率的 BBO 光参量振荡器. *光学学报*, 1991, **11**(5): 396~401
- [3] S. J. Brosnan, Robert L. Byer, Optical parametric oscillator threshold and linewidth studies. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1979, **QE-15**(6): 415~431
- [4] 方洪烈, 光学谐振腔理论. 北京, 科学出版社, 1981: 301~314
- [5] 孔凡平, 刘心田, 吴祥鹤译, 沈元壤编, 红外辐射的产生. 北京, 科学出版社, 1982: 152~175

A BBO Crystal Optical Parametric Oscillator with a Grating

Wei Chunlong Qiu Wenfa Fan Qikang

(Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 2 September 1993; revised 11 November 1993)

Abstract A BBO crystal optical parametric oscillator (OPO) with a grating pumped by a laser at $0.532 \mu\text{m}$ is demonstrated. The linewidth less than 1 nm for tuning throughout $1.02 \sim 1.08 \mu\text{m}$ and the maximum energy conversion efficiencies upto 3.5% are obtained.

Key words BBO crystal, OPO.