

高增益 LiNbO_3 光参量振荡器

黄 卫 平

(上海冶金专科学校物理教研室)

谢绳武 蒋秀明 王佩筠 陈英礼

(上海交通大学应用物理系)

提 要

报道一台采用调Q红宝石激光器泵浦的高增益角度调谐 LiNbO_3 光参量振荡器。最大输出能量和转换效率分别高达 50 mJ/pulse 和 19%。该振荡器从 1.1444 μm 到 1.7652 μm 连续可调谐。

关键词: LiNbO_3 晶体, 光参量振荡器(OPO)

一、引 言

光参量振荡器(简称 OPO)是获得连续调谐强相干辐射源的有效方法之一,若干作者^[1~3]已报道了高能量、高转换效率的光参量振荡输出。可是,受晶体光学质量、尺寸大小和光损伤阈值的限制、以及相位失配的存在,欲获得的几十 mJ 的光参量振荡输出,仍是困难的。

最近,我们采用调Q红宝石激光器泵浦,成功的获得了一台高能输出、高转换效率的角度调谐 LiNbO_3 光参量振荡器,工作在室温的该振荡器,在整个调谐区域 1.1444 μm ~1.7652 μm , 输出能量超过 15 mJ/pulse, 最大输出超过 50 mJ/pulse, 转换效率超过 19%。振荡器高增益运转的关键是使用了优质大尺寸的 LiNbO_3 晶体,并通过微电脑的设计,优选出晶体加工方案,使光参量振荡器工作在最佳相位匹配状态。

二、实验装置的设计

整个实验装置由泵浦源、调谐机构、谐振腔、光参量振荡晶体和测量系统等部分组成,如图1所示。

1. 泵浦源、调谐机构和谐振腔

泵浦源是一台具有一级振荡、二级放大、KD*P 晶体为 Q 开关的红宝石激光器,输出的偏振光波长为 0.6943 μm , 脉冲宽度 25 ns, 最大输出能量 2 J/pulse, 采用可变小孔光阑选模,输出模式接近 TEM_{00} 模。

实验中的角度调谐机构是一架特制的二维分度台,可使晶体的匹配角 θ 、方位角 ϕ 在球坐标下任意取值,分度值为 2'。

光参量振荡谐振腔是平面平行腔结构,腔镜以石英玻璃为基片,输入镜 M_1 对泵浦光透

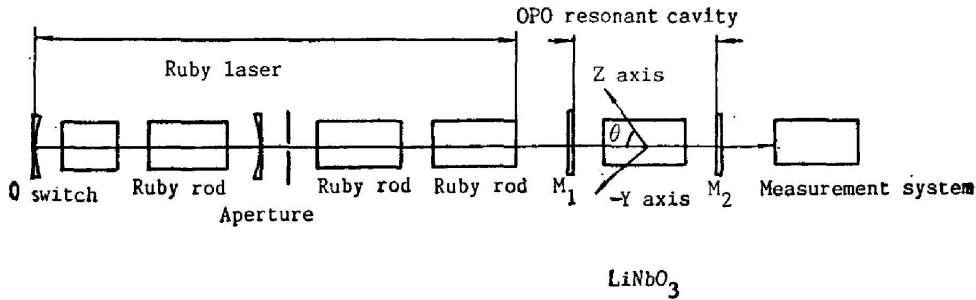


Fig. 1 Experimental setup

过率大于 90%，对参量光反射率大于 98%，输出镜 M_2 镀膜时，考虑了避免反向泵浦强反馈和晶体表面能过度提高，可能造成的泵浦源和 LiNbO₃ 晶体的光损伤，对泵浦光也高透，对参量光反射率则在 30%~80% 之间。腔镜用二维精密微调支架固定，安放在光学平台上。谐振腔决定了该振荡器是双谐振的。

2. 光参量振荡晶体

实验用的纯 LiNbO₃ 晶体属三方晶系、 $3m$ 点群、负单轴晶体，其相位匹配的问题，J. E. Midwinter 等^[3] 在 1965 年发表的单轴晶体的相位匹配方法及有效二阶非线性系数计算公式中已经解决。众所周知，正确地选择晶体的相位匹配角和匹配温度，使振荡器工作在最佳相位匹配状态，对降低阈值，提高输出和转换效率将产生重要影响，为此，我们编制了一套可在 Apple-II 型微电脑上使用的单轴晶体最佳相位匹配曲线计算源程序，利用该程序和 Hobden^[4] 拟合的 LiNbO₃ 晶体 Sellmeier 色散关系，对 LiNbO₃ 晶体进行了最佳相位匹配曲线的数值计算，计算结果表明，在红宝石激光器泵浦下，I 型匹配是唯一有效的匹配方式，对角度调谐，若在室温~400°C 的范围内确定了晶体的匹配温度，可在 47°~90° 的范围内找到合适的最佳匹配角 θ ，注意到在有效非线性系数的计算中，非线性光学系数 d_{31} 和 d_{22} 具有相反的符号^[5]，最佳的 ϕ 角应选择 -90° 或等价角 30° 。考虑到振荡器工作在室温和应用波段 1.3 μm 附近，晶体的 θ 和 ϕ 角分别选择为 53° 和 -90° ，即在 $-YZ$ 平面内选择晶体的生长方向，沿 YZ 平面切割晶体。为保证加工后晶体保留的有效长度较长，晶体沿 $[1014]$ 方向生长，精加工后，通光面为 $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ，平行度约 $20''$ ，平面度小于半个光圈，有效通光长度 55 mm。

3. 测量系统

测量系统如图 2 所示，光参量振荡器射出的激光包括泵浦光和参量光，用透红外玻璃 HWB₃ 滤去泵浦光，参量光经透镜 F 扩束后，由 WDG-30 型光栅单色仪分光，用 MRT-500 型雪崩光电二极管接收，Tek-466 型存储示波器观察。当光参量振荡输出较强时，经单色仪分光后，用 LPE-1A 型激光能量计监测。

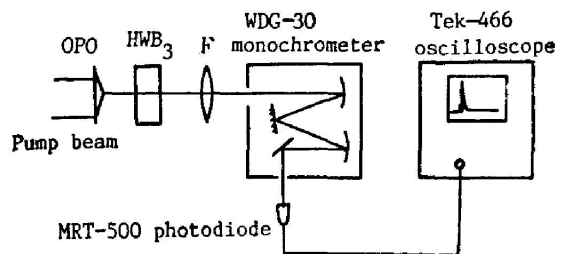


Fig. 2 Setup for measurement of OPO

三、实验结果

1. 调谐曲线和输出波形

用图 2 所示的装置, 测量了室温(25°C)时光参量振荡输出波长的调谐曲线, 如图 3 所示。当晶体匹配角 θ 在 $52^\circ 15' \sim 53^\circ 33'$ 的范围内改变时, 相应的波长调谐范围为 $1.1444 \mu\text{m} \sim 1.7652 \mu\text{m}$ 。图 3 给出了实验测量值和理论计算曲线的比较, 图中实线为理论计算值, Δ 为实验测量值, 显然, 实验与理论结果十分符合。实验中, 调谐范围的进一步扩展, 受到晶体通光孔径和谐振腔的限制。

用同样的测量装置, 观察并拍摄了光参量振荡的输出波形, 如图 4 中照片所示, 测得参量光输出脉冲半值宽度约为 12 ns, 比泵浦脉宽略有压缩。

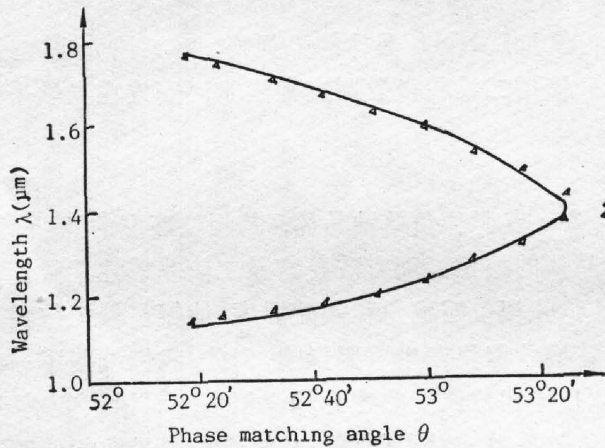


Fig. 3 Angular tuning curve of LiNbO₃ OPO

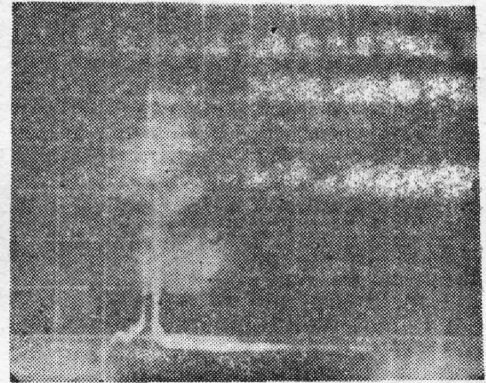


Fig. 4 The output waveform of OPO

2. 输出能量和转换效率

表 1 给出了泵浦光束截面约 0.28 cm^2 , 输出能量 264 mJ 时, 转换到二谐振波 ω_1, ω_2 中, 参量光的输出能量 $E_{\omega_1}, E_{\omega_2}$ 和总能量 $E_{\omega_1+\omega_2}$, 并得到了相应的转换效率 $\eta_{\omega_1}, \eta_{\omega_2}$ 和 $\eta_{\omega_1+\omega_2}$ 。表中 λ_1 和 λ_2 分别对应二谐振波波长。表中光参量振荡的输出能量, 随调谐发生较大变化的主要原因, 是由于在调谐时, 匹配角改变所引起的腔体损耗的增减, 以及谐振腔腔镜透过率在各谐振区域存在较大差异。实验中, 我们观察到, 低反射率区域比高反射率区域有更强的光参量振荡输出, 因此, 我们认为, 对采用优质大尺寸非线性晶体的光参量振荡器, 为使更多的泵浦能量作有效转换, 最佳耦合率应该是处于反射率更低的区域。此外, 实验中观察到, 参量光输出能量的起伏现象, 这主要是由于泵浦强度、环境温场的起伏以及双谐振的所谓“群集效应”^[6] 等因素的影响。

3. 晶体光损伤

当泵浦能量增加到接近 1 焦耳时, 观察到 LiNbO₃ 晶体表面和内部的光损伤, 其现象为, 晶体表面局部区域出现了点状密布的细凹坑, 晶体内部出现了细丝样气泡, 当用氩氟激光器照射时, 在晶体旁可看见丝状明显的散射光。类似的 LiNbO₃ 晶体的光损伤, 若干作者^[7~9] 已观察到, 并对损伤机理作过研究, 这里不再赘述。

Table. 1 Energy and conversion efficiency of OPO

$\lambda_1(\mu\text{m})$	$\lambda_2(\mu\text{m})$	$E_{w_1+w_2}(\text{mJ})$	$E_{w_1}(\text{mJ})$	$E_{w_2}(\text{mJ})$	$\eta_{w_1+w_2}(\%)$	$\eta_{w_1}(\%)$	$\eta_{w_2}(\%)$
1.7652	1.1444	15.70	1.72	13.98	5.95	0.65	5.30
1.7388	1.1580	15.55	3.56	11.99	5.89	1.35	4.54
1.6976	1.1748	50.55	12.88	37.67	19.15	4.88	14.28
1.6582	1.1942	47.55	25.16	22.39	18.01	9.53	8.48
1.6386	1.2048	43.35	15.33	28.02	16.42	5.81	10.61
1.5858	1.2350	45.40	19.72	25.68	17.20	7.47	9.73
1.5198	1.2782	38.00	22.10	15.90	14.39	8.37	6.02
1.4702	1.3156	25.90	5.36	20.54	9.81	2.03	7.78
1.4230	1.3558	32.60	8.68	23.92	12.35	3.29	9.06
1.3985	1.8836	33.45	16.73	16.72	12.67	6.34	6.34

综合上述结果,我们认为,欲获得高能输出和高转换效率的光参量振荡器,其主要条件包括:高光学质量大尺寸非线性晶体的制备,输出耦合损耗的合理选择以及使振荡器工作在最佳相位匹配状态。

作者对上海硅酸盐研究所提供 LiNbO₃ 晶体,上海交通大学应用物理系普物实验室老家兴同志和镀膜室、光学和机械加工车间同志提供的大量协作,在此谨表感谢。

参 考 文 献

- [1] K. Kato; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983, **QE-13**, No. 4(Apr), 451.
- [2] R. L. Herbst, R. N. Fleming *et al.*; *Appl. Phys. Letts.*, 1974, **25**, No. 9 (Nov), 520.
- [3] J. E. Midwinter, J. Warner; *Brit. J. Appl. Phys.*, 1965, **16**, No. 8 (Aug), 1135.
- [4] M. V. Hobden, J. Warner; *Phys. Letts.*, 1966, **22**, No. 3 (Aug), 243.
- [5] J. E. Bjorkholm; *Appl. Phys. Letts.*, 1968, **13**, No. 1 (Jul), 36.
- [6] J. A. Giordmaine, R. C. Miller; *«Physics of Quantum Electronics»*, P. L. Kelley, B. Lax, P. E. Tannenwald; Eds. (McGraw-Hill Book Co., New York, 1966), 31.
- [7] G. M. Zverev, S. A. Kolyadin *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, **7**, No. 9 (Sep), 1071.
- [8] S. J. Brosnan, R. L. Byer; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, **QE-15**, No. 6 (Jun), 415.
- [9] 私人通信。

High-gain LiNbO₃ optical parametric oscillator

HUANG WEIPING

(Physics Division, Shanghai Technical College of Metallurgy)

XIE SHENGWU, JIANG XIUMING, WANG PEIJUN AND CHEN YINGLI

(Department of Applied Physics, Shanghai Jiao Tong University)

(Received 5 April 1988; received 21 September 1988)

Abstract

We report in this paper a high-gain tuned LiNbO₃ optical parametric oscillator pumped by a Q-switched ruby laser. The maximum output energy and conversion efficiency is as high as 50mJ/pulse and 19% respectively. The oscillator is continuously tunable from 1.1444 μm to 1.7652 μm .

Key words: LiNbO₃; optical parametric oscillator (OPO)