

# 1.47~4 $\mu\text{m}$ 光参量振荡器

潘忠汉 吴路生 鲁士平 崔益本 祁红星

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

## 提 要

采用电光调Q脉冲YAG激光器泵浦,温度调谐和腔内工作方式,在50°切割的LiNbO<sub>3</sub>晶体中,首次获得以3.3 $\mu\text{m}$ 为中心调谐波长,调谐区为1.47~4 $\mu\text{m}$ 的红外参量振荡,其输出能量大于100 $\mu\text{J}/\text{pulse}$ ,线宽约3 $\text{cm}^{-1}$ ,重复率达40 pps,波长稳定性优于5 $\text{cm}^{-1}$ 。

## 一、实验装置及设计

整个实验装置如图1所示,它由泵浦源,非线性晶体,谐振腔及调谐机构组成。

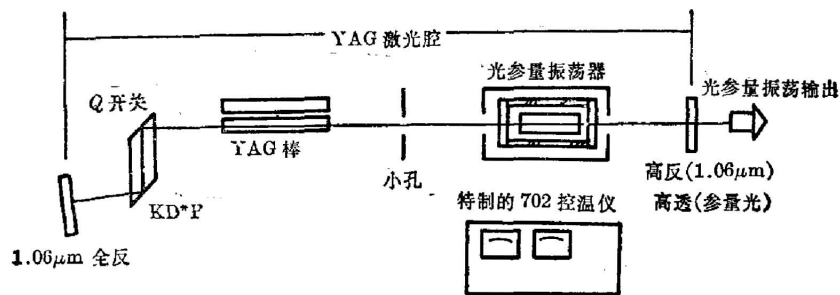


图1 实验装置示意图

Fig. 1 Experimental setup

### 1. 泵浦源和调谐系统

泵浦源为氙灯泵浦的YAG激光器,以单块双45°KD\*P晶体作为Q开关,用白宝石小孔选模,输出模式接近TEM<sub>00</sub>模。

实验用的温度调谐装置其加热筒材料选用不锈钢,硅酸铝纤维作为保温材料,感温元件采用线性好和响应时间快的铂电阻,特制的702单机控温,在100~220°C时,温度波动 $\leq \pm 0.05^\circ\text{C}$ 。

### 2. 光参量振荡晶体LiNbO<sub>3</sub>

当我们确定了泵浦光波长为1.06 $\mu\text{m}$ 和温度调谐方式,光参量振荡晶体的最佳匹配角应如何选择?我们知道互作用的三个频率的光束要满足相位匹配条件<sup>[1]</sup>

$$K_p = K_s + K_i, \quad (1)$$

式中 $K_p$ 、 $K_s$ 、 $K_i$ 分别为光参量振荡的泵浦光、信号光和空闲光的波矢量,对于共线I类相位匹配,由(1)式可得

$$\left[ \frac{\omega_s}{\omega_p} n_s^0 + \frac{\omega_i}{\omega_p} n_i^0 \right]^{-2} = [n_p^0]^{-2} \cos^2 \theta + [n_p^e]^{-2} \sin^2 \theta. \quad (2)$$

由纯 LiNbO<sub>3</sub> 的 Sellmeier<sup>[2]</sup> 方程可知, 折射率  $n$  与温度  $T$ 、波长  $\lambda$  有关, 所以(2)式有三个变量  $n$ 、 $T$ 、 $\lambda$ 。当匹配角度  $\theta$  确定后, (2)式左边就是  $T$ 、 $\lambda$  的函数, 而右边就是  $T$  的函数。

$$f_1(T, \lambda) = f_2(T). \quad (3)$$

我们用 130 计算机和微处理机分别算得  $\lambda_p = 1.064 \mu\text{m}$  时,  $\theta = 49^\circ$ ,  $\theta = 50^\circ$ ,  $\theta = 51^\circ$  的三条纯 LiNbO<sub>3</sub> 温度调谐曲线, 如图 2 所示。根据文献 [1], 在 170°C 以下 LiNbO<sub>3</sub> 易于出现光损伤, 而高于 210°C 又会脱氧变黄。从图 2 中可见  $\theta = 50^\circ$  时, 调谐波长 3.3 μm 对应的温度为 188.5°C, 这是最佳温度匹配点, 所以采用  $\theta = 50^\circ$ 。

实验中使用的晶体长度为 23.7 mm, 横截面为 11 × 11 mm<sup>2</sup>, 为了获得最大非线性系数, 沿 YZ 面切割<sup>[3]</sup>, 两通光面抛成平行平面, 两面镀增透膜, 在调谐范围内透过率大于 80%。

### 3. 谐振腔

光参量振荡器的机械稳定性主要取决于谐振腔, 因此, 我们设计了一种类似于标准具的新型腔体, 使光参量振荡器具有独特的腔体结构, 把一根长 29 mm, 内径 φ15 mm 的石英管两端磨成平行度小于 15'' 的平行平面, 装入参量晶体后, 两端固定好腔片, 故称为间隔圈式结构, 如图 3 所示。由于石英

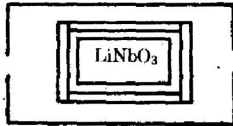


图 3 间隔圈式腔体结构示意图  
Fig. 3 Schematic of the cavity structure with spacers

的良好特性, 所以这种结构的机械稳定性和热稳定性都很好。

谐振腔为平行平面腔, 输入腔片为 K<sub>0</sub> 玻璃, 输出腔片为白宝石。这两种腔片对泵浦光透过率均大于 90%, 而对参量振荡光的反射率分别为 98% (输入腔片) 和 80% (输出腔片), 所以属于双谐参量振荡。

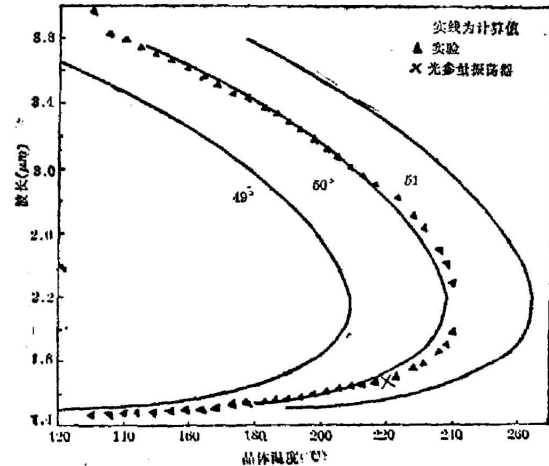


图 2 光参量振荡器的温度调谐曲线  
Fig. 2 Temperature tuning curves of OPO

## 二、测量系统与实验结果

### 1. 调谐曲线

测量系统如图 4 所示, 光参量振荡输出经光栅单色仪分光, 用碲化铋探测器接收, 再经放大器后用示波器观察。每分度做一个点, 结果如图 2 所示, 显然, 实验测量与理论计算符合很好。光参量振荡器在 213°C 处停振正好对应于 LiNbO<sub>3</sub> 本身固有的吸收峰(该点波长为 2.86 μm)。

### 2. 输出能量

调谐波长在 3.3 μm 处, 工作重复率 1 pps, 测得光参量振荡输出大于 100 μJ/pulse, 能

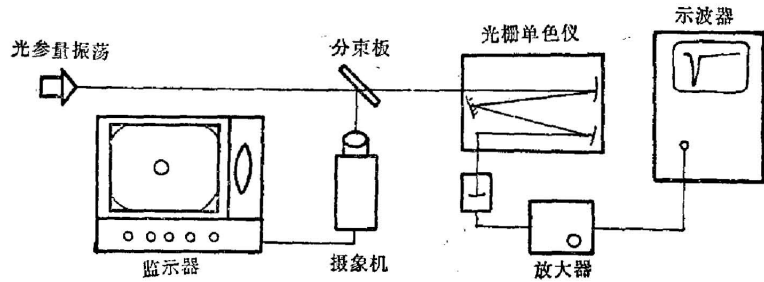


图 4 调谐曲线测量装置

Fig. 4 Setup for measurement of tuning curves

量有起伏,我们认为主要是由于泵浦光强度起伏、双谱参量振荡中的群集效应<sup>[4,5]</sup>、温场波动和整个实验装置的稳定性等原因引起的。

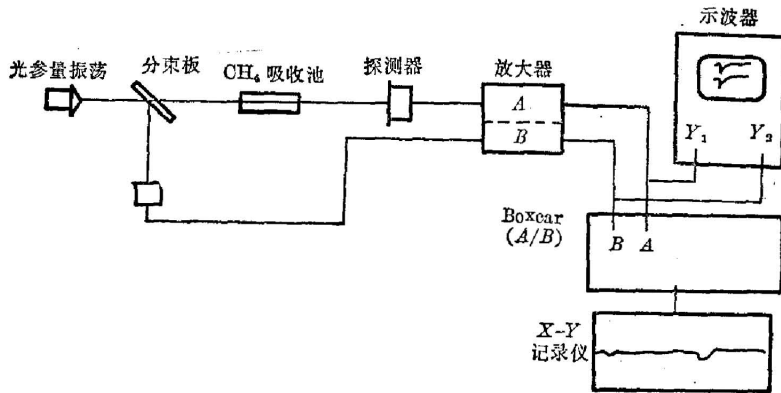


图 5 线宽及波长稳定性测量装置

Fig. 5 Setup for measurement of linewidth and wavelength stability

### 3. 线宽及波长稳定性

测量系统如图 5 所示,光参量振荡输出经分束板分为两路,一路经过长 5cm、气压为 200 Torr 的 CH<sub>4</sub> 吸收池,进入探测器作为 A,另一路作为 B,两路信号经放大后进入 Boxcar 积分器,工作状态为 A/B,以消除光强起伏,输出用 X-Y 记录仪记录。当光参量振荡波长扫描时,记录仪记下吸收曲线如图 6 所示。如果 CH<sub>4</sub> 的吸收宽度比光参量振荡线宽度窄,记录的便是光参量振荡线宽,反之,便是 CH<sub>4</sub> 吸收线宽。利用 CH<sub>4</sub> 的 P 支和 R 支窄的特性,我们便近似地测得光参量振荡线宽约为 3 cm<sup>-1</sup>。

如果把光参量振荡波长调到 Q 支吸收峰内(其吸收宽度为 10 cm<sup>-1</sup>),监视 Boxcar 输出

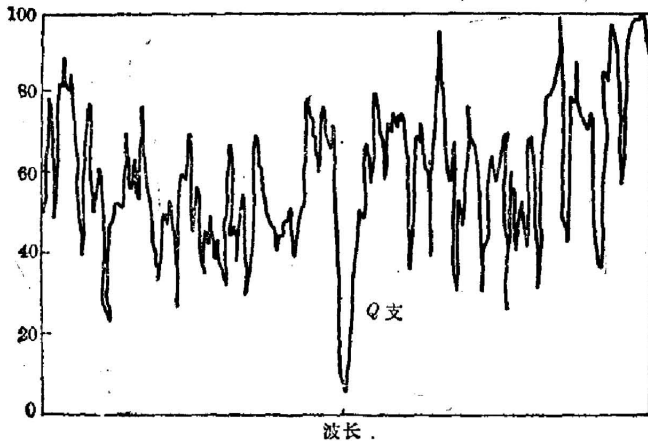


图 6 用光参量振荡器测量的 CH<sub>4</sub> 吸收曲线

Fig. 6 CH<sub>4</sub> absorption curve measured by OPO

和记录曲线,便可算出波长稳定性。此时 Boxcar 输出值稳定为(2.7~3%),所以记录仪记录下来的近似直线,稳定性优于  $5\text{cm}^{-1}$ 。

#### 4. 重复率和寿命

光参量振荡器系统在 10 pps 下可连续工作两小时, 40 pps 下可工作半小时, 影响工作重复率和寿命的主要因素有电源输出功率、放电速率、氙灯寿命、冷却系统, 膜电的激光损伤, 参量振荡晶体质量等。

综上所述,我们研制的光参量振荡器达到了预定的技术指标,从 1982 年工作以来,至今还未发现参量振荡晶体  $\text{LiNbO}_3$  光损伤和脱氧现象,并且在分子振动弛豫研究中已获得成功,实验证明这种参量振荡器是一个理想的调谐光源。进一步的工作是压缩线宽和提高输出稳定性。

对我所其他各组同志在加工晶体、镀膜、吹灯、机械设计、电源以及提供测量设备等方面的协作和帮助,在此一并表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] F. Zernik, J. E. Midwinter; *«Applied Nonlinear Optics»*, (A Wiley-Interscience publication, 1973), 54.
- [2] M. V. Hobden, J. Warner; *Phys. Lett.*, 1966, **22**, No. 3 (Aug), 243.
- [3] Y. R. Shen; *«Nonlinear Infrared Generation»*, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1977), 88.
- [4] Р. Фишер, Л. А. Кулевский; *Квант. Электр.*, 1977, **4**, № 2 (Фев), 245.
- [5] M. J. Colles, R. C. Pidgen; *Report Progress in Physics*, 1975, **38**, No. 3 (Mar), 358.

### An optical parametric oscillator (OPO) tunable in 1.47~4 $\mu\text{m}$

PAN ZHONGHAN WU LUSHENG LU SHIPING CUI YIBEN AND QI HONGXIN  
(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei)

(Received 27 November 1984; revised 5 February 1985)

#### Abstract

IR intracavity optical parametric oscillation is obtained by using an electro-optic Q-switched Nd:YAG laser as the pumping source and a  $50^\circ$ -cut  $\text{LiNbO}_3$  crystal as the oscillator. The wavelength is tuned by varying the temperature of  $\text{LiNbO}_3$ . The tunable range is 1.47~4  $\mu\text{m}$  with output energy over 100  $\mu\text{J}$  per pulse and linewidth less than  $5\text{cm}^{-1}$ . This OPO has been applied in laser chemistry with good experimental results.