

文章编号: 0253-2239(2001)04-444-03

可调谐钛宝石激光抽运的 KTP 单谐振光学参量振荡器的研究*

丁 欣 施翔春 于意仲 吕 卫 姚建铨

(天津大学精密仪器与光电子工程学院激光与光电子研究所,
教育部光电信息技术科学开放实验室, 天津 300072)

摘要: 介绍了 700 nm~ 980 nm 的脉冲可调谐钛宝石激光抽运的 KTP 单谐振光学参量振荡器。通过改变抽运光波长作为光学参量振荡器输出参量光的调谐方式, 确定了 KTP 晶体最佳切割角度 ($\theta = 62.5^\circ$, $\varphi = 0^\circ$), 实验上获得了 1251 nm~ 2532 nm 的连续参量光输出, 最大输出能量约为 27.2 mJ, 最大转换效率为 35.7% (1311 nm 处)。

关键词: 光学参量振荡器; KTiOPO_4 晶体; 可调谐钛宝石激光器

中图分类号: O437.4 文献标识码: A

1 引 言

掺钛蓝宝石(简称钛宝石, Ti:s)激光器是一种新型顺磁子固体可调谐激光器, 可输出 660 nm~1200 nm 的连续可调谐激光, 是目前在红光及近红外波段调谐范围最宽的激光器之一^[1]。通过光学参量振荡器(OPO)技术将其输出光的光谱范围向红外方向扩展使之性能更优越, 将具有重要意义。

近年来, 随着一些高性能非线性光学晶体的出现, 光学参量振荡器的研究取得了很大进展。由于 KTP(KTiOPO_4) 晶体具有较大的有效非线性系数, 因此 KTO-OPO 作为可见光到近红外波段的主要光学参量振荡器格外受到光学界重视^[2]。传统的 KTP 光学参量振荡器主要采用角度调谐方式, 但随着晶体角度的改变, 对于晶体来说抽运光和参量光已不是正入射, 从而引入了表面反射损耗, 同时, 由于角度变化范围的限制, 调谐宽度也有限。本实验采用脉冲可调谐钛宝石激光作为抽运源, 通过改变抽运光波长作为参量振荡器的调谐方式, 使得 OPO 中的 KTP 晶体不再需要转动角度, OPO 谐振腔相对稳定, 转换效率相对提高; 同时由于钛宝石晶体具有很宽的荧光光谱(660 nm~ 1200 nm), 在晶体切割角度确定的情况下, 用一块 KTP 晶体就可以得到很宽的连续可调谐参量光输出, 大范围扩展了钛宝

石激光输出波段。本实验获得了 1261nm~ 2532nm 的宽波段连续单谐振参量光输出。

2 理论与实验研究

2.1 KTP 晶体切割角度的选取

KTP 晶体为双轴晶体, 属 $\text{mm}2$ 点群, 具有相对较大的有效非线性系数和破坏阈值。双轴晶体中三波相互作用相位匹配条件可以分为三种类型, 对于 KTP-OPO 来说, 其 I 类相位匹配的有效非线性系数比 II 类匹配的有效非线性系数小得多, 因此一般采用 II 类匹配。本实验情况采用 II(A) 类相位匹配^[3]。

由于目前对钛宝石激光抽运 KTP-OPO 的研究均采用非临界相位匹配, 但输出的信号光和闲频光间有间断点^[4], 因此本实验的主要目的是在抽运光波长变化范围内选取一定的晶体切割角度 (θ , φ), 使得信号光和闲频光形成连续可调的波段。为此, 可把 $\varphi = 0^\circ$ 的固定平面作为参量振荡的调谐面, 根据色散方程^[5]和相位匹配条件计算出在不同 θ 角度下抽运光波长变化范围在 700 nm~ 980 nm 时 OPO 的调谐曲线。当在某 θ 角度下信号光和闲频光的两条曲线没有间断点时, 此时的 θ 即为我们所确定的晶体切割角度。本实验所确定的 KTP 晶体切割角度为 $\theta = 62.5^\circ$, $\varphi = 0^\circ$, 在此切割角度下, 当抽运光波长为 700 nm 时, OPO 的信号光波长为 1255 nm, 闲频光波长为 1582 nm; 当抽运光波长为 980 nm 时 OPO 的信号光波长为 1593.3 nm, 闲频光波长为

* 教育部高校博士点基金及激光技术国家重点实验室资助项目。

2545.9 nm, 因 980 nm 处的信号光波长长于 700 nm 处的闲频光波长, 可见在这两个波长抽运下 OPO 的信号光和闲频光有重叠部分, 即可以连续可调, 参量光理论调谐范围为 1255 nm~ 2546 nm, 其调谐曲线如图 1 所示, 有效非线性系数曲线如图 2 所示。与传统的角度调谐方式相比, 要达到相同的光谱范围, 以用 800 nm 激光抽运为例, 在 $\varphi = 0^\circ$ 时, θ 需从 53° 变化到 79° , 角度变化范围约为 26° , 一般情况下, 用一块 KTP 晶体是不可能实现的, 其调谐曲线如图 3 所示。

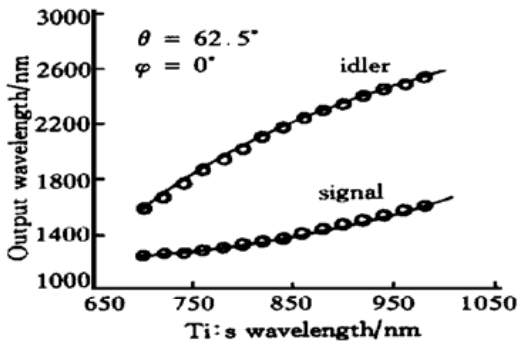


Fig. 1 Tuning curve of KTP-OPO. o is the result of experiment

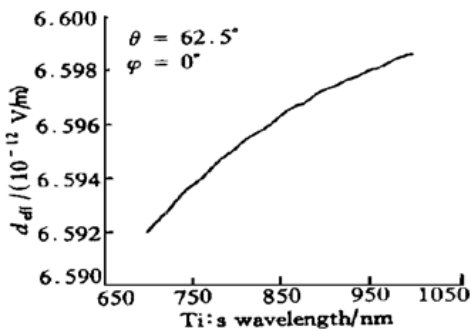


Fig. 2 Curve of d_{eff}

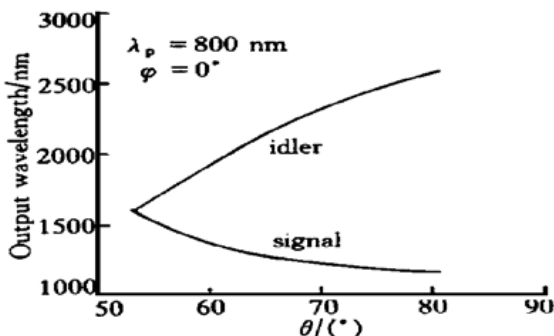


Fig. 3 Angle tuning curve of KTP-OPO pumped by 800 nm laser

2.2 实验装置

钛宝石谐振腔由光谱物理公司生产的双脉冲电光调 Q-Nd:YAG 激光器经 KTP 晶体倍频产生的 532 nm 激光抽运, 抽运光为 π 偏振光(相对于钛宝石晶体), 单脉冲能量最大可达 300 mJ, 倍频效率大

于 50%。选用中国科学院上海光学精密机械研究所的优质钛宝石晶体, 品质因素(FOM)值约为 300, 钛宝石激光器输出波长为 700 nm~ 980 nm, 脉宽为 10 ns~ 12 ns, 线宽约为 1.1 nm, 发散角小于 1.5 mrad, 重复频率为 10 Hz, 最小能量输出波长为 980 nm, 此处单脉冲能量约为 31 mJ。输出的钛宝石激光用 $f = 500$ mm 的透镜聚焦, 焦点位于 KTP 晶体后约 100 mm, 晶体表面光斑直径为 2.3 mm。

光学参量振荡器的谐振腔采用平面-平面腔结构, 共选取 5 组膜片, 波长范围分别为 1200 nm~ 1500 nm、1490 nm~ 1800 nm、1790 nm~ 2100 nm、2090 nm~ 2400 nm 和 2390 nm~ 2600 nm。OPO 所用的 KTP 晶体尺寸为 5.05 mm \times 5.70 mm \times 8.59 mm。腔的高反镜对参量光的反射率大于 99%, 由于增大输出镜反射率可以减小阈值, 输出镜的反射率定为 89%~ 92%。同样为减小阈值, 应选择短腔长, 本实验参量谐振腔腔长为 34 mm。光学参量振荡器采用 II(A) 类相位匹配, 钛宝石激光对 KTP 晶体正入射(晶体已切割成 $\theta = 62.5^\circ$, $\varphi = 0^\circ$), 其偏振方向沿着晶体的 y 轴, 实验装置如图 4 所示。

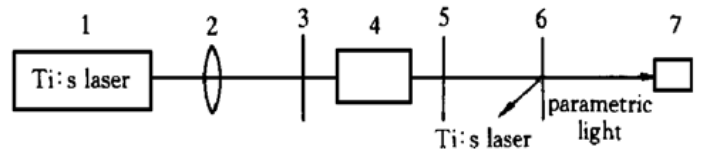


Fig. 4 Schematic of the OPO experiment. 1: 700 nm~ 980 nm Ti:s laser; 2: lens ($f = 500$ mm); 3: HR mirror; 4: KTP crystal for OPO; 5: output coupler; 6: 690 nm~ 1000 nm HR mirror; 7: Monochromator or energy meter

2.3 实验结果

在 KTP-OPO 输出镜后加装钛宝石激光衰减片, 用北京光学仪器厂的 WDG500-1 型光栅单色仪测量钛宝石激光和参量光波长, 单色仪出光端用红外探测器接收。实验测得的信号光调谐范围为 1261 nm~ 1599 nm, 相应的闲频光范围为 1576 nm~ 2532 nm, 总的参量光的调谐范围为 1261 nm~ 2532 nm, 线宽小于 1.8 nm, 如图 1 所示, 符号“o”为实验测得值, 与理论计算吻合较好。实验中发现, 信号光波长的实际测得值比理论值(1255 nm~ 1293 nm)要大 10 nm~ 16 nm, 这是由于理论计算中所采用的 KTP 晶体色散方程与实验用晶体存在微小偏差以及 KTP 晶体的切割角度不精确所致。

在测量波长的同时, 我们用北京光电研究所的 NJ-J₁ 型激光能量计测量了钛宝石激光和参量光的

输出能量。以 690 nm~ 1000 nm 全反镜取代钛宝石激光衰减片, 采用的钛宝石激光平均能量为 41.3 mJ (不同波长输出能量并未达到最大), 在 795 nm 处输出能量最大为 76.2 mJ, 聚焦后晶体处光斑直径为 2.3 mm。调节抽运光波长和能量, 实验测得在不同抽运波长下参量振荡器的最高阈值小于 17.2 mJ, 977 nm 处阈值最低, 为 13.5 mJ。参量光的输出能量在 1261 nm~ 2532 nm 范围内大于 8.4 mJ, 实验发现, 由于钛宝石激光器在 700 nm~ 980 nm 范围内输出光的能量不均匀 (795 nm 处为最大), 使输出的参量光能量也有变化, 但除了在阈值附近, OPO 的转换效率相差不多, 约为 28.4%, 最大转换效率为 35.7% (信号光 1311 nm 处, 抽运光能量为 76.2 mJ), 此时输出参量光能量达到最大为 27.2 mJ, 图 5 为不同波长钛宝石激光能量保持在 28.7 mJ 时 OPO 的信号光能量转换效率曲线。我们认为, 不同波长下 KTP 晶体的有效非线性系数相差很小 (见图 2) 是使得能量转换效率变化不大的主

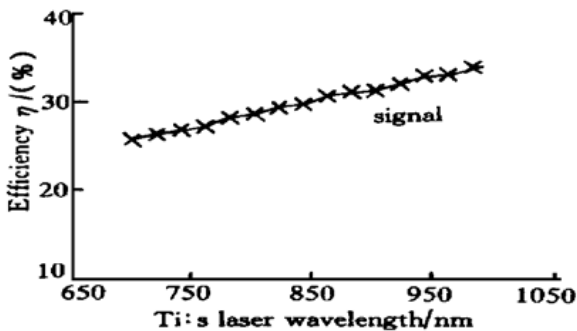


Fig. 5 Efficiency of OPO pumped by tunable Ti:s laser

要原因。由于在镀膜时对闲频光波段的反射率未加以控制, 因此仍有一部分闲频光在腔内振荡, 造成参量光向抽运光的转化, 使得转换效率随着抽运光强的增强有饱和的趋势。同时信号光能量是采用加装滤光片方式测量, 使得一部分能量被滤光片反射掉, 且 KTP 晶体以及谐振腔腔镜对 Ti:s 激光均没有镀增透膜 (宽带增透膜技术已很成熟), 因此, 整个实验装置损耗相对比较大, 这些影响均会造成转换效率的降低。我们认为, 在本实验的情况下, 如果采用透过率更高的输出镜, 在继续提高抽运能量的情况下 (以不超过晶体及膜片的破坏阈值为限), 有可能进一步提高转换效率。实验证明, 该方案是实现高效、宽波段调谐激光光源的有效途径。

中国科学院安徽光学精密机械研究所程时亮老师为本实验镀制了光学膜片, 作者在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 宋 峰, 乔金元, 李喜福等. 小型化脉冲钛宝石激光器的研究. 量子电子学, 1995, **12**(4): 341~ 346
- [2] 许祖彦. 光参量激光器-可调谐激光的进展. 中国激光, 1994, **A21**(5): 329~ 333
- [3] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995. 32~ 43
- [4] Zenzie H H, Moulton P F. Tunable optical parametric oscillators pumped by Ti: sapphire lasers. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(13): 963~ 965
- [5] Fan T Y, Huang C E, Hu B Q *et al.*. Second harmonic generation and accurate index of refraction measurements in flux-grown KTiOPO₄. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(12): 2390 ~ 2393

Study of KTP Singly Resonant Optical Parametric Oscillator Pumped by Pulsed Tunable Ti: Sapphire Lasers

Ding Xin Shi Xiangchun Yu Yizhong Lü Wei Yao Jianquan

(*Optoelectronic Information Science and Technology Lab., College of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

(Received 20 October 1999; revised 28 February 2000)

Abstract: A singly resonant KTP-optical parametric oscillator (OPO) pumped by a pulse tunable Ti: sapphire laser is experimentally demonstrated and analyzed. Using one KTP crystal ($\theta = 62.5^\circ$, $\varphi = 0^\circ$), the continuous output wavelength from 1261 nm to 2532 nm of type II(A) OPO is obtained by tuning the pump laser from 700 nm to 980 nm, with the maximum output energy of 27.2 mJ and the maximum conversion efficiency of 35.7%.

Key words: optical parametric oscillator; KTP crystal; tunable Ti: sapphire laser