

## KTP腔内倍频已实现33W绿光的 稳定高平均功率输出

黄朝恩 韩蕪棣 陈登金 刘有臣 刘威

(国家建材局人工晶体研究所)

**提要:** 用本所熔盐法生长的KTP晶体作为腔内倍频材料,已从Nd:YAG激光器获得6.5W完全连续的绿光输出。在使用25kHz声光Q开关的情况下,绿光的平均输出功率达到33W。此外,本实验对KTP倍频器的均匀性和稳定性也做了检验。

### Stable 33W average green light obtained with KTP crystal as intracavity frequency-doubler

Huang Chaoren, Han Pengdi, Chen Denjin, Liu Youchen, Liu Wei

(Research Institute of Synthetic Crystals, State Administration of Building Materials, Beijing)

**Abstract:** 6.5 W CW green light has been achieved in a Nd:YAG laser by using KTP crystal grown by an improved flux technique in our institute as intracavity frequency-doubler. An average output of 33 W at 532 nm has been demonstrated when an acousto-optical Q-switch operating at 25 kHz was used. The stability of KTP doubler was also checked.

中获取33W高平均功率绿色激光的实验结果。

### 一、引言

新型非线性光学晶体磷酸氧钛钾(KTP)的出现,使人们有可能从固体激光器获取高功率的绿光输出。KTP是一种双轴晶体,它的有效非线性系数是KDP晶体的15倍,它的损伤阈值大于 $500 \text{ MW/cm}^2$ ,是 $\text{LiNbO}_3$ 晶体的10倍。在室温就能实现位相匹配,有足够大的角度和温度带宽。低于 $900^\circ\text{C}$ 性能稳定,耐潮。KTP是一种优良的倍频材料。

本文报道了利用KTP作腔内倍频元件,从25kHz声光Q开关Nd:YAG激光器

### 二、晶体特性

所用的KTP倍频晶体是我所用改进的熔盐法生长出来的(图1)。完全透明的大单晶尺寸可达 $30 \times 30 \times 20 \text{ mm}^3$ ,倍频器尺寸可达 $15 \times 15 \times 10 \text{ mm}^3$ 以上。表1中给出了KTP晶体的主要性能。用熔盐法生长的晶体在 $2.8 \mu\text{m}$ 处没有O—H基团的吸

收稿日期:1987年5月13日。

表1 本实验中所用的KTP晶体的主要性能

晶系	正交		
点群	m2m		
晶格常数	$a=0.642\text{ nm}$	$b=1.0604\text{ nm}$	$c=1.2809\text{ nm}$
折射率		$1.064\text{ }\mu\text{m}$	$0.532\text{ }\mu\text{m}$
	$n_x$	1.7377	1.7780
	$n_y$	1.7453	1.7886
	$n_z$	1.8297	1.8887
最佳位相匹配角	$1.064\text{ }\mu\text{m} \rightarrow 0.532\text{ }\mu\text{m}$	在XY平面与x轴成 $23.6^\circ$	
有效非线性系数	$1.755 \times 10^{-8}\text{ esu}$		
光损伤阈值*	$>500\text{ MW/cm}^2$		
熔点	$\sim 1150^\circ\text{C}$ 时部分分解		
莫氏硬度	稍大于5		
颜色	无色透明		
透光范围	$0.35 \sim 4.5\text{ }\mu\text{m}$		
密度	$3.01\text{ g/cm}^3$		
比热	$0.1737\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$		
倍频转换效率*	45~70%		
角度带宽 $\Delta\phi$ (FWHM)**	18.3 mrad·cm		
温度带宽 $\Delta T$ (FWHM)**	$24^\circ\text{C}\cdot\text{cm}$		
光谱带宽 $\Delta\lambda$ (FWHM)**	$0.23\text{ nm}\cdot\text{cm}$		

\* 随实验条件而变化。

\*\*在能实现位相匹配的状况下。

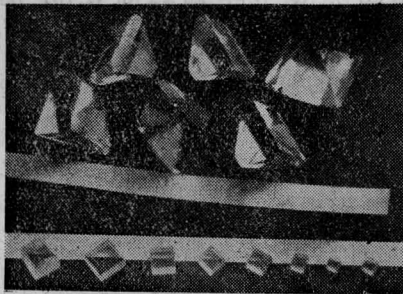


图1 人工晶体研究所用熔盐法生长的KTP晶体

收峰,而用水热法生长的KTP则在该波长上有强烈的吸收峰。

另外,考虑到KTP的高倍频效率,在实用中所需的晶体长度只有几个毫米,比其他通用的倍频器长度约小一个量级,故实际上KTP在实现位相匹配时其角度、温度及频谱的变化可很大而不会严重影响其倍频的效果。这是KTP的重要特性,是能获得稳定的高平均功率输出的重要保证。

用于本实验的KTP样品是按 $1.064\text{ }\mu\text{m}$

的II类相位匹配切割并定向的,即匹配方向在XY平面与x轴成 $23.6^\circ$ 的夹角。所用样品的通光面尺寸为 $6 \times 6\text{ mm}^2$ ,通光长度为 $5.1\text{ mm}$ 。激光的入射面和输出面都镀有对 $0.532$ 和 $1.064\text{ }\mu\text{m}$ 光的双增透膜。图2和图3是KTP样品两个镀膜面的反射比在 $532\text{ nm}$ 及 $1064\text{ nm}$ 附近的变化曲线。作为对照,图中还画出了一玻璃片的反射比曲线,对 $532\text{ nm}$ 光是 $4.25\%$ ,对 $1064\text{ nm}$ ,是 $4.09\%$ 。可见双增透膜层对于 $532\text{ nm}$ 和 $1064\text{ nm}$ 的激光都有十分满意的增透效果。残余的反射比甚至小于测量中的分辨率而难以给出准确的数值。

为测定所用的KTP对激光的吸收性能及其倍频性能,采用相对比较的间接方法,即把KTP晶体和美国Airtron公司KTP样品先后放入Nd:YAG谐振腔,调整后使绿光输出最大,然后测量产生绿色激光时的泵浦阈值。测得的激光阈值分别为 $6 \sim 7\text{ mW}$ 和 $9 \sim 10\text{ mW}$ 。这说明我们的KTP晶体具有较低的

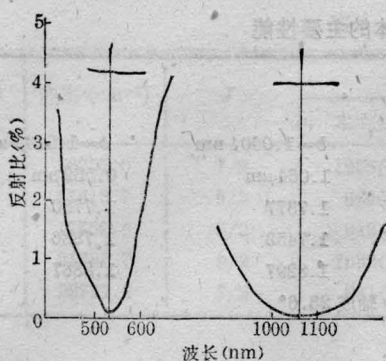


图2 KTP样品的 $S_1$ 表面的反射比

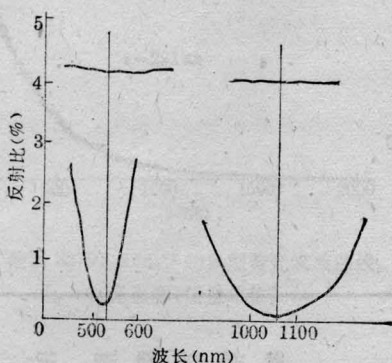


图3 KTP样品的 $S_2$ 表面的反射比

损耗而有较高的倍频能力。

### 三、实验研究

实验所用的Nd:YAG声光调Q腔内倍频激光器如图4。其中 $M_1$ 是凹面镜,对 $1.064\ \mu\text{m}$ 和 $0.532\ \mu\text{m}$ 全反射; $M_2$ 是 $1.064\ \mu\text{m}$ 激光的输出镜,其透过率可选为2%、4%、11%及全反射; $M_3$ 是 $45^\circ$ 放置的分光镜,对 $0.532\ \mu\text{m}$ 处的透过率为80%,对 $1.064\ \mu\text{m}$ 全反射。倍频绿光输出镜的这种设置,

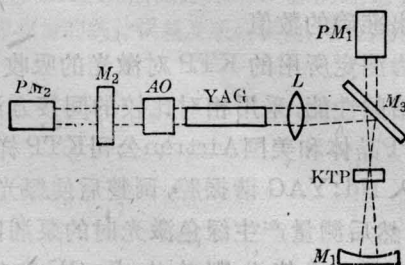


图4 实验装置示意图

可减少倍频光通过YAG棒时的被吸收,从而把损失减小到最低限度;YAG棒用氩灯连续泵浦,它们一起装在椭圆聚光器里,氩灯的功率是4kW; $L$ 是聚光镜,它和凹面镜一起把 $1.064\ \mu\text{m}$ 的激光聚焦,从而使KTP晶体可以在合适的位置上得到足够高的功率密度,以提高倍频效率;AO是声光Q开关,频率为25kHz,脉冲宽度为250ns。当不使用Q开关时,激光的输出是连续的。调Q时激光因受到压缩而产生高功率密度,有利于获得高转换效率,同时又能保持较高的平均输出效率;KTP晶体固定在样品架上,样品架可前后移动,也可对KTP的通光方向作出调整以得到最佳的位相匹配; $PM_1$ 和 $PM_2$ 是功率计。

我们利用上述的装置先做连续激光的倍频转换。测得的结果列于表2。完全连续的绿光最高输出功率是6.5W,是目前见有报道的最好结果。

用声光Q开关测得的 $0.532\ \mu\text{m}$ 及 $1.063\ \mu\text{m}$ 的激光平均输出功率也列于表2。与完全连续的输出不同的是,基频光与倍频光的总功率几乎恒定在33~34W之间。

在准连续的状态下长时间运行,上述装置自动记录下的平均输出功率曲线示于图5。绿光的平均功率输出稳定在33W长达7小时,然后呈现下降的趋势。在大约15个小时之内,该输出功率从33W逐步下降到24W,在此之后,激光器又在输出24W的状况下稳定运行了74小时,未见输出功率进一步

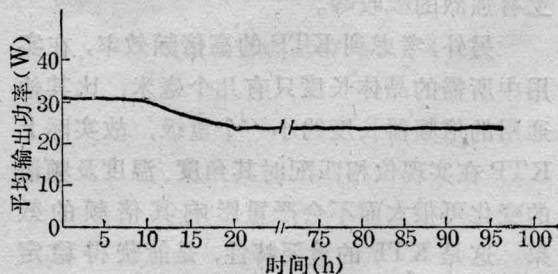


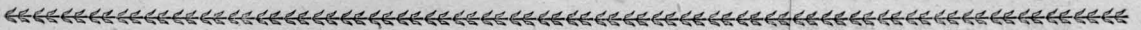
图5 绿光的平均输出功率与运行时间的对比图

表2 本实验中的激光输出功率

$M_2$ 对 $1.064\mu\text{m}$ 激光的透过率	连续输出功率(W)		准连续平均输出功率(W)	
	$0.532\mu\text{m}$	$1.064\mu\text{m}$	$0.532\mu\text{m}$	$1.064\mu\text{m}$
11%	1.0	32	16	17
4%	2.8	22	25	8
2%	3.7	18	27	7
全反	6.5	0.3	33	0

下降的迹象。在整个运行过程中,除对 KTP 晶体的放置角度作过微小的调整之外,激光在晶体上的入射位置一直保持不变。激光的光斑直径大约只有  $0.5\text{mm}$ , 而 KTP 的通光面是  $6\times 6\text{mm}^2$ , 所以激光在 KTP 晶体上的

入射位置有很大的选择余地。上述的实验是基于入射位置不变的基础上的, 如果选用一个新的入射位置, 上述的实验现象将会重复出现。



(上接第 592 页)

减小, 虽然电极间相互作用同时减小, 但窄电极本身产生的电场在晶体中心的均匀性却变差。我们用宽度为  $2.5\text{mm}$ 、 $2\text{mm}$ 、 $1\text{mm}$  的电极分别进行了实验。在只有一对电极与有两对电极的情况测得的半波电压分别为:  $592/603$ 、 $627/639$ 、 $765/775\text{V}$ 。这表明当电极宽度减小使晶体中心电场减小, 从而半波电压升高, 在有两对电极的情况下, 晶体中心的电场同样会减小, 表现出半波电压的升高。

对于具有不同宽度电极的晶体, 我们用计算机分别计算了晶体内部的等势线分布。当电极宽度为晶体宽度的  $\frac{1}{10}$  时, 晶体中心

等势线很疏, 即电场强度很小, 半波电压很高; 当电极宽度接近晶体宽度时, 晶体四角电场强度很大, 远大于中心区域的电场。因此我们选用电极尺寸为晶体宽度的  $\frac{1}{2}$ 。此外受到等势线轮廓的启发, 我们制作了一个具有凹面电极的器件, 晶体尺寸为  $7\times 7\times 40\text{mm}$ , 电极形状与某一等势面重合, 为  $R=3.6$  的圆柱面, 电极宽度为  $5\text{mm}$ 。使用这种凹面结构, 可以取比较宽的电极, 这里已经超过了晶体宽度的二分之一。目前我们正在用这一器件对线偏光进行相位检测, 获得了初步的理想结果, 将于以后作详细报道。