

高效率激光倍频

范琦康 毛伟民 柳月英

(中国科学院上海光机所)

提要: 实验所用激光系统由掺钕石榴石激光振荡器和三级钕玻璃放大器组成, 输出光束达衍射极限。倍频晶体为 KDP 和 KD*P。用非聚焦的平行激光束倍频, 最高获得了 65% 的能量转换效率。相应的峰值功率转换效率为 84% 左右。在低功率下, 利用圆柱面透镜将激光束聚焦的办法使能量转换效率提高了 8 到 30 倍。用此方法最高能量转换效率达到了 64%。

High efficiency laser frequency doubling

Fan Qikang Mao Weimin Liu Yueying

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The laser system in our experiments consists of a Nd:YAG oscillator and three Nd:glass amplifiers with diffraction-limited output beams. Crystals for frequency doubling are KDP and KD*P. When unfocused collimated laser beams were used in frequency doubling, a maximum energy conversion efficiency of 65% has been obtained, the corresponding peak power conversion efficiency was about 84%. In the case of low laser power, by means of cylindrical focusing laser beams, energy conversion efficiencies were increased by a factor of 8 to 30 with a maximum conversion efficiency of 64%.

一、引言

激光倍频是非线性光学中发展最快, 应用最广的工作之一。钕离子发射的 1.06 微米波长激光倍频后所产生的 5300 埃波长绿光在人卫测距、测月、全息摄影、水下测距、激光引燃核聚变实验以及医学等方面获得广泛应用。它还可以作染料激光器的光泵。本文描述用 KDP 和 KD*P 晶体在高功率下获得高转换效率的实验结果。在较低功率下用圆

柱面透镜将激光束进行一维聚焦, 提高了射到倍频晶体上的功率密度, 也获得了高的转换效率。

二、激光器装置

实验所用的激光系统由掺钕石榴石激光振荡器和三级钕玻璃激光放大器组成(见图 1)。掺钕石榴石激光振荡器采用平凸非稳腔结构。腔的全反射镜为 $R=886$ 毫米的球

收稿日期: 1979 年 6 月 9 日。

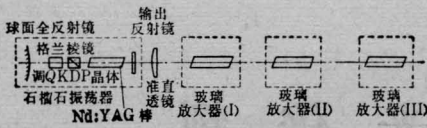


图1 实验所用激光系统示意图

面镜，输出镜为一块平板玻璃。采用退压式纵向电光调Q方式。调Q晶体为圆柱形KDP，腔内起偏元件为格蓝棱镜。激光振荡器的输出能量50~60毫焦耳。光斑直径为10毫米。通过一块 $f=1.2$ 米的透镜将球面波变为平面波。经三级玻璃放大器放大后，总能量可达2.4焦耳左右。总放大倍数约为40。输出激光光谱宽度约为0.35埃(FWHM)。脉冲宽度为6毫微秒(FWHM)(见图2)。输出激光为线偏振光，偏振度大于90%。输出方向性达衍射极限。用焦距6.21米的透镜测得的远场花样如图3所示。远场花样的主峰全角宽度为0.26毫弧度。实际测得主峰的能量占总能量的80%左右。这与均匀平面波照射到 $\phi 10$ 毫米的圆孔上产生的夫琅和费衍射图样非常接近(0.26毫弧度角宽度的主峰占总能量的83%左右)。

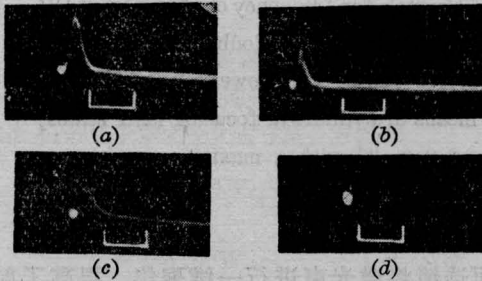


图2 激光振荡器及末级放大器的输出脉冲波形

((a)、(c))及相应的谐波脉冲波形((b)、(d))。图中标尺为20毫微秒

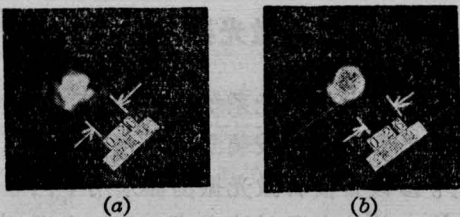


图3 基波激光的远场花样(a)及谐波光的远场花样(b)

三、平行光束倍频的实验结果

用三厘米厚的二块KDP晶体和二块KD*P晶体(I、II类相位匹配各一块)，在高功率密度下进行了倍频实验。实验结果见表1。在450兆瓦/厘米²的高功率密度下，用II类相位匹配方式(o_e→e)的KDP晶体获得了60%的能量转换效率。用I类匹配方式(o_o→e)在350兆瓦/厘米²的功率密度下获得了46%的能量转换效率。从表1中可以看到，在同样功率密度下，KD*P的效率比KDP高。

表1 平行光束倍频实验结果

晶体	匹配方式	输入功率密度(兆瓦/厘米 ²)	能量转换效率	功率转换效率
KDP	I(o _o →e)	350	46%	66%
		200	30%	
KDP	II(o _e →e)	450	60%	~79%
		200	38%	
KD*P	I(o _o →e)	200	32%	
KD*P	II(o _e →e)	450	65%	~84%
		200	44%	

表1中II类相位匹配方式的KDP和KD*P晶体所获得的79%和84%功率转换效率是根据文献[1]的计算曲线得到的。

我们还比较了三种厚度KDP晶体的效率(II类相位匹配方式)。实验结果列于表2。从表2可以看出在300兆瓦/厘米²左右的功率密度下，20毫米厚的晶体与30毫米厚的晶体效率一样。50毫米厚的晶体效率反而

表2 不同厚度KDP晶体的倍频实验结果(II类相位匹配方式)

晶体厚度(毫米)	20	30	50
基波功率密度(兆瓦/厘米 ²)	300	300	280
能量转换效率(%)	46	46	36

下降。这是因为 1.064 微米波长的基波和 5300 埃波长的谐波在 KDP 内都有损耗。

三、圆柱聚焦光束的实验结果

非线性晶体的倍频是利用晶体的双折射特性来达到相位匹配的。因此要求基波入射光线与晶体光轴必须成某一特定的角度(即所谓相位匹配角)才能使谐波输出达到最大值。谐波输出对此角(即图 4 上的 θ 角)变化非常敏感。然而基波入射光线方向绕晶体光轴旋转,对谐波输出影响不大,即谐波输出

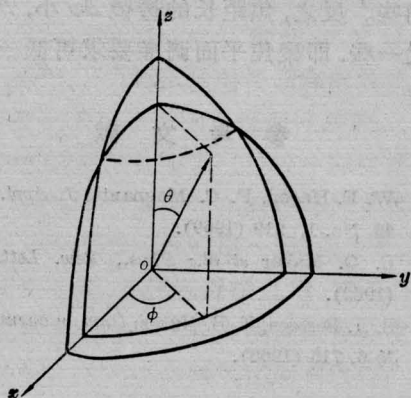


图 4 基波入射方向与晶体光轴的角度关系

对 ϕ 角变化不敏感^[2]。根据此特点可以用柱面透镜对基波光束进行聚焦,以此来提高基波功率密度,同时又不使绝大部分光线发生相位失配,从而达到提高谐波转换效率的目的。上述方法首先由 В. Д. Волосов 和 Е. В. Нилов 提出^[3]。由于聚焦,使聚焦光束中边缘光线偏离匹配方向,其失配量的大小可以通过下述方法来计算。假定聚焦光束的中心部分在相位匹配方向,它与晶体光轴的夹角为 θ_m ,则边缘光线与光轴的夹角 θ_1 (见图 5)由下式确定:

$$\cos \theta_1 = \cos \theta_m \cdot \cos \Delta\varphi \quad (1)$$

$$\Delta\varphi = \frac{1}{2} \frac{d}{f} \quad (2)$$

这里 f 为柱面透镜的焦距, d 为聚焦前

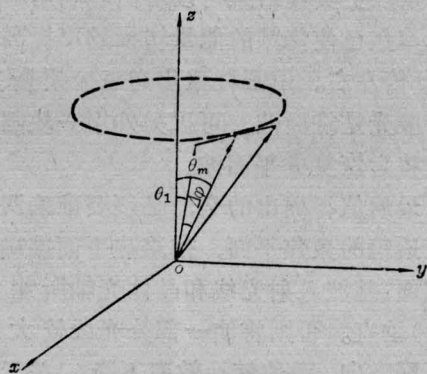


图 5 通过圆柱面透镜聚焦以后边缘光线的失配情况

的光斑直径。(1)式可近似为:

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \theta_1 - \theta_m \approx \text{ctg} \theta_m (1 - \cos \Delta\varphi) \\ &\approx \frac{1}{2} \text{ctg} \theta_m \cdot \Delta\varphi^2 \end{aligned} \quad (3)$$

为了使聚焦光束的边缘光线不产生严重失配,必须适当选择聚焦透镜的焦距 f 。例如,为了使聚焦引起的 $\Delta\theta$ 不超过基波光束本身的发散角,即 0.13 毫弧度(半宽度)。根据(2)、(3)两式计算得出相应的焦距 f 的限制为:对于 I 类相位匹配 ($\theta_m = 41.5^\circ$), f 应大于 33 厘米;对于 II 类相位匹配 f 应大于 24 厘米。我们实验中使用圆柱面透镜最短焦距为 50 厘米。

实验结果示于表 3。

表 3 圆柱聚焦光束的倍频实验结果 (KDP 晶体,厚 3 厘米)

基波功率密度 (兆瓦/厘米 ²)	透 镜 焦 长 (米)			
	0.5	1	4	不聚焦
能 量 转 换 效 率				
5.2	39%			~1.3%
7.2		40%		~1.8%
20			35%	~5%
30		62%		~8%
40		64%*		~8%*

带 * 号者为 I 类相位匹配方式,其余都是 II 类相位匹配方式。

从以上实验结果可以看出, 利用圆柱面透镜聚焦已使倍频的能量转换效率提高 8 倍到 30 倍左右。用圆柱聚焦光束倍频所产生的谐波光是柱面波。可以另外用一块圆柱面透镜将它恢复成平面波。

最后值得提出的是, 必须要准确调节圆柱面透镜的聚焦平面, 使聚焦平面准确地与主截面(基波入射光线和晶体光轴所组成的平面)垂直。否则将使一部分光线较大地偏离匹配方向, 致使转换效率下降。关于这一点可以从图 6 中看出。如聚焦平面偏离正确方向 $\Delta\alpha$ 角, 则聚焦光束中边缘光线与晶体光轴间的夹角 θ_1 由下式确定:

$$\cos \theta_1 = \pm \sin \theta_m \sin \Delta\varphi \sin \Delta\alpha + \cos \theta_m \cos \Delta\varphi \quad (4)$$

上式可以近似为:

$$\Delta\theta' = \theta_1 - \theta_m = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \theta_m \times \Delta\varphi^2 \pm \Delta\varphi \Delta\alpha \quad (5)$$

$\Delta\varphi$ 可以通过选择焦长合适的聚焦透镜来达到要求, 然而 $\Delta\alpha$ 必须通过调节圆柱面透镜的聚焦面来达到要求。焦距短的透镜

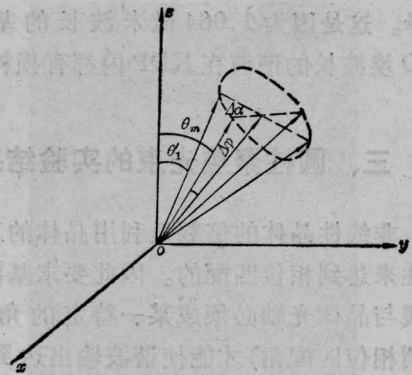


图 6 聚焦平面偏离正确位置引起边缘光线失配的情况

$\Delta\varphi$ 大, $\Delta\alpha$ 就要求小, 即要求聚焦平面调节得精确些。反之, 焦距长的透镜 $\Delta\varphi$ 小, $\Delta\alpha$ 可允许大一些, 即聚焦平面调准要求可低一些。

参 考 文 献

- [1] W. F. Hagen, P. C. Magnante; *J. Appl. Phys.*, **40**, No. 1, 219 (1969).
- [2] P. D. Maker *et al.*; *Phys., Rev. Lett.*, **8**, 21. (1962).
- [3] В. Д. Волосов, Е. В. Нилов; *Опт. и спектр.*, **31**, № 6, 715 (1966).

简 明 通 讯

HQ-101 型体育用数字经纬仪研制成功

HQ-101 型体育用数字经纬仪是一种光、机、电高度结合, 能自动进行测距、测角、解算和显示的精密仪器。在大型田径比赛中, 配有专用台式电子计算机, 可用于投掷项目(铁饼、链球、标枪)的裁判、名次排列和打印。也可用于城市建筑或工程测量。

1979 年 9 月全国第四届运动会上, 经有关部门和国家体委以及田径比赛总裁判长、副总裁判长等人员共同鉴定, 该仪器被正式批准列入国家比赛用裁判器材。这在我国体育史上, 田赛第一次甩掉了皮尺, 并在国家最新记录册上, 第一次记下了用最新

式仪器测量出来的成绩。

仪器主要性能指标:

光源——砷化镓发光二极管;

距离精度—— ± 1 公分;

测角精度——方位编码器 $\pm 5''$,

俯仰编码器 $\pm 20''$;

完成一次的测量时间——12 秒;

数据显示 6 位。

(国营二三八厂研究所 李仲义)