

KNbO₃ 倍频产生 488.5 nm ps 蓝光

邹群 耿兆华

(南京大学物理系, 210008)

赵庆春 陆雨田 董景元 郭晶华 何慧娟

(中国科学院上海光机所激光技术开放实验室, 201800)

提要: 用 $6.9 \times 5.3 \times 3.3 \text{ mm}^3$ 的 KNbO₃ 晶体对光学参量放大系统输出的波长连续可调近红外光进行倍频, 产生 485~493 nm 连续可调的 ps 蓝光。488.5 nm 的能量转换效率为 2.6%, 峰值功率大于 2 kW。

关键词: KNbO₃ 倍频, 485~493 nm ps 蓝光

ps blue light at 488.5 nm generated by frequency doubling with a KNbO₃ crystal

Zou Qun, Geng Zhaohua

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing)

Zhao Qingchun, Lu Yutian, Dong Jingyuan, Guo Jinghua, He Huijuan

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

Abstract: Using a KNbO₃ crystal of $6.9 \times 5.3 \times 3.3 \text{ mm}^3$ size tunable blue light at 485~493 nm was generated by frequency doubling of the tunable near IR output from an optical parametric amplifier. The energy conversion efficiency at 488.5 nm has been measured to be 2.6%, and the peak power over 2 kW.

Key words: frequency doubling with KNbO₃ crystal. ps blue light at 485~493 nm

KNbO₃ 晶体是负双轴晶体, 在 -50°C 到 $+223^\circ\text{C}$ 范围内是正斜方晶体, 点群对称为 $mm2$, 室温下对近红外光能有效地倍频, 从而获得在光盘技术和激光打印技术中很有用的蓝紫波段的光^[1~3]。它的非线性系数很大, $d_{32} = 21 \text{ pm/V}$, 比目前认为对近红外倍频较好的 KTP 晶体的 d_{24} 还大近 3 倍。它的双折射和色散也都很大。它还有光电效应和光折变效应等, 是一种很有用的非线性光学材料。

我们用南京大学物理系研制的。用射频加热提拉法生长的 KNbO₃ 晶体, 在上海光机所研制的光学参量放大系统上进行了倍频研究。

实验装置与实验条件

用一块 $6.9 \times 5.3 \times 3.3 \text{ mm}^3$ 的未涂膜 KNbO₃ 晶体, 通光方向长度为 3.3 mm, 切割方向

为 a 切割, 因而利用的是它的最大的非线性系数 d_{32} , 是 I 类非临界相位匹配。基波光沿晶体的

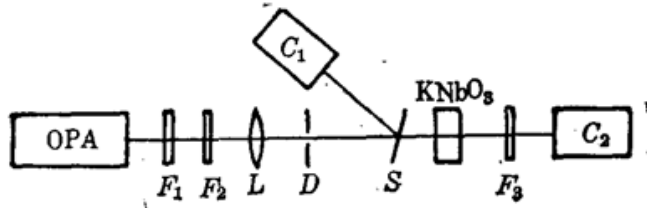


图 1 实验装置图

OPA—光学参量放大系统; $F_1 \sim F_3$ —滤光片; L —透镜; D —光阑; S —分束板; C_1, C_2 —光电二极管能量探测器

轴方向偏振, 二次谐波光沿晶体的 c 轴方向偏振。实验中晶体温度为室温 14.5°C 。

基波光是光学参量放大系统 (OPA) 的输出光。OPA 由二块 LiNbO₃ 晶体组成, 由锁模 YAG 激光的二次谐波 (532 nm) 泵浦。输出波长范围为 $700 \sim 2200 \text{ nm}$ 连续可调, 脉冲宽度 24 ps, 重复频率 10 pps。

实验装置如图 1 所示。OPA 的输出经 F_1 和 F_2 两个滤光片分别滤除 OPA 的泵浦光 532 nm 和 OPA 输出的伴随波 (Idle), 从而得到 OPA 输出的信号波, 波长为 $700 \sim 1064 \text{ nm}$ 连续可调的 PS 激光。透镜 L ($f=1 \text{ m}$) 用来减小 OPA 输出的方向角, 使全部输出能量集中在 1 mrad 以内。直径 2 mm 的光阑 D 取出 OPA 输出光斑的中心部分, 使落在 KNbO₃ 晶体上的基波光强度分布较为均匀。 S 为分束板, 用光电二极管 C_1 测量基波光能量, 经 KNbO₃ 倍频后, 滤光片 F_3 滤除基波光, 光电二极管 C_2 测量二次谐波光能量。 C_1 和 C_2 预先标定并由微机读取实验数据, 给出基波光和二次谐波光的能量及转换效率。由单板机控制 OPA 波长扫描, 寻找最强的二次谐波波长。当基波光为 977 nm 时, 倍频效率最高。

实验结果与分析

当 KNbO₃ 上的入射基波光功率密度为 4 MW/cm^2 时, 测得 977 nm 基波光到二次谐波的转换效率为 1.9%, 488.5 nm 二次谐波光的峰值功率大于 2 kW。

由于 KNbO₃ 晶体未涂膜, 因而表面反射损耗是大的。为扣除反射损耗对转换效率的影响, 用 [4] 给出的 KNbO₃ 的 Sellmeier 方程

$$n^2(\lambda) - 1 = \frac{s_1 \lambda_1^2}{1 - (\lambda_1^2/\lambda^2)} + \frac{s_2 \lambda_2^2}{1 - (\lambda_2^2/\lambda^2)}$$

其中 $n(\lambda)$ 为折射率, $s_1 \lambda_1^2$ 、 λ_1^2 、 $s_2 \lambda_2^2$ 和 λ_2^2 均为常数。计算出晶体的折射率在实验波段的折射率大于 2.2, 因而扣除反射损耗后, 实际的能量转换效率为 2.6%。

忽略基波倒空效应, 转换效率应为 [4]

$$\eta = \frac{2\omega^2 d_{32}^2 l^2 I}{\epsilon_0 (n_b^\omega)^2 (n_c^{2\omega}) c^3}$$

式中, ω 是基波角频率, l 为晶体长度, I 是晶体上的光功率密度, ϵ_0 是真空介电常数, n_b^ω 为基波 b 轴偏振方向折射率, $n_c^{2\omega}$ 为二次谐波 c 轴偏振方向折射率, c 为光速。

利用上面给出的各实验数据, 计算出转换效率为 $\eta=52\%$, 与实验结果相差很大。

可能有四个原因造成转换效率低: 晶体光学质量差; 温度变化使相位失配; 晶体对基波的相位匹配外接收角小于入射光束的发散角以及晶体的相位匹配带宽小于基波光的谱线宽度。

检查发现, 晶体光学质量是好的, 温度变化在实验中可以忽略。而基波光的方向角为

1 mrad, 也远小于晶体对基波的相位匹配外接收角^[4]:

$$\delta\theta = \left[\frac{1.39\lambda_\omega}{\pi l (n_b^{2\omega} - n_a^{2\omega})} \right]^{1/2} \cdot n_c^\omega = 94 \text{ mrad}$$

因此效率低的主要原因是由于 OPA 的输出在 977 nm 处的谱线宽度太大, 约 3 nm, 而 KNbO₃ 在 977 nm 处的相位匹配带宽^[5]

$$\delta\lambda = \frac{1.39\lambda_\omega}{2\pi l} \left(\frac{\partial n_b^\omega}{\partial \lambda} - \frac{1}{2} \frac{\partial n_c^{2\omega}}{\partial \lambda} \right)^{-1} = 0.28 \text{ nm}$$

前者比后者大 10 倍多, 因此, 大部分基波光不能满足相位匹配条件而造成转换效率低。

KNbO₃ 的双折射随温度的变化很大, 因而可以用温度调谐实现对不同波长的相位匹配^[1]。在改变 OPA 输出波长(从 970 nm 至 986 nm)的同时, 改变晶体温度, 得到了 485~493 nm 的 ps 蓝光, 调谐范围为 8 nm。

总之, 用长度仅为 3.3 mm 的 KNbO₃ 晶体, 倍频产生了 485~493 nm 波长可调的 ps 蓝光, 其中 488.5 nm 的能量转换效率为 2.6%, 峰值功率大于 2 kW。

参加本工作的还有李永春、顾圣如、钱林兴、赵隆兴和单振国等同志。

本课题得到国家人工晶体联合研究和发展中心的资助。

参 考 文 献

- 1 Baumert, Günter, Melchior, *Opt. Commun.*, **48**, 215 (1983)
- 2 Chun, Goldberg, Weller, *Appl. Phys. Lett.*, **53**, 1171 (1988)
- 3 Baumert, Hoffnagle, Günter, *Appl. Opt.*, **24**, 1301 (1985)
- 4 Baumert, Hoffnagle, Günter, *SPIE*, **492**, 374 (1984)
- 5 Günter, Asbeck, Kurtz, *Appl. Phys. Lett.*, **35**, 461 (1979)

用微机控制扫描反射镜研究 CO₂ 激光模式及能量分布

用 CMC-80B 微机控制扫描反射镜, 用热敏电阻接收, 由 X-Y 函数记录仪给出了 CO₂ 激光能量分布。同时研究了随着放电电流的变化引起模式竞争从而导致了能量分布的变化。不同模式的激光选择不同的扫描方式。当输出激光为 TEM_{m,n}(m=0) 模时, 反射镜做俯仰扫描; 当输出激光为 TEM_{m,n}(n=0) 模时, 反射镜做水平扫描; 当输出激光为 TEM_{m,n}(m≠0, n≠0) 模时, 反射镜可以做弓型扫描, 均能快速给出不同模式的激光能量分布。

我们用这种方法测量了内腔激光器和半外腔激光器所产生的不同模式的输出激光的能量分布。内腔激光器经常出现基模与高次模的模式竞争。不同的增益导致不同的模式, 而增益又与放电电流有关。当放电电流较低时, 增益也较低, 因此只能使振荡阈值较低的基模首先振荡。由于竞争效应, 基模的振荡抑制了其它高次模的振荡, 因此在电流为 8~10 mA 时, 基本上是 TEM₀₀ 模, 此时无论是那种扫描方式均能得到近高斯型的能量分布。随着放电电流的增加, 增益加大以至于使最低阶的高次模 TEM₁₀ 模达到了阈值振荡条件, 因而基模与高次模同时振荡, 此时反射镜做水平扫描得到了 TEM₁₀ 模的双峰能量分布。而后增益达到饱和, 随着放电电流的增加增益迅速减小以至于不能满足高次模的振荡条件, 因而在电流为 16~20 mA 时又基本上是单模振荡。同样道理我们得到了 TEM₀₁ 模、TEM₁₁ 模等不同模式的输出激光的能量分布。

用微机控制扫描反射镜能够在 1 min 内快速给出激光能量分布。这对于改变实验条件研究激光的模式, 以及由模式的变化而引起激光能量分布的变化是很有意义的。

(中国科学院上海光机所, 201800 王玉芝 傅思生 王兵

李颖峰 沈桂荣 陈磊 1990年6月18日收稿)