

半导体激光直接倍频的蓝紫光激光器*

金 杰 房晓俊 姚建铨 赵 新

(天津大学精密仪器与光电子工程学院 天津 300072)

袁多荣 张光辉

(山东大学晶体材料研究所国家重点实验室 济南 250100)

提要 报道了用新型络合物非线性光学材料硫氰酸汞镉(CMTC)晶体实现激光二极管室温下直接倍频,产生蓝紫光激光输出。基频光功率为 1.98 W,波长为 808 nm,用长度为 4 mm 的 CMTC 晶体,获得 404 nm 波长的倍频光功率为 11.8 mW,SHG 非线性转换效率为 0.60%。

关键词 激光二极管,CMTC 晶体,倍频,蓝紫光

1 引 言

蓝紫光光源在光信息存储、光通讯等方面有重要的应用前景。由激光二极管在室温下直接倍频的蓝紫光光源,具有全固体化、小型化、稳定性高等特点,因而这方面的研究一直为国内外所重视。

本文介绍了用新型络合物高效非线性光学材料硫氰酸汞镉(CMTC)晶体为倍频晶体,对中心波长为 808nm 的高功率激光二极管室温下直接倍频,产生波长为 404 nm 的蓝紫光输出。对 π 类相位匹配,在基频功率为 1.98 W,晶体长度为 4 mm 时,获得倍频功率 11.8 mW,SHG 非线性转换效率为 0.60%,总的光-光转换效率为 0.43%。对 π 类相位匹配,在基频功率为 950 mW,晶体长度为 3 mm 时,获得倍频功率为 3.82 mW,SHG 非线性转换效率为 0.4%,总的光-光转换效率为 0.26%。

高功率激光二极管由于发光孔径为线状(10 mm \times 1 μ m)、发散角大等特点,获得其倍频光较困难。我们采用适当的光学耦合系统,提高二极管激光的功率密度,进而提高了其倍频效率,成功地实现了蓝紫倍频光的输出。采用温控系统使激光二极管波长和输出功率稳定,确保了倍频光输出功率稳定。

2 CMTC 晶体

CMTC 晶体是由山东大学晶体材料研究所国家重点实验室研究成功的新型络合物型高效非线性光学材料^[1],化学式为 $\text{CdHg}(\text{SCN})_4$ 。它是采用籽晶、溶液降温法,自 NaCl 或 KCl 的

* 国家教委光电信息工程开放实验室基金资助项目。

水溶液中培养出的单晶体。该晶体属四方晶系,空间群为 $I4$ 。晶体具有较大的非线性光学系数、深紫外的透光性和宽的透光波段。该晶体无色透明,常温下不潮解,240℃以下不分解,莫氏硬度(110面)为2.9,晶体的硬度优于常用的KDP晶体(莫氏硬度为2.5)。具有较好的化学稳定性、机械性和高的强度。

由实测值拟合后得到的CMTC晶体主折射率色散方程为

$$n^2 = a + b/(\lambda^2 - c) + d/(f - \lambda^2) \quad (1)$$

其中 a, b, c, d, f 为常数,对于 n_o 和 n_e 它们取不同数值(n_o, n_e 分别为CMTC晶体平常光和非常光的主折射率),如表1所示; λ 为光波波长。

表1 常数 a, b, c, d, f 的取值
Table 1 Value of constants (a, b, c, d, f)

	a	b (μm^2)	c (μm^2)	d (μm^2)	f (μm^2)
n_o	3.632 954	0.138 731	0.072 270	0.061 638	0.071 907
n_e	2.969 636	0.115 070	0.085 108	0.058 108	0.084 606

3 计算相位匹配角度 θ_m 和使有效非线性光学系数 d_{eff} 最大的 φ 角

3.1 计算 θ_m (θ_m 是相位匹配方向与 z 轴夹角)

由方程(1)可求得基频光 $\lambda = 0.808 \mu\text{m}$ 和二倍频光 $\lambda = 0.404 \mu\text{m}$ 的寻常光、非常光折射率 $n_o(\omega), n_e(\omega), n_o(2\omega), n_e(2\omega)$ 值。

对于负单轴晶体, $\bar{\Gamma}$ 类相位匹配角度公式为^[2]

$$\sin^2 \theta_m(\bar{\Gamma}) = \frac{n_o^{-2}(\omega) - n_o^{-2}(2\omega)}{n_e^{-2}(2\omega) - n_o^{-2}(2\omega)}$$

由此可求解出CMTC晶体 $\bar{\Gamma}$ 类相位匹配角度为 $\theta_m(\bar{\Gamma}) \approx 47.75^\circ$ 。

对于负单轴晶体, $\bar{\Gamma}$ 类相位匹配角度满足下面公式^[2]

$$[\cos^2 \theta_m(\bar{\Gamma}) n_o^{-2}(2\omega) + \sin^2 \theta_m(\bar{\Gamma}) n_e^{-2}(2\omega)]^{-0.5} = 0.5 \{ n_o(\omega) + [\cos^2 \theta_m(\bar{\Gamma}) n_o^{-2}(\omega) + \sin^2 \theta_m(\bar{\Gamma}) n_e^{-2}(\omega)] \}^{-0.5}$$

利用计算机数值求解,得到 $\theta_m(\bar{\Gamma}) \approx 72.74^\circ$ 。

3.2 计算 φ 角 (φ 角是相位匹配方向在 xoy 平面内的投影与 x 轴夹角)

对 $\bar{\Gamma}$ 类相位匹配有公式^[3]

$$d_{\text{eff}} = - (d_{14} \sin 2\varphi + d_{15} \cos 2\varphi) \sin \theta_m \quad (2)$$

对 $\bar{\Gamma}$ 类相位匹配有公式^[3]

$$d_{\text{eff}} = (d_{15} \sin 2\varphi - d_{14} \cos 2\varphi) \sin \theta_m \quad (3)$$

CMTC晶体的 $d_{14} = 3.7d_{36}(\text{KDP}), d_{15} = 16d_{36}(\text{KDP})$ 。由(2),(3)式可求得

$$\varphi \approx 0^\circ \quad (\text{对 } \bar{\Gamma} \text{ 类相位匹配})$$

$$\varphi \approx 45^\circ \quad (\text{对 } \bar{\Gamma} \text{ 类相位匹配})$$

4 实验方案及实验结果

高功率激光二极管直接倍频产生蓝紫光的光路如图1所示,其中1为激光二极管制冷系

统; 2 为阵列式激光二极管, 美国 SDL 公司产品 SDL-3490-S 型, 最大连续输出功率 10 W, 发光孔径为 $1\text{ cm} \times 1\text{ }\mu\text{m}$, 中心波长为 808 nm, 激光二极管采用的电源为大华公司产品 DH1716-4D 型, 激光二极管工作温度为 15°C ; 3, 4 分别为 $\phi = 7.0\text{ mm}$ 的圆柱透镜和焦距为 6.3 mm 的柱面透镜, 二者通光面均镀以波长 808 nm 的增透膜; 5 为 CMTc 晶体(对于 Γ -类相位匹配, CMTc 晶体尺寸为 $4\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 4\text{ mm}$; 对于 Γ -类相位匹配, CMTc 晶体尺寸为 $4\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 3\text{ mm}$); 6 为滤光片, 滤除基频光; 7 为功率探测器, 是中国科学院物理所产品(LPE-113 型), 分辨率为 $10\text{ }\mu\text{W}$ 。聚光系统将激光二极管光束会聚成大约 $2\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 的光斑, 注入 CMTc 晶体, 产生 $\lambda = 404\text{ nm}$ 倍频蓝紫光输出, 滤光片滤掉波长 808 nm 基频光, 由光探测器测得 $\lambda = 404\text{ nm}$ 的蓝紫光输出功率。对 Γ -类相位匹配所测得的基频光与倍频光功率关系曲线以及相应的二次倍频转换效率曲线分别如图 2 (a), (b) 所示(对于 Γ -类相位匹配, CMTc 晶体尺寸为 $4\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 4\text{ mm}$; 对于 Γ -类相位匹配, CMTc 晶体尺寸为 $4\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 3\text{ mm}$)。对 Γ -类相位匹配, 在基频功率为 1.98 W 时, 获得倍频功率为 11.8 mW, SHG 非线性转换效率为 0.60%, 耦合效率为 72.5% (激光二极管输出功率为 2.73 W, 耦合到 CMTc 晶体上功率为 1.98 W), 总的光-光转换效率为 0.43%。对 Γ -类相位匹配, 在基频功率为 950 mW 时, 获得倍频功率为 3.82 mW, SHG 非线性转换效率为 0.4%, 耦合效率为 66% (激光二极管输出功率为 1.44 W, 耦合到 CMTc 晶体上功率为 950 mW), 总的光-光转换效率为 0.26%。

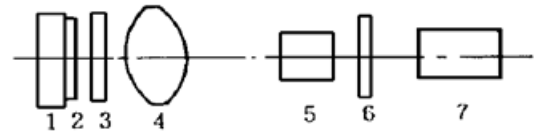


图 1 激光二极管倍频原理图

Fig. 1 Principle of laser-diode SHG

1: temperature controller; 2: LD; 3, 4: cylindrical lens; 5: CMTc; 6: filter; 7: power meter

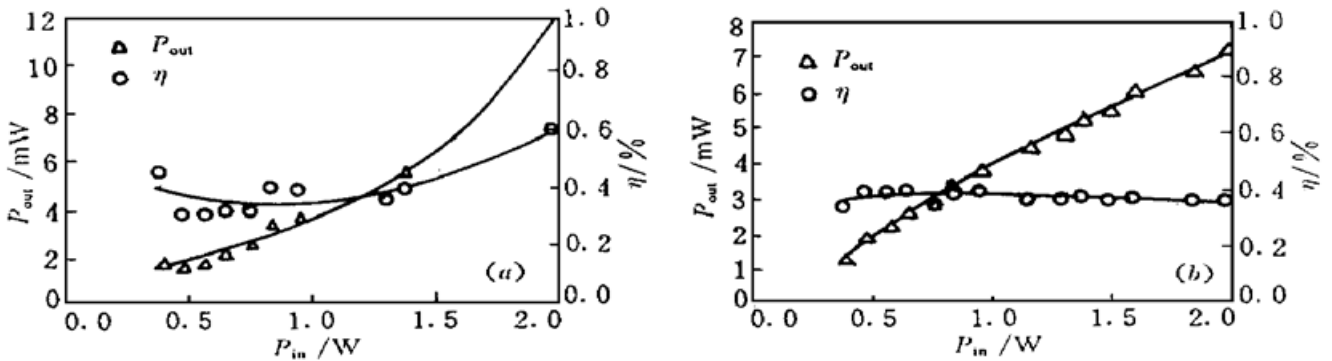


图 2 实际测得的输出-输入功率曲线和二次倍频效率曲线

(a) Γ -类相位匹配情况; (b) Γ -类相位匹配情况

Fig. 2 Measured P_{out} - P_{in} power curve and efficiency curve of the SHG

(a) Type Γ -phase-matching; (b) Type Γ -phase-matching

十几毫瓦的蓝紫光输出可望进入实用。如果进一步改进高功率激光二极管耦合系统, 提高耦合效率, 改善光束质量, 并对 CMTc 晶体通光面镀 808 nm 波长的增透膜, 那么倍频转换效率、总的光-光转换效率还将进一步获得提高。

参 考 文 献

1 Yuan Duorong, Xu Dong, Liu Mingguo *et al.*. New classes high nonlinear complex optical materials:

- CMTC crystal. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 1996, **41**(21): 2004~ 2007 (in Chinese)
- 2 Yao Jianquan. Nonlinear Optical Frequency Conversion and Tuning Technique of Lasers. Beijing: Science Press, 1995. 22 (in Chinese)
- 3 Guo Sijie. Nonlinear Optics. Xi'an: Publishing House of College of Northwest Telecommunications Engineering, 1986. 190 (in Chinese)

A Blue-violet Laser by Direct Laser-diode Frequency Doubling

Jin Jie Fang Xiaojun Yao Jianquan Zhao Xin

(College of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering Tianjin University, Tianjin 300072)

Yuan Duorong Zhang Guanghui

(Institute of Crystal Materials and National Laboratory of Crystal Materials,
Shandong University, Jinan 250100)

Abstract A blue-violet laser is described by direct laser-diode frequency doubling with a new nonlinear organometallic complex CMTC crystal. At room temperature, a blue-violet light output of 11.8 mW ($\lambda = 404$ nm) is realized. With a 4 mm-long crystal, a SHG conversion efficiency of 0.60% ($\lambda = 808$ nm) is obtained.

Key words laser-diode, frequency doubling, CMTC crystal, blue-violet light