

NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H色心激光的研究*

黄妙良 许承晃 林碧洲 吴季怀 林建明 刘新民

(华侨大学材料物理化学研究所, 泉州)

摘要: 文中报道了低温红外连续 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 色心激光的研究结果。当泵浦功率为4.5W, 辅助光功率为34.5mW时, 输出功率大于250mW, 峰值波长为1.57μm。为保证色心激光稳定运转, 必须要有辅助光。

Study of NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H color center laser

Huang Miaoliang, Xu Chenghuang, Lin Bizhou,

Wu Jihuai, Lin Jianming, Liu Xinmin

(Institute of Material Physical Chemistry, Huaqiao University)

Abstract: The main experimental results of a cryogenic IR CW NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H color center laser have been reported in this paper. The output power of the color center laser is greater than 250mW with 4.5W pump power and 34.5mW auxiliary light. Its peak wavelength is at 1.57μm. The auxiliary light is required to maintain fadeless laser operation.

一、引 言

近几年来, NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H色心激光的研究引起人们普遍重视^[1~3]。这不仅因为它有较高的输出功率、较好的稳定性,而且其调谐波段的峰值波长约在1.55μm附近,恰好落在石英光纤能量传输损耗最低处,因此它在光孤子通讯、光计算机、超高速现象等高科技领域的研究和应用上,显示出其独特的优越性。我们利用我所研制的NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H色心晶体,在国内首次成功实现了低温红外连续 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H色心激光运转。有关 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H色心晶体的研制,在文献[4]中已作了详细报道。本文着重报道 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H色心激光的研究结果,其中包括色心激光输出与泵浦光强度、辅助光强度之间的关系等。

二、实验装置及原理

实验装置如图1所示,用1.0795μm Nd:VAP激光作泵浦源,0.488μm Ar⁺激光作辅助

*本课题为国家自然科学基金资助项目。

光。其中 M_1, M_2, M_3, M_4 组成一个四镜折叠象散补偿的X型谐振腔，其光路简图如图2所示。 M_2, M_3 为等焦距凹面全反镜， M_1, M_4 为平面镜；色心晶体以布儒斯特角固定在冷指上，用液氮冷却，温度约为77K，在实验过程中，晶体室必须保持一定的真空度($\sim 10^{-3}$ Torr)。泵浦光通过双色镜 M_1 ，由 M_2 聚焦在晶体上，色心激光由 M_4 耦合输出($T=20\%$)，功率用LPE-3C功率计测量，波长用44W平面光栅单色仪检测。

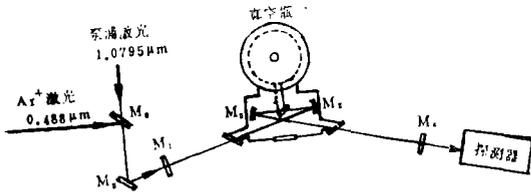


图1 实验装置简图

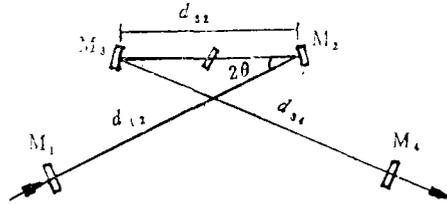


图2 谐振腔光路简图

从图2中可以看出，折叠镜 M_2, M_3 处于离轴工作状态，由几何光学原理可知，这将引起象散，即镜子的子午面内的光线与弧矢面内的光线将有不同的焦距^[6]，而且以布儒斯特角放置的色心晶体也会产生一定的象散^[6]。所谓的象散补偿就是使得子午面内和弧矢面内的稳定区有最大的重叠。实验中，可以通过选择晶体厚度及折叠角使系统的象散为零。从结构上看，色心激光器与染料激光器十分相似，谐振腔的稳定性条件及象散补偿条件的确定直接影响到色心激光的输出。

根据光学传输矩阵 $ABCD$ 定律可得该谐振腔的稳定性条件为^[7]：

$$0 < \delta < \frac{f^2}{d_{34} - f} \tag{1}$$

$$\frac{f^2}{d_{12} - f} < \delta < \frac{f^2}{d_{34} - f} + \frac{f^2}{d_{12} - f} \tag{2}$$

式中， $d_{23} = 2f + \delta$ ， δ 为调整量（设 $d_{34} > d_{12}$ ）。象散补偿条件如下^[8]：

$$\frac{t\sqrt{n^2+1}(n^2-1)}{n} = 2f \sin \theta \operatorname{tg} \theta \tag{3}$$

式中， θ 为折叠角； f 为折叠镜的焦距； n, t 分别为晶体的折射率和厚度。

实验中， $f = 3.75 \text{ cm}$ ， $d_{12} = 27 \text{ cm}$ ， $d_{34} = 35 \text{ cm}$ ； $n \approx 1.52$ ， $\theta = 7^\circ$ ，由(1)，(2)，(3)式可得： $0 < \delta < 4.5 \text{ mm}$ 或 $6.1 < \delta < 10.6 \text{ mm}$ ， $t \approx 2.3 \text{ mm}$ 。实验上为了方便起见，一般让谐振腔工作在第一个稳定区内。实验所用的 $\text{NaCl}(\text{OH}^-)$ 晶体，经赋色、热处理，转型，在液氮温度下， $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心的吸收谱及发射谱如图3所示。 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心的吸收峰位于 $1.09 \mu\text{m}$ 附近，对应的浓度为 $(0.4 \sim 0.6) \text{ OD}/2 \text{ mm}$ ^[9]。

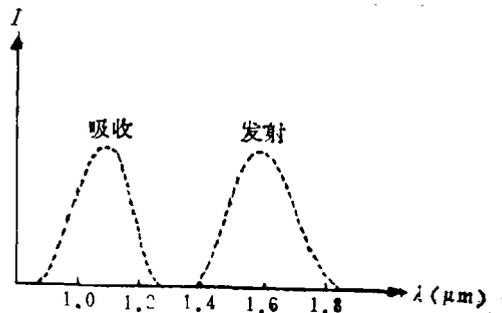


图3 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心的吸收谱和发射谱 (77K)

三、实验结果及分析

在实验中，我们研究了色心激光输出与泵浦光强度以及与辅助光强度之间的关系，结果

如图4, 图5所示。用平面光栅单色仪测量结果表明: $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 色心激光的峰值波长在 $1.57\mu\text{m}$ 处。

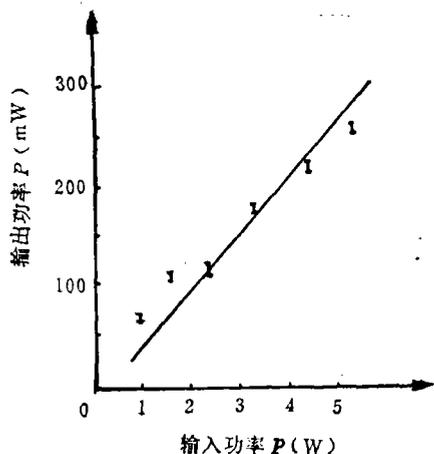


图4 色心激光输出与泵浦光强度之间的关系

$$T = 20\% \quad P_{\text{Aux}} = 34.5\text{mW}$$

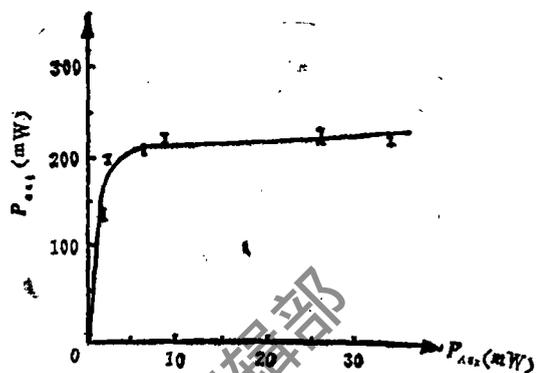


图5 色心激光输出与辅助光强度之间的关系

$$P_{\text{in}} = 4.35\text{W}$$

由图4可知, 在辅助光功率为 34.5mW 的情况下, 色心激光输出随着泵浦光功率的增加而线性增加, 未出现饱和现象; 由图5可以看出, 色心激光的输出强烈依赖于辅助光的强度并很快出现饱和现象。如当泵浦功率为 4.35W 时, 辅助光只要 $2\text{mW} \sim 3\text{mW}$, 色心激光输出就出现饱和现象。

影响色心激光输出的因素很多, 如实验装置的机械稳定性, 泵浦源功率的波动及模式匹配; 色心的热破坏、退电离、色心的重取向等。在实验中, 值得注意的是: $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 色心晶体吸水性较强, 易潮解, 在晶体处理及抛光过程中必须防潮; 在低温情况下, 真空度要保证 (一般为 $1 \times 10^{-3}\text{Torr}$), 否则将严重影响到色心激光输出。同时, 在 $\text{NaCl}(\text{OH}^-)$ 色心晶体中其他杂质心的存在将直接影响到色心激光的输出效率, 这一点文献〔9〕中已作了详细的讨论。下面将着重讨论辅助光对色心激光输出的影响。

对大多数的 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 型心而言, 均要有一个辅助光, 才能维持色心激光稳定运转。目前, 辅助光作用的物理机制尚未有明确的定论。一般认为: 由于色心在光 (或热) 激发下, 由基态跃迁到激发态, 通过与晶格能量交换或热扰动, 在回到低能态 (或基态) 时, 使邻近的离子与色心空位易位, 色心轴翻转, 造成色心重取向, 导致对泵浦光的吸收下降, 色心激光输出功率随之下降, 而辅助光的作用恰好能平衡该重取向过程, 使更多的色心取向与泵浦光相匹配, 保证晶体中有足够大的、具有激光活性的色心浓度, 以维持色心激光的连续稳定运转。

$\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心是扰动的 F_2^+ 心, 其对称性为 C_{2v} , 色心轴为 $\langle 110 \rangle$ 方向。利用类 H_2^+ 分子模型计算结果表明: 主要存在两种跃迁电偶极矩, 其一为平行于色心轴 $\langle 110 \rangle$ 方向的 $1s\sigma_g \rightarrow 2p\sigma_g$ ($1.09\mu\text{m}$) 的跃迁; 另一为垂直于 $\langle 110 \rangle$ 方向的 $1s\sigma_g \rightarrow 2p\pi_g$ ($0.458\mu\text{m}$) 的跃迁电偶极矩。 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心的重取向可以通过吸收 F 光由基态 ($1s\sigma_g$) 跃迁到第二激发态 ($2p\pi_g$) (或通过双光子泵浦激发到更高能态), 然后由非辐射跃迁到 $2p\sigma_g$ 态, 引起色心

重取向；也可以在泵浦光作用下引起色心重取向。从 $(F_2^+)_{\text{H}}$ 心重取向实验结果表明^[10]：在沿 $\langle 110 \rangle$ 方向偏振的F光作用下， $(F_2^+)_{\text{H}}$ 心在 $\langle 110 \rangle$ 方向上， $1.09\mu\text{m}$ 吸收峰明显增大，在 $\langle \bar{1}10 \rangle$ 方向上，吸收峰降低；而泵浦光的作用恰好与之相反。因此，为了保证 $(F_2^+)_{\text{H}}$ 心色心激光稳定运转，辅助光的偏振方向与泵浦光偏振方向平行，沿 $\langle 110 \rangle$ 方向。由于辅助光(F光)作用所引起的色心重取向效率要比泵浦光作用所引起的色心重取向效率高得多，因此辅助光的强度不必太高，这就是色心激光输出出现饱和现象的原因。实验结果还表明：色心激光的输出不仅与辅助光的强度及偏振方向有关，而且与辅助光的波长有关^[9]。

四、结 束 语

总之，我们利用我所研制的 $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(F_2^+)_{\text{H}}$ 色心晶体，克服了低温、红外、真空等一系列技术难题，在四镜折叠象散补偿的X腔上，在国内首次成功实现了输出功率大于250mW的低温、红外、连续的 $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(F_2^+)_{\text{H}}$ 色心激光运转，填补了国内在该领域的空白。器件的优化设计以及辅助光作用的物理机制有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] Pinto J F, Georgiou E, Pollock C R. Opt Lett, 1986; 11 (8): 519
- [2] German K R, Pollock C R. Opt Lett, 1987; 12 (7): 474
- [3] Beigang R, Klametii K, Becker B *et al.* Opt Commun, 1988; 65(5): 383
- [4] 吴季怀, 许承晃, 邱继展 *et al.* 华侨大学学报(自然科学版), 1990; 11(3): 223
- [5] 成都电讯工程学院, 北京工业学院. 激光器件. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1983: 225
- [6] Hanna D C. IEEE J Q E, 1969; 5 (10): 484
- [7] Giberson K W, Chu Cheng, Dunning F B *et al.* Appl Opt, 1982; 21 (2): 172
- [8] 林碧洲. 连续色心激光X腔分析. 待发表
- [9] 吴季怀, 许承晃, 黄妙良 *et al.* 红外连续可调谐 $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(F_2^+)_{\text{H}}$ 色心激光. 待发表
- [10] Georgiou E, Pinto J F, Pollock C R. Phys Rev B, 1987; 35(14): 7642~7644

*

*

*

作者简介：黄妙良，男，1965年出生。硕士，研究实习员。现主要从事色心激光及色心晶体材料研究。

许承晃，男，1934年出生。副教授，所长。主要从事非金属材料的基础和应用研究。

林碧洲，男，1967年出生。研究实习员。现主要从事色心晶体材料及色心激光研究。

吴季怀，男，1958年出生。助理研究员。从事功能材料研究。

林建明，男，1963年出生。助理研究员。从事色心晶体及色心激光研究。

刘新民，男，1968年出生。研究实习员。现主要从事激光电源及色心激光研究。

收稿日期：1991年11月22日。