

NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H晶体的制备及 红外色心激光运转*

吴季怀 许承晃 林碧洲 黄妙良 林建明

(华侨大学材料物理化学研究所, 福建, 泉州, 362011)

摘要: 报道了 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 色心晶体的制备、晶体的光学表面加工、色心激光运转等关键问题; 讨论了色心激光输出功率与辅助光的关系; 成功地实现了中心波长为 1.57 μm 的红外 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 色心激光的运转。

关键词: 红外激光, NaCl(OH⁻) 晶体, (F₂⁺)_H 色心。

引言

NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 色心晶体的研制, 激光运转及其应用是近年来色心研究的一项重大突破. NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 晶体的色心浓度大, 稳定性好; 它的色心激光输出功率强^[1] (> 3 W)、线宽很窄^[1] (<2 MHz)、脉宽也很窄^[2] (75 fs); 其可调谐激光的峰值波长为 1.57 μm, 是一种理想的红外激光. 因此, 自 1986 年 J. F. Pinto^[3,4] 等人发现 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 晶体以来, 受到了国际上的关注, 进行了大量研究, 取得了较大进展, 并在光纤通讯、材料科学、生命科学、超高速现象研究、激光化学和激光光谱学等高科技领域开始得到应用^[1~10].

在对 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 色心晶体研究的基础上^[11~13], 我们重点解决了色心激光晶体的研制, 色心晶体的光学表面加工和色心激光运转等方面的关键问题; 探讨了色心激光输出与泵浦光和辅助光等的关系; 成功地实现了低温红外 NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 色心激光运转。

1 色心激光晶体研制

NaCl(OH⁻):(F₂⁺)_H 色心激光晶体的研制必需经过单晶生长、晶体赋色、热处理和光聚集等过程。

NaCl(OH⁻) 单晶制备采用经适当处理的优质纯 NaCl 和 NaOH 原料, 用 Czochra-

本文 1991 年 7 月 31 日收到, 修改稿 1993 年 3 月 28 日收到。

* 国家自然科学基金、国家青年自然科学基金、福建省自然科学基金资助项目。

lski 方法生长晶体. 熔体中掺入的 OH^- 为 50~300 ppm, 进入晶体的 OH^- 为 10~80 ppm. 控制适当的提拉速度 (2~6 mm/hr)、转速 (10~30 r/min)、降温速率 (0~10°C/hr) 和温场, 生长出均匀透明, 解理性好, 缺陷少, OH^- 分布均匀、适量并有效的 $\text{NaCl}(\text{OH}^-)$ 单晶.

赋色是使晶体产生色心的过程. 对 $\text{NaCl}(\text{OH}^-)$ 晶体而言, 必须使晶体中的 OH^- 分解. 本实验采用附加金属蒸气着色法, 控制温度为 650~750°C, 金属蒸气压为 2.5~8 kPa, 时间为 50~70 min. 经过赋色, 晶体中产生了较高浓度的低阶 F 聚集心和较低浓度的高阶 F 聚集心; 同时晶体中的 OH^- 有效分解, 形成 $\text{O}^{2-}-\text{F}^+$ 等其它含氧的点缺陷.

热处理 (Quench) 是为了把晶体中无用的不利的色心转变为有用的色心. 对厚度为 2.5 mm 的晶体, 控制温度为 550~650°C, 恒温 1~3 min., 然后迅速冷却至室温. 热处理消除了大部分高阶 F 聚集心, 提高了晶体中 $\text{O}^{2-}-\text{F}^+$ (吸收峰值波长为 0.29 μm) 和 F 心 (吸收峰值波长为 0.45 μm) 的浓度. 此时 F 心浓度可达 $10^{17} \sim 10^{18}$ 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$, 晶体呈橄榄绿色 (Oliven-green), 其吸收谱如图 1(a) 中曲线 1.

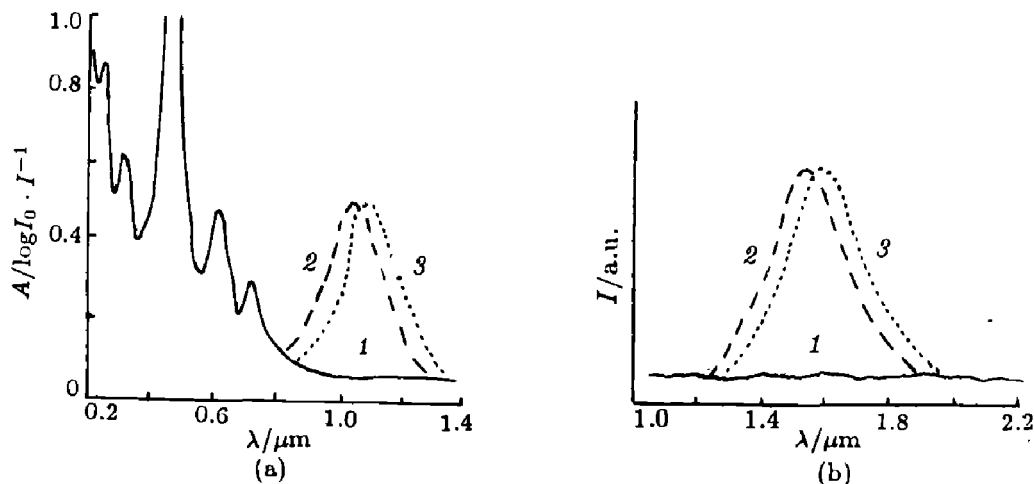


图 1 $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 晶体吸收谱和晶体荧光谱
1: 热处理后; 2: 室温光聚集后; 3: 液氮温度光聚集后
(a) 晶体吸收谱; (b) 晶体荧光谱

Fig. 1 Absorption spectrum and luminescence spectrum of $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ color center crystal

1: after quench; 2: after RT light aggregation; 3: after LNT light aggregation
(a) absorption spectrum; (b) luminescence spectrum

$(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 色心即 $\text{F}_2^+-\text{O}^{2-}$, 是 F 心与 $\text{O}^{2-}-\text{F}^+$ 的结合体. 光聚集是在一定的光、热条件下, 使 F 心与 $\text{O}^{2-}-\text{F}^+$ 有效结合成 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心的过程. 首先在室温 (RT) 下用 F 带光照射晶体 30 min, 得到吸收峰中心波长为 1.05 μm , 发射峰中心波长为 1.50 μm 的 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}1}$ 色心; 接着在液氮温度 (LNT) 下用同样的光源照射晶体 2 min, 此时 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}1}$ 心消失, 得到吸收峰中心波长为 1.09 μm , 发射峰中心波长为 1.57 μm 的 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}2}$ 心. 对厚度为 2.5 mm 的晶体, $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心浓度达 0.4~0.6 OD, 其吸收谱和荧光谱如图 1 中曲线 2 和 3.

经过单晶生长、晶体赋色、热处理和光聚集等过程, 在晶体中形成纯度好和浓度高的 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心, 较好地完成了晶体的制备.

2 晶体的光学表面加工

作为激光晶体, 其表面的光洁度和平行度要求很高. 而 NaCl 晶体具有很强的吸湿性, 而且光线和温度也会影响晶体中的 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心, 所以 $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 色心激光晶体的光学表面加工难度大. 经分析研究和实验, 我们找到了一种简便的方法, 先把赋色后晶体切成 $12 \times 8 \times 2.5 \text{ mm}^3$, 并在细砂纸上进行粗抛光; 然后进行晶体的热处理和室温光聚集; 接着, 在干燥、红光和室温条件下进行细抛光, 使晶体表面达到了激光运转所要求的平行度和光洁度.

3 $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 色心激光运转

把抛光后晶体夹在铜冷指上, 装入激光腔中, 抽真空至 $\sim 10^{-1} \text{ Pa}$, 加液氮降温至 -196°C , 在对晶体进行液氮温度光聚集后, 进行激光调试.

实验采用中国计量科学研究院研制的四镜折迭像散补偿的 X 型激光腔 (见图 2). 图 2 中 M_1 、 M_4 为平面镜, M_2 、 M_3 为平凹全反射镜.

调整晶体 (100) 取向, 用水平偏振的 $1.08 \mu\text{m}$ 的 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAP}$ 激光作泵浦光, 功率为 3.5 W ; 以水平偏振的 $0.488 \mu\text{m}$ 的 Ar^+ 激光作辅助光, 功率为 5 mW ; 可获得大于 250 mW 的色心激光输出, 峰值波长为 $1.57 \mu\text{m}$. 在调试过程中, 调整晶体的位置, 并连续抽运几十个小时, 没有发现色心激光输出急剧下降的点 (区). 这表明: 晶体的光学表面是均匀、稳定的, 激光运转是稳定的, 成功地实现了中心波长为 $1.57 \mu\text{m}$ 的红外色心激光运转.

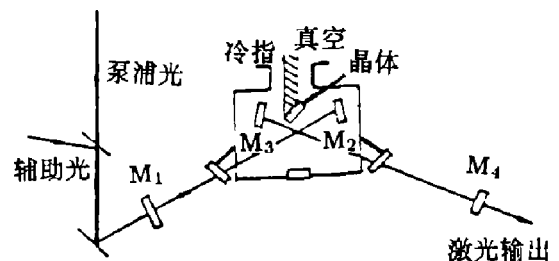


图 2 X 型激光腔

Fig. 2 X-cavity laser arrangement

4 色心激光输出功率与泵浦光功率及辅助光功率的关系

色心激光输出功率与泵浦光功率和辅助光功率等均有直接的关系 (见图 3). 图 3(a) 中曲线 1、2、3 分别是以 4 mW 的 $0.475 \mu\text{m}$ 、 $0.488 \mu\text{m}$ 、 $0.514 \mu\text{m}$ 的 Ar^+ 激光作辅助光的条件下测定的; 图 3(b) 中曲线 1、2、3 都是以 3 W 的 $1.08 \mu\text{m}$ 的 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAP}$ 作泵浦光, 分别以 $0.475 \mu\text{m}$ 、 $0.488 \mu\text{m}$ 和 $0.514 \mu\text{m}$ 的 Ar^+ 激光作辅助光的条件下测定的.

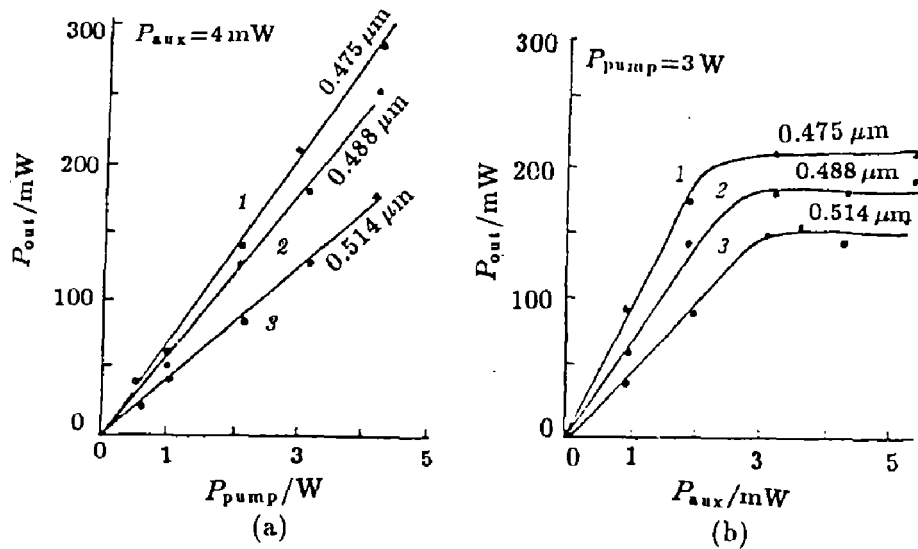


图 3 色心激光输出功率与泵浦光功率及辅助光功率的关系
(a) 与泵浦光功率关系; (b) 与辅助光功率关系

Fig. 3 The relationship between output power and pump power (a)/ auxiliary power (b)

5 分析与讨论

在 $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 色心激光运转中, 我们发现色心激光输出与辅助光波长也有重要的关系. 目前常采用波长分别为 $0.365 \mu\text{m}$ ^[3,4]、 $0.45 \mu\text{m}$ ^[5]、 $0.514 \mu\text{m}$ ^[1] 和 $0.53 \mu\text{m}$ ^[6] 作辅助光. 图 3 实验结果表明: 不同波长的辅助光其效果为: $0.475 \mu\text{m} > 0.488 \mu\text{m} > 0.514 \mu\text{m}$.

$(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 色心激光运转过程中辅助光的作用是保持 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 激光活性心的构型, 使之能够持续不断地, 有效地产生激光. 我们认为: $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心是由 F 心和 $\text{O}^{2-}-\text{F}^+$ 构成的, 因而 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心除了在 $1.09 \mu\text{m}$ 有吸收峰 (这已得到公认) 外, 在 $0.45 \mu\text{m}$ (F 心吸收带) 和 $0.29 \mu\text{m}$ ($\text{O}^{2-}-\text{F}^+$ 吸收带) 也有相应的吸收带. 辅助光波长不同, $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心对其吸收也不同. 当辅助光波长愈接近 $0.45 \mu\text{m}$ 时, 就愈易为 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 心吸收, 从而更有效地保持 $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ 激光活性心的构型, 有更大的色心激光输出, 因此, 辅助光的作用有 $0.475 \mu\text{m} > 0.488 \mu\text{m} > 0.514 \mu\text{m}$ 的结果.

参考文献

- 1 Beigang R, Klameth K, Weiling H. *Opt. Commun.*, 1988;65:383
- 2 Christopher P Yakymyshn, Pinto JF, Pollock CR. *Opt. Lett.*, 1989;14:821
- 3 Pinto JF, Pollock CR. *Opt. Lett.*, 1985;10:384
- 4 Pinto JF, Pollock CR. *Opt. Lett.*, 1986;11:319
- 5 Wandt D, Gellerman W, Luty F. *J. Appl. Phys.*, 1987;61:864
- 6 German KR, Pollock CR. *Opt. Lett.*, 1987;12:474
- 7 Georgion E, Pinto JF, Pollock CR. *Phys. Rev.*, 1987;B35:7636
- 8 Radzhabov EA. *Opt. Spectrosc.*, 1988;64:132
- 9 Lifante G, Silfsten P, Cusso F. *Phys. Rev.*, 1989;B40:9925
- 10 Gellemann W. *J. Phys. Chem. Solids*, 1991;52:249
- 11 吴季怀, 许承晃等. *人工晶体学报*, 1988;17(3~4):335
- 12 吴季怀, 许承晃等. *人工晶体学报*, 1991;20(3~4):364

13 吴季怀, 许承晃等. 功能材料, 1992;23(4):225

PREPARATION OF $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ CRYSTAL AND ITS INFRARED COLOR CENTER LASER OPERATION*

WU JIHUAI, XU CHENGHUANG, LIN BIZHOU,
HUANG MIAOLIANG, LIN JIANMING

(*Institute of Material Physical Chemistry, Hua Qiao University,
Quanzhou, Fujian 362011, China*)

Abstract: The present paper reports such key problems as the preparation of color center crystal, the treatment of optical surface of the crystal and the operation of color center laser. The relation of output power of color center laser *vs.* auxiliary power is discussed. The operation of infrared $\text{NaCl}(\text{OH}^-):(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ color center laser with a peak wavelength at $1.57 \mu\text{m}$ is successfully realized.

Key words: infrared laser, $\text{NaCl}(\text{OH}^-)$ crystal, $(\text{F}_2^+)_{\text{H}}$ color center.

*The project supported jointly by the National Natural Science Foundation of China, the Youth's National Natural Science Foundation of China and the Natural Science Foundation of Fujian Province, China.