

液态温度下 Na:KCl 晶体中 $F_B(II)$ 色心 激光的实验研究

赵家驹 周 衍 楼永庆 李胜华
(上海交通大学 应用物理系)

提 要

介绍了掺 Na 的 KCl 晶体中 $F_B(II)$ 心在液氮温度下的稳定激光运转。Q 开关 Nd:YAG 激光的信号输出泵浦色心晶体。激光发射波长为 $2.420\sim 2.542\ \mu\text{m}$ 。对实验结果作了讨论。

关键词: 激光器; $F_B(II)$ 色心。

一 引 言

杂质型色心,如某些碱卤基质中 $F_A(II)$ 或 $F_B(II)$ 心的激光发射,是色心激光中重要的一类。其激光振荡波长在 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 范围内,但必须在较低温度下才能运转。

根据 $F_B(II)$ 心的离子结构和能级图^[1],它的吸收曲线由两个互相交叠的吸收带组成,分别对应不同的偏振态。呈双峰结构,总吸收带较宽。如 Na:KCl: $F_B(II)$ 晶体的吸收带,由 $0.48\ \mu\text{m}$ 延伸到 $0.65\ \mu\text{m}$ ^[2]。有利于泵光的选择,但要适当考虑泵光相对于色心轴的偏振取向。由于该色心的电子-声子耦合较强,斯托克斯位移达 $15000\ \text{cm}^{-1}$,发射光子能量比吸收光子能量小 $4\sim 5$ 倍。同时,无辐射跃迁的速率随温度升高而加大^[3],室温下已不能实现激光振荡,一般要低于 $100\ \text{K}$,即使这时,它的荧光量子效率仍然很低。因此,较大的斯托克斯位移和很低荧光量子效率,使它的斜率效率相当低。

二、获得高密度 $F_B(II)$ 色心晶体的心得

要实现有效色心激光运转,色心晶体的制备是很重要的一环。 $F_B(II)$ 激光工作色心的结构,是在 x 和 z 方向上各有一个杂质正离子 Na^+ 。为此,要获得高密度的 $F_B(II)$ 心,首先对 KCl 晶体中杂质 Na 的含量有一定要求。一般说,杂质量的上限决定于它对晶体光学质量的影响,下限则要考虑形成激光振荡的最低色心密度。更重要的是,在制备 $F_B(II)$ 心过程中,同时会伴生 F_A 、 $F_B(I)$ 、 F_O 等等一系列有害色心,它们的吸收峰都在 $0.51\sim 0.64\ \mu\text{m}$ 范围内,和 $F_B(II)$ 心吸收带严重交叠而吸收泵光。发现若杂质 Na 含量太少,会形成过多 F_A 心,而 Na 含量过多,会形成过多 F_O 心。最佳的掺杂量应使晶体中最后生成的 $F_B(II)$ 心与其它伴生心的比例取极大值。本文对基质晶体中 Na 杂质含量在 $80\sim 1300\ \text{ppm}$ 进行了选择性实验,认为 $900\sim 1000\ \text{ppm}$ 的 Na 含量较为适宜,并以此样品获得了稳定激光振荡。

其次,为了获得 $F_B(II)$ 心,先要在 KCl 晶体中产生高密度的 F 心。以采用附加着色法为宜^[2]。即把掺 Na 的 KCl 晶体置于 K 气氛的热管炉中着色,高温使金属 K 扩入晶体,在晶体中形成 F 心。为防止 F 心的聚集而消耗掉大量 F 心,我们选择的最佳扩散温度为 $600^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。温度过高易形成 F_2 心(吸收峰类为 $0.81 \mu\text{m}$),温度过低 K 蒸汽难以扩入 KCl 晶体中。工艺参数是一小时,并充以 60 Torr 的 Ar 气保护。着色一小时后,采用快速急冷的办法将着色好的样品从 600°C 迅速降至室温。这样可有效抑制 F_2 聚集心的形成,使 F 心稳定维持足够的密度。

最后,用 200 W 高压汞灯的 365 nm 线(F 心吸收带内)对经着色获得高密度 F 心的 KCl 晶体进行光照转型,时间约 3~4 hr。光路中插入水槽,滤去光源中红外部分,减少热辐射对晶体温度影响。在 $-35^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 温度下进行,该温度下 F^+ 心的迁移率最高,且 F 心不易聚集。当 F^+ 心移动到两个 $\langle 110 \rangle$ 方向互相靠近的杂质 Na^+ 附近并获得一个电子后,便形成了 $F_B(II)$ 心。

三、液氮温度色心激光装置的考虑

由于 $F_B(II)$ 色心激光振荡的效率相当低,为尽可能降低阈值,采用直型谐振腔,镜距约 70 mm,同轴泵浦使泵光和激光模能较好的重迭。激光波长已近玻璃的长波透明极限、腔镜及窗镜均用熔石英。色心晶体需在液氮温度下工作,故系统置于真空容器中,使晶体有良好的热隔离,并避免水汽或其他蒸汽凝结在晶体表面,装置如图 1 所示。主体是不锈钢制的真空容器。可靠的设计使系统在抽气过程中稳定可靠。液氮罐下部的弹性波纹管压住晶体的冷夹头,保证晶体温度下降到接近液氮 (77K) 温度。为降低冷却元件的热导损失,真空压力要低于 10^{-8} Torr,这时热损失仅为几 mW 量级。一般机械泵已可满足。若用分子筛的低温泵,可避免机械泵内挥发性物质的凝集,延长晶体使用寿命,提高真空度,效果更好。容器侧壁与泵入窗成布儒斯特角方向开有观察窗,以对晶体进行光辐照,探测泵光下晶体荧光强度和观察晶体表面光学质量的变化等。

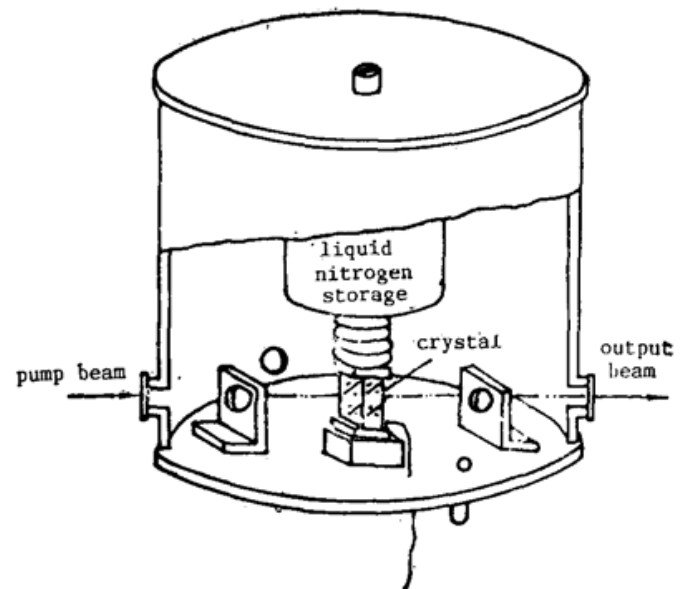


Fig. 1 Complete colour centre laser system

色心晶体按其解理面 $\{100\}$ 面切成片状,约 $10 \times 10 \times 6 \text{ mm}^3$,表面抛光。制备完成后的 Na:KCl: $F_B(II)$ 晶体呈紫蓝色,晶体在 $2.0 \sim 16.0 \mu\text{m}$ 范围内透过率约为 90%。在液氮温度下,用 $0.53 \mu\text{m}$ 激光束泵浦,红外光栅单色仪观测了其荧光谱,波段与文献报道一致^[3],峰位于 $2.6 \mu\text{m}$,荧光谱宽与晶体制备情况及泵光强度有关,最宽为 1340 \AA 。

Na:KCl: $F_B(II)$ 色心激光运转,很大程度上受随 $F_B(II)$ 心而伴生心 $F_A(I)$ 及 $F_B(I)$ 的影响。若以特定波长和偏振方向的激光泵浦, $F_A(I)$ 及 $F_B(I)$ 心均有转向漂白效应,利用这方法曾获得一定效果^[4],但因转向漂白不可能达到百分之一百,剩余的(I)型心不仅吸收泵

光, 激发后的(I)型心在 F_B (II) 心的荧光带处产生新吸收带。我们设计的装置中, 选泵光偏振方向在晶体的{100}面内是合理的。

四、结果与讨论

Quantel 580 型 YAG 脉冲激光器的信频绿光作泵源, 泵波长 $0.53 \mu\text{m}$, 泵浦脉冲能量最高约 100 mJ, 以不损伤晶体为限, 脉宽 8 ns, 重复率 1~10 pps, 泵光是线偏振的。PbS 接收红外激光输出, 接收器前加上适当厚度的 Ge 片, 可完全滤去可见的泵光及杂散光, 激光信号用 SR46 双线示波器显示。用制备及加工好的 Na:KCl: F_B (II) 晶体, 获得稳定的峰在 $2.5 \mu\text{m}$ 附近宽带红外激光振荡, 输出光有很好的方向性, 在距输出窗 $Z=80 \text{ cm}$ 处测量了垂直于光束平面内沿 XY 两个方向强度分布(图 2), 光束发散角约 $15\sim 17 \text{ mrad}$, 调偏腔镜, 方向性消失。WD44 红外单色仪(300/mm 红外光栅)测得激光波长, 光谱范围 $2.420\sim 2.542 \mu\text{m}$ 。分别用 NJ-J1 微焦能量计及 Laser Precision Rj 7200 红外探测器测量输出能量, 单个脉冲能量至少为 $10 \mu\text{J}$ 量级。

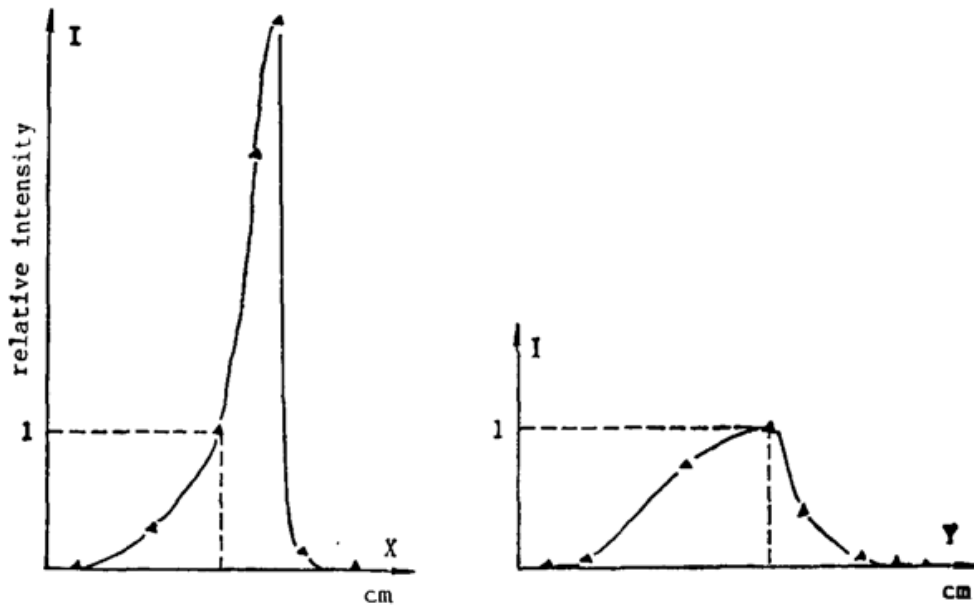


Fig. 2 The intensity distribution of infra-red beam at cross section Z ($Z=80 \text{ cm}$)

F_B (II) 心的稳定性较好, 将 Na:KCl: F_B (II) 心晶体存放在 170K 之下, 其密度稳定不变^[4]。高于这温度, F_B (II) 心逐渐回复成 F 心。但 F 心很稳定, 若将该晶体再用汞 365 nm 线辐照转型, F 心仍会转成需要的 F_B (II) 心。因此, 实验后晶体可放置在真空容器中任其自然升温, 再次实验时, 先让晶体在容器内在 -35°C 下经观察窗辐照转型、再降至液氮下使用。曾发现, 经这样再次辐照转型后的晶体, 其激光输出可能会高于它初次着色转型后的输出能量, 其规律与原因尚未能掌握。

单纯增加光泵能量并不是提高色心激光输出的办法。应用已有的 F_B (II) 心密度下选择最适当的泵功率, 否则过剩泵功率会转成晶体中热量, 反使晶体性能变坏。另外, Na:KCl: F_B (II) 心对泵光波长较为敏感。 $0.57 \mu\text{m}$ 泵功率阈值最低, 而 $0.53 \mu\text{m}$ 的泵功率阈值将上升 2~3 倍。

根据吸收谱, 用 Smakula's 公式, 估算了 F_B (II) 心的浓度约为 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 尚低于文

献报道。另外,谐振腔镜的透过率曲线尚不太理想,影响激光振荡的 $2.0\sim 2.5\ \mu\text{m}$ 波长范围的透过率偏高,在 $2.5\ \mu\text{m}$ 处, $T\approx 13\%$ 。因此系统尚有潜力,进一步提高其输出的效果。

本项目在 **方俊鑫** 教授领导下进行。陈英礼教授和方书淦教授作了有益的指导。对黄木贞在介质膜片和吕文波在器件设计方面的工作表示感谢。

参 考 文 献

- [1] L. F. Mollenauer; *«Color center laser»*, in Quantum Electronics Part B, C. L. Tang Ed., Ch. 6, 15B of methods of Experimental Physics (Academic Press, New York, 1979), 1~54.
- [2] 李平, 尤路等; *«光学学报»*, 1984, 4, No. 9 (Sep), 837~841
- [3] W. Gellermann *et al.*; *Laser Focus*, 1982, 18, No. 4 (Apr), 71~75.
- [4] G. Litfin, R. Beigang *et al.*; *Appl. Phys., Lett.*, 1977, 31, No. 6 (Sep), 381.
- [5] G. Litfin, R. Beigang; *J. Phys. E.*, 1978, 11, No. 10 (Oct), 984.

Experimental study of laser of $F_B(II)$ color centers in Na KCl crystals at liquid nitrogen temperature

ZHAO JIAJU, ZHOU YAN, LOU YONGQING AND LI SHENGHUA

(Department of Applied Physics, Shanghai Jiaotong University)

(Received 9 Jun 1989; revised 12 January 1990)

Abstract

A laser utilizing $F_B(II)$ centers in Na-doped KCl crystals and operating stably at liquid N_2 temperature is described. Color center crystal was pumped by the frequency doubled output of a Q-switched Nd:YAG laser. Laser emission wavelength ranges from 2.420 to $2.542\ \mu\text{m}$. Experimental results are discussed.

Key words: laser; $F_B(II)$ color center.