

氯化钠晶体色心近红外光谱精细结构*

顾洪恩

(天津大学物理系, 天津, 300072)

摘要 在 9~77 K 温度范围内, 在 γ 射线辐照和 He^+ 注入的氯化钠晶体中观测到 R_2 和 N_1 心零声子线, 以及其它窄吸收线, 并在不同温度下系统地测量了这些吸收线的光谱特性和热稳定性.

关键词 近红外, 光谱精细结构, 色心, 氯化钠晶体.

引言

着色离子晶体中存在着多种类型的色心. 从这些晶体的低温光谱中可观测到大量的零声子线 (即纯电子跃迁, 不与晶格声子交换能量). 色心零声子线具有非均匀加宽光谱特性, 广泛地应用于光谱烧孔、光化学和高分辨激光光谱等方面. 在众多的离子晶体中, 碱卤晶体可在近红外波段提供丰富的零声子线, 能很好地和现有商品半导体激光器波长相匹配, 是一类很有应用价值的光学材料, 而着色的氯化钠晶体是最引人注目的. 有关氯化钠晶体的着色及其低温光谱早已有报道 (可参见文献例如 [1]). 在我们近期工作中, 已对 He^+ 注入氯化钠晶体色心的室温光谱特性进行了初步研究 [2], 本文在此基础上, 对 γ 射线辐照和 He^+ 注入着色的氯化钠晶体的低温光谱进行了系统测量, 观测到一些很强的零声子线和一些新的现象与结果, 为零声子线的进一步研究和应用提供了依据.

1 研究方法和结果

本工作所用氯化钠晶体由我室和上海光学仪器研究所生长, 经解理和抛光后在室温下经钴源 γ 射线辐照 (剂量 3×10^7 R) 和 He^+ 注入 [2] (能量为 300~400 keV) 着色. 吸收谱由 UV-240 型分光光度计记录, 并用 Air-Products 型小型制冷机给晶体降温.

图 1(a) 中曲线 1 描述了一块经 γ 射线辐照着色的氯化钠晶体典型的室温吸收光谱, 由此可见, 两个较强的吸收峰分别位于 460 nm 和 720 nm 处, 它们分别对应于 F 带和 M 带 (可参见文献例如 [3]). 当晶体温度降至 9 K 时, 吸收谱中出现了 R_1 心 (544 nm)、 R_2 心 (596 nm) 和 N_1 心 (825 nm) 吸收峰 (见图 1(a) 中曲线 2), 而 M 带吸收峰从 720 nm 移至 712 nm 处. 最引人注目的是此时光谱中出现了很多吸收线, 其中 837.3 nm 零声子线和

* 国家自然科学基金资助项目

本文 1993 年 4 月 17 日收到, 修改稿 1994 年 1 月 4 日收到

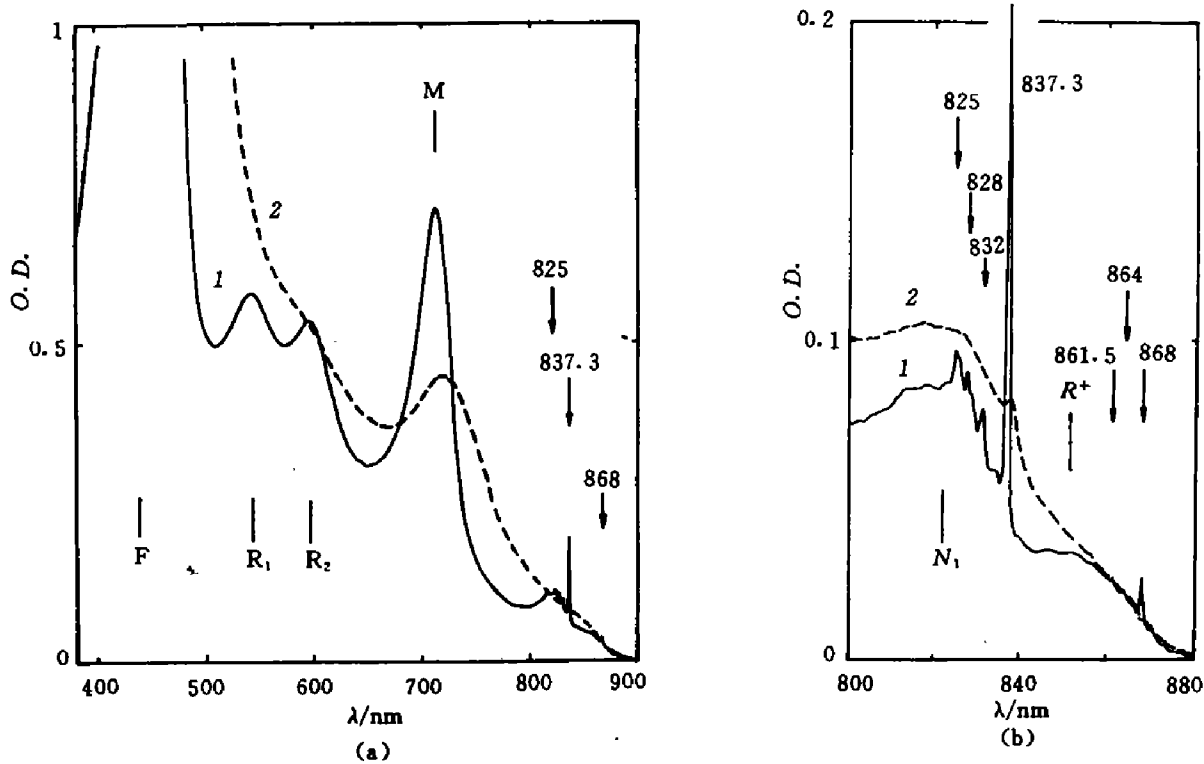


图 1 γ 射线辐照氯化钠晶体室温和低温吸收光谱

(a) 曲线 1 和 2 分别在 300 K 和 9 K 下测量; (b) 曲线 1 和 2 分别在 9 K 和 77 K 下测量
 Fig. 1 Absorption spectra of a γ ray irradiated sodium chloride crystal measured at RT and LT. (a) Curves 1 and 2 measured at 300 K and 9 K, respectively, (b) Curves 1 and 2 measured at 9 K and 77 K, respectively

832 nm、828 nm 以及 825 nm 线同属于 N_1 心; 而 868 nm 线以前曾被观测到 (可参见文献例如 [4]), 但未标识属于何心; 864 nm 和 861.5 nm 线是未见报道的两条新线 (见图 1(b) 中曲线 1). 632.7 nm 线属于 R_2 心 (见图 2(a) 中曲线 1) (可参见文献例如 [1, 4]).

当晶体温度从 9 K 开始上升时, N_1 心和 R_2 心零声子线以及其它各线的吸收强度降低. 到 20 K 时, R_2 心零声子线变得相当弱 (见图 2(a) 中曲线 2), 而 N_1 心零声子线和 868 nm 线强度无太大变化 (见图 2(b) 和 (c) 中曲线 2). 到 77 K 时, N_1 心零声子线也变得相当弱 (见图 1(b) 中曲线 2), 其它各线皆消失.

从图 2(a)、(b) 和 (c) 曲线 1 可知, 在 9 K 时, N_1 心和 R_2 心零声子线及 868 nm 线的 FWHM 线宽分别约为 0.48 nm、0.38 nm 和 0.75 nm. 到 40 K 时, N_1 心零声子线和 868 nm 线的线宽分别约为 0.63 nm 和 1.00 nm, 其峰值位置分别移到 837.6 nm 和 868.2 nm 处 (见图 2(b) 中曲线 3); 在此温度下, R_2 心零声子线消失 (部分谱图略). 到 77 K, N_1 心零声子线已变得很弱, 它的峰值移到 838.1 nm 处 (见图 1(b) 中曲线 2 和图 2(b) 中曲线 4), 在此温度下, 其它各线皆消失.

图 3 是经 He^+ 注入着色的氯化钠晶体的吸收谱. 在室温下, 图 3(a) 中曲线 2 上 830 nm 附近的强带属于 N_1 带; 在 9.5 K 时, 在 837.0 nm 处出现一条很强的零声子线, 属于 N_1 心. 从图 3(b) 中曲线 1 可知, 在 9.5 K 时, N_1 心零声子线的 FWHM 线宽约为 1.00 nm. 到 30 K 时, 该零声子线强度降低, 峰值位置从 837.0 nm 移到 837.2 nm 处 (见图 3(b) 中曲线 2). 77 K 时, 该零声子线消失 (见图 3(b) 中曲线 3).

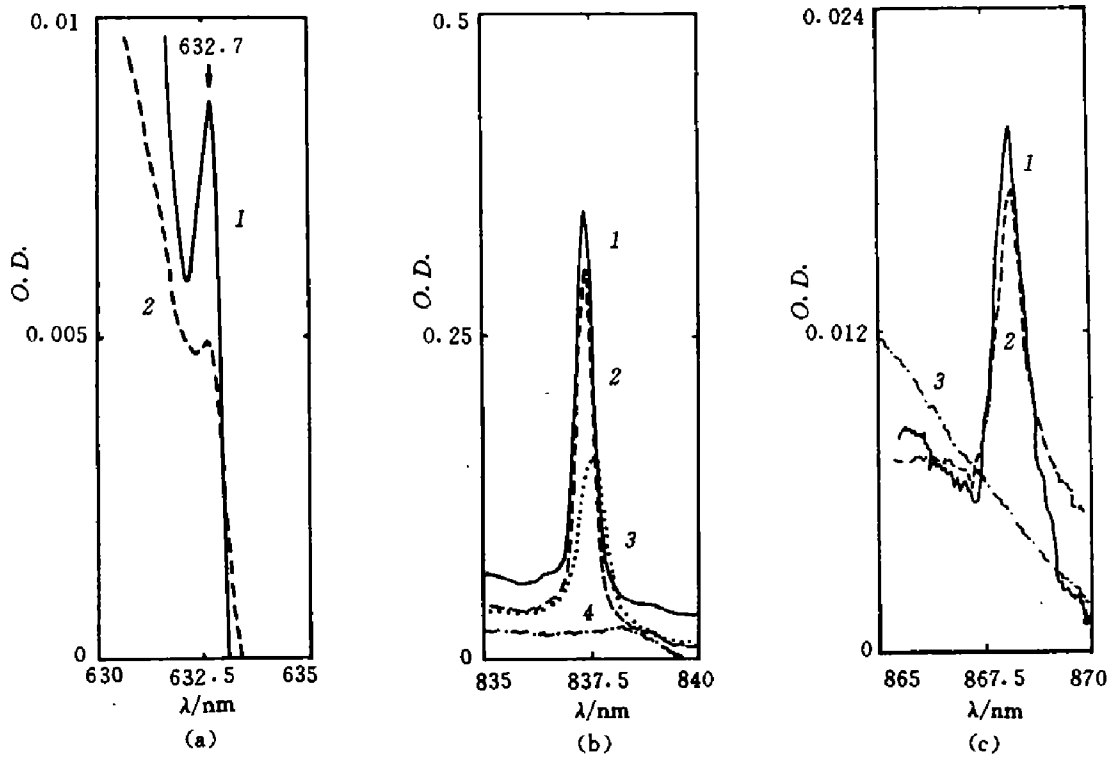


图 2 图 1 晶体的低温吸收光谱

(a) 曲线 1 和 2 分别在 9K 和 20K 下测量；(b) 曲线 1、2、3 和 4 分别在 9K、20K、40K 和 77K 下测量；(c) 曲线 1、2 和 3 分别在 9K、20K 和 77K 下测量

Fig. 2 Absorption spectra of the crystal shown in Fig. 1 measured at LT

(a) Curves 1 and 2 measured at 9 K and 20 K, respectively,

(b) Curves 1, 2, 3 and 4 measured at 9 K, 20 K, 40 K and 77 K, respectively,

(c) Curves 1, 2 and 3 measured at 9 K, 20 K and 77 K, respectively

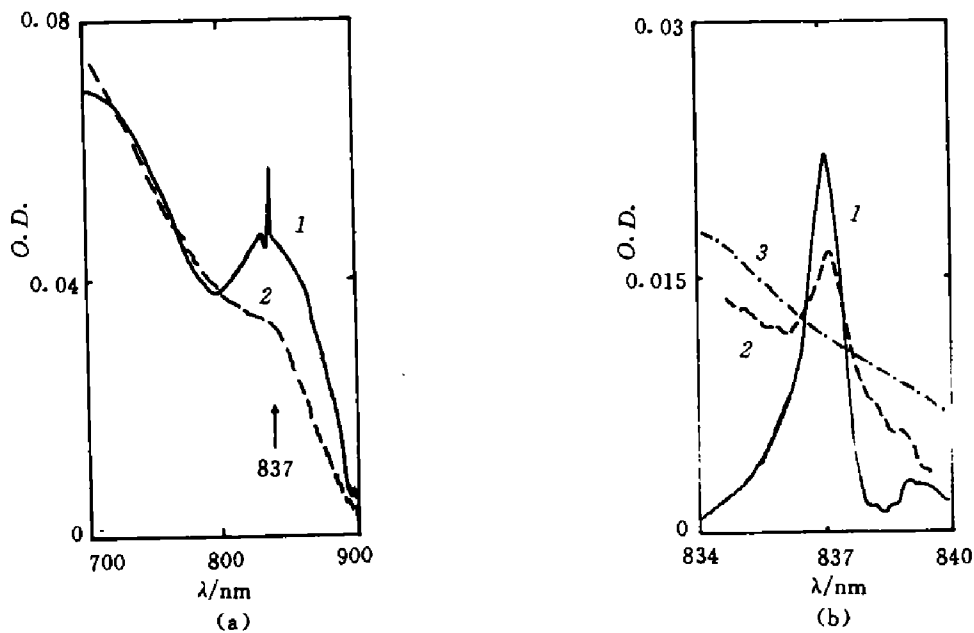


图 3 He^+ 注入氯化钠晶体室温和低温吸收光谱

(a) 曲线 1 和 2 分别在 9.5 K 和 285 K 下测量；

(b) 曲线 1、2 和 3 分别在 9.5 K、30 K 和 77 K 下测量

Fig. 3 Absorption spectra of an He^+ -implanted NaCl crystal measured at RT and LT

(a) Curves 1 and 2 measured at 9.5 K and 285 K, respectively,

(b) Curves 1, 2 and 3 measured at 9.5 K, 30 K and 77 K, respectively

2 讨论与结语

从图 1(b) 中曲线 1 可见, 在 9 K 时 850 nm 附近出现一个在纯氯化钠晶体中从未观测到的新吸收带. 在掺杂氯化钠晶体中, 曾在此波长位置观测到 R^+ 心吸收带 (可参见文献例如 [5]), 故我们观测到的新吸收带也应属于 R^+ 心. 当晶体温度较高时, R^+ 带和 N_1 带严重重叠, 很难识别, 只有在较低温度下, R^+ 带才显露出来. 此外, 位于 861.5 nm 和 864 nm 处的吸收线首次在我们的晶体中观测到. 从我们的结果看, 这两条线与 868 nm 零声子线相伴而出, 且强度亦与 868 nm 线强度相关, 故这两条线可能属于 868 nm 线的声子边带. 868 nm 零声子线未标识, 所以上述推测有待于进一步证实.

综上所述, 从 γ 射线辐照和 He^+ 注入着色氯化钠晶体的低温光谱中, 观测到多条较强的零声子线, 并在不同温度下对其热稳定性进行了详细测量. 当晶体温度从 9.5 K 开始升高时, 所有零声子线显现出共同特征: 强度减弱, 峰值移向长波, 并且线宽增大. 此外, 在纯氯化钠晶体中首次观测到明显的 R^+ 带和 864 nm 以及 861.5 nm 两条新吸收线, 并对其成因进行了初步推测.

致谢 对李文成先生提供小型制冷机、上海光学仪器研究所范福昌高工提供部分晶体、天津辐照中心陈范欣高工给予辐照所用晶体和陈志芳教授给予注入所用晶体表示感谢.

参考文献

- 1 Fitch DB, *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 1963,11(6):275
- 2 Gu HE, *et al.* *Chin. Phys. Lett.*, 1993,10(3):163
- 3 Lambe J, *et al.* *Phys. Rev.*, 1957,106(3):684
- 4 Pierce CB. *Phys. Rev.*, 1964,135(1A):A83
- 5 Georgiou E, *et al.* *Phys. Rev.*, 1989,B40(9):6321

FINE STRUCTURES OF NEAR-INFRARED SPECTRA OF COLOR CENTERS IN SODIUM CHLORIDE CRYSTALS*

Gu Hongen

(Department of Physics, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract The zero-phonon lines of R_2 and N_1 centers and other narrow lines were observed in γ -ray irradiated and He^+ -implanted sodium chloride crystals in the temperature range from 9 to 77 K. The spectral properties and thermal stabilities of the lines were measured systematically at different temperatures.

Key words near infrared, spectrum fine structure, color center, NaCl crystal.

*The project supported by the National Natural Science Foundation of China