

# $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体的热释光和光释光特性\*

杨新波<sup>1)†</sup> 李红军<sup>2)</sup> 徐 军<sup>1)</sup> 程 艳<sup>2)‡</sup> 苏良碧<sup>1)</sup> 唐 强<sup>4)</sup>

1) 中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 201800)

2) 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

3) 中国科学院研究生院, 北京 100049)

4) 中山大学物理系, 广州 510275)

(2008 年 4 月 15 日收到, 2008 年 8 月 28 日收到修改稿)

以高纯  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  和石墨为原料, 采用温梯法生长了  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体, 使用 Risø TL/OSL-DA-15 型热释光和光释光仪研究了其热释光和光释光特性.  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体在 462 K 附近有单一热释光峰, 发射波长位于 410 nm. 随着辐照剂量的增加, 热释光强度逐渐增强, 462 K 的热释光特征峰位置保持不变.  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体的光释光衰减曲线由快衰减和慢衰减两个部分组成, 随着辐照剂量的增加, 快衰减部分衰减速率变化不大, 而慢衰减部分衰减速率加快. 在  $5 \times 10^{-6}$ —10 Gy 剂量范围内,  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体的热释光剂量响应呈现良好的线性关系, 30 Gy 时达到饱和; 光释光剂量响应在  $5 \times 10^{-6}$ —60 Gy 剂量范围内呈现良好的线性关系, 100 Gy 时达到饱和. 与热释光相比, 光释光剂量响应具有更高的灵敏度和更宽的线性剂量响应范围.

关键词:  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C, 热释光, 光释光

PACC: 7860K, 7630M

## 1. 引 言

材料的热释光(thermoluminescence)是指材料在吸收辐射能之后的热致发光. 20 世纪 50 年代, 美国威斯康星大学的 Daniels 首次将材料的热释光特性用于辐射剂量的测量. 最初使用的氟化锂热释光材料具有很高的灵敏度, 但是其热释光性能不稳定. 后来, 研究人员相继开发了具有更优异热释光性能的  $\text{LiF}:\text{Mg}, \text{Ti}^{[1]}$  和  $\text{LiF}:\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P}^{[2]}$ , 目前氟化锂系列材料仍是热释光剂量学上应用最广泛的材料. 随着科研和生活的需要, 对热释光剂量学材料的要求(如较宽的线性剂量响应范围、高灵敏度、重复使用性好等)逐渐提高, 研究人员又开发了  $\text{CaSO}_4:\text{Mn}$ ,  $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ ,  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ ,  $\text{MgSiO}_4$  等新型热释光材料<sup>[3]</sup>. 光释光(optically stimulated luminescence)是指材料吸收了辐射能之后的光致发光, 前苏联的 Romanovsky 等<sup>[4]</sup>最早将材料的光释光特性用于辐射剂量的测量. 与热释光相比, 光释光剂量计使用过程中不用加热, 可以

有效避免发光中心的热猝灭, 具有灵敏度高和使用相对简单的优点. 然而, 光释光剂量学长期没有得到重视和发展, 主要原因是缺少对辐射敏感、光释光效率高、有效原子数较小、光衰退性能好的发光材料.

Rieke 等<sup>[5]</sup>很早就发现  $\text{Al}_2\text{O}_3$  具有优良的热释光性能, 但是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  对  $\gamma$  射线的热释光灵敏度很低. 为了改善  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的热释光性能, 研究人员相继研制了一系列掺杂的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  热释光材料, 包括  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Mg}$ ,  $\text{Ti}, \text{Y}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Si}, \text{Ti}$  等, 但是这些材料在热释光剂量学上都或多或少地存在不足, 不能满足科研和商业的需要. 20 世纪 90 年代, Akselrod 等<sup>[6]</sup>采用提拉法生长了一种优良的新型  $\text{Al}_2\text{O}_3$  掺杂热释光材料  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体. 一系列的研究表明,  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体具有灵敏度高(相同条件下是  $\text{LiF}:\text{Mg}, \text{Ti}$  的 40—60 倍)、热释光峰单一(463 K)、背底和剂量阈值低、线性剂量响应范围宽( $10^{-7}$ —10 Gy)、有效原子数少(10.2)、热释光特性衰减慢(衰减率低于 5%/a)、低剂量下重复使用性能好、对辐射敏感、光释光效率高等诸多优点<sup>[7]</sup>. 因此  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C 晶

\* 国家自然科学基金(批准号 60607015)和国家高技术研究发展计划(批准号 2006AA03A104)资助的课题.

† E-mail: yangxinbo2000@163.com

体是极具应用潜质的热释光和光释光材料. 目前, 美国 Landauer 公司研制生产的  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  热释光和光释光剂量计已经在欧美广泛使用, 国内还未见关于  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体生长的报道.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  剂量计的研制还有待进行. 本文采用温梯法 (temperature gradient technique) 生长得到了  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体, 对其热释光和光释光特性进行了研究和探讨.

## 2. 实验方法

温梯法是中国科学院上海光学精密机械研究所 在 20 世纪 80 年代开发的晶体生长方法, 主要适合生长大尺寸、高质量的高温氧化物和激光晶体, 特别是大尺寸的蓝宝石晶体<sup>[8]</sup>.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体生长以高纯  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (99.999%) 和石墨粉 (99.99%) 为原料, 将占  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  粉体质量分数为 0.5% 的石墨粉掺入  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  粉体中, 在行星磨机上混合研磨 24 h, 取出后在 250 MPa 下冷干压成形. 将  $[10\bar{1}12]$  方向优质白宝石籽晶置于锥形钼坩埚底部籽晶槽内, 掺碳  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  压块装入坩埚内, 调整坩埚、发热体和保温筒三者之间的距离, 保证坩埚、发热体和保温筒的中心重合. 在保温筒上加盖钼片, 封闭炉体, 将炉内真空抽至  $1 \times 10^{-3}$  Pa 以上, 待炉内气压平衡后持续升温到 2350 K, 将原料全部熔化, 恒温 1—2 h. 待温场稳定后, 以 3 K/h 的速率开始降温, 即进行晶体生长, 固液界面从籽晶部位从下向上缓慢推进, 直至全部熔体结晶完毕. 待温度降至室温, 从坩埚中取出晶体, 使用内圆切割得到  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 1\text{ mm}$  样品. 测试前, 将  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  样品在 973 K 高温炉中退火 10 min, 以消除在生长、切割过程中产生的应力.

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体的热释光和光释光特性在 Risø TL/OSL-DA-15 型热释光和光释光仪上测量, 辐射源为仪器自带的  $^{90}\text{Sr}$   $\beta$  射线. 样品辐照一定剂量后, 立即以 2 K/s 的升温速率加热至 773 K, 用 U340 型滤光片和光电倍增管获得热释光信号. 样品辐照后, 使用蓝色发光二极管阵列波长  $470 \pm 30\text{ nm}$  光激发样品, 得到光释光衰减曲线. 在 JASCO 公司生产的 JSX-3400R 型 X 射线荧光光谱仪上测量  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体的发射光谱.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体的三维热释光曲线在中山大学自行设计的三维热释光仪上测量. 受 Risø TLOSL-DA-15 自带  $\beta$  射线辐射剂量范围的限制,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体的辐照剂量响应曲线测试采用

的辐射源为上海计量测试技术研究院的  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线 (BUCHLER OB85) 辐射剂量范围在  $5 \times 10^{-6}$ —500 Gy.

## 3. 结果分析与讨论

### 3.1. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ 晶体的热释光特性

图 1 是  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体在不同  $^{90}\text{Sr}$   $\beta$  射线辐照剂量下的热释光曲线, 升温速率为 2 K/s.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体的热释光特征峰位于 462 K, 比张纯祥等<sup>[9]</sup>报道的纯  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  晶体的热释光峰 (峰位位于 480 K) 稍低, 但是发光强度明显增强. 随着辐照剂量的增加,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体的热释光强度逐渐增强, 但是 462 K 的热释光特征峰保持不变. 设  $T_m$ ,  $T_1$  和  $T_2$  分别为热释光特征峰温和半峰高时发光曲线对应的低端和高端的温度, 根据热释光动力学理论得到其形状因子为<sup>[3]</sup>

$$\mu_g = (T_2 - T_m) / (T_2 - T_1). \quad (1)$$

若  $\mu_g = 0.42$ , 则该热释光峰为一级动力学峰,  $\mu_g = 0.52$  时为二级动力学峰. 低剂量情况下, 一级动力学发光峰温不随辐照剂量变化而变化, 二级动力学峰温对辐照剂量有明显的依赖关系. 表 1 所列 为图 1 中不同剂量热释光曲线的  $T_1$ ,  $T_2$  和  $\mu_g$  值, 计算得

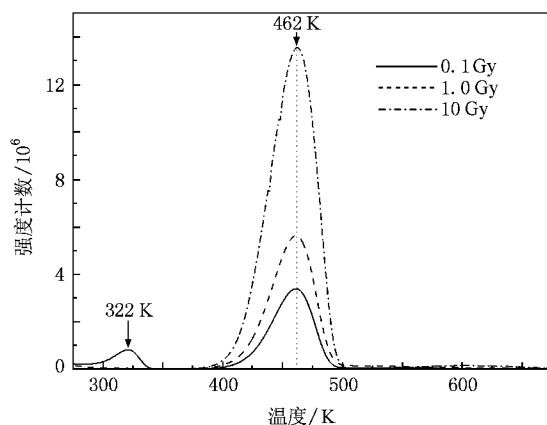


图 1 不同辐照剂量下  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体的热释光曲线

表 1  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  晶体在不同辐照剂量下热释光曲线的  $T_1$ ,  $T_2$  和  $\mu_g$  值

辐照剂量/Gy	$T_1$ /K	$T_2$ /K	$\mu_g$
0.1	435	482.0	0.426
1.0	437	489.5	0.417
10	439	478.4	0.416

到  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的形状因子  $\mu_g$  平均值为 0.42, 表明该晶体的热释光峰为一级动力学峰, 其热释光峰温不随辐照剂量的变化而变化. Yukihara 等<sup>[10]</sup>报道在剂量低于 30 Gy 时  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体特征热释光峰位置保持不变. 当辐照剂量大于 30 Gy 时, 热释光峰向低温方向移动, 而且热释光强度下降. 他们认为  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的热释光特征峰是由多个陷阱组分重叠在一起组成的, 造成峰位移动的原因是各组分的饱和剂量不同造成的. 在 0.1 Gy 的辐照剂量下, 热释光曲线在 322 K 附近有一个发光峰, 在更高剂量下, 该热释光峰消失. Akselrod 等<sup>[6]</sup>观察到 322 K 热释光峰在室温下数分钟后就会衰减完毕, 该峰对  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体在热释光剂量学上的应用影响不大.

图 2 是  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的 X 射线荧光光谱和三维热释光光谱, 辐照剂量为 0.5 Gy  $^{90}\text{Sr}$   $\beta$  射线. 从图 2 可以看出,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的发射波长位于 410 nm 附近, 该波长是光电倍增管的最佳波长响应, 这是  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体在热释光剂量学上使用的优点之一. 通常认为  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体生长过程中, 二价的  $\text{C}^{2+}$  取

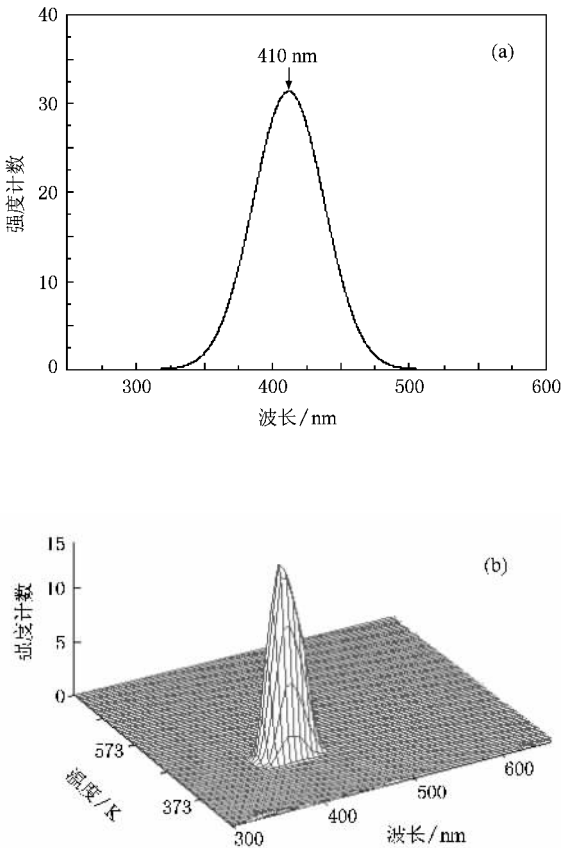
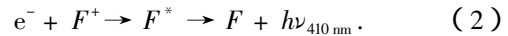


图 2  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的 X 射线荧光光谱和三维热释光光谱  
(a) X 射线荧光光谱 (b) 三维热释光光谱

代三价的  $\text{Al}^{3+}$  会导致晶体中形成大量的氧空位, 氧空位俘获一个或者两个电子生成  $F^+$  或  $F$  色心<sup>[6]</sup>, 目前 C 对晶体生长和性能的作用还存在争论. 吸收光谱测试证实  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体比纯  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  晶体中  $F^+$  和  $F$  色心的浓度高出数个数量级, 其浓度分别达到  $10^{16}$  和  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ <sup>[11]</sup>. 410 nm 发射波长是  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  晶体中  $F$  色心的特征发射波长, Akselrod 等<sup>[6]</sup>研究认为  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的热释光是加热过程导带中的自由电子与  $F^+$  色心复合发光, 过程如下:



$F^*$  是  $F$  色心的激发态,  $F$  色心  $^3P$  激发态跃迁到  $^1S$  基态同时发射波长 410 nm 的光子.

### 3.2. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ :C 晶体的光释光特性

图 3 是  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体在不同辐照剂量下恒定光源连续激发的光释光衰减曲线, 激发光源为 Risø TL/OSL-DA-15 自带的蓝色发光二极管阵列, 激发波长为  $470 \pm 30 \text{ nm}$ , 辐射源为  $^{90}\text{Sr}$   $\beta$  射线, 纵坐标发光强度做了归一化处理. 从图 3 可以看出,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体具有良好的光释光特性, 其衰减曲线呈现典型的指数衰减, 曲线由快衰减和慢衰减两个部分组成. 根据恒定光源激发的光释光简化模型<sup>[9, 12]</sup>,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体光释光的强度可以表示为

$$I_{\text{OSL}} = I_1 \exp\left(-\frac{t}{\sigma_1}\right) + I_2 \exp\left(-\frac{t}{\sigma_2}\right), \quad (3)$$

式中  $I_{\text{OSL}}$  为光释光的总强度,  $I_1$  和  $I_2$  分别为快衰减和慢衰减两个部分的起始强度,  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  分别为快衰减和慢衰减部分的衰减常数. 运用 (3) 式对晶体的光释光衰减曲线进行拟合, 得到衰减曲线的快衰减和慢衰减部分的衰减常数列于表 2. 从表 2 可以看出, 快衰减部分的衰减速率随辐照剂量的增加变化不大, 而慢衰减部分的衰减速率加快.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的光释光快衰减部分主要和晶体中的  $F$  色心的荧光寿命有关, 对温度变化很敏感, 辐射剂量对其影响不大<sup>[13]</sup>; 慢衰减部分则与导带附近的浅陷阱能级中俘获电子的浓度有关. 光激发的初始阶段, 被激发到导带的自由电子部分被浅陷阱能级俘获, 随后以较慢的速率释放出来, 与复合中心复合发光, 浅能级中俘获电子的浓度则与辐照剂量有关. Markey 等<sup>[14]</sup>研究发现, 慢衰减部分主要与导带附近的两个浅能级有关, 其陷阱深度分别为 0.65 和 0.77 eV, 热释光峰温分别在 270 和 308 K.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  :C 晶体的热释光和光释光是两个联系非常紧密的过程, Markey 等<sup>[14]</sup>

观察到光释光过程中晶体的发射波长同样位于 410 nm 附近,晶体的光释光过程同样是  $F$  色心发光的结果。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体在 462 K 附近的热释光峰不是单一陷阱能级,而是由多个陷阱能级重叠而成,其陷阱深度是一个能量分布,各个陷阱组分具有不同的光电离截面,而  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体热释光峰低温部分的陷阱组分对其光释光性能起决定作用<sup>[15]</sup>。在高辐照剂量(高于 10 Gy)下,随着辐照剂量的增加热释光峰向低温方向移动<sup>[10]</sup>,热释光峰低温部分具有相对高光电离截面的陷阱能级的光释光速度加快,导致整个晶体的光释光衰变速度加快。

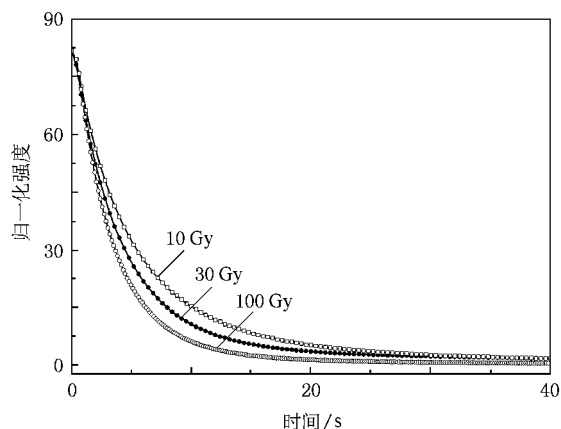


图 3 不同辐照剂量下  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的光释光衰减曲线

表 2  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体在不同辐照剂量下光释光曲线快衰减和慢衰减部分的衰减常数

辐照剂量/Gy	$\sigma_1/s$	$\sigma_2/s$
10	4.68	24.13
30	4.74	21.24
100	4.81	15.62

### 3.3. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ 晶体的辐射剂量响应

辐射剂量线性响应范围宽是  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体在热释光和光释光剂量学上应用的优点之一。图 4 是实验测得  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的辐射剂量响应曲线,辐射源为  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线,剂量范围为  $5 \times 10^{-6}$ —500 Gy,纵坐标是积分所得热释光曲线的面积  $S_{\text{TL}}$  或光释光曲线的面积  $S_{\text{OSL}}$ 。从图 4 可以看出  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的辐射剂量响应曲线呈线性-亚线性-饱和的特点。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  的热释光响应曲线在  $5 \times 10^{-6}$ —10 Gy 剂量范围内呈现良好的线性关系,30 Gy 时达到饱和;而其光释光响应曲线在  $5 \times 10^{-6}$ —60 Gy 剂量范围内

呈现良好的线性关系,100 Gy 时达到饱和。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的光释光剂量响应比热释光具有更高的灵敏度,更宽的线性剂量响应范围。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体热释光剂量学缺点之一是  $F$  色心发光效率的热猝灭,随着温度的升高, $F$  色心的发光效率降低,导致晶体的热释光灵敏度下降<sup>[16]</sup>。光释光过程不需要加热,有效避免了  $F$  色心发光效率的热猝灭,因而具有较高的灵敏度和较宽的剂量线性响应范围。从图 4 可以发现,当热释光和光释光达到饱和和剂量后,更高的辐射剂量将导致灵敏度下降。文献 [10, 14] 通过建立  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的热释光简单模型,利用深陷阱竞争机理合理地解释了不同剂量下热释光和光释光灵敏度的变化。假设在  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的禁带中分别存在一个深电子和深空穴陷阱,深电子陷阱的填充降低对导带自由电子的竞争,则更多的自由电子与  $F^+$  色心复合发光,导致晶体灵敏度增加。相反,深空穴陷阱的填充提高对导带自由电子的竞争,与  $F^+$  色心复合自由电子数目减少,导致晶体灵敏度降低。在低于饱和剂量下,激发到导带的自由电子或与  $F^+$  色心复合发光或被深电子陷阱俘获,而空穴被  $F$  色心或者深空穴陷阱俘获,两个反应过程  $F + h^+ \rightarrow F^+$  和  $F^+ + e^- \rightarrow F$  是平衡的,晶体中  $F^+$  色心即复合中心的浓度基本保持不变。随着深电子陷阱的填充,对自由电子的竞争减弱,导致晶体的灵敏度增加。在更高剂量下,深电子陷阱俘获自由电子逐渐达到饱和,但是深空穴陷阱仍然在填充。这时自由电子只能与  $F^+$  色心复合,导致  $F^+$  色心即复合中心浓度的降低,而且随着深空穴陷阱的填充,对自由电子的竞争加强,两大原因共同作用导致晶体灵敏度降低。

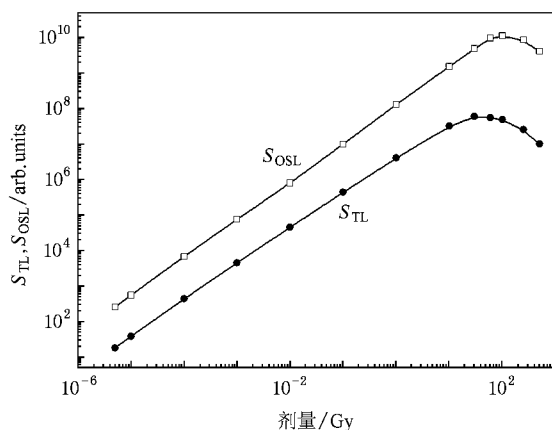


图 4  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线的热释光和光释光辐射剂量响应曲线

## 4. 结 论

采用温梯法以  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  和石墨为原料生长了具有优良热释光和光释光特性的  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的热释光特征峰位于 462 K, 属于一级动力学热释光峰. 随着辐照剂量的增加, 热释光强度逐渐增强, 热释光特征峰位置保持不变.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的热释光和光释光发射波长位于 410 nm 附近, 该波长是光电倍增管的最佳波长响应, 这是该晶

体在热释光和光释光剂量学上应用的一大优点.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的衰减曲线呈指数变化, 由快衰减和慢衰减两个部分组成. 快衰减部分衰减速率随辐照剂量的增加变化不大, 而慢衰减部分的衰减速率加快.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体的热释光和光释光响应曲线呈线性-亚线性-饱和的特点, 光释光剂量响应应具有更高的灵敏度. 相对高的饱和剂量和更宽的线性剂量响应范围主要是由于晶体中  $F$  色心发光效率的热猝灭造成的.  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  晶体在热释光和光释光剂量学领域具有十分广阔的应用前景.

- [ 1 ] Cameron J R , Zimmerman D , Kenny G , Buch R , Bland R , Grant R 1964 *Health Phys.* **10** 25
- [ 2 ] Nakajima T , Maruyama Y , Matsuzawa T , Koyano A 1978 *Nucl. Instrum. Meth.* **157** 155
- [ 3 ] McKeever S W S 1985 *Thermoluminescence of Solids* ( Cambridge : Cambridge University Press ) p13
- [ 4 ] Romanovsky V V , Marcus I F , Poroshina M S 1955 *Conference of the Academy of Sciences of the USSR on the Peaceful Uses of Atomic Energy* ( Moscow ) p65
- [ 5 ] Rieke J K , Daniels F 1957 *J. Phys. Chem.* **61** 629
- [ 6 ] Akselrod M S , Kortov V S , Kravetsky D J , Gotlib V I 1990 *Radiat. Prot. Dosim.* **32** 15
- [ 7 ] Akselrod M S , Kortov V S , Gorelova E A 1993 *Radiat. Prot. Dosim.* **47** 159
- [ 8 ] Xu J W , Zhou Y Z , Zhou G Q 1998 *J. Cryst. Growth* **193** 123
- [ 9 ] Zhang C X , Lin L B , Leung P L , Tang Q 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 291 ( in Chinese ) [ 张纯祥、林理彬、梁宝鑫、唐 强 2004 物理学报 **53** 291 ]
- [ 10 ] Yukihara E G , Whitley V H , Polf J C 2003 *Radiat. Meas.* **37** 627
- [ 11 ] Akselrod M S , Gorelove E A 1993 *Radiat. Meas.* **21** 143
- [ 12 ] Tang Q , Zhang C X , Leung P L , Li M , Luo D L 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 64 ( in Chinese ) [ 唐 强、张纯祥、梁宝鑫、李德卉、罗达玲 2005 物理学报 **54** 64 ]
- [ 13 ] Summers G P 1984 *Radiat. Prot. Dosim.* **8** 69
- [ 14 ] Markey B G , Colyott L E , McKeever S W S 1995 *Radiat. Meas.* **24** 457
- [ 15 ] Yukihara E G , Whitley V H , McKeever S W S , Akselrod A E , Akselrod M S 2004 *Radiat. Meas.* **38** 317
- [ 16 ] Akselrod M S , Larson N A , Whitley V , McKeever S W S 1999 *Radiat. Prot. Dosim.* **84** 39

# Thermoluminescence and optically stimulated luminescence characteristics of $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C crystal<sup>\*</sup>

Yang Xin-Bo<sup>1)†</sup> Li Hong-Jun<sup>2)</sup> Xu Jun<sup>1)</sup> Cheng Yan<sup>2)†</sup> Su Liang-Bi<sup>1)</sup> Tang Qiang<sup>4)</sup>

1) *Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China*

2) *Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China*

3) *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

4) *Department of Physics, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China*

( Received 15 April 2008 ; revised manuscript received 28 August 2008 )

## Abstract

In this work,  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  :C crystal was grown by temperature gradient technique using  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  and graphite powder as raw materials, and the thermoluminescence ( TL ) and optically stimulated luminescence ( OSL ) of the crystal were investigated by Risø TL/OSL-DA-15. The as-grown  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  :C crystal shows a single TL peak at 462 K and blue emission peak at 410 nm. The TL intensity increases as irradiation dose increases, but no shift is found in the position of the glow peak. The OSL decay curve of  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  :C crystal consists of two components, namely the fast component and the slow component. With the increasing of the dose, the decay rate of the fast component almost remains unaltered while that of the slow component increases. The TL response of the crystal shows excellent linear characteristic in the dose range of  $5 \times 10^{-6}$ —10 Gy, and saturation is observed at 30 Gy. The OSL response shows excellent linear characteristic in the dose range of  $5 \times 10^{-6}$ —60 Gy, and reaches saturation at 100 Gy. Compared with TL response, OSL response shows higher sensitivity and wider linear dose response.

**Keywords** :  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  :C, thermoluminescence, optically stimulated luminescence

**PACC** : 7860K, 7630M

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant No. 60607015 ) and the National High Technology Development Program of China ( Grant No. 2006AA03A104 ).

<sup>†</sup> E-mail : yangxinbo2000@163.com