

· 研究简报 ·

## 热释光剂量响应与升温速率的相关性

刘小伟 罗达玲 张纯祥

(中山大学物理学系)

**摘要** 本文利用热释光的动力学模型对升温速率引起的热释光剂量响应的非线性现象进行了研究。基于二级动力学模型,推导出热释光剂量响应与升温速率的关系式,说明了升温速率对峰高剂量响应的影晌是呈超线性的。

**关键词** 热释光, 发光曲线, 超线性

一般情况,在升温过程中,陷阱俘获的电子将跃迁到导带并与复合中心俘获的空穴相结合,因此用总计数标征热释光的强度时,热释光的相对剂量响应并不随升温速率改变而改变。但当用峰高作为热释光的响应时,由于升温速率对其发光曲线影响较大,相对剂量响应将随升温速率的改变而作较大的变化。Mische等人的实验表明<sup>[1]</sup>,随着升温速率的增加,超线性材料LiF(Mg,Ti)的相对峰高剂量响应将明显增大,且升温速率的增加将引起超线性的增加。他们通过引入附加的非发光的竞争陷阱来解释升温速率对热释光剂量响应的影晌,本文不引入此附加陷阱,而用热释光的动力学模型<sup>[2]</sup>。对此问题作一些探讨。

### 1 动力学分析

关于热释光的动力学模型,已有人对其作过深入的研究和评述<sup>[2]</sup>,本文将引用其结果。

对于线性升温过程,利用熟知的二级动力学模型<sup>[3]</sup>,热释光的发光曲线可用下式表示

$$I(T) = C \left( \frac{a_0 h_0}{H} \right) \cdot \frac{\exp(-E/KT)}{[1 + h_0/H \cdot f(T)]^2} \quad (1a)$$

$$f(T) = \left( \frac{a_0}{q} \right) \int_{T_0}^T \exp(-E/KT') dT' \quad (1b)$$

其中C为常数,  $a_0$ 为频率因子,  $H$ 为陷阱能级密度,  $T$ 为绝对温度,  $K$ 为玻尔兹曼常数,  $E$ 为陷阱能级深度。(1b)式可用下面的半收敛的渐近展开式代替<sup>[2]</sup>

$$f(T) = (a_0/q) \cdot T \exp(-E/KT) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (KT/E)^n (-1)^{n-1} n! \quad (2)$$

本文1992年1月31日收到

我们将利用以上公式对热释光的峰高剂量响应与升温速率的关系进行理论分析。为了更方便地讨论热释光剂量响应的非线性特性,引入下面的相对剂量响应关系式

$$R_H = \frac{dI_m/dD}{(dI_m/dD)_L} \quad (3)$$

其中 $R_H$ 为热释光的相对峰高剂量响应, $D$ 为辐射吸收剂量, $I_m$ 为热释光发光曲线的峰高,下标 $L$ 代表线性响应段的一个参考剂量下的情况。因为在升温过程中,所有被陷阱俘获的电子都将与复合中心俘获的空穴相结合,所以陷阱中的初始电子密度 $h_0$ 正比于总发光面积。因此可以把相对峰高剂量响应分为两部分,即

$$R_H = R_s \cdot R_h, \quad R_s = \frac{dh_0/dD}{(dh_0/dD)_L}, \quad R_h = \frac{dI_m/dh_0}{(dI_m/dh_0)_L} \quad (4)$$

这里 $R_s$ 为与升温速率无关的相对总面积剂量响应。 $R_h$ 为与升温速率 $q$ 和 $h_0$ 有关的非线性因子。

将(1a)式对 $T$ 求导,令其等于零,可得到对应于峰高时的温度 $T_m$ 所满足的方程

$$\frac{E}{KT_m^2} - 2\frac{a_0 h_0}{Hq} \cdot \frac{\exp(-E/KT_m)}{1 + h_0/H \cdot f(T_m)} = 0 \quad (5)$$

结合(5)与(2)式,可解得

$$\exp(E/KT_m) = (2a_0 h_0 KT_m^2 / EHq) - (a_0 h_0 / Hq) T_m \sum_{n=1}^{\infty} (KT_m/E)^n (-1)^{n-1} n! \quad (6)$$

一般情况下,陷阱能级深度 $E$ 远大于 $KT_m$ ,典型的情况是 $E \approx 20KT_m$ ,因此在1%左右的精度内,可取(2)式的前二项,由此得到

$$I(T_m) = (C/4) [(E/KT_m) + 2] (h_0 q / T_m) \quad (7)$$

$$\frac{dT_m}{dq} = KT_m^2 (E + 2KT_m) / [qE(E + 4KT_m)] \quad (8)$$

$$\frac{dT_m}{dh_0} = -KT_m^2 (E + 2KT_m) / [h_0 E (E + 4KT_m)] \quad (9)$$

从(8)和(9)式可以看出,当升温速率增加时,峰温 $T_m$ 将增加;而当初始陷阱俘获的电子密度增加时, $T_m$ 减小。考虑到 $E \gg KT_m$ ,因此可近似得到

$$dT_m/dq = KT_m^2 / qE \quad (10)$$

$$dT_m/dh_0 = -KT_m^2 / h_0 E \quad (11)$$

同样可以近似得到

$$dI_m/dh_0 = (Cq/4KT_m^2)E \quad (12)$$

因此,非线性因子近似为

$$R_h = T_{mL}^2 / T_m^2 \quad (13)$$

这里 $T_{mL}$ 为参考剂量对应的峰温。

(13)式表明,非线性因子反比于峰温的平方,而随着剂量的增加,峰温是减小的,因此非线性因子是呈超线性的。即当剂量增加时,相对剂量响应增大。

将 $R_h$ 对 $q$ 求导,并利用(10)式,可得到

$$dR_h/dq = 2(T_{mL}^2 K / EqT_m^2) (T_{mL} - T_m) \quad (14)$$

因此,  $dR_h/dq > 0$ , 即随着升温速率的增加, 峰高剂量响应的超线性增加。

## 2 讨论与结论

我们利用二级动力学模型对升温速率与峰高剂量响应的关系进行了较详细的分析。从上面分析的结果来看, 有以下几点结论: ①升温速率的增加将使峰温增加, 而陷阱中初始电子密度的增加将使峰温减小。②非线性因子是超线性的, 且随着升温速率的增加而增加。我们并不需要引入附加的陷阱来解释升温速率对峰高剂量响应的影响, 用基本的动力学模型就能解释此实验结果。可以预料, 当热释光材料呈亚线性时, 如LiF(Mg, Cu, P)等, 升温速率的增加将使峰高剂量响应的亚线性减少, 这也许在实际应用中是非常有意义的。

对于一级动力学模型<sup>(4)</sup>, 由于其发光强度 $I(T)$ 正比于 $h_0$ , 因此 $R_h = 1$ , 也就是说一级动力学模型不提供非线性因子。从此点来看, 二级动力学模型更准确地描述了热释光的发光机制。

## 参 考 文 献

- 1 Mische E F. Radiation Protection Dosimetry, 1989, 29(3):159
- 2 Chen R. Thermoluminescence and Thermoluminescent dosimetry, 1(3):84, Ed by Yigal Horowitz S, CRC Press, Inc, 1984
- 3 Garlick G F J, Gibson A F. Proc Phys Soc, 1984, 60:574
- 4 Randall J T, Wikins M H F. Proc R Soc London, Ser A, 1945, 184:366

## Dependence of Nonlinearity of Dose Response on Heating Rate in TLD

Liu Xiaowei\* Luo Daling Zhang Chunxiang

**Abstract** The kinetics model is used to study the effects of heating rate on nonlinearity of dose responses in thermoluminescence. The expression of dose responses to heating rate is deduced based on second order kinetics model. The derived heating rate dependent nonlinearity of dose response is shown to be in agreement with experimental results.

**Keywords** thermoluminescence, glow curves, supralinearity

\* Department of Physics, Zhongshan University