

LiF热释光剂量计高剂量测量方法的研究

张仲纶 苏震 郑雁珍 刘晓梅

(中国科学院生物物理所, 北京 100101)

摘要 LiF热释光剂量计有多个发光峰。在高剂量区 210°C主峰出现响应饱和现象, 而高温峰随剂量增高迅速增长, 应用计算机反卷积计算技术解析出各个温峰响应, 第8峰响应与第5峰响应比值在 10^3 — 10^5 Gy 范围内与剂量的对数有函数关系, 此关系有可能应用于高剂量测量。

关键词 LiF, 热释光, 辐射剂量计

辐射加工是利用电离辐射对物质或材料进行加工处理的一种手段。所涉及到的剂量区域为 10^2 — 10^6 Gy 高剂量区。目前采用的剂量测量体系多为一次性使用的液体与固体剂量体系, 如硫酸亚铁剂量计、丙氨酸剂量计^[1]、谷氨酸胺剂量计^[2]、辐射显色薄膜剂量计和有机玻璃剂量计等。由于一次性使用存在剂量计材料损耗的缺点, 因而寻求一种能够重复使用、读数准确的剂量体系是具有实用意义的^[3]。

LiF是常用的热释光剂量计之一, 它具有较好的剂量特性, 灵敏度高, 物理化学性能稳定, 可重复使用^[4]。尤其是对它的发光特性及其与各种因素的关系研究得比较透彻^[5]。比如, 它有9个发光峰, 各峰的寿命都有较准确的数据。在低和中等剂量范围应用时, 主要利用其4峰和5峰两个主发光峰, 它们与剂量之间呈现较好的线性关系。但在高剂量范围内则出现有超线性和饱和效应。因而难于将此种方法直接用于高剂量测量。

实验发现, 当剂量较高时, LiF的高温发光峰6—9峰随剂量较迅速地增长^[6], 在现代计算机反卷积技术发展之后^[7], 已经可以迅速地解析出各个发光峰的单独强度数值, 研究它们与剂量和其他因素的关系。本文探讨了高温峰及其与主峰的比例关系反映剂量数值的可能性。

1 测量装置与方法

1.1 热释光剂量计与测量仪

1.1.1 LiF(Mg, Ti)探测元件 北京核仪器厂生产的 $4\text{mm} \times 4\text{mm}$ 方片, 厚 0.8mm, 每次使用前在 400°C 温度下退火 1 h, 取出后迅速平放在不锈钢板上冷却, 然后在钴源辐射场中照射, 经 9 kGy 照射的 LiF 热释光剂量计发光曲线如图 1 所示。可明显地看到, 9 个发光峰依次排列, 然后峰 1 在几分钟之内就会衰退到很小, 而 5 峰则可达到近 80 年的半衰期, 发射的波长为 400 nm。

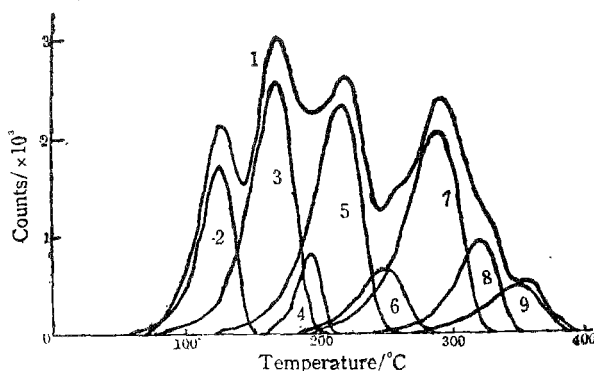


Fig 1. Glow curve of a LiF dosimeter chip

1.1.2 测量仪及其量程范围 北京核仪器厂生产的 FJ-377 测量仪,设计的剂量测量范围为 $10\mu\text{Gy}$ — 10Gy ,灵敏度调节到最低档时也只能扩展到 100Gy ,为了能测量较高的剂量,本文采用了滤光片减弱光电倍增管光阴极接受到的光强的办法,滤光片厚度为 3mm 。

1.2 快速计数微机接口及数据处理

1.2.1 接口结构特点 为了将发光曲线采集并存入计算机,又考虑到在高剂量区应用时剂量计发光强度较高和计数率高,因而特别设计了快速计数接口电路。FJ-377 热释光测量仪将光电倍增管输出的电流信号经电流频率变换器转换为脉冲串,将此脉冲传输给快速计数接口,接口采用了快速集成电路,最高计数率可达 500kHz ,因而在较强光测量时也不会发生漏计现象。在接口电路中计数器接收输入的脉冲信号,在定时器的控制下,每隔一定时间将计数器的数据锁存于锁存器中,同时将计数器置零,再继续计数。由于采用多级数据缓冲器,故计数死时间很小,避免了漏计。计算机通过数据总线读入锁存器中的数据。接口还将测量仪输出的温度信号采入计算机,从而能方便地获得热释光发光曲线。

1.2.2 数据处理 接口电路在微机控制下用中断方式获取数据,并实时显示在荧光屏上。发光曲线的横坐标取自温度信号的采集数据。用于发光曲线分析的测量应用线性升温方式。纵坐标为每一温度道位内的计数值, 400°C 范围内采 200 道位,温度升速为 5°C/s 。每测量完一个探测元件即获取一组数据,200 个温度值和 200 个计数值,存在 DAT 文件中。将原始曲线数据进行滤波光滑处理得到 FLT 文件,如果用多个探测元件测量一个剂量点,还可对多个曲线进行平均得到 MEA 文件,然后程序自动减除红外本底造成的本底曲线,再寻找曲线中发光峰位置,从而得到曲线初始参数,以供迭代运算使用。

1.3 发光曲线的反卷积

反卷积方法。根据热释光发光原理,一种热释光物质可有几种不同深度的电子陷阱,从而产生发光曲线具有数个位于不同温度处的发光峰,也就是说,在测量中总是得到一条由几个单峰发光曲线合成的发光曲线。根据热释光发光机制的动力学模型,每一单峰发光曲线皆可近似地表示为

$$P_i(X) = I_{mi} \exp\{1 + W_i(X - X_i) - \exp[W_i(X - X_i)]\}$$

X 是与温度相联系的变量。 $P_i(X)$ 是第 i 峰在 X 处的曲线值。 I_{mi} 是第 i 峰的最大高度。 X_i 是第 i 峰的最大高度处的变量值。 W_i 为与峰宽相联系的参数,简称峰宽。 n 个单峰发光曲线合成的发光曲线 $Y(X)$ 可表示为

$$Y(X) = \sum_{i=1}^n P_i(X) + C + a \cdot \exp(X/b)$$

其中 C 是反映本底发光的常数, $a \cdot \exp(X/b)$ 是加热盘和剂量片的远红外辐射对发光曲线的贡献。

对于 n 个峰的合成曲线, $Y(X)$ 是 $(3n+3)$ 个参数的非线性函数。它可以用最小二乘法拟合大量实验点,应用牛顿迭代法解参数非线性方程组以求得诸参数。

2 结果与讨论

2.1 剂量计吸收剂量的校准

为了研究 LiF 热释光剂量计高剂量辐照后发光曲线参数与吸收剂量之间的关系,需对剂量计的吸收剂量进行校准。首先应用标准剂量计测定 ^{60}Co 辐射场中固定位置标准剂量计的吸收剂量率,然后将 LiF 热释光剂量计置于该点辐照,按照辐照时间和标准剂量率值计算出吸收剂量。

标准剂量计采用中国计量科学研究院提供的重铬酸钾液体标准剂量计。辐照 5 种不同剂量,

每种剂量辐照 3 个剂量元件, 得到一组数据。根据最小二乘法拟合直线方程, 得到其斜率, 即为此点的剂量率。在辐射场中 4 个中心对称的校准点处测得剂量率分别为 1.003、0.983、0.978、1.006 kGy/min, 平均为 0.993 ± 0.014 kGy/min。

2.2 单个发光峰参数与剂量之间的关系

退过火的 LiF(Mg, Ti) 探测元件, 置于 ^{60}Co 强辐射场中受照射, 剂量率 0.901 kGy/min, 共照射 9 个剂量点, 每个剂量点照射 5 片探测元件, 由于剂量高, 发光强度大, 无需减除本底。从获得的 SUM 文件可以得到各个发光峰面积与剂量值之间的关系, 如图 2 所示。

从图可见, 低温峰在剂量高时, 较早出现饱和响应, 并且当剂量进一步增大时响应值反而降低, 5 峰作为主要剂量测量峰在剂量为 5 kGy 时即达饱和。然而, 对于高温峰 8 峰则随剂量的增高响应值迅速升高, 但也并非单调光滑的关系曲线, 所以不能直接应用于剂量的刻度。

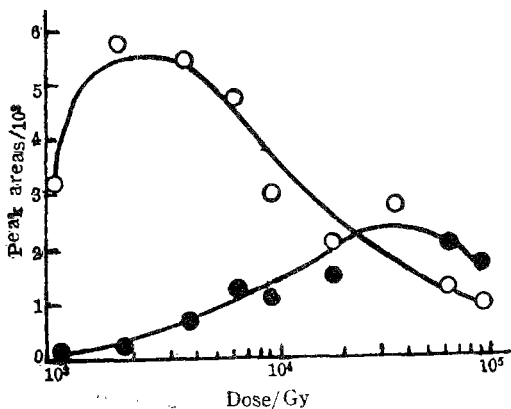


Fig 2. Peak 8 and peak 5 glow peak areas of LiF chips as a function of dose
(○) P_5 (●) P_8

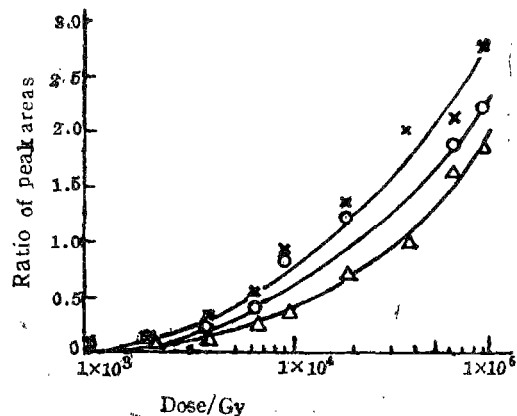


Fig 3. Ratio of glow peak areas as a function of log (dose)
(△) P_8/P_5 (○) P_7/P_5
(×) P_7+P_8/P_4+P_5

2.3 峰参数比值与剂量之间的关系

为了寻求某种参数能获得单调增长且光滑的剂量响应曲线, 试验了高温峰面积与主峰面积之比随剂量对数的变化(见图 3)。7 峰、8 峰与 5 峰之比值在剂量超过 5 kGy 之后呈现出迅速增长趋势, 峰 7/5 曲线比峰 8/5 曲线更靠近低剂量范围, 高温峰的峰温愈高, 则比值出现明显增长的剂量范围愈高, 而对于峰 7+8/峰 4+5 比值随 $\ln D$ 而增长的曲线则有更低的剂量范围。

为了定量地描述此种曲线, 拟合了几种函数, 其中以指数函数残差最小, 且函数关系比较简单, $R_s = 2.3175(1 - e^{-0.0185D})$, 其中 R_s 为峰面积之比值, D 为标准剂量计校准得到的吸收剂量值, 将此关系式输入计算机程序中, 只要测出发光曲线后解得发光峰面积比值即可算出对应的吸收剂量 D 值。例如峰 8 与峰 5 面积比值为 1.625 时, 应用其方程计算出的 D 值为 65.29 kGy, 与辐照剂量值 63.07 kGy 相比相差为 3.5%。

2.4 测量的重复性

热释光探测元件与其他高剂量探测器比较突出的优点在于可重复使用, 任选 10 片 LiF(Mg, Ti) 探测元件重复照射 9 kGy 剂量, 然后读出发光曲线, 并将反卷积解析出的结果按峰 8/5 比值与测量次序作图(见图 4), 可见各探测元件都有很好的重复性能。10 次测量标准偏差皆在 3.6% 以下, 能够满足高剂量测量要求。

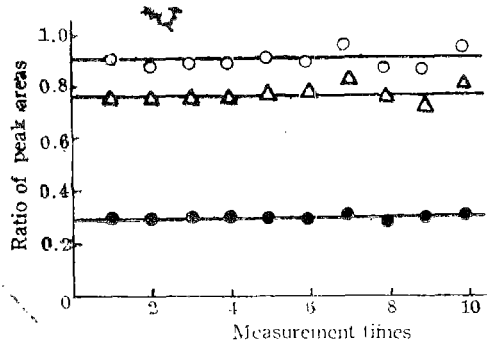


Fig 4. Reproducibility of ratio of glow peak areas
(●)TL 8/5 (△) TL 7/5 (○) TL 7,8/4,5

各探测元件之间有一定分散性,这是探测器本身性能所决定的,但经过挑选可以找到性能接近的元件。

3 结 论

1. 应用热释光探测器 LiF(Mg, Ti), 采用计算机反卷积方法, 按照峰面积比值与剂量对数之间的单调增长光滑刻度曲线测量高剂量是可行的。
2. 虽然峰面积之比值与剂量对数关系曲线不同于简单的线性关系, 计算比较复杂, 但由于使用计算机处理数据, 仍可迅速地获得剂量数值。
3. 重复性测量结果表明, 重复使用这种探测器元件时, 可以满足高剂量测量精度要求。

参 考 文 献

- 1 张仲纶, 刘成祥. 剂量学报, 1987, 8(3): 194
- 2 郎淑玉, 张仲纶. 辐射研究与辐射工艺学报, 1986, 4(1): 35
- 3 张仲纶. 中国科学院辐射技术与开发工作讨论会论文选编, 1985: 111
- 4 Wang Shoushan et al., Radiat. Prot. Dos., 1986, 14(1)
- 5 Oberhofer M, Seharman A. Applied thermoluminescence dosimetry, 1986
- 6 Horowitz Y S, Moscovitch M. Nucl. Instru. Meth, ods, 1986: 207
- 7 Moscovitch M et al., Radiat. Prot. Dos., 1984, 6: 157

HIGH DOSE DOSIMETRY BY LiF THERMOLUMINESCENCE DOSIMETER

Zhang Zhonglun Su Zhen Zheng Yanzhen Liu Xiaomei
(Institute of Biophysics, Academia Sinica, Beijing 100101)

ABSTRACT Glow curve of LiF thermoluminescence dosimeter consists of several peaks. Dose response of the main dosimetry peak in LiF present saturation at high dose. The response of various peaks can be analysed using computerised glow curve deconvolution. Ratio of peak 8 to peak 5 glow peak areas is proportional to log (dose) in 10^3 — 10^5 Gy dose range. The relationship can be used for high dose measurements.

KEYWORDS LiF, Thermoluminescence, Radiation dosimeter