

RESHI GUANG JILIANG CELIANG JISHU

(1978年会议资料选编)

热释光剂量测量技术

原子能出版社

内 容 简 介

本书是 1978 年 3 月召开的一次热释光仪器及剂量元件鉴定会议的资料选编。书中共收集十一篇报告,反映了当前国内热释光剂量测量技术的研究和应用的水平。本书可供辐射防护、环境保护、放射卫生等专业人员,剂量监测人员及大专院校有关专业的师生参考。

热释光剂量测量技术

(1978 年会议资料选编)

《热释光剂量测量技术》编辑组

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

(北京市西便门)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 8 · 字数 187 千字

1980 年 7 月第一版 · 1980 年 7 月第一次印刷

印数 001—5,200 · 统一书号: 15175·188

定价: 1.15 元

编者按语

热释光在辐射剂量测量方面的应用,是在六十年代发展起来的。热释光剂量计的突出优点是能量响应好,灵敏度高,受环境因素影响小,使用方便。近年来我国采用这种方法作累积剂量测量的单位越来越多。为了尽快推广应用这种新技术和促进热释光辐射剂量测量技术的配套,几个兄弟单位加强了协作,加速了研制工作,并于一九七八年三月召开了会议,对JR-152型热释光元件(天然氟化锂热压切片)、用于常规个人剂量和环境剂量监测的热释光剂量计以及FJ-369型热释光剂量仪进行了鉴定,对其它一些工作进行了交流。本文集就是这次会议资料的选编。其中有些工作尚不成熟,有的工作做得较粗,只能作为动态报道,供有关单位参考。热释光辐射剂量测量技术尚在研究发展中,有待各方面努力使之进一步提高和完善。

由于时间仓促,本文集难免存在缺点和错误,欢迎读者批评指正。

目 录

1. JR-152 型热释光元件——天然氟化锂热压切片	1
2. LiF(Mg,Ti)-M 型热释光剂量元件简介	13
3. 铥激活的硫酸钙玻璃管剂量元件的研制	25
4. NaCl 热释光元件剂量学性能的研究	31
5. 用于常规个人剂量监测和环境剂量监测的热释光剂量计	45
6. 手指剂量计	65
7. JR-101 型氟化锂-聚四氟乙烯热释光剂量计	71
8. 用于快中子辐射场的氟化锂反照中子个人剂量计的研制阶段总结	78
9. 用于快中子、 γ 混合场个人监测的一种反照剂量计	96
10. LiF 热释光剂量计的光子能量响应	102
11. FJ-369 型热释光剂量仪	105

JR-152 型 热 释 光 元 件

——天然氟化锂热压切片

聞迺华 胡德成 刘增录 陈仁林 曹新义 赵淑萍

一、引 言

本文着重介绍了真空热压制造氟化锂热释光元件的方法^[1]。用颗粒为 80—200 目的天然氟化锂（镁、钛）单晶粉末，在真空度为 1×10^{-1} — 1×10^{-2} 托，温度为 450°C ，压力为 3 吨/厘米²，保温时间为 50 分钟的条件，下，热压制成天然氟化锂（镁、钛）块，然后切成 $5 \times 5 \times 0.8$ 毫米半透明的乳白色方片。氟化锂热释光元件具有响应高，能量响应好，线性范围宽等剂量学特性，同时又具有机械强度大，体积小，重量轻，使用方便等优点。这种剂量计适用于 X、 γ 射线，中子及带电粒子的累积剂量测量。

二、真空热压切割成型

1. 专用设备

(1) 模具 模具采用 GH-37 高温合金钢制成。它由上、中、下模三部分组成(见图 1)。LiF(Mg, Ti)料装入模具内后，将模具放置在一个加热器中，加温压制成形后，取下下模，LiF(Mg, Ti)热压块即可从模具中脱出。

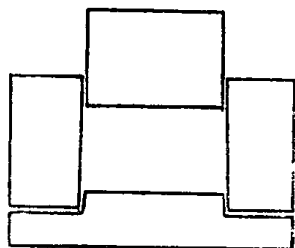


图 1 模具示意图

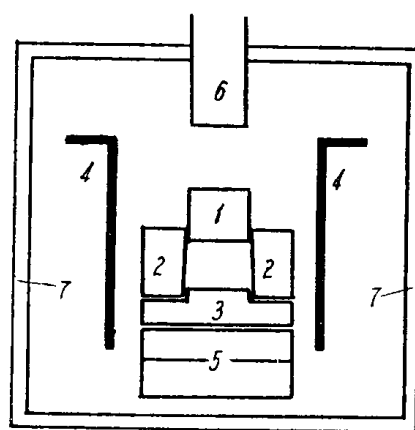


图 2 真空炉结构示意图

1. 上模，2. 中模，3. 下模，4. 加热器，
5. 垫块，6. 压力传动杆，7. 外壳。

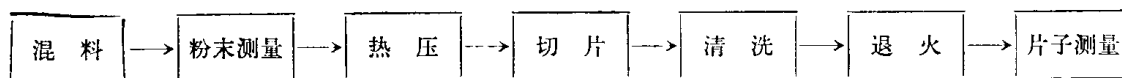
(2) 真空炉 高温热压成形一般是在一个大气压下进行。为了获得假荧光较小的热释光元件，我们采用真空热压法。真空炉是自行设计和自造的(见图 2)，其外壳为双层不锈钢板，内通冷却水，正面留有供装卸料用的活动门，背面连结一个真空机组，内腔采用石

墨加热器，炉上部正中间有一个压力传动杆向模具加压。

(3) 测量装置和测量条件 用 FJ-369 型热释光剂量仪进行测量，测量条件是：预热温度为 120°C ，预热时间为 10 秒钟，测量温度为 220°C ，测量时间为 15 秒钟，加热速度为 $40^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 。每次测量时注意将仪器预热至稳定，使光源读数变化在 0.820—0.840 伦之间。

2. 工艺流程

工艺流程方块图



将含有激活剂的氟化锂单晶^[2]捣碎取 80—200 目之间的粉末，并将粉末混合均匀，然后测其灵敏度。将合格的粉末装入模具中，在真空条件下，加热至 450°C ，保温 50 分钟，以每平方厘米 3 吨加压，并保压 5 分钟，在真空中自然冷却至室温。用内圆切片机切割成尺寸为 $5 \times 5 \times 0.8$ 毫米的方片，用无水乙醇，去离子水及洗衣粉洗净晾干，在 400°C 退火 1 小时、 100°C 退火 2 小时，然后进行测量，挑选合格的产品。

3. 最佳参量的选择

影响 LiF(Mg, Ti)元件质量的因素很多，其中温度、压力、恒温时间及保压时间等是重要因素。为了选择最佳条件，应用正交试验法^[3]进行了两批试验，找出了比较满意的压制成形条件。现将试验结果介绍如下。

(1) 第一批正交试验

在应用 $L_9(3^4)$ 正交表作四因素三位级的条件试验中，因素和位级的选择见表 1。

表 1 因素和位级

位 级 \ 因 素	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	压力(吨/厘米 ²)	恒温时间(分钟)	保压时间(分钟)
位 级 1	400	2	30	5
位 级 2	500	4	60	10
位 级 3	550	6	90	15

正交表 $L_9(3^4)$ 的构成共有九横行，四纵列，每列由三个 1，三个 2 和三个 3 组成，每两列组成的九个数字对恰好是 (1,1)，(1,2)，(1,3)，(2,1)，(2,2)，(2,3)，(3,1)，(3,2)，(3,3) 各出现一次，而且具有代表性。现将试验计划与试验结果分别列于表 2(A) 和表 2(B) 中。

从表 2(B) 中数据可见，温度选择 400°C 比 500°C 及 550°C 好，压力选择 2 吨/厘米² 比 4 吨/厘米² 及 6 吨/厘米² 好，恒温时间选择 60 分钟比 30 分钟及 90 分钟好，保压时间也是 5 分钟较好。从效应来看，温度是主要因素，其次是压力和恒温时间。保压时间的效应是很小的，是非主要因素，可以不再考虑。从外观来看，80、81 及 82 号压块颜色已经发生了变化，最满意的是 75、78 号压块。从相对灵敏度来看，75 号压块最好，它除了压力为 4 吨/厘米² 外，也符合表中的其余的几个最佳条件。

(2) 第二批正交试验

表 2 (A) 位级选择与结果

序 号	压 块 号	因 素				相对灵敏度 (读 数)
		温 度	压 力	恒温时间	保压时间	
1	72	1	1	3	2	5.513
2	73	2	1	1	1	5.035
3	80	3	1	2	3	5.077
4	75	1	2	2	1	5.614
5	81	2	2	3	3	4.730
6	77	3	2	1	2	4.792
7	78	1	3	1	3	5.209
8	79	2	3	2	2	4.875
9	82	3	3	3	1	4.730

表 2 (B) 结 果 分 析

因 素	温 度	压 力	恒 温 时 间	保 压 时 间
位 级 1 之 和	16.336	15.625	15.036	15.379
位 级 2 之 和	14.640	15.136	15.564	15.178
位 级 3 之 和	14.599	14.182	14.973	15.016
最大减最小值	1.737	0.813	0.591	0.363
效 应*	0.579	0.271	0.196	0.121
最佳条件选择	400°C	2吨/厘米 ²	60分钟	5 分钟

* 效应=最大减最小值/位级数。

根据第一批试验结果, 我们采用 $L_4(2^3)$ 正交表作第二批正交试验。试验中因素和位级的选择见表 3。

表 3 因 素 和 位 级

因 素	温 度 (°C)	压 力 (吨/厘米 ²)	恒温时间(分钟)
位 级 1	400	2	50
位 级 2	450	3	70

试验计划与试验结果列于表 4 中。

从表 4 (B) 中数据来看, 温度 450°C 较 400°C 好, 压力 3 吨/厘米² 比 2 吨/厘米² 好, 恒温时间是 70 分钟比 50 分钟好。从效应来看, 温度是主要因素, 而这两种恒温时间的差异是很小的, 是非主要因素。从外观来看, 86 号压块较好。用它切割成的片子乳白半透明较均匀, 且灵敏度也较高。

从第一, 二批正交试验结果, 我们选择了温度 450°C, 压力 3 吨/厘米², 恒温时间 50 分钟, 保压时间 5 分钟, 作为热压 LiF(Mg, Ti) 块的最佳条件。

4. 切片技术

切片是将氟化锂块粘接在切片机的刀架上, 然后切成一定尺寸的片子。

表 4 (A) 位 级 选 择 与 结 果

序 号	压 号	因 素			相对灵敏度 (读 数)	片 子 外 观
		温 度	压 力	恒温时间		
1	83	1	1	1	2.973	全乳白
2	84	2	1	2	3.329	乳白半透明
3	85	1	2	2	3.192	乳白半透明
4	86	2	2	1	3.448	乳白半透明较均匀

表 4 (B) 结 果 分 析

因 素	温 度	压 力	恒 温 时 间
位 级 1 之 和	6.165	6.302	6.421
位 级 2 之 和	6.777	6.640	6.521
最大减最小值	0.612	0.338	0.100
效 应	0.306	0.169	0.050
最佳条件选择	450°C	3 吨/厘米 ²	

(1) 粘接剂的配制和使用

把氟化锂热压块粘接在刀架上需要用粘接剂。粘接剂的制法如下：将虫胶(40%)，氧化铝粉(30%)，硫酸钡(20%)和作为增塑剂的磷酸三苯脂(6%)，邻苯二甲酸丁二脂(2%)，苯二甲酸异二辛脂(2%)等材料混合均匀，慢慢加热，在其刚刚熔化时搅拌，冷却待用。使用粘接剂时，加热温度的选择也要适当，温度过高碳化失效，清洗也困难；温度过低则粘接不牢，切片时物件容易脱落，损坏刀片。

(2) 切割

将 LiF (Mg, Ti)热压块粘接在以硬质石棉板为衬底的托盘上，固定在内圆切片机的刀架上，按所需尺寸(5×5×0.8 毫米)逐步切割成形。用无水乙醇洗去粘接剂和油污，再用洗衣粉和热的去离子水冲洗数次，直到片子表面清洁为止。切片质量与热压块成形工艺、切片机的精度、刀片质量、刀片固定技术和进刀速度有关。在我们目前的设备、工艺和操作技术的条件下，进刀速度以每一刀在 120—150 秒为合适。

(3) 切片的分散性

切片技术对元件性能有很大影响，其中主要的是：表面光洁度影响元件的灵敏度；尺寸不一致影响元件的重量分散性。因此我们对元件重量曾做过分析，如 42 号热压块切成的片子重量分散性见表 5。

从表 5 中看出，同一热压块切出的片子重量分散性绝大部分在±1% 以内，最大偏差在±3% 左右。

从第 55 号到 60 号连续 6 个热压块切成片子的平均重量分散情况列于表 6 中。

从表 6 数据看，每批元件之间重量偏差一般在±2% 以内。由此可见，因片子重量的分散性引起灵敏度的偏差是在测量误差范围之内的。

表 5 元 件 重 量 分 散 性

片 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
片子重量, 毫克	52.6	52.6	52.7	53.7	52.1	52.4	52.9	52.3	52.8	52.7
以平均值归一	1.000	1.000	1.001	1.020	0.990	0.996	1.005	0.994	1.003	1.001
片 号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
片子重量, 毫克	52.8	52.4	52.6	54.1	51.9	52.3	52.8	52.1	52.6	53.1
以平均值归一	1.003	0.996	1.000	1.028	0.986	0.994	1.003	0.990	1.000	1.009
片 号	21	22	23	24	25	26	27	28	平均值	
片子重量, 毫克	52.2	52.5	52.3	53.1	52.0	52.3	52.7	52.9	52.63	
以平均值归一	0.992	0.998	0.994	1.009	0.988	0.994	1.001	1.005	1.000	

表 6 不同热压块切成片子的重量分散性

编 号	55	56	57	58	59	60	平 均 值
片子重量*, 毫克	52.27	53.95	53.10	52.30	52.95	53.56	53.02
以平均值归一	0.986	1.018	1.000	0.987	0.999	1.010	1.000

* 每个数值为任意取 15—20 个片子重量的平均值。

5. 热压块的工艺稳定性

元件灵敏度的一致性与热压工艺稳定性有直接关系, 因此我们对热压工艺稳定性做了一些实验, 简单分述如下:

(1) 热压块各部分的均一性

热压块是一个 $\phi 40 \times 12$ 毫米的圆柱体, 柱体内各部位灵敏度的差异, 影响这批片子的均一性。我们在热压块内部选择具有代表性的不同部位, 观察其均一性。即将圆柱体如图 3 切成 5×5 毫米的正长方条, 取正中一排, 依次编号, 再切成 0.8 毫米厚的片子, 测量其灵敏度, 按其平均值归一数据列于表 7 中。

表 7 热压块纵向取样测量结果

编 号	1	2	3	4	5	6	7	平 均 值
相对灵敏度(读数)*	1.713	1.729	1.720	1.632	1.627	1.650	1.646	1.674
归 一	1.023	1.032	1.027	0.975	0.972	0.987	0.983	1.000

* 8 个读数的平均值。

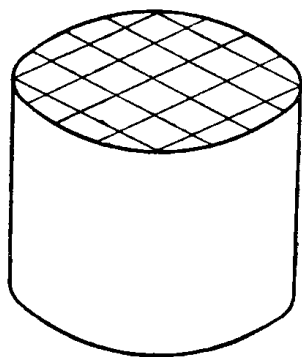


图 3 纵向切割示意图

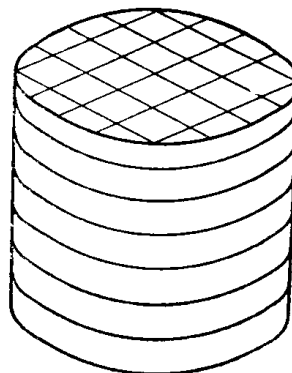


图 4 横向切割示意图

再将圆柱体如图 4 切成 $5 \times 5 \times 0.8$ 毫米片子，编号如图 4 所示，分层取样，测其灵敏度，求其平均值，归一列于表 8 中。

表 8 热压块横向取样测量结果

编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	平 均 值
相对灵敏度 (读数)*	1.724	1.689	1.732	1.690	1.695	1.642	1.610	1.707	1.686
归 一	1.023	1.002	1.022	1.002	1.005	0.974	0.955	1.012	1.000

* 7 个读数的平均值。

从表 7、8 中来看，热压块各部位灵敏度偏差一般在 $\pm 3\%$ 以内，最大偏差为 -4.5% 。

(2) 热压块之间的一致性

应用最佳热压工艺条件，对同一批号的 LiF(Mg, Ti) 料连续压制 6 块，测其相对灵敏度，取平均值归一列于表 9 中。

表 9 热压块之间灵敏度比较

编 号	1	2	3	4	5	6	平 均 值
相 对 灵 敏 度 (读数)*	4.229	4.175	3.907	3.944	4.184	4.086	4.082
归 一	1.036	1.023	0.958	0.967	1.002	1.000	1.000

* 20 个读数的平均值。

从上述试验结果来看，同一批料，同一工艺条件压制的 LiF (Mg, Ti) 块，它们之间的灵敏度分散性还是比较小的，一般都在 $\pm 5\%$ 以内。

(3) 热压切片灵敏度的分散性

热释光元件的灵敏度及其分散性是衡量元件质量的重要指标。现从 57 号热压块切成 $5 \times 5 \times 0.8$ 毫米的方片中任意取 50 片，测其相对灵敏度，按平均值归一列于表 10 中。

从表 10 中数据来看，片子的分散性绝大部分在 $\pm 10\%$ 以内。又如 109 号热压块，共测 206 片其中有 192 片的分散性在 $\pm 10\%$ 以内。

(4) 不同批料热压块之间的差异

表 10 片子灵敏度分散性

片 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
相对灵敏度 (读数)	1.756	1.686	1.717	1.800	1.776	1.862	1.762	1.762	1.722	1.642	1.806
归 一	1.012	0.972	0.990	1.038	1.024	1.074	1.016	1.016	0.993	0.947	1.041
片 号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
相对灵敏度 (读数)	1.667	1.812	1.790	1.835	1.678	1.766	1.796	1.761	1.773	1.819	1.714
归 一	0.961	1.045	1.032	1.058	0.967	1.018	1.035	1.015	1.022	1.045	0.988
片 号	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
相对灵敏度 (读数)	1.810	1.804	1.660	1.759	1.741	1.667	1.687	1.831	1.734	1.704	1.789
归 一	1.044	1.040	0.957	1.014	1.004	0.967	0.975	1.057	1.000	0.982	1.031
片 号	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
相对灵敏度 (读数)	1.755	1.721	1.706	1.780	1.718	1.690	1.721	1.740	1.720	1.714	1.527
归 一	1.012	0.992	0.984	1.026	0.990	0.974	0.992	1.003	0.992	0.988	0.880
片 号	45	46	47	48	49	50	平均值				
相对灵敏度 (读数)	1.748	1.633	1.697	1.765	1.606	1.742	1.735				
归 一	1.008	0.941	0.978	1.018	0.926	1.004	1.000				

我们将 5、6、7、8 号四批粉末在最佳工艺条件下热压切成元件，测量这些粉末和元件的相对灵敏度，以 8 号粉末和以它压制的元件的灵敏度为标准归一列于表 11 中。

表 11 不同批料热压块灵敏度读数比较

序号	编 号		5	6	7	8
1	粉 末	平 均 读 数	2.609	2.624	2.329	2.467
		归 一	1.058	1.064	0.944	1.000
2	元 件	平 均 读 数	1.758	1.725	1.605	1.679
		归 一	1.047	1.027	0.956	1.000
3	元件读数/粉末读数		0.674	0.658	0.689	0.680

表 11 中的数据是在同一台仪器上，在相同条件下测量的结果。序号 3 为元件与它对应的粉末读数之比，由此可见，粉末压制成元件后，灵敏度相应地降低到原来的 65—

70%。数据还可以说明用灵敏度较高的粉末压制出的元件的灵敏度也较高。

三、元件的剂量学特性

天然 LiF(Mg, Ti) 热释光元件的能量响应、方向性、衰退、环境影响等有关的剂量学特性, 已在本汇编“用于常规个人剂量监测和环境监测的热释光剂量计”一文中叙述了, 这里不再重复。本文只对元件剂量响应的线性、分散性、重复性、测量下限、退火方法等方面作些补充研究, 其结果分述如下:

1. 元件的剂量响应

天然 LiF(Mg, Ti) 热释光元件用作剂量测量时, 剂量响应线性是一个重要特性。为此, 用 ^{60}Co - γ 射线对元件从 10 毫伦— 5×10^5 伦进行照射, 研究其剂量响应, 结果如图 5 所示。

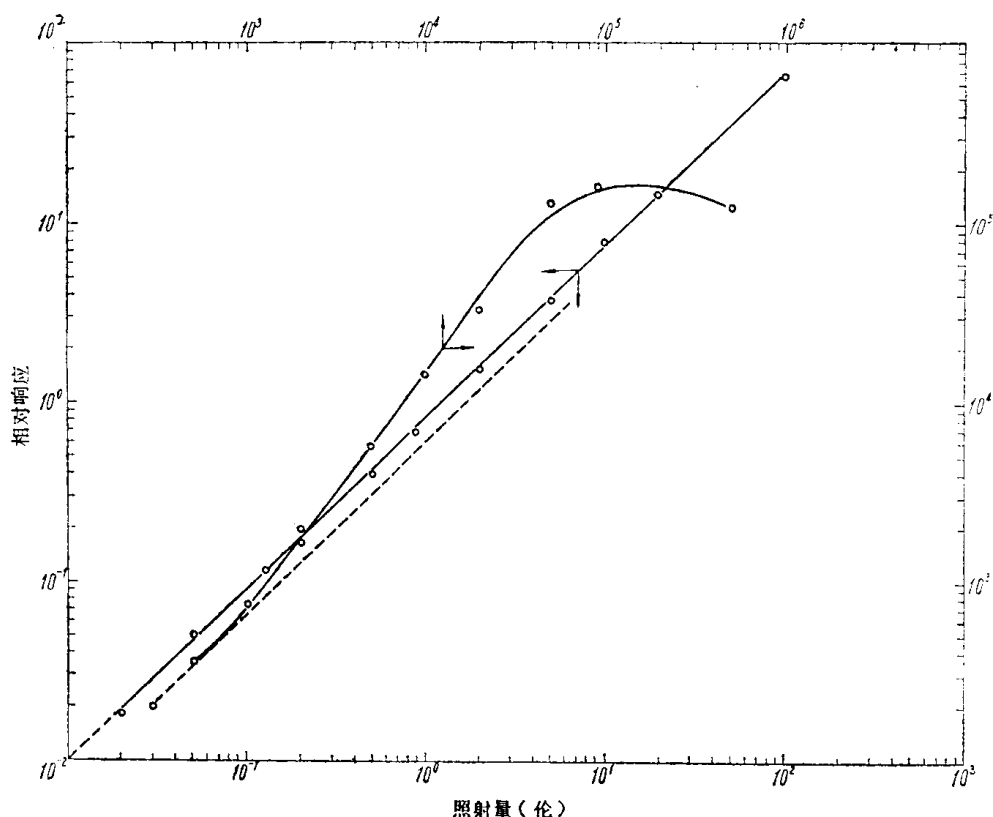


图 5 剂量响应曲线

从图 5 中看出, 500 伦以下为线性范围, 500 伦以上开始超线性, 1000 伦时大约增长 12%, 10^5 伦时达到饱和, 5×10^5 伦下降 17%, 原因可能是晶格遭受破坏, 灵敏度下降。

2. 元件的分散性

元件的分散性是指元件之间剂量响应的差异, 这里, 我们用标准偏差来表示。它与晶体颗粒大小, 热压条件, 切片技术等因素有关。

选用同一批料, 在相同的热压条件下, 制成热压块; 从每块中任意抽取 10 片, 测量其分散性, 其结果见表 12。

从表 12 中看出, 热压块之间的分散性均在 10% 以内。同一个热压块切成的元件之间

表 12 不同热压块的元件分散性

片 号 \ 热 压 块	56	57	58	59	60
1	1.675	1.812	1.924	1.648	1.826
2	1.948	1.665	1.789	1.700	1.834
3	1.705	1.646	1.691	1.762	1.755
4	1.770	1.739	1.843	1.492	1.645
5	1.935	1.770	1.923	1.769	1.872
6	1.933	1.825	1.778	1.774	1.932
7	1.810	1.893	1.799	1.645	1.736
8	1.789	1.669	1.863	1.811	1.880
9	1.912	1.775	1.607	1.537	1.601
10	1.934	1.785	1.802	1.837	1.714
平 均 值	1.841	1.758	1.802	1.698	1.780
相对标准误差(%)	5.6	4.5	5.4	6.8	5.0

分散性,除了极少数元件之外,大部分在 $\pm 10\%$ 以内,说明用这种工艺制作的元件,其分散性不大。

3. 元件响应的重复性

热释光元件在多次反复使用过程中,响应将要发生某些变化,它与辐照史、热历史、测量仪器的稳定性、测量技术和使用条件等因素有关。在常规个人剂量监测过程中,辐照量一般不是很高的。因此,辐照引起元件的敏化和损伤是微不足道的。而关键是退火程序和测读过程中操作带来的影响。元件退火后,从加热盘取出,放置在不锈钢盘上冷却。冷却速度是保持 LiF(Mg, Ti) 200°C 主温峰灵敏度稳定的关键。一般选用 100—500°C/分钟的冷却速度。

在操作方面,应注意元件与加热盘上位置的重复;使用镊子时不要造成元件表面损伤;保持环境的清洁和防止灰尘等物污染元件。

由一批元件任意取 56 片,每次用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线照射 2 伦,作 30 次重复测量,由其中任意取 10 片的测量数据列于表 13。

从表 13 中看出在 30 次测量中,92%的元件重复性在 $\pm 10\%$ 之内,而 8% 超出这个范围。这里所说的元件重复性,当然包括测量仪器的重复性在内。

4. 退火方法

LiF (Mg, Ti)热释光元件退火条件在实际应用中十分重要,它直接影响元件的重复使用、发光曲线的形状和本底等。因此,必须通过实验,对退火条件进行初步选择:

(1) 退火盘材料的选择

选用不同材料做成退火盘,用同一批元件放入不同材料盘中,在 400°C 条件下退火 1 小时,然后用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线照射 1 伦,测量结果见表 14。

由表 14 中看出,铝盘和不锈钢盘退火效果是一致的,用紫铜盘和陶瓷盘退火的元件比用前两种盘的灵敏度低。紫铜盘经 400°C 高温退火后,表面发生氧化,不能应用。根据平时使用,发现不锈钢盘退火的片子容易变黄,我们建议用铝盘退火较适宜。

(2) 退火温度的选择

将同一批元件放入不锈钢盘中,加热至不同温度,退火 1 小时,快速冷却到室温(退

表 13 元 件 的 重 复 性

片号 次 读 数	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	
1	2.738	2.385	2.478	2.482	2.557	2.101	2.471	2.463	2.570	2.524	
2	2.618	2.539	2.487	2.288	2.447	2.067	2.358	2.383	2.493	2.363	
3	2.833	2.587	2.551	2.760	2.928	2.411	2.670	2.874	2.727	2.666	
4	3.002	2.836	2.760	2.661	2.786	2.326	2.691	2.856	2.699	2.341	
5	2.919	2.641	2.636	2.710	2.745	2.256	2.606	2.767	2.767	2.492	
6	3.004	2.764	2.809	2.601	2.909	2.195	2.715	2.789	2.655	2.612	
7	2.947	2.794	2.615	2.801	2.908	2.197	2.699	2.642	2.705	2.704	
8	3.057	2.763	2.861	2.868	2.817	2.444	2.663	2.886	2.785	2.418	
9	2.966	2.326	2.705	0.591	2.819	2.421	2.499	2.808	2.596	2.722	
10	3.019	2.582	2.773	2.717	2.866	2.409	2.440	2.519	2.796	2.721	
11	2.836	2.751	2.732	2.513	2.682	2.325	2.392	2.461	2.471	2.550	
12	2.780	2.445	2.613	2.719	2.691	2.218	2.556	2.528	2.585	2.465	
13	2.877	2.738	2.660	2.805	2.813	2.232	2.596	2.535	2.788	2.670	
14	2.714	2.587	2.778	2.468	2.556	2.312	2.639	2.633	2.677	2.721	
15	2.913	2.716	2.808	2.613	2.894	2.182	2.659	2.822	2.721	2.462	
16	2.863	2.776	2.801	2.720	2.920	2.154	2.525	2.547	2.281	2.370	
17	3.349	3.075	3.101	2.628	2.811	2.280	2.450	2.810	2.773	2.756	
18	2.554	2.582	2.383	2.484	2.351	2.132	2.415	2.337	2.519	2.498	
19	2.589	2.604	2.668	2.798	2.838	2.339	2.536	2.711	2.533	2.612	
20	2.603	2.458	2.610	2.547	2.660	2.293	2.641	2.423	2.404	2.645	
21	2.556	2.658	2.546	2.415	2.882	2.356	2.574	2.723	2.542	2.594	
22	2.680	2.511	2.520	2.563	2.762	2.223	2.513	2.476	2.534	2.476	
23	2.599	2.578	2.466	2.433	2.511	2.243	2.501	2.492	2.596	2.521	
24	2.658	2.604	2.626	2.650	2.882	2.292	2.666	2.717	2.754	2.404	
25	2.507	2.570	2.643	2.565	2.765	2.114	2.591	2.560	2.630	2.579	
26	2.714	2.570	2.668	2.533	2.645	2.035	2.588	2.581	2.616	2.516	
27	2.505	2.495	2.437	2.329	2.658	2.161	2.366	2.430	2.548	2.393	
28	2.555	2.246	2.263	2.184	2.369	2.016	2.159	2.191	2.433	2.053	
29	2.469	2.455	2.379	2.473	2.748	2.317	2.537	2.521	2.407	2.402	
30	2.524	2.188	2.194	2.396	2.582	2.085	2.441	2.301	2.533	2.203	
平 均 值	2.765	2.594	2.619	2.616	2.708	2.238	2.519	2.593	2.605	2.525	

表 14 不同材料盘对灵敏度影响

退 火 盘 材 料	铝	不 锈 钢	紫 铜	陶 瓷
读 数 归 一 化	1.000	0.997	0.962	0.922

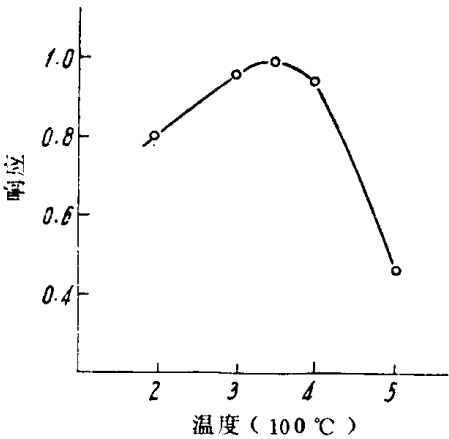


图 6 天然 LiF(Mg, Ti)在不同温度退火的影响

火后立即移到铁板上,用电风扇吹风冷却),结果见图 6。由图 6 可以看出在 350℃下退火1小时,其灵敏度最高。

(3) 退火时间选择

将同一批元件置于不锈钢盘中,加热至 400℃以不同时间进行退火,以后快速冷却(同上)其结果见表 15。

由表 15 中看出,退火时间 1 小时是合适的。

4. 退火温度对元件本底的影响

将 6 片 LiF(Mg,Ti)元件,用⁶⁰Co-γ射线先照射 10 伦,以后在 300℃下退火 1 小时;再照射 40 伦,

表 15 在 400°C 温度下不同退火时间的影响

退 火 时 间 (小时)	0.5	1	1.5
读 数 归 一 化	1.167	1.000	1.045

以后在400°C下退火 1 小时。用FJ-369型热释光测量仪测量其本底变化, 其结果见表 16。

表 16 退火温度对元件本底的影响

片 号	18	166	146	225	139	54
照射10伦读数	9.72		12.40	12.60	12.20	10.55
300°C退火后本底, 毫伦	15	17	11	12	15	15
照射40伦读数	48.5	42.5	47.8	44.2	49.8	45.2
400°C退火后本底, 毫伦	4	4	4	4	4	4

由表 16 中看出, 片子经 400°C退火本底涨落小, 由此可得出 400°C退火较好。

5. 元件的测量下限

元件的测量下限是衡量元件性能的主要指标之一, 它与材料种类, 颗粒大小, 射线种类, 辐射能量等因素有关。在实际使用中, 这一指标是人们常常关心的问题。为此, 我们将分散性为 $\pm 5\%$ 的方片分成七组进行了试验, 每六片为一组, 用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线分别照射1, 5, 10, 50, 100, 200, 400 毫伦, 测量结果见表 17。

表 17 元 件 的 灵 敏 度

照 射 量, 毫伦	读 数*, 毫 伦						平 均 值
1	2	2	2	3	3	2	2.33 ± 0.52
5	7	6	7	7	6	6	6.50 ± 0.55
10	10	12	11	10	12	11	11.0 ± 1.0
50	54	49	50	52	54	49	51.3 ± 2.3
100	98	97	111	97	99	103	100.8 ± 5.6
200	196	202	195	196	205	217	201.8 ± 8.4
400	414	403	430	394	405	416	410.3 ± 12.5

* 读数中已扣除本底。

由表 17 可见, 测量 5 毫伦是可行的。

四、问 题 和 讨 论

1. 真空热压切片工艺能直接影响元件的基本性能, 例如, 真空条件能够减少元件的假荧光, 但它同在惰性气氛和一个大气压条件下热压成形的元件有何差异, 有待进一步去做这方面的工作。

2. 目前使用的真空热压炉尚存在一些问题。热压炉密封程度比较差, 真空度低, 不

够稳定,实验时真空度只能控制在 1×10^{-1} — 1×10^{-2} 托,因此,真空度的变化对元件性能有何影响,有待于进一步研究。

3. 我们发现目前制备的元件,在最初几次测量时,灵敏度有增长趋向,用 3,4 次后趋于稳定。其原因不清楚,有待于进一步研究。

参 考 文 献

[1] 英国专利 1186899(1967 年)。

[2] 261 厂 氟化锂-聚四氟乙烯热释光剂量计,放射医学,1975 年第一期。

[3] 中国科学院数学研究所统计组编,方差分析,第 65 页,科学出版社 1977 年版。

LiF(Mg,Ti)-M 型热释光剂量元件简介

卫 民

摘 要

LiF(Mg, Ti)-M型热释光剂量元件, 是用 LiF(Mg,Ti)元件, 经敏化和紫外退火工艺处理, 制成的一种敏化元件。它与非敏化热释光元件相比, 在剂量学特性方面得到改善, 如扩大了量程线性范围, 提高了灵敏度, 改善了能量响应及重复使用性能。同时, 这种工艺也克服了传统的 LiF 敏化元件存在的缺点, 降低了本底, 减少了光敏, 提高了低剂量的测量精度。文中比较详细地介绍了这种元件的剂量特性及工艺特点。

一、引 言

热释光剂量计^[1]由于具有量程宽、灵敏度高、稳定性好、可重复使用及测量方便等优点, 所以应用越来越广泛。在各种热释光剂量元件中, LiF 热释光元件是较受欢迎的一种。目前, 国内使用的国产 LiF 热释光元件有两种, 一种是 LiF(Mg,Eu)敏化元件^[2], 另一种是 LiF(Mg, Ti)非敏化元件。在配方上, 前者中掺入了中子截面大的 Eu 元素, 在混合场使用时感生放射性较大, 故不再生产, 而逐渐被后者取代。从工艺上看, LiF 元件, 由于采取了敏化措施, 克服了非敏化元件一系列缺点, 从而具有能量响应好, 线性范围宽(至 5×10^4 伦未出现超线性), 灵敏度高, 重复使用性能好等剂量特性。当然, 这种敏化工艺生产的元件具有光敏强、本底大等缺点, 如不加以解决, 在实际使用中, 特别是在低剂量测量方面将受到限制。本文介绍的 LiF(Mg, Ti)-M 型热释光元件既具备敏化元件的优点, 又克服了敏化工艺带来的问题, 在试用中评价较好。

二、敏化和紫外退火概述

我们知道, 很多磷光体的热释光响应具有超线性、敏化等现象, 不少文献^[3-5]探讨了有关机理。在我们研制 LiF 热释光剂量元件时, 用竞争陷阱模型的理论基本上可以解释实验中的一些现象。这种理论认为, 在 LiF 热释光材料中, 存在两类陷阱, 即热释光剂量测量陷阱(以后简称 TLD 陷阱)和“深”陷阱(或称干扰陷阱)。电离辐射辐照后形成的载流子, 被这两类陷阱俘获, 其中干扰陷阱具有更大的俘获几率。在测量时, 随着加热温度逐渐升高, 俘获在 TLD 陷阱中的载流子得到足够的能量, 从陷阱中逸出, 将剩余的一部分能量以光的形式释放出来而跃迁到基态。但是, 由于这时的测量温度低于那些“深”陷阱的峰温, 俘获在“深”陷阱中的载流子仍留在陷阱中, 不发光。这些只俘获载流子而未被测量的陷阱, 称为竞争陷阱或干扰陷阱。随着照射量的增加, 这些干扰陷阱不断被载流子填充, 与 TLD 陷阱竞争载流子的能力逐渐减小, 这时, 照射量与热释光的关系出现超线