

再 録

フッ化リチウム単結晶 TLD の製作と特性**

丹 羽 健 夫, 森 嶋 彌 重, 古 賀 妙 子
河 合 廣, 高 野 修 一*, 西 川 秀 美*

Preparation of Single Crystal LiF TLD and Its Characteristics**

Takeo NIWA, Hiroshige MORISHIMA, Taeko KOGA,
Hiroshi KAWAI, Shyuuichi TAKANO* and Hidemi NISHIKAWA*

ABSTRACT

Single crystals of thermoluminescence lithium fluoride dosimeter (LiF TLD) with copper (0.05 mol%), magnesium (0.2 mol%) and phosphorus (0.1~0.5 mol%) as activators were produced for the purpose of eliminating the self-absorption of thermoluminescent light. TLD elements of the size $4 \times 4 \times 2 \text{ mm}^3$ were cut from the single crystal produced. Among the activators phosphorus was reported to be the most effective for the thermoluminescence. For single crystal formation the threshold of the doping amount was observed even in the chemical form of Li_3PO_4 . Results obtained are that the optimum amount of phosphorus activator is 0.5 mol% and the optimum bottom angle of the graphite crucible for single crystal formation is nearly 60° .

For practical use production of large volume single crystal ($60 \text{ mm}\phi \times 90 \text{ mm}$) was examined. Two single crystals were successfully produced and 474 usable TLD chips were obtained from the both crystals. This suggests that the single crystal LiF TLD may replace the TLD's currently used.

KEYWORDS

thermoluminescence, chemical preparation, lithium fluoride, single crystal, activators, thermoluminescent dosimeters

I. 緒 言

TLD は個人の線量当量測定用だけでなく、環境の線量測定用としても広く利用されている。わが国では、熱蛍光物質として硫酸カルシウムが主として使用されているが、それは感度が非常に良いことによると思われる。

しかし、より正確な線量当量評価にはフッ化リチウ

ム (LiF) のような生体等価素子が望ましい。LiF の実効原子番号は 8.14 で生体組織の実効原子番号の 7.4 に近く、1.2MeV と 3.0keV の光子エネルギーに対して約 30% しか応答が違わない⁽¹⁾。これに対して、硫酸カルシウムの実効原子番号は 15.6 で、30keV の光子エネルギーに対する応答は ^{60}Co (1.17 と 1.33MeV) に対するその 11 倍である⁽²⁾ (松下電器製 UD-200S

*応用光研工業㈱ (Ohyo Koken Kogyo Co., Ltd.)

**日本原子力学会誌, 34(9), 869-877(1992)

はフィルタ付きであり、この部分は裸の素子にのみ適用される。生体等価という面では、酸化ベリリウム (BeO) が実効原子番号が7.13⁽³⁾ と LiF よりむしろ優れている。

検出器としては、硫酸カルシウムの $1\mu\text{Gy}$ ⁽⁴⁾ に比べて LiF 等は2桁高く、 $100\mu\text{Gy}$ ⁽¹⁾ で硫酸カルシウムより劣るが、個人モニタ用としてはこの程度で十分である。また、単結晶化した場合は素子のサイズを大きくすることにより（もちろんそのときは読取り機の受光部分のサイズの変更が必要になるが）、光利得を上昇させることができる可能性をもっている。すなわち、従来の粉末素子の場合は2次的にしか発光を捕捉できないのに対し、単結晶にすれば透明になるため、 NaI シンチレータの場合のように発光を3次的に捕捉できるので、必要に応じてそのサイズを決めることができる。さらに、 LiF の単結晶は潮解性がほとんどないのでガラス等に封入する必要がない。また、 LiF の融点は 845°C と比較的低いことが単結晶素子の製造を容易にしている（他の酸化物融点はみな 1000°C を超えている）。また、結晶系が立方晶系で、希望の形に分割することが容易であるという利点がある。

以上の観点から、われわれは LiF 単結晶を試作して、その TLD の諸特性と製造上の問題点を探究し、さらに実用化に備えて、大容積の単結晶を試作して、それに伴う諸問題、すなわち同量の活性剤の添加により単結晶化が可能か、また単結晶の軸方向の感度分布や直線性等を検討した。

II. 小容積単結晶製作と T L 特性

1. 実験

(1) 単結晶の製作

LiF を内底部を尖らせた内径 23mm、長さ 100mm の円筒型黒鉛のつば (Fig. 1) に入れて真空中で 900°C に加熱し、加熱用コイルヒータを 2mm/h の速度で引き上げると、つばの下部尖端から単結晶が成長する⁽⁵⁾⁽⁶⁾ (ブリッジマン法)。この試料には、高感度活性剤として中島らにより報告され⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾、Wu Da-ke らにより確かめられた Mg , Cu , P を入れた⁽¹⁰⁾。生成した単結晶から、へき開面に沿って $12\times 3\times 2$ および $5\times 5\times 2\text{mm}^3$ の素子を切り取った。

この場合、 $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ を活性剤として添加した場合、0.25mol% 以上では単結晶にならなかったり、単結晶化しても結晶全域にわたって無数のヒビ割れを

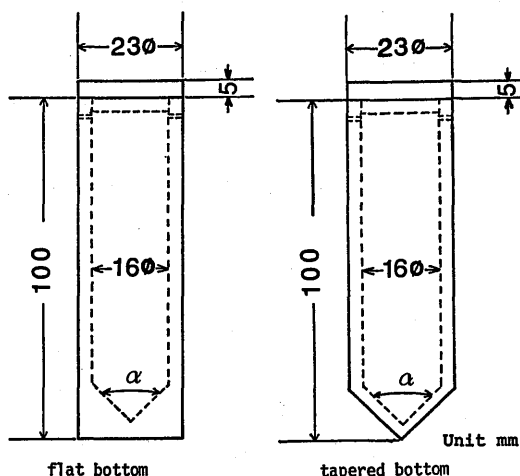


Fig. 1 Dimensions of flat bottom crucible and tapered bottom crucible

起し、良質の素子を切り取るのが困難であった。そこで、 P を Li_3PO_4 の化学形で添加すると、0.25mol% 以上に添加でき、0.5mol% でも良好な単結晶が得られた。

γ 線照射による発光量の測定においては、上記製作の素子は、残存捕獲担体または不用捕獲担体消去のため、 γ 線照射前に、 Ar 雰囲気中 350°C で 30min アニリングを行なった。

従来は Mg 0.2mol%, Cu 0.05mol% として、感度に大きく影響する P 量を変えて特性を調べたが⁽⁵⁾⁽⁶⁾、 Mg 量も一般に影響を及ぼす因子であるので、 Cu , P を一定にして Mg を変えて特性を調べた。

また、つばの底の平らな平面底と底の尖った先鋭底の2種類を使用し (Fig. 1), それぞれの先端角 α を 60° , 90° , 120° と 30° , 60° , 90° とに変化させて単結晶を生成した。

(2) γ 線照射と測定

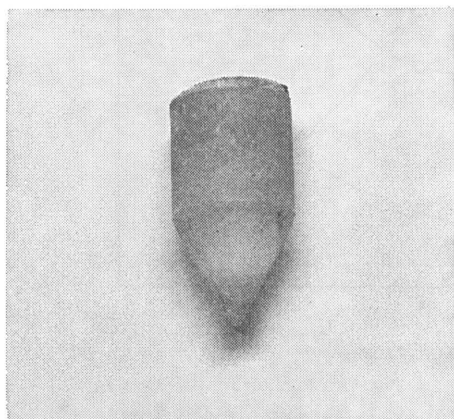
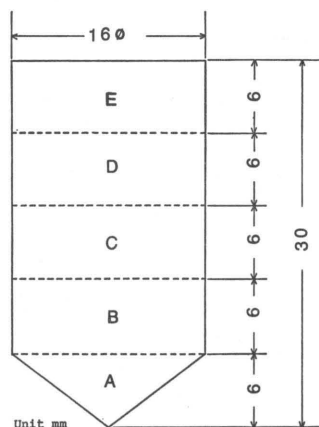
活性剤の量ならびにつばの形状などが発光量に及ぼす影響を調べる目的で、 γ 線照射を行なった。 γ 線照射は ^{60}Co 線源を使用し、 $2.58\times 10^{-4}\text{C/kg(1R)}$ で行なった。

測定に使用した熱ルミネッセンス測定装置はアロカ TR-1010 および HARSHAW 2000 である。加熱温度は $100\sim 300^\circ\text{C}$ の範囲であった。発光量は、アロカ TR-1010 では mR で、HARSHAW 2000 では C で表示される。それぞれの装置での直読値を相対発光量 (relative intensity) と定義した。

Table 1 Influence of phosphorus content on TL intensity

Mole percent of P	0.10	0.15	0.20	0.25
Relative TL intensity†	259	499	310	976

†Intensities of single crystal TLD were normalized to that of 200mg TLD.

**Photo. 1** LiF single crystal**Fig. 2** Dimension of single crystal cross section

2. 結果と考察

(1) P量と発光量

単結晶中の活性剤である Mg を 0.2mol%, Cu を 0.05mol% と一定にして, P を 0.10, 0.15, 0.20, 0.25mol% とする素子に同一線量の γ 線照射を行なった場合の相対発光量を **Table 1** に示す。素子重量は 200mg に換算した。P 量を増すと発光量は増加する。

製作した単結晶は, **Photo. 1** のように, 円筒型で先端が尖った形をしており, 軸方向の長さが約 3cm, 直径約 1.6cm である。先端部分(下部)と上部との間の各部の発光量を比較するため, **Fig. 2** のように, 軸方向に垂直な面で 5 等分して A, B, C, D, E とし, これより切り取った素子について発光量を測定した (**Fig. 3**)。P の添加量が 0.25mol% の場合, 上部から切り取った素子の発光量が若干高くなる傾向を示した。これはゾーニング現象で, 活性剤として添加した Mg, P が上部に押し上げられるため, 上部に行くほど濃度が高くなるからと思われる。

前述のように, 活性剤 P の化学形を $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ から Li_3PO_4 に変えて添加すると発光量が増加し, P 量も 0.25mol% 以上に添加できることがわかった

(**Fig. 3**)。 Li_3PO_4 0.5mol% の場合, 切断部位 B で発光量が最大になるが, C, D, E と上部へ行くほど発光量が低下するのは, 上部では単結晶化が不十分で透明度が低いためと思われる。

(2) Mg 量と発光量

単結晶中の活性剤である P を 0.25mol%, Cu を 0.05mol% と濃度を一定にして Mg の濃度を 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0mol% と変化して製作した素子に, 同一線量の γ 線照射を行なった場合の発光量を **Fig. 4 (a)** に示す。Mg の濃度が 0.1, 0.2mol% の素子が発光量の大きいことがわかった。

P を添加せず, Cu の濃度を 0.05mol% と一定にし, Mg の濃度を 1.0, 3.0, 5.0mol% と変化して製作した素子についての発光量を **Fig. 4 (b)** に示す。Mg の量を 3.0, 5.0mol% 添加したものは単結晶化せず白濁した。1.0mol% 添加して製作した素子は, 単結晶化されて透明なものができ, A~E の全部位で一樣な発光量を示した。そして P, Cu, Mg の濃度がそれぞれ 0.25, 0.05, 0.1~0.2mol% の素子に近い値 (**Fig. 4 (a)**) を示した。これらのことは, 同一の単結晶から, より多くの均一な発光特性の高感度素子を取り出すことができることを示唆するので, さらに検討中である。また, P 以外の活性剤の混入によっても感度の向上が期待できる。

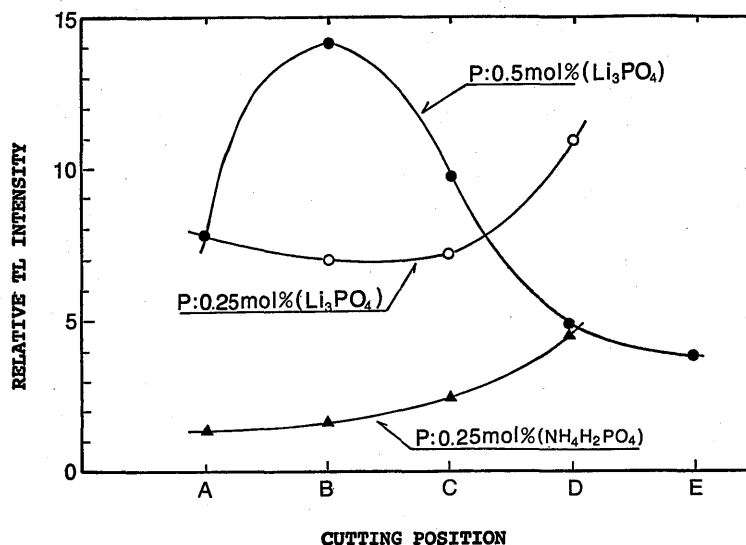
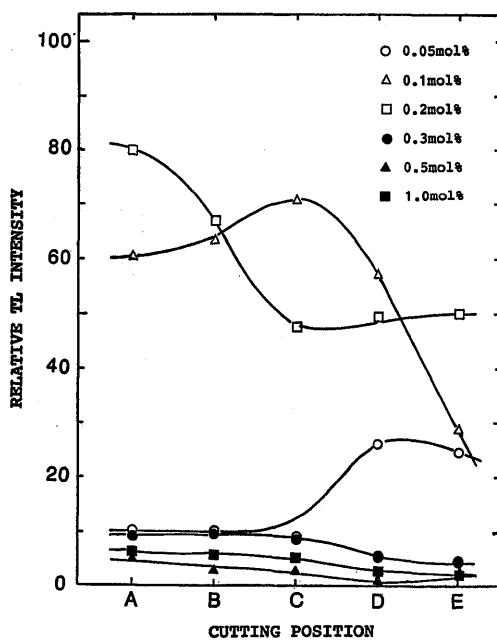
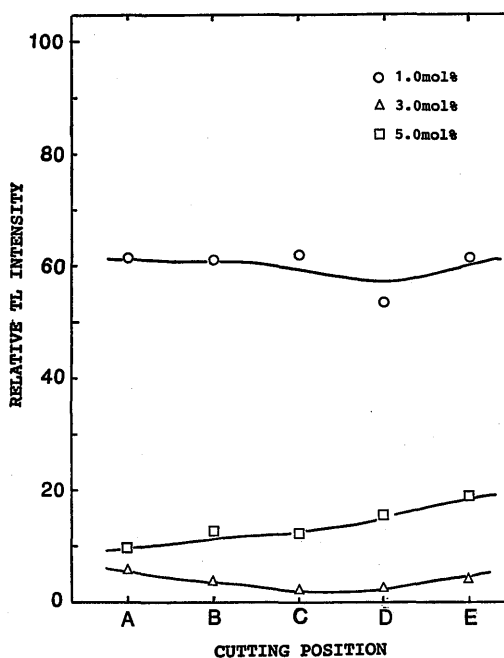


Fig. 3 Influence of TLD cutting positions and activator chemical forms on TL intensities (Activator: Mg 0.2 mol%, Cu 0.05 mol%, P0.25 & 0.5mol%; flat bottom crucible, bottom angle 120°)



(a) Activator: P 0.25mol%, Cu 0.05mol%, Mg 0.05~1.0mol%; tapered bottom crucible, bottom angle 60°



(b) Activator: Mg 1.0~5.0mol%, Cu 0.05mol%; tapered bottom crucible, bottom angle 60°

Fig. 4 (a), (b) Influence of TLD cutting positions and Mg amount on TL intensities

(3) るつぼの形状による単結晶の状態と素子の発光量

① るつぼの形状と単結晶の透明度

るつぼの底の平らな平面底と底の尖った先鋭底について、それぞれの先端角を 60° , 90° , 120° と、 30° , 60° , 90° と変化させて生成した単結晶について、その透明度を調べた (Table 2)。ここで、A, B, C, D, E は生成した単結晶を 5 等分した時の最下部からの位置を表わす (Fig. 2)。透明度は素子を肉眼で観察し、素子全体がガラスのように透明であるか、一部に不透明な部分があるかで良否を判定した。平面の場合、活性剤 P 量が $0.25\text{mol}\%$ で、 60° , 90° , 120° について比較して見ると、 60° は単結晶化がほとんど進まず、 120° のものがほぼ最上部 E の部分まで透明になり、鈍角の方が単結晶化が良好である。一方、先鋭底はこの逆で、例えば、P の量が $0.5\text{mol}\%$ で見ると、先端角 30° のものが E の部分まで透明で、先端角が先鋭になるほど単結晶化が良好である。

単結晶製作法のブリッジマン法では種結晶を用いなくてよいので、るつぼの下端の尖った部分がまず冷えて、自然に発生した結晶核を中心とした微結晶が先端にいくつかでき、これが各成長を続け、やがて 1 つの方位を持つ結晶だけになる (単結晶) と考えられる⁽¹¹⁾。これはあたかも流体中のいくつかの小渦が集まって 1 つの渦に成長する現象を連想させる。この場合、小渦相互間の距離が離れすぎるとは 1 つにならぬよ

うに、生成した微結晶間の距離に近い (さらに結晶方向も) ことが単結晶に成長する条件かもしれない。るつぼの先端角の大小、さらにその壁の厚み、平面底か先鋭底かがその初期条件に大きく関係するのではなからうか。われわれの場合は $60^\circ \sim 90^\circ$ 、壁厚 5mm、先鋭底が最適であった (平面底ではむしろ鈍角が良かった)。文献(11)の著者は鈍角が良いとしているが、その具体的な実験説明は何もない。

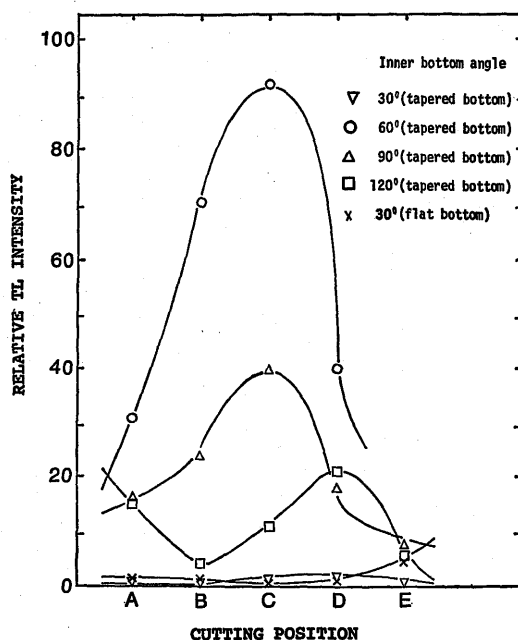
② るつぼの形状と素子の発光量

次に、るつぼの先端角の違いによる素子の発光量を、生成された単結晶の取り出し部位を A, B, C, D, E の 5 段階に分け (Fig. 2)、活性剤の P 量も 0.25 , 0.5 , $0.7\text{mol}\%$ の単結晶について測定し比較した (Fig. 5 (a)~(c))。活性剤 P の量が $0.5\text{mol}\%$ について見ると、取り出し部位の中央をピークに山形になる (Fig. 5 (a))。これは、活性剤が単結晶成長時に不純物となり、ゾーニング現象で押し上げられて次第に発光量が多くなるが、中央部を過ぎると活性剤等の量が多くなり、単結晶化が困難となって結晶が白濁し、これによる自己吸収が多くなり、発光量が減少するためであると考えられる。 $0.5\text{mol}\%$ では発光量は 60° のものが最大であった。活性剤の P の量が 0.25 , $0.7\text{mol}\%$ のものも同様な現象が現れると思われるが、 $0.25\text{mol}\%$ のものは活性剤の P の量が全体に少ないため、発光量も $0.5\text{mol}\%$ のものより少ない (Fig. 5 (b))。また、P の量が $0.7\text{mol}\%$ の素子は活性剤量が

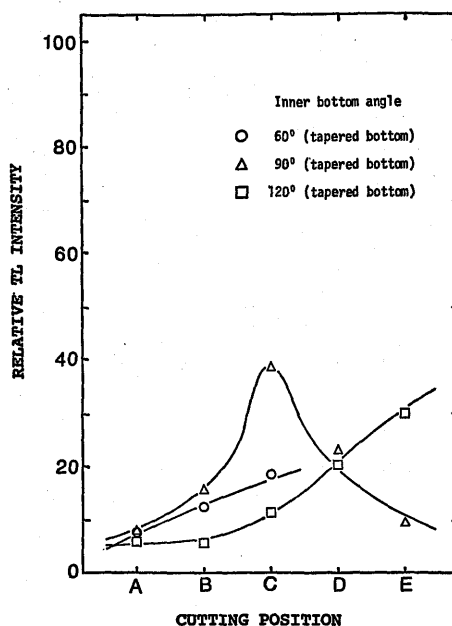
Table 2 Shape of crucible and transparency of single crystal produced

Shape of crucible	P (mol %)	Bottom angle	Transparency
Flat bottom**	0.25	60°	Not crystallized
		90°	Transparent up to C*
		120°	Transparent up to E*
	0.50	120°	Transparent up to B*
		60°	Transparent up to C*
		90°	Transparent up to C*
Tapered bottom	0.25	120°	Transparent up to B*
		30°	Transparent up to E*
		60°	Transparent up to C*
		90°	Transparent up to B*
	0.50	120°	Transparent up to B*
		30°	Transparent up to C*
		60°	Transparent up to C*
		90°	Transparent up to B*

* cf. Fig. 2, ** cf. Fig.1



(a) Activator: Mg 0.25mol%, Cu 0.05mol%,
P 0.5mol%



(b) Activator: Mg 0.25mol%, Cu 0.05mol%,
P 0.25mol%

過ぎるため、単結晶化が不十分で白濁の部分が多くなる (Fig. 5 (c))。

以上のように、るつぼの形状の違いによる単結晶の状態および発光量を調べたが、平面底では鈍角になるほど、先鋭底では鋭角になるほど透明度の良い結晶が出来た。しかし、発光量は先鋭底の先端角 60°、活性剤 P の量が 0.5mol% の場合が最も良い結果であった。

(4) 再現性

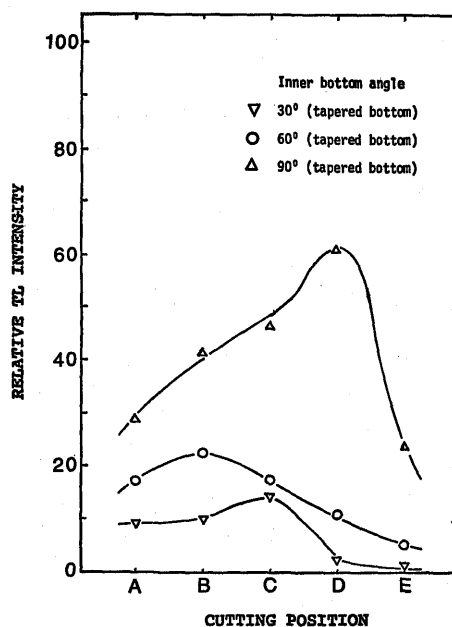
製作した単結晶 TLD 素子について、空気中および Ar 雰囲気中で測定回数と発光量の変動の関係を調べた。空気中では測定を繰り返すやにより発光量の減少が見られるが、Ar 中では減少が現れず再現性が良好である。したがって、測定はすべて Ar 雰囲気中で行なった。

(5) 直線性

照射線量と発光量との関係は $2.58 \times 10^{-6} \sim 3.87 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ (0.01~1.5R) の範囲で直線性を示した。

(6) フェーディング

同一 TLD 素子に $2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ (1R) 照射して、照射後 5min~20 日間、6~10 回リーダーで読み取ったが、いずれも 4% 以内の変動であった。



(c) Activator: Mg 0.25mol%, Cu 0.05mol%,
P 0.70mol%

Fig. 5 (a)~(c) Influence of TLD cutting position and inner bottom angle of crucible on TL intensities

Ⅲ. 大容積単結晶から製作した素子

LiF 単結晶 TLD の実用化のためには、均一な特性を持つ素子を多く取り出す必要があり、結晶の大形化が期待されている。そこで、今回は直径が 60mm、長さ 90mm の単結晶を 2 回製作し、これより切り出した素子の特性を調べた。

1. 単結晶素子の製作

LiF 粉末 0.4kg に活性剤として Mg, Cu, P (それぞれ MgCl, CuCl, LiPO₄ で添加) をそれぞれ 0.20, 0.05, 0.5mol% と 0.5, 0.10, 0.25mol% を一様に混合し、直径 60mm、長さ 100mm の黒鉛るつぼに入れて真空中 ($\sim 10^{-2}$ Pa) で 900°C に加熱し、溶解

させた。るつぼの下端から上部方向にヒーターを 0.5 mm/h の速さで移動させると、溶解した LiF は下端から次第に結晶化してゆく。

Fig. 6 (a), (b) に第 1 回目 (製作番号 LT-702, 活性剤 Mg, Cu, P がそれぞれ 0.20, 0.05, 0.5mol%) と第 2 回目 (製作番号 LT-703, 活性剤 Mg, Cu, P がそれぞれ 0.5, 0.1, 0.25mol%) に製作した単結晶の中から、TLD 用に切り取った切断面の位置を示す。この製作ではそれぞれ 176 個と 298 個の素子が得られた。素子の大きさは $4 \times 4 \times 2\text{mm}^3$ である。

2. TLD リーダー

LiF 単結晶 TLD 素子および比較測定に使用した HARSHAW 製 LiF TL-100 素子の熱ルミネッセンスの測定に使用したリーダーは HARSHAW 製 Model

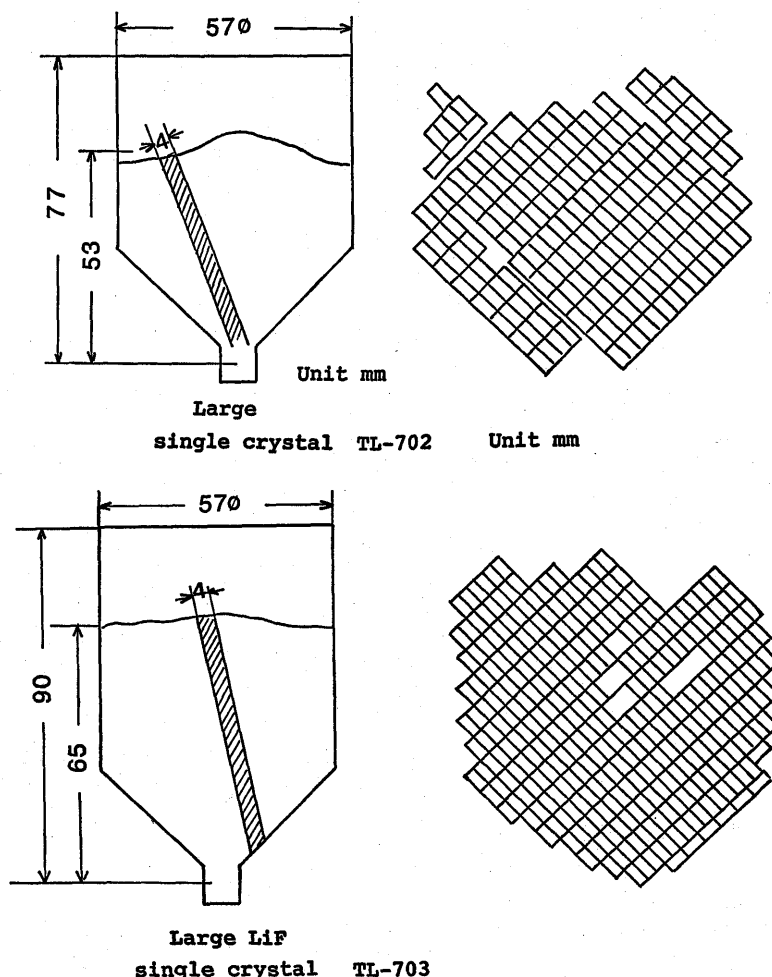


Fig. 6 (a), (b) Dimension of large single crystal cross section (TL-702 and TL-703)

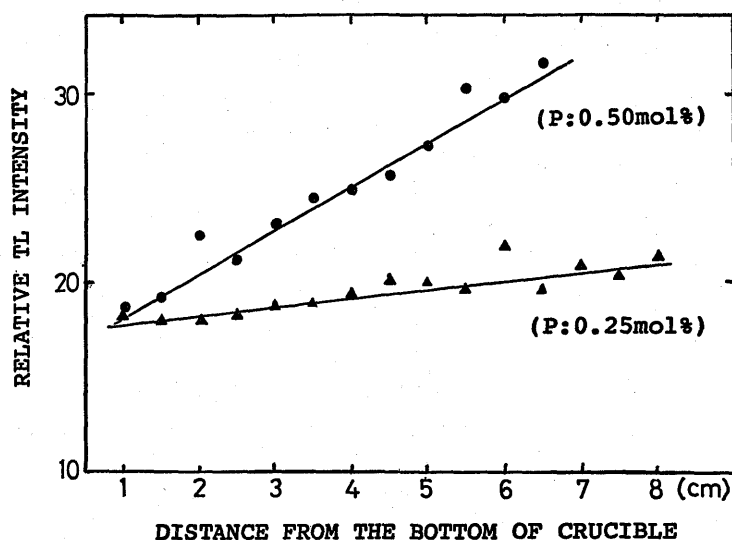


Fig. 7 Relation between TL intensities and TLD cutting positions

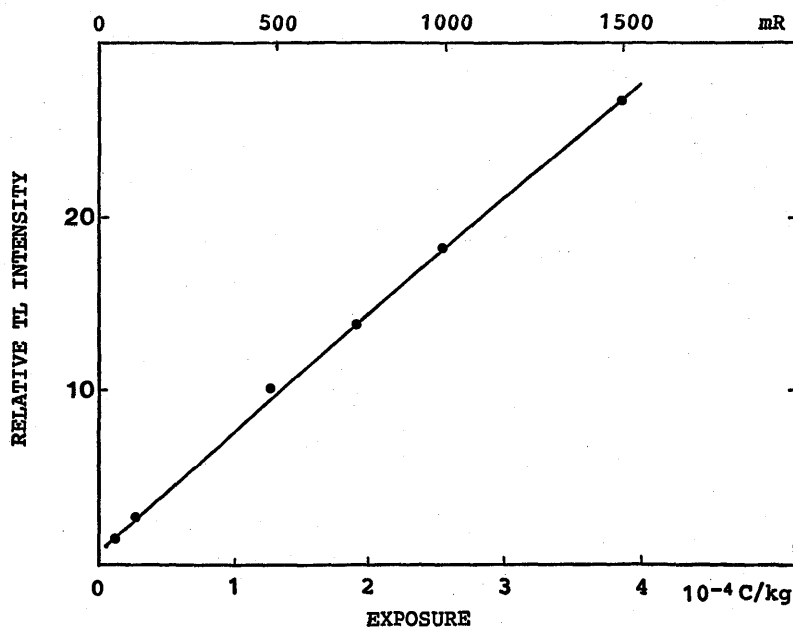


Fig. 8 Relation between TL intensities and exposures

-2000 であった。また、同じく比較測定に使用した松下電器製 CaSO_4 (UD-200S), BeO (UD-170A, 170L) の各素子の測定は松下電器製 UD-502B を使用した。

3. 単結晶切り取り位置と発光量

Fig. 7 に単結晶 TLD の切出した位置と発光量の関係 (P 量 0.5mol% と 0.25mol% について) を示す。いずれの場合も上部に行くほど発光量は直線的に

増加し、特に P 量が 0.5mol% のものは上端の素子が下端の素子の 2 倍近くある。一方、0.25mol% の場合は上端、下端の差は小さい。発光量のバラツキの $\pm 10\%$ 以内の素子は、前者は 200 個中から 50 個、後者は 300 個中から 100 個程度であった。

4. 照射線量と発光量との関係

製作した素子は $1.29 \times 10^{-5} \sim 3.87 \times 10^{-4}$ C/kg (0.05

～1.5R) の範囲で良好な直線性が認められた (Fig. 8)。

5. 再現性

^{60}Co 線源を用い、 $1.29 \times 10^{-5} \text{C/kg(50mR)}$ を照射してから発光量を読み取る測定を10回繰り返した結果、 $\pm 4\%$ のバラツキの範囲内で一致し、再現性が確かめられた。

6. 放射線施設での使用

^{60}Co 線源で $2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg(1R)}$ 照射した場合のバラツキが2%以内の大容量単結晶から切り取った素子 LT-702 6個, LT-703 7個 (これらの素子には Mg 0.5mol%, Cu 0.05mol% のほか, P 量がそれぞれ0.25, 0.5mol% 添加) を選び、近畿大学原研放射線施設 RI 貯蔵室の線量値の異なる場所 I～V を選定して TLD を設置した。この貯蔵室には壁厚約 5cm の鉛ケースに納めた ^{60}Co , ^{137}Cs の数 100MBq (数 mCi) の密封線源と数10種類の非密封線源を収納している。また、比較測定のため、市販の HARSHAW 製 LiF:Mg:Ti 加熱成型素子 (TL-100) および松下電器製 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ (UD-200S), BeO (UD-170A, 170L) 素子を同じ場所に置いた。設置した時間は 1,176h である。Table 3 に測定結果を示す。

LT-702 などの素子の線量率 ($\mu\text{Gy/h}$) は、素子から一定距離に置いた ^{60}Co から放射される γ 線で照射して求めた。リーダーの読み値クーロンから $\mu\text{Gy/h}$ への換算は、 ^{60}Co γ 線エネルギーとその崩壊率を記した崩壊図より算出された空気衝突カーマ率定数0.306を用いて計算した⁽¹²⁾。製作した LiF 単結晶 TLD 素子の値は市販の TLD 素子および電離箱式サーベイメ

ータの値と比べ、一部を除いて20%以内であった。

7. 考察

(1) 大容量単結晶の製作は応用光研工業㈱が担当した。同社では、かねて LiF のほか各種光学機器用の単結晶を製作しており、当然不純物を含まない単結晶の生成には引上げ速度が 0.5mm/h の最適条件で製作している。したがって、不純物を含む今回の場合は、LiF の場合より若干部分的に白濁した所があったが、200個前後の素子を十分切り出すことができた。当方の実験室では、添加した不純物元素のゾーニングによる偏り傾向を少なくするため、引上げ速度を 2mm/h にしているが、単結晶生成の立場からは遅い方が望ましい。大容量単結晶製作の場合にも 2mm/h の引き上げ速度が妥当であるかどうかはまだ検討していない。容積、添加する不純物の質と量、引上げ速度、るつぼの形状のバランスは微妙であり⁽¹⁾、より多数の経験から最適条件が見出されるであろう。

添加する不純物の種類および量についても、従来 Cu, Mg, Ti, Si, B, P など数多くの試みがされているが、中島らの Cu, Mg, P が特に高感度とされている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。この場合、Cu, Mg のほかに P を追加することにより格段に感度が向上できることがわかり、現在研究中である。

われわれの研究室は単結晶製作には種結晶を用いないブリッジマン法を採用している。この場合、るつぼの形状が単結晶化にかなり影響することがわかり、現在の時点では 60° の先鋭底が比較的良好であることが見出された。しかし、大容量にした場合もこれと同じ条件になるかどうかは改めて検討を要す

Table 3 Comparison of dose rates among TLD's

Setting position	Distance from floor	Dose rate ($\mu\text{Gy/h}$)							Ion chamber
		LiF single crystal		LiF ribbon	CaSO ₄ powder	BeO powder			
		LT-702	LT-703	TL-100	UD-200S	UD-170L	UD-170A		
I	50	4.5	3.8	3.4	4.2	4.4	3.8	5.3	3.0
	100	6.7	5.8	5.3	5.9	6.2	5.2	7.3	4.0
	150	5.9	6.6	—	6.5	5.4	5.0	7.0	5.0
II	20	3.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.1	3.5	3.0
III	100	8.5	7.7	6.9	7.9	8.4	8.0	10.2	7.3
IV	100	1.8	1.9	1.8	1.7	1.8	1.3	2.0	1.0
V	150	—	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	0.7	0.7

るだろう。

(2) HARSHAW リーダーの試料台の寸法は $5 \times 5 \text{ mm}^2$ であるので、単結晶の底面積もそれに合せて $4 \times 4 \times 2 \text{ mm}^3$ にした。試料台の面積をもう少し大きくして、より大きく切り出した単結晶をのせるようにすれば、感度もそれぞれ向上させることができるので、その点も具体的に検討中である。

(3) 中島らの LiF TLD における添加元素は Mg 0.1 mol%, Cu 0.05mol%, P 2.3mol% で高感度を得ているので⁽⁷⁾⁽⁸⁾, われわれはまず、15mg の粉末LiF に Mg, Cu をそれぞれ0.1, 0.05mol%, P は 0.1 ~2.3mol% を加えて TLD を作り発光量を調べ、P 2.3mol% で最高の発光量が得られることを確かめた。LiF 粉末 TLD は秤量した LiF に Mg, Cu を上記の量を900°C に加熱して焼結したものを粉碎し、メッシュでふるいわけ、ガラス管に封入して製作した。

そこで、単結晶 TLD は Mg, Cu は上記と同じく0.1, 0.05mol%, P は 0.1~2.3mol% まで5種類の製作を試みた。P 0.25mol% 単結晶 TLD で P 2.3mol% の粉末 TLD とほぼ同じ発光量を得た。しかし、P をそれ以上入れると、単結晶が出来なかった。添加Pの化学形を NH_4PO_4 から Li_3PO_4 に変えると 0.5mol% まで単結晶にすることができた。

われわれは単結晶 TLD と粉末あるいは焼結TLD と直接の実験比較は行わなかったが、単結晶 TLD は発光を3次元的に完全に取り出せるので、後者より光量利得が大きいことは明白であり、また必要に応じ、その体積を大きくして光量を増加することができる。NaI(Tl) 等の γ 線検出器がその単結晶を用いるのと同じ理由で LiF TLD も粉末などより単結晶の方が有利であることは明らかであろう。

総合的に考えれば、LiF 単結晶 TLD は生体等価であり、感度もある程度良好であり、立方晶系で任

意の大きさに分割し易く、非潮解性であるので、中低線量用として、将来的には従来の CaSO_4 TLD に代って実用化されるべきと考える。

本研究を行うに当たり、技術上のご助言を賜った近畿大学原子力研究所の鶴田隆雄教授および研究のご指導を賜った名古屋大学工学部原子核工学科の池邊幸正教授に深謝いたします。

参 考 文 献

- (1) Oberhofer, M., et al.: "Applied Thermoluminescence Dosimetry", 103 (1981), Adam Higer Ltd., Bristol.
- (2) *ibid.*, 117.
- (3) *ibid.*, 110.
- (4) *ibid.*, 116.
- (5) Niwa, T., Morishima, H., Koga, T., Kawai, H., Nishiwaki, Y.: "Radiat. Prot. Dosimetry", **6**, 333 (1984).
- (6) 丹羽健夫, 河合 廣, 森嶋彌重, 古賀妙子: 原子力誌, **32**, [4] 374 (1990).
- (7) Nakajima, T., Murayama, Y., Matsuzawa, T.: *Health Phys.*, **36**, 79 (1979).
- (8) Nakajima, T., Murayama, Y., Matsuzawa, T., Koyano, A.: *Nucl. Instrum. Methods*, **157**, 155 (1978).
- (9) Driscoll, C. M. H., et al.: *Radiat. Prot. Dosimetry*, **17**, 367 (1986).
- (10) Wu Da-Ke, Sun-Yin, Daihong Chen: *Health Phys.*, **46**, 1063 (1984).
- (11) 伊藤糾次, 犬塚直夫: "結晶成長", 159 (1976), コロナ社.
- (12) 放射線取扱概説, 93 (1989), 電子科学研.