

論	文
---	---

硼酸リチウム塗布硝酸セルロースフィルム による中性子線量測定

鶴 田 隆 雄

Neutron Dosimetry with Cellulose Nitrate Films Coated with Lithium Borate

Takao TSURUTA

(Received September 29, 1984)

Etching characteristics and thermal neutron sensitivity have been studied for two types of solid state track detectors: LR 115, type 2B stripping (LR-B) and CA 80-15 Type B (CA-B), prepared by Kodak-Pathé, France. The detectors were irradiated with neutrons in the Kyoto University Reactor or the Kinki University Reactor. The experiment proved that optimum etching times for the LR-B and CA-B film, respectively, were 45-60 and 30-60 minutes with 10% NaOH, 60°C; and 90-120 and 15-30 minutes with 30% NaOH, 50°C. Under these optimum etching conditions and times, the sensitivities for visual counting were found to be $(2.1 \pm 0.2) \times 10^{-3}$ and $(1.9 \pm 0.1) \times 10^{-3}$ for the LR-B and CA-B detectors, respectively. The spark counting sensitivity of the LR-B detector was found to be $(1.9 \pm 0.1) \times 10^{-4}$ under etching condition of 30% NaOH, 50°C, and a time of 180 minutes. It was found that background spark counts of the LR-B film were reduced remarkably by heat treatment at 100°C for 5hrs, which made it possible to detect a dose equivalent of 5×10^{-8} Sv (0.5 mrem) for thermal neutrons.

KEYWORDS

neutron dosimetry, cellulose nitrate film, lithium borate, etching characteristic, neutron sensitivity, solid state track detector, visual counting, spark counting, heat treatment, dose equivalent.

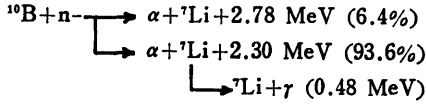
I. 緒 言

中性子線量測定を目的とした固体飛跡検出器においては、中性子によって誘発され、重荷電粒子を放出する核反応とその粒子の飛跡を検出する固体を適切に選択し、組み合わせる必要がある。感度の高い固体飛跡

検出器を得るためには、核反応断面積の大きな核種を高密度に含む物質を核反応で放出される重荷電粒子の飛程よりも厚い層にして固体に近接させ、そうした核種をすでに高密度に含む固体を選び、またはそうした核種を新たに高濃度に溶解させた固体を調製する必要がある。

低速の中性子をそのまま、または高速もしくは中速

の中性子を減速してから検出しようとする場合、 ^{10}B と ^6Li はその核反応断面積の大きさから特に注目すべき核種である。天然の硼素中の ^{10}B の存在比は 19.8%， $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$ 反応の熱中性子に対する断面積は 3840 barn である。



ここで生じる α 粒子と ^7Li 粒子のエネルギーは次のとおりである。

α …… 1.77 MeV (6.4%)，1.47 MeV (93.6%)

^7Li …… 1.01 MeV (6.4%)，0.83 MeV (93.6%)

天然のリチウム中の ^6Li の存在比は 7.4%， $^6\text{Li} (n, \alpha) ^3\text{H}$ 反応の熱中性子に対する断面積は 940 barn である。

$^6\text{Li} + n \rightarrow \alpha + ^3\text{H} + 4.78 \text{ MeV} (100\%)$

ここで生じる α 粒子と ^3H 粒子のエネルギーはそれぞれ次のとおりである。

α …… 2.05 MeV

^3H …… 2.73 MeV

上記 ^{10}B および ^6Li の (n, α) 断面積は 0.01 eV から 100 keV までの広い範囲にわたって中性子の速度の逆数，すなわち $1/v$ に比例している。

これら ^{10}B と ^6Li の両核種を含む物質である硼酸リチウムは中性子から重荷電粒子へのコンバーターとして最適な物質のひとつである。中性子の検出を目的として、この硼酸リチウムを水溶性の結合材に分散させ、硝酸セルロースフィルムに塗布した固体飛跡検出器が開発され、市販されている。

硝酸セルロース樹脂は、約 0.1 MeV から 3~4 MeV までの α 粒子および約 0.1 MeV から約 18 MeV までの ^7Li 粒子の飛跡を生成させる能力を持つ^{1,2)}。しかしながら、 ^3H が飛跡を生成させる能力を持つか否かは不明である。結合材中で発生した ^7Li 、 α および ^3H 粒子は、結合材中で減速され、その発生エネルギーから 0 MeV までの広いエネルギースペクトルを持ち、さまざまな方向から硝酸セルロースフィルムに入射する。この内、エネルギーが 0.1 MeV を超え、入射方向とフィルム表面のなす角度が臨界角³⁾を超える ^7Li および α 粒子は少くとも飛跡を生成することになる。

上記、市販製品の製造会社は各々の製品に、その用途、簡単な使用方法およびエッチング条件を示す説明書を添付しているが、それ以上の特性はあきらかにしていない。そこで、これら検出器のバルクエッチング

率、エッチピット成長過程、最適エッチング時間、中性子感度、測定可能線量範囲等の基本的特性を調べることにした。

II. 実験材料および実験方法

1. 固体飛跡検出器

中性子の検出を目的として、フランス Kodak-Pathé 社で開発され、市販されている 2 種類の固体飛跡検出器を使用した。各々の検出器の構造、各構成材料の厚さおよび色を Fig. 1 に示す。

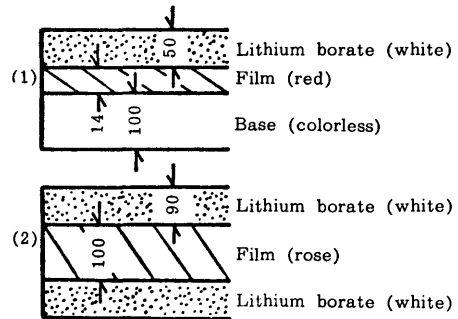


Fig. 1 Two types of cellulose nitrate films coated with lithium borate. (Unit of thickness : μm)

(1) LR 115, type 2B stripping

(2) CA 80-15 Type B

LR 115, type 2B stripping (以下、「LR-B」という。)は、厚さ約 100 μm の無色・透明なポリエステルベースの片側に厚さ $14 \pm 2 \mu\text{m}$ の濃赤色で透明度のある硝酸セルロースフィルムを密着させ、その上から硼酸リチウムを約 50 μm の厚さに塗布したものである。20×60cm の大きさの検出器が10枚、1箱に入って供給される。硼酸リチウム層は水溶性で、検出器を流水の下に置くことによって容易に流し去ることができる。フィルムは常温の水の中でベースから容易に剝離させることができる。

CA 80-15 Type B (以下、「CA-B」という。)は、厚さ約 100 μm の淡赤色で透明な硝酸セルロースフィルムの両面に、各々約 90 μm の厚さに硼酸リチウムを塗布したものである。9×25cm の大きさの検出器が25枚、1箱に入って供給される。LR-B の場合と同様、検出器を流水の下に置くことによって硼酸リチウム層を容易に洗い流すことができる。

LR-B と CA-B の硼酸リチウム層の密度は 0.8

$g \cdot cm^{-3}$, その厚さは層内で発生する α 粒子等重荷電粒子線の行程に対して十分厚いと考えられる。

原子炉による中性子照射に際し, 速中性子一反跳反応に基づく飛跡生成の寄与を見積るために, 同じ Kodak-Pathé 社製の硼酸リチウムを塗布していない 2 種類の検出器: LR 115, type II stripping (以下, 「LR-IIS」という。) および CA 80-15 (以下, 「CA」という。) を使用した。LR-IIS および CA の構造, α 線検出効率その他の特性は前報⁴⁾に記載したとおりである。

2. 中性子照射

中性子照射場として京都大学原子炉 (KUR) 重水熱中性子設備および近畿大学原子炉 (UTR-KINKI) 中央ストリンガーを利用した。

KUR の場合, 重水熱中性子設備の中に簡単な照射用架台を組み, そこに検出器または金箔を釣り下げ, または設備上方に設けられた照射試料挿入孔から検出器を釣り下げて照射を行った。検出器照射時の運転出力は 500W~5kW, 照射時間は30秒~20分, 金箔照射時の運転出力は 5000kW, 照射時間は40分である。照射後, 金箔の放射能をウェル型シンチレーションカウンターで測定し, 照射時の運転出力, 照射時間から換算して検出器の照射中性子フルエンスを求めた。照射熱中性子フルエンスは $10^5 \sim 10^6 cm^{-2}$ であった。

UTR-KINKI の場合, 中央ストリンガーの最低部 28cm に黒鉛を残してその上方を照射空間とし, そこに検出器または金箔を釣り下げて照射を行った。熱外中性子の割合を評価するために, 一部の検出器および金箔をカドミウムケースに入れて照射した。検出器照射時の運転出力は 0.01~0.1W, 照射時間は 5~20分, 金箔照射時の運転出力は 1W, 照射時間は 1時間である。照射後, 金箔の放射能をシンチレーションカウンターで測定し, 照射時の運転出力, 照射時間から換算して検出器の照射中性子フルエンスを求めた。照射熱中性子フルエンスは $10^7 \sim 10^8 cm^{-2}$ であった。

3. エッチング

中性子照射後, LR-B と CA-B の硼酸リチウム層を流水中で洗い流した。その後, CA-B と CA はそのまま, LR-B と LR-IIS はフィルムをベースから剝離してプラスチック製のスライドマウントに挟み, エッチング試料とした。エッチング溶液を 2l ビーカー中に 2kg 調製し, ビーカーをマグネチックスターラ付ウォーターバス内で湯煎した。エッチング条件は 10%NaOH, 60°C, スターラによる攪拌なし, および

30%NaOH, 50°C, スターラによる攪拌あり, の 2 種類で, エッチング時間は 8 分から 3 時間までである。

エッチング試料の端をコルネット鉗子で挟み, 溶液内で試料が円筒状になるように釣り下げ, 試料の周囲の溶液の温度が常に設定温度 $\pm 0.5^\circ C$ の範囲に入るようにした。エッチング予定時間経過後, ただちに溶液から試料を取り出し, 水道水で数分間水洗し, 常温・常湿の空气中で自然乾燥させた。エッチングの前後に試料の厚さをマイクロメーターで測定し, その差からバルクエッチングを求めた。

検出器自体の欠陥等に基づくバックグラウンドエッチピット密度を求めるために, 中性子照射を行っていない各々の検出器からも, 上記と全く同様の方法で試料を作り, エッチング処理を行った。

4. エッチピットの観察および計数

エッチング後, 光学顕微鏡を用いてすべての試料の表面状態を観察し, エッチピットを計数してその表面密度を求めた。中性子照射 LR-B または CA-B フィルムのエッチピット密度から同一照射条件・時間および同一エッチング条件・時間の中性子照射 LR-IIS または CA フィルムのエッチピット密度を差し引き, (n, α) 反応に基づくエッチピット表面密度を求めた。

KUR で $10^5 \sim 10^7 cm^{-2}$ の比較的低い熱中性子フルエンスで照射し, エッチングした LR-B フィルムおよび

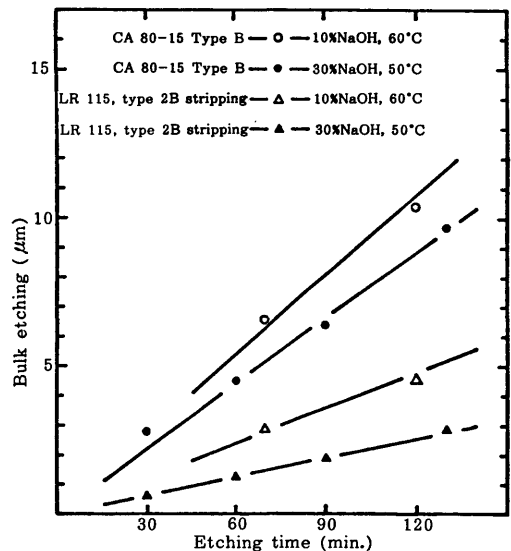


Fig. 2 Increase of bulk etching with etching time.

Table 1 Bulk etching rate for each etching condition ($\mu\text{m/hr.}$).

Cellulose nitrate film	Etching condition	
	10% NaOH, 60°C	30% NaOH, 50°C
LR 115, tyre 2B stripping	2.4 \pm 0.2	1.3 \pm 0.2
CA 80-15 Type B	5.4 \pm 0.3	4.4 \pm 0.2
LR 115, type II stripping	2.2 \pm 0.2	1.3 \pm 0.1
CA 80-15	5.0 \pm 0.3	3.8 \pm 0.2

び未照射でエッチングした LR-B フィルムを使い、エッチピットの放電計数を行った。放電計数装置の概要は前報に記述したとおりであるが、電極面積は約 5cm^2 、穿孔電圧は600V、計数電圧は500Vである。照射フィルムの放電計数値から同一エッチング条件・時間の未照射フィルムの放電計数値を差し引いたものを電極面積で除して、照射による放電密度を求めた。

III. 実験結果および考察

1. バルクエッチング率

2種類の硼酸リチウム塗布硝酸セルロースフィルムの各エッチング条件におけるエッチング時間とバルクエッチングの関係を Fig. 2 に示す。各フィルム、各条件共、バルクエッチングはエッチング時間の増加に従ってほぼ直線的に増加している。直線の勾配からバルクエッチング率を求め、Table 1 にまとめた。

Table 1 には、前報記載の LR-IIS, CA についての測定値をも掲げた。二つのエッチング条件のどちらに対しても、LR-B と LR-IIS, CA-B と CA のバルクエッチング率は誤差の範囲ではほぼ一致している。したがって、LR-B と LR-IIS, CA-B と CA の硝酸セルロースフィルムは、それぞれ同じ組成から成り、同じ化学的性質を持つものと考えられる。

2. エッチピットの成長過程

中性子照射 LR-B フィルムを 10%NaOH, 60°C の条件でエッチングするとき、その表面に現れてくるエッチピットの成長過程を示す連続写真を Photo 1 に示す。エッチング時間30分ではエッチピットが全般に小さく、フィルムを貫通していないので、エッチピット像は濃赤色の背景の中の大小の黒点として観察される。この時点でも、成長すべきエッチピットはほとんど出そろい、その像はかなり明瞭なので、計数が可能である。30分から45分の間に大部分のエッチピット

はフィルムを貫通するようになる。エッチピットは濃赤色の背景の中の大小の輝点として観察されるようになり、一段と計数しやすくなる。その後、90分まで、エッチピット（輝点）はしだいに大きく成長してゆく。ただし、この間、エッチピット密度はほとんど変化がない。しかしながら、60分を超えると、フィルム表面の荒れが著しくなることがある。90分を超えるとフィルムが薄くなり、背景の赤色があせ、一部のエッチピットがコントラストを失うようになるので数え落としを生ずるようになる。したがって、このエッチング条件における目視計数に対する最適エッチング時間は45~60分と考えられる。

LR-B フィルムの 30%NaOH, 50°C の条件におけるエッチピット成長過程も 10%NaOH, 60°C の条件におけるとほぼ同様であるが、同じ段階に到達するのに約2倍の時間がかかる。したがって、このエッチング条件における目視計数に対する最適エッチング時間は90~120分と考えられる。

中性子照射 CA-B フィルムを 10%NaOH, 60°C または 30%NaOH, 50°C でエッチングするとき、そのエッチピットの成長過程を示す連続写真を Photo 2 および Photo 3 に示す。10%NaOH, 60°C の場合、15分でエッチピットはほとんど出そろい、淡赤色の背景の中の黒点として観察される。30分になるとその大部分が気泡状となり、計数しやすくなる。60分頃まではその密度がほとんど変化しないが、その時点を超えてしばらくするとコントラストを失うエッチピットが増え始める。したがって、このエッチング条件における最適エッチング時間は30~60分と考えられる。それに対して、30%NaOH, 50°C の場合、エッチピット像は終始淡赤色の背景の中の大小の黒点として観察される。15分でエッチピットはほとんど出そろい、30分まではその密度にほとんど変化はない。30分を超えるとエッチピットはしだいにコントラストを失うようになり、60分ではかなりの数え落としを生ずる。したが

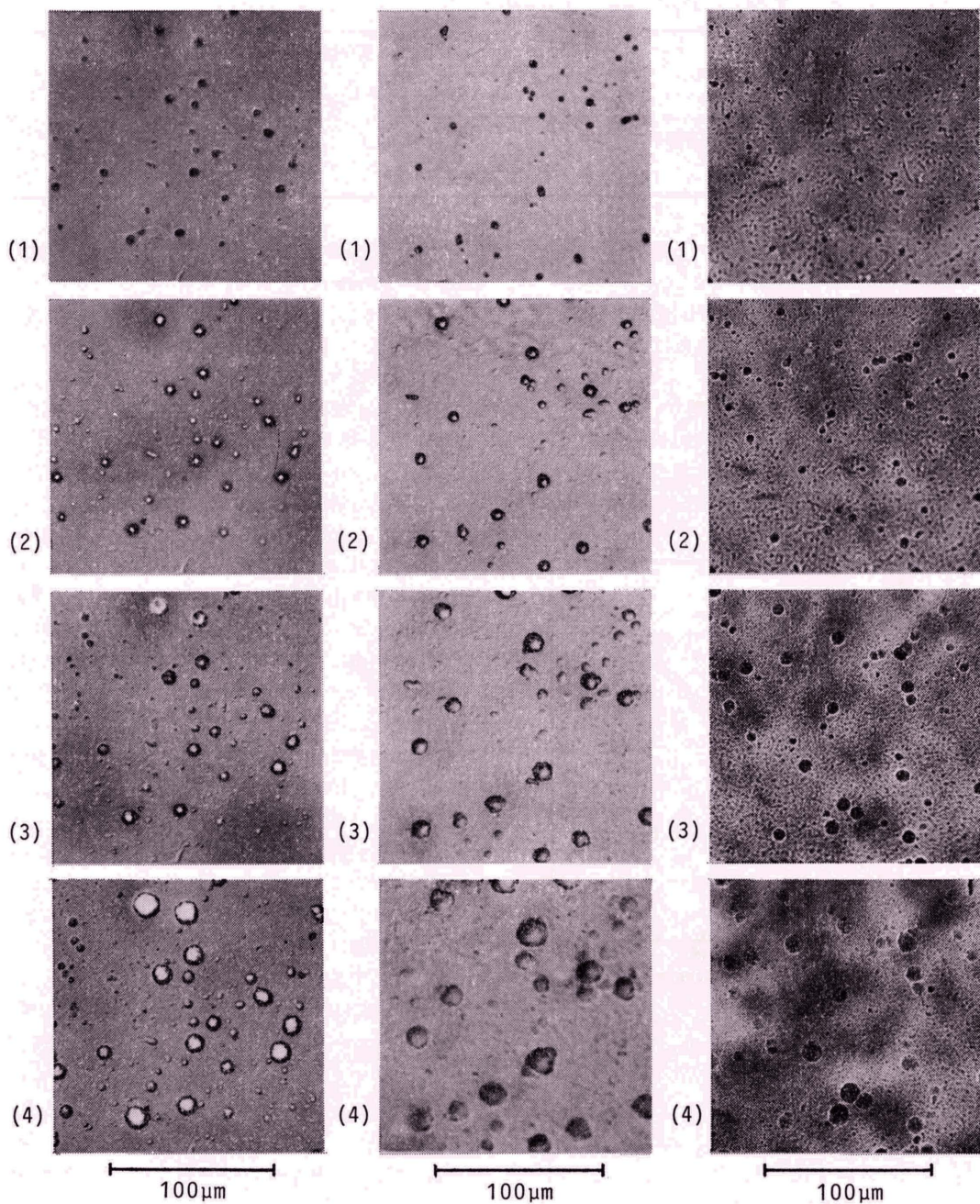


Photo. 1 Growth of etch-pits on LR 115, type 2B stripping film. Etching conditions: 10% NaOH, 60°C. Etching time: (1) 30 min. (2) 45min. (3) 60min. (4) 90min.

Photo. 2 Growth of etch-pits on CA 80-15 Type B film. Etching conditions: 10% NaOH, 60°C. Etching time: (1) 15min. (2) 30min. (3) 60min. (4) 120min.

Photo. 3 Growth of etch-pits on CA 80-15 Type B film. Etching conditions: 30% NaOH, 50°C. Etching time: (1) 8min. (2) 15min. (3) 30min. (4) 60min.

Table 2 Optimum etching time for visual counting (min.).

Cellulose nitrate film	Etching condition	
	10% NaOH, 60°C	30% NaOH, 50°C
LR 115, type 2B stripping	45 — 60	90 — 120
CA 80-15 Type B	30 — 60	15 — 30

って、このエッチング条件における最適エッチング時間は15~30分と考えられる。

2種類の検出器フィルムの目視計数に対する最適エッチング時間を Table 2 にまとめた。

3. 目視計数による中性子感度

熱中性子フルエンスと目視計数の結果得られた (n, α) 反応に基づくエッチピット表面密度の関係を Fig. 3 に示す。エッチング条件は 30%NaOH,

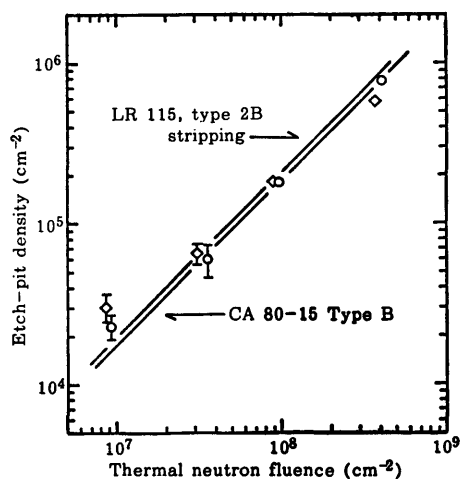


Fig. 3 Relationship between thermal neutron fluence and etch-pit density.

50°C, エッチング時間は LR-B と LR-IIS フィルムの場合90分, CA-B と CA フィルムの場合15分である。エッチピット表面密度 P (cm^{-2}) は, 熱中性子フルエンス Φ (cm^{-2}) に比例している。

$$P = K\Phi \quad (1)$$

感度 K は, LR-B 検出器に対して $(2.1 \pm 0.2) \times 10^{-3}$, CA-B 検出器に対して $(1.9 \pm 0.1) \times 10^{-3}$ と計算される。

目視計数により, 十分な精度で測定することのできるエッチピット表面密度の範囲は $10^4 \sim 10^6 \text{cm}^{-2}$ である。これに対応する熱中性子フルエンスおよび線量当

量は $5 \times 10^6 \sim 5 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ および $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ($5 \sim 500 \text{mrem}$) となる。

目視計数で対象とする上記エッチピット表面密度の範囲に対して, 検出器が持っている欠陥等に基づくバックグラウンドエッチピットの密度は無視しうる大きさであった。また, 同一照射条件, エッチング条件・時間の LR-B および LR-IIS フィルム, CA-B および CA フィルム上のエッチピット密度を比較すると, KUR の場合, 後者は前者に対しほぼ無視しうる大きさであったが, UTR-KINKI の場合, 後者は前者に対し数%の値を示した。

天然の存在比の硼素を 1% 溶解させて調製した硝酸セルロースフィルムの最適エッチング条件・時間における目視計数に対する熱中性子感度は 7.6×10^{-4} であった⁵⁾。また, 天然の存在比の硼素を 0.375% 溶解させて調製した CR-39 板の最適エッチング条件・時間における目視計数に対する熱中性子感度は 4.2×10^{-4} であった⁶⁾。LR-B および CA-B 検出器は, これらの検出器より高い感度を持っていることになる。しかしながら, 硼素溶解 CR-39 板の場合, エッチピットが非常に明瞭で大きく, バックグラウンドも少ないことから, 十分な精度で目視計数可能なエッチピット表面密度の範囲は $10^3 \sim 10^6 \text{cm}^{-2}$ となる。したがって, それに対応する熱中性子フルエンスおよび線量当量は $2.4 \times 10^6 \sim 2.4 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ および $2.5 \times 10^{-5} \sim 2.5 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ($2.5 \text{mrem} \sim 2.5 \text{rem}$) となり, 測定可能線量範囲は LR-B, CA-B 両検出器のそれより上下両方向共に広いことになる。

4. 熱処理によるバックグラウンド放電計数の低減化

一般に, 入射粒子数に対する放電計数の効率を高めるためには, エッチング後の検出器フィルムの厚さを薄くすることが望ましい。 ^{10}B (n, α) ^7Li 反応と ^6Li (n, α) ^3H 反応によって発生し, 硼酸リチウム層内でエネルギー吸収を受けて比較的 low エネルギー成分が多くなった α 粒子などが 2π 方向から無秩序に入射して飛跡を生成している LR-B フィルムの場合, 放

電計数時のフィルムの薄さに対する必要性はさらに高いものと考えられる。しかしながら、フィルムが薄くなると、一般に、機械的強度が弱くなるばかりでなくバックグラウンド放電計数密度が増加するという問題が生じる。未照射の LR-B フィルムを30%NaOH, 50°C の条件で 9~6 μm の厚さになるまでエッチングしたのち放電計数を行うとき、バックグラウンド放電密度は Fig. 4 に示されるように厚さの減少と共に増

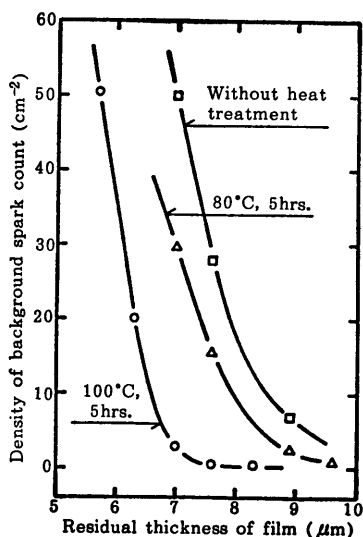


Fig. 4 Density of background spark counts as a function of residual thickness of film.

加する。十分な感度を得るのに必要と考えられる6 μm の厚さでは、その密度は平均500 cm^{-2} にも達し、その数はフィルム毎にかなり大きく変動する。このようなバックグラウンド放電密度の条件の下では、最低検出放電密度は500 cm^{-2} 以上と見積られる。

一般に、放電計数感度は目視計数感度に比べて低く8分の1になる例¹⁾がある。その理由は、放電が起こるためにはエッチピットがフィルムをほぼ貫通していることが必要であるが、無秩序な方向からの入射重荷電粒子の検出の場合、貫通しているものはエッチピット全体の一部にしかすぎないことによる。仮に、LR-B の熱中性子に対する放電計数感度 K_s をその目視計数感度 $K (=2.1 \times 10^{-3})$ の10分の1とし、最低検出放電密度 S_0 を500 cm^{-2} として最低検出熱中性子フルエンス Φ_0 を計算すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} \Phi_0 &= S_0 / K_s = 500 / 2.1 \times 10^{-4} \\ &= 2.4 \times 10^6 \text{cm}^{-2} \end{aligned} \quad (2)$$

これは、線量当量にして 2.5×10^{-5} Sv (2.5mrem) となる。目視計数の検出下限が 5×10^{-5} Sv (5mrem) だったので、放電計数はその検出下限をわずか2分の1に引き下げる効果しかもたらさないことになる。

低密度のエッチピットを大面積にわたって短時間に、自動的に計数し、低線量被曝の評価を行うことができる、という放電計数法の特徴を LR-B フィルムの適用にあたっては十分生かすためには、LR-B フィルムのバックグラウンドの低減が必要である。

硝酸セルロースフィルム中のバックグラウンドの低減化に、真空処理と熱処理が有効であることが確認されている⁷⁾。本研究では熱処理を採用することにした。LR-B 検出器を80°C, 5時間または100°C, 5時間の条件で処理した。30%NaOH, 50°C の条件でフィルムを10~6 μm の厚さになるまでエッチングしたのち放電計数を行った。結果を Fig. 4 に示す。熱処理によるバックグラウンド放電密度の大幅な減少が認められる。特に、100°C, 5時間の場合、厚さ6 μm 附近では500 cm^{-2} から約35 cm^{-2} へと、10分の1以下の減少が認められる。そのほか、100°C, 25時間; 120°C, 5時間等の熱処理を試みたが、フィルムが剝離しにくくなる、変色するなど、フィルムの基本的特性に変動を与えるおそれのある変化を生じたためこれらの熱処理条件は採用しなかった。

5. 放電計数による中性子感度

100°Cで5時間の熱処理を行ったLR-B 検出器を中性子照射したのち、そのフィルムを30%NaOH, 50°C

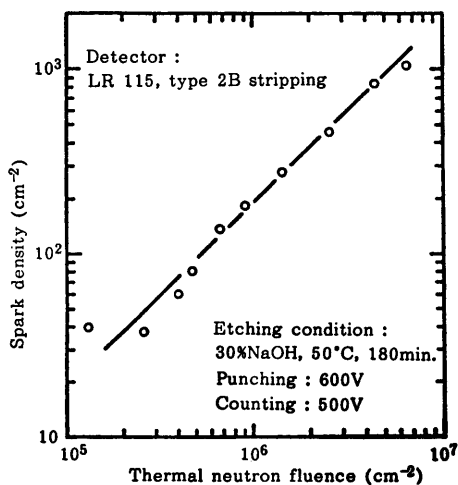


Fig. 5 Relationship between thermal neutron fluence and spark density.

の条件で180分エッチングし、その厚さを $14\mu\text{m}$ から約 $6\mu\text{m}$ まで減少させ、放電計数を行った。また、同じ熱処理検出器の未照射フィルムを同じ条件で、同じ時間エッチングしたのち、放電計数を行った。その結果得られた照射による放電密度 S (cm^{-2}) と熱中性子フルエンス Φ の関係を Fig. 5 に示す。両者の間には比例関係が成り立つ。

$$S = K_s \Phi \quad (3)$$

図から、放電感度 K_s は $(1.9 \pm 0.1) \times 10^{-4}$ と計算される。

熱処理の結果、バックグラウンド放電密度が大幅に低減化されたとはいえ、なお平均 35cm^{-2} 程度あり、しかもその数値はフィルム毎に上下に変動するため最低検出放電密度はほぼ 100cm^{-2} と見積られる。一方、放電密度が大きくなりすぎると、放電計数に使用するアルミニウム蒸着膜上の放電蒸発孔が重なり合い、数え落としを生ずるようになる。このため、最高検出放電密度は 1000cm^{-2} と見積られる。

以上の考察から、十分な精度で測定することのできる放電密度は $10^2 \sim 10^3 \text{cm}^{-2}$ と考えられる。これに対応する熱中性子フルエンスおよび線量当量は $5 \times 10^6 \sim 5 \times 10^8$ および $5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ($0.5 \sim 5 \text{mrem}$) となる。熱処理と放電計数の技術の採用により LR-B 検出器の適用範囲を下方に 1 桁拡大することができたことになる。

LR-B フィルムを使い、26%NaOH, 50°C の条件で140分エッチングした場合の放電感度 K_s は 2.7×10^{-7} で、 $2 \times 10^8 \sim 4 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ の範囲で熱中性子フルエンスの測定が可能であるとの報告がなされている⁹⁾。測定対象熱中性子フルエンスが比較的高い場合にはこのようなエッチング条件が有効になるであろう。

天然の存在比の硼素を1%溶解させて調製した硝酸セルロースフィルムの最適エッチング条件・時間および最適計数条件における放電計数に対する熱中性子感度は 1.0×10^{-4} であった⁹⁾。このフィルムを使って、十分な精度で測定することのできる放電密度は $30 \sim 3000 \text{cm}^{-2}$ で、これに対応する熱中性子フルエンスおよび線量当量は $3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ および $3 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-4} \text{Sv}$ ($0.3 \sim 30 \text{mrem}$) と見積られる。すなわち、測定可能線量範囲は LR-B の放電計数による測定可能線量範囲より上下両方共に幾分広いことになる。

IV. 結 言

2種類の硼酸リチウム塗布硝酸セルロースフィルム検出器：LR 115, type 2B stripping (LR-B) およ

び CA80-15 Type B (CA-B) のエッチング特性および熱中性子感度を調べ、次の結論を得た。

- (1) LR-B フィルムの目視計数に対する最適エッチング時間は、10%NaOH, 60°C の場合には45~60分、30%NaOH, 50°C の場合には90~120分である。
- (2) CA-B フィルムの目視計数に対する最適エッチング時間は、10%NaOH, 60°C の場合には30~60分、30%NaOH, 50°C の場合には15~30分である。
- (3) 上記、最適エッチング時間において、目視計数に対する熱中性子感度は、LR-B 検出器に対して 2.1×10^{-8} 、CA-B 検出器に対して 1.9×10^{-8} である。
- (4) 目視計数により測定可能な熱中性子線量の範囲は $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ($5 \sim 500 \text{mrem}$) である。
- (5) 100°C , 5hr の熱処理が LR-B フィルムのバックグラウンド放電密度の低減に有効である。
- (6) 30%NaOH, 50°C で180分エッチングしたLR-B 検出器の放電計数感度は 1.9×10^{-4} である。
- (7) 放電計数により測定可能な熱中性子線量の範囲は $5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ($0.5 \sim 5 \text{mrem}$) である。

謝 辞

中性子照射にあたってお世話になりました、京都大学原子炉実験所原子炉部、放射線管理部の方々、近畿大学原子力研究所管理室の方々に感謝致します。実験を進めるにあたりご協力頂きました近畿大学理工学部竹内尚昭氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Katz, R. and Kobetich, E. J.: *Phys. Rev.*, **170**, 401 (1968) .
- 2) Benton, E. V. and Nix, W. D.: *Nucl. Instr. Methods*, **67**, 343 (1969) .
- 3) 鶴田隆雄：応用物理, **49**, 704 (1980) .
- 4) 鶴田隆雄：近畿大学原子力研究所年報, **21**, 69 (1984) .
- 5) Tsuruta, T. and Takagaki, M.: *Health Phys.*, **43**, 705 (1982) .
- 6) Tsuruta, T. and Juto, N.: 6th Intern. Congress IRPA, Berlin, 1213 (1984) .
- 7) 林孝義, 柳町朋樹, 小林繁, 道家忠義：応用物理, **46**, 202 (1977) .
- 8) 丹羽健夫, 古賀妙子, 森嶋彌重, 河合廣, 西脇安：保健物理, **14**, 89 (1979) .