

## 論文

### ポリマー・トリチウム $\beta$ 線によるBeOの熱刺激エキソ電子放射

青木正義・岡部 茂・西川 嗣雄

渡辺国昭\*・松山政夫\*

福井大学工学部

〒910 福井市文京3-9-1

\*富山大学トリチウム科学センター

〒930 富山市五福3190

### Thermally Stimulated Exoelectron Emission from BeO Irradiated by Polymer Tritium $\beta$ -rays

Masayoshi AOKI, Shigeru OKABE, Tsuguo NISHIKAWA

Kuniaki WATANABE\* and Masao MATSUYAMA\*

Faculty of Engineering, Fukui University

Bunkyo 3, Fukui 910, Japan

\*Tritium Research Center, Toyama University

Gofuku 3190, Toyama 930, Japan

(Received December 25, 1987)

#### Abstract

Thermally stimulated exoelectron emission (TSEE) from BeO was studied by irradiating its surface with a variety of  $\beta$ -rays such as polymer tritium,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  and  $^{90}\text{Sr}\cdot^{90}\text{Y}$ . It was found that the efficiency of TSEE (i.e. the ratio of the number of emitted exoelectrons to the number of incident  $\beta$ -particles) of BeO decreased with an increase in  $\beta$  radiation energy and was approximately proportional to the stopping power  $dE/dx$  in Al. The mean energy of the  $\beta$ -rays from the polymer tritium source was roughly estimated to be 3.8 keV by some simple assumptions.

## 1. はじめに

BeO のような組織等価に近い物質では、 $\gamma$ 線を照射した場合、検出される熱刺激エキソ電子放射 (Thermally Stimulated Exoelectron Emission: TSEE) や熱蛍光 (TL) は、ほとんど照射 $\gamma$ 線のエネルギーに依存しない。しかし、 $\beta$ 線照射の場合、BeO 試料からの TSEE は $\beta$ 線エネルギーによって大きく変化し、そのエネルギー依存性は阻止能曲線とよく似た傾向を示すことがわかっている<sup>1)</sup>。従来の研究では、 $\beta$ 線源として $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{204}\text{Tl}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ ・ $^{90}\text{Y}$ などがよく用いられ<sup>2)</sup>、一部 $^{63}\text{Ni}$ が用いられた。 $^{63}\text{Ni}$ より更にエネルギーの低い $^3\text{H}$ 線源を用いて、 $^3\text{H}$ から $^{90}\text{Y}$ までの広いエネルギー範囲で、TSEE のエネルギー依存性と阻止能曲線とを比較した研究はなかった。これは、トリチウム $\beta$ 線に関する測定の困難さ、特に照射の際のトリチウムによる試料の汚染防止の困難によるものである。

われわれは、トリチウムによる試料の汚染を避けるためポリマー・トリチウム線源を用いて実験を行ったので、 $^{63}\text{Ni}$ など他の $\beta$ 線照射の結果と合わせてセラミック BeO 試料の TSEE の $\beta$ 線エネルギー依存性について述べる。ポリマー線源から放出されるトリチウム $\beta$ 線の平均エネルギーは簡略化した計算によって推定された。

## 2. 実 験

## 2-1 試 料

純度99.5%以上のセラミック BeO が Thermalox 995 の商品名で米国 BRUSH 社から市販されている。同社より、 $10\text{mm}\phi \times 0.5\text{mm}$ 厚のものを特注によって購入した。購入した試料素子は、一度電気炉中でアルゴンガスを流しながら $1350^\circ\text{C}$ 、1時間加熱した後、徐冷した。この高温熱処理によって不必要な TSEE (放射線照射によらない TSEE) が除去され、同時に放射線照射にたいする感度が高くなり再現性も向上した。

2-2  $2\pi$  フローカウンタ

$\beta$ 線照射した試料を加熱した時放出されるエキソ電子を Fig. 1 に示すような $2\pi$ 型フローカウンタで検出した。計数ガスとして Q ガスを用いた。ガス流量は $30\sim 40\text{cc/分}$ とした。試料素子はエキソ電子フリーな材料であるカーボンで作った基板上に置き、 $650\text{W}$ のハロゲンランプで加熱した。加熱速度は約 $1^\circ\text{C/s}$ 一定とした。試料の上に引出し用メッシュ電極を置いて $+100\text{V}$ を加えた。陽極は、 $50\mu\text{m}\phi$ のタングステン線を $10\text{mm}\phi$ のリング状にし

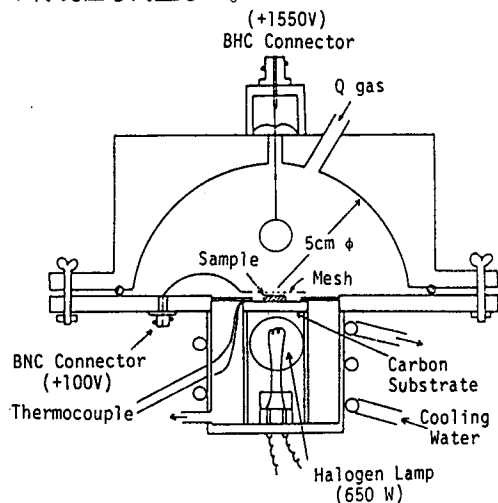


Fig. 1. Scheme of the  $2\pi$  flow counter.

たもので +1550V を加えた。測定系のブロックダイアグラムを Fig. 2 に示す。プリアンプのゲインは 1. リニアアンプのゲインは 100, ディスクリレベルは 0.1V である。この 3 つの回路を 1 つのモジュールに組込んだもの (アサノ電子製: MPS-1201A) を用いた。

### 2-3 ポリマー・トリチウム線源

Fig. 3 のような 300 $\mu$ Ci ポリマー・トリチウム線源を使用した。この線源の片側の表面から放射される  $\beta$  粒子数をガスフロー型低バックグラウンド放射能測定装置 (アロカ製) で測定した。線源の上に BeO 試料の大きさに相当する 10mm $\phi$  の穴のあいた Al 箔を置いて測定

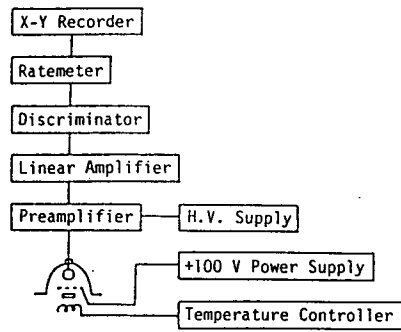


Fig. 2. Block diagram of the counting system.

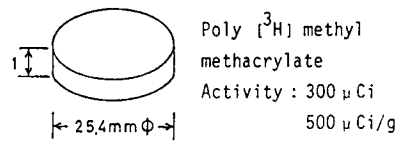


Fig. 3. Polymer tritium source.

Table 1. Maximum and mean energies of  $\beta$ -rays and stopping power in Aluminium.

Nuclide	Max. Energy	Mean Energy	Stopping Power in Al
$^{90}\text{Y}$	2.28 MeV	0.800 MeV	1.5 MeV/g $\cdot$ cm $^2$
$^{90}\text{Sr}$	0.546		
$^{204}\text{Tl}$	0.763	0.243	2.0
$^{147}\text{Pm}$	0.225	0.062	4.4
$^{63}\text{Ni}$	0.066	0.0172	11.2
$^3\text{H}$	0.018	0.0057	27.6
Polymer $^3\text{H}$	0.018	0.0038	35.9

した結果  $1.46 \times 10^4$  cpm であった。この値は BG を差引いた値である。

$^3\text{H}$  線および実験に使用した他の  $\beta$  線源の最大エネルギー, 平均エネルギー<sup>3)</sup> とこれらの  $\beta$  線に対する Al の阻止能の値を Table 1 に示す。BeO の阻止能の値は知られていないので、これと密度がほとんど同じで原子番号の小さい Al の阻止能の値を用いた。トリチウム  $\beta$  線の平均エネルギーに対する阻止能は文献<sup>4)</sup> のものを用い、その他のエネルギーに対する阻止能値は、一般に用いられている Bethe の式によるグラフから得た。トリチウム  $\beta$  線のスペクトル<sup>5)</sup> から平均エネルギーを求めると、Table 1 の平均エネルギーと大体一致した。ポリマー・トリチウム線源からの  $\beta$  線の平均エネルギーは、次節に述べるような方法でわれわれが計算したものである。

### 3. 結果と考察

トリチウム  $\beta$  線を照射したセラミック BeO からの TSEE グロー曲線を Fig. 4 に示す。

トリチウムβ線によるBeOのTSEE

ピーク温度約270°Cのシングルピークで、このグロー曲線の形は、エネルギーの高いβ線やγ線を照射した場合でも同じである。シングルピーク全体のエキソ電子数を入射β粒子数で割った値、即ち、入射したβ粒子1個当り放出されたエキソ電子数をエキソ電子効率とする。エキソ電子効率の入射β線エネルギー

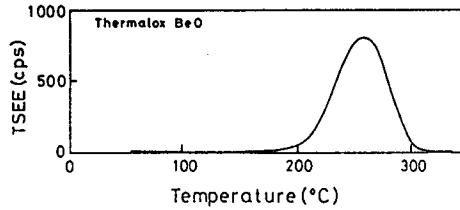


Fig. 4. TSEE glow curve from BeO irradiated <sup>3</sup>H β-rays.

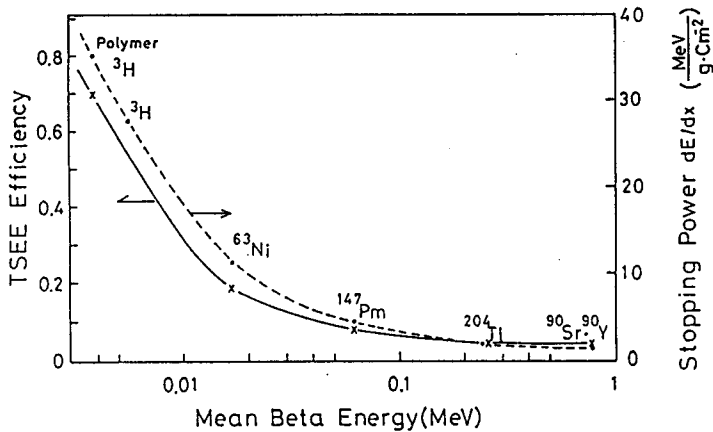


Fig. 5. TSEE efficiencies (solid line) of BeO at various β energies and the stopping power dE/dx (broken line) in Al as a function of energy.

一による変化を Fig. 5 に実線で示した。エキソ電子効率を得るのに必要な入射β粒子数の測定は、ポリマー・トリチウム線源については2-3で述べた方法で測定し、その他のβ線源についてはプラスチック・シンチレーションカウンタで行った。測定はシンチレータの前にBeO試料の大きさに相当する10mmφの穴をあけたAlまたはしんちゅうの板を置いて行い、空気層とシンチレータ遮光用のAl箔による吸収を補正した値を用いた。

ポリマー・トリチウム線源からのβ線平均エネルギーは、<sup>3</sup>Hのβ線スペクトル<sup>5)</sup>をもとにして計算した。ポリマー線源表面から深さ方向に厚さ1000Åの薄層に区切り、各層からβ粒子が表面に垂直に放出されるものと仮定した。この計算による平均エネルギーは約3.8keVである。斜めに放出されるβ粒子を考慮するとβ粒子平均エネルギーは更に低くなるものと思われる。

エキソ電子効率のβ線エネルギーによる変化と比較するため阻止能曲線を Fig. 5 に点線で示した。阻止能は、2-3で述べた理由でAlの値を用いた。阻止能とエキソ電子効率のβ線エネルギーによる変化は完全に一致しないが、β線エネルギーが低くなるに従って値が大きくなるというエネルギーに対する変化の傾向は両者共同である。±30%以内で近似的に一致しているといえる。

平均エネルギー3.8keVのβ粒子がセラミックBeO素子に垂直に入射した時の飛程を、

Fitting の式<sup>4),6)</sup> で計算すると約 2160A である。この値は、他の  $\beta$  線の飛程に比べると非常に短く、エキソ電子が物質から放出される有効厚さ<sup>7)</sup> 約 1000A の約 2 倍である。このような低エネルギー  $\beta$  粒子の中には、BeO 素子に浅い角度で斜めに入射した後、散乱によって再び外に出てエキソ電子の発生に寄与しないものもあると考へられる。

#### 4. 結 論

ポリマー・トリチウム線源を用いて、トリチウム  $\beta$  線照射によるエキソ電子を検出することが出来た。これは、市販の熱蛍光線量計 (TLD) では出来ないことである。<sup>3</sup>H, <sup>63</sup>Ni などの低エネルギー  $\beta$  線照射によるエキソ電子効率、阻止能曲線と比較した場合、相対的に低いが、<sup>3</sup>H から <sup>90</sup>Sr・<sup>90</sup>Y の  $\beta$  線まで全体的にみると、エキソ電子効率の変化と阻止能の変化は、 $\pm 30\%$  以内で近似的に一致している。それ故、セラミック BeO 素子は有効厚さの極めて薄い (約 1000A) 一種の dE/dx メータということが出来る。従って、表面吸収線量計などその応用範囲は広いものと思われる。

この研究の一部は、文部省科学研究費 (一般研究 C) を受けて行ったものである。

#### 文 献

- 1) S. Okabe, M. Aoki and T. Nishikawa, Radiat. Protec. Dosim., **17**(1986)503.
- 2) M. Petel, W. Kriegseis, A. Scharmann and C. U. Wieters, Jpn. J. Appl. Phys. **24** (1985) Suppl. 24-4, 257.
- 3) O. L. Hogan, P. E. Zigmann and J. L. Mackin, USNRDL Report, TR-802(1964).
- 4) 中井洋太, 多幡達夫, 岡部 茂, 応用物理, **51**(1982)279.
- 5) 小田幸康, 現代物理学入門 (培風館, 1982) 260.
- 6) H. J. Fitting, Phys. Status Solidi (a) **26**(1974)525.
- 7) 青木正義, 岡部 茂, 西川嗣雄, 第48回応用物理学学術講演会講演予稿集 (1987)14.