

論	文
---	---

 α 線照射・測定装置の開発

鶴田隆雄

**Development of an Equipment Capable of Irradiating
and Measuring Alpha Particles**

Takao TSURUTA

(Received July 18, 1986)

In a study aimed at the development of solid state track detector, an alpha particle irradiation and measurement equipment has been designed. It has been shown by a chain of tests that energy and flux of the alpha particles can be regulated continuously and measured with a solid state detector and a multichannel pulse height analyzer. The equipment is instrumental in determining efficiency and critical angle for etch-pit formation.

KEYWORDS

irradiation, measurement, alpha particle, solid state track detector, energy, flux, efficiency, critical angle, etch-pit.

I 緒 言

固体飛跡検出器は、その発見^{1),2)}からすでに四半世紀以上を経過した放射線検出器であるが、今なお発展途上にある。この間、飛跡検出材料としての絶縁性物質は、結晶からガラス、プラスチックへと拡大し、それに伴って検出し得る重荷電粒子線も、核分裂片のような重いものから α 線、陽子線へとしだいに軽いものに拡大して来た。その応用分野は、初期の結晶学など物性研究から、核物理・核化学、元素濃度分析、年代測定、中性子線量測定、宇宙科学へと拡がって来ている^{3),4)}。特に、飛跡検出材料としての CR-39 プラスチックの発見⁵⁾は、 (n, α) 反応によって放出される重荷電粒子飛跡や反跳陽子飛跡の検出をきわめて容易にしたので、固体飛跡検出器による中性子線量測定の分野に画期的な進歩をもたらした。ポリエチレンをその表面に密着させて感度を高めた高速中性子用 CR-39 検出器⁶⁾、硼素化合物を溶解させて調製した低速中性子用 CR-39 検出器⁷⁾等が開発されている。

固体飛跡検出器の研究・開発を推進して行く上で、飛跡検出材料の目的とする粒子線に対する検出効率、臨界角等の基本的特性を測定することは重要である。ある飛跡検出材料の特定の種類・エネルギーの粒子線に対する検出効率・臨界角を求める実験は各種の重イオン加速器を用いて行うことができる。ただし、一般的に極めて複雑な装置の専門家による操作・運転が必要で、十分なマシントイムの確保が難しい場合が多い。一方、適切な α 線源があれば、ごく一般的な研究室で簡便に α 線照射を行うことができる。大気中で α 面線源と飛跡検出材料を平行に置き、適当に距離を変えて照射するとき、空気中の減速効果を利用して、 α 線の入射エネルギーをある程度制御することが可能である⁸⁾。しかしながら、この場合、 α 線の大気中の飛程が数 cm と短いために入射角をそろえることは難しい。

そこで、ごく一般的な研究室で、エネルギーが一定で方向のそろった α 線を比較的簡単に照射できる装置を設計・製作することにした。 (n, α) 反応で放出される粒子は勿論、反跳粒子に対する飛跡検出材料の応答

は、α線に対する応答からある程度推定することができるので、固体飛跡検出器の開発研究に役立つことが期待される。装置は、真空容器、その中に装着されるα線源と固体検出器、α線波高分析器、真空ポンプ及び真空計から成り、先行の同種の装置の製作例⁹⁾を十分参考にした。ここでは、新設された装置の概要とその特性試験の結果を述べる。

II 装置の概要

1 設計条件

固体飛跡検出器の特性を調べるための装置として次のような事項を満足することを必要条件とした。

- 1) 平行度の良いα粒子ビームが得られること。
- 2) 試料に入射するα粒子エネルギーを、固有のα線放出エネルギーから下方で任意に設定できること。
- 3) 照射位置でのα粒子のエネルギースペクトルとフラックスを測定できること。
- 4) 他の条件を変えることなく、入射角および照射時間を変えて多数の試料を次々と照射できること。
- 5) 線源を頻りに購入する必要がないよう、α線源は適当に長い半減期を有すること。
- 6) 装置を非管理区域でも使えるよう、α線源は法的な規制を受けない数量のものであること。

2 真空容器

製作した真空容器の断面図を Fig. 1 に示す。容器の主要部は厚さ 15mm のステンレス鋼板からなる。容器内圧力は真空ポンプで比較的短時間に 0.01 Torr

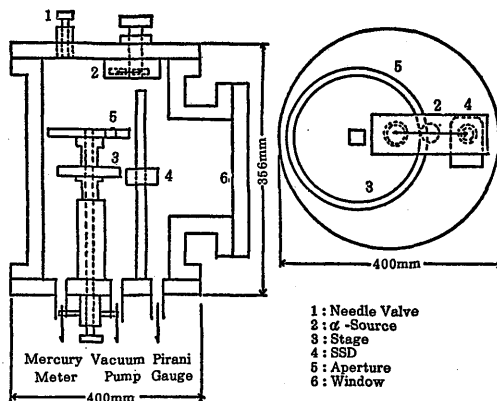


Fig. 1 Cross sectional view of the irradiation vacuum chamber

以下に減圧できる。減圧後、容器と真空ポンプの間のコックを閉じ、ニードルバルブ 1 を操作して容器内圧力を適切な値に導くことができる。容器内圧力は、760~1mmHg の範囲は水銀マンオメーターで、1mmHg ~0.01 Torr の範囲はピラニゲージで測定する。

α線源として、アマーシャム社製の 0.1μCi の ²⁴¹Am [半減期：458年, 5,486MeV (86%), 5,443 MeV (13%), 他] 線源を使用した。直径 25mm, 厚さ 1mm のコイン状の金属の片面中央に直径約 7mm の円型に ²⁴¹Am が電着されている。2π ガスフローカウンターで測定した α 粒子放出率は 3,848dps であった。この線源を Fig. 1 中 2 に示されるように真空容器上蓋の内側に下向きに取り付けた。線源は、容器の外からダイヤルを回転させることによって、格納位置から開孔 5 の直上の位置に、また α 線検出用固体検出器 (SSD) 4 の直上にと水平移動させることができる。線源を格納位置にセットしておけば、α 線は遮蔽され、試料台上へも SSD にも到達しない。線源と試料の取り得る距離の最大値は 25cm で、この場合 ±1° 以下の α 粒子の平行ビームが得られることになる。

直径 16cm のステンレス製円板状の試料台 3 の上方 3cm には、直径 18cm のアクリル製円板が固定されている。このアクリル円板には直径 3cm の開孔があり、その直下の試料にのみ α 粒子が入射することになる。容器の外からの操作で試料台を回転させてもアクリル円板は回転しないので、試料台上に種々の角度で置かれた試料に次々に α 粒子を入射させることができる。

真空容器の側面には、厚さ 20mm のアクリル製窓 6 が取り付けられており、照射中の容器内の様子を観察することができる。ただし、SSD を使って α 線スペクトルを測定するときは、この窓に別に用意されている遮光のための蓋を取り付ける必要がある。

3 α線波高分析器

α線波高分析器のブロック図を Fig. 2 に示す。SSD は公称面積 400mm² の Si 表面障壁型半導体検出器である。この検出器の中央部の 5.4MeV α 粒子に対する検出効率は 100% であることが確認され、その有効面積は 408mm² であると測定された。プリンターには収録した波高分布のスペクトル図を直線又は対数で画かせ、また各チャンネルの計数値を印刷させることができる。

高真空中の SSD の上方にトリウム蒸着線源を置き、²³²Th の 4.0MeV と ²²⁸Th の 5.4MeV のスペ

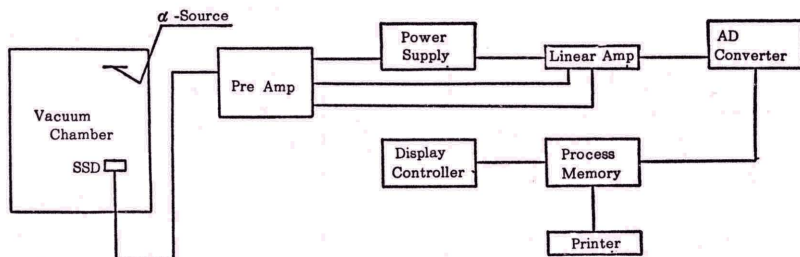


Fig. 2 Block diagram of α -spectrometer using a Si surface barrier semiconductor detector

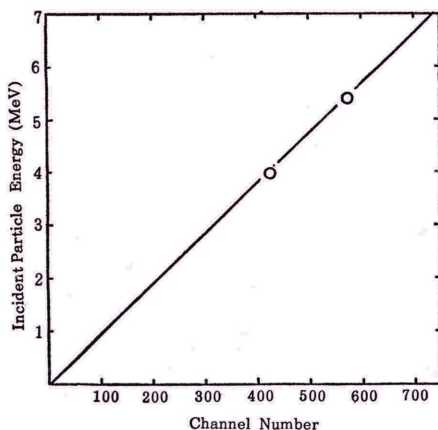


Fig. 3 Relationship between incident particle energy and channel number

クトルを取り、一定条件における波高分析器のチャンネル数とエネルギーの関係を求めた。結果の一例を Fig. 3 に示す。

真空容器、真空ポンプ、水銀マンメータ、ピラニゲージ、 α 線スペクトロトータを含む装置全体の写真を Photo. 1 に示す。

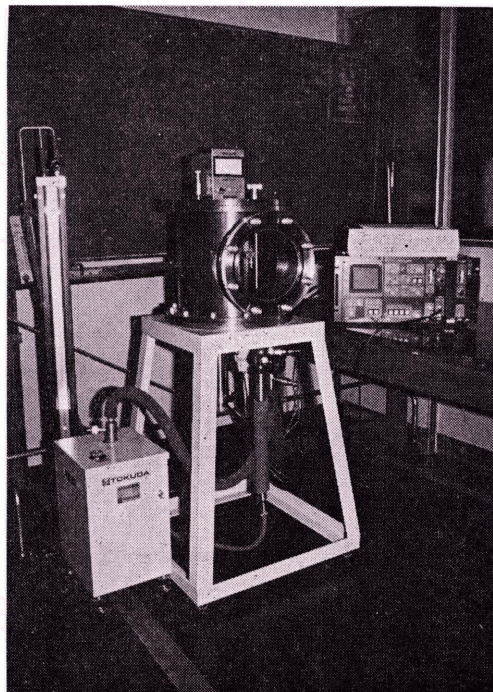


Photo. 1 Alpha particle irradiation and measurement equipment

III 実験結果

1 容器内圧力と α 線エネルギー

α 線源と SSD の距離を 5cm または 10cm に固定し、容器内空気の圧力を変化させたとき、SSD で測定される α 線スペクトルの変化を Fig. 4・5 に示す。高真空から圧力を高めるに従ってスペクトルの巾がしだいに広がる傾向にあることが観察される。圧力の変化に対するスペクトル平均エネルギーの変化を Fig. 6 に示す。圧力の増加と共に平均エネルギーの直線的な減少が見られる。

これらの実験結果から、 α 線源と照射試料を適切な距離を隔てて置き、容器内圧力を適切に設定すれば任意のエネルギーの α 粒子を照射できることが分った。

2 エネルギー吸収材の厚さと α 線エネルギー

高真空を保ちながら、 α 線源と SSD の間に α 線のエネルギー吸収材を置いて α 線スペクトルの変化を調べた。吸収材としては、厚さ $7.8\mu\text{m}$ のポリエチレンテレフタレートフィルムを使用し、これを 1~4 枚重ねて使用した。フィルムの枚数の変化に伴う α 線スペクトルの変化を Fig. 7 に、平均エネルギーの変化

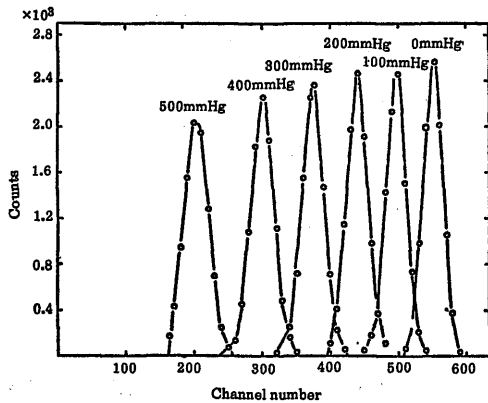


Fig. 4 Change of the energy spectrum of α-particles with the chamber pressure. Distance between α-source and SSD : 5cm

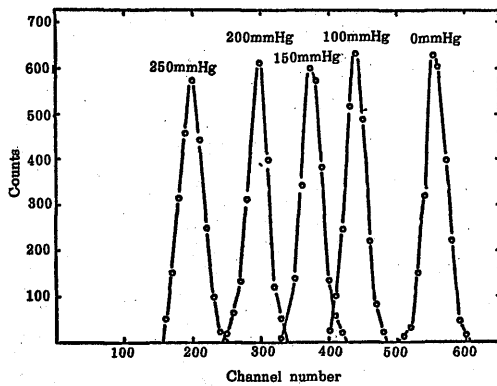


Fig. 5 Change of the energy spectrum of α-particles with the chamber pressure. Distance between α-source and SSD : 10cm

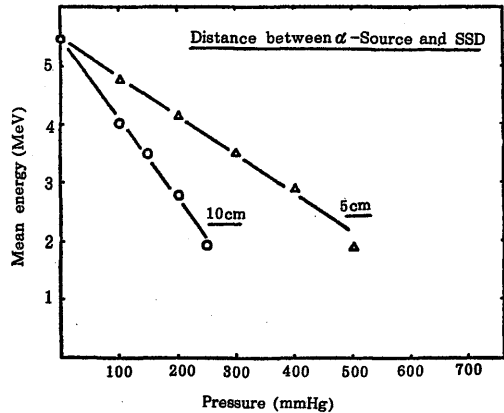


Fig. 6 Mean energy of α-particles for different chamber pressures

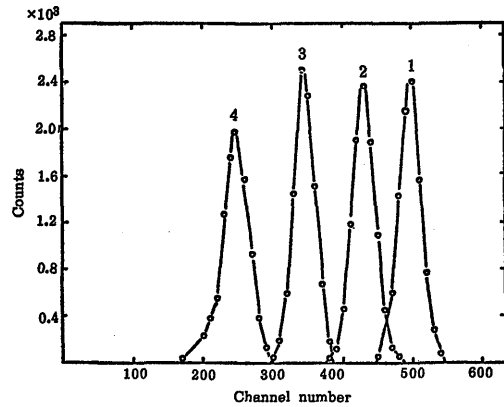


Fig. 7 Change of the energy spectrum of α-particles with the number of sheets of plastic film. Thickness of the film : 7.8μm

を Fig. 8 に示す。容器内圧力を増加させた場合とほぼ同様の結果が得られた。

真空容器の開口部のすべてのバルブを閉じ、真空ポンプを停止して容器内圧力を長時間一定値に保つことは困難な場合がある。これはバルブの閉じ方、真空保持のためのパッキングの不完全性に由来する。これに対し、真空ポンプとの接続バルブを開き、真空ポンプを運転しながら容器内を0.01 Torr 以下の高真空に保つことは容易である。これは、多少のリークがあっても真空ポンプの排気能力がそれを上廻っているからである。従って、線源のα線放出エネルギーより低いα線エネルギーで試料を長時間照射しようとする場合

は、容器内圧力を制御する方法よりも、容器内圧力を高真空に保ちながら吸収材の厚さを適切に設定する方法をとる方が良いと考えられる。

現在、この装置を使って、CR-39、硝酸セルロース等各種プラスチック検出器の臨界角のα線エネルギー依存性の測定を行っている。

IV 結 言

真空容器、α線源、固体検出器、α線波高分析器、真空ポンプ及び真空計から成るα線照射・測定装置を設計・製作し、その特性試験を行い、次の結論を得た。
(1) 高真空の下でα線源と照射試料の距離を離すこと

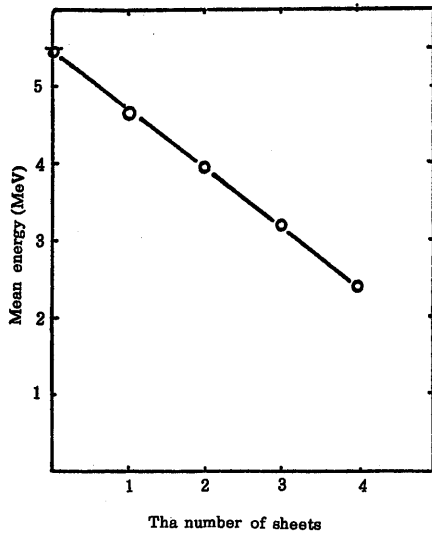


Fig. 8 Mean energy of α -particles for different number of sheets of plastic film

によって、 $\pm 1^\circ$ 以下の平行度のよい α 粒子を試料に入射させることができる。

- (2) 容器内の圧力を調整し、または α 線源と試料の間に吸及材を置くことによって試料に入射する α 粒子のエネルギーを任意に設定することができる。
- (3) 照射位置での α 粒子のエネルギースペクトルとフラックスを固体検出器と α 線波高分析器により測定することができる。
- (4) 容器外からダイヤルを回すことによって多数の試料を次々と照射することができる。
- (5) これらの特性から、本装置は、固体飛跡検出器の

検出効率、臨界角等基礎的特性の研究に極めて有効であると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、有益な情報を提供して下さいました放射線医学総合研究所石樽信人氏、実験にご協力いただきました近畿大学工学部河合政利氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Young, D. A.: *Nature* **182**, 375 (1958)
- 2) Silk, E. C. H. and Barnes, R. S.: *Phil. Mag.* **4**, 970 (1959)
- 3) 阪上正信: 粒子トラックとその応用, 南江堂 (1973)
- 4) Fleischer, R. L., et al.: "*Nuclear Tracks in Solids*", Univ. Calif. Press. (1975)
- 5) Cartwright, B. G., et al.: *Nucl. Instr. Meth.* **153**, 457 (1978)
- 6) 鶴田隆雄: 放射線 **9**, 46 (1982)
- 7) Tsuruta, T. and Juto, N.: *J. Nucl. Sci. Technol.* **21**, 871 (1984)
- 8) 鶴田隆雄: 近畿大学原子力研究所年報 **21**, 69 (1984)
- 9) Ishigure, N. and Matsuoka, O.: *Radioisotopes* **30**, 480 (1981)