

JAERI-M

SDG-77014

7321

X線・ガンマ線用高純度ゲルマニウム  
検出器の試験方法 (翻訳)

—IEC Document 45 (Central Office) 108—

1977年10月

(訳) 阪井英次

この報告書は、日本原子力研究所がJAERI-Mレポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

X線・ガンマ線用高純度ゲルマニウム  
検出器の試験方法（翻訳）

— IEC Document 45 (Central Office) 108 —

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部  
（訳） 阪 井 英 次

（1977年9月9日受理）

本報告書は International Electrotechnical Commission (IEC) の文書 45 (Central Office) 108 (1977年6月) "Test Procedures for High-Purity Germanium Detectors for X and Gamma Radiation" 全文の日本語訳である。本文書の成立の事情についても触れた。

Test Procedures for High-Purity Germanium  
Detectors for X and Gamma Radiation  
- A Japanese Version of IEC Document  
45 ( Central Office ) 108 -

Eiji SAKAI

Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

( Received September 9, 1977 )

This is a Japanese version of International Electrotechnical Commission( IEC ) Document 45 ( Central Office ) 108 ( June 1977 ) " Test Procedures for High-Purity Germanium Detectors for X and Gamma Radiation ". The background for issuing the Document and the related topics in Japan are also explained.

Keywords: International Electrotechnical Commission, High-Purity Germanium detectors, Test Procedures, X and Gamma Radiation, Japanese Translation, History, Japanese Industrial Standards

目 次

|  |     |
|--|-----|
| 第 I 章 はじめに .....   | 1   |
| 第 II 章 I E C 文書 4 5 ( Central Office ) 1 0 8 の日本語訳 ..... | 2   |
| 第 III 章 おわりに .....                                       | 1 3 |
| 文 献 .....  | 1 3 |

Contents

Summary

Chapter I. Introduction

Chapter II. Japanese Version of IEC Document 45 ( Central Office ) 108

Chapter III. Concluding Remarks

References

## 第 I 章 はじめに

ゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験方法に関しては、米国の The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (345 East 47th Street, New York, N.Y. 10017; IEEE と略する) が作成し、American National Standards Institute (ANSI と略する) が承認した IEEE Std 325-1971 (ANSI N428-1972) "Test Procedures for germanium Gamma-Ray Detectors"<sup>1)</sup> および International Electrotechnical Committee (1, rue de Varembe, Geneve, Switzerland; IEC と略する) が作成した IEC Publication 430 (First edition, 1973) "Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors"<sup>2)</sup> という規格がある。後者は前者を参考にして決められたものである。後者の日本語訳は原研レポート<sup>3)</sup>に前者との違いや成立の事情なども含めて示した。また、この概略は雑誌<sup>4)</sup>に紹介した。我国においてもゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験方法に関する日本工業規格の作成が検討され、工業技術院の委託で日本電気計測器工業会(東京都港区芝罘平町20(☎105), Tel(03)502-0601)のゲルマニウム放射線検出器工業標準原案作成委員会(委員長 西野治氏)が昭和50年8月~昭和51年3月にわたって原案<sup>5)</sup>を作成した。この原案は工業技術院に提出された。現在、工業技術院(標準部電気企画課)で検討中である。この原案の作成作業の段階で高純度ゲルマニウム検出器に関する条項、例えば温度サイクルに関する条項を含めることも検討されたが、国際規格が未だない状態では時期尚早であり、含まないこととなった。

一方、IECの放射線計測関係を扱う技術委員会TC45のワーキンググループWG9(委員長 Louis Costrell(米), メンバ R.Cervellati(伊), C.Lallemant(仏), V. Matveev(ソ), J.Miller(英), A.Lauber(スウェーデン))は1975年12月のSan DiegoにおけるTC45会議で高純度ゲルマニウム検出器の試験方法を検討することを決め<sup>6)</sup>、1976年2月末にその最初の原案を作成した。<sup>7)</sup> 1976年10月には文書45 (Secretariat) 196として発刊され、この文書に対するコメントが1977年3月のBaden Badenにおける会議で検討され、その結果が、文書45 (Central Office) 108として、各国の委員会の承認を得る目的で、1977年6月に発刊された。<sup>8)</sup> この文書は、いわゆる6ヶ月ルールというもので、6ヶ月の間に各国の委員会が検討し、賛否をIECに知らせることになっている。IECの活動やIEC文書Secretariat, Central Office, Publicationなどに関しては西野氏<sup>9)</sup>の解説を参照して欲しい。IEC文書45 (Central Office) 108の概要は雑誌<sup>10)</sup>にまとめた。

本報告書は、8章、図面2、表1を含む英文、仏文各11頁からなるIEC文書45 (Central Office) 108の日本語訳を第II章に示している。高純度ゲルマニウム検出器の試験方法に関する日本工業規格もやがて検討されることになるものと思われるが、現在(1977年8月)の所は未だ予定には挙げられていない。

## 第 II 章 IEC 文書 45 (Central Office) 108 の日本語訳

国際電子技術委員会

文書 45 (中央事務局) 108

技術委員会 № 45 : 放射線計測

原 案

X線・ガンマ線用高純度ゲルマニウム検出器の試験方法

本文書は 1977 年 3 月に Baden Baden で開催された会議において技術委員会 № 45 による決定にしたがって、6 ヶ月ルールの元に各国の委員会の承認を求めるために提出したものである。

1977 年 6 月

序 言

本原案の作成は、(IEC Publication 430 を高純度ゲルマニウム検出器に適用できるように拡張する目的で) 1975 年 12 月に San Diego で技術委員会 № 45 のワーキンググループ 9 の会議で検討された。このとき作成された原案は 1976 年 2 月にコメントを求めるためにワーキンググループ 9 のメンバーに配布され、1976 年 10 月に文書 45 (秘書) 196 が発刊された。これに対するコメントは、1977 年 3 月に Baden Baden で検討された。本中央事務局文書は文書 45 (秘書) 196 にもとづいている。

目 次節

1. 範囲
2. 目的
3. 序論
4. 温度サイクル可能性
5. 空乏電圧
6. スキャニング
7. X線および低エネルギーガンマ線検出器用の追加試験方法
8. 高エネルギーガンマ線検出器用の追加試験方法
  - Figure 1 検出器静電容量を測定する試験回路
  - Figure 2 平行平板型検出器のスキャン試験
  - Table I 放射線源

## 原 案

### X線・ガンマ線用高純度ゲルマニウム検出器の試験方法

#### 1. 範 囲

本文書は、第3.1節にも述べられているように、X線およびガンマ線用の高純度ゲルマニウム検出器に適用される。

#### 2. 目 的

IEC Publication 430に示した試験方法に追加して、特に高純度ゲルマニウム検出器に適用できる試験方法を確立することが本文書の目的である。

本文書に述べたすべての試験を行なう義務があるというのではない。しかしながら、完成した装置について実施するような試験は、本文書に示した方法にしたがって行なわねばならない。

#### 3. 序 論

##### 3.1 概説

電離性放射線に対するゲルマニウム検出器の一貫した(uniform)試験方法を確立するために、IEC Publication 430が1973年に発刊された。当時存在していた検出器はリチウムドリフト法により製作され、主にガンマ線の解析用に用いられていた。高純度ゲルマニウムから作られた検出器、Ge(hp)がその後使用可能となった。さらに、数100 keVまでの光子エネルギーのガンマ線およびX線スペクトロスコーピに小型のゲルマニウム検出器を使用することに強い関心を持たれるようになった。

高純度ゲルマニウム検出器により提供される新しい性能の特徴の主なものは温度サイクル可能性である。これらの検出器の性能はリチウム補償に依存せず、したがって、リチウム析出によりもたらされる劣化が起らないので、これらの検出器をときどき、あるいは繰り返し室温にすることができる。

高純度ゲルマニウム検出器のもう一つの独特の特徴はこれらが零でない残留不純物濃度を持つ材料から作られているので、空乏層が片方の電極から始まり、十分な電圧 $V_D$ (空乏電圧(depletion voltage))が印加されたときだけもう一つの電極に広がることである。検出器の全スペクトロメータ効率を実現するためには、動作電圧は $V_D$ を超えなければならない。高純度ゲルマニウム検出器の性能は、リチウムドリフト型検出器が明確に定義された空乏電圧



を一般には示さないことを除くと、リチウムドリフト型検出器の性能に非常に類似している。

検出器の性能は、外部電界や吸着されている不純物により誘起される表面電荷の遮蔽効果、残留不純物分布の非一様性、およびゲルマニウム中の構造上の欠陥を含む数種の因子により悪影響を受ける。放射線の集束ビームを使用して検出器をスキャンすることは種々の検出器の異常を診断するのに有用である。これらの欠陥の解釈 (interpretation) を理解し一貫性 (uniformity) を実現するための一つのステップとして本規格中にこの試験法<sup>\*</sup>の簡単な説明が含まれている。

### 3.2 記号

|            |   |
|------------|---|
| $C_d$      | 検出器静電容量   |
| $C_F$      | フィルタ箱中の結合コンデンサ  |
| $e$        | 電子の電荷   |
| $E$        | ガンマ線エネルギー   |
| $\epsilon$ | 正孔・電子対1個を作るのに必要な平均エネルギー                                     |
| $N_{imp}$  | 正味の残留不純物濃度  |
| $Q_\gamma$ | ガンマ線吸収により作られた電荷   |
| $Q_P$      | テストパルスにより作られた電荷   |
| $R_F$      | フィルタ箱中のフィルタ抵抗   |
| $V_D$      | 空乏電圧 (depletion voltage) あるいは突き抜け電圧 (punch-through voltage) |
| $V_P$      | テストパルスの振幅   |
| $w$        | 高純度ゲルマニウム領域の厚さ <sup>**</sup>                                |

## 4. 温度サイクル可能性 (Temperature cyclability)

### 4.1 議論

Ge(Li) 検出器と異なって、高純度ゲルマニウム検出器は (検出器が放射線損傷を受けていなければ) 室温と動作温度<sup>+</sup>の間をサイクルしてもゲルマニウムのバルク (bulk) の性質に影響しない。起り得る変化は表面効果に帰することができる。これらの表面効果の原因は、ガス分子あるいはイオンの吸着、半導体の表面あるいは近傍の絶縁物の表面上の電荷の運動、および酸化層の成長のような表面上の化学反応を含む。これらの影響を減らすためには検出器をパッシベート (passivate) するか、あるいは密封 (hermetic) する。このような変化が検出器の動作に影響する程度は、検出器とその関連装置が作られ組み立てられた方法のみに依存するだけでなく、検出器をユーザが取り扱う方法にも依存する。半導体表面は極く微少な量の汚

\* 訳者注：放射線の集束ビームを使用する試験法

\*\* 中央事務局注：“w”は“d”の代りに試みに使用した。

† 訳者注：液体窒素温度，77 Kが通常の動作温度

染 (contamination) に影響されるので、ユーザはそのような変化をもたらすような過程を避け、製造者が推せんしている動作方法に注意深くしたがうように注意を払う必要がある。例えば、ゼオライトのような吸着物質を含む検出器装置は急速に昇温してはならない。これは凝縮可能の蒸気を吸着物質から、通常室温に最後に到達する検出器に、移動させやすいからである。

温度サイクル可能性の試験を行なうとき、各温度サイクルの時間は少なくとも12時間室温に置いた後、スペクトロメータ特性が安定化するのに十分な時間(2~6時間)かけて動作温度に冷却しなければならない。安定したことを確実にするために、スペクトロメータ特性測定より少なくとも1時間前から、電子回路に電源を印加しておく必要がある。バイアス電圧も測定の少なくとも1時間前に印加すべきである。バイアス電圧は徐々に印加し、また、検出器が冷却されているときだけ印加しなければならない。そうしなければ、検出器あるいは電界効果トランジスタがこわれる可能性がある。真空装置は、この試験サイクルの間再排気をするために、あけて(open)はならない。

#### 4.2 温度サイクル可能性の種類(classes)

現在の使用方法および予想される使用方法に対応して、数種の温度サイクル可能性を以下に定義する。製造者はその検出器の温度サイクル可能性の種類を明示しなければならない。製造者は主張したい(claim) これらのパラメータ(例えばFWHM, FWTM, 効率, ピーク/コンプトン比)を選び、その保証期間中、温度サイクルを行なった後でもまだこれらのパラメータの値が(ある量以下だけ変るといよりはむしろ)保証した値を満足していなければならないことを明記しなければならない。

##### 4.2.1 サイクル可能検出器(Cyclable detectors)

検出器はクライオスタット装置の一体部分として真空中に取り付けられている。製造者の主張にしたがって検出器を室温と液体窒素温度の間で繰り返しかえしサイクルでき、ユーザの所へユーザの選択(at his option)で室温で発送することができる。この種類の検出器は、可搬型装置のような頻繁な昇温が予期される装置および液体窒素の連続的供給が保証されない装置あるいは連続供給が便利でない装置に対して特に有用である。

製造者により温度サイクル可能と明記されるためには、各検出器は温度サイクルされなければならない。このことは明記された回数の温度サイクルをすでに行なったこと、および、一連のサイクル中あるいはサイクル後に明記されているパラメータが保証されている値を満足し続けることを意味している。製造者は、その保証したパラメータが各サイクル後に測定されたものか、明記した回数のサイクル後のみに測定されたものかを述べなければならない。製造者が何かの方法で明記しないかぎり、サイクル可能性の主張は無限に長い室温貯蔵能力を持つことを意味している。

##### 4.2.2 密封型検出器(Hermetic detectors)

密封型検出器はそれ自体の密封された囲い(キャプセル)中に取り付けられたユニットとして供給されユーザのクライオスタットに取り付けることのできるものである。この検出器は無限に(あるいは指定された期間中)室温に置くことができ、また、製造者により明記された通

りの性能で繰り返しサイクルできる。

#### 4.2.3 部屋空気パッシベータイド検出器 (Room air passivated detectors)

部屋空気パッシベータイド検出器の表面は充分保護されており、通常の温度で部屋の空気中に貯蔵しても著しく劣化するようなことはない。ユーザは検出器をクライオスタットに取り付け、排気し、検出器を冷却して動作することができる。検出器をその後昇温し、再び部屋の雰囲気中に戻すことができ、製造者により明記されている通りにこのサイクルを繰り返すことができる。

#### 4.2.4 アニール可能検出器 (Annealable detectors)

アニール可能検出器はサイクル可能検出器 (第4.2.1節) であり、放射線損傷の影響を減少するために決められた時間だけ指定の温度に置くことができるものである。クライオスタット、検出器、検出器取付台は (120°C, 12時間というような) アニール条件に適応することができるものでなければならない。放射線損傷を受けていない場合においても検出器は、このアニール作業を行なっても指定の限界以上にその性能を劣化しないことを明記すべきである。

### 5. 空乏電圧 (Depletion voltage)

#### 5.1 議論

高純度ゲルマニウム検出器の空乏領域の厚さはある印加電圧  $V_D$  まで印加電圧とともに増大し、 $V_D$  で検出器の全体に空乏領域が広がる。漏洩電流が過大にならない範囲内で  $V_D$  より著しく大きい動作電圧において最良の性能が得られる。この挙動は、正確に補償されたリチウムドリフト型検出器が低い電圧においてさえ片方の電極から他方の電極へ内部電界を広がらせるのに充分であるということと対照的である。

空乏電圧に関する知識が検出器の動作の最適条件を確立するのに欠くことができないというわけではない。本節の記述はその個人指導的価値 (tutorial value) をもたらすものであり、空乏電圧の値を仕様ずける (specify) ことは必須 (mandatory) ではない。

一様な不純物濃度を持つ並行平板 (plane-parallel) 型高純度ゲルマニウム検出器において、空乏領域の厚さは空乏電圧以下では印加電圧の平方根にしたがって増大する。空乏電圧は

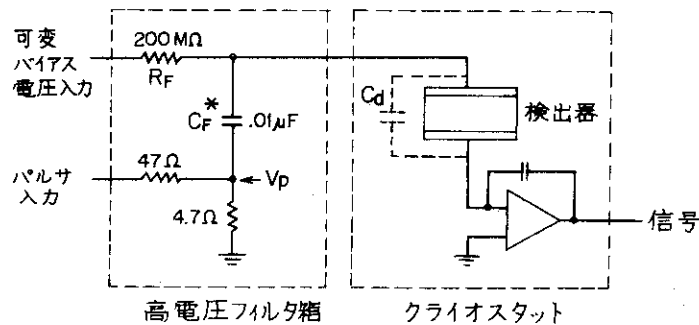
$$V_D = 5.66 \times 10^{-8} w^2 N_{imp}$$

で与えられ、 $V_D$  は空乏電圧 (ボルト)、 $w$  は高純度ゲルマニウム領域の厚さ (cm)、 $N_{imp}$  は電氣的に活性の不純物の正味の濃度 (原子/cm<sup>3</sup>) である。類似の議論が同軸型や他の形状の検出器に適用される。

理想の検出器の場合、 $V_D$  は一定であり、数種の違った測定法のどれによっても一義的 (uniquely) に決め得る。実際の検出器では、半導体表面の性質が変化するとき  $V_D$  の見かけ上の変化が観測される。さらに、形状因子 (geometrical factor) あるいは半導体中の一様でない不純物分布にもとづいて、異なった測定法が異なった  $V_D$  の値を示す。したがって、 $V_D$  の値を記述するときは、それを決めるのに用いた方法を述べる必要がある。

## 5.2 検出器静電容量にもとづく測定

空乏電圧を決める方法として推せんする方法は、検出器静電容量のバイアス電圧依存性を測定することである。検出器の両電極に触れることができる (accessible) かあるいは一方の電極がクライオスタットに接地されているとき、キャパシタンスブリッジを用いる測定方法は比較的簡単である。しかし、検出器が内部前置増幅器に接続され、その片方の端子が接触可能である (accessible) ときは、Figure 1 に示した試験回路を用いてその静電容量を測定できる。



\*注:  $C_F$  は高電圧低雑音コンデンサ, 例えば高性能プラスチック型

Fig. 1 検出器静電容量を測定する試験回路

パルサからのテストパルスを検出器を通して (高電圧フィルタ箱を経て) 加え、電荷  $Q_P$

$$Q_P = \frac{V_P C_d}{1 + C_d / C_F}$$

を前置増幅器入力に流し込む。ここで、 $V_P$  は実際検出器に加えられるテストパルスの振幅、すなわち、Figure 1 に用いられている回路素子に対してはパルサ入力における振幅の 0.091 倍\* である。高電圧フィルタ箱中で速いバイアス電源の変化をゆるやかにする役目をしているコンデンサ  $C_F$  はテストパルスに対する大きな直列結合コンデンサとしても働いている。 $C_F \gg C_d$  とすることにより補正項  $C_d / C_F$  は無視できる。高電圧フィルタ抵抗  $R_F$  は大きな値でありパルサ信号を短絡しないようになっている。

検出器静電容量は、エネルギー  $E$  のガンマ線の全吸収により作られる電荷  $Q_\gamma = e E / \epsilon$  を観測することにより決定できる。ここで、 $\epsilon$  は Ge 中で電子正孔対 1 つを作るに必要な平均エネルギーで 77 K で約 2.97 eV であり、 $e$  は電子の電荷である。この観測は、捕獲現象 (trap-

\*訳者注:  $4.7 \Omega / (4.7 \Omega + 4.7 \Omega) = 0.091$

ping)により失なわれる電荷の量が無視できるように充分高い検出器バイアス電圧を印加して行なわねばならない。 $Q_p = Q_\gamma$  になるようにパルス振幅を調整すると

$$C_d = eE / \epsilon V_p$$

となる。

検出器バイアス電圧を変え、 $Q_p$ の一定値を保つに必要な $V_p$ の値を測定する。これらのデータを用いてC-Vプロットを作る。検出器の空乏電圧は、それ以上で検出器の静電容量が変化しない電圧である。

校正用パルス $Q_\gamma$ の使用は $V_D$ の決定に必須というわけではないが、それが与える情報故に推奨される。さらに、簡単な形状の検出器に対して、 $Q_\gamma$ の使用により検出器全体にわたって空乏層が広がったかどうかを調べることができる。電圧依存の静電容量から静電容量の形状からの期待値への移り変りが鋭い場合は、空乏領域がその対応する電極表面にその全表面にわたって同時に到達したことを示す。徐々に移り変る場合は一様でない不純物分布、電圧依存の表面状態、あるいは複雑な検出器形状を意味している。

### 5.3 効率のバイアス依存にもとづく測定

検出器の有感体積は、検出器中に空乏層が完全に広がるまでバイアス電圧とともに増大する。 $V_D$ に対応する移り変りは、検出器に貫通ガンマ線を照射しながらバイアスの関数として全エネルギーピークの計数率を測定することにより観測できる。この方法は、第5.2節で述べた静電容量法では考慮されていない電荷担体捕獲から生じる誤差の影響を受けるので、このことを心に止めた上でその測定結果を解釈する必要がある。

入射放射線の方向と平行に測定した検出器のもっとも厚い寸法と少なくとも同じ程度のゲルマニウム中の $1/e$ 吸収長( $1/e$  absorption length)を持つ孤立したガンマ線(isolated gamma-ray)を作る放射線源を選ぶべきである。推せんする線源(Table I参照)としては $^{60}\text{Co}$ の1.33 MeV ガンマ線および $^{208}\text{Tl}$ の2.61 MeV ガンマ線( $^{228}\text{Th}$ 線源からの)がある。これらのガンマ線はそれぞれ3.8 cmおよび4.8 cmの $1/e$ 長( $1/e$  length)を持つ。全エネルギーピーク全体を数えるように設定したシングルチャンネルアナライザの出力(あるいはマルチチャンネルアナライザで加算された出力)の計数率を測定する。著しいパイルアップによる誤差をさけるように充分低い線源強度を用いていることを明示すべきである。

### 5.4 弱い貫通能(weakly penetrating)の放射線を用いる測定

全体に空乏層が広がるにしたがって空乏領域の境界が動いて行く方の電極に放射線を導けるような形状のクライオスタットに対しては、空乏電圧の直接的測定が可能である。検出器の厚さに比べて小さな $1/e$ 吸収長を持つ放射線を出す線源を用いて、計数率をバイアス電圧の関数として測定する。放射線がコンテナおよび検出器不感層を貫通するのに充分なエネルギーを持つときに最高の感度をもたらす。検出器がその全面積にわたって一様に空乏層が広がる時、空乏層が全体に広がる少し前に計数率は急速に増大し始め、それ以上の電圧に対して一定値を示す。

この方法は集束放射線源(次節で完全な説明を行なう)と組み合わせてしばしば用いられている。

## 6. スキャニング

### 6.1 議論

本節の内容は個人指導的価値を持つように記述しており、このような試験をルーチンに行なうよう推奨していることを必ずしも意味しない。<sup>\*</sup>

内部検出器電界は極く少数の固定電荷 (fixed charges) (活性の不純物に対する) の分布により決められるので、表面電荷および内部の不純物分布の比較的小さな変動が高純度検出器の内部および表面電界に著しく影響する。電荷をその線に沿って集める電界線が検出器の表面と交叉して、表面チャンネルが収集の通路として働く場合もあり得る。したがって、放射線の集束ビームを使用して検出器の有感体積をバイアス電圧の関数として調べることは非常に有益である。

この方法を説明するために、Figure 2 に示したような平行平板型検出器を調べると仮定する。

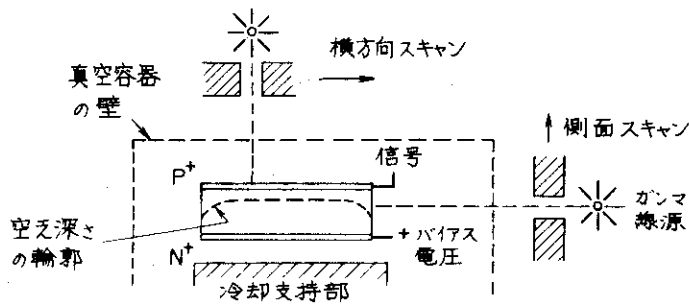


Fig. 2 平行平板型検出器のスキャン試験

この例では検出器は p 型ゲルマニウムから作られているので、バイアス電圧が増大するにつれて、有感体積の境界は p<sup>+</sup> 電極に近づいて行く。検出器内のこの境界の位置は数 mm のゲルマニウムによって強く吸収されるようなエネルギーを持つガンマ線あるいは X 線の集束ビームで検出器をスキャンすることにより決めることができる。検出器の p<sup>+</sup> 入射窓に沿ってビームを動かす (横方向スキャン (transverse scan)), あるいは検出器の側面の表面に沿って動かす (側面スキャン (side scan)) ことにより有用な情報を得ることができる。

### 6.2 放射線源

スキャンに便利な数種の放射線源 (および空乏電圧測定用線源) を Table I に示した。

<sup>\*</sup> 中央事務局注：本節はしたがって本文の大部分と違った型の文字で印刷される。

Table I 放射線源

| 線源  | 半減期   | 放射線 (keV)   | Ge中1/e吸収長 (mm) |
|---|-------|-------------|----------------|
| $^{109}\text{Cd}$                         | 453日  | 22          | 0.0587         |
|   |       | 25 } Ag X-線 | 0.0835         |
|   |       | 88          | 2.59           |
| $^{241}\text{Am}$                         | 433年  | 60          | 0.962          |
| $^{57}\text{Co}$                          | 270日  | 14          | 0.019          |
|   |       | 122         | 5.31           |
| $^{137}\text{Cs}$                         | 30年   | 662         | 27             |
| $^{60}\text{Co}$                          | 5.27年 | 1332        | 38             |
| $^{208}\text{Tl}$ ( $^{228}\text{Th}$ から) | 69.8日 | 2615        | 48             |

3 mm<sup>\*</sup>厚の鉛に0.5 mmの孔を明けたコリメータを線源とともに使用して適当なスキャン場所を作ることができる。コリメータ孔の後3 cmに10 mCiの点線源を置いて、適当な強さのガンマ線ビームを作ることができる。

スキャンで観測される最大測定計数率は、使用した線源の全エネルギーピークの計数率である。ガンマ線が半導体の未だ空乏状態となっていない層を通る通路によりビームが減衰する場合あるいは電荷収集の悪い領域で吸収される場合には、この計数率はこの最大計数率の値以下に減少する。

### 6.3 横方向スキャン (Transverse scans)

空乏領域の境界がバイアス電圧増加とともに近づく方の電極を通してビームを送ることにより横方向スキャンを行なう。この電極の1/e吸収長内にこの境界が入って来たときだけ、最大計数率に近づくから、電極面積全体にわたって一様に空乏領域が広がるか否かを測定するのに用いることができる。

横方向スキャンはまた検出器の表面状態を診断するのに用いることができる。ビームが電極をスキャンするとき、完全に空乏領域の広がった検出器の端部のビーム直径内においては計数率は減少し始める。その場所の電界が検出器の側面の表面上の電荷により歪められているときは、もっと早くから計数率が減少し始める。

\*訳者注：本文は3 mmとなっている。鉛中の1/e吸収長は60, 122, 662, 1332, 2615 keVガンマ線に対して0.25, 0.28, 8.3, 15.5, 21.0 mmとなるので、鉛3 mmの厚さでは662, 1332, 2615 keVガンマ線に対して有効なコリメータにはならない。もっと厚い鉛が必要である。1976年2月のdraft<sup>7)</sup>では $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ がTable Iには含まれておらず、3 mm厚の鉛でもよかったが、本文書では $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ が加えられたために3 mmの鉛では不充分となった。訂正を行なう必要があると思われる。

#### 6.4 側面スキャン (Side scans)

中位の貫通能力を持つ (moderately penetrating) 放射線 (例えば 88 keV あるいは 122 keV) を使用する場合, 側面スキャンに対する応答は検出器の表面の下数 mm の距離にわたって平均され, 空乏領域の境界の位置を決めるのに使用できる。他方, 貫通能力の小さい (less penetrating) 放射線 (22 keV あるいは 25 keV) を用いると, 計数率は表面状態に非常に敏感となり, 不感層の存在を明らかにするのに用いることができる。

### 7. X線および低エネルギーガンマ線検出器用の追加 (additional) 試験方法

#### 7.1 概説

X線および中間 (intermediate) エネルギーガンマ線スペクトロスコピに通常使用する型の小型プレーナ型ゲルマニウム検出器を試験する方法は IEC Publication 430 (1973) に述べた一般的方法と同様なものである。したがって, X線検出器に特有の試験方法の部分についてだけ以下にその概要を述べる。

#### 7.2 検出器エネルギー分解能

ゲルマニウム X線検出器は通常もっと高いエネルギーに対して使用されるけれども, Mn の 5.9 keV  $K\alpha$  線に対するエネルギー分解能を明記することが実用的に受け入れられている。この測定に対して用いる線源は  $^{55}\text{Fe}$  である。通常明記される他のエネルギーの分解能測定は  $^{57}\text{Co}$  の 122 keV ガンマ線を用いて行なわれる。

#### 7.3 分解能およびピーク位置対計数率特性

ゲルマニウム X線検出器装置の計数率特性とエネルギー分解能特性は, 抵抗帰還を用いた電荷型前置増幅器の帰還抵抗の値に相反する要求を設定することになる。特に低エネルギーにおいては, 最良のエネルギー分解能はできるだけ大きい帰還抵抗の値 (例えばオプトエレクトロニクス結合装置におけるように実際上無限大) を用いることにより実現される。しかし, 高計数率において良い性能を得るには帰還抵抗は低い値の方がよい。

主増幅器の時定数の設定に関してもう一つの問題が起る。特に低エネルギーにおいて最良のエネルギー分解能を得るには通常長い整形時間が必要である。他方, 高計数率においても良い性能を得ることは短かい時定数を用いることによってのみ実現できる。その性能は実際のパルス幅により決定されるが, 名目の (nominal) 時定数と実際の (actual) パルス幅との関係は製造者により異なっている。ゲルマニウム X線検出器のエネルギー分解能は特定の計数率, 例えば 1000 cps に対して示さなければならない。出力計数率および MCA の % 不感時間を測定するか, あるいは前置増幅器出力に高速増幅器 - 弁別器 - スケーラ装置を用いて測定するかにより入力計数率を決定できる。エネルギー分解能測定の報告書中には, 時定数, 対応する入力および出力の計数率に関する完全な情報を記述する必要がある。



#### 7.4 全検出器不感層 (the total detector dead layer) の厚さ\*

これらの検出器が密封された装置の中に取り付けられた形で供給された場合、検出器不感層の厚さを直接測定するのは困難である。

厚い検出器不感層を前面に持つ検出器は低いピーク/バックグラウンド比を示すことが経験から判っている。ここに述べている試験は定量的測定結果をもたらさないけれども、この比と全検出器不感層の厚さの間に明確な関係が存在している。

この試験は、検出器装置の窓の中心の近くに  $^{55}\text{Fe}$  の線源の活性側 (active side) を置き、FWHMが20チャンネルになるようにゲインを調整し、5.9 keV のピークチャンネルに20000カウント蓄積するまで計数する。5.4 keV と4.5 keV をそれぞれ中心とした5チャンネル中のカウント数を平均して、それぞれ因子  $C_1$  および  $C_2$  を計算する。

ピーク/バックグラウンド比  $R_1$  ,  $R_2$  を  $R_1 = \frac{20000}{C_1}$  および  $R_2 = \frac{20000}{C_2}$  で計算する。これらの比は全検出器不感層の目安を与える。この典型的な値としては、 $\frac{5.9\text{ keV}}{5.4\text{ keV}}$  比は50~120,  $\frac{5.9\text{ keV}}{4.5\text{ keV}}$  比は120~300である。これらの値は勿論検出器分解能の関数であり、したがって、また、検出器寸法の関数である。この値より低い値は著しい全検出器不感層を持つことを意味している。

装置雑音 (グラドループ, 交流雑音など) あるいは不適当な装置の設定 (極零誤調整, 最適でない整形時定数など), あるいは近傍は存在する他の放射線源に帰因するピーク分解能の劣化はピーク/バックグラウンド比を低下させ、全検出器不感層の誤まった値を与えるので注意する必要がある。

#### 8. 高エネルギーガンマ線検出器用の追加試験方法

ガンマ線の解析に一般的に適した大型の高純度ゲルマニウム検出器の試験方法は IEC Publication 430 に述べてある。これらの試験の結果を報告する場合、使用した計数率を明記する必要がある。

高純度ゲルマニウム検出器のサイクル可能性は第4節温度サイクル可能性に述べてある方法と手続きにしたがって行なうべきである。

---

\*全検出器不感層：放射線が有感体積に到達するまでに貫通しなければならない検出器装置のすべての不感物質

### 第 Ⅲ 章 お わ り に

以上に、ゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験方法に関する IEC 規格および日本工業規格の現状、高純度ゲルマニウム検出器の試験方法に関する IEC 文書 45 (Central Office) 108 全文の日本語訳を示した。後者に関しては、高純度ゲルマニウム検出器に特有の温度サイクル可能性の種類、空乏電圧の測定方法に触れているのは当然ではあるが、集束ガンマ線ビームを用いたスキャン実験方法にも触れている。また、第 7.4 節の全検出器不感層の目安としての 5.9 keV X 線に対するピーク/バックグラウンド比という概念を含めている。この概念の裏には多くの実験データの蓄積があるものと察せられるが、それらのデータが明示されていないので、どのようにしてこの概念が導入されたかは不明である。データが示されておれば判り易かったと思われる。この文書は第 I 章にも述べた通り 6 ヶ月ルールであり、本年 (1977 年) 末までに賛否を IEC に提出しなければならない。IEC 文書 45 (Central Office) 108 の Figure 1 に示した検出器静電容量の測定方法および Figure 2 に類似の集束ガンマ線ビームを用いたピーク計数率のスキャン測定は、日本工業規格 (原案)<sup>5)</sup> にすでに含めてある。文献 5) の日本工業規格 (原案) は正式に日本工業規格として成立する前に、工業技術院の委員会で再び検討されることになるが、その段階で、高純度ゲルマニウム検出器に関する試験方法をも含めるか、あるいは、IEC の規格のように別の規格として制定するかを検討することになると思われる。

なお、ここに紹介した IEC 文書 45 (Central Office) 108 に関して意見を提出されたい方は、工学院大学西野治先生 (東京都新宿区西新宿 1 丁目 24 番地 2 号, 工学院大学内, Tel (03) 342-1211 内線 260), あるいは原研阪井 (茨城県那珂郡東海村, 日本原子力研究所内, Tel (02928) 2-5344) に連絡下さい。

最後に、IEC 事務局長 C.J. Stanford 氏に IEC 文書 45 (Central Office) 108 の翻訳の許可を求めた手紙に対する返答として、この本書が最終文書ではなく変更のあり得る文書であることを誤解のないように注意して欲しいという内容の手紙 (1977 年 8 月 24 日, ジュネーブ IEC 発) を頂いたことを附記して、むすびとしたい。

### 参 考 文 献

- 1) IEEE Std 325 - 1971 / ANSI N 42.8 - 1972 " Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors ".
- 2) IEC Publication 430 ( First Edition, 1973 ) " Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors ".
- 3) 阪井, 寺田, 片桐: ゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験手続, JAERI-M 5914 ( 1975 年 1 月 ) .

### 第 Ⅲ 章 お わ り に

以上に、ゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験方法に関する IEC 規格および日本工業規格の現状、高純度ゲルマニウム検出器の試験方法に関する IEC 文書 45 (Central Office) 108 全文の日本語訳を示した。後者に関しては、高純度ゲルマニウム検出器に特有の温度サイクル可能性の種類、空乏電圧の測定方法に触れているのは当然ではあるが、集束ガンマ線ビームを用いたスキャン実験方法にも触れている。また、第 7.4 節の全検出器不感層の目安としての 5.9 keV X 線に対するピーク/バックグラウンド比という概念を含めている。この概念の裏には多くの実験データの蓄積があるものと察せられるが、それらのデータが明示されていないので、どのようにしてこの概念が導入されたかは不明である。データが示されておれば判り易かったと思われる。この文書は第 I 章にも述べた通り 6 ヶ月ルールであり、本年 (1977 年) 末までに賛否を IEC に提出しなければならない。IEC 文書 45 (Central Office) 108 の Figure 1 に示した検出器静電容量の測定方法および Figure 2 に類似の集束ガンマ線ビームを用いたピーク計数率のスキャン測定は、日本工業規格 (原案)<sup>5)</sup> にすでに含めてある。文献 5) の日本工業規格 (原案) は正式に日本工業規格として成立する前に、工業技術院の委員会で再び検討されることになるが、その段階で、高純度ゲルマニウム検出器に関する試験方法をも含めるか、あるいは、IEC の規格のように別の規格として制定するかを検討することになると思われる。

なお、ここに紹介した IEC 文書 45 (Central Office) 108 に関して意見を提出されたい方は、工学院大学西野治先生 (東京都新宿区西新宿 1 丁目 24 番地 2 号, 工学院大学内, Tel (03) 342-1211 内線 260), あるいは原研阪井 (茨城県那珂郡東海村, 日本原子力研究所内, Tel (02928) 2-5344) に連絡下さい。

最後に、IEC 事務局長 C.J. Stanford 氏に IEC 文書 45 (Central Office) 108 の翻訳の許可を求めた手紙に対する返答として、この本書が最終文書ではなく変更のあり得る文書であることを誤解のないように注意して欲しいという内容の手紙 (1977 年 8 月 24 日, ジュネーブ IEC 発) を頂いたことを附記して、むすびとしたい。

### 参 考 文 献

- 1) IEEE Std 325 - 1971 / ANSI N 42.8 - 1972 " Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors ".
- 2) IEC Publication 430 ( First Edition, 1973 ) " Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors ".
- 3) 阪井, 寺田, 片桐: ゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験手続, JAERI-M 5914 ( 1975 年 1 月 ) .

- 4) 阪井：ゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験手続－IEC Publication 430(1973)の紹介－，放射線，Vol.2(1975)，№1，83-89．
- 5) ゲルマニウム放射線検出器工業標準原案作成委員会：日本工業規格(案)ゲルマニウム・ガンマ線検出器の試験方法(昭和51年3月)．
- 6) 西野治：国際電気標準会議(IEC)TC45 サンディエゴ会議報告書(昭和51年1月，日本電気計測器工業会)．
- 7) Test Procedures for High-Purity Germanium Detectors for Ionizing Radiation, February 1976 Draft.
- 8) IEC Document 45 ( Central Office ) 108 " Test Procedures for High-Purity Germanium Detectors for X and Gamma Radiation " ( June 1977 ).
- 9) 西野治：IEC TC45 Nuclear Instrumentation 会議に出席して，日本原子力学会誌，Vol.16(1974)，№2，92．
- 10) 阪井：IEC規格「X線・ガンマ線用高純度ゲルマニウム検出器の試験方法－IEC 45(CO)108(1977年6月)の概要，放射線，Vol.4(1977)，№3，37．