



最適な Ge 検出器の選び方

個々の測定条件に最適な HPGe 検出器は、検出プロセス、 γ 線の物質透過の仕方、 γ 線スペクトロスコープの原理など基本概念に基づいたルールにより選択できます。ここでは、適切な検出器を容易に選択する方法を紹介します。

HPGe 検出器の種類

HPGe 検出器は逆バイアスした大型のダイオードで、n型とp型があります。P型はn+の厚いリチウムコンタクト、N型はp+の薄いイオン注入型コンタクトが結晶の外側表面に付けられます。片側を閉じた円柱の形をしているのが「同軸型」で、ディスクの形をしているのが「プレナ型」です。同軸型は大型の検出器の製造が可能ですが、大型になるほど静電容量が高くなり、分解能は低下します。プレナ型は、低エネルギー光子の測定を高分解能で行いますが、高エネルギー側での効率と分解能は低下します。低エネルギー側での分解能、高エネルギー側での高効率のどちらをとるかによって選択する検出器が決まります。

GEM: P型のクロズドエンド同軸型検出器で厚いリチウムコンタクトが結晶の外側表面に取付けられています。計測機関で広く使用されています。

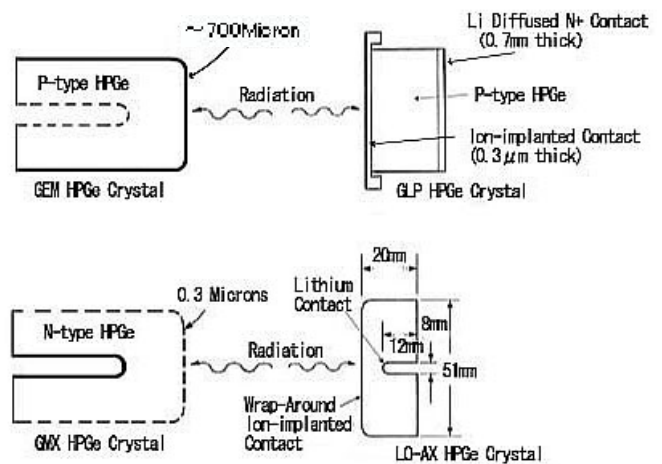
GMX: N型のシン・ウィンド同軸型検出器で、薄いコンタクトにより低エネルギー効率が高く、高エネルギー側で GEM よりわずかに分解能が低下します。

PROFILE-F: LO-AXの形状と 700 μ mコンタクトを備え、over-square (直径>長さ)のP型検出器です。フィルタなど検出器の近くにサンプルを配置する測定に適しています。

PROFILE-FX: LO-AXの形状と 10 μ m不感層相当の薄いコンタクトを備えたP型の検出器です。プレナ型に比べて低エネルギー効率が向上し、低・高エネルギーいずれにおいても優れた分解能があります。フィルタ形状に最適です。

LO-AX: 結晶の長さが短いシン・ウィンド同軸型の検出器で、優れた低エネルギー分解能とプレナ型 (GLP) より高いエネルギー効率を持つセミプレナ型の検出器です。ただし高エネルギー側では効率と分解能が低下します。

GLP: プレナ型の検出器です。低エネルギーで優れた分解能を發揮しますが、高エネルギー側では効率と分解能が低下します。



P型およびN型のHPGe結晶形状

検出器に関する注意点

最適な検出器とは「分析に有用なデータを短い時間で取得できる低価格の検出器」です。また、適切な検出器を選ぶことによりスペクトロスコープに関わる多くの問題が解決できます。

◆ 分析に適したデータ

単にデータ数が多いのではなく、着目ピークの波形がきれいでS/N比が高いのが適切なデータです。スペクトルデータの品質をはかる指標の一つが検出システムの検出限界放射能 (MDA) です。MDAは効率の関数であらわされ、分解能とバックグラウンドの平方根に比例します。したがって低放射能の試料を最良のMDAで測定したい場合は、最大の検出器で測定するのが良いと考えたいと思います。たしかに、検出効率があがると測定時間内のMDAは向上しますが、測定サンプルの条件も考える必要があります。例えば、着目ピークが、他核種のピーク干渉をうけて判別しにくいのであれば、優れた効率の検出器より、優れた分解能の検出器の方がMDAは向上します。また、相対効率が上昇するとバックグラウンドも増加しますが、バックグラウンドの増加速度は効率の増加速度に劣るので、検出器が大きくなるほどMDAは向上します。

◆ コンプトンサプレッションシステム (CSS) の使用

CSSでは、アンチユア型NaI (TI) 検出器がHPGe検出器を囲み、HPGeから逃げた光子を検出し、コンプトンバックグラウンドを本来の γ スペクトルから除去します。CSSのメリットは、任意のHPGe検出器に対して、コンプトンバックグラウンドと宇宙線を減少させることです。一方でデメリットもあります。

まず、小さいサンプルにする必要があります。そしてシステムの調整・メンテナンス、効率校正が複雑です。また、すでに高い P/C 比を持つ大型の HPGe 検出器を購入する方が低価格で、動作も優れ、コンプトンを除去する小型検出器より取り扱いが簡単です。

◆ **検出効率： ϵ (E) の影響**

検出効率は、MDA に最も影響力のある項目です。IEEE-325 の相対効率は検出器性能の一般的な指標としては有用です。ですが、この効率が同じでも検出器の形状が異なれば、各々の検出器の幾何学的効率が異なります。フィルタ、ディスク、ならびに大面積の容器には、直径が大きく短い検出器の方が適しています。

* ORTEC PROFILE GEM は、IEEE-325 の相対効率に加え、結晶の寸法も数種類対応しています。

◆ **不感層、入射窓、吸収の影響**

結晶と放出される核種の間にある物資は γ 線を吸収します。入射してくる γ 線を阻止し、入射窓厚と結晶の不感層厚に起因する効率の低下を抑えるためにはどれくらいの厚さの検出器が必要か、分析する γ 線のエネルギー範囲に応じて検討しなければなりません。不感層・入射窓の薄いプレナ型は高エネルギー側で効率が低下し、コンタクトの厚い同軸型検出器は低エネルギー側での効率が低下します。したがって測定パラメータに優先順位をつけて、適切な入射窓厚・不感層厚を持つ検出器を選択します。

* GEM : 150keV 以下では、不感層の厚みにより、絶対効率が低下します。ただし、GMX より大型で、P 型なので、分解能と p/c 比は GMX より高く、高エネルギーでの MDA も優れています。

* GMX : 薄い不感層により、150keV 以下での絶対効率は GEM より優れています。

検出器による選択のポイント

P 型 (GEM or PROFILE シリーズ GEM) vs. N 型 (GMX, LO-AX)

- ・ 約 80keV~3MeV → GEM or PROFILE シリーズ GEM が適しています。
 - ・ 約 10keV~3MeV → カーボンファイバ窓付の GMX or GEM PROFILE-FX が適しています。
GMX は結晶の中性子損傷が生じる可能性がある場合にお勧めです。
- * 約 3keV~3MeV にはベリリウム窓付の GMX が適しています (ただし、取り扱いに注意が必要です)。

サンプルの配置に関する注意点

γ 線スペクトル分析では、様々な形状・サイズ・化学形態・物理的形状のサンプルを使用します (フィルタ・ボトル・マリネリピーカー・ラップアラウンド形状・ウェル型等)。また、バイオアッセイ測定での人体測定 (形状が変更できない) や、コリメートされない土壌サーベイなどの広域測定は、全く違ったサンプル配置と言えるでしょう。

形状による選択のポイント

- ・ サンプルの放射能の重心が Ge に近いほど絶対効率は高くなり、MDA が向上します。
… 効率の良い順からフィルタ、マリネリ、ボトルになります。ただし試料が十分に用意できる場合、単位質量あたりの放射能 ($\mu\text{Ci/kg}$) の測定にはマリネリが最適です。
- ・ 絶対効率が高くなるほどサンプルの計数は多くなり、MDA が向上します。
- ・ サンプル全体がウェルキャップのディスク直径に納まれば、ウェル検出器が最適です。
- ・ ディスクサンプルの場合、最良の効率で測定するためには少なくともフィルタ直径の 1.2 倍の結晶直径が必要です。

計数率に関する注意点

γ スペクトロスコープで求められるのは、いかに分析に使えるデータを取得するかということです。高計数率アプリケーション (>100,000cps) では、スペクトル中に多くのカウントを計数しますが、検出器やシステム回路の選択に関わる問題は単にたくさんのデータを計数することだけではありません。

◆ **高計数率・超高計数率測定**

高計数率のシステムではデッドタイムを減らし、スループットを最大にしなければなりません。ですが、シェーピングタイムが短いと分解能は低下します。またパイルアップしたパルスは使用できません。最終的には HPGe 検出器のプリアンプがシステムのスループットを制限し、分解能に影響を与えます。レジスタフィードバックプリアンプ (RFP) が処理できる電荷の量には限界があります。

GEM/GMX → RFP を使用 最大エネルギーレート 145,000MeV/sec
LO-AX/GLP → RFP を使用 最大エネルギーレート 4,000MeV/sec
レジスタ改良型 GLP プリアンプ → セーフガード等特殊アプリケーション用
最大エネルギーレート 10,000MeV/sec

Plus オプション → パルスリセットプリアンプ GEM, GMX に対応
TRP → トランジスタリセットプリアンプ (TRP) >1,000,000MeV/sec

Plus オプション・TRP は飽和しないので、事故後の監視のような幅広い計数率を要する測定に適していますが、リセットプロセスによりデッドタイムが増加します。したがって、RFP の飽和点以下の測定ではメモリが記憶するカウントが RFP よりも少なくなります。

◆ スループットが左右する計数限界

最大のスループットを超えると、パイルアップによるデータの損失が増加し、計数時間も長くなります。したがって最大のスループットでデータを取得するのが最良のデータ取得方法です。(ただし事故後の監視などには、ワイドダイナミックレンジが必要です。)なお、スループットの限界はアンプの設定(デジタルフィルタセッティング)で決まります。そのアンプの設定は分解能とデッドタイムを決めるので、求められる分解能に応じた設定をすれば、スループットが決まります。

◆ スループットに限界があるシステムでの最適データの取得

適切な検出器を選択すれば、スペクトルデータの質が向上します。高計数率には小さい検出器の方が、優れていると考えがちですが、これは特定の低エネルギーアプリケーション、—短いシェーピングタイムで非常に優れた分解能を求める場合—に限られます。スループットが限定された中間領域のエネルギー測定では、小さい検出器と比較してコリメートされた大きい検出器の方がコンプトンバックグラウンドよりも光電ピークの比率が高くなります。

高計数率測定に関する選択のポイント

高計数率測定では相反する測定要件と性能をうまく両立させなければなりません。

- ・ 許容できる最低の分解能レベルにアンプのシェーピングタイムを設定し、スループットの限界が決まります。
- ・ 低エネルギー測定の場合には、プレート型検出器が短いシェーピングタイムで動作します。
*リスタックタイプで、TRP に見られるリセットのないスループットを得て、分解能を若干犠牲にします。
- ・ 高エネルギー測定の場合、コリメートした大型の同軸検出器を使用し、データの質を向上させます。
- ・ 高計数率で固定する場合、最大スループットで動作するように設定を調整します。
- ・ TRP (Plus) と RFP プリアンプを比較した場合、TRP はスループットが幾分悪くなりますが、飽和しないのでワイドダイナミック測定に適しています。

超低計数率・低計数率測定(低バックグラウンド検出器)での注意点

検出器のバックグラウンドはほとんど全ての物質が出す自然放射線から生じますが、検出器の材料には人工放射性核種は含まれないので、適切な材料の検出器を選択すれば自然放射性核種は著しく減少します。

ORTEC 低バックグラウンドオプション(クライオスタット)

- LB — 低バックグラウンド
- XLB — 鉛のバックシールド付低バックグラウンド
- RB — PopTop のバックグラウンド減少タイプ

低バックグラウンドオプションは、特殊な材質を使用するため、相応の費用がかかります。基本原則は、妨害ピークを取り除くことです。ご購入前に解決すべき問題を検討することが重要です。

【検討事項例】

- ・ 肺モニタでは、測定対象から放射される 40K が主なバックグラウンドです。ウランを測定する際は、コンプトンバックグラウンドの除去に注意が必要です。
- ・ In-situ 測定では、周辺の容器など外部の放射線源から検出器を遮蔽する必要があります。
- ・ ウランを 186keV のピークで測定する場合は、バックグラウンドを減少させた PopTop か低バックグラウンドオプションをお勧めします。標準の検出器に使用されているアルミエンドキャップにはウランが含まれているためです。