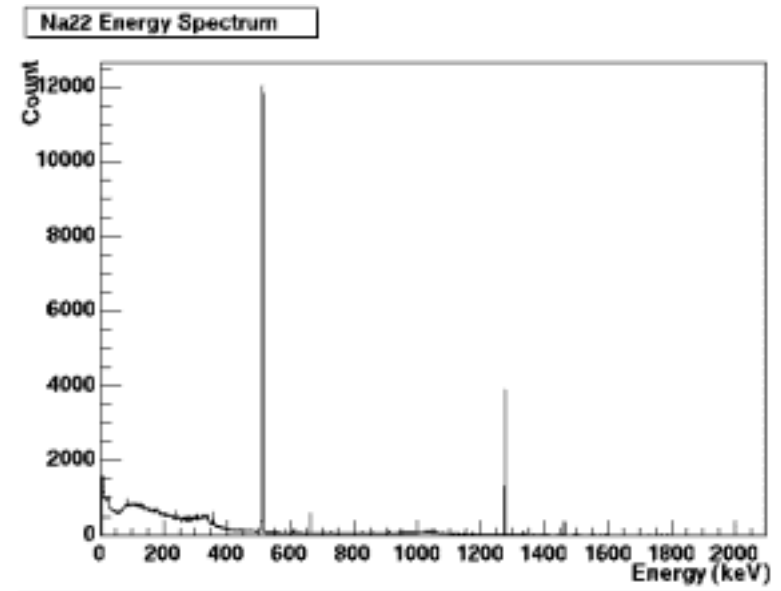


ゲルマニウム検出器を用いたガンマ線分光

[内容]

1. 実験の概要
2. ゲルマニウム検出器
3. 今後の計画
4. まとめ



柴田研究室

99-1740-9 中野健一

1. 実験の概要

目的

東工大バンデグラフ加速器にて原子核反応を起こさせ、生成されたガンマ線をゲルマニウム検出器で計測する。得られたスペクトルについて、各ピークの生成過程を特定する。

手順

- ゲルマニウム検出器の性能評価(終了)
- ビーム、ターゲットの選定(終了)
- 実験装置の準備(ターゲットチェンバーの真空テスト、ガンマ線透過度テスト等)

バンデグラフ加速器を用いた測定

測定データの解析(スペクトルのピークの特定)

2. ゲルマニウム検出器

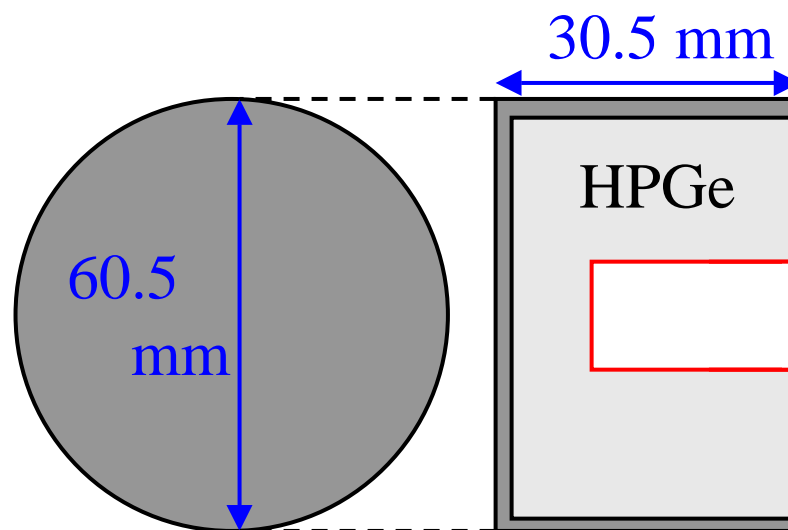
- 構造

- 原理

- 特徴

- エネルギー分解能
- エネルギー直線性
- 検出効率

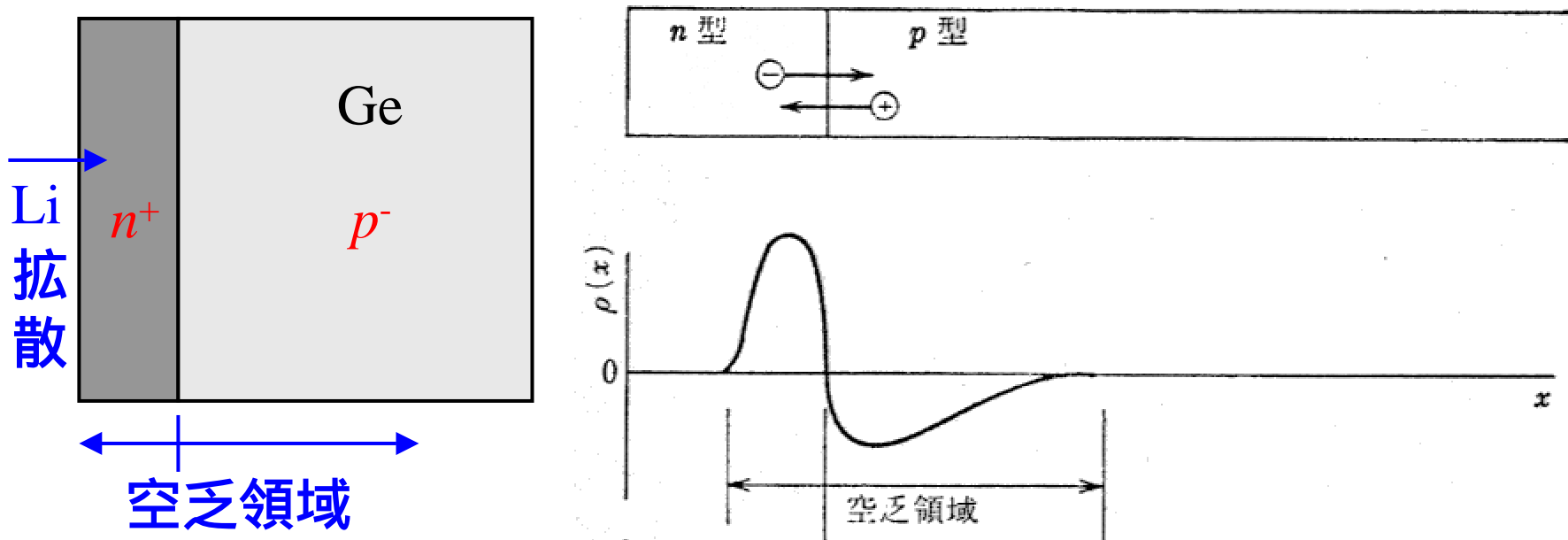
•ゲルマニウム検出器の構造



終端閉鎖同軸型 高純度ゲルマニウム半導体検出器
(Closed-end coaxial High Purity Ge semiconductor detector)

•ゲルマニウム検出器の原理

完全な i 型は実現不可能で、実際は n^- 型か p^- 型になる。



p^- 型は正孔の密度が通常より小さいので、空乏領域が大きくなる。通常の $p-n$ 接合よりも**大きな有感体積**を得ることが出来る。

n 型	ドナー不純物を含む。(電子多、正孔少)
p 型	アクセプタ不純物を含む。(正孔多、電子少)
i 型	不純物を全く含まない。(熱励起による同数の電子と正孔)

・ゲルマニウム検出器の特徴 - エネルギー分解能

エネルギー分解能 R

$$R = \frac{FWHM}{H_0}$$

Na22の1274 keV のピークについて

$$R_{Ge} = 0.154\%, \quad R_{NaI} = 6.43\%$$

分解能に差が出る主な理由

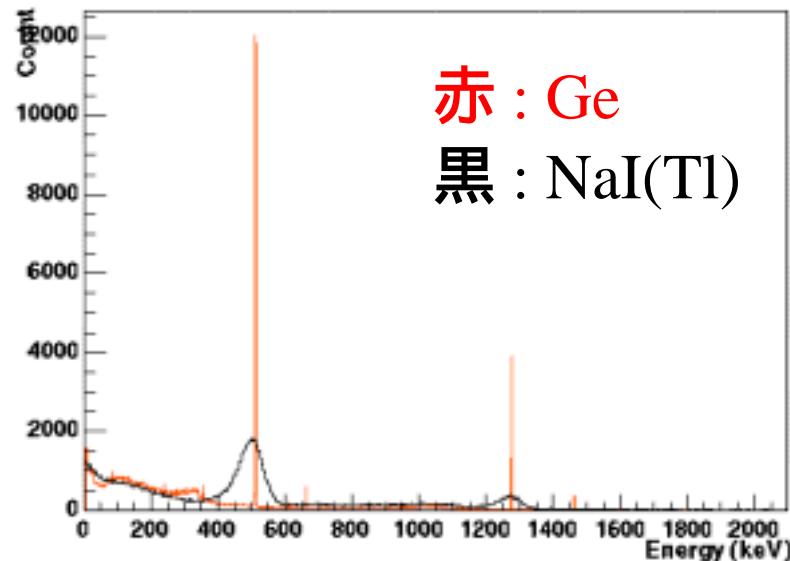
ガンマ線エネルギー 電荷生成量
電荷の生成量は統計的に揺らぐ。

Ge	3 eV 程度 / 1 イオン対
NaI	100 eV以上 / 1 光電子

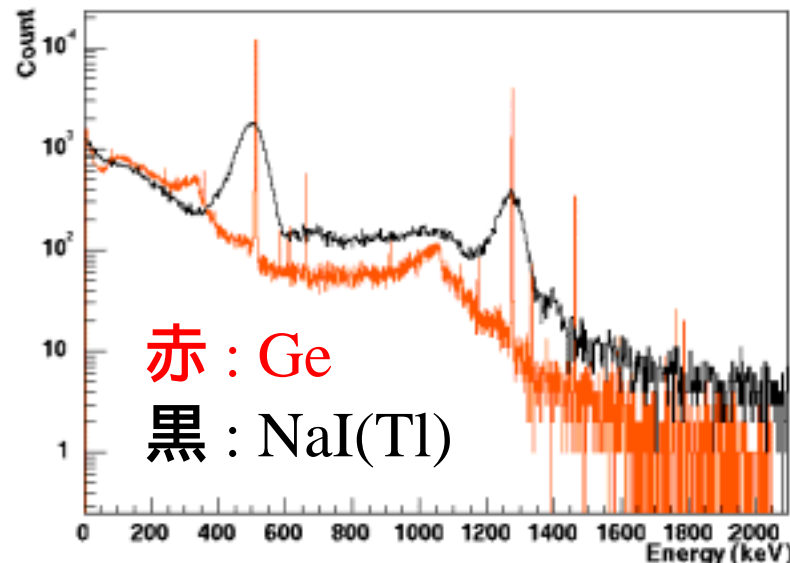
電荷の生成量が違う。

**電荷量の統計的揺らぎが
相対的に小さくなる。**

Na22 Gamma Ray Spectrum



Na22 Gamma Ray Spectrum



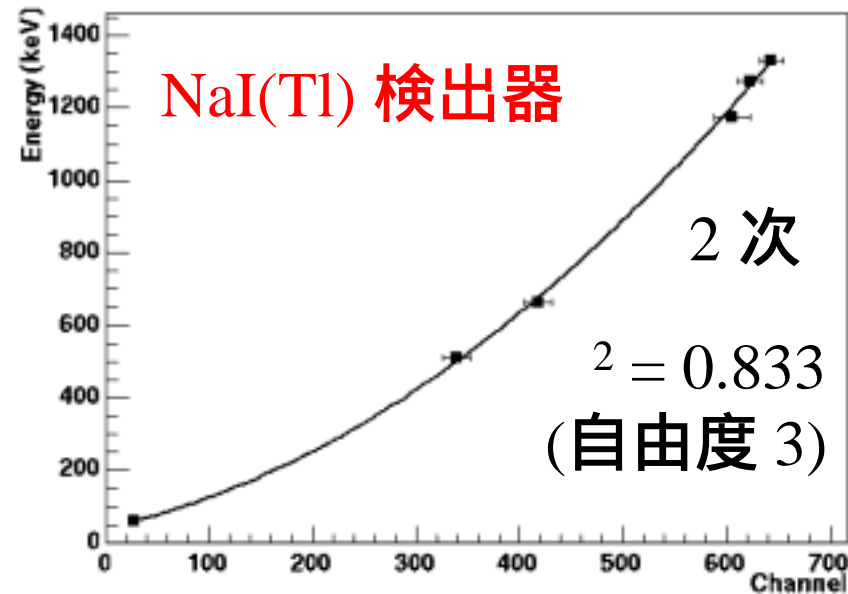
・ゲルマニウム検出器の特徴 - エネルギー直線性

エネルギー較正 チャンネルとエネルギーの対応付け

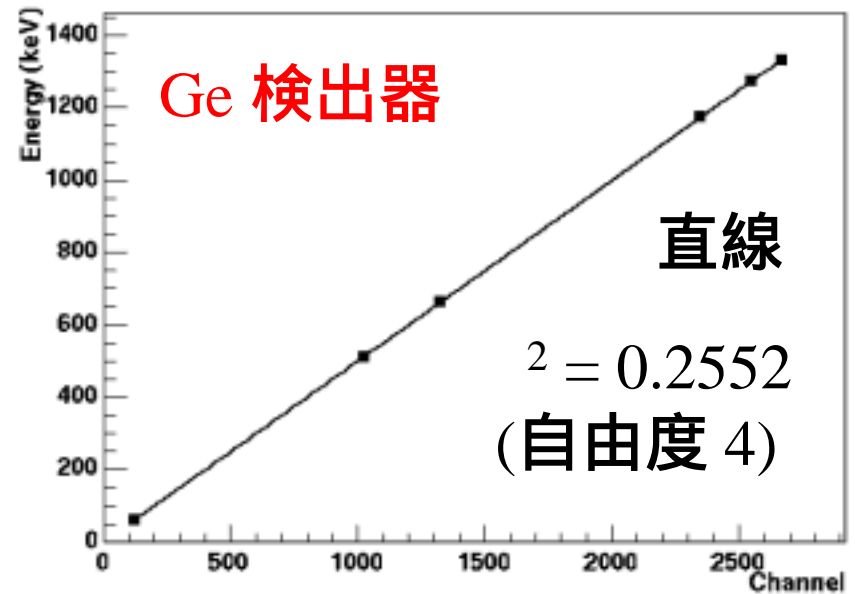
Am241(60 keV)、Na22(511 keV、1275 keV)

Cs137(662 keV)、Co60(1173 keV、1333 keV)

NaI(Tl) Energy Calibration



Energy Calibration



直線性が大変良い。

•ゲルマニウム検出器の特徴 - 検出効率

検出器に入射した放射線の内、
どれだけを検出できるか。
エネルギーによって違う。

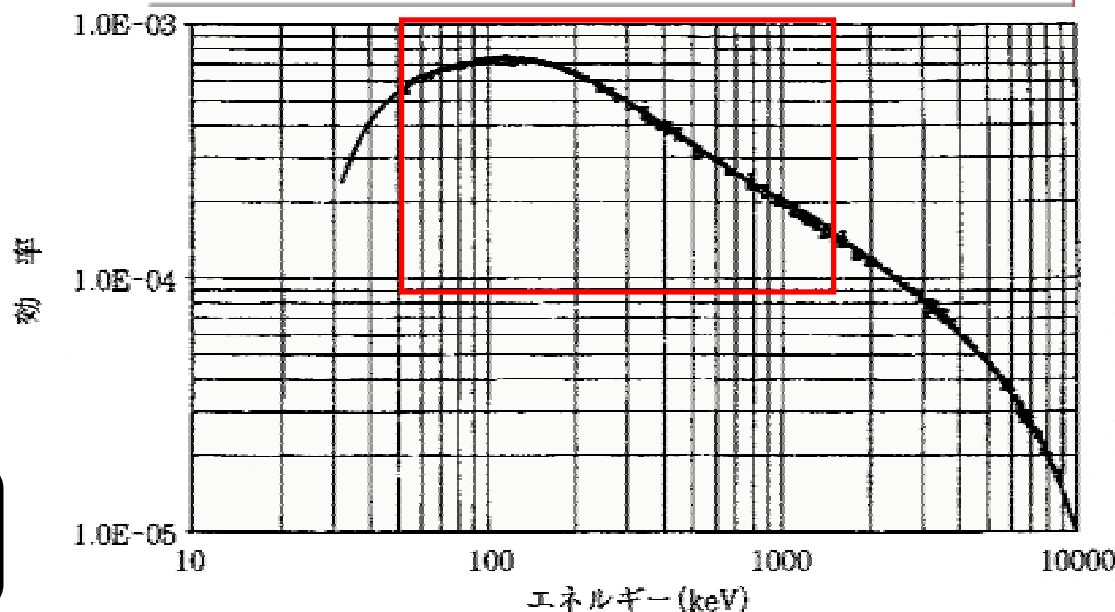
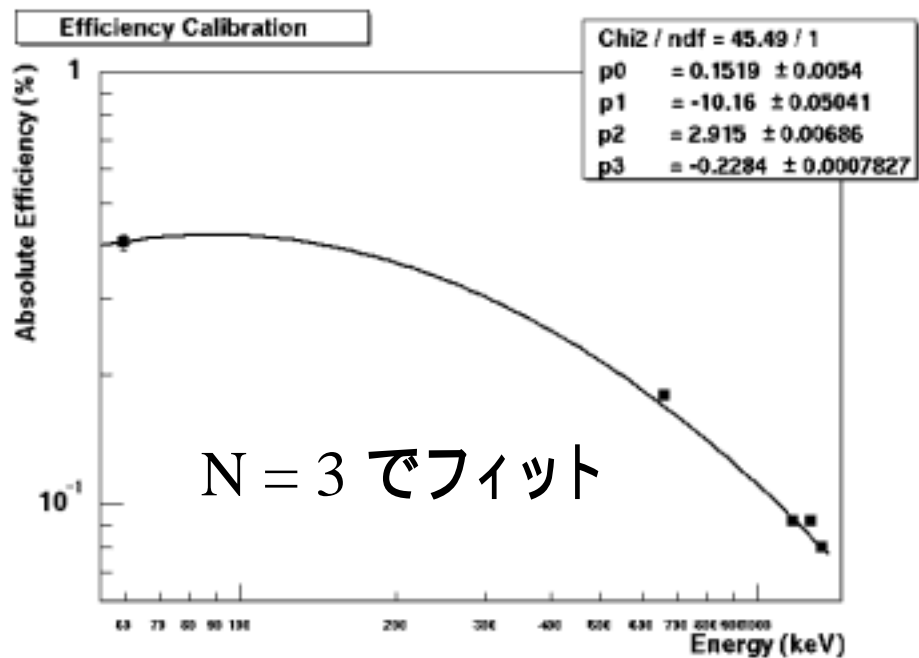
同軸型 Ge 検出器の経験式

$$\ln \varepsilon = \sum_{i=1}^N a_i \left(\ln \frac{E}{E_0} \right)^{i-1}$$

測定結果自体は
適切な値となっている。

正確なフィットをするには、
100 ~ 300 keVの範囲に
データが必要である。

〔右下図は
『放射線計測ハンドブック』より〕



Ge 検出器の検出効率は低い。
しかし、

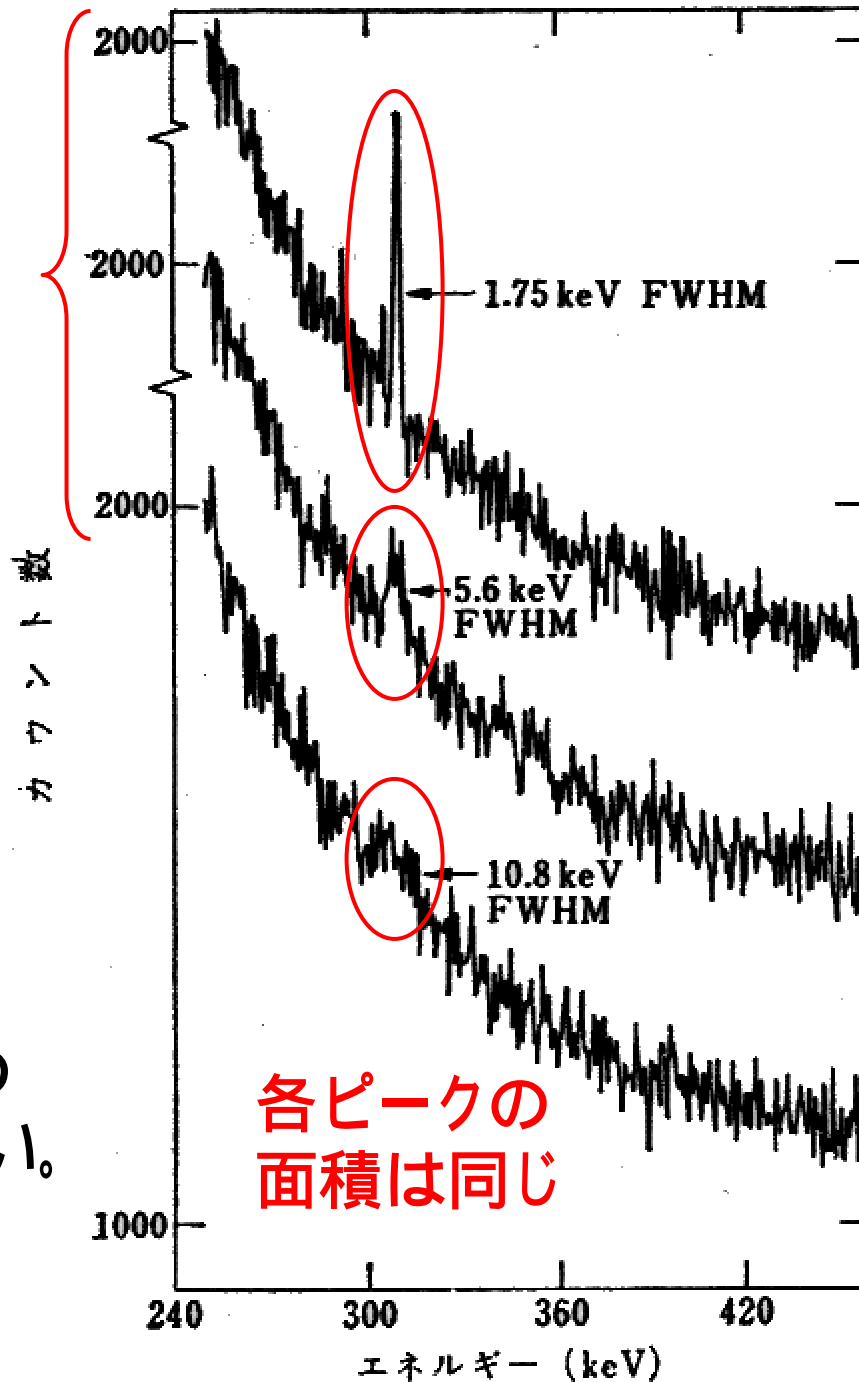
ピーク面積 \sim 幅 \times 高さ

↑
検出効率 ↑
エネルギー分解能

高さ $\sim \frac{\text{検出効率}}{\text{エネルギー分解能}}$

エネルギー分解能が優れているので、バックグラウンドから分離し易い。

〔右図は『放射線計測ハンドブック』より〕

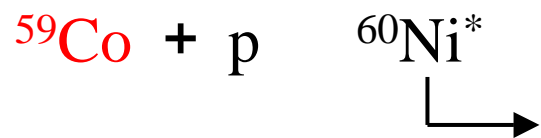
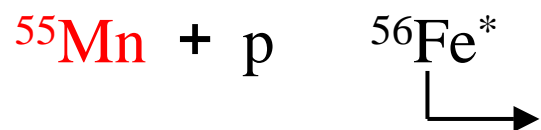


3. 今後の計画

•ビーム

陽子(2 MeV ~ 4 MeV弱)

•ターゲットと反応過程



•期間(予定)

1月21日(火)-24日(金)

2月11日(火)-14日(金)



4. まとめ

- バンデグラフ加速器にて原子核反応を起こさせ、生成されたガンマ線をゲルマニウム検出器で計測する。得られたスペクトルについて、各ピークの生成過程を特定する。
- ゲルマニウム検出器の性能評価はほぼ終わった。
 - 優れたエネルギー分解能
 - 高度なエネルギー直線性
 - 検出効率の大まかな値
- ビームとターゲットの選定も終わり、現在実験装置の準備を進めている。(ターゲットチェンバーの真空テスト、ガンマ線透過度テスト等)
- 合計8日間のビームタイムで実験を行う。

5. 質問・回答(後日追加)

•検出器に付いているタンクは何か。(4 枚目)

液体窒素を入れて装置を冷却する為のもの。ゲルマニウム半導体は禁止エネルギーギャップが小さいので、熱による電子正孔対が生じ易い。

•同軸型の形状をしているのは何故か。(4 枚目)

同軸型の他に、プレナ型と呼ばれる円盤のような形状が有る。結晶の性質が原因となり、プレナ型の厚さは最大で 2 ~ 3 cm にしかない。ガンマ線を検出する為には出来るだけ大きな有感体積が必要なので、主として同軸型が使われる。

•分解能を定量的に評価できないのか。(6 枚目)

電荷の統計揺らぎはファノ因子を用いればもう少し詳しく評価できる。しかし他の要因として電荷収集率の変動、電子回路雑音の寄与などが有り、これら进行评估するのは難しいように思う。

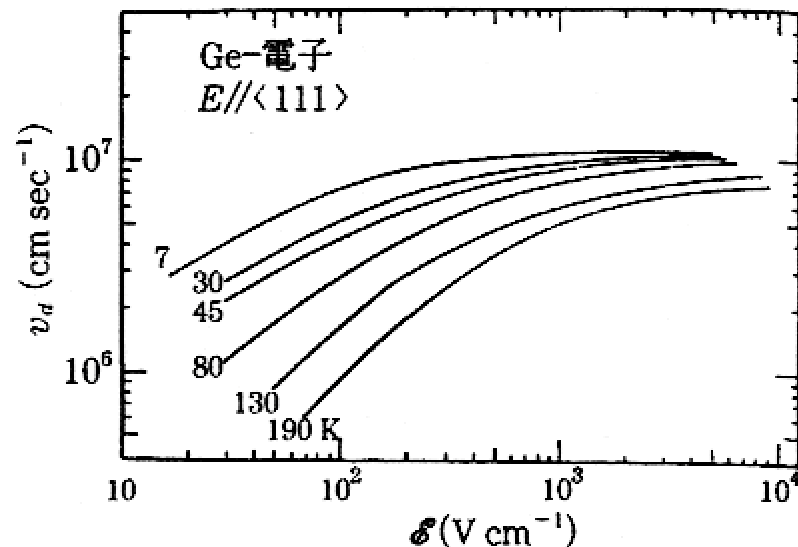
逆電圧をかける

→空間電荷増大 電荷分布範囲拡大 空乏層拡大(全空乏層化)

$$\text{ポアソンの式 } \nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon} \xrightarrow{1 \text{次元}} \frac{d^2 \phi}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon}$$

→電荷収集速度の増加
電荷収集率の増加

絶縁限界電圧の制限が有るので、
実際は 4000 ~ 5000 V になる。



液体窒素で冷却する

→熱励起によるバックグラウンドの抑制

Ge の禁止エネルギーギャップが小さい ~ 0.7 eV (絶縁物 > 5 eV)