

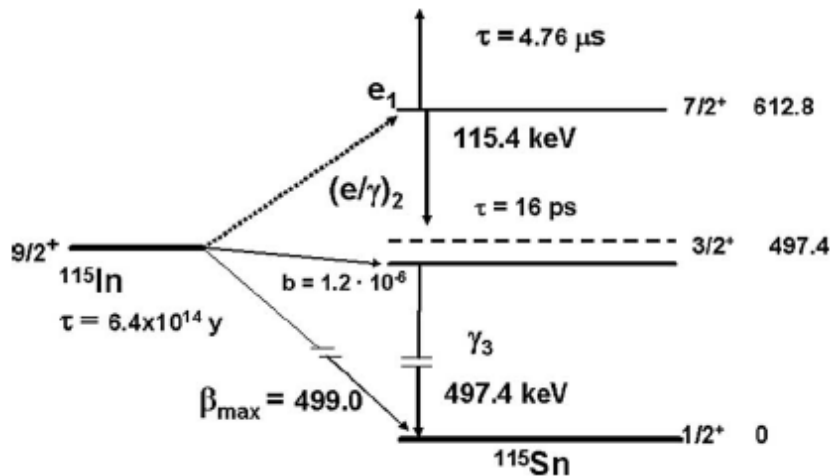
インジウムを用いた太陽 ニュートリノ半導体検出器 の開発X

日本物理学会 第64回年次大会
2009年3月27日

宮城教育大学 福田善之
東大宇宙線研 森山茂栄、塩澤真人、小汐由介
東大素粒子センター 難波俊雄
浜松ホトニクス(株) 固体事業部 犬塚智也、井澤利之、朝倉雅之

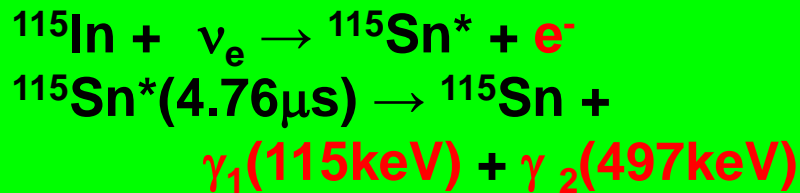
^{115}In による太陽ニュートリノの検出原理

R.S.Raghavan Phs.Rev.Lett37(1976)259



- 1) リアルタイム観測
- 2) ν エネルギーを観測
- 3) 3重同時観測によりニュートリノ信号を識別
- 4) ^{115}In 自身のベータ崩壊の存在 ($\tau_{1/2}=4.41 \times 10^{14}$ 年)

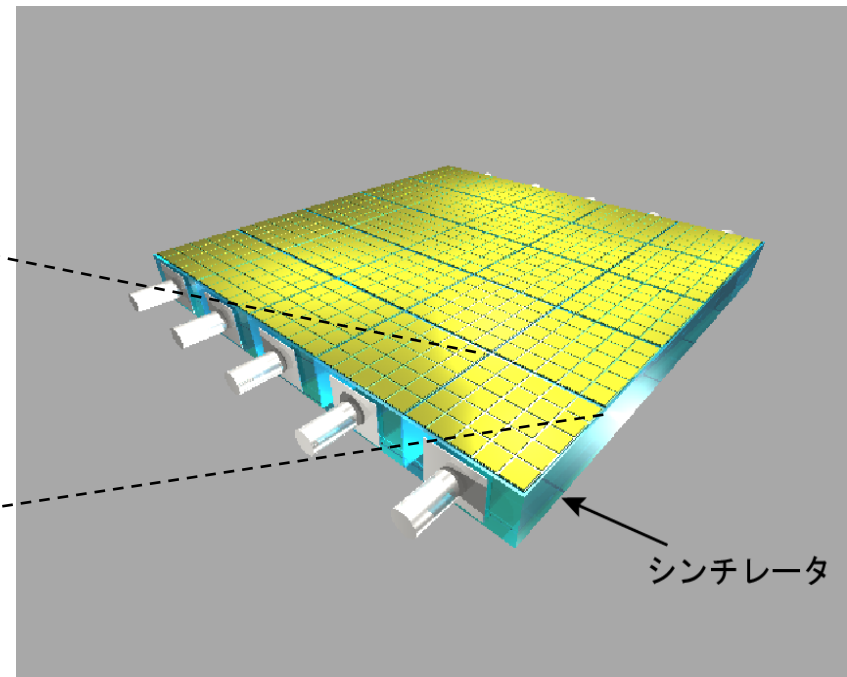
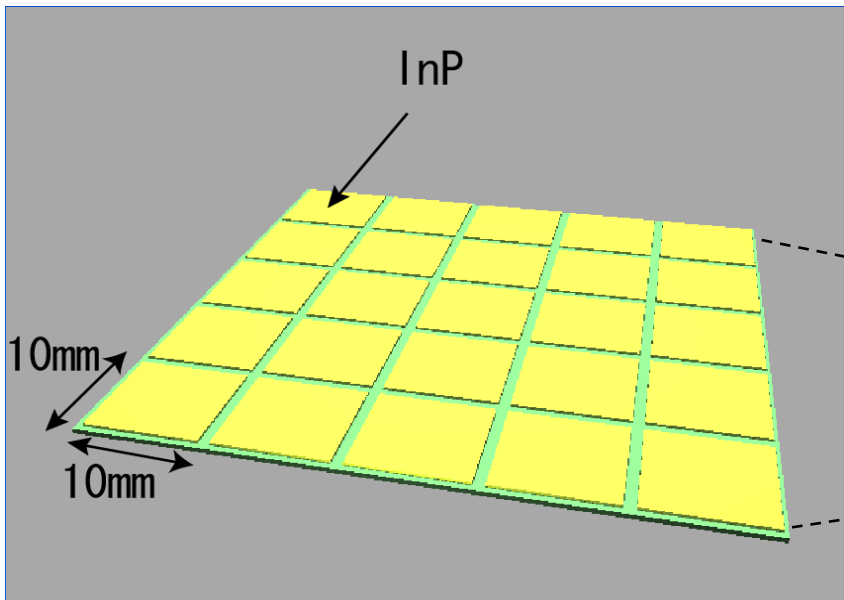
Nuclear Physics A 748 (2005) 333-347



検出器に要求される性能

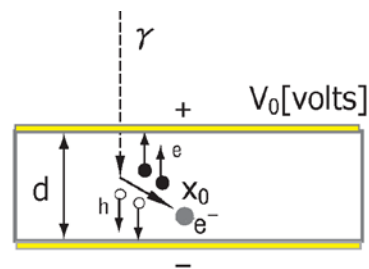
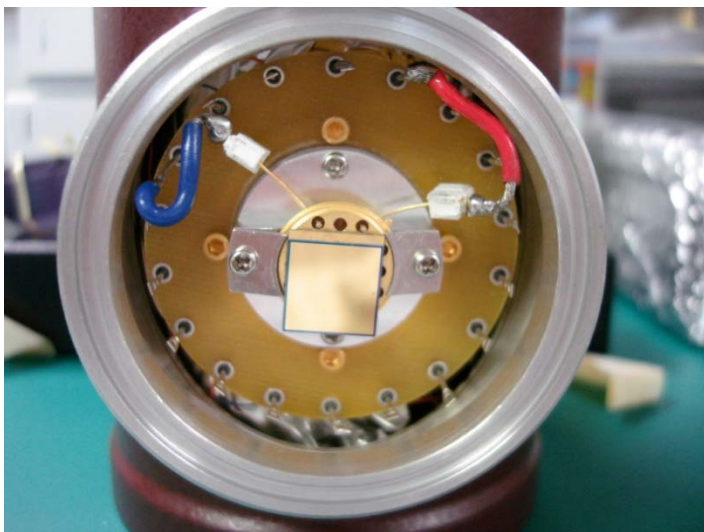
1. エネルギー分解能が10% (FWHM)
2. $10^4 \sim 10^6$ 細分化
3. ガンマ線の高効率検出 (シンチレータ等で困む)

InPハイブリッド太陽ニュートリノ観測装置



- InP multi-pixel detector (10mmX10mmX0.2mm cell)
InP : 5.1tons (2.0X10⁶ modules with $\Delta E/E \sim 10\%$)
- Hybrid structure
solid scintillator surrounding InP detector to detect γ

InP半導体検出器による γ 線観測



μ : mobility [$\text{m}^2\text{v}^{-1}\text{s}^{-1}$]
 v : carrier velocity [ms^{-1}]
 E : electric field [vm^{-1}]
 d : thickness of SI InP
 x_0 : range of electron

$$E = V_0/d \quad v = \mu E = \mu V_0/d$$

drift length : $L_d = \tau v = \mu \tau V_0/d$

τ : carrier lifetime [s]

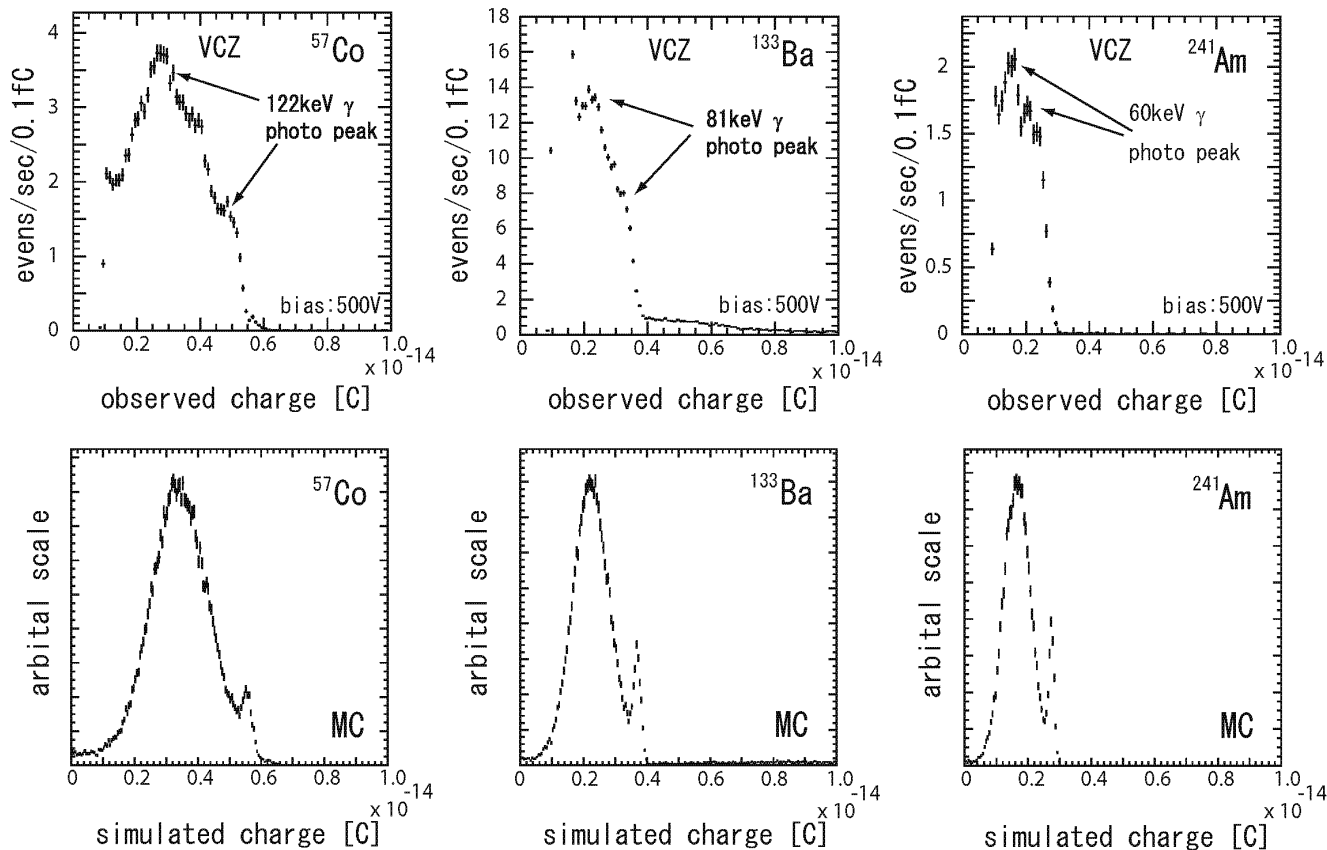
e/h creation energy : ϵ_{eh}

induced charge: $Q_{\text{induced}}[\text{C}] = (\text{electron energy})/\epsilon_{eh} \times e \times L_d/d$

full Q collection: $Q_{\text{full}}[\text{C}] = (\text{electron energy})/\epsilon_{eh} \times e$

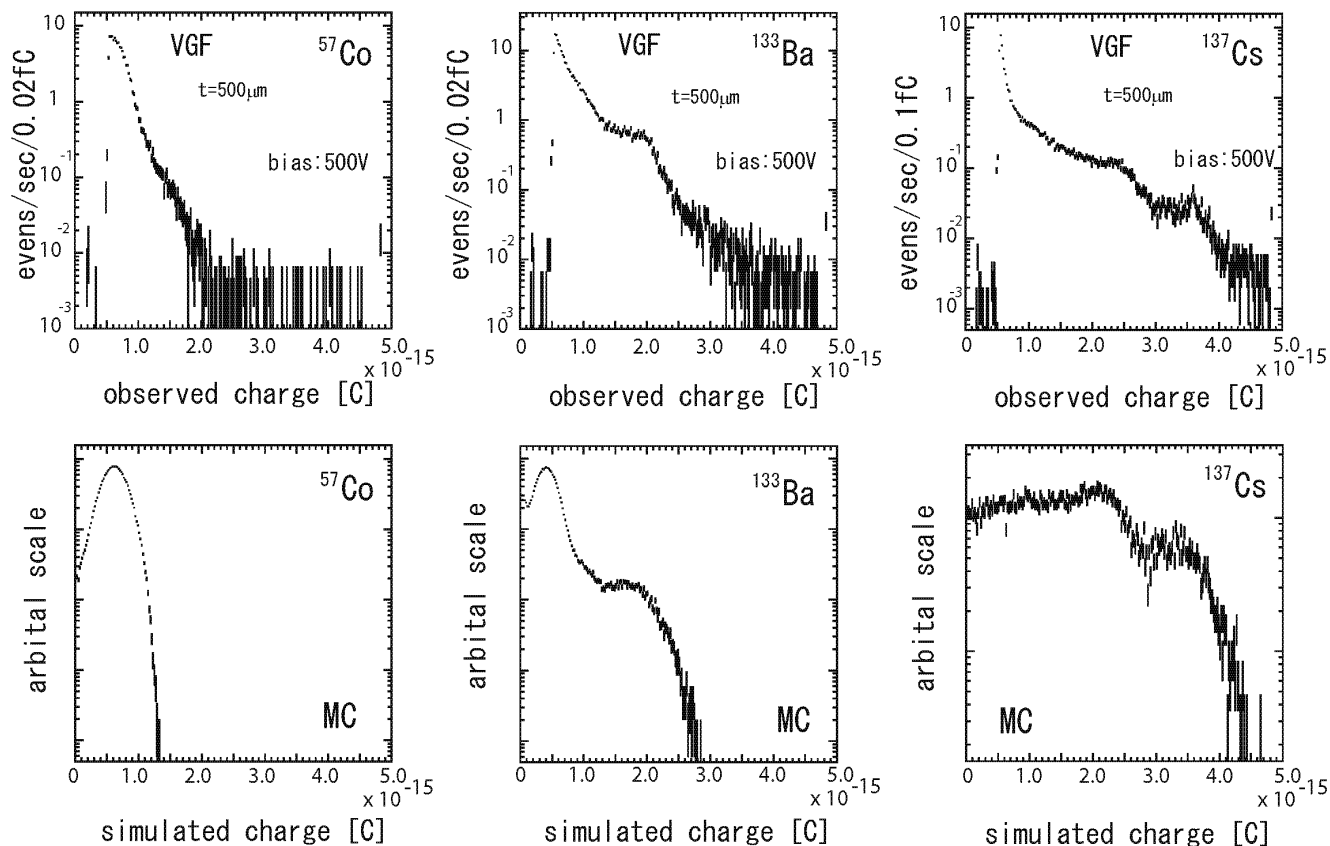
- $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 200\mu\text{m}$ のVCZ生成による半絶縁InP半導体検出器
- ドライアイスにより -79°C に冷却
- γ 線の光電ピークを観測(エネルギー分解能25%)
- 発生したキャリアの誘導電荷で検出している

検出電荷のシミュレーション(1)



光電ピークの構造を再現している

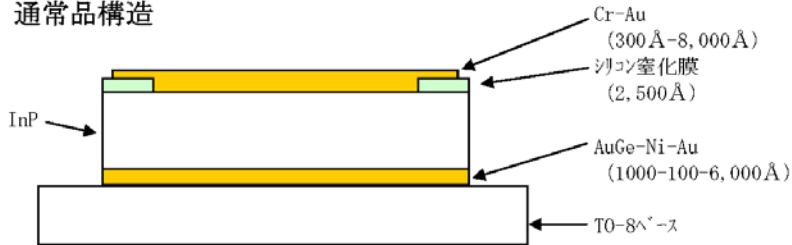
検出電荷のシミュレーション(2)



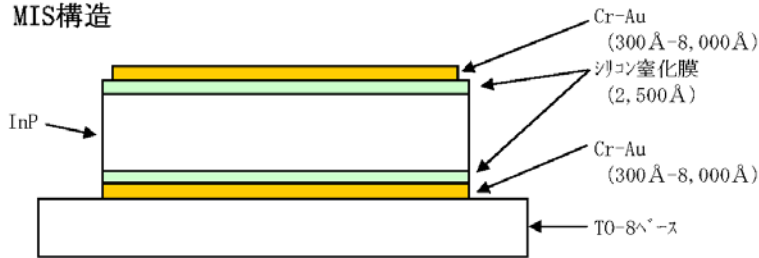
厚みによる電荷量の減少を再現している

VCZ450 μm 検出器・MIS構造検出器

通常品構造



MIS構造



株式会社 浜松ホニクス

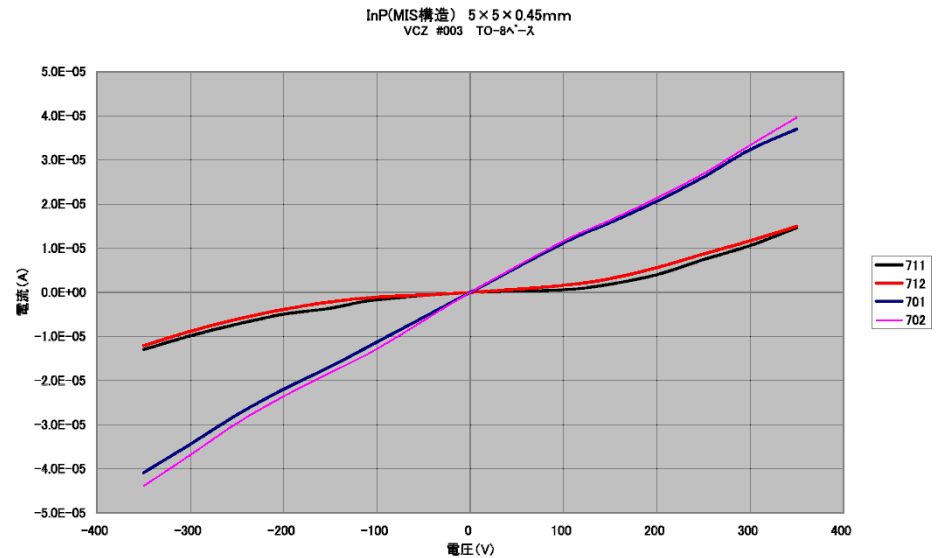
V-I特性ではMIS構造は
低暗電流化に成功

■目的

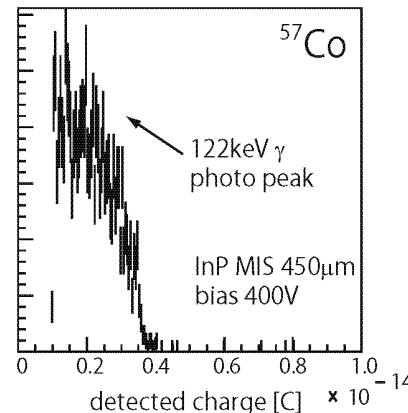
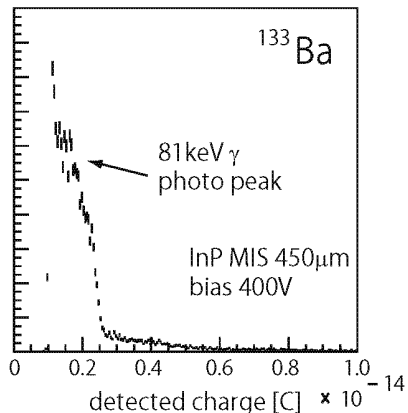
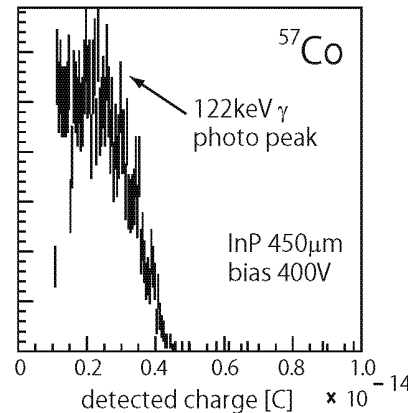
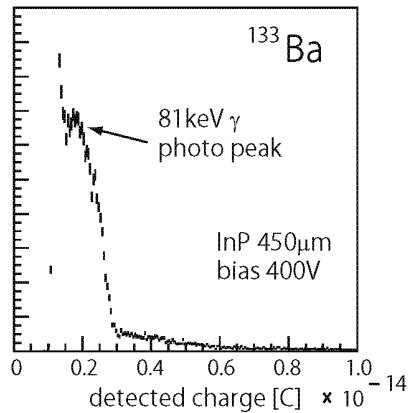
- 大型化
- エネルギー分解能の向上

■試作

- 450 μm 厚の通常品
- MIS構造

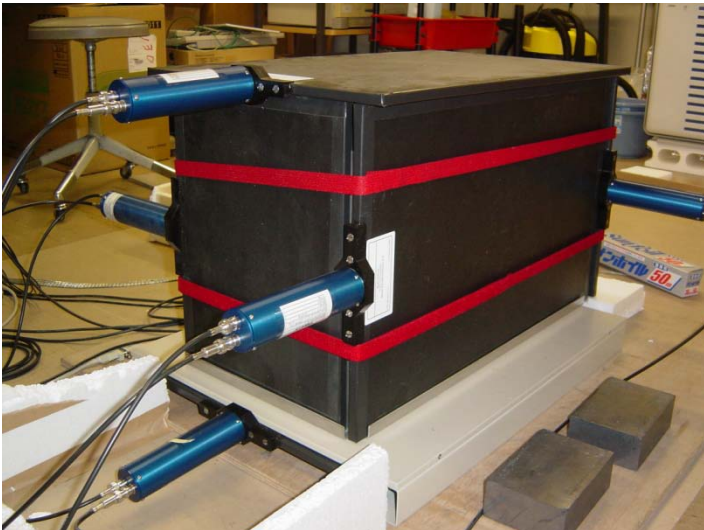
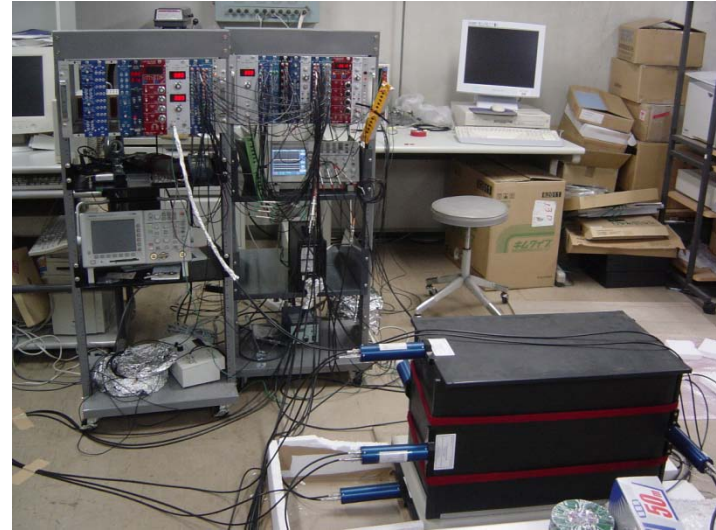
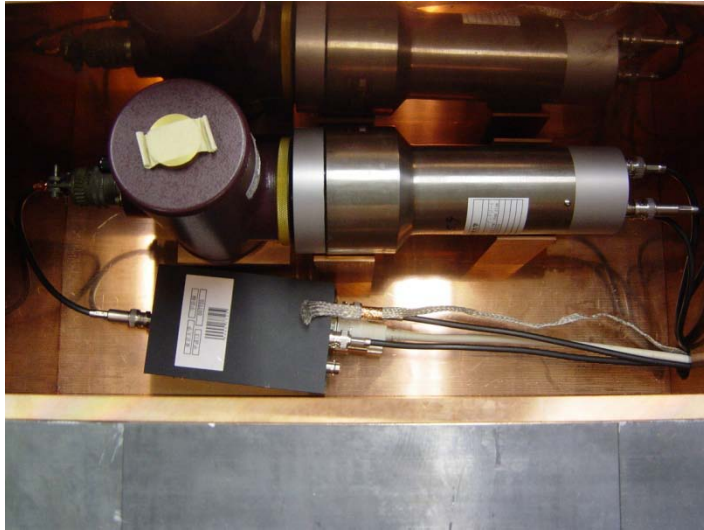


VCZ450 μm 検出器・MIS検出器の γ 線応答性



- 検出電荷量が200 μm 検出器と同程度(Ldが2倍程度?) \rightarrow 高バイアス電圧が必要だが不安定
- 光電ピークの2重構造が見られない \rightarrow 直接検出する電荷が少なく、誘導電荷による量が圧倒的
- MIS構造の低暗電流化のエネルギー分解能への寄与は小さい

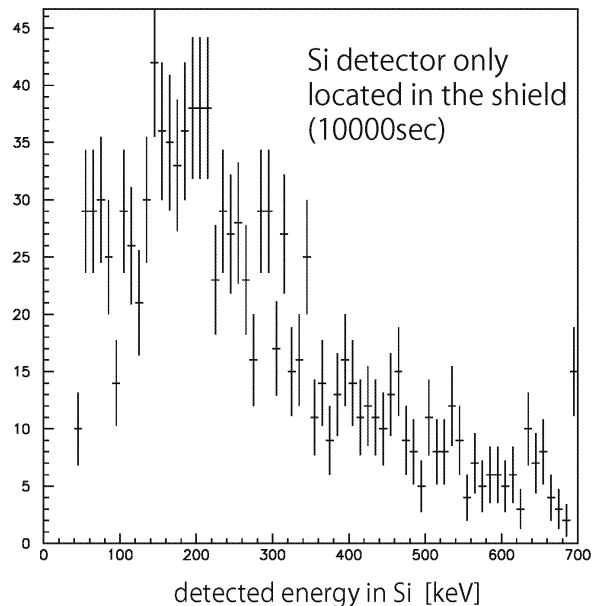
バックグラウンドの観測



- InP検出器とCsIシンチレータによる同時計測
- 鉛・無酸素銅遮蔽体中で測定
- プラスチックシンチレータによる active veto
- 耐震工事による影響がない

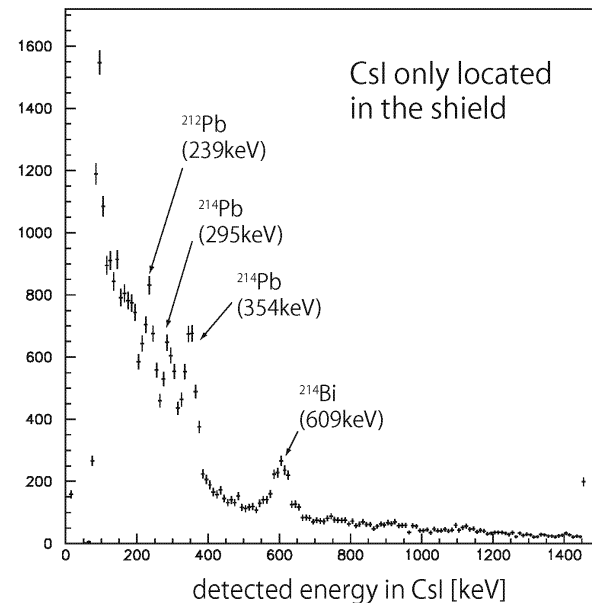
シールド内のバックグラウンド測定

Si半導体検出器単体による測定



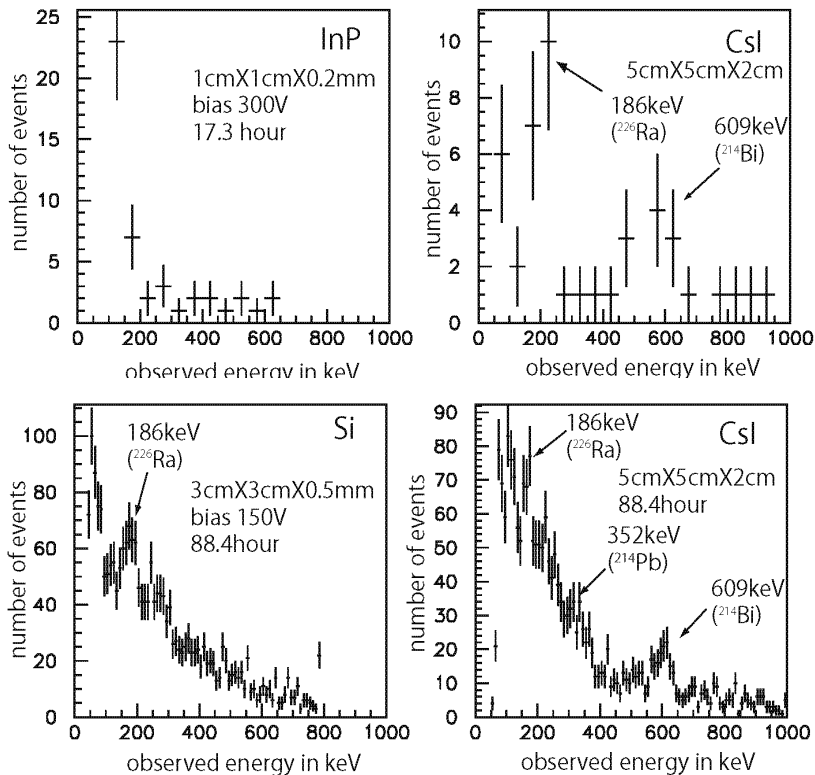
明確な γ 線ピークは観測できない(U/Th系列の β 線?)

CsIシンチレータ単体による測定



U/Th系列の γ 線ピークが観測される

コインシデンスバックグラウンドの観測



- コインシデンスによるバックグラウンド事象を観測
- CsIは外部起源U/Th系列の γ 線を観測
- InP/Siは内部または外部起源のU/Th系列の β 線スペクトルを観測
- 明確な ^{115}In の β 崩壊に伴うradiative制動輻射事象は観測されない(1180事象)

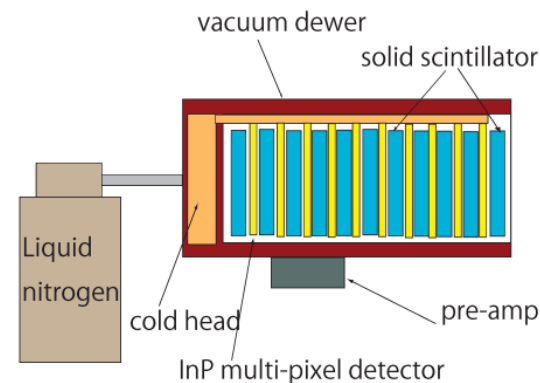
InP 検出器(ev#1)と固体シンチレータ (ev#2 with $E \sim 116\text{keV}$ and ev#3 with $E \sim 497\text{keV}$)を $10\mu\text{s}$ gate widthで観測すると、 $5 \times 10^{-6}\text{events/day/1 hybrid detector} = 10\text{ events /day/全detector}$ (2.0×10^6)が偶発ノイズ (S/N ~ 0.2)

まとめ

- InP検出器による放射線検出は、発生したキャリアの誘導電荷として観測
- MIS構造検出器によるエネルギー分解能の向上は見られなかった(現状では、暗電流の大きさは問題ではない)
- InPとCsIのコインシデンス事象は、周囲の物質中に存在するU/Th系列核種の γ 線をCsIが観測し、InPは β 線を観測
- 現状のU/Th含有量ではS/N \sim 0.2となるため、U/Thを1/10程低バックグラウンド化を図る必要がある(ほとんど問題なし)



- キャリアドリフト長が長い基板(住友電気工業の**Vertical Bridge法**による半絶縁性InP基板)
- 液体窒素冷で**100gのInP半導体**によるプロトタイプ検出器の制作(2009年度)

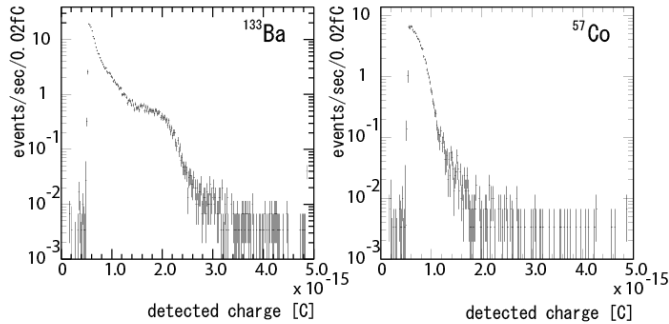


検出器の厚みによる検出電荷量の違い

VGF 6mmX6mmX500 μ m

VGF 6mmX6mmX200 μ m

⑧ [6mm \times 6mm \times 0.5mm -77 $^{\circ}$ C]



⑥ [6mm \times 6mm \times 0.2mm -77 $^{\circ}$ C]

