

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VII

日本物理学会 2006年秋季大会

2006年9月21日

宮城教育大学 福田善之、佐藤哲也

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

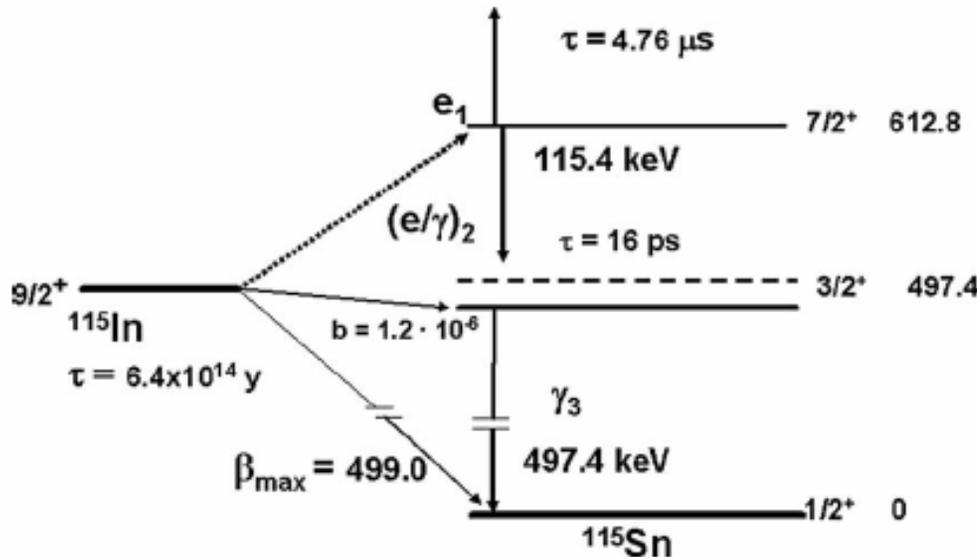
浜松ホトニクス(株) 固体事業部

犬塚智也、井澤利之、朝倉雅之

科学研究費補助金 基盤研究B 平成17~19年度

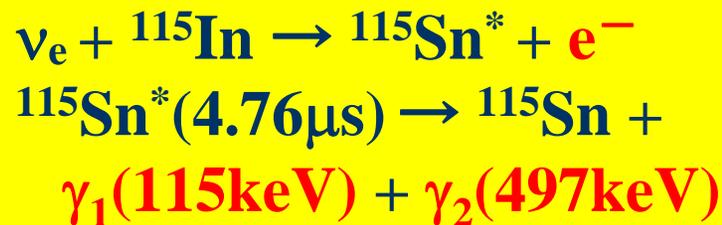
^{115}In による太陽ニュートリノ検出

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

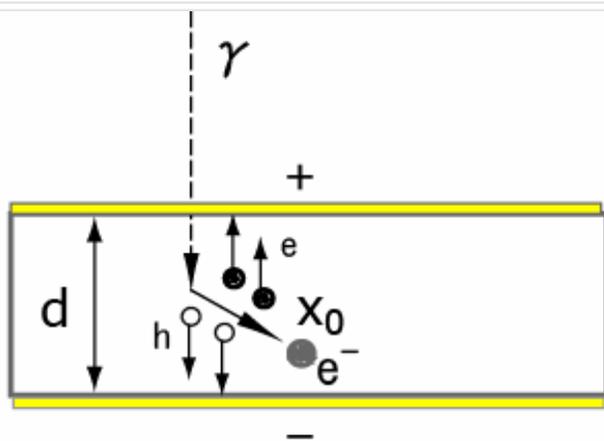


Nuclear Physics A 748 (2005) 333-347

- Real-time measurement
- ν energy measurable ($E_e = E_\nu - 125\text{keV}$)
- 3 fold coincidence to extract neutrino signal
- β -decay from ^{115}In ($\tau_{1/2} = 6.4 \times 10^{14}\text{yr}$)
- Correlated chance coincidence- Bremsstrahlung
- Correlated chance coincidence- line γ



半絶縁性InP半導体を用いた検出原理



V_0 [volts]

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}

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

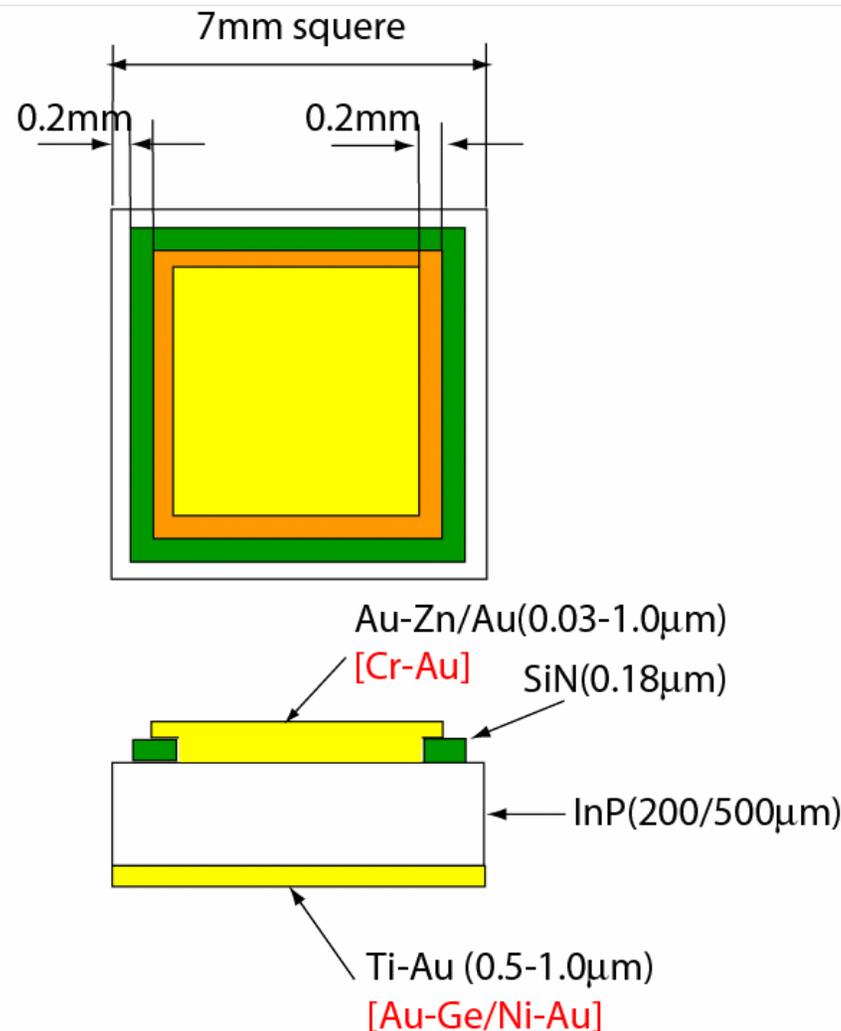
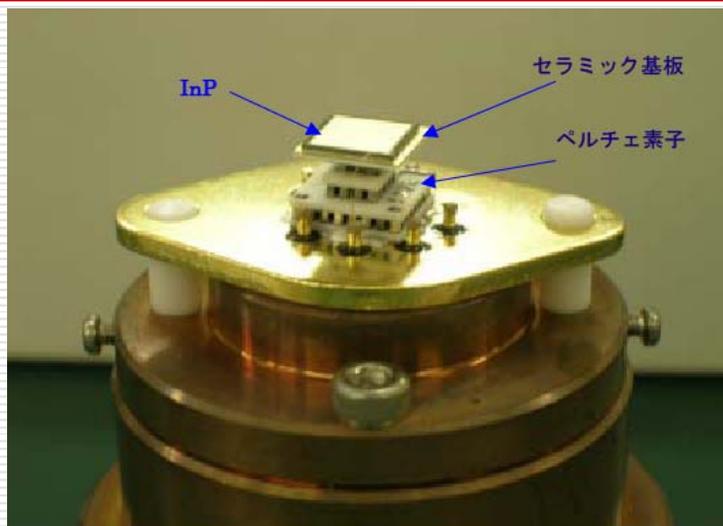
$$L_d \neq \infty \quad Q_{\text{obs}}[\text{C}] = \int_0^R (dE/dx) / \epsilon_{eh} e^{-\tau(x)/L_d} dx \times e$$

- ドリフト長を伸ばす
- 移動度を上げる

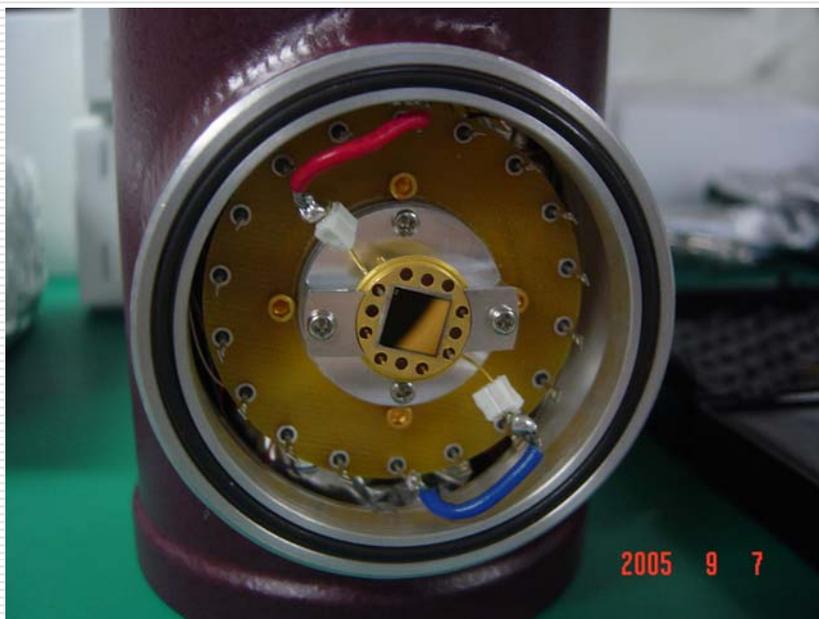


電荷収集効率の向上

ペルチェ冷却によるInP半導体検出器

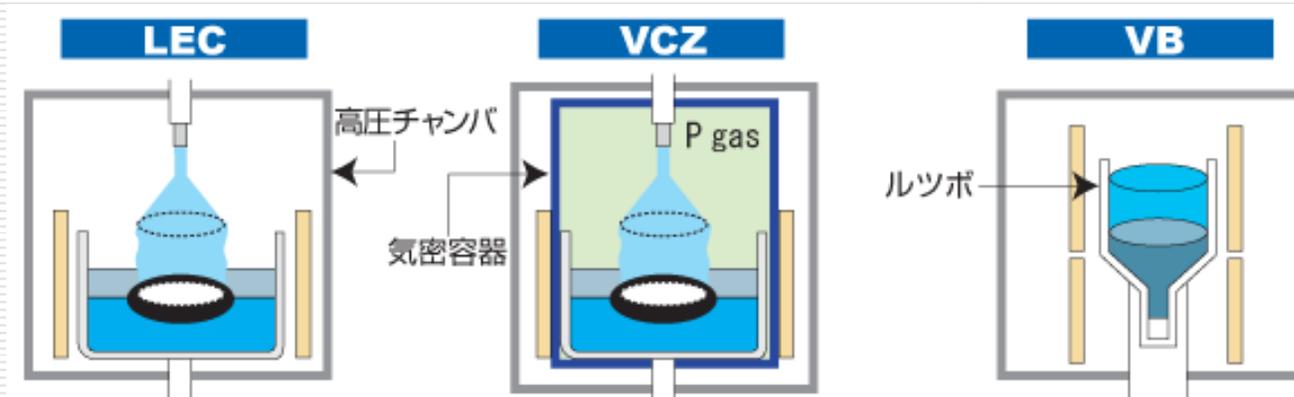


ドライアイス冷却によるInP半導体検出器



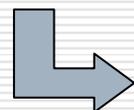
VCZ製法のInP基板による検出器

<http://www.sei.co.jp/sc/technical/inp.html>



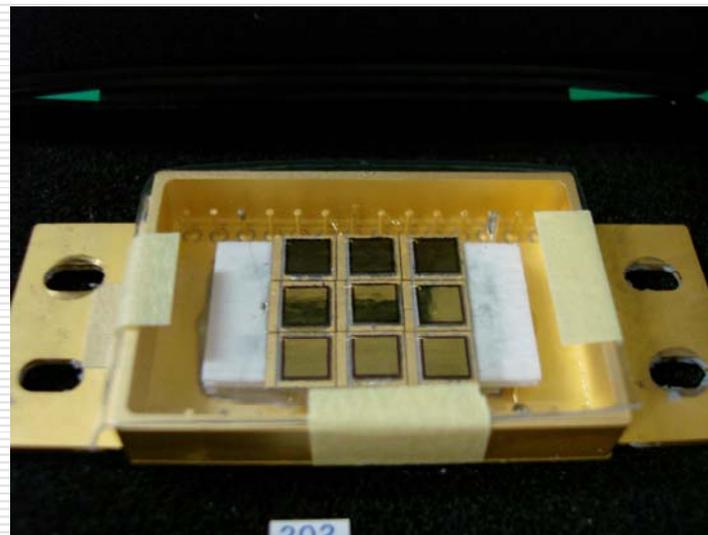
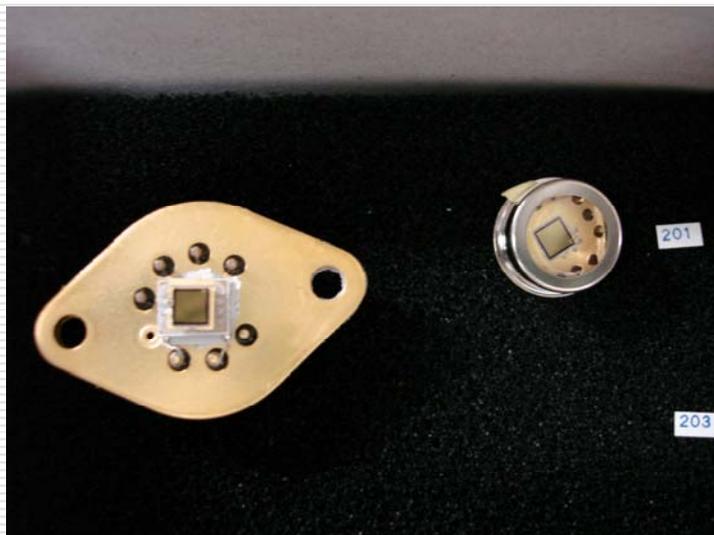
□ InP結晶成長法

	格子欠陥密度	比抵抗	
➤ VGF	低い ($\sim 5,000\text{cm}^{-2}$)	$> 10^7 \Omega \text{cm}$	→ 従来用いたもの
➤ LEC	高い ($\sim 50,000\text{cm}^{-2}$)	$> 10^7 \Omega \text{cm}$	→ 一般的
➤ VCZ	低い ($\sim 5,000\text{cm}^{-2}$)	$> 10^7 \Omega \text{cm}$	



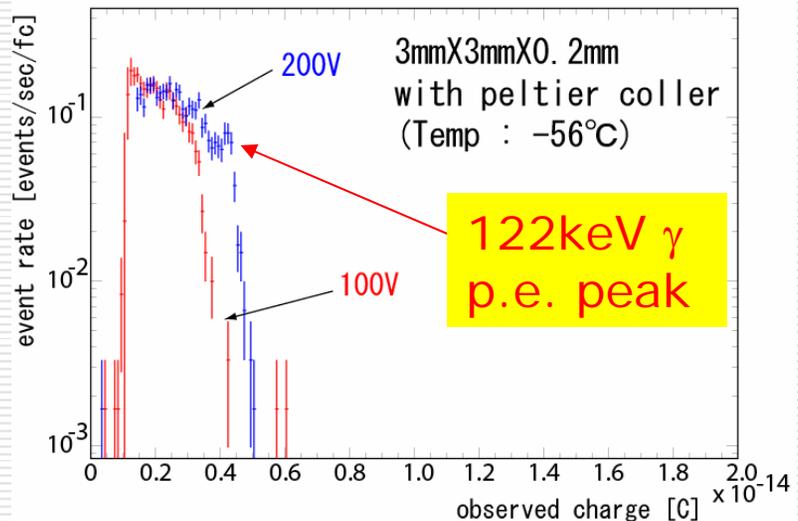
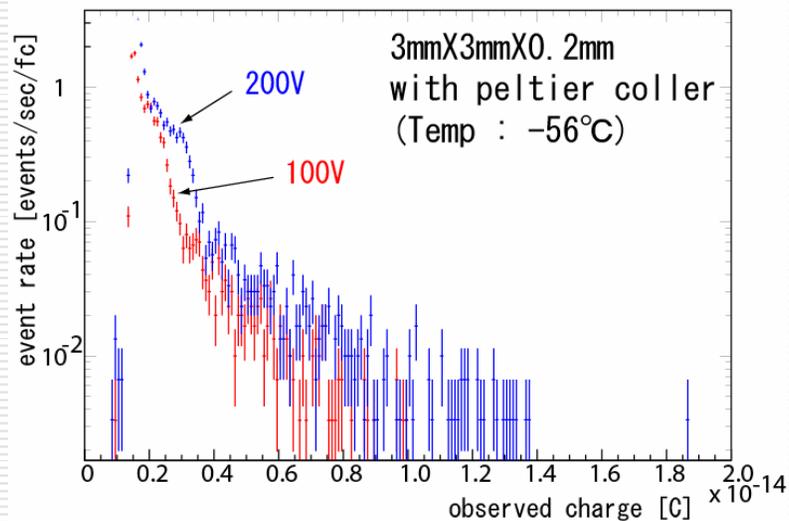
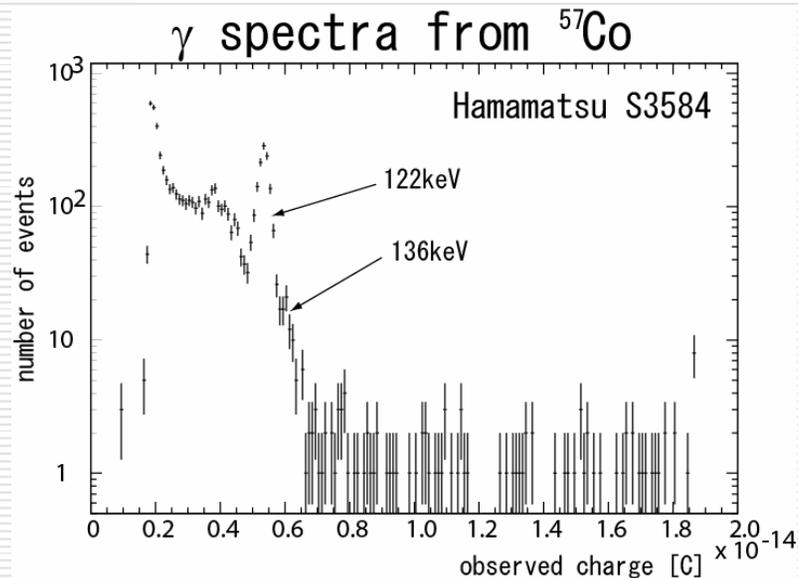
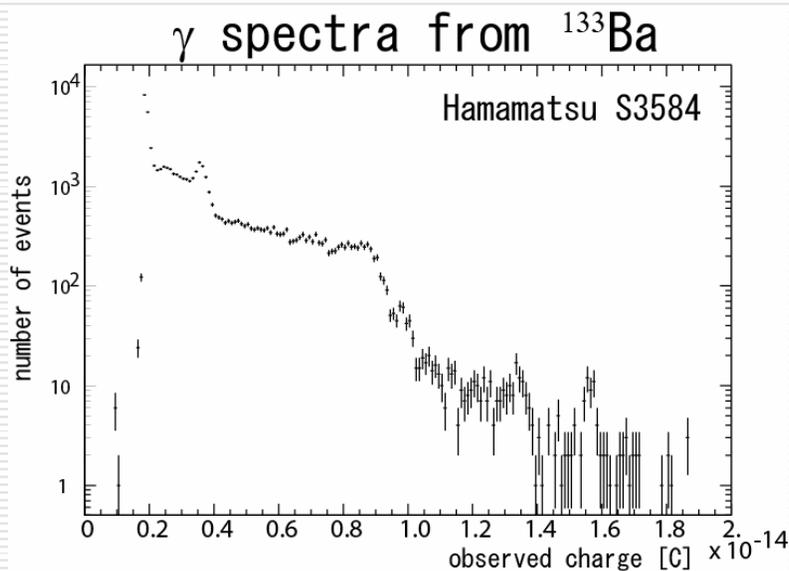
First trial

制作したVCZ InP検出器

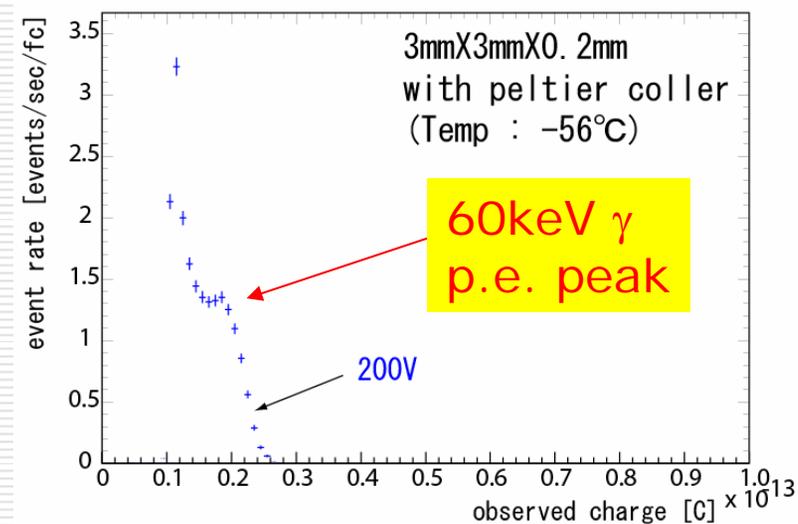
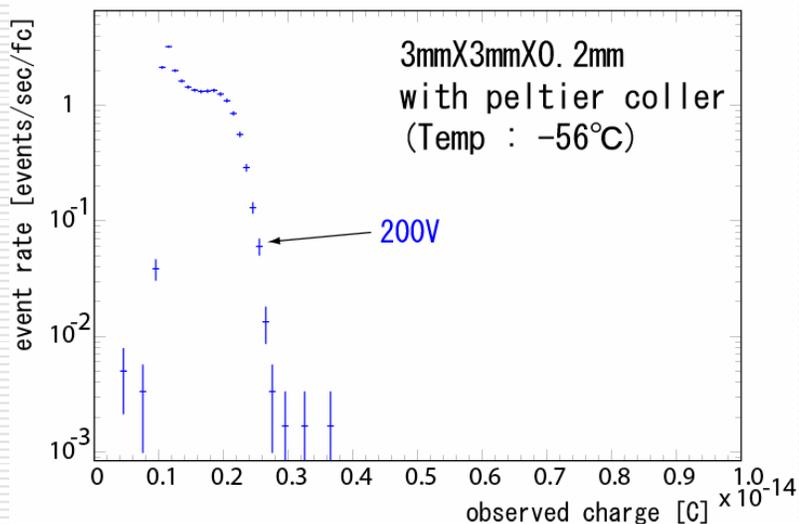
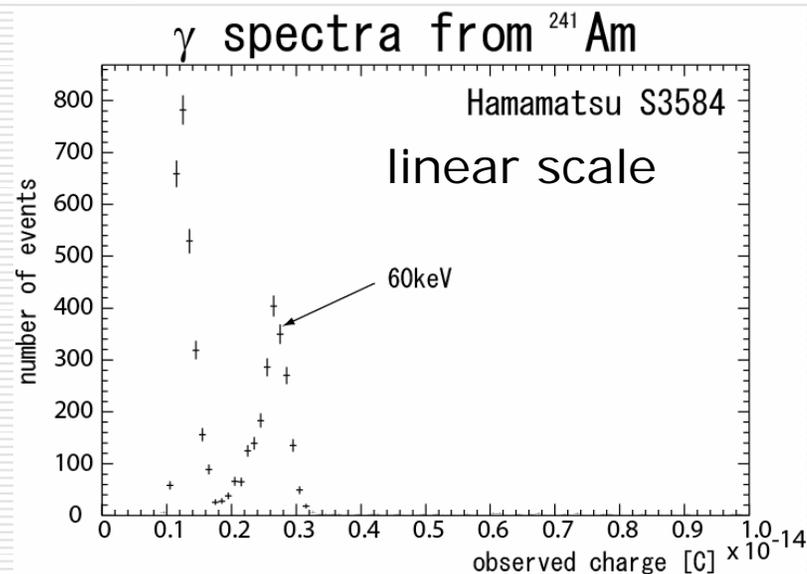
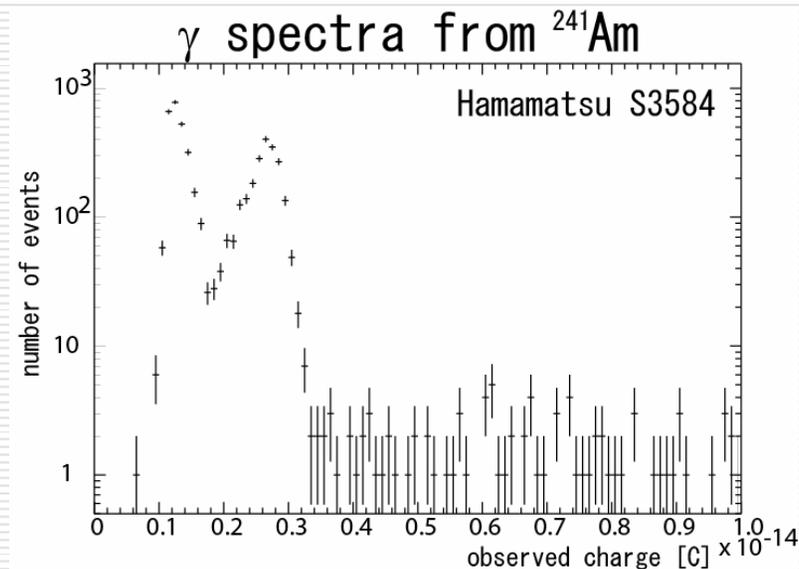


- ① $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ 電子(ペルチェ)冷却
- ② $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ 冷媒(ドライアイス)冷却
- ③ $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 0.2\text{mm} \times 9\text{ch}$ ピクセル
- ④ $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 0.2\text{mm} \times 9\text{ch}$ ピクセル(VCF)

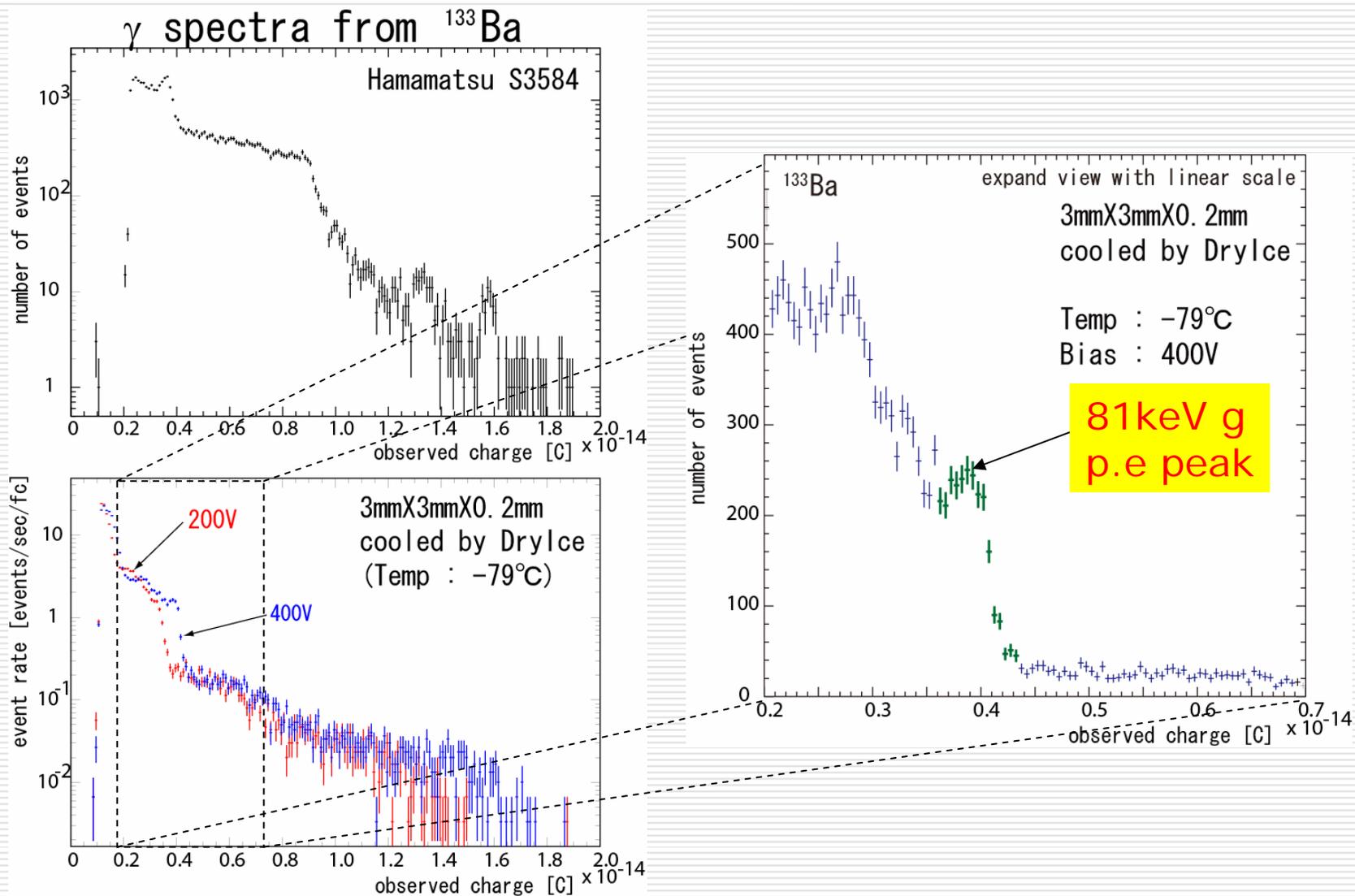
ガンマ線の観測(1)(ペルチェ冷却)



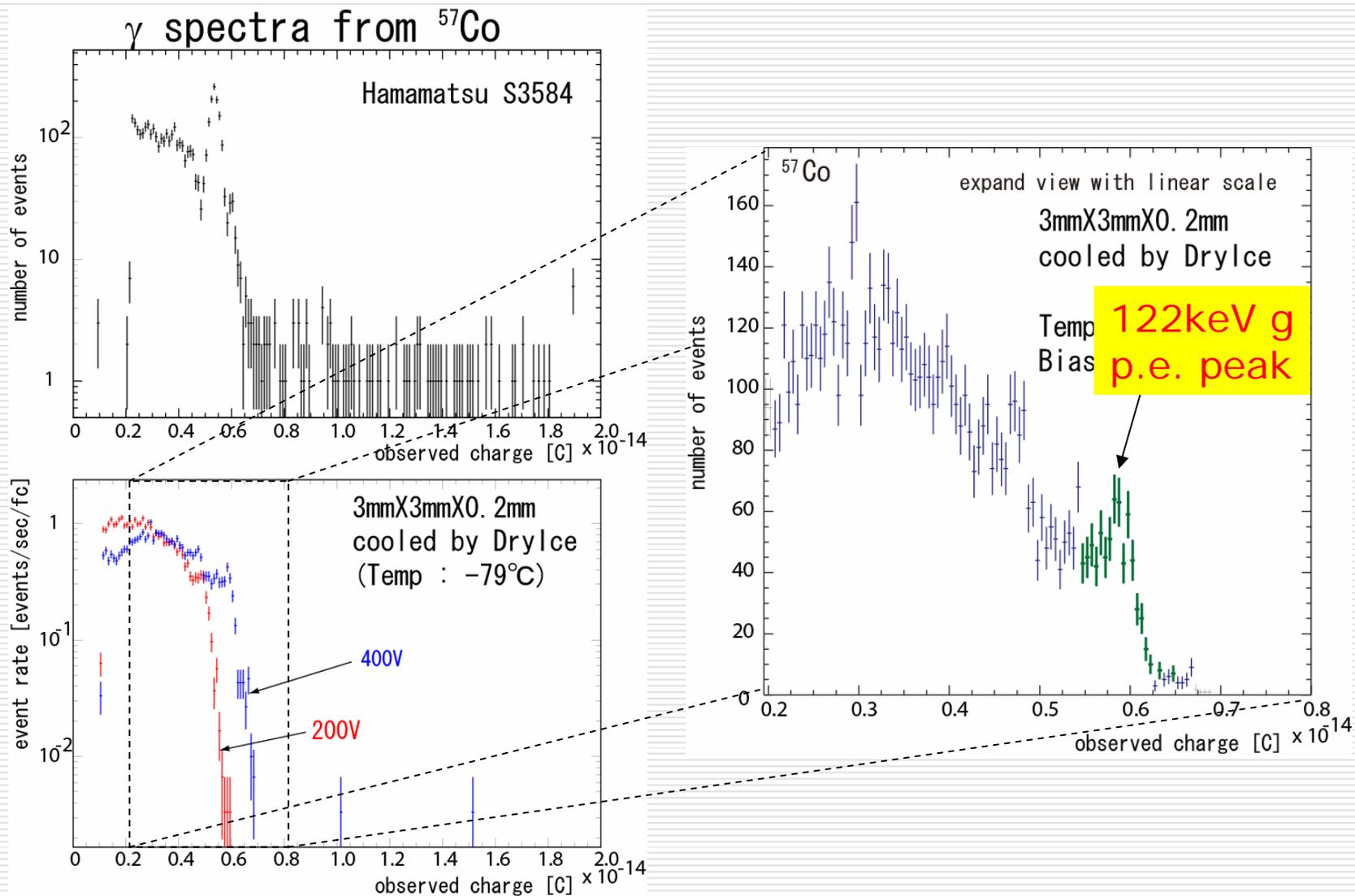
ガンマ線の観測(2)(ペルチェ冷却)



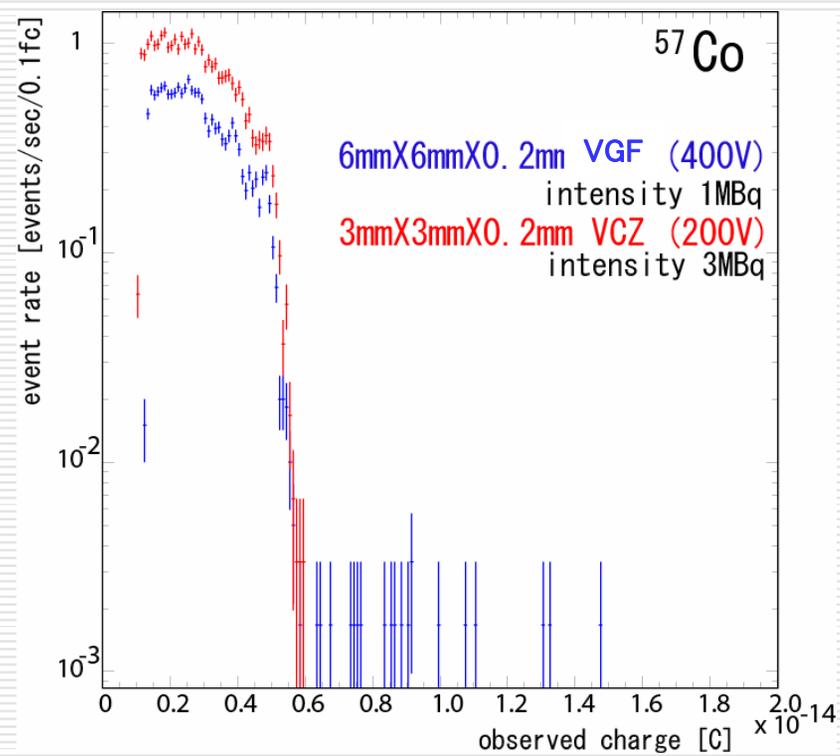
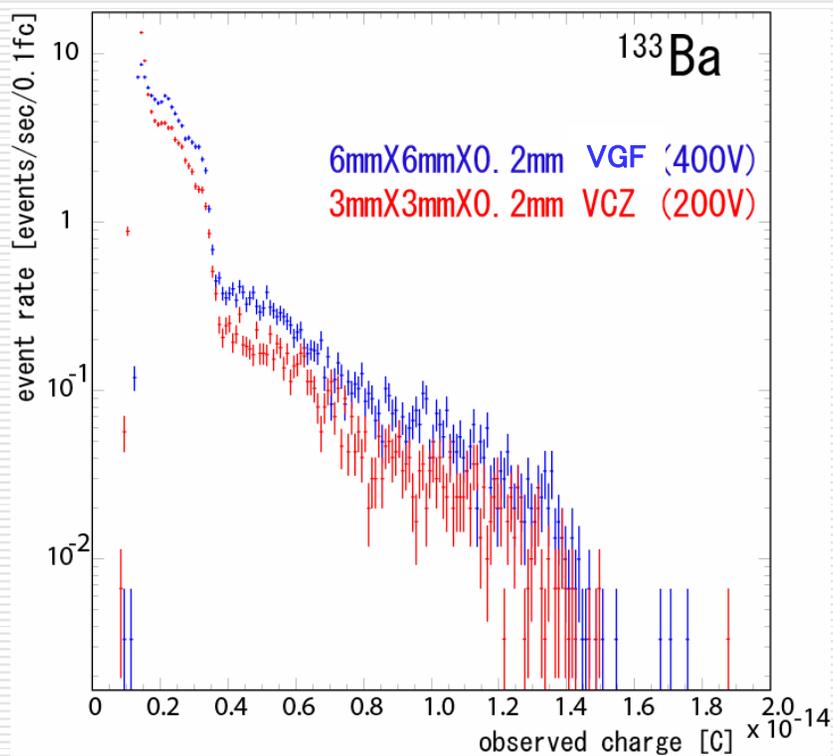
ガンマ線の観測(1)(ドライアイス冷却)



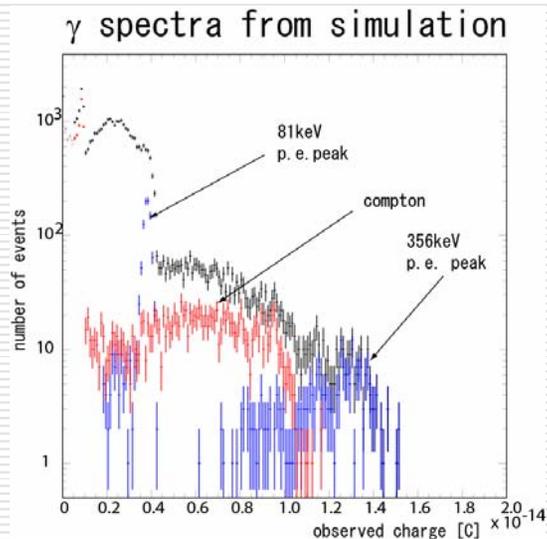
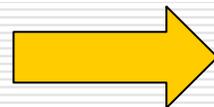
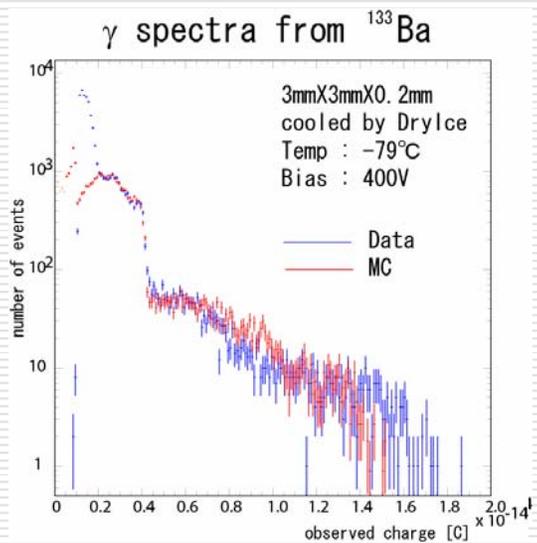
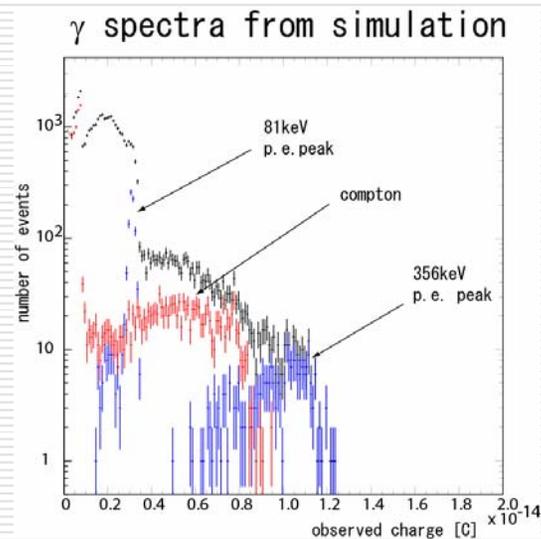
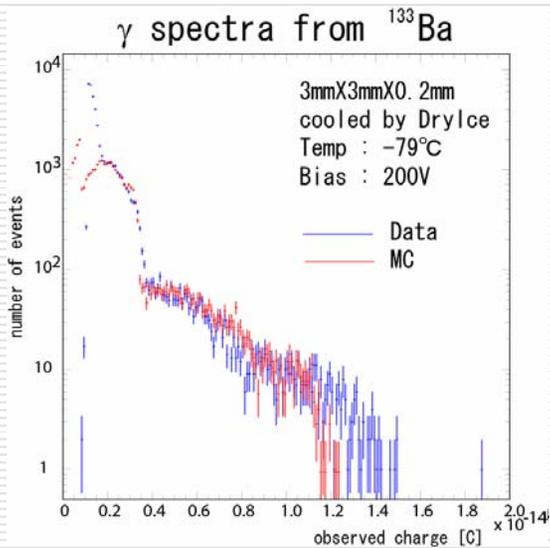
ガンマ線の観測(2) (ドライアイス冷却)



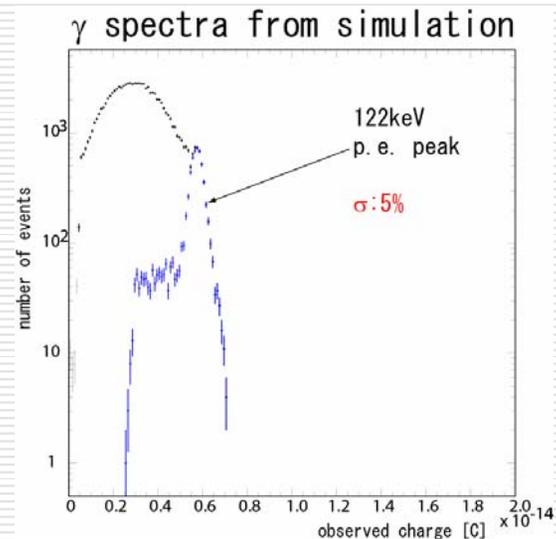
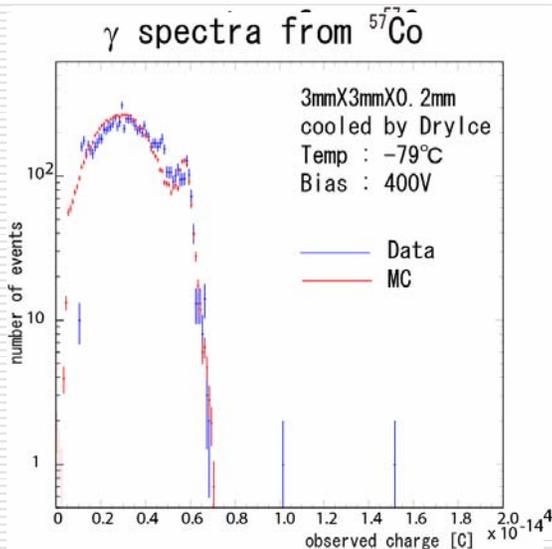
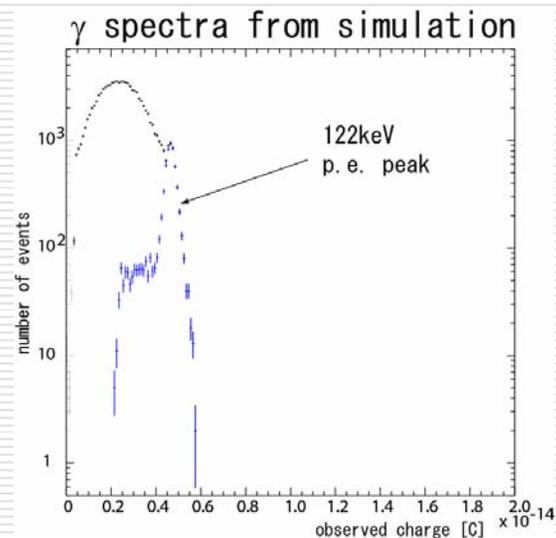
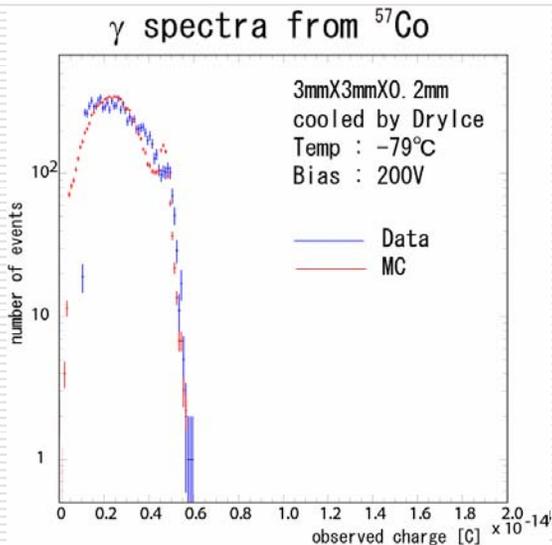
VCZ検出器とVGF検出器との比較



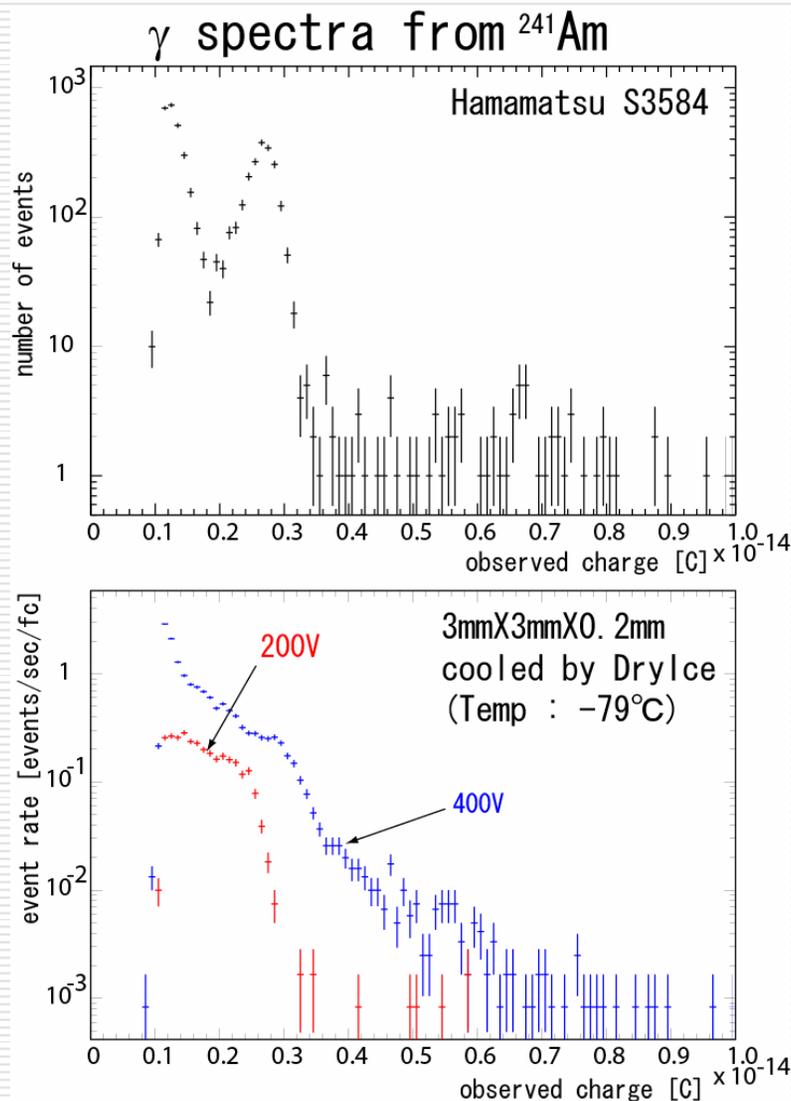
ガンマ線のスペクトル解析(1)



ガンマ線のスペクトル解析(2)



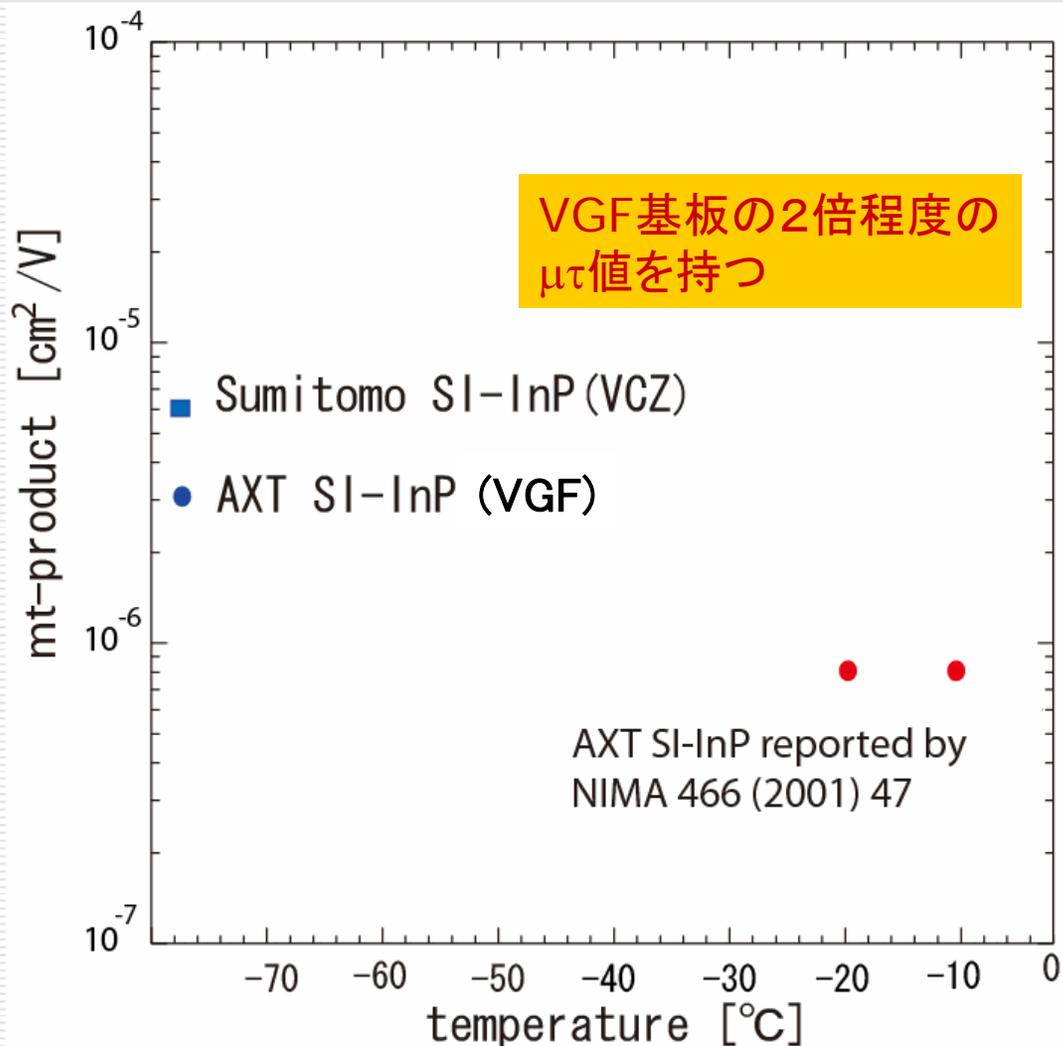
ガンマ線の観測(3) (ドライアイス冷却)



VCZ検出器の測定結果

- ❑ 同バイアス電圧では、VCF検出器に比べ電荷収集効率が上昇
- ❑ 100keV付近の γ 線の光電ピークを観測 (VCF検出器でも観測していた)
- ❑ e/h生成エネルギーはSiの3.65eVより小さく3.0eV以下

$\mu\tau$ product値の比較



結果

- ❑ VCZ基板による検出器を制作し、ガンマ線のスペクトル解析を行った
- ❑ VGF基板の2倍の電荷収集効率(>90%@400V)
- ❑ 電子・ホール対生成エネルギー $\epsilon \leq 3.0\text{eV}$
- ❑ 81keVと122keVの光電ピークを観測(エネルギー分解能 $\sigma : 5\% @ 122\text{keV}$)

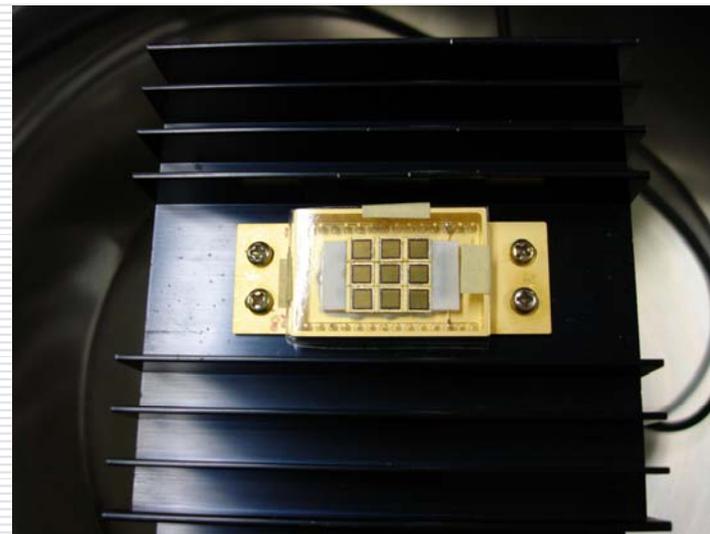


目標の10%@100keV(FWHM)にほぼ到達

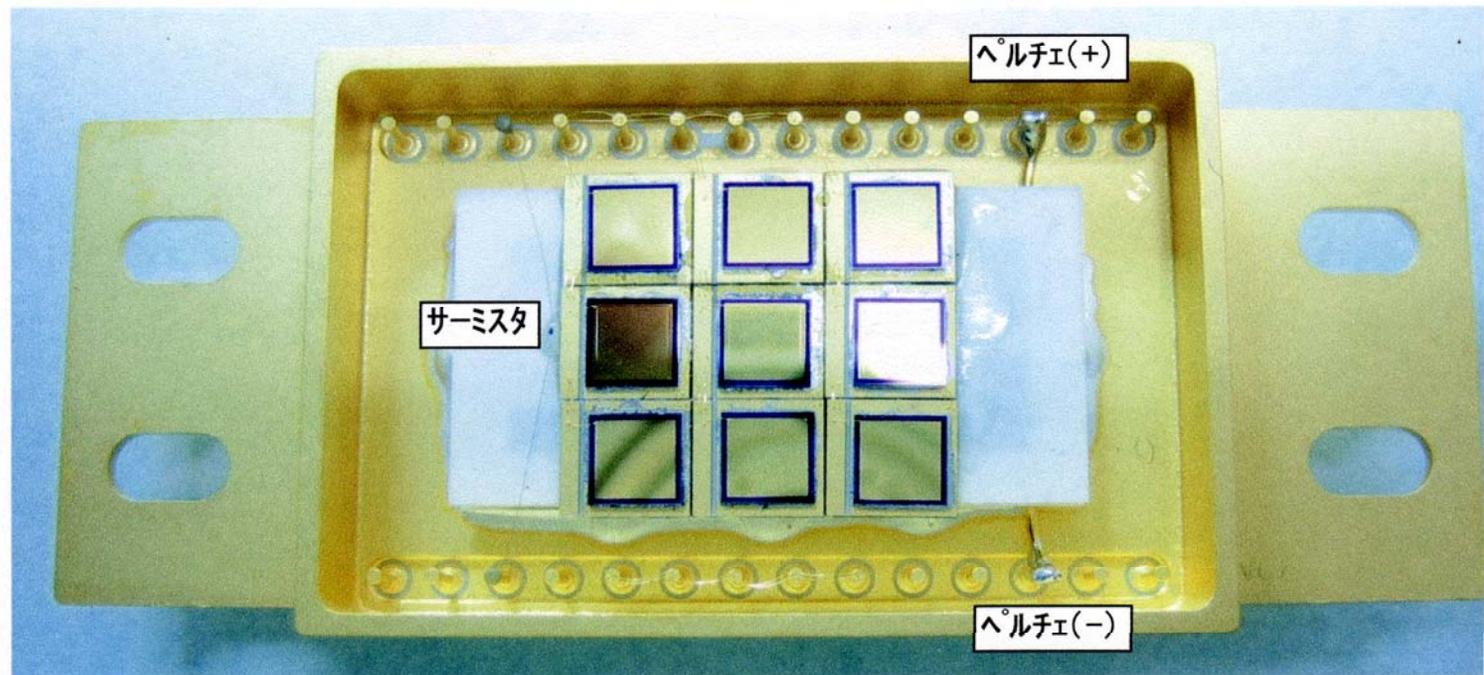
今後の計画

- ✓ 9chピクセル検出器の測定
- ✓ 神岡坑内で ^{115}In β 崩壊からの制動放射X線の測定
(6mm × 6 mm × 0.2 mm × 5 × 5 ピクセル検出器)

9chピクセル型検出器による試験測定



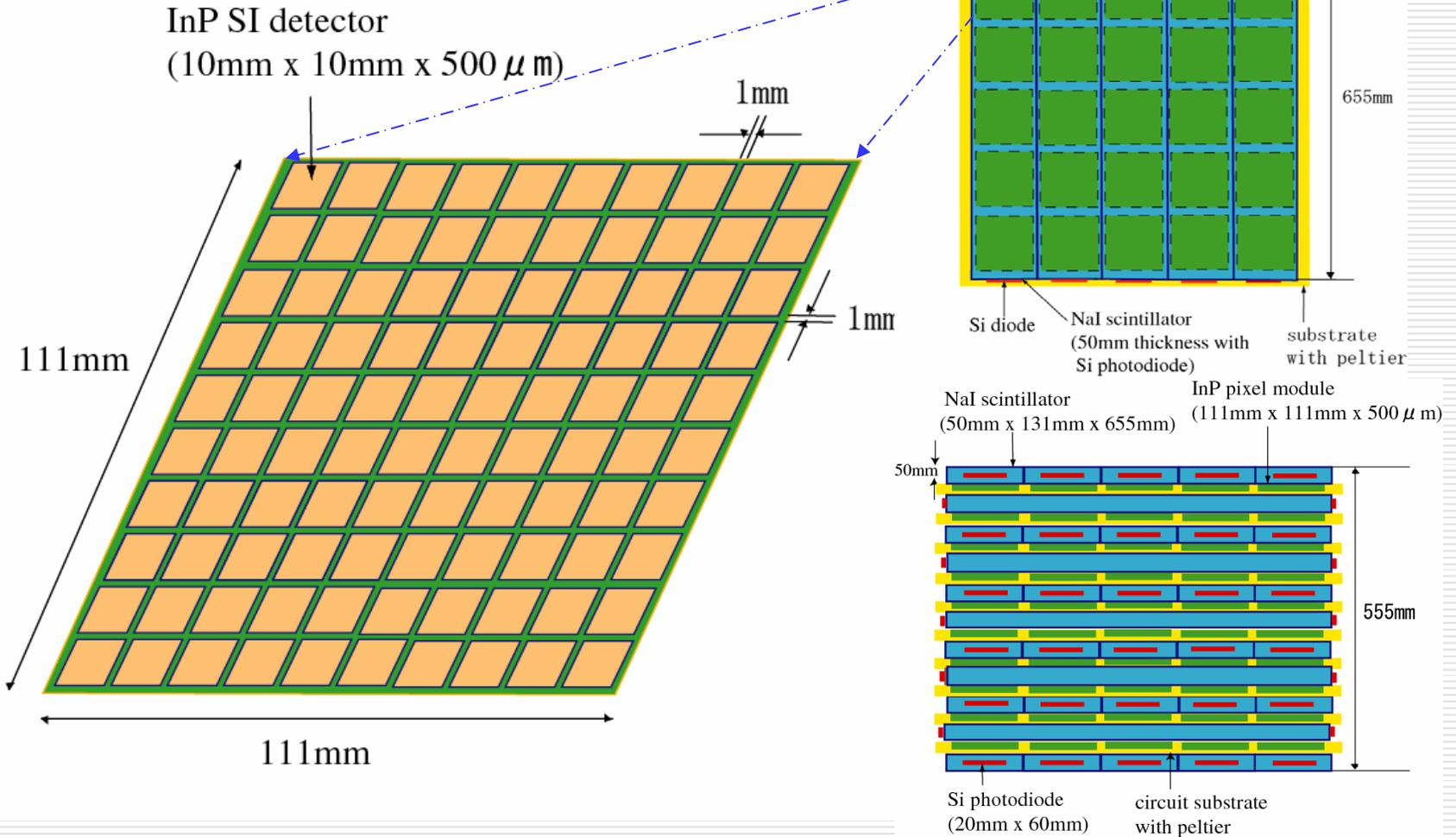
9chピクセル型検出器



- ❑ 3mm × 3mm × 0.2mm × 9chのピクセルInP検出器
- ❑ 測定中

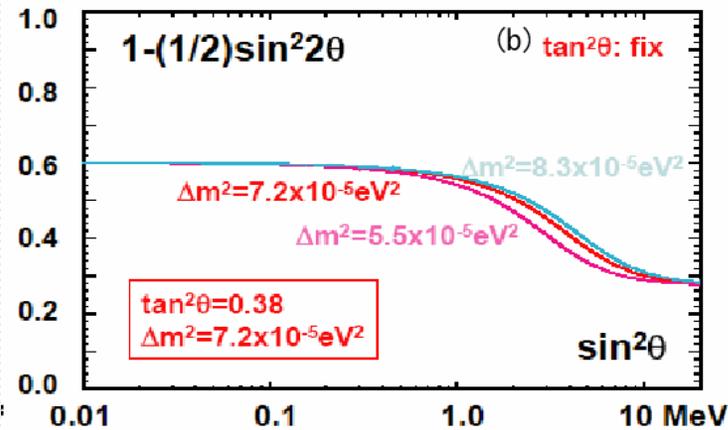
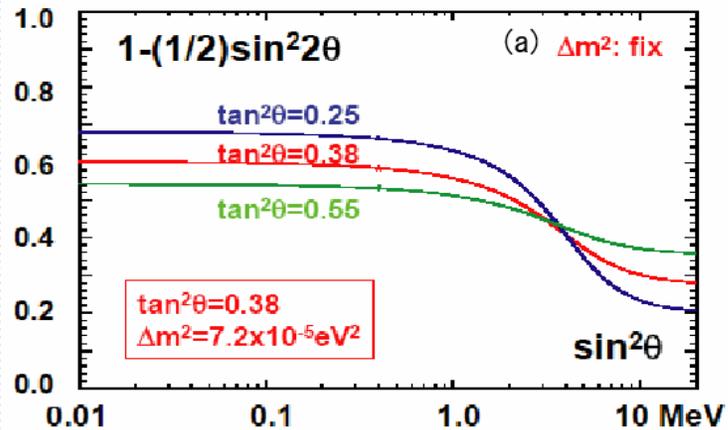
太陽ニュートリノ観測用プロトタイプ検出器案

InP SI pixel module

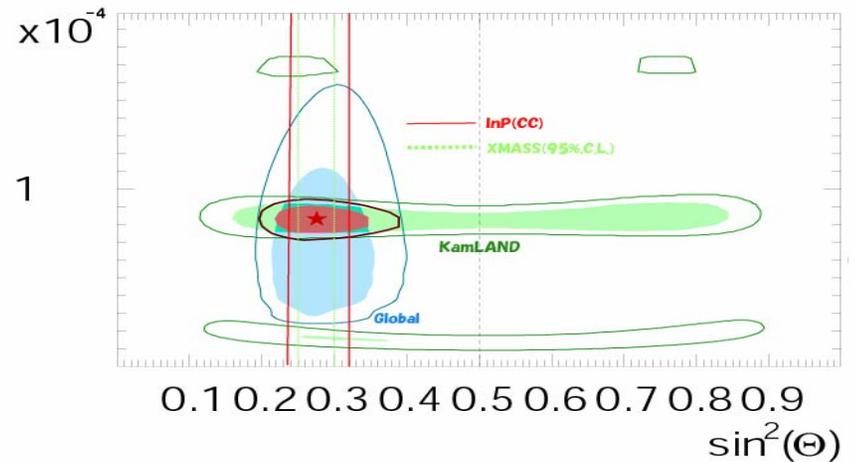


目的

□ θ_{12} の精密観測



Y.Suzuki@v2004



Sub-MeV以下の太陽νの
測定が θ_{12} を制限