

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

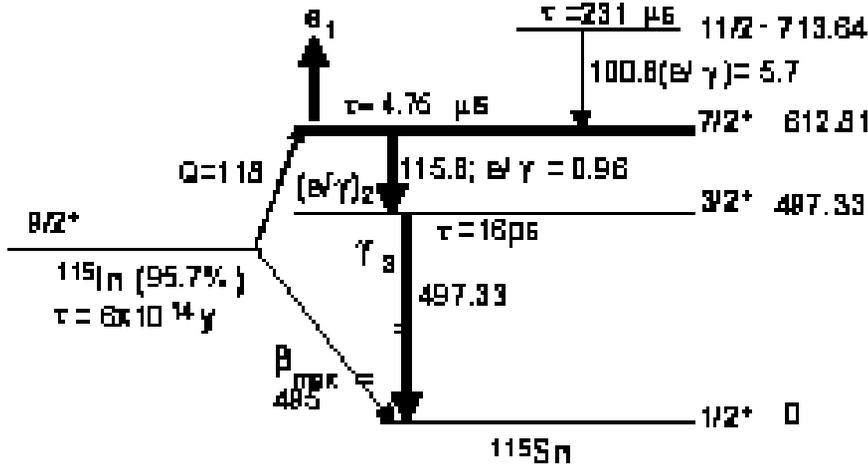
日本物理学会 2003年秋季大会
9月9日

宮城教育大学 福田善之、千葉芳明、太田忠之
東大宇宙線研 森山茂栄、塩澤真人、小汐由介、
竹内康雄

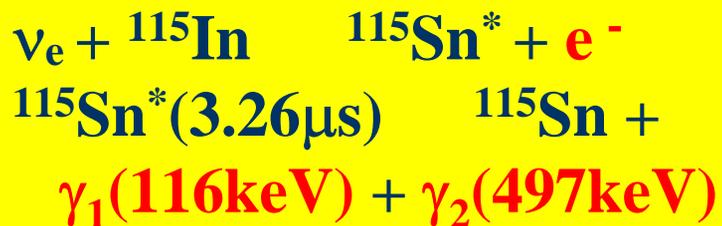
浜松ホトニクス(株) 固体事業部
犬塚智也、井澤利之

インジウムによる太陽ニュートリノの検出原理

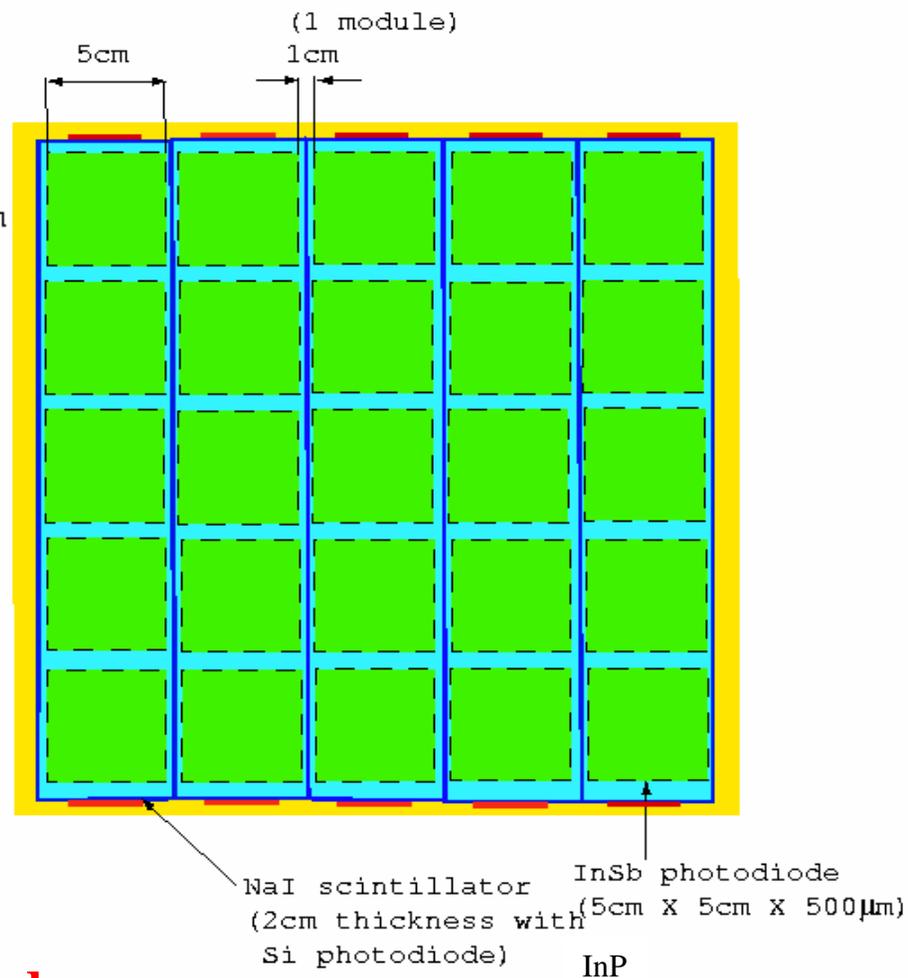
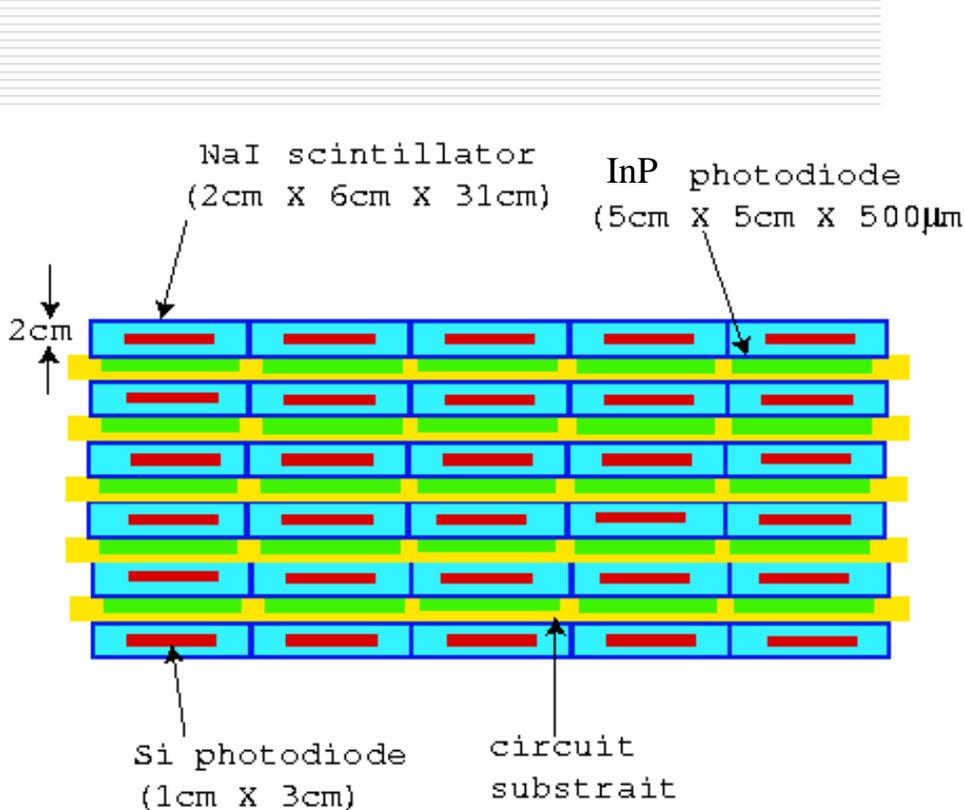
[R.S.Raghavan Phs.Rev.Lett37\(1976\)259](#)



- 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 ($\tau_{1/2} = 6 \times 10^{14}\text{yr}$)
- Correlated chance coincidence-Bremsstrahlung
- Correlated chance coincidence impurities



InP半導体太陽ニュートリノ検出器



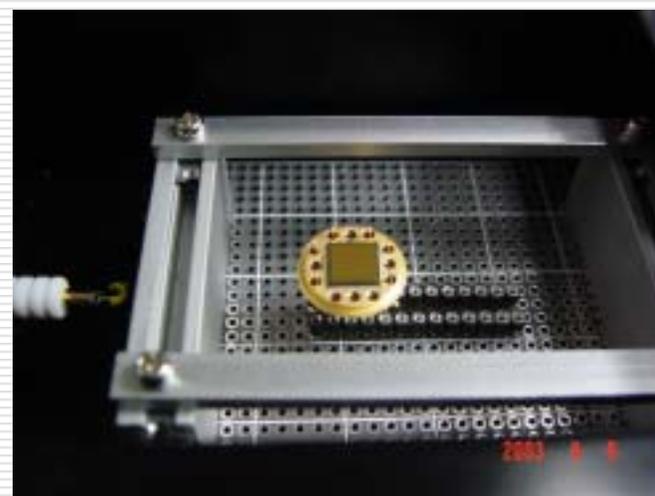
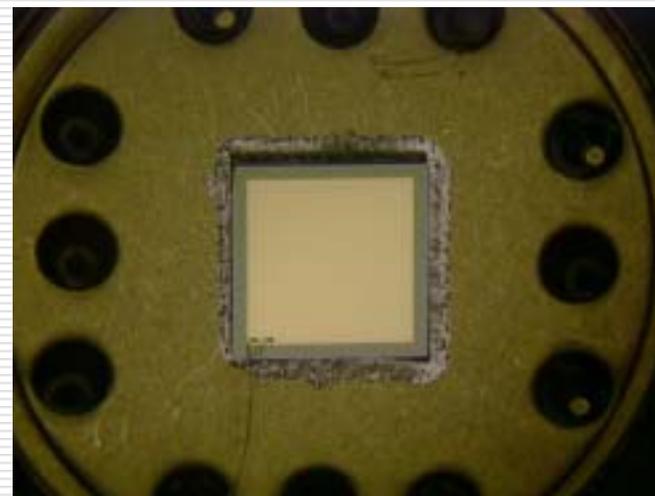
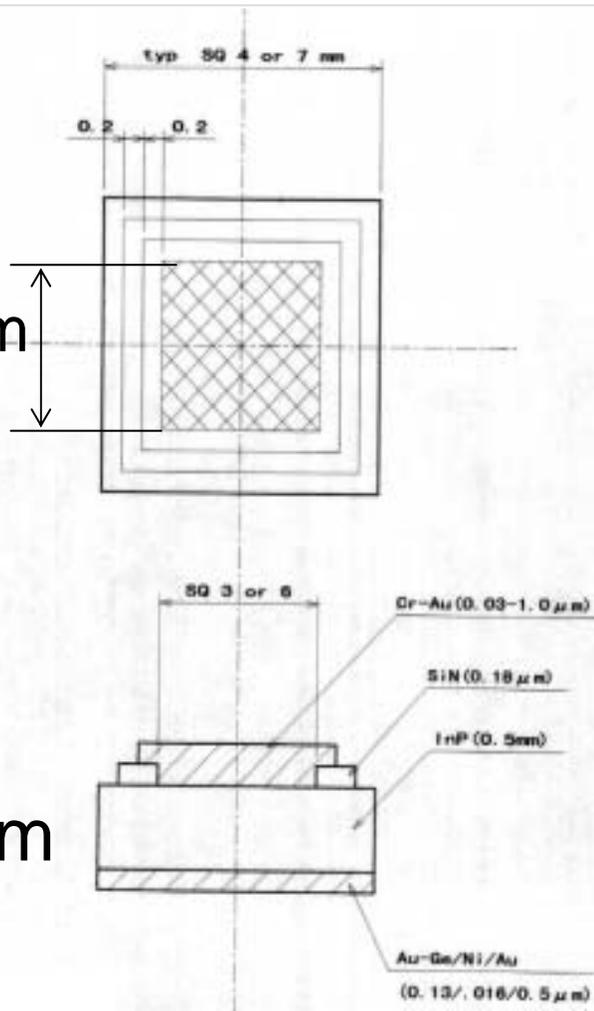
High energy resolution, high granularity
High speed read out, No quenching



High BG reduction could be done

InP SI proto-type 検出器

3mm or 6mm

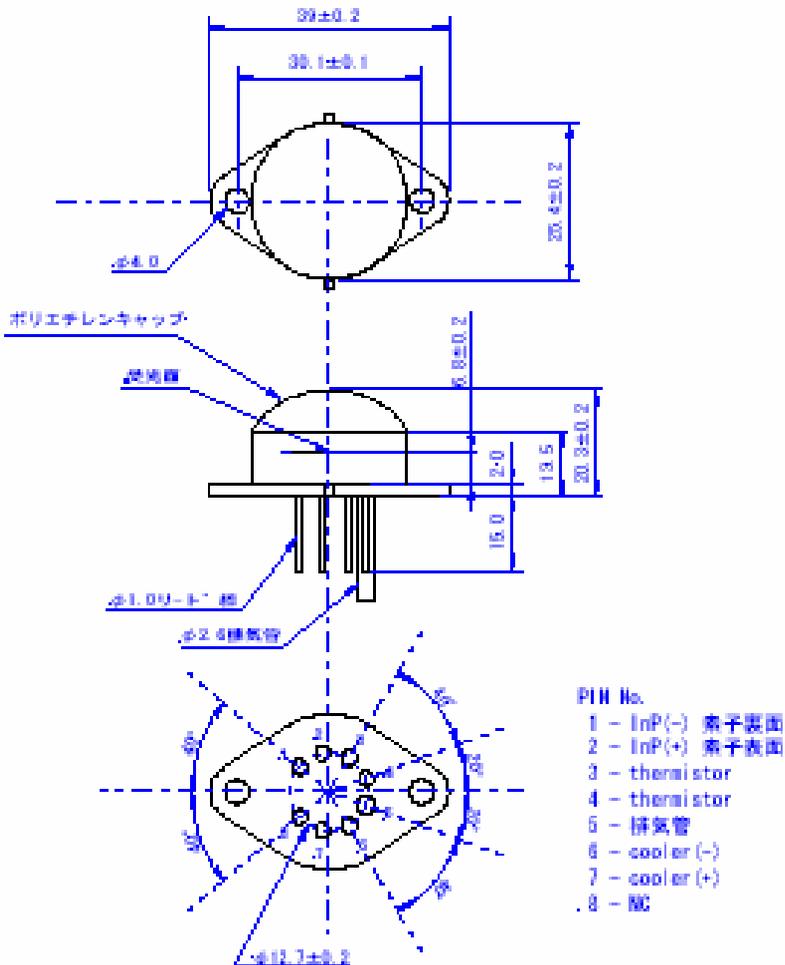


$D=450 \pm 25 \mu\text{m}$

(presented by Hamamatsu photonics)

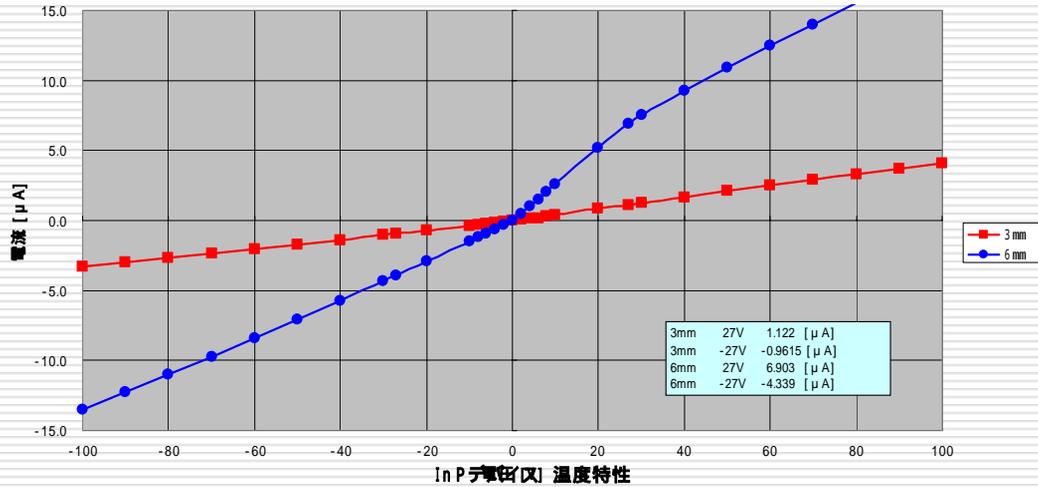
ペルチェ冷却型SI InP半導体検出器

外形図 (単位: mm)



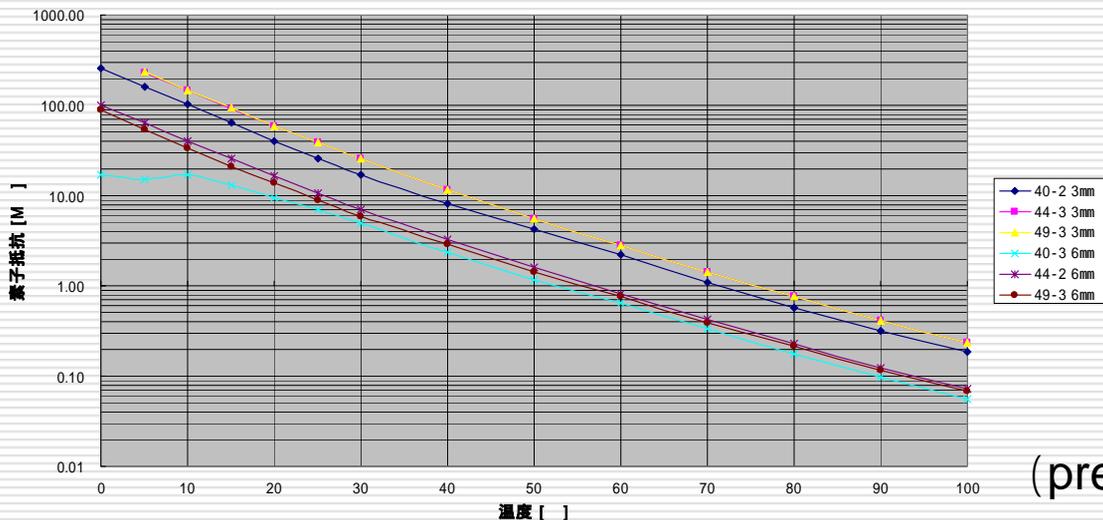
半導体特性の評価

InPデバイス V-I特性 25



Dark current can be reduced by lowering the temperature.

$$I[A] = T^{2/3} \exp(-E_g / 2k_B T)$$



0.018μA for 6mm InP @ 100V and -40degree

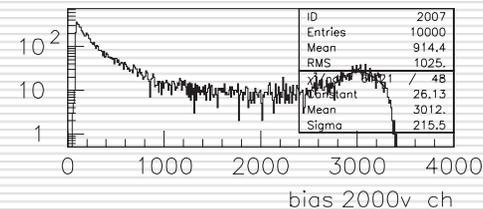
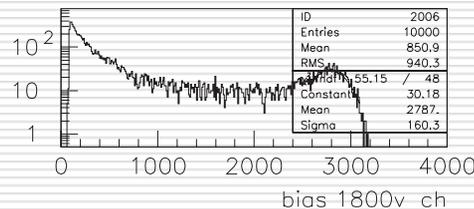
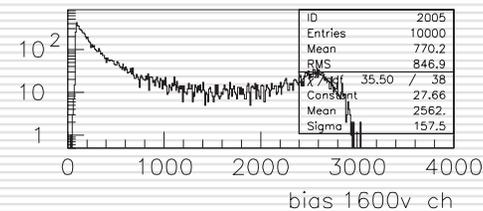
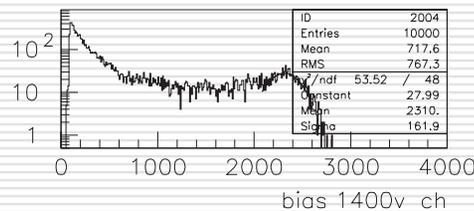
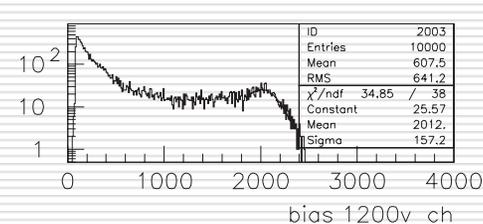
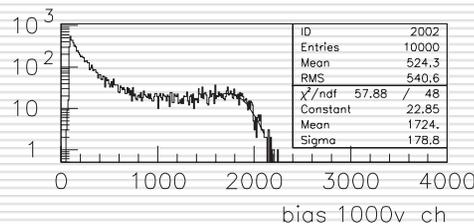
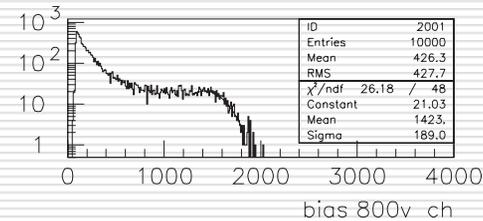
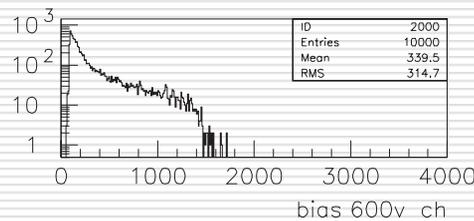
(presented by Hamamatsu Photonics)

α 線による性能評価(その1)

□ 36mm² SI InP

- バイアスを最大2kVまで印可
- Single peakが観測された
- バイアス電圧の増加により電荷収集効率(CCE)が上昇している

²⁴¹Am a spectrum for 36mm² InP detector

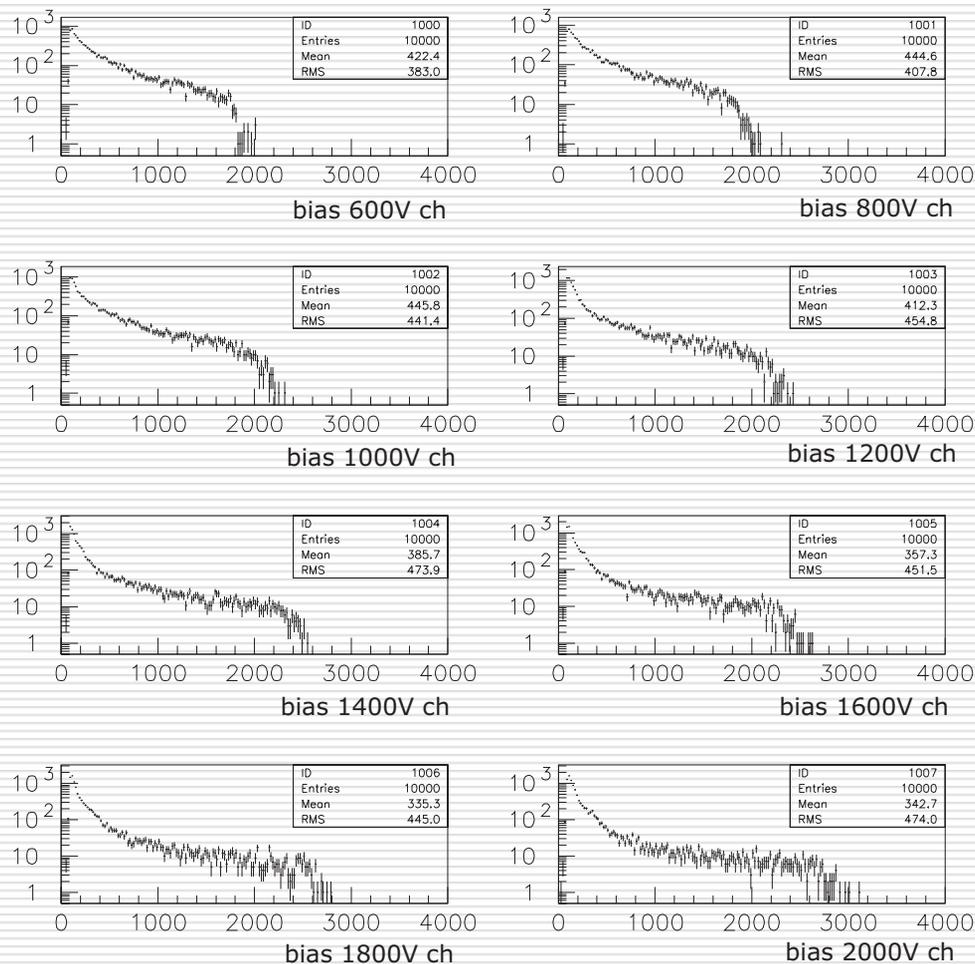


α 線による性能評価(その2)

□ 9mm² SI InP

- 同様にバイアス電圧を最大2kVまで印可
- バイアス電圧に対する応答は36mm²検出器とほぼ同様
- また同等のCCEが得られている

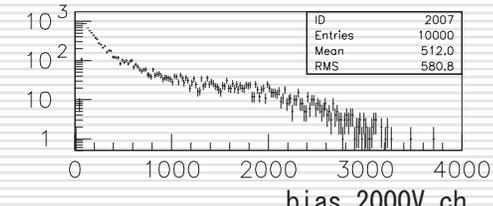
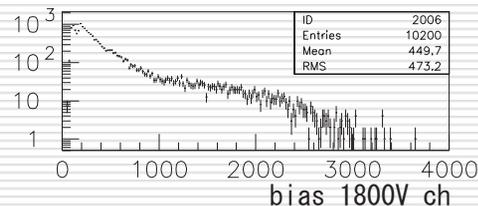
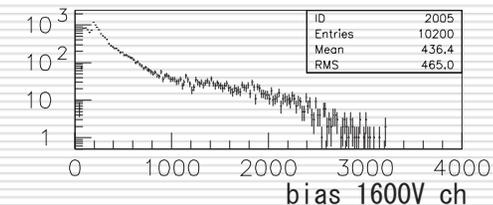
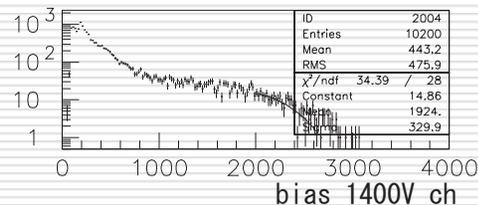
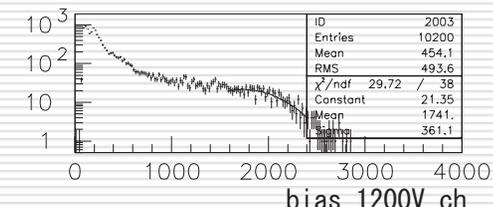
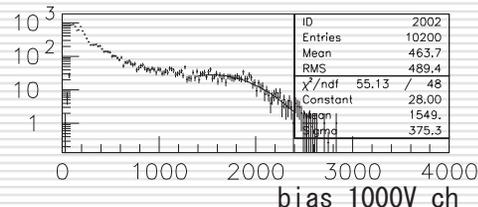
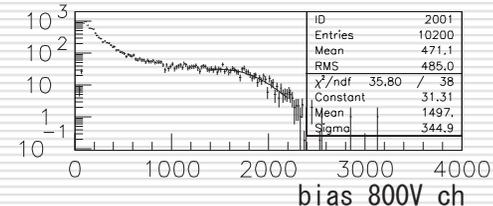
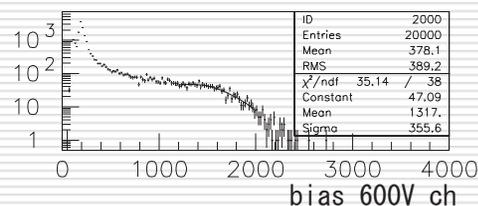
²⁴¹Am a spectrum for 9mm² InP detector



α 線による性能評価(その3)

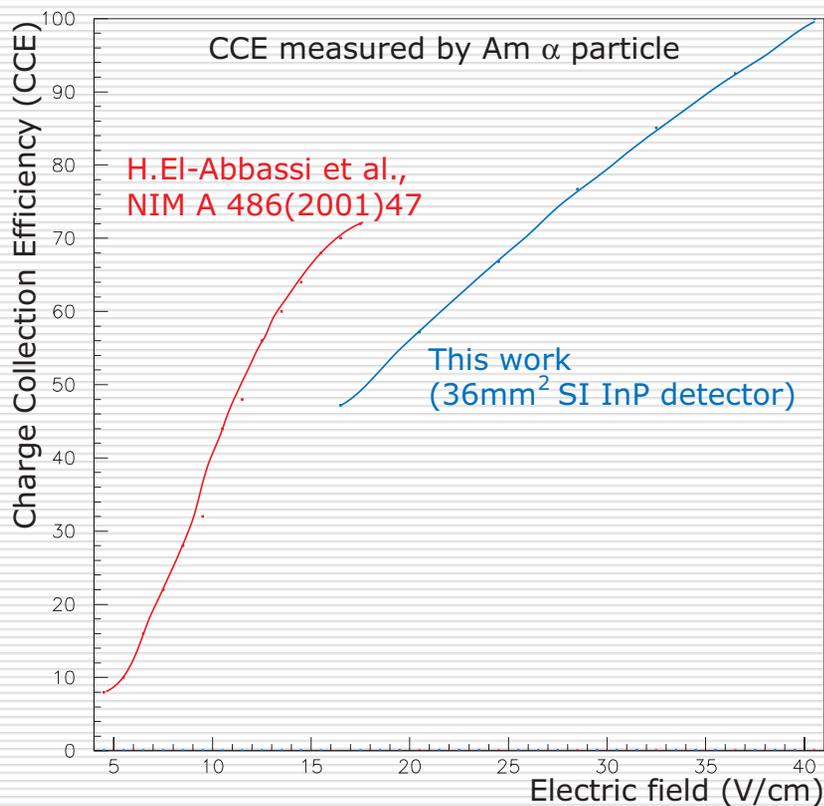
□ ペルチェ冷却型 SI InP 36mm² 検出器

- ペルチェ素子にマウント
- 電極がCr-AuからAuZn-Auに変更
- 但し、CCEは最大約30%しか得られていない
- バイアス電圧にあまり依存しない?
- 処理に依存?



線に対する電荷収集効率

□ 電荷収集効率の測定と過去のデータとの比較

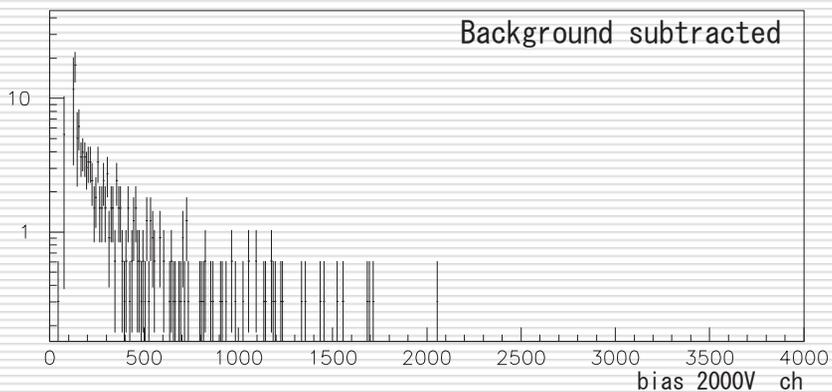
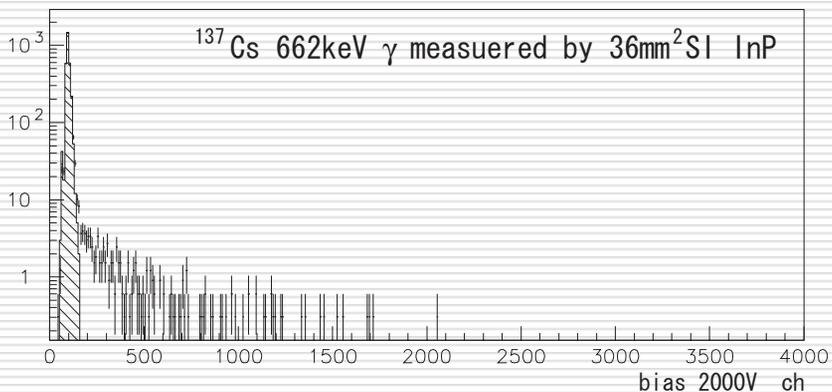


高バイアス電圧の印可により100%が達成

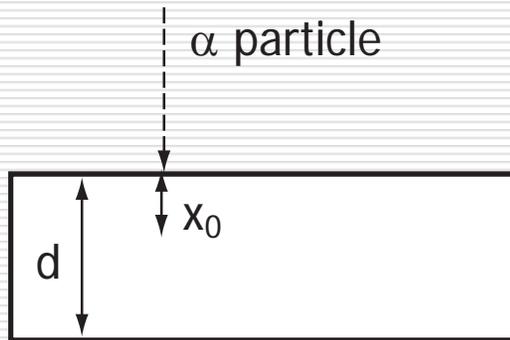
線による測定

□ 36mm² SI InP

- ¹³⁷Csからの662keVの線を観測
- 線の測定から電極付近ではCCEは100%に達していると考えられる
- コンプトン端がはっきり見えない



InP検出器における電荷収集効率(CCE)



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 α particle

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

average length $L = \tau v = \mu \tau V_0/d$ τ : carrier lifetime [s]

$\mu \tau$ is measured by H.El-Abassi et al. NIMA466(2001)47
 $\mu \tau = 5 - 8 \times 10^{-7}$ [cm^2V^{-1}] (@-21 to 19 degree)

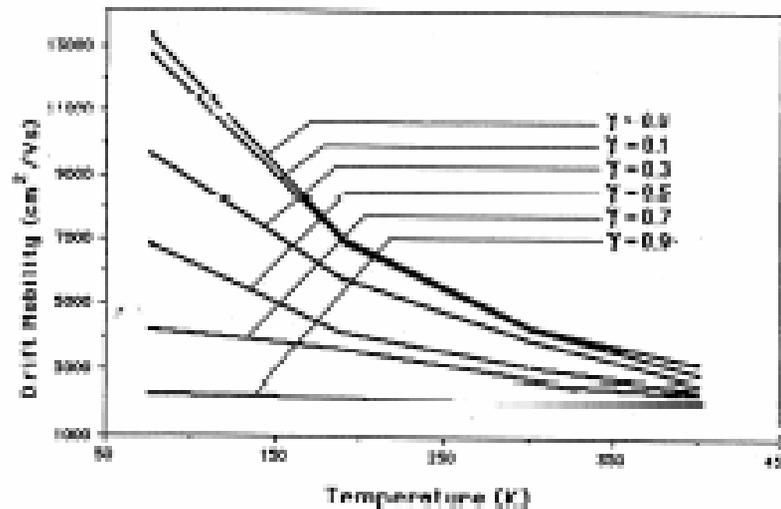
Thus $L = 5 \times 10^{-7} [\text{cm}^2\text{V}^{-1}] \times 1000 [\text{V}] / 500 [\mu\text{m}]$
 $= 0.01 [\text{cm}] \gg x_0$ ($\sim 16 \mu\text{m}$ in InP 4MeV α)

Howeve, it means not enough for the entire volume
to collect all charge

高CCEのための改良点

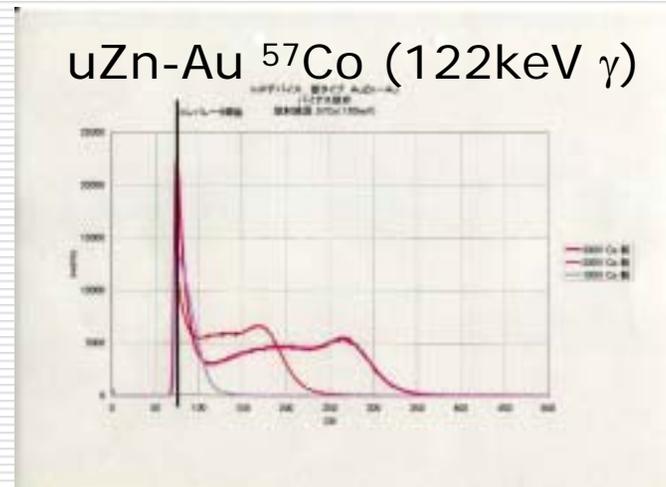
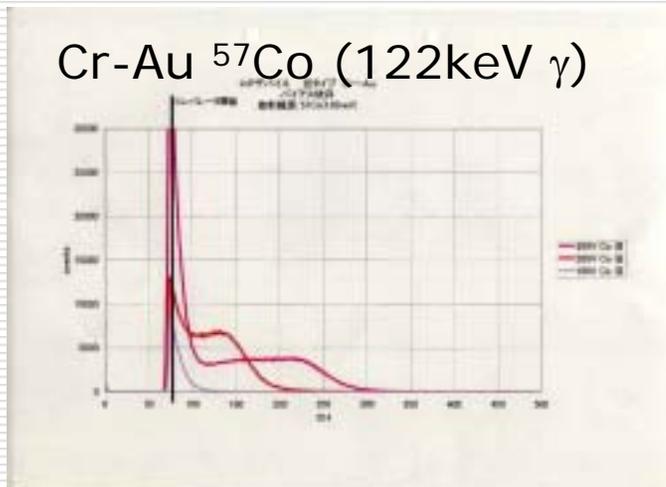
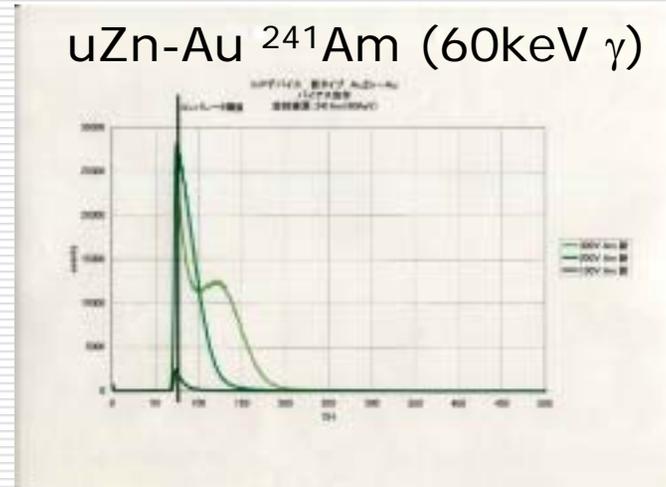
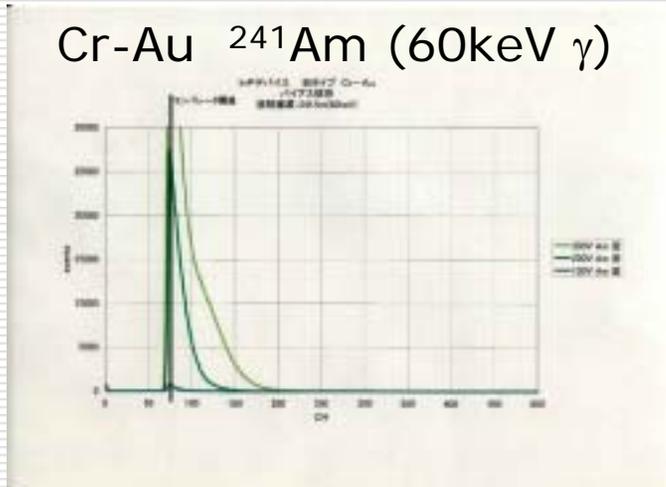
- 高バイアス電圧 (5kV)
- 冷却 ($\mu\tau$ が大きくなり、かつノイズレベルが下がる)
- 電極の改良

Extrapolated Low-Field Electron Drift Mobility for InP



Ref: J. Costa and A. Peczalski, *J. Appl. Phys.* 66(2), (1989) p674-679

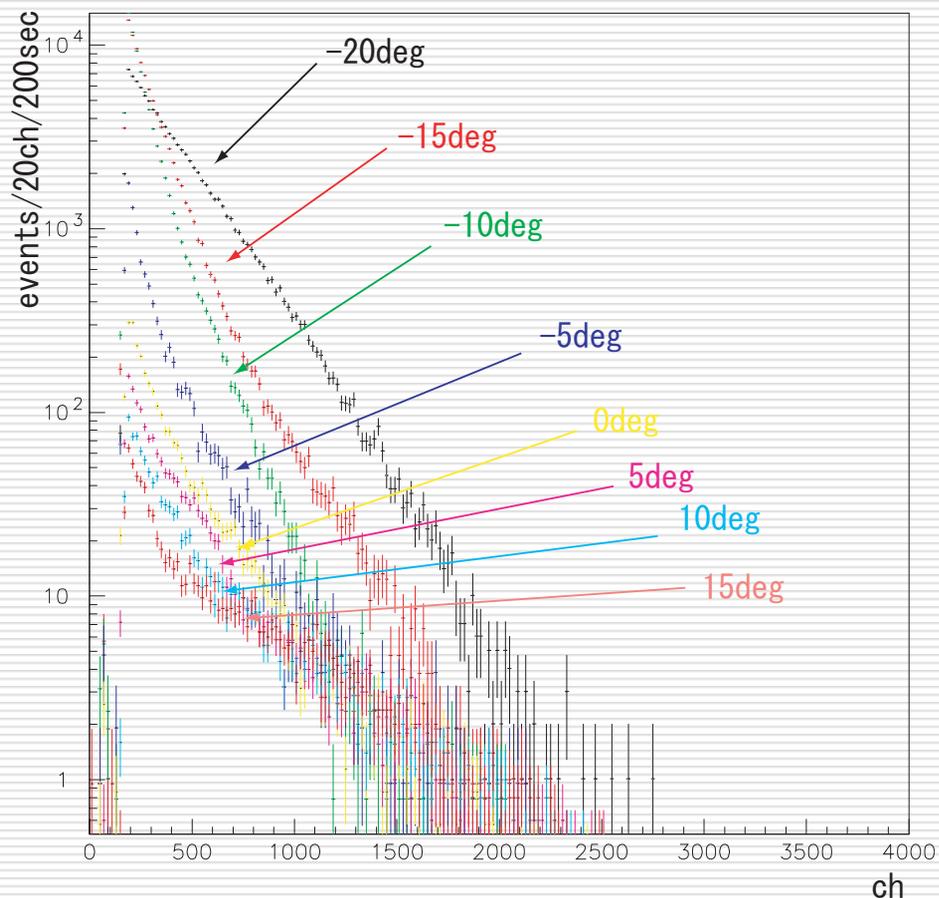
電極の効果 (9mm²InPの半分の素子)



新電極(AuZn-Au)のCCE性能は良い

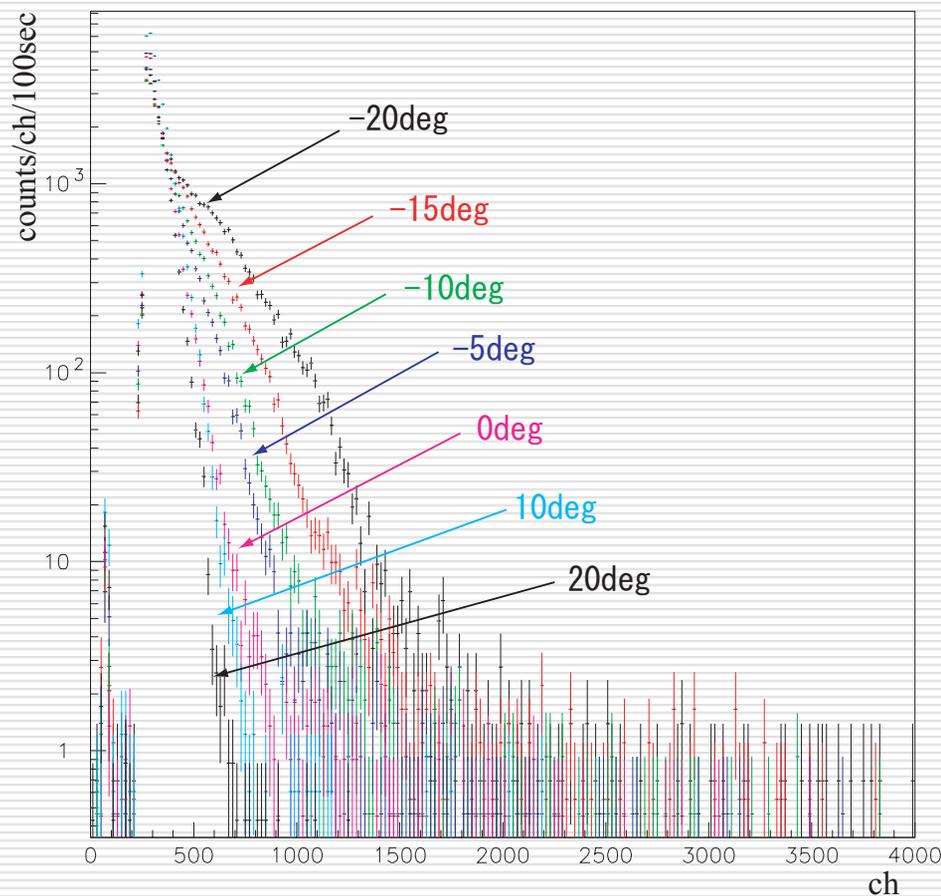
波高分布の温度依存性(その1)

- ペルチェ型SI InP 36mm^2 検出器による ^{241}Am 線の波高分布の温度依存性

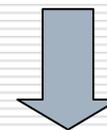


波高分布の温度依存(その2)

- ❑ ペルチェ型SI InP 36mm² 検出器による¹³⁷Csからの線の波高分布の温度依存性



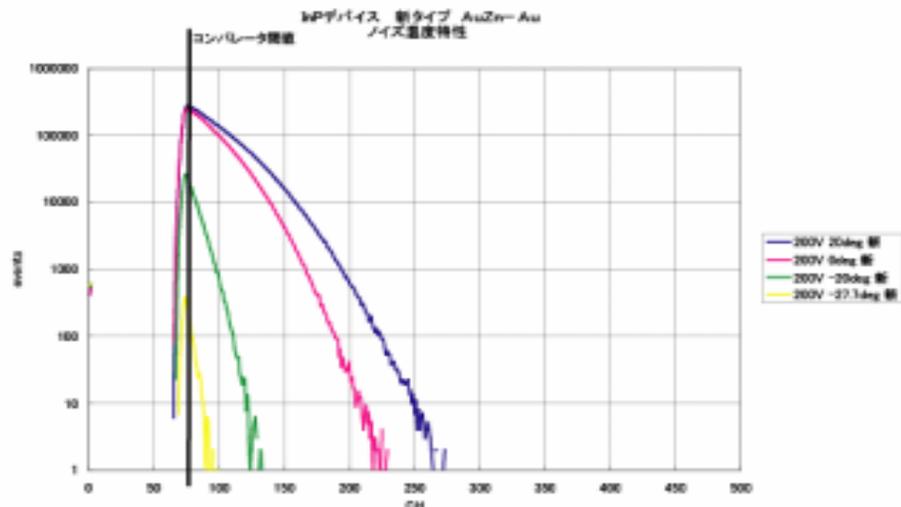
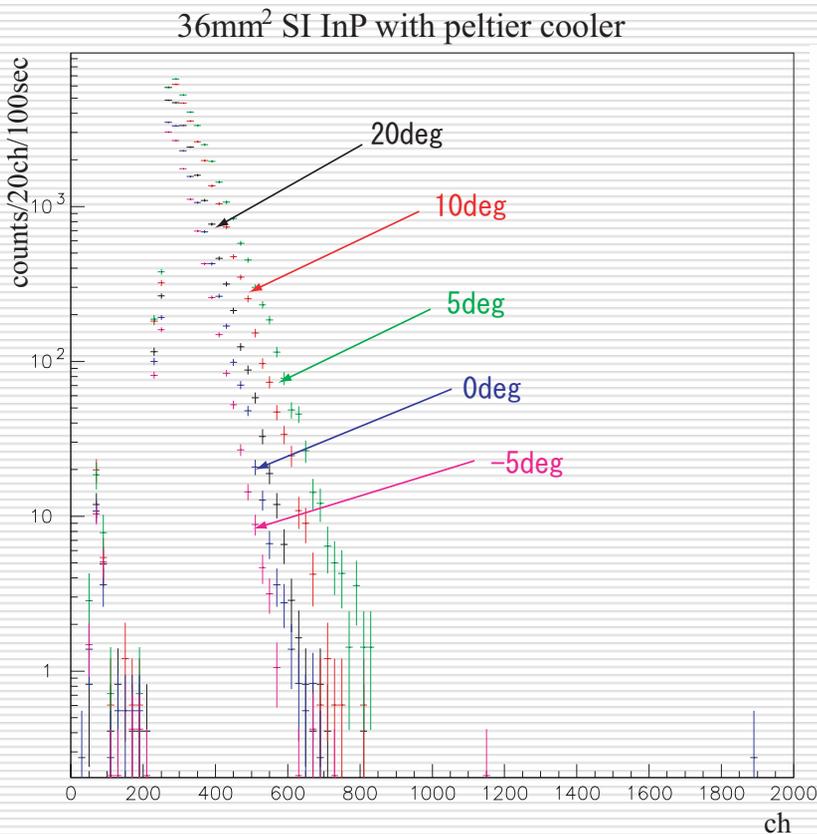
0 以下でガンマ線の
信号が観測されている



CCEの改善が観測
されている

波高分布の温度依存(その3)

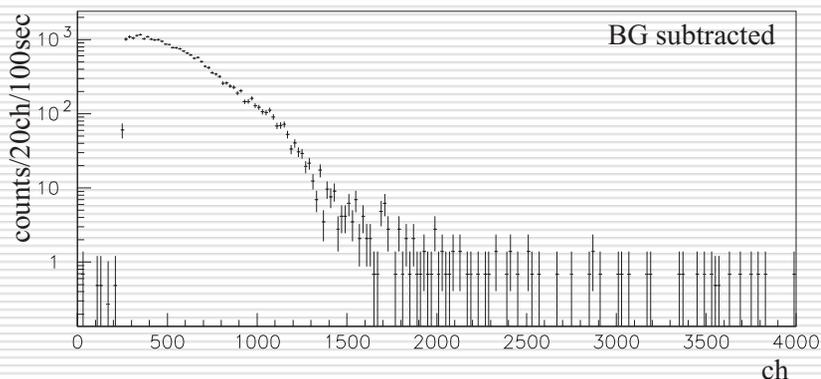
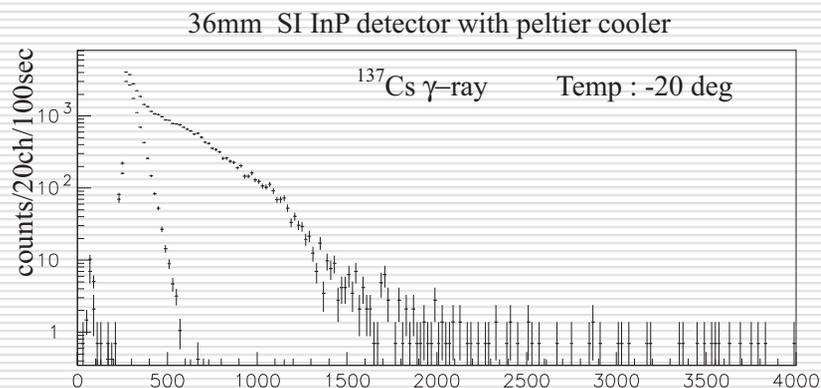
□ ノイズの温度依存性



冷却に従いノイズが減少している

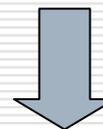
ガンマ線の波高分布

□ ペルチェ型SI InP 36mm² 検出器による¹³⁷Cs線(662keV)の測定



¹³⁷Csの線は観測しているが、**コンプトン端(440keV)が見えない**

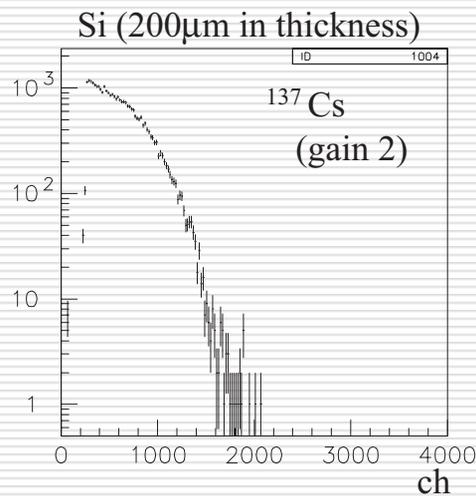
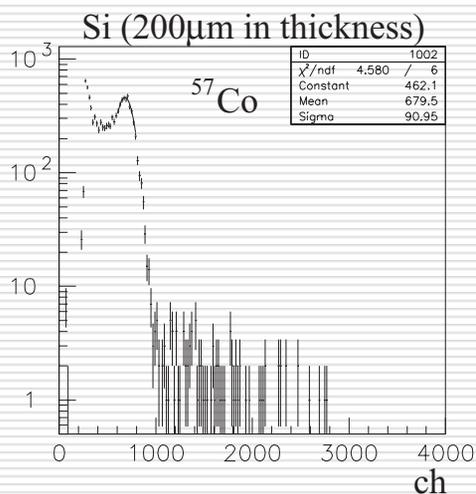
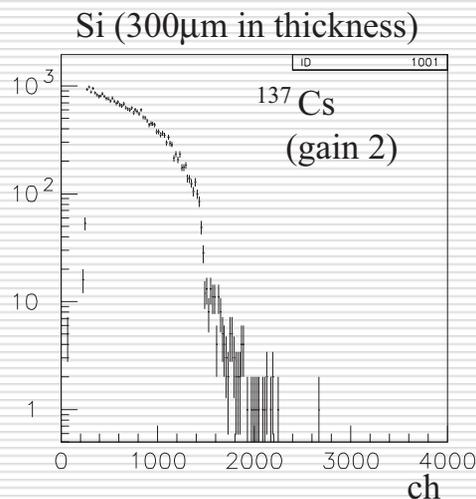
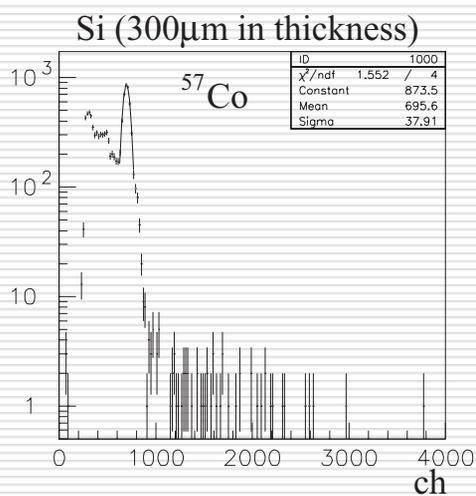
cf Range ~ 300 μ m in InP



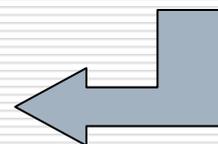
有効領域はまだ十分広がっていない

Siダイオードによる波高分布の校正

□ ガンマ線による波高分布



コンプトン端は
見えていない



結果

- ❑ バイアス電圧を2kVまで印可することにより、線に対する電荷収集効率 $\geq 100\%$ に達した
- ❑ 冷却により、 ^{137}Cs の線を観測した
- ❑ 但し、有効領域は検出器全体に達していない
- ❑ 冷却により電荷収集効率が増加し、ノイズが減少していると考えられる

今後の予定

- 高圧のバイアス電圧($\sim 5\text{kV}$)まで印可する
- -60 程度まで冷却する
- 電極の効果(ノイズの減少、CCE増加等)を確認する
- 冷却によるノイズ減少を再確認する
- 122keV の線を 36mm^2 SI InP検出器で観測する
- $3\text{cm}\times 3\text{cm}$ のプロトタイプ検出器を製作する