

低エネルギー太陽ニュートリノ 観測を目的としたインジウム・ リン半導体検出器の開発研究

平成22年度共同利用研究成果発表研究会

2010年12月18日

宮城教育大学 福田善之

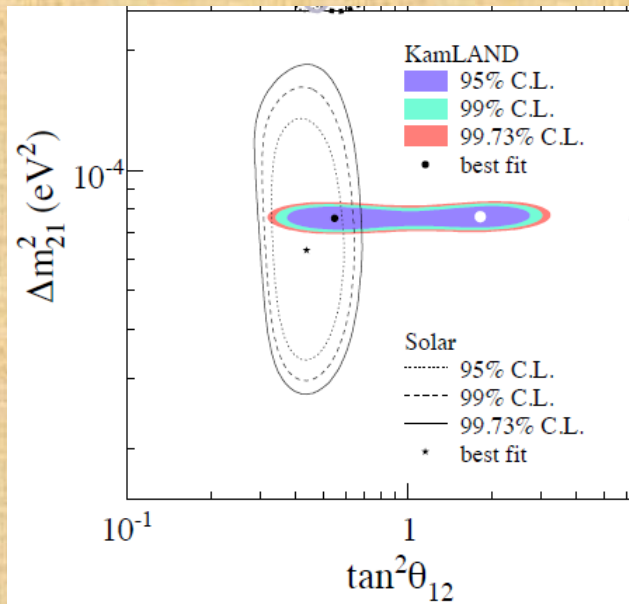
東大宇宙線研 森山茂栄、関谷洋之

東大素粒子国際センター 難波俊雄

2010年度 採択額:4万円(旅費)

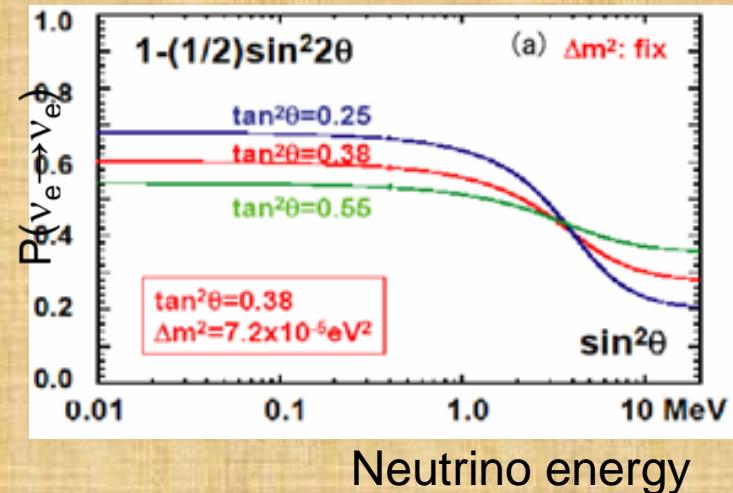
Motivation

Allowed region obtained by combined results and KamLAND



Survival probability for solar matter oscillation below 1MeV

Y.Suzuki@Neutrino2004

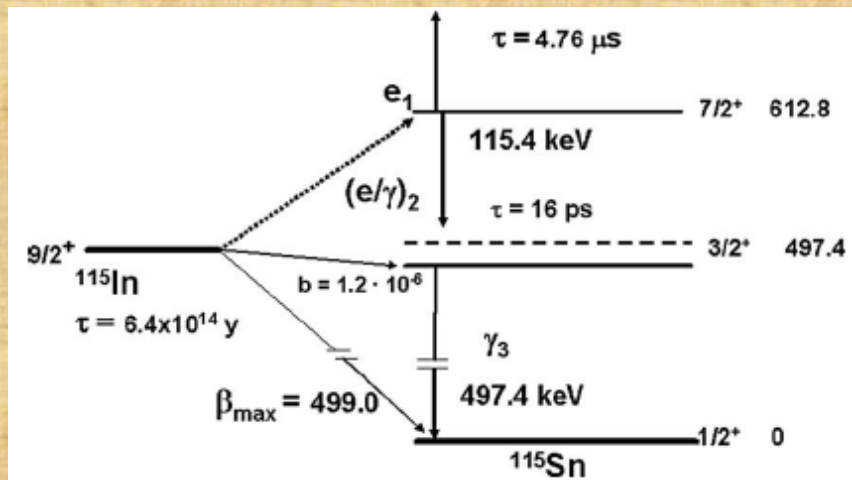


- mixing angle θ_{12} is not well determined compared with θ_{23} obtained by Atm. ν .
- Survival probability could increase at 5MeV or less in case of LMA solution, and the value of probability depends on θ_{12} .

pp/⁷Be solar neutrino spectrum gives us precise θ_{12}

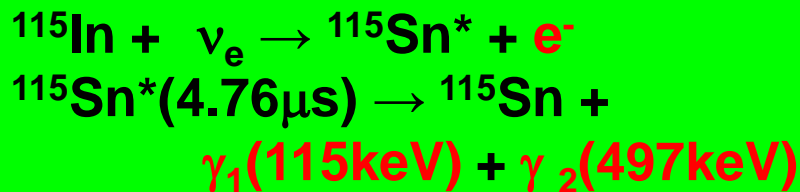
Capture of low energy solar neutrinos by ^{115}In

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



Nuclear Physics A 748 (2005) 333-347

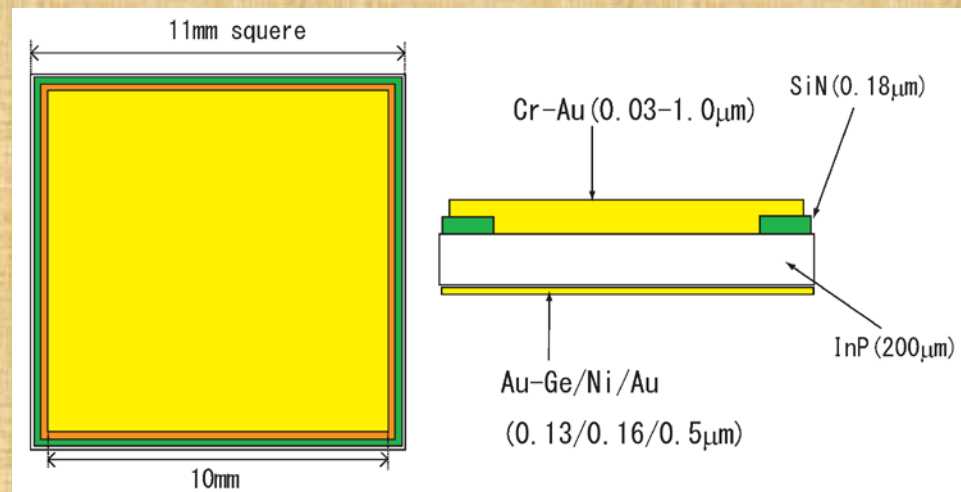
- Advantage
 - large cross section ($\sim 640\text{SNU}$)
 - direct counting for solar neutrinos
 - sensitive to low energy region ($E_\nu \geq 125\text{keV}$)
 - energy measurement ($E_e = E_\nu - 125\text{keV}$)
 - triple fold coincidence to extract neutrino signal from huge BG ($e_1 + \gamma_2 + \gamma_3$)
- Disadvantage
 - natural β -decay of ^{115}In ($\tau_{1/2} = 4.4 \times 10^{14} \text{ yr}$, $E_e \geq 498\text{keV}$)
 - possible BG due to correlated coincidence by **radiative Bremsstrahlung**



Requirement for the detector

1. Good energy resolution : 10%(FWHM)
2. Fine segmentation (10^4 – 10^5)
3. High efficiency γ detection

半絶縁性InP半導体検出器



真空容器にマウントされた検出器

- 住友電気工業製 VCZ製法による半絶縁性 InP 検出器
- ドライアイス冷却(-79 °C)
- 放射線源によるガンマ線を照射

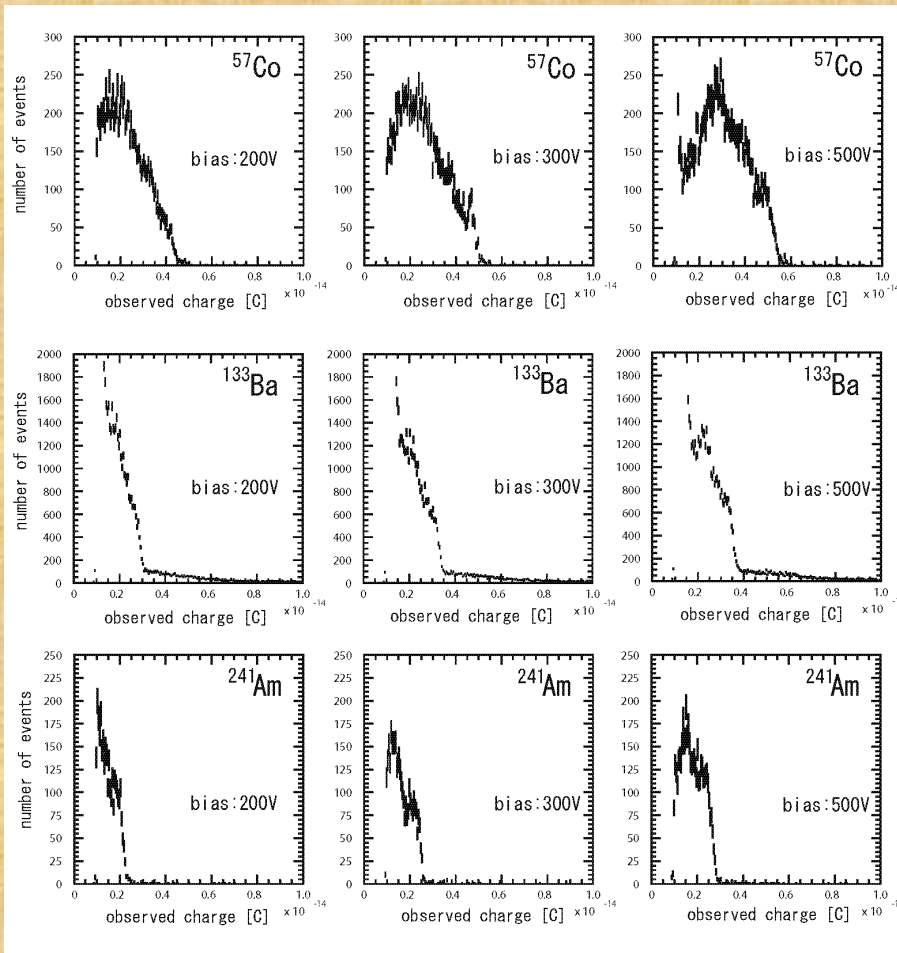
Surface size:

10mm × 10mm × 0.2mm
(6mm × 6mm × 0.2/0.23/0.28/0.45mm)

Electrode :

- Ohmic contact
- evaporated Au base metal
- Insulator (SiN) to avoid leak current

InP 検出器によるガンマ線スペクトル観測



- 光電ピークを観測しているが、2ピーク構造となっている
- Low Q peak: キャリアがドリフトすることによる誘導電荷
- High Q peak: 全電荷収集
- 電子・ホール平均生成エネルギー: 3.5eV
- エネルギー分解能: $25\% @ 122\text{keV}$ (本質的には3%)

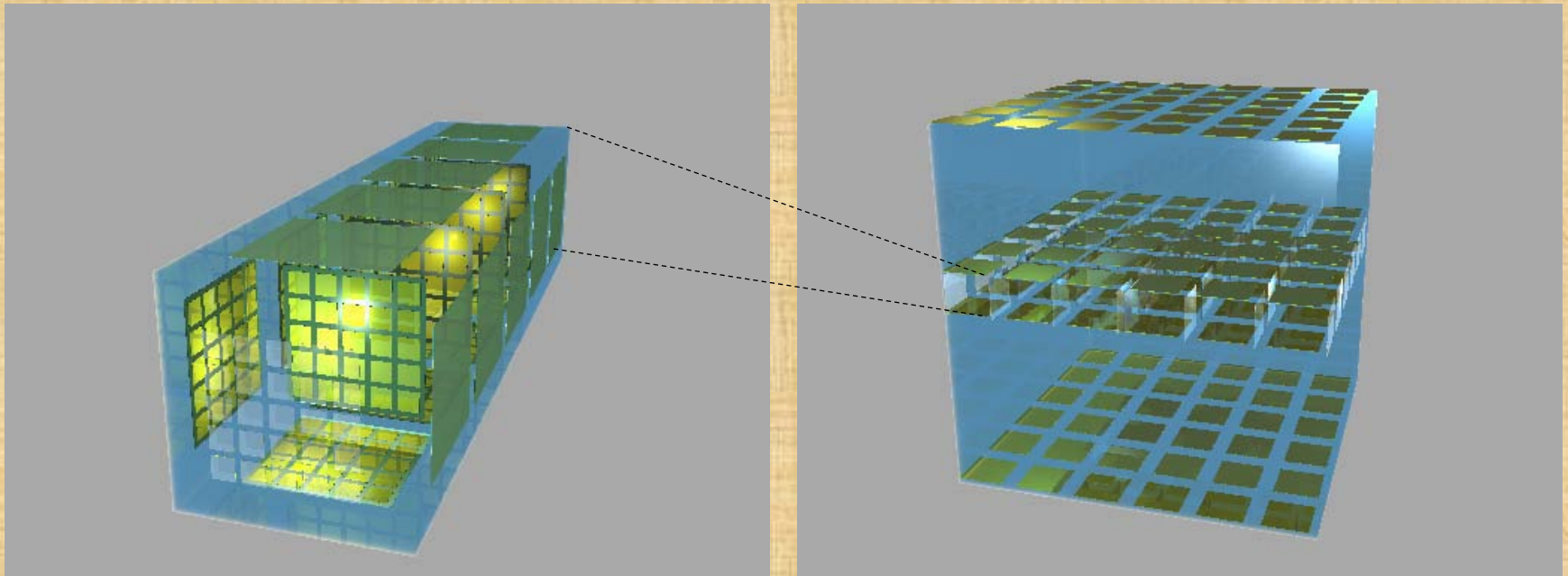
今年度の研究開発状況

- 薄膜電極型InP検出器の開発
- シンチレーション光の観測実験
- メッシュ電極型InP検出器の設計
- 液体キセノンによるシンチレーション光測定用真空チェンバーの製作

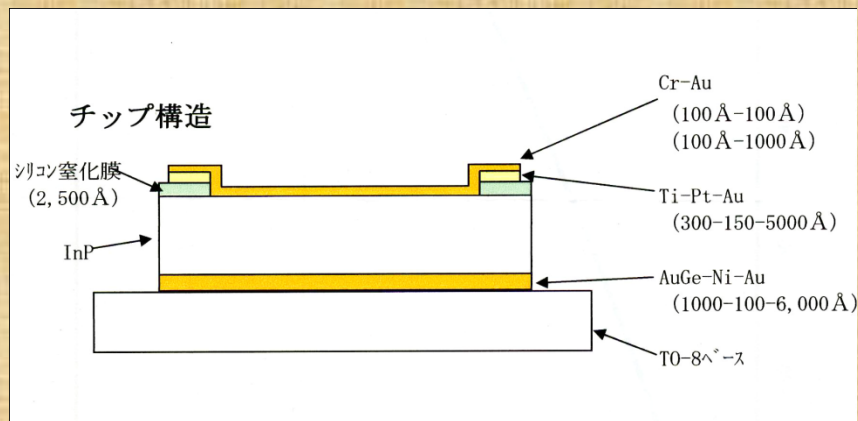
New concept for IPNOS phase-I experiment

InP multi-pixel detector inside of Liquid Xenon.

30cm cubic chamber (like XMASS 100kg prototype) includes ~10kg InP detector

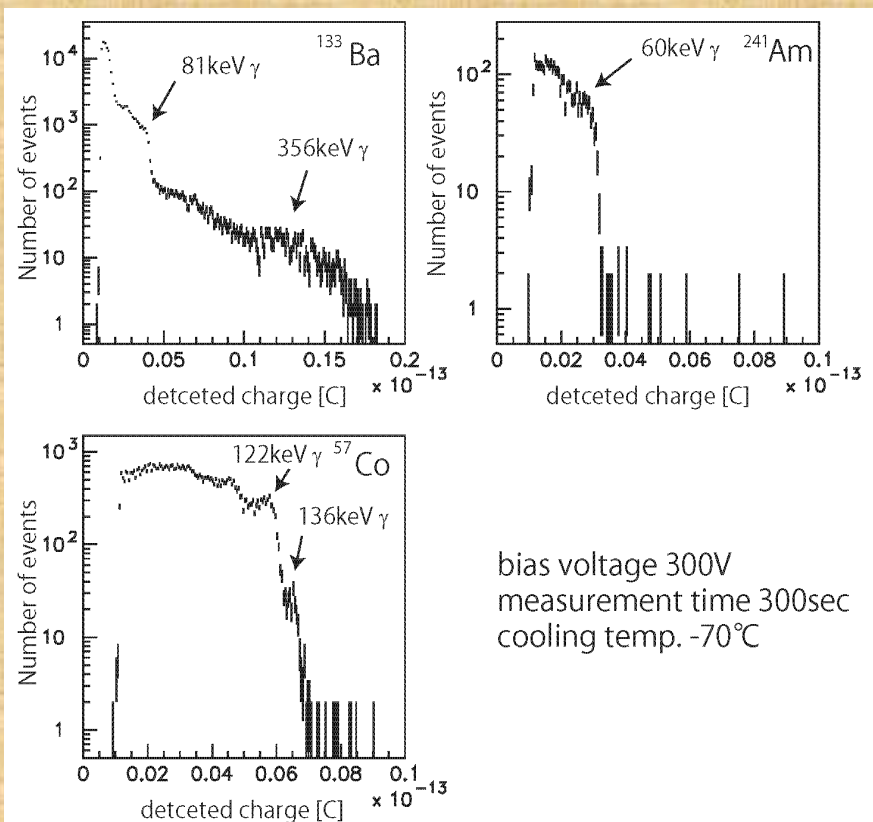


薄膜電極型InP検出器の開発

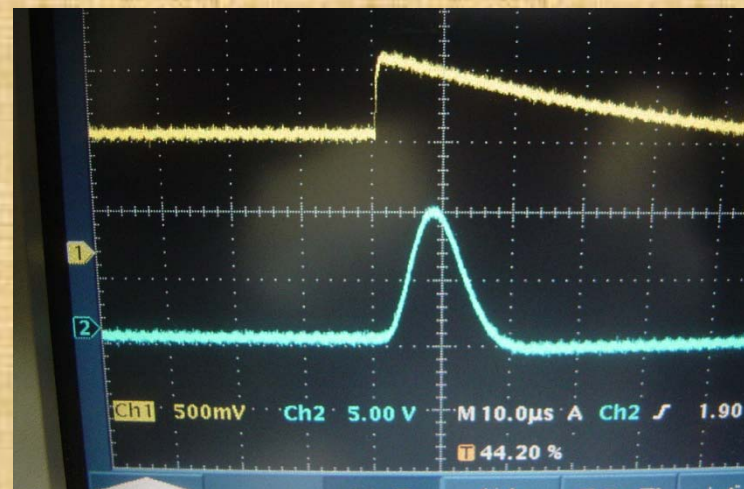


- 液体キセノンのシンチレーション光の減衰を抑える必要がある
- Au/Crの電極の厚みを100 Å (10nm)/1000 Å (100nm)の検出器を開発

薄膜電極型InP検出器による放射線測定

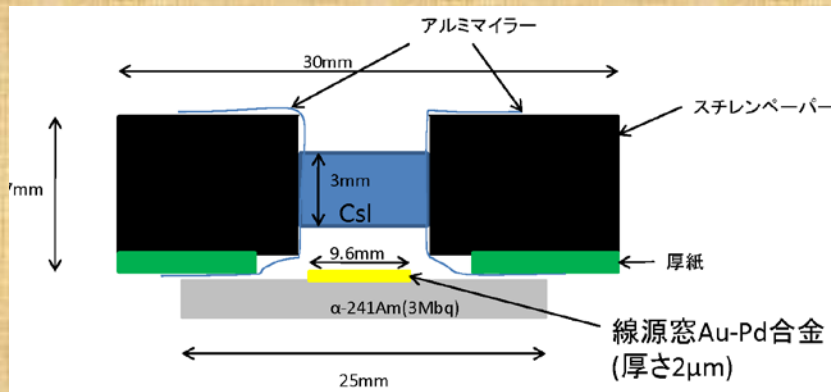
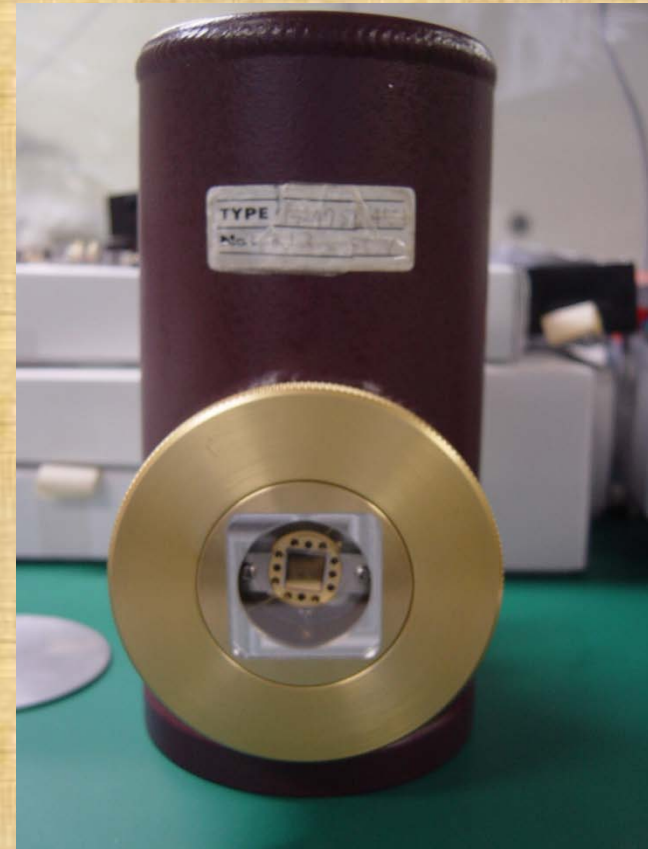


- ガンマ線によるスペクトルは、従来の検出器と変わらない。
- 青色発光ダイオードの光に、応答している。



薄膜電極型InP検出器によるシンチレーション光測定

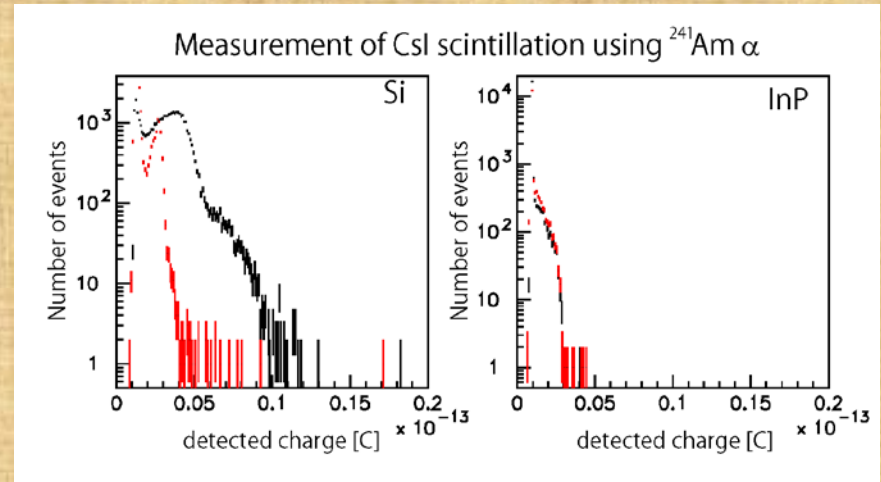
- CsIシンチレータ
- ^{241}Am の α 線によるシンチレーション光
~40,000photon



薄膜電極型InP検出器によるシンチレーション光測定

■ Siダイオード

~40,000photon ×
0.8(量子効率) ×
 $1.6 \times 10^{-19} \text{C} = 5.0 \text{ fC}$



■ InP detector

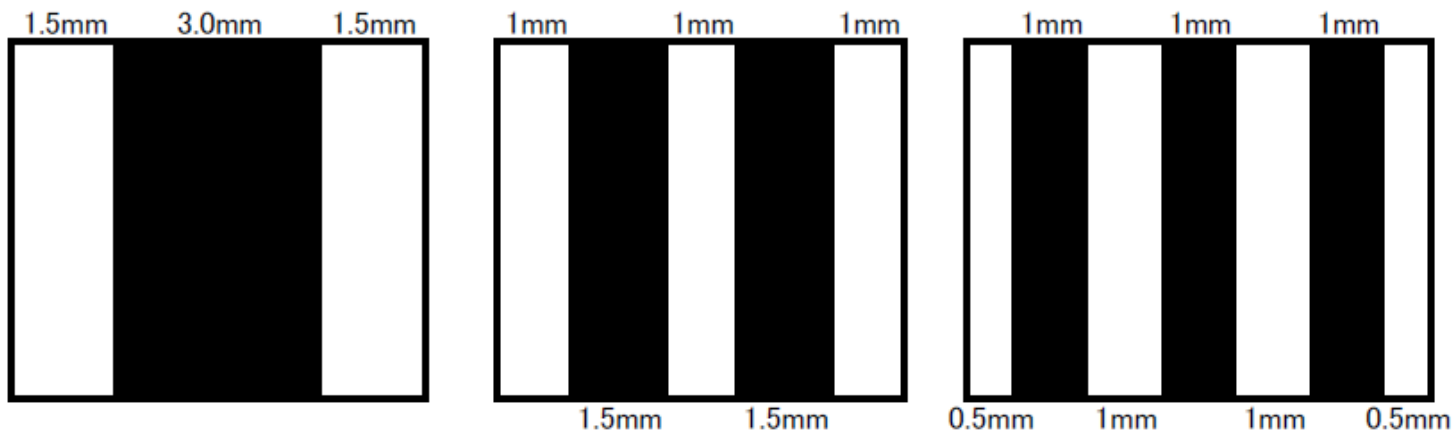
~ 40,000 photon × 0.2 (立体角) × 0.2 (電極の透過率) × $1.6 \times 10^{-19} \text{C} = 0.25 \text{ fC}$

ノイズに隠れている

メッシュ電極型InP検出器の設計

面積 : 6mm × 6mm
厚さ : 0.2mm、0.3mm
電極(表) : Cr 100 Å Au 100 Å
電極(裏) : AnGe 1000 Å Ni 100 Å Au 6000 Å

メッシュ電極パターン 開口率 50%



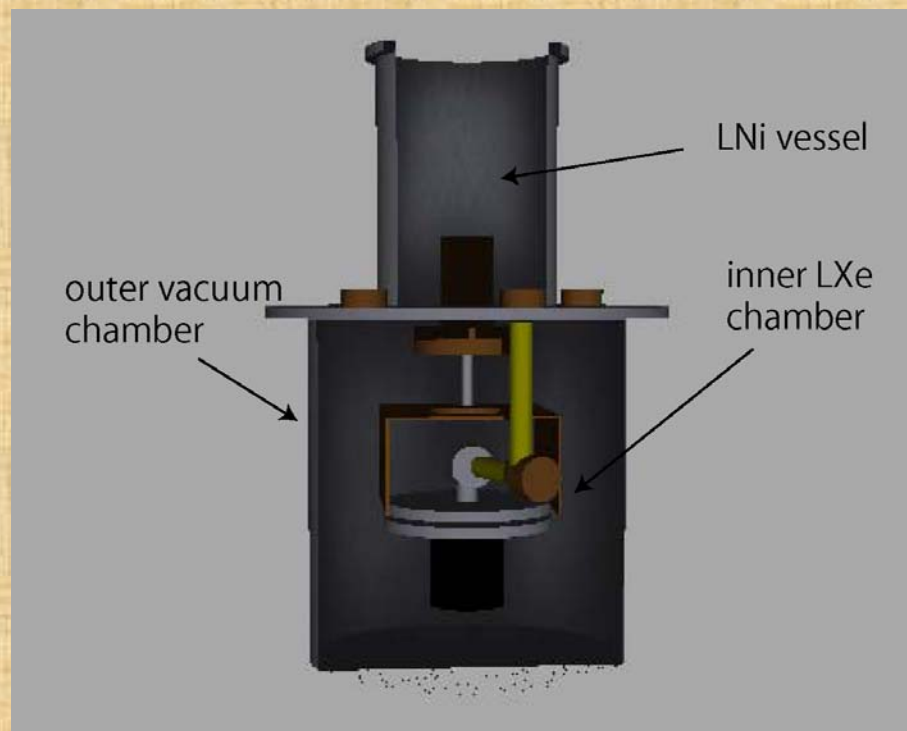
メッシュ電極型InP検出器の開発(浜松ホトニクス制作中)

- 6mm × 6mm × 200 μmの検出器
- 1月中旬に完成
- 放射線応答性試験
- CsIシンチレーション光の観測
- エキシマランプの計測@神岡



液体キセノンによるシンチレーション光測定用真空チェンバーの製作

- 24ccの液体キセノンのシンチレーション
- 4台のInP検出器を液体キセノンに浸ける(冷却と集光効率)
- 光電子増倍管による同時計測



今年度中に真空・冷却試験を行う

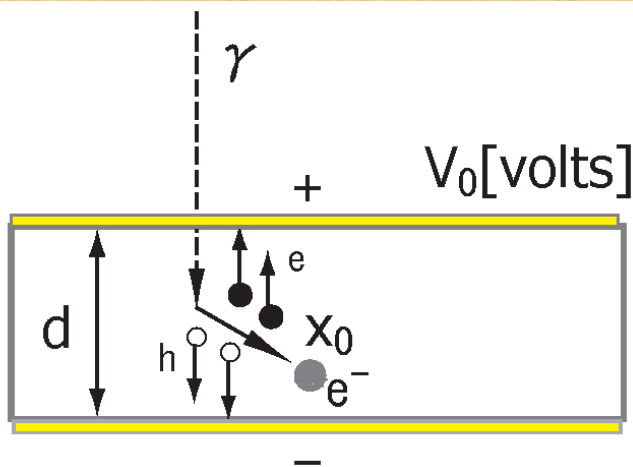
まとめ

- 薄膜電極型InP検出器
 - ガンマ線による応答性は従来同様
 - 青色ダイオードの発光を観測
 - 241Am α 線のCsIシンチレーション光は観測できなかった
- メッシュ電極型InP検出器
 - ガンマ線による応答性、シンチレーション光測定を1月に行う予定
- 液体キセノンのシンチレーション光観測実験にむけた準備
 - 液体キセノンチェンバーの設計・製作



BACKUP

電荷収集の原理



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]

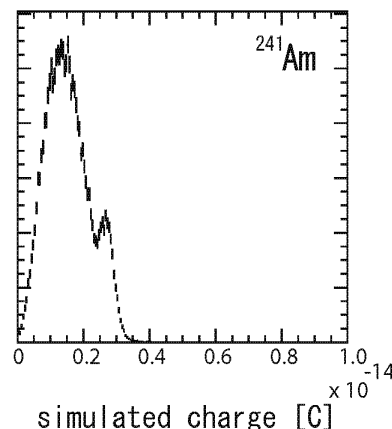
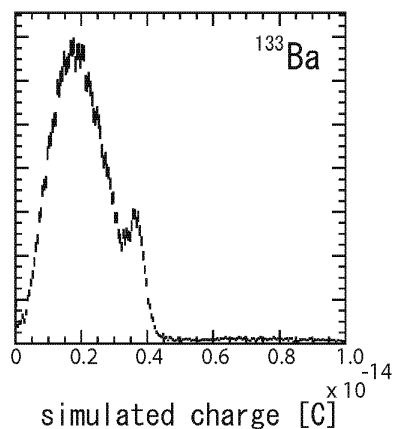
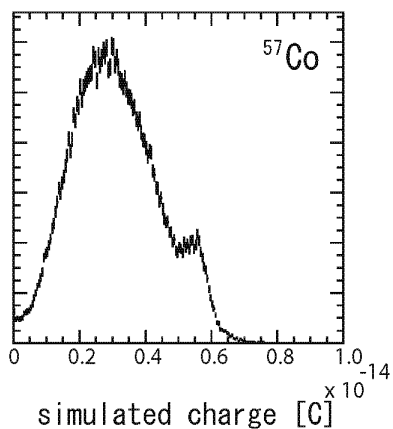
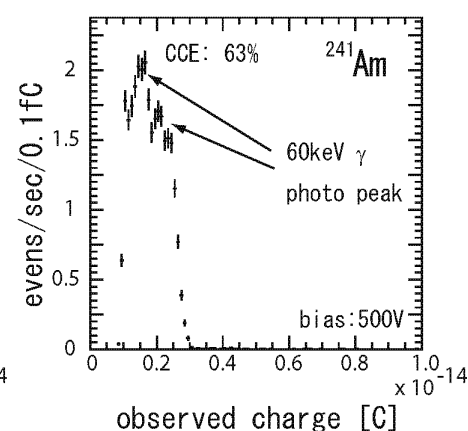
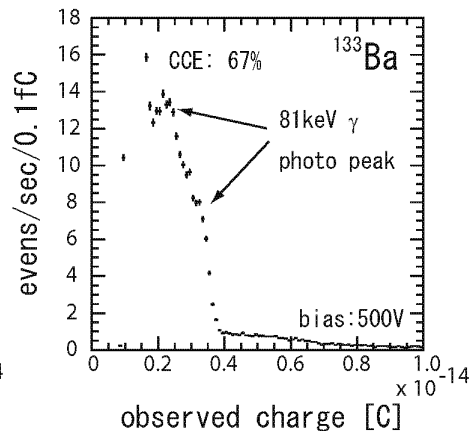
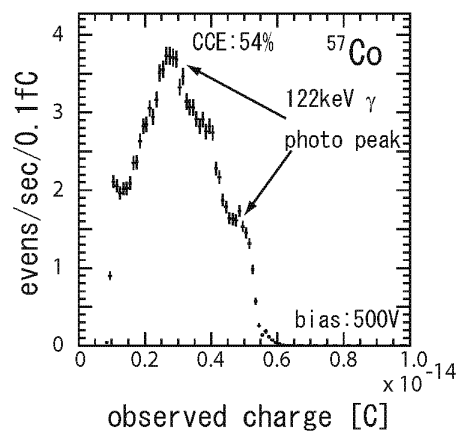
■ 誘導電荷 : $dQ = q dx/d$

■ Hecht formula,

$$Q = Q_0 \left\{ \left(\frac{L_e}{d} \right) \left(1 - e^{-\frac{x}{L_e}} \right) + \left(\frac{L_h}{d} \right) \left(1 - e^{-\frac{(d-x)}{L_h}} \right) \right\}$$

■ 全電荷収集 ($L_e + L_h \sim d$) $Q = Q_0$

シミュレーションによるスペクトル形状の再現



- 電子のドリフト長 $L_e \sim 200\mu\text{m}$ とホール半導体のドリフト長 $L_h \sim 30\mu\text{m}$ を仮定すると、2ピーク構造がシミュレーションによる再現