

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XIII

日本物理学会 2011年秋季大会

弘前大学文京町キャンパス

2011年9月16日

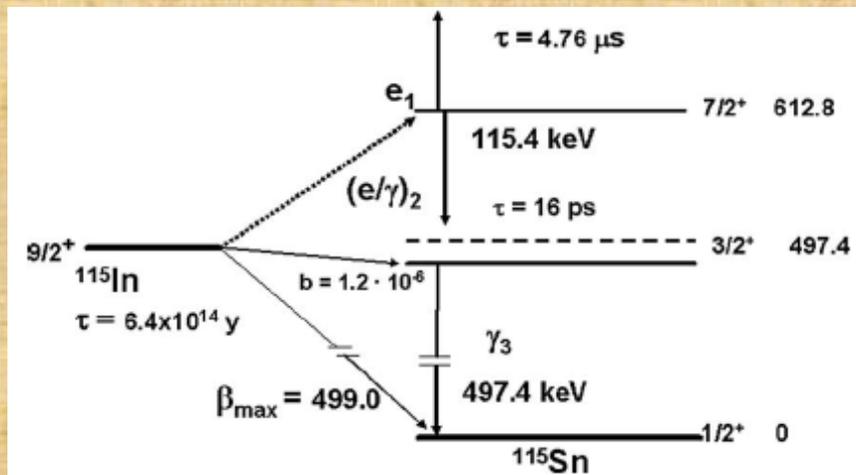
宮城教育大学 福田善之 東大宇宙線研 森山茂栄、関谷洋之

東京大学素粒子センター 難波俊雄

浜松ホトニクス固体事業部 井澤利之、朝倉雅之

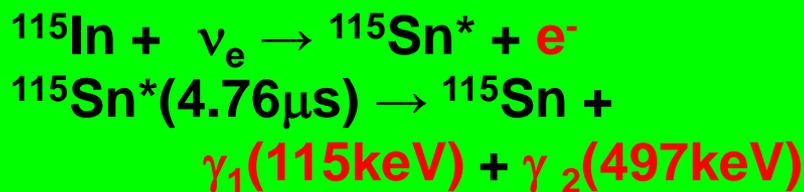
Capture of low energy solar neutrinos by ^{115}In

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



Nuclear Physics A 748 (2005) 333-347

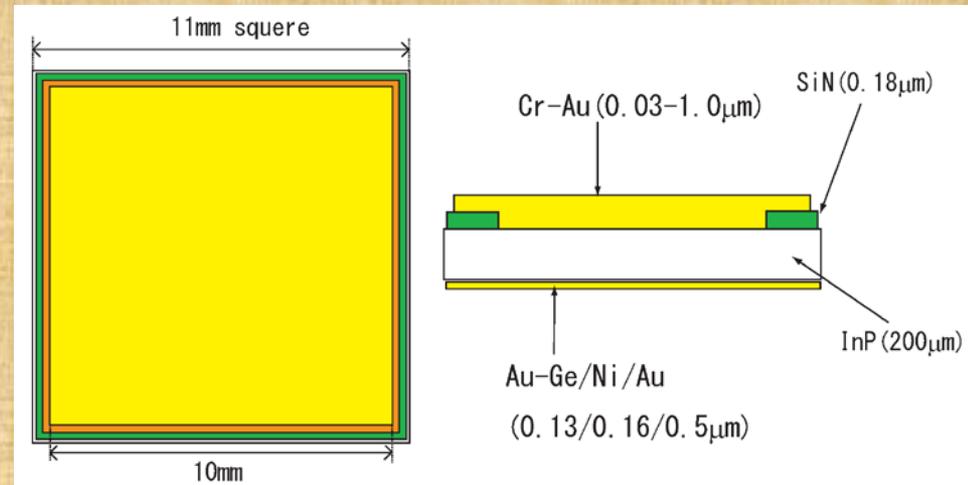
- Advantage
 - large cross section ($\sim 640\text{SNU}$)
 - direct counting for solar neutrinos
 - sensitive to low energy region ($E_\nu \geq 125\text{keV}$)
 - energy measurement ($E_e = E_\nu - 125\text{keV}$)
 - triple fold coincidence to extract neutrino signal from huge BG ($e_1 + \gamma_2 + \gamma_3$)
- 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法・VB法による半絶縁性 InP 半導体基板
- 浜松ホトニクス制作
- ドライアイス冷却(-79 °C)

Surface size:

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

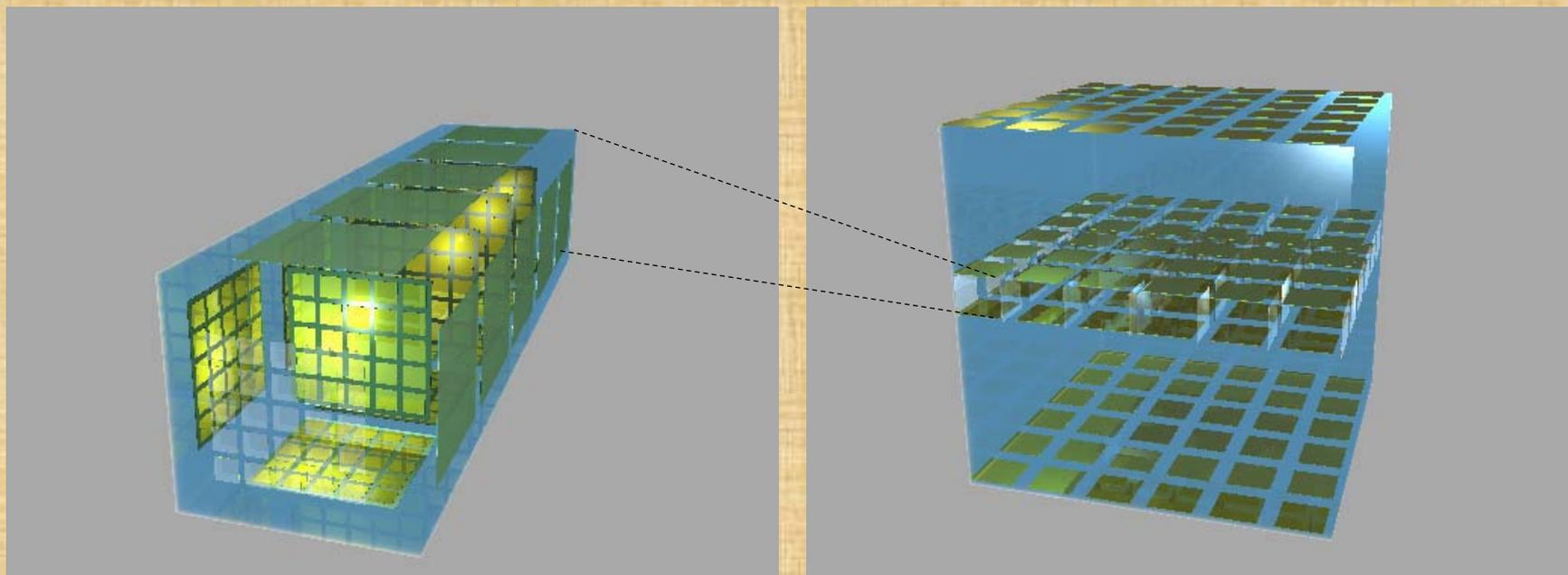
Electrode :

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

IPNOS phase-I experiment with Liquid Xenon

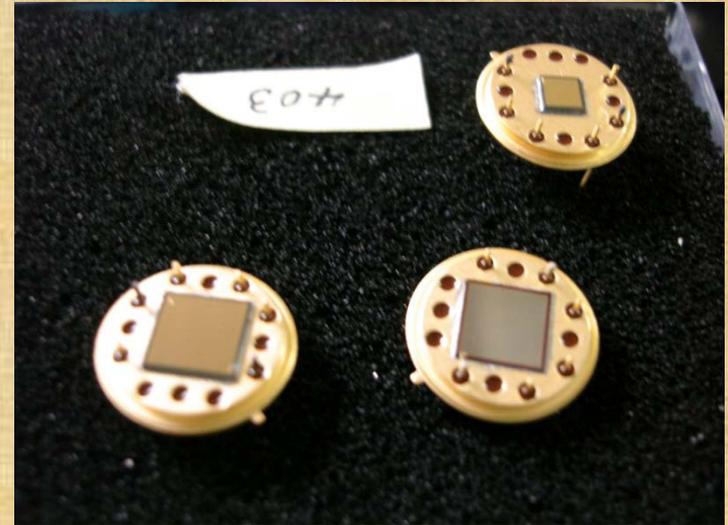
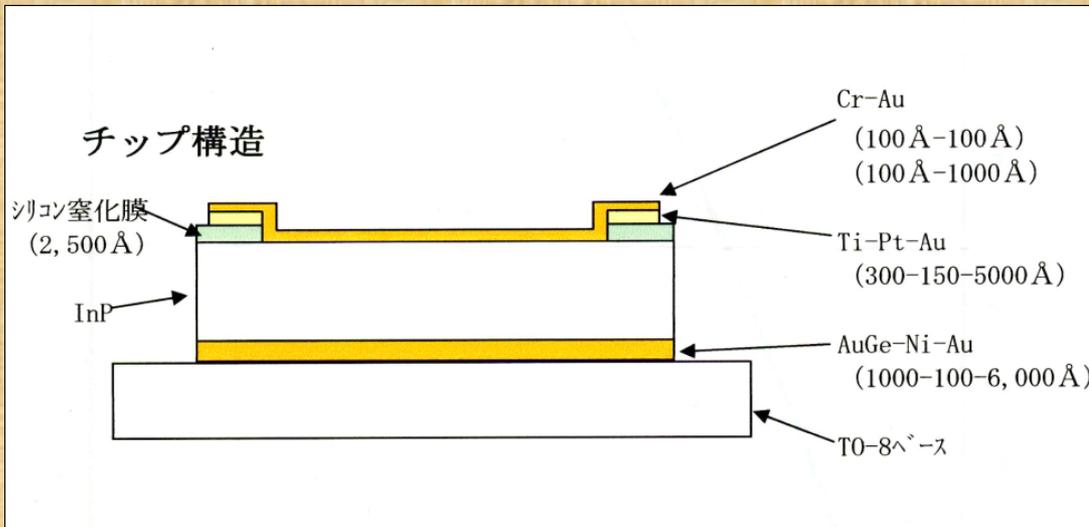
InP multi-pixel detector inside of Liquid Xenon.

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



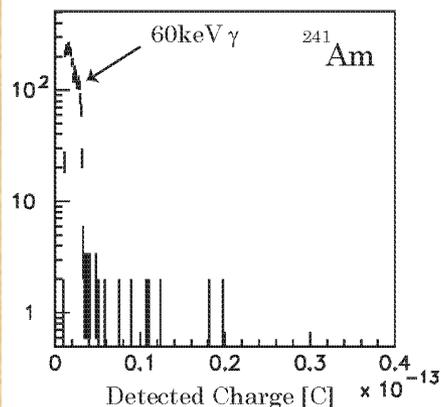
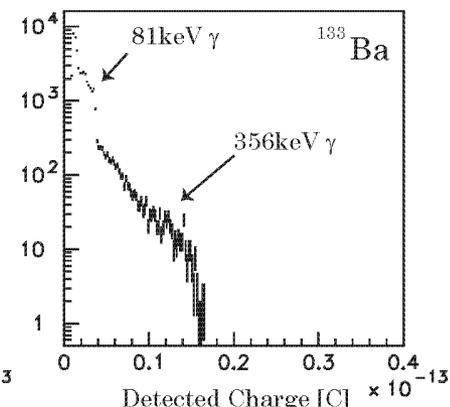
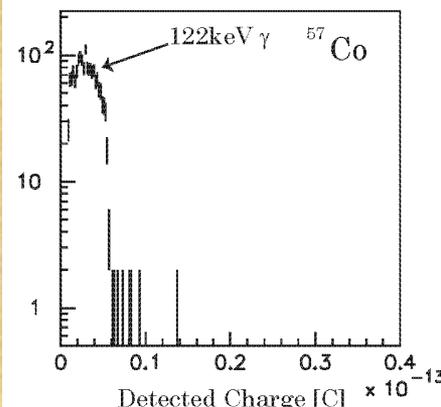
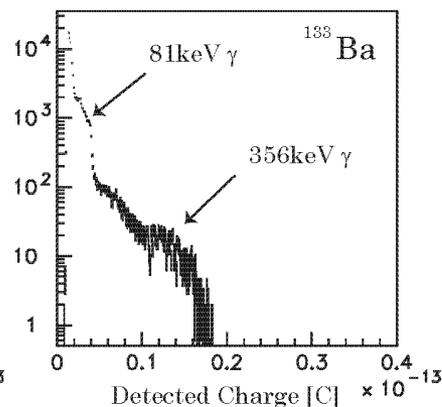
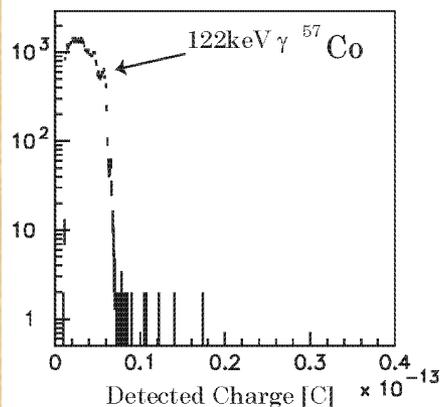
液体キセノンのシンチレーション光も観測

薄膜電極型InP検出器の開発



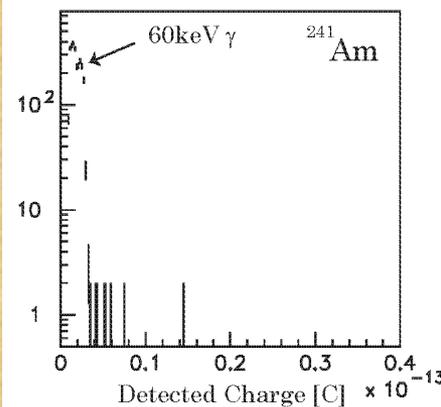
- 液体キセノンのシンチレーション光の減衰を抑える必要がある
- Au/Crの電極の厚みを100 Å (10nm)/1000 Å (100nm)の検出器を開発

薄膜電極型InP検出器による放射線測定



bias voltage : 300V
cooling temperature : -79°C

100 Å 電極



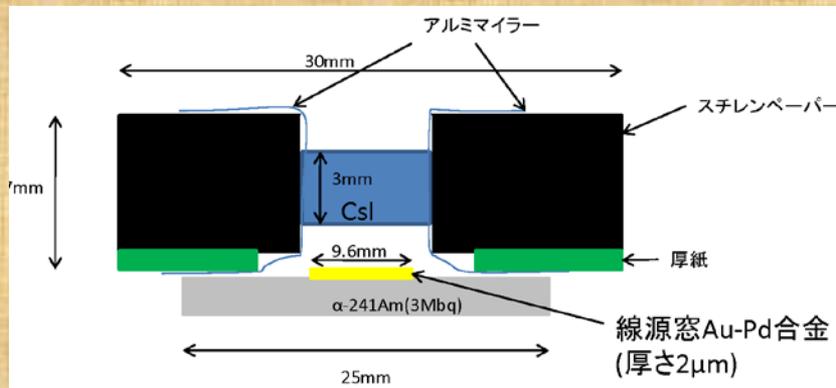
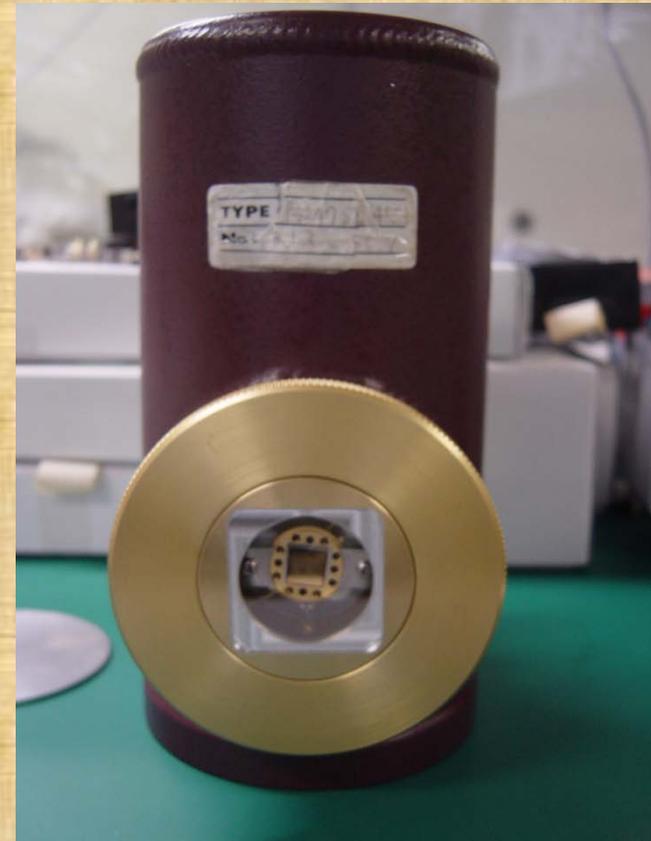
bias voltage : 400V
cooling temperature : -79°C

通常電極

ガンマ線によるスペクトル測定では、従来の性能と変わらない

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
22000photon/MeV



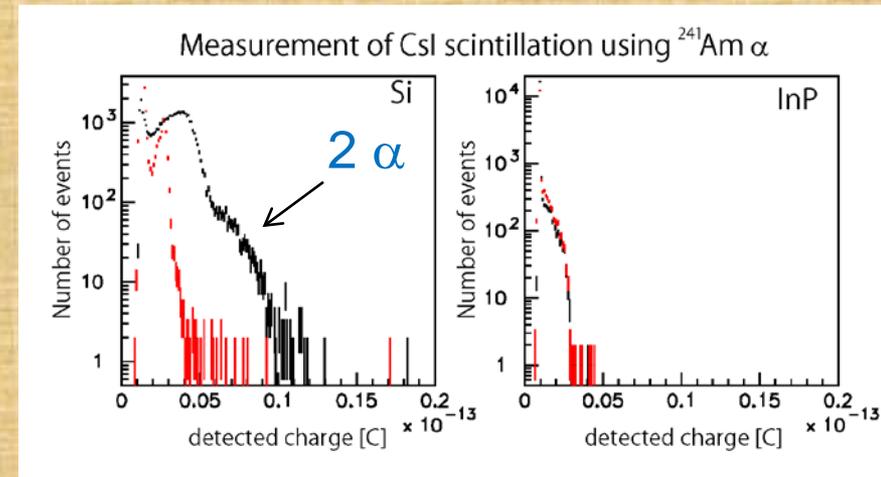
薄膜電極型InP検出器によるシンチレーション光測定(1)

■ Siダイオード

22000photon/MeV × 4MeV
× 0.4 (立体角) × 0.8(量子効率)
× $1.6 \times 10^{-19} \text{C} = 4.5 \text{ fC}$

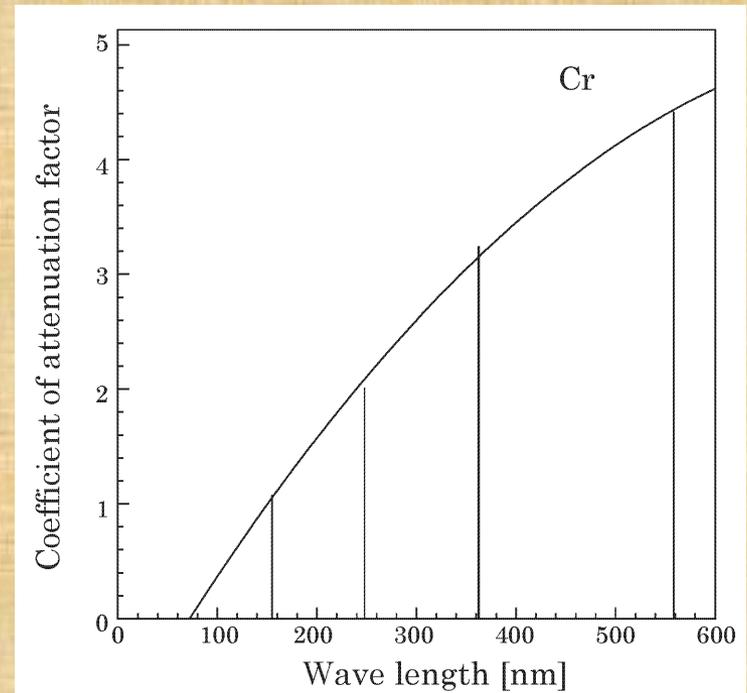
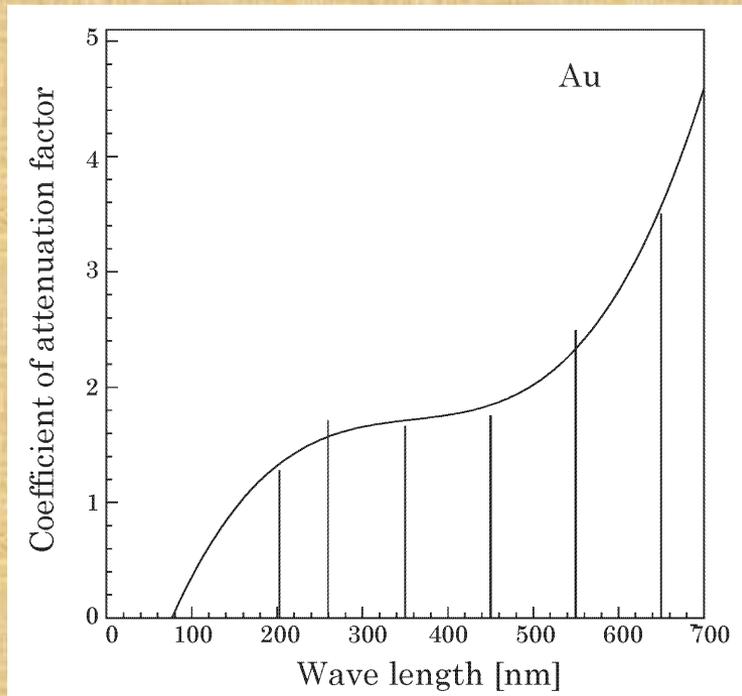
■ InP detector

22000photon/MeV × 4MeV × 0.25(立体角) × 0.8(量子効率)
× 0.85(ガラスの透過率) × Auの透過率 × Crの透過率
× $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$



ノイズに隠れている

Au/Cr電極の透過率



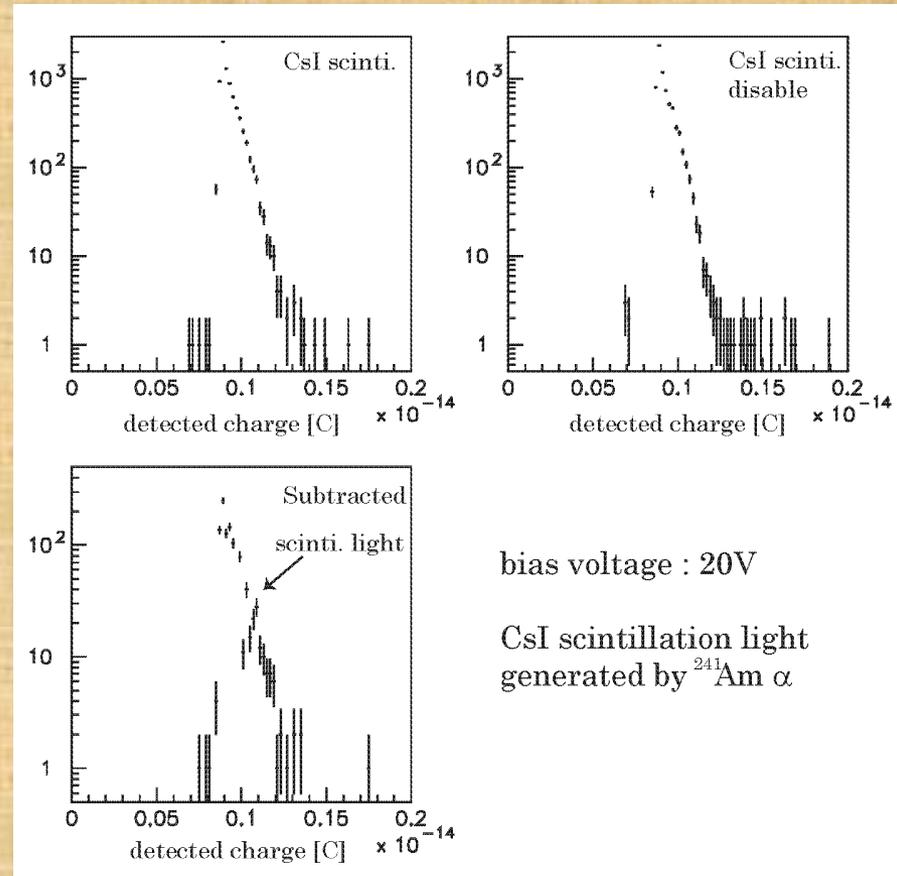
$$\tau = \exp(-ax) \quad t : \text{透過率} \quad x : \text{透過長} \quad a : \text{吸収係数}$$
$$a = 4\pi k / \lambda \quad \tau_{\text{Au}} = 0.57 \quad \tau_{\text{Cr}} = 0.36$$

薄膜電極型InP検出器によるシンチレーション光測定(2)

- 予想電荷量: 0.5fC
- 暗電流によるノイズを抑えるため、バイアス電圧を300Vから20Vに低減

CsIのシンチレーション光はクリアに見えない

50 Å 電極検出器が必要



VB基板によるInP検出器の性能評価(1)

■ Vertical Bridge法によるInP検出器

□ 比抵抗が大きい

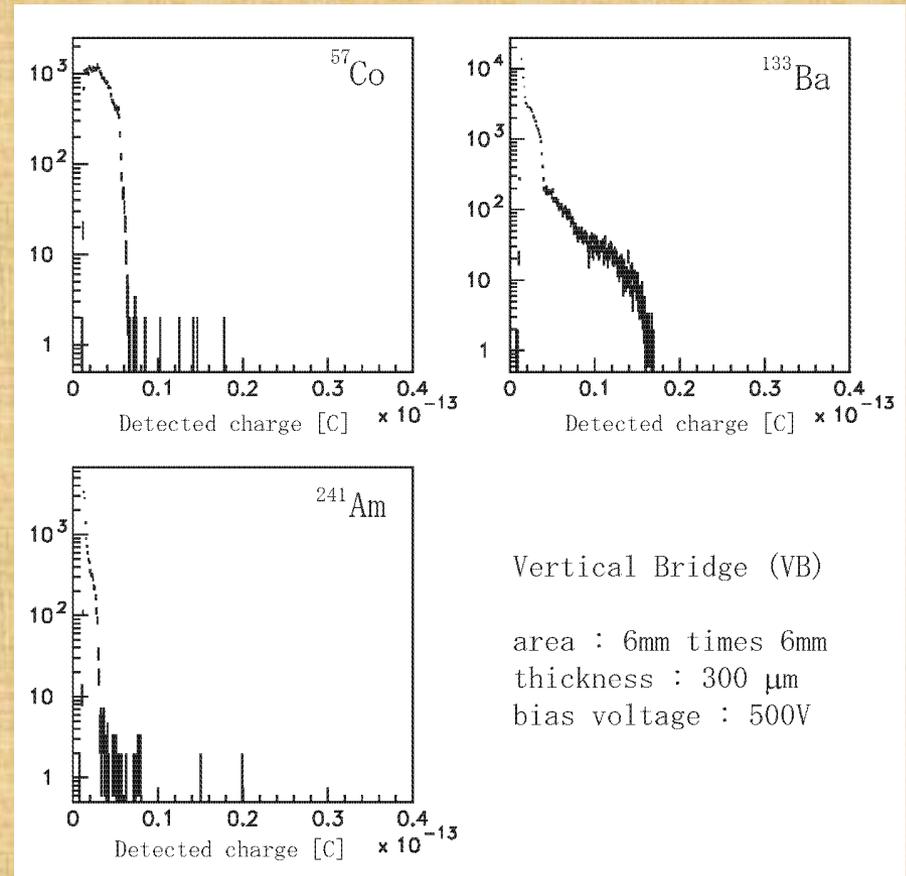
($4.5e7\Omega\text{cm} \rightarrow 6.4e7\Omega\text{cm}$)

暗電流が小さくなり、ノイズが減少

□ EPDが小さい

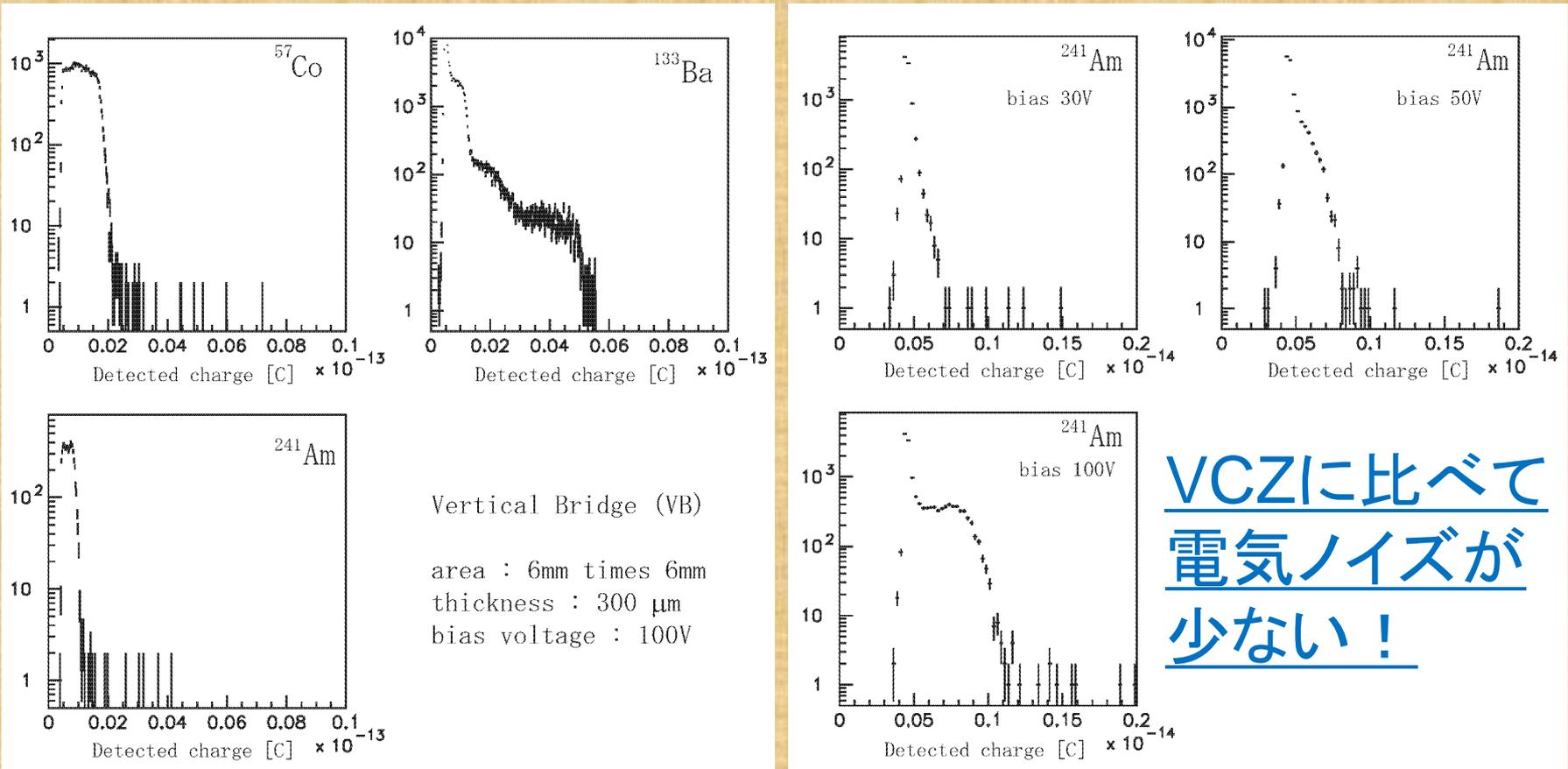
($5000\text{cm}^{-2} \rightarrow 1500\text{cm}^{-2}$)

ドリフト長が長くなり、分解能が改善



VCZと同性能の分布

VB基板によるInP検出器の性能評価(2)

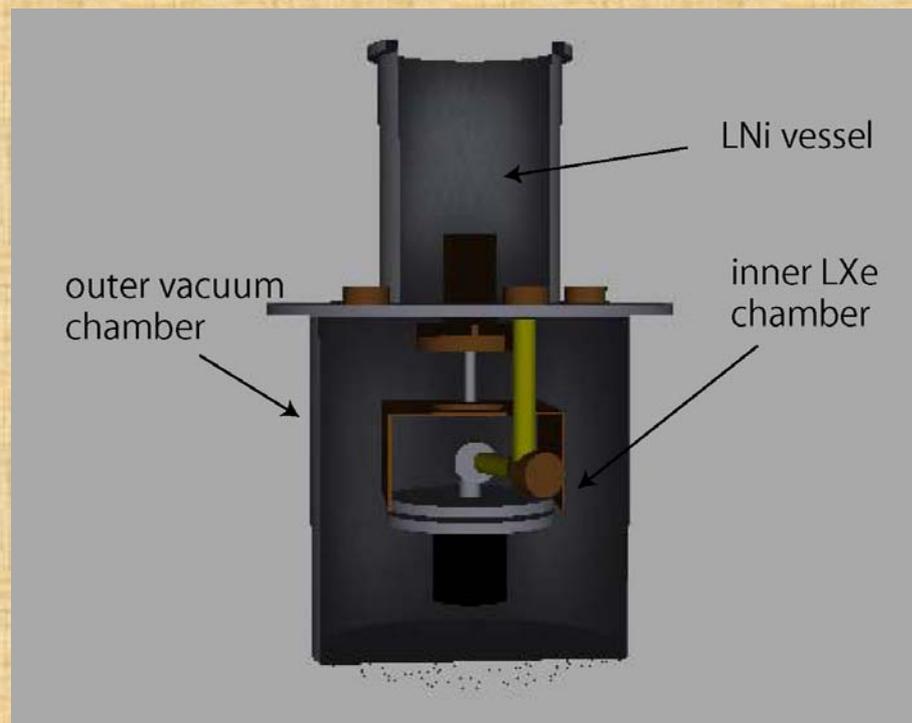


100Vでもピークを観測
 (分解能改善)

シンチレーション光の観測が
 可能

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(冷却とシンチレーション光集光)
- 光電子増倍管による同時計測



液体キセノンチェンバーの冷却試験



結果

■ 薄膜電極型InP検出器を開発

- ✓ ガンマ線による応答性は従来同様
- ✓ ^{241}Am 5.4 MeV α 線によるCsIシンチレーション光を測定したが、明確な信号は得られなかった
- ✓ LXeシンチレーション光を観測するためには、50 Å 電極が必要  浜松ホトニクス制作中

■ VB法によるInP検出器を試作

- ✓ 高バイアス電圧では、VCZと同程度の性能
- ✓ 低バイアス電圧でも高分解能で信号が確認
- ✓ 低ノイズによるシンチレーション光測定

■ 液体キセノンのシンチレーション光観測実験

- ✓ 液体キセノンチェンバー製作・冷却試験中