

多重コンプトン γ 線カメラにむけた シリコンストリップ検出器(SSD)の開発

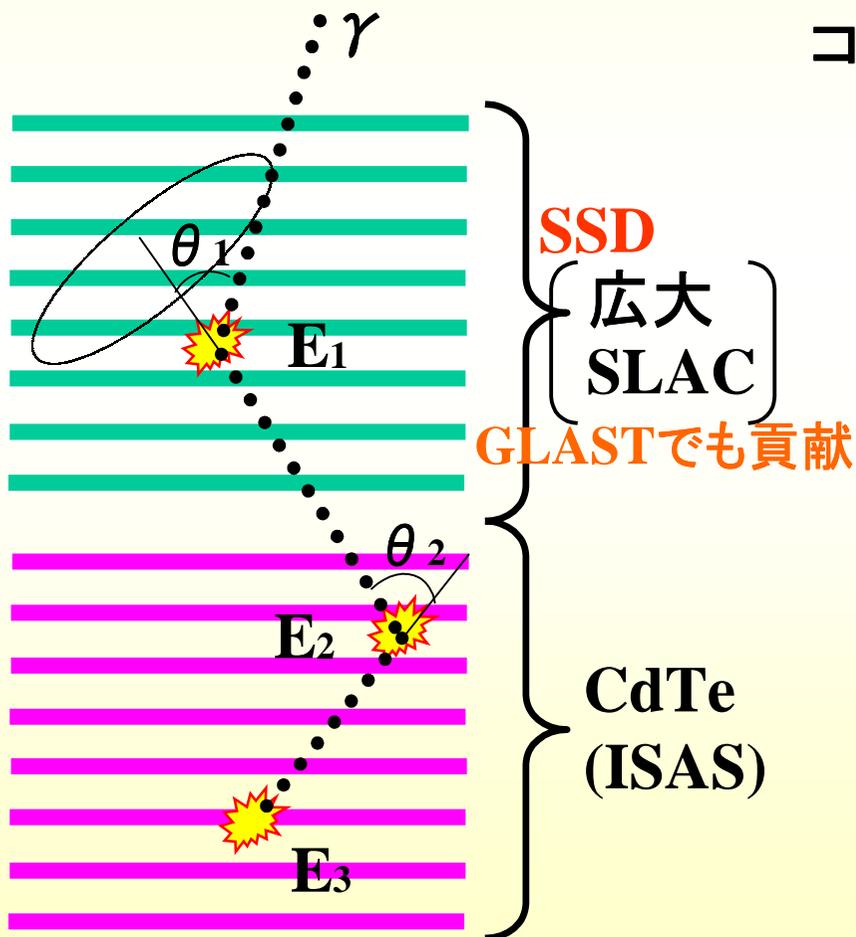
宇野進吾、中本達也、深沢泰司（広大理）
田島宏康、釜江常好（SLAC）
三谷烈史、高橋忠幸（ISAS）

1.コンプトン γ 線カメラとは

・80keV～数MeVがsensitivity gap

・高エネルギー天体の非熱的放射

・ ^{57}Co (122keV)、 ^7Be (478keV)、 ^{56}Co (847keV)、511keV



コンプトン散乱の運動学

$$\cos \theta_1 = 1 + \frac{m_e c^2}{E_1 + E_2 + E_3} - \frac{m_e c^2}{E_2 + E_3}$$
$$\cos \theta_2 = 1 + \frac{m_e c^2}{E_2 + E_3} - \frac{m_e c^2}{E_3}$$

→到来方向の決定

バックグラウンドの効率的除去

COMPTEL : 2層シンチレータ

コンプトンカメラ : 多層半導体

→ sensitivityの向上

コンプトン γ 線カメラの目標

角分解能 ~ 30 分

2.なぜSSDを用いるか？

- ・エネルギー分解能、位置分解能が良い
- ・低エネルギー側で散乱効率が良い
- ・速い時間分解能 ～ 数10 nsec
- ・安定性、耐放射線
- ・CCDはセルフトリガーできない

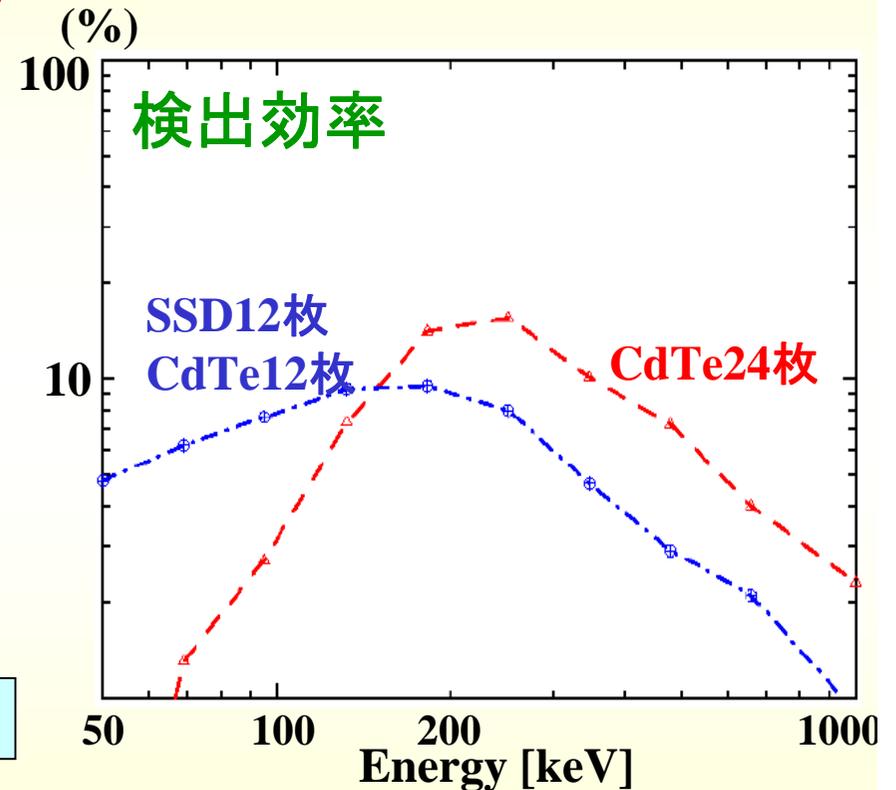
SSDに求められる性能

- ・狙うエネルギー領域(数百keV)
- ・位置分解能
- ・次の散乱までに進む距離

→ $\Delta E \sim 1\text{keV}$ のSSDの開発

MEGA(\sim 数keV)より高性能

読み出し系：VA32TA(DC coupled , 0.5 keV@0pF)を使用

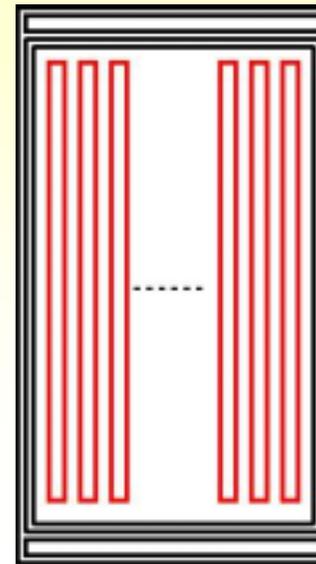


3.低ノイズ両面SSDの開発と評価

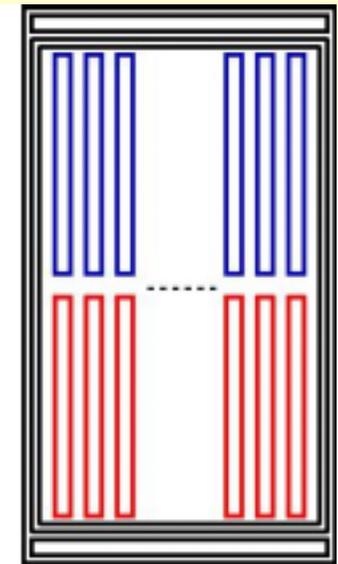
3.1 片面SSDの評価

片面SSD : 通常のSSD

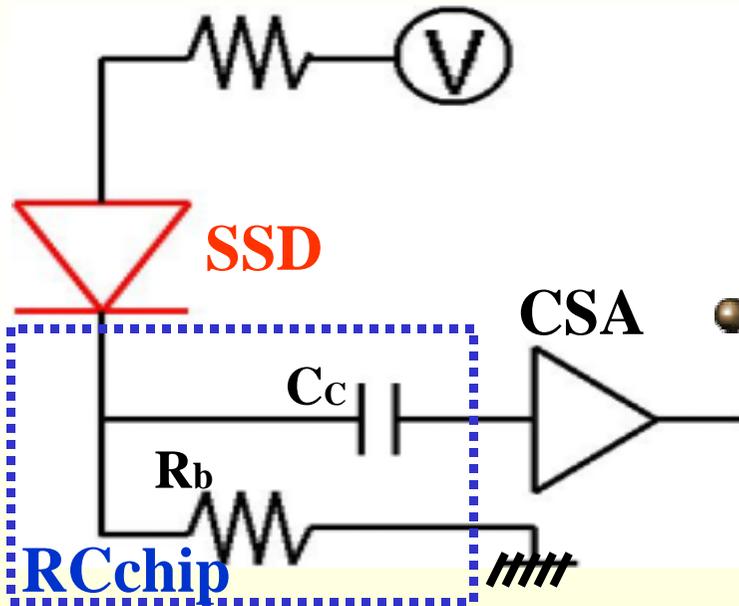
2等分片面SSD : stripを垂直2等分
→ C_{body} 、 $C_{interstrip}$ を半減



片面SSD



2等分片面SSD



● **Single channel**での読み出し

(CP580K : AC coupled、0.9keV@0pF)

片面SSD : $\Delta E = 1.2 \text{ keV}$

2等分片面SSD : $\Delta E = 1.0 \text{ keV}$

(0°C、RCchipなし)

SSD、CP580Kから予想される
値とほぼ一致

歩留まり向上

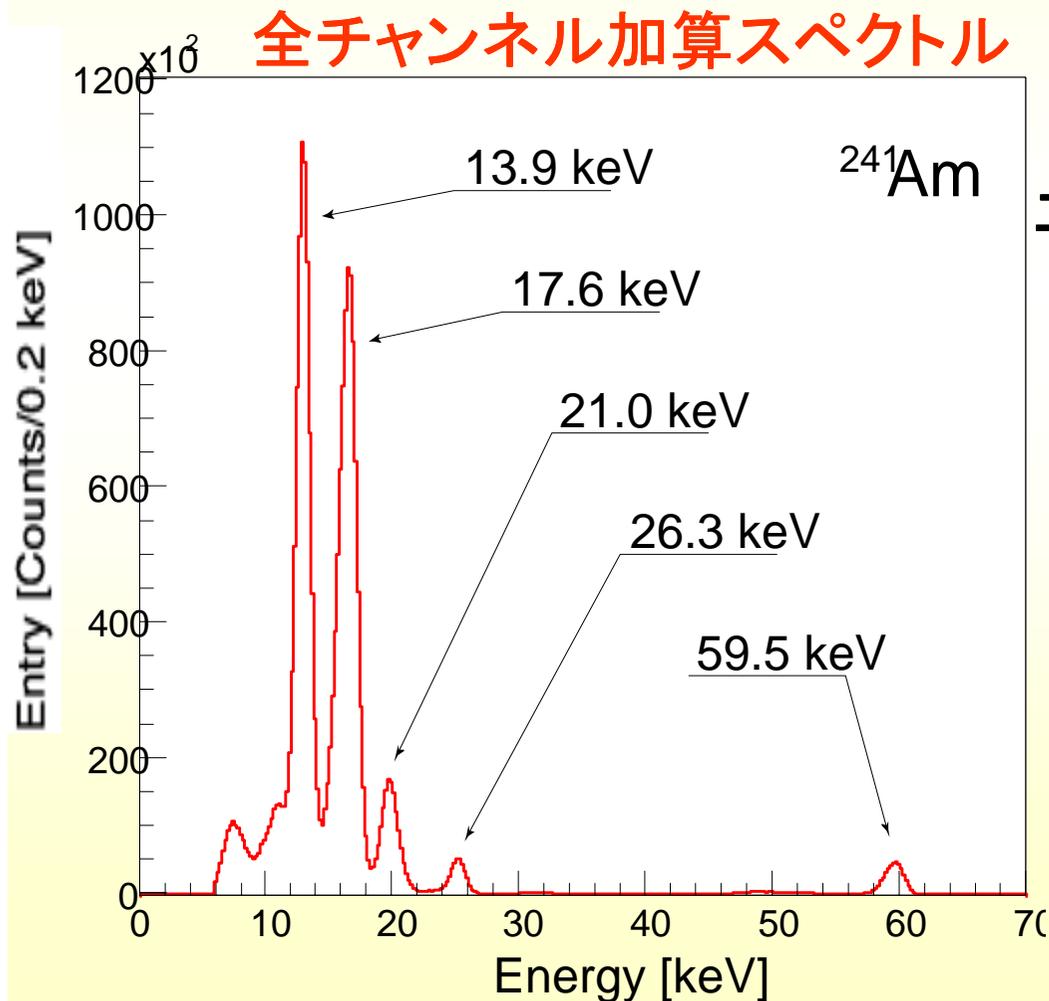
大きいバイアス抵抗

直流成分(リーク電流)の流れ込みを防ぐ

●Multi channelでの読み出し(VA32TA)

片面SSD + VA32TA
32チャンネル同時計測

厚さ	300 μ m
ストリップ間隔	400 μ m
ストリップ幅	300 μ m
ストリップ長	2.56 cm



エネルギー分解能(FWHM)

$\Delta E = 1.3 \text{ keV}$ (0°C、RCなし)

$\Delta E = 1.8 \text{ keV}$ (0°C、RCあり)

複数チャンネル同時計測では
他に報告例なし

→ **World record??**

SSD、VA32TAの性能から
予想される値に近い

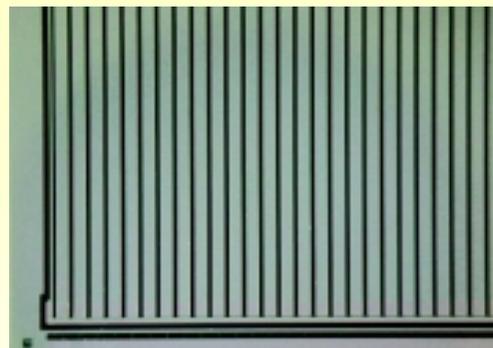
3.2 両面SSDの評価

両面SSD、2等分両面SSD

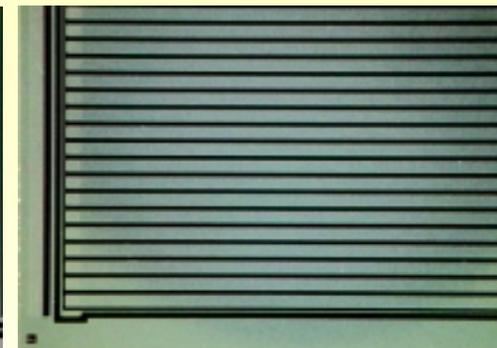
両面SSDの基礎特性

$C_{\text{body}} - V$ 曲線

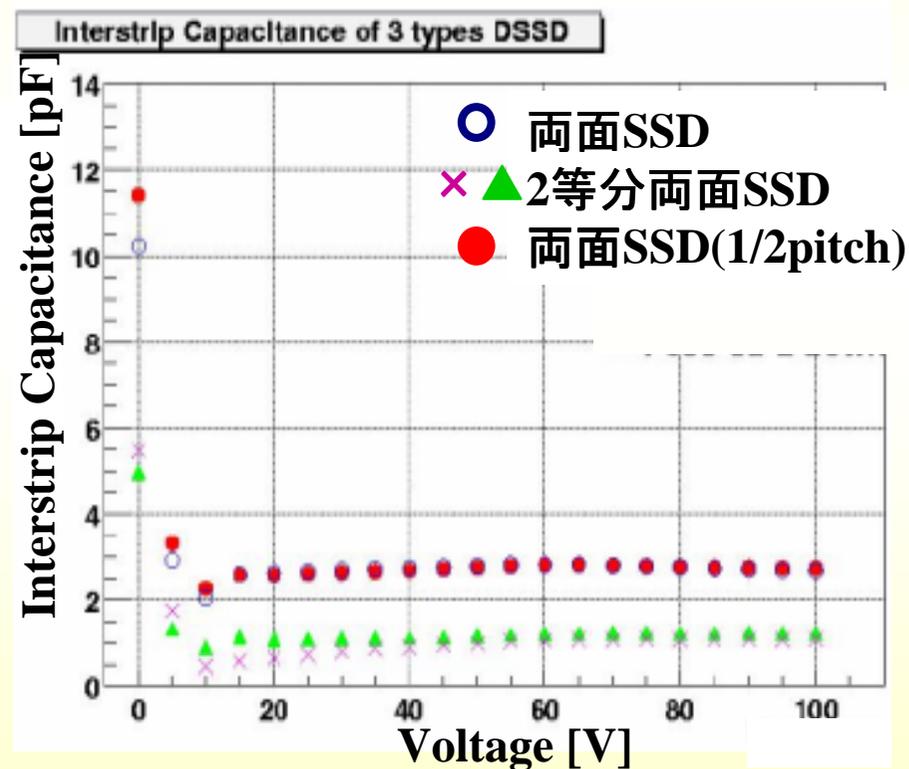
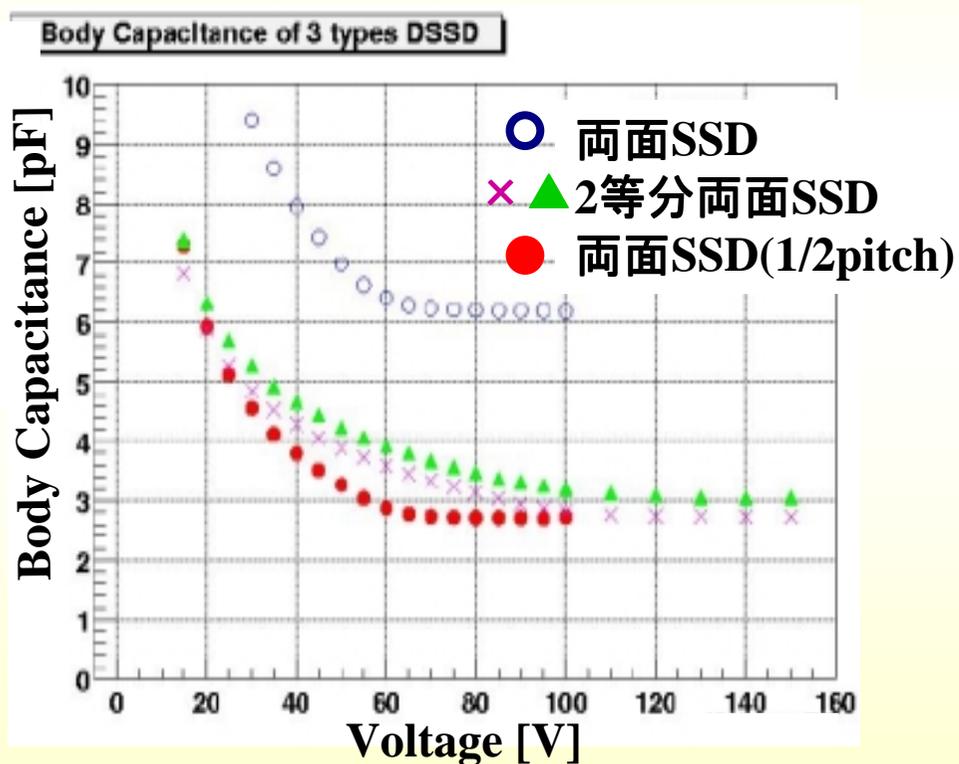
$C_{\text{interstrip}}(p+) - V$ 曲線



Junction side (p+)



Ohmic side (n+)



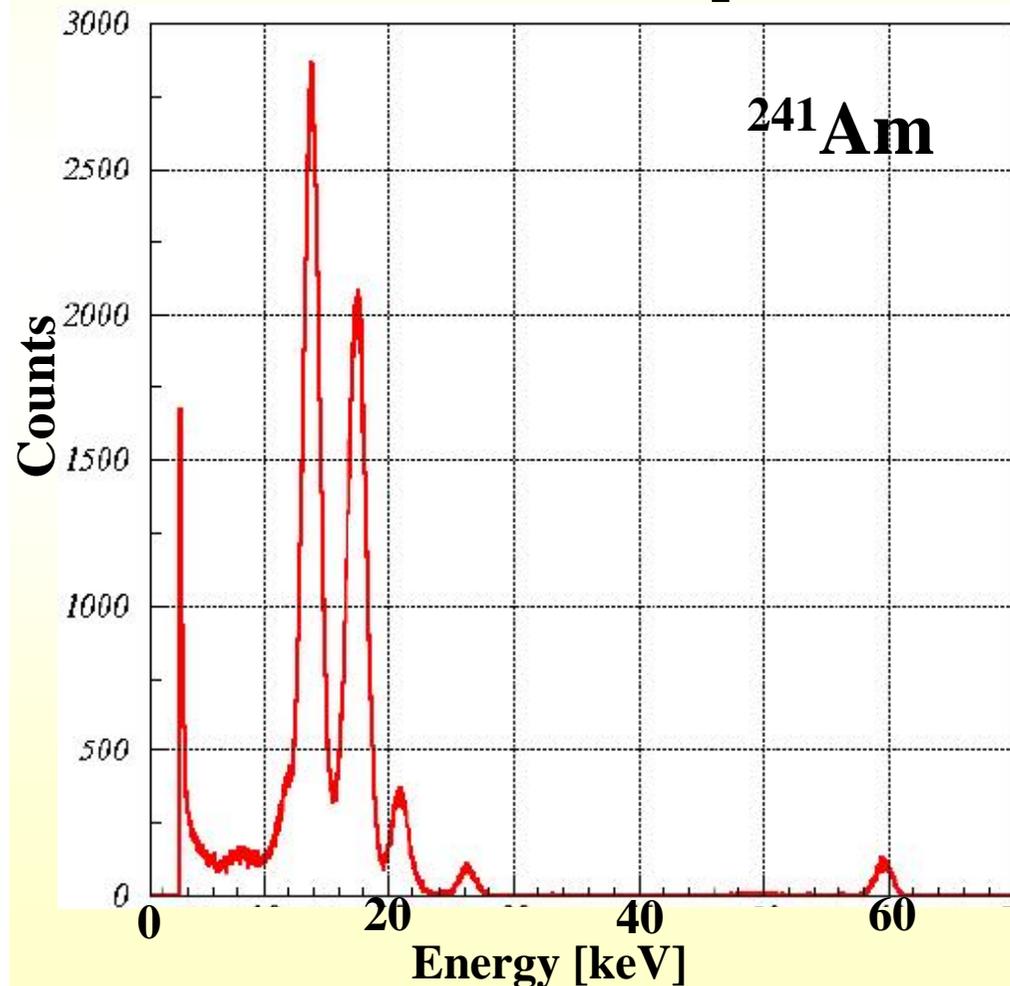
2等分両面SSDは C_{body} 、 $C_{\text{interstrip}}$ が約半分

● Single channelでの読み出し(p+)

両面SSD (1/2 strip pitch)

- C_{body} : ~ 3 pF/strip
- $C_{\text{interstrip}}$: ~ 2.5 pF/strip (p+)
- I_{leak} : ~ 0.5 nA/strip (20°C)

厚さ	300 μm
ストリップ間隔	400 μm
ストリップ幅	300 μm
ストリップ長	2.56 cm



エネルギー分解能(FWHM)

$$\Delta E = 1.5 \text{ keV (0°C、RCなし)}$$

$$\Delta E = 1.9 \text{ keV (0°C、RCあり)}$$

Junction side(p+)

ノイズ源は片面SSDと同じ

CP580Kでの予想値

$$\sim 1.2 \text{ keV}$$

完全にノイズを落とし
1.2 keVを目指す

4.まとめと課題

	$\Delta E(\text{FWHM})$	
	RCchip有り	RCchip無し
片面SSD (single ch 読み出し)	no data	1.0 keV
片面SSD (multi ch 読み出し)	1.8 keV	1.3 keV
両面SSD (single ch 読み出し)	1.9 keV	1.5 keV

目標の $\Delta E \sim 1 \text{ keV}$ を片面SSDでほぼ達成

RCchipを使用すると $\sim +0.5 \text{ keV} \rightarrow$ 改良の余地あり

現状でも**COMPTEL**の性能を上回る

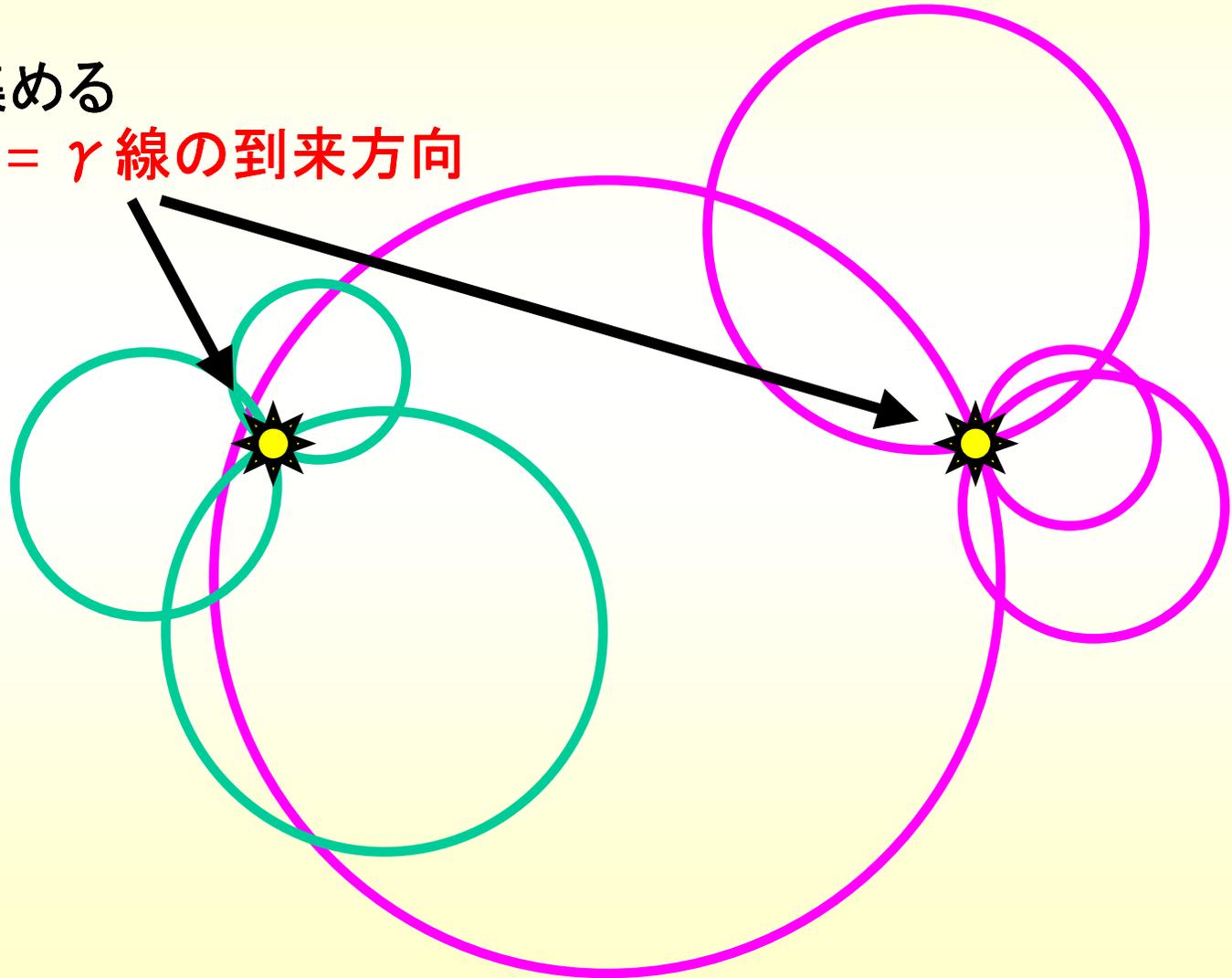
- ・両面SSDの複数チャンネル同時計測
- ・低ノイズ両面SSDの開発 ($\Delta E \leq 1 \text{ keV}$ を目指す)
 - \rightarrow 厚さ: $300 \mu\text{m} \rightarrow 400 \mu\text{m}$ (C_{body} が減る)
- SSDの大面積化
- ・現状の両面SSDでコンプトン γ 線カメラのプロトタイプを製作
 - \rightarrow イメージングテスト、偏光測定

γ 線の到来方向決定法

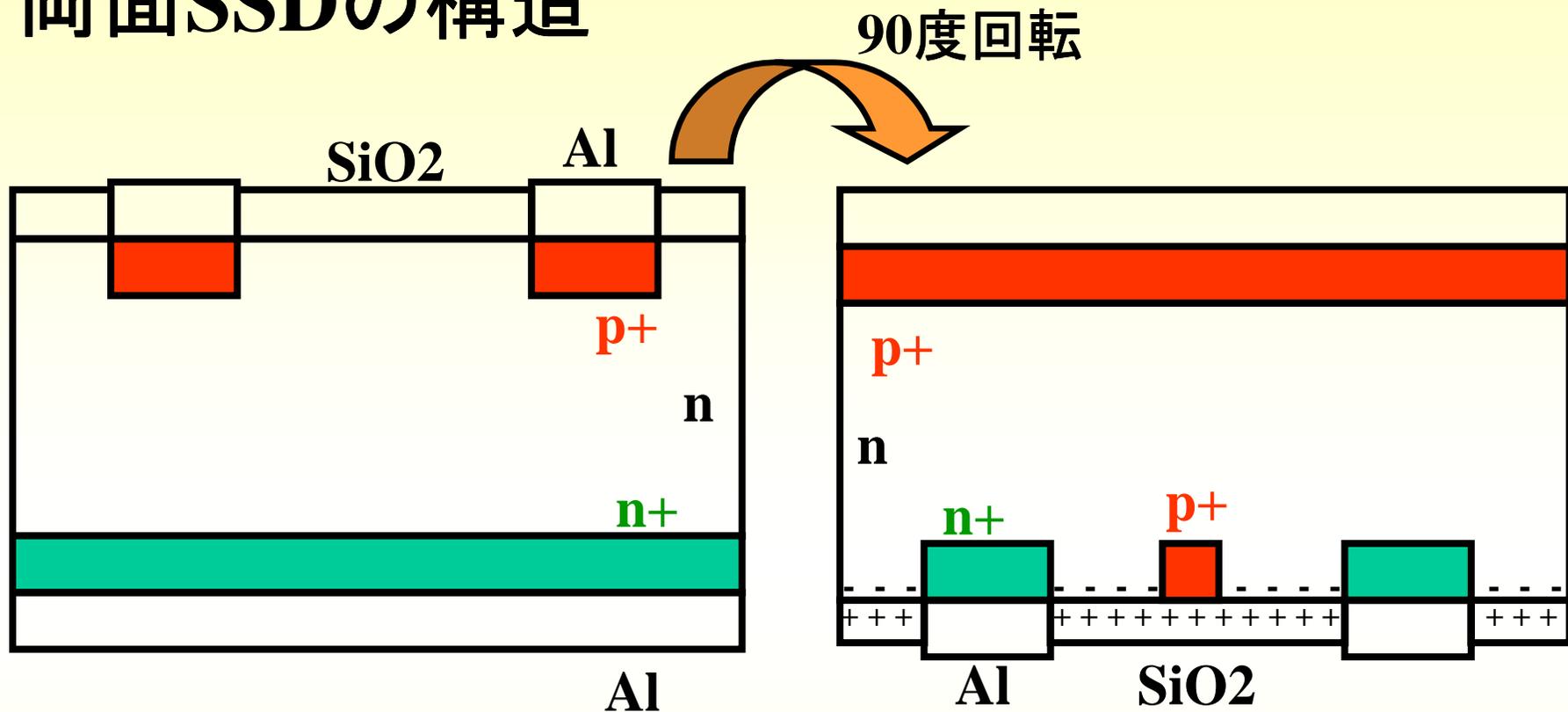
1つの円が1つの γ 線イベントで作られる

複数イベント集める

円の交点 = γ 線の到来方向



両面SSDの構造



SiO₂層に正電荷が溜まる → nバルク側に負電荷

n⁺stripのisolationがたもてない (**accumulation layer**)

→n⁺strip間に細いp⁺stripを入れ、n⁺stripのisolationを高める