

# ガンマ線コンプトンカメラ用 シリコンストリップの開発

澤本直之、中本達也、平澤歩、深沢泰司、大杉節  
(広島大学)

田島宏康 (SLAC)、田中孝明、三谷烈史、渡辺伸、  
中澤知洋、高橋忠幸 (ISAS/JAXA)

大山博史 (広島商船高専)

- 100keV ~ 1MeV

- ガンマ線バースト
- 超新星残骸からの放射 (電波 ~ ガンマ線)
- $^{57}\text{Co}$ (122keV),  $^{56}\text{Ni}$ (158keV, 812keV),  $^{22}\text{Na}$ (511keV, 1275keV) など
- 電子 陽電子対消滅...511keVのライン

しかし、**光子を捕まえにくい** (コンプトン散乱が支配的)

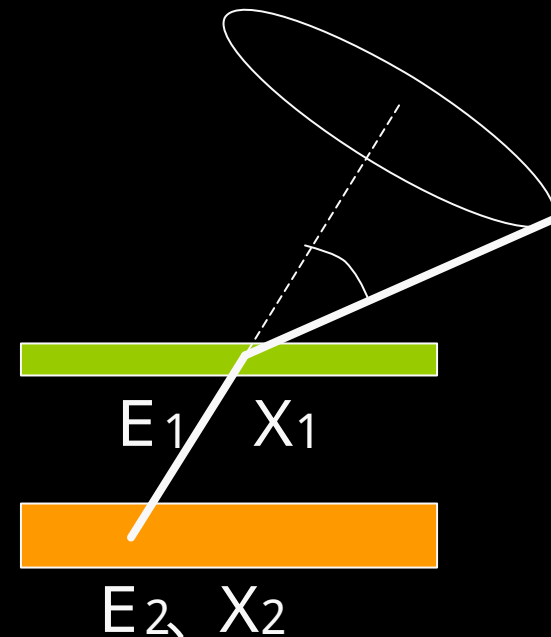
- コンプトンカメラ

- CGRO衛星搭載COMPTELに用いられた
- コンプトン散乱の運動学

$$\cos\theta = 1 - \frac{m_e c^2}{E_1} \left( \frac{E_1}{E_2} - 1 \right)$$

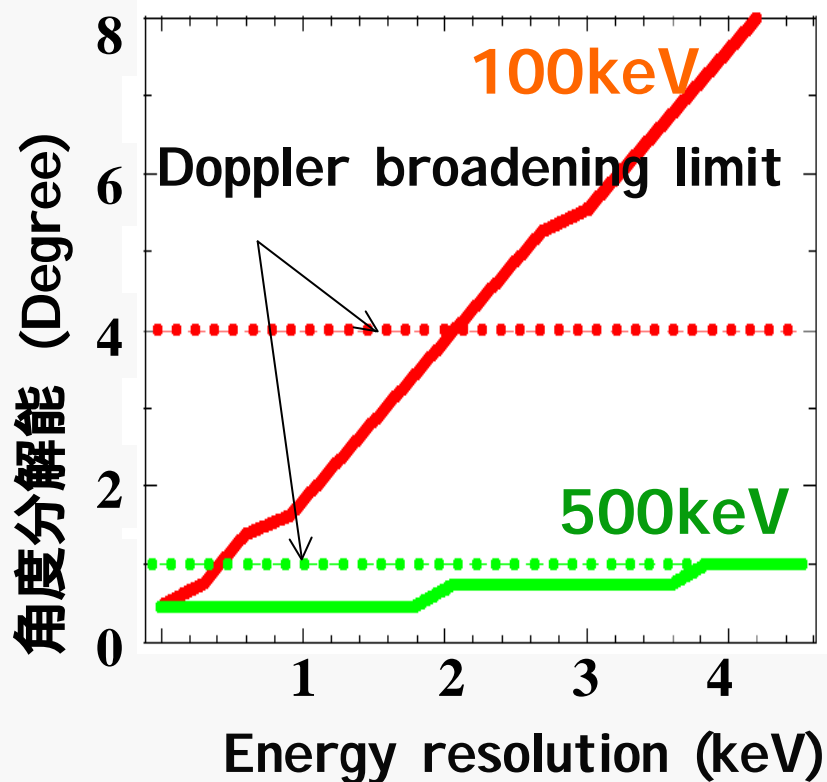
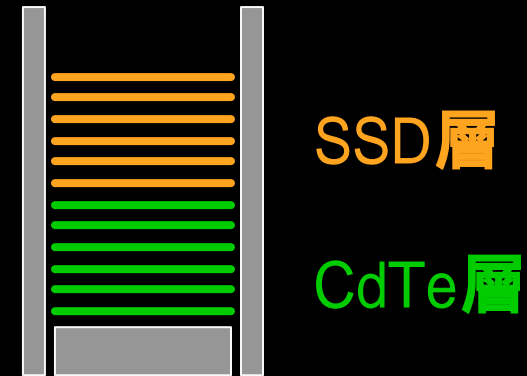
- 到来方向を決定
- 効率的なバックグラウンド除去

非熱的宇宙を探る手段として有効



# 半導体多層コンプトンカメラ

- 小型・軽量・検出効率の向上
- 低エネルギー領域でも分解能がよい



## 角度分解能

1.5 ° @500 keV

4 ° @100keV

## エネルギー分解能

2 keV @40 keV

SSDへの要求...  $E < 1.5\text{keV}$

- 低雑音システムの開発が必要
- 広島大学... SSDの開発

# SSD開発の流れ

## 片面SSD

- GLAST用SSD
- AC用コンデンサの分離
- ストリップ幅・ピッチ等
- 2.5cm × 2.5cm へ

## 両面SSD 2.5cm × 2.5cm

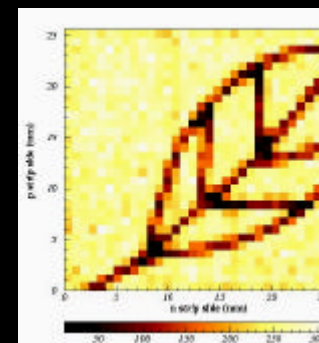
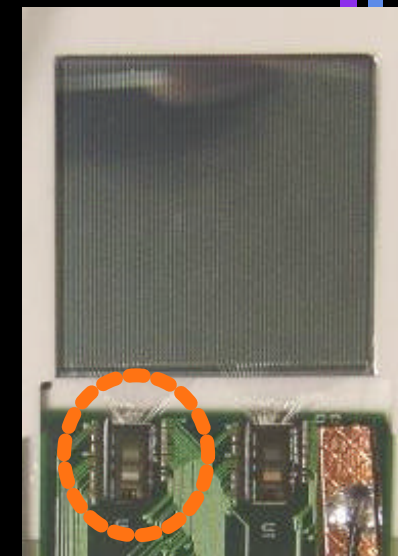
- 硬X線の撮像
- $E = 1.22 \text{ keV}$  達成
- コンプトンカメラ試作機

さらなる低容量化  
大面積化 (目標5cm)  
製造の歩留まり向上

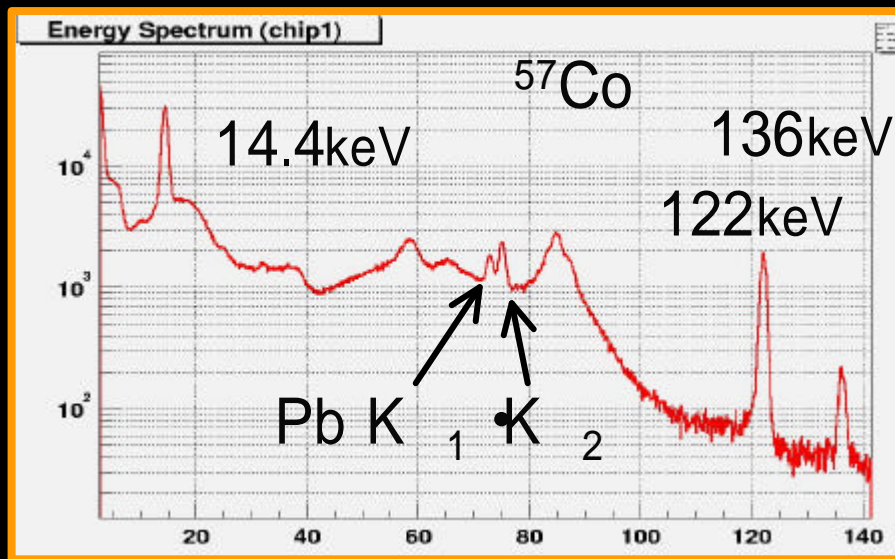


多チャンネル  
読み出し用VLSI

- VA32TA  
小型 低電力  
低雑音



# 最近の成果



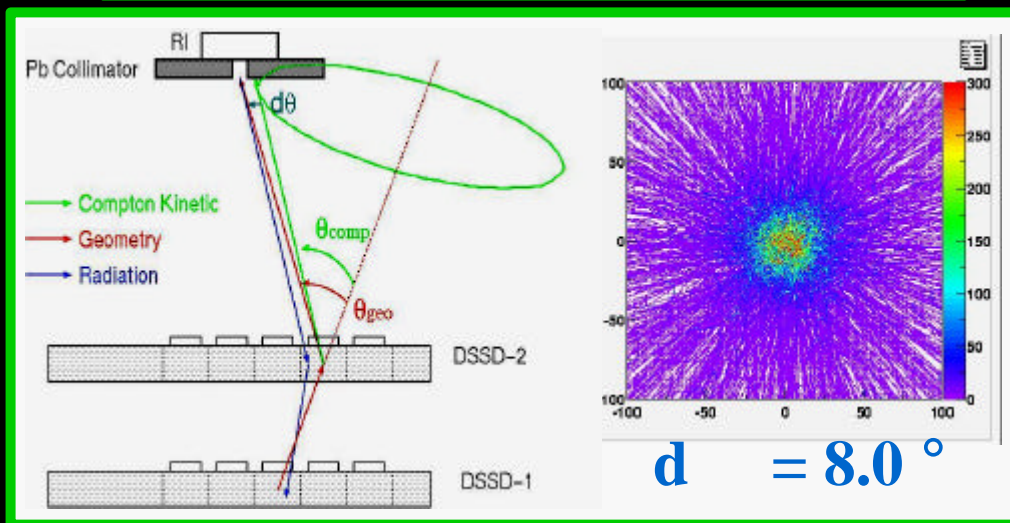
## FWHM

122 keV ;  $1.22 \pm 0.01\text{keV}$

14.4 keV ;  $1.12 \pm 0.01\text{keV}$

SSDの多チャンネル読み出し  
として最高峰

## 2層コンプトンカメラの試作



Geant4でシミュレート

Energy reso.  $E \sim 1.3\text{keV}$

Position reso.  $x \sim 0.4\text{mm}$

Doppler Broadening

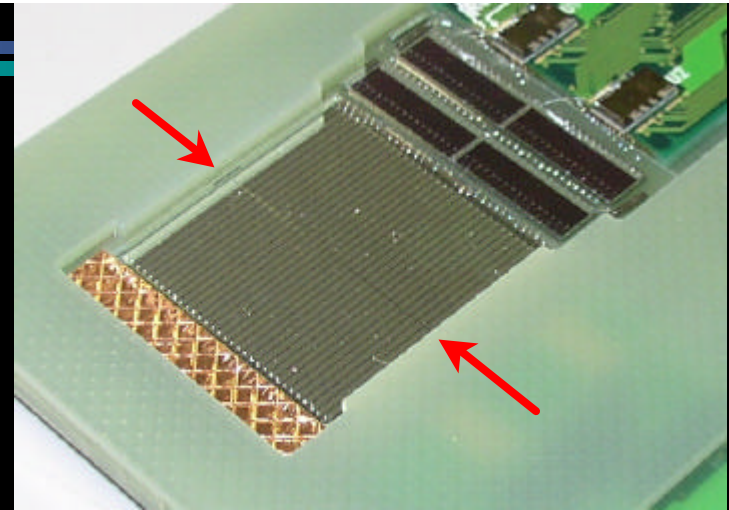
$d = 7.9^\circ$  FWHM

# SSDの低容量化

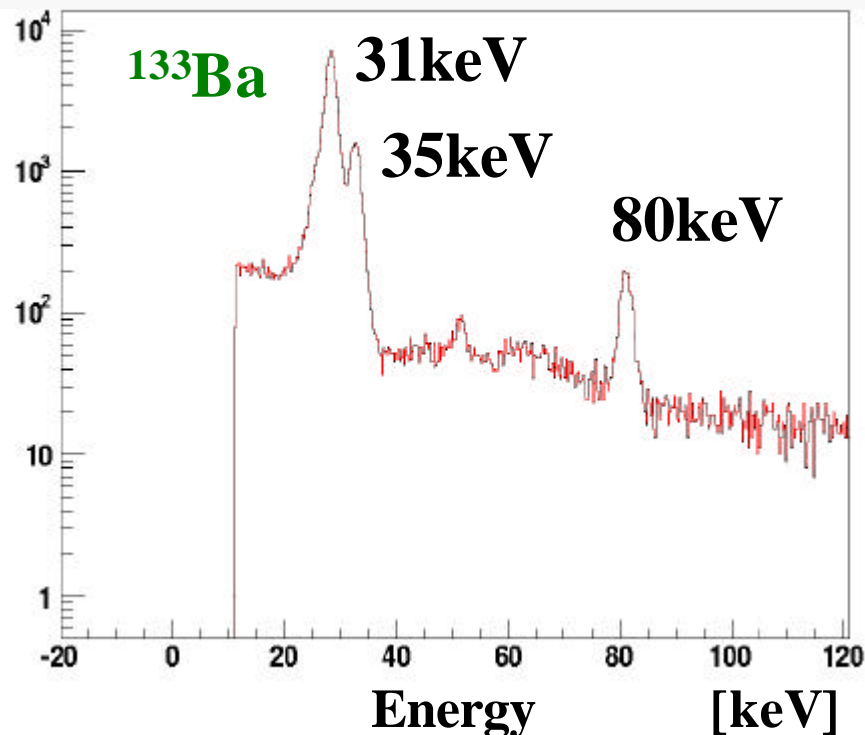
- 800  $\mu\text{m}$  間隔
- ストリップ幅 700  $\mu\text{m}$
- 32  $\times$  2本

## • ストリップを長さ方向で2分割

リーク電流・容量が低減することを測定で確認した。



## 複数チャンネル加算スペクトル



エネルギー分解能 (FWHM)  
 $E = 2.2 \text{ keV}$

VA32TAとの組合せからの見積もり  
0.82 keV

別の雑音が入り混じった可能性あり

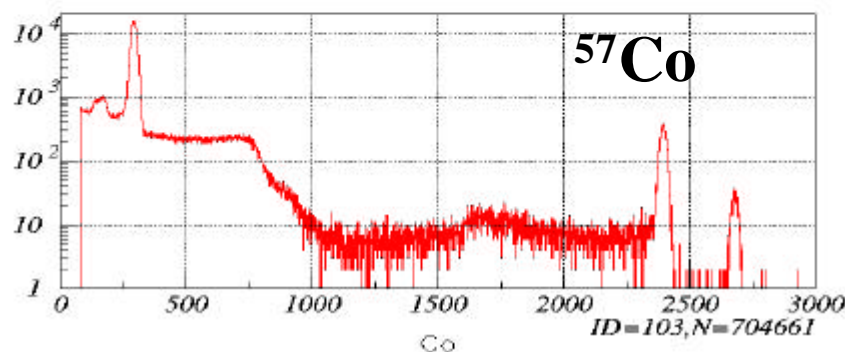
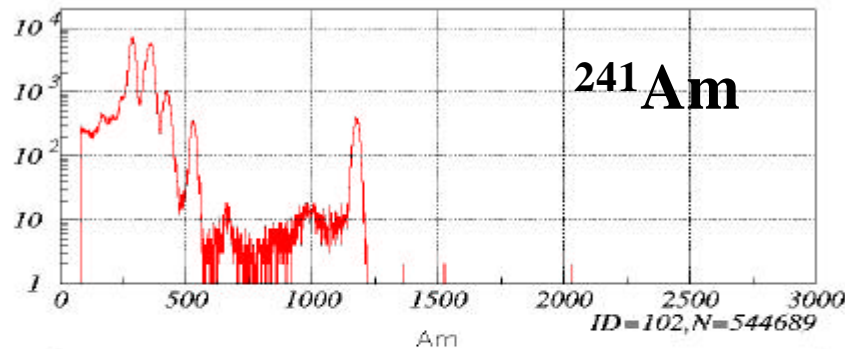
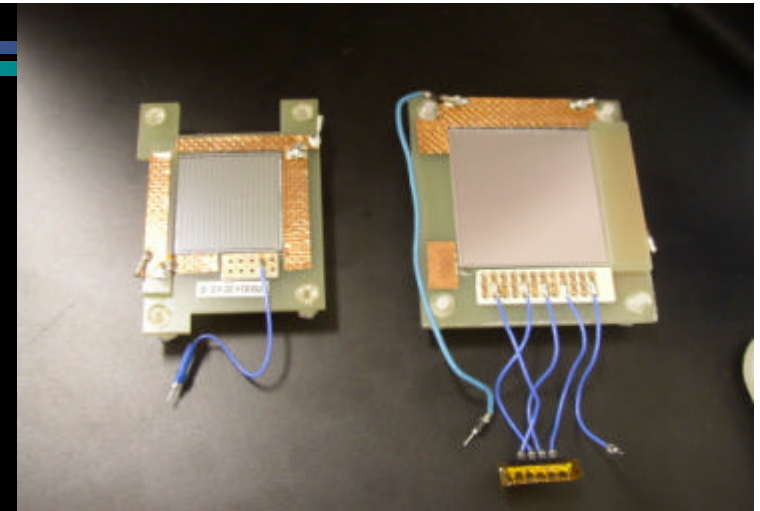
1ch読み出し (CP580K、@22 )  
**1.61 keV**      1.9 keV (分割なし)

低ノイズ化は達成されている

# SSDの大面積化

- 400 $\mu\text{m}$  間隔
- ストリップ幅 300 $\mu\text{m}$
- 96本
- 4cm $\times$ 4cm

- 面積約2.3倍 (従来比)



1ch読み出し

エネルギー分解能 (FWHM)

$$E = 1.33 \text{ keV}$$

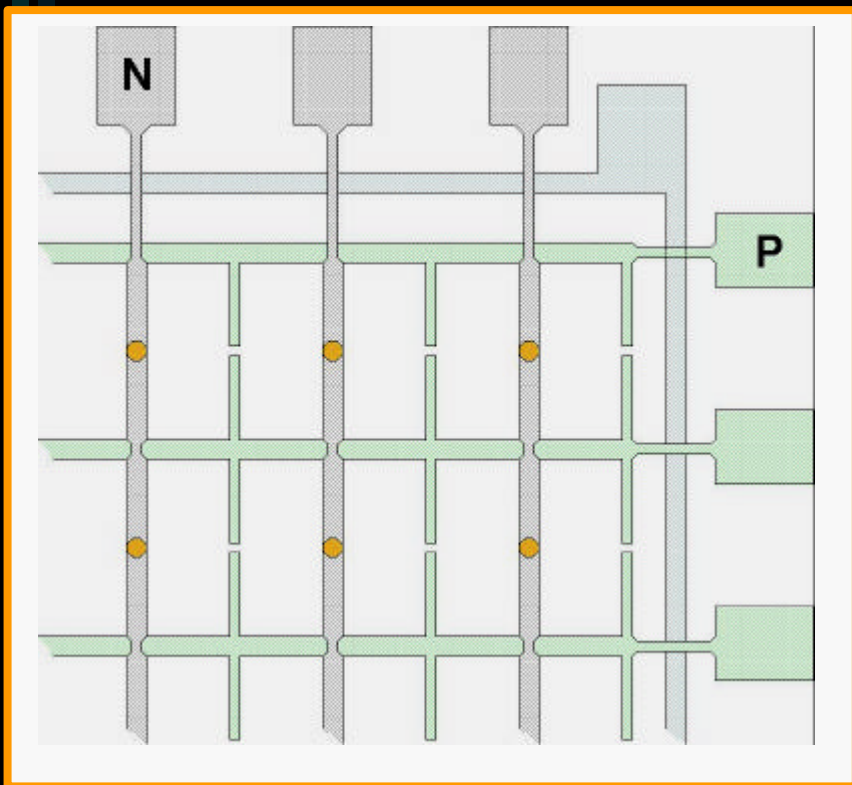
(他ストリップでも1.3 ~ 1.6 keV)

低温下 ( )での測定

リーク電流低減

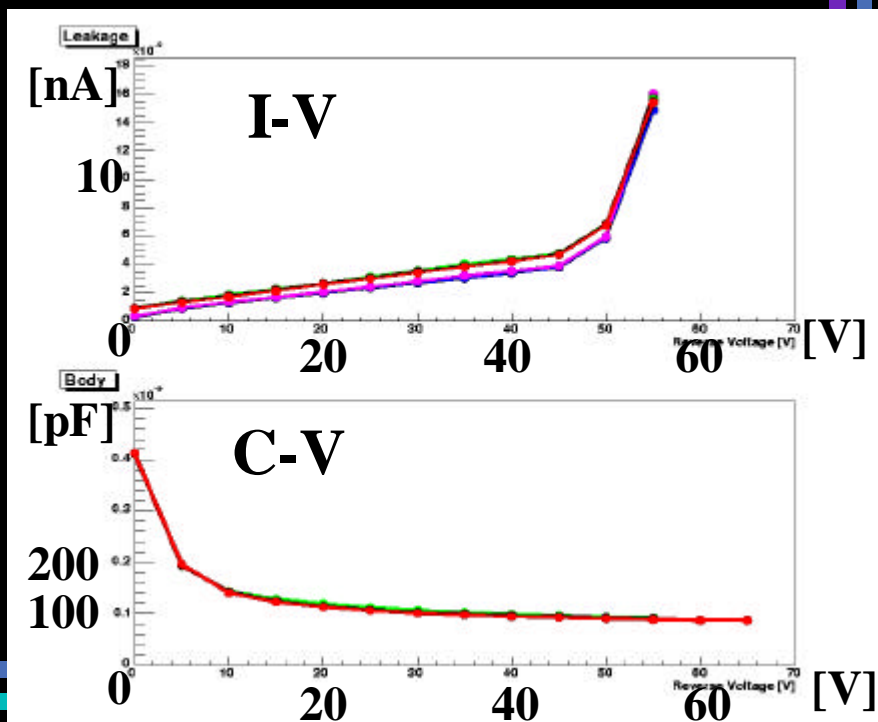
大面積でも低ノイズな測定が可能

# 新たなSi検出器の開発



- ストリップ、ピクセル両方の構造を採用
- 片面製造プロセス利用による2次元位置型センサー
- 歩留まりの向上に期待

- 8.5mm × 8.5mm
- 200 $\mu$ m 間隔
- p+, n+, 各32ch  
(31 × 32ピクセル相当)





## 新たなSi検出器

### レーザー照射によるスキヤニング

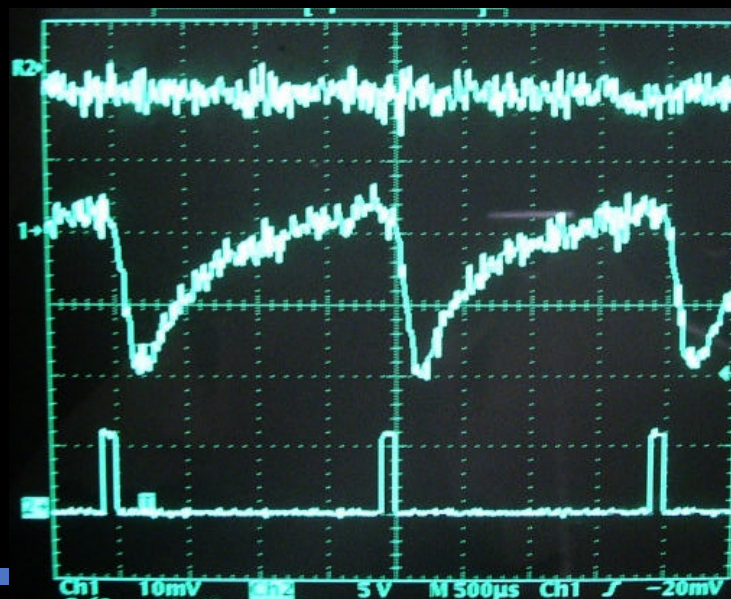
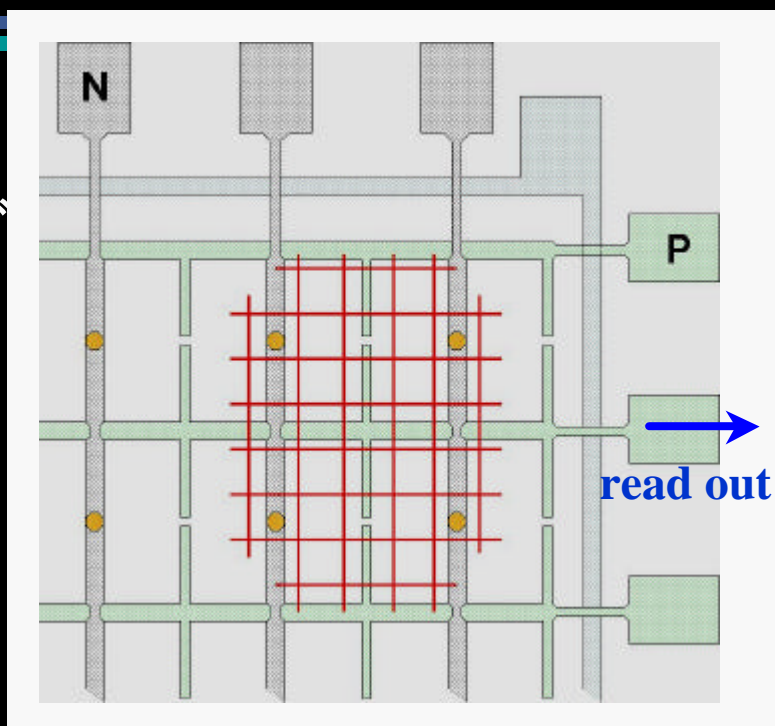
⌘ p+ strip...信号読み出し可能

位置情報も取得

⌘ n+ strip...信号読み出しは可能

⌘ 同一表面上に p+、n+ が配置  
空乏層の深さ方向への広がり重要

⌘ 赤外線 (1068nm) を照射  
厚さ方向の情報を得る  
空乏層の状態・  
複雑な構造の理解へ



## まとめ

- 半導体多層コンプトンカメラに適した  
低雑音SSDシステムの開発
  - エネルギー分解能 ..... 1.22 keV達成 (for 122 keV ガンマ線 )
  - コンプトンイメージング ..... 期待通りの性能
  - 両面SSDの低容量化 ..... ストリップの2分割も有効
  - 大面積化 ..... 低温下では小型SSDと同程度の性能
  - 歩留まり向上 ..... 片面2次元センサーを試作

## 今後

- 4cm SSD 多チャンネル読み出しテスト、5cmへの拡大
- 多層化の方法、チャンネル数増加に合わせた読み出し方法の確立
- 片面2次元センサーの試験、開発