

# SLHCに用いるP型マイクロストリップ センサーの放射線耐性

筑波大学 山田美帆

金信弘, 原和彦, 秦野博光, 三井真吾(筑波大)

池上陽一, 海野義信, 高力孝, 寺田進(KEK)

中野逸夫(岡山大), 高嶋隆一(京都教育大), 花垣和則(阪大)

他アトラスSCTグループ

# SLHC実験 (Super Large Hadron Collider)

## SCT:N型バルク半導体飛跡検出器

ルミノシティをLHCの10倍にする

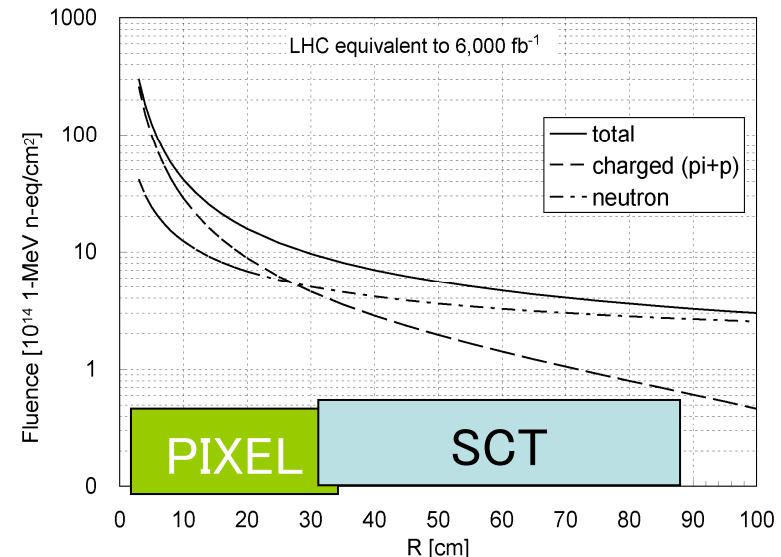
→現行のSCTシリコン検出器は、放射線耐性を上げたものと交換

SCT領域( $R=30\text{cm} \sim 88\text{cm}$ )では最大 $8 \times 10^{14}$  1-MeV  $n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ の放射線量が見込まれる(現行は $\sim 2 \times 10^{14}$  1-MeV  $n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ )

## 本研究の目的

- 放射線耐性のあるセンサーをP型バルクシリコンを用いて設計する
- $1\text{cm}^2$ のテストセンサーに陽子や $\gamma$ 線を照射して耐性を測定する

(この発表では、表面損傷を報告)

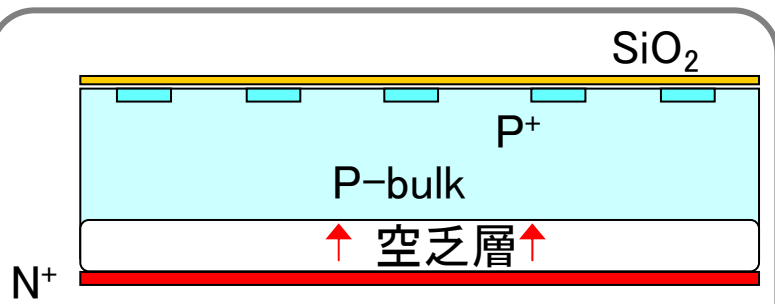


# シリコン検出器の放射線損傷 — Pバルク型センサーの適用 —

現行SCT 放射線耐性  $\sim 2 \times 10^{14}$  1MeV  $n_{eq}/\text{cm}^2$

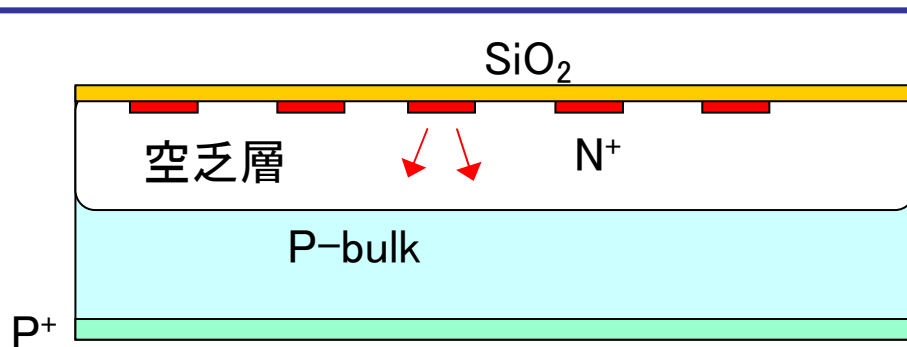
➡ LHC10年分で最高運転電圧の500Vに達する

現行SCT(バルク型変換後)



型変換後は全空乏化させる必要がある

高放射線耐性P型バルクセンサーの開発

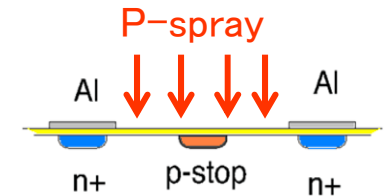


- 型反転せず、常にストリップ側から空乏化する
- 全空乏化電圧が最高運転電圧を越えたら部分空乏化状態で作動させる

# P型シリコン検出器の開発研究

**P型センサー開発の問題点:**酸化膜SiO<sub>2</sub>に正電荷が蓄積し、Pバルク部表面に引き寄せられた電子層のためにストリップ電極間の信号分離が劣化しやすい

→ **電極分離構造が必要**



## P-stop, P-spray

電子の移動を遮断し、ストリップ間が電氣的につながるのを防ぐ

## マイクロ放電(MD)

局所的な高電場によって電子雪崩が発生し急激に電流が増大する  
P-stop, P-sprayのような構造が入ると起こりやすい

## 適正な電極分離構造と濃度を探る

- ✓放射線照射後も検出器として機能する
- ✓マイクロ放電を起こさない
- ✓PTPが適正に機能する

## Punch Through Protection

ビームロスなどで過大電流が発生しインプラント電圧が高くなった場合にPTPによりBias Ringに電流を逃がす機構

# 照射

## Proton照射

東北大CYRICにて70MeVの陽子線を照射

Fluence :  $5 \times 10^{11} \sim 1.3 \times 10^{15}$  1-MeV  $n_{eq}/\text{cm}^2$

(照射は2008年3月、11月、2009年3月)

## $^{60}\text{Co}$ ( $\gamma$ 線)照射

原研高崎にて $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線を照射

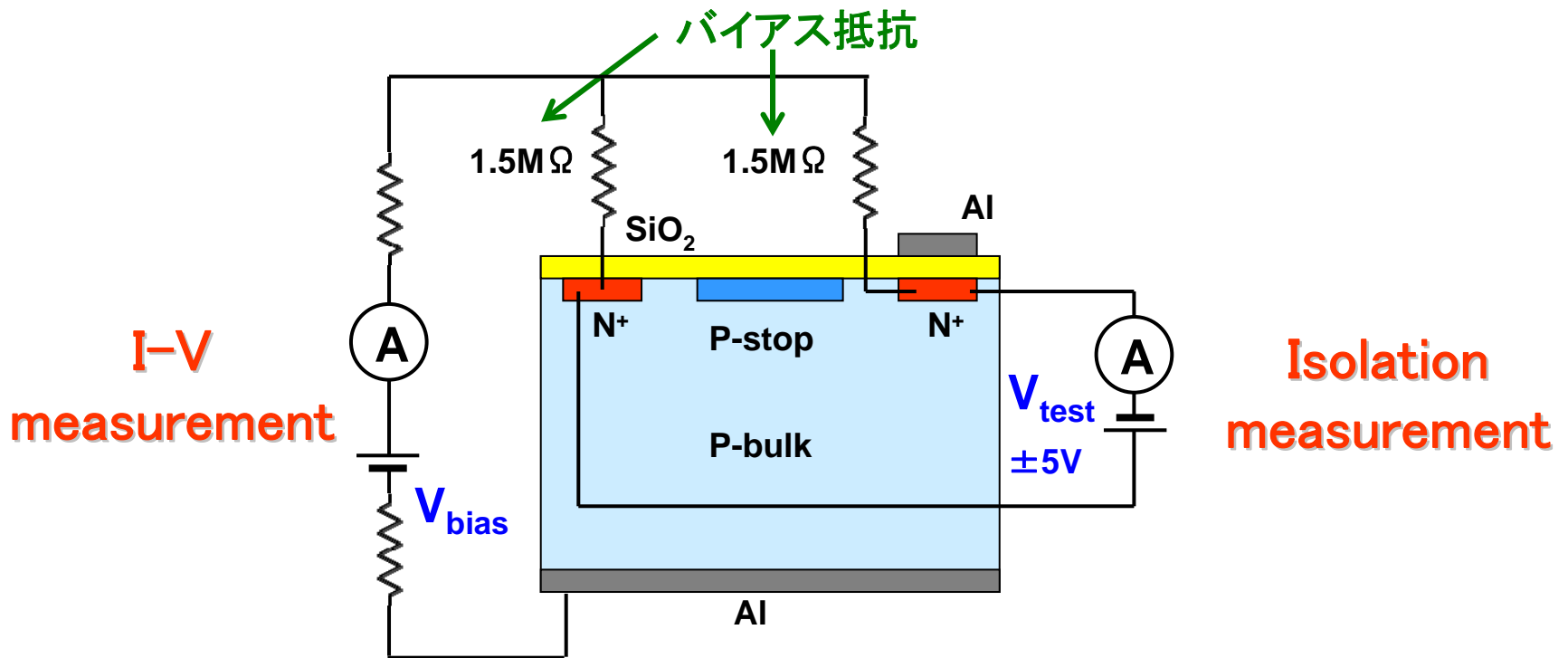
Dose : 0.1 kGy/hもしくは1kGy/hで $\sim 10$ kGy

(30cm@SLHCでは約0.05 kGy/h)

# センサー特性の測定

I-V : マイクロ放電の発生

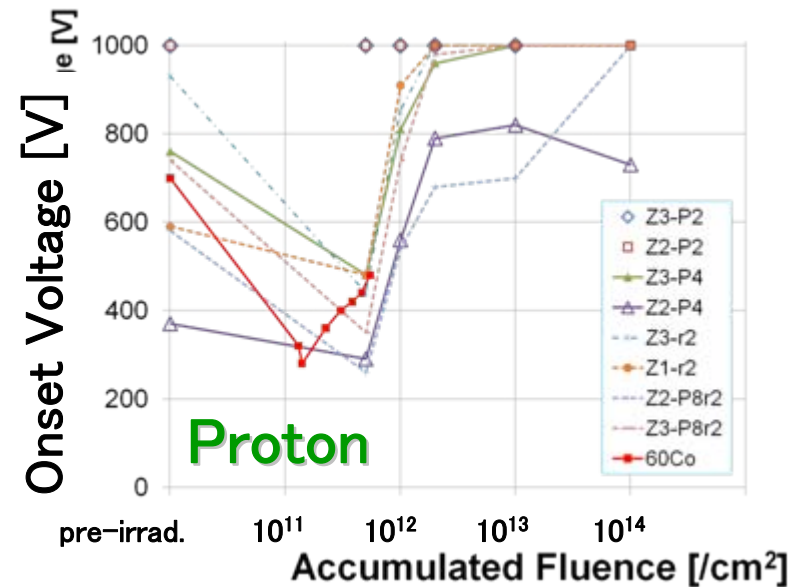
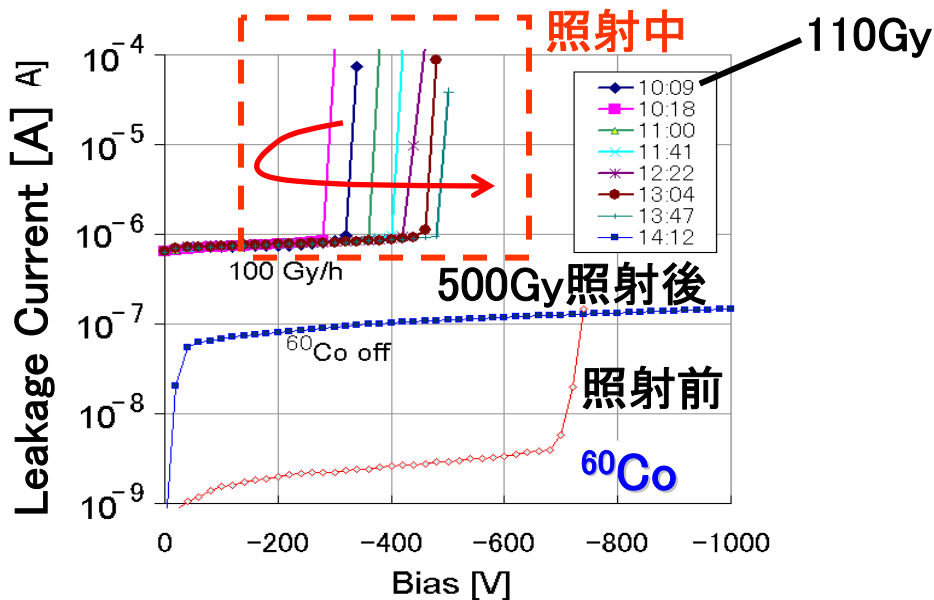
Isolation : ストリップ間が電氣的に分離しているか評価



# マイクロ放電の発生

センサー表面の状態によりMDは起こる

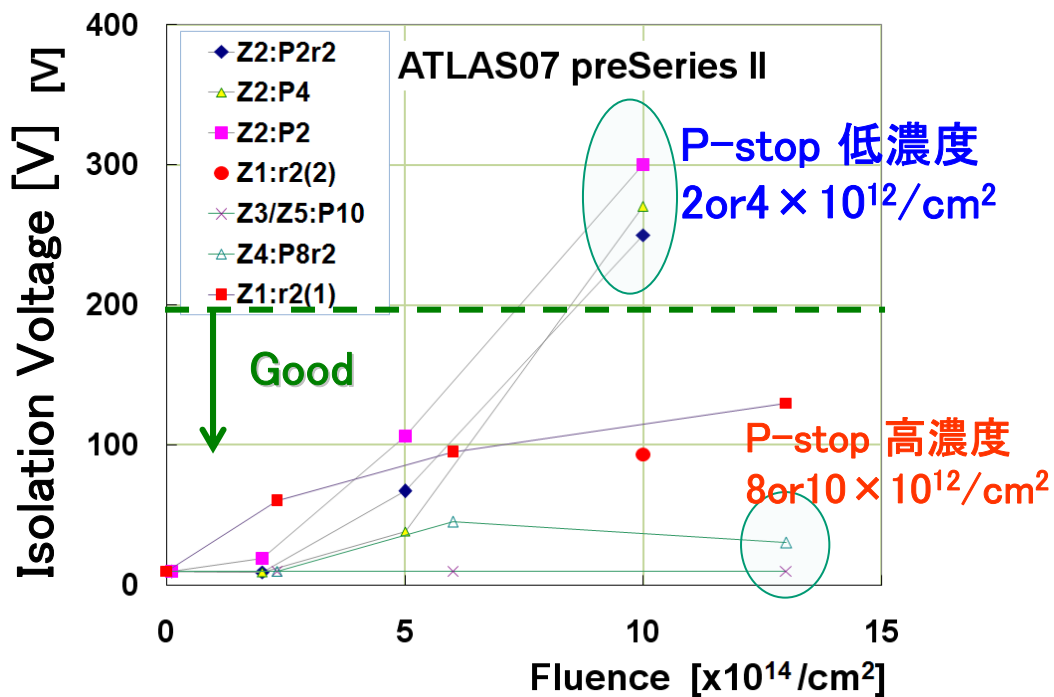
→放射線照射を受けることによりMDのOnset Vが変化する



放射線照射によりMD Onset Vが低照射量で一旦下がるが、その後、上昇する。  
 運転電圧以下でMDが起こらなければ問題はない。

→全空乏化電圧と比較する必要がある

# Isolation Voltage -Proton irradiation-



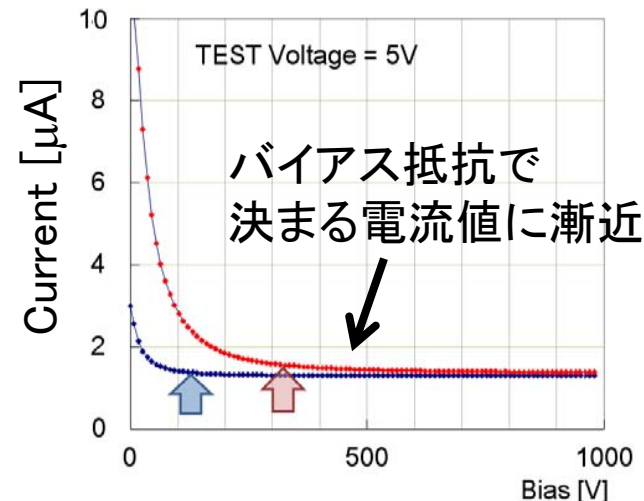
高濃度 P-stop  
B:  $8\text{or}10 \times 10^{12}/\text{cm}^2$

: 数10VでIsolation達成

低濃度 P-stop  
B:  $2\text{or}4 \times 10^{12}/\text{cm}^2$

:  $\sim 300\text{V}$ でIsolation達成

## Isolation Voltage



プラトー領域から10%高い電流値になったときの  $V_{\text{bias}}$  を Isolation 達成電圧と定義

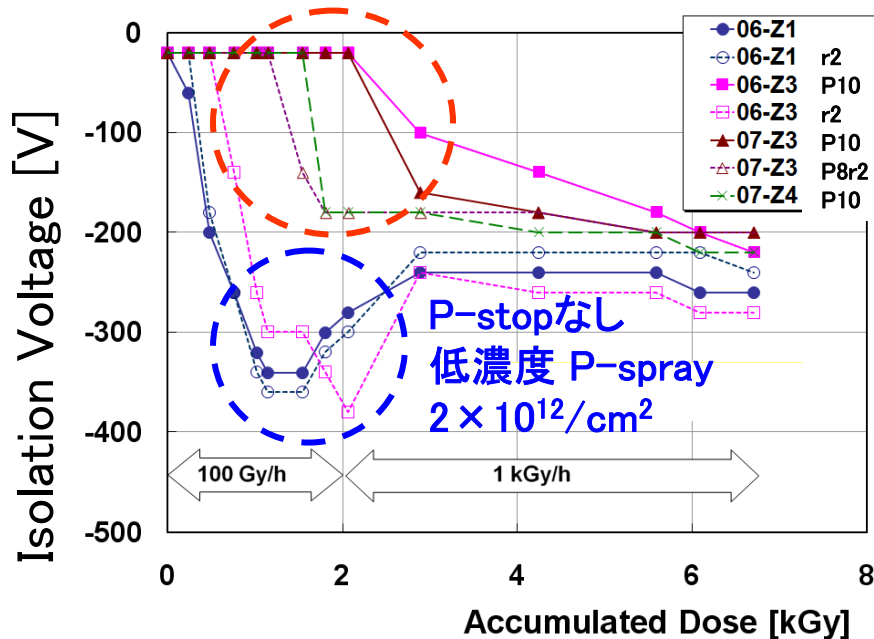
未照射のセンサーは約200Vで全空乏化するため、200V以下での Isolation 達成が望ましい



# Isolation Voltage -during $^{60}\text{Co}$ -

高濃度 P-stop  
 $8\text{ or }10 \times 10^{12}/\text{cm}^2$

$V_{\text{bias}} = 300\text{V@irradiation}$



低照射量では高濃度P-stop  
(Boron: $8\text{ or }10 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ )の方が  
Isolationが良い



ある程度照射するとIsolation  
達成電圧は一定の値になってくる

実際に検出器として信号が読めるか  
どうか確認する必要がある

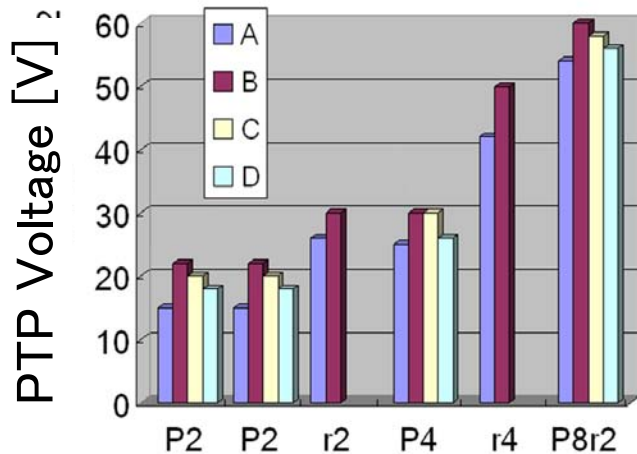
( $\sim 50\text{Gy/h@SLHC}$ )

# Punch Through Protection

PTP達成電圧： $R_{DC-BR}=1/2$ (バイアス抵抗)

SiO<sub>2</sub>膜を守るために-100V以下での達成が要求される

照射前



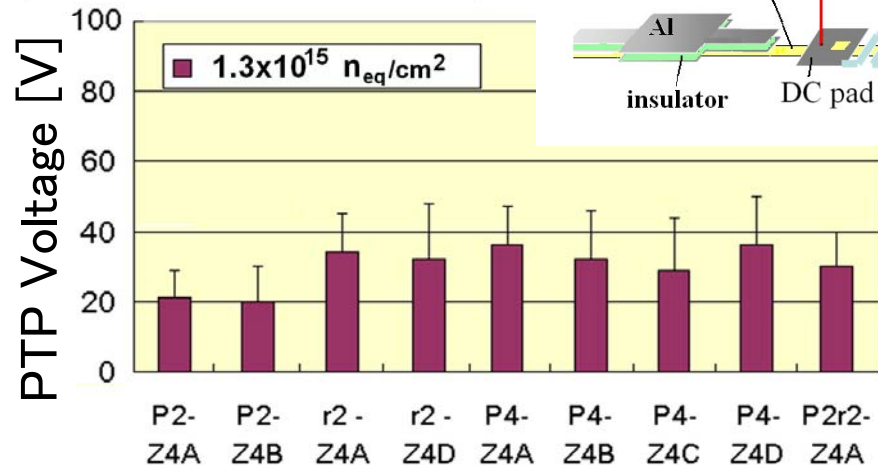
stop, spray

低濃度( $2\text{or}4 \times 10^{12}$ )

stop

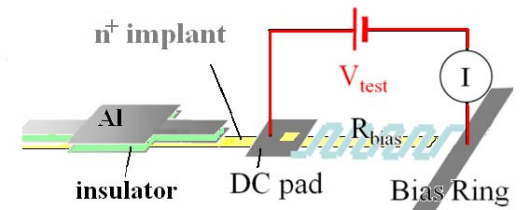
高濃度( $8 \times 10^{12}$ )

照射後



stop, spray

低濃度( $2\text{or}4 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ )



Isolation構造によってPTP達成電圧に差が出ているが、照射前後で全サンプル要求とする-100V以下でPTPが達成されている

# Summary

## SLHC用P型シリコン検出器の放射線耐性を陽子線と $\gamma$ 線照射により評価した

### I-V

放射線照射によりMD Onset Vが低照射量(約 $5 \times 10^{11}$  1MeV  $n_{eq}/cm^2$ )で一旦下がるが、その後上昇する  
しかし、運転電圧以下でMDは起きていないので問題はない

### Isolation

高濃度P-stop( $8$  or  $10 \times 10^{12}/cm^2$ )は低照射量( $\sim 2$  kGy)において数10VでIsolationが達成されているがある程度の照射を受けると、Isolation Voltageは一定の値となる

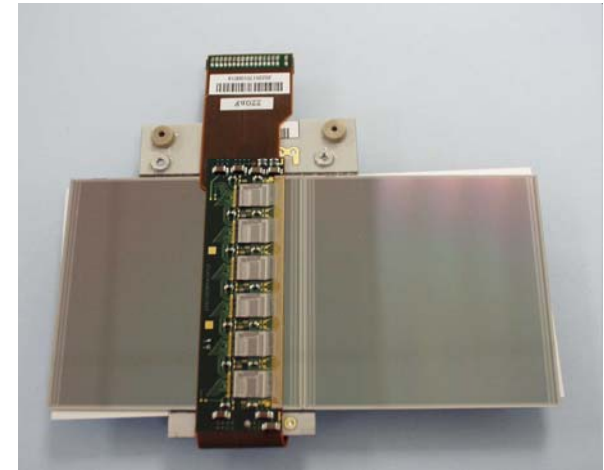
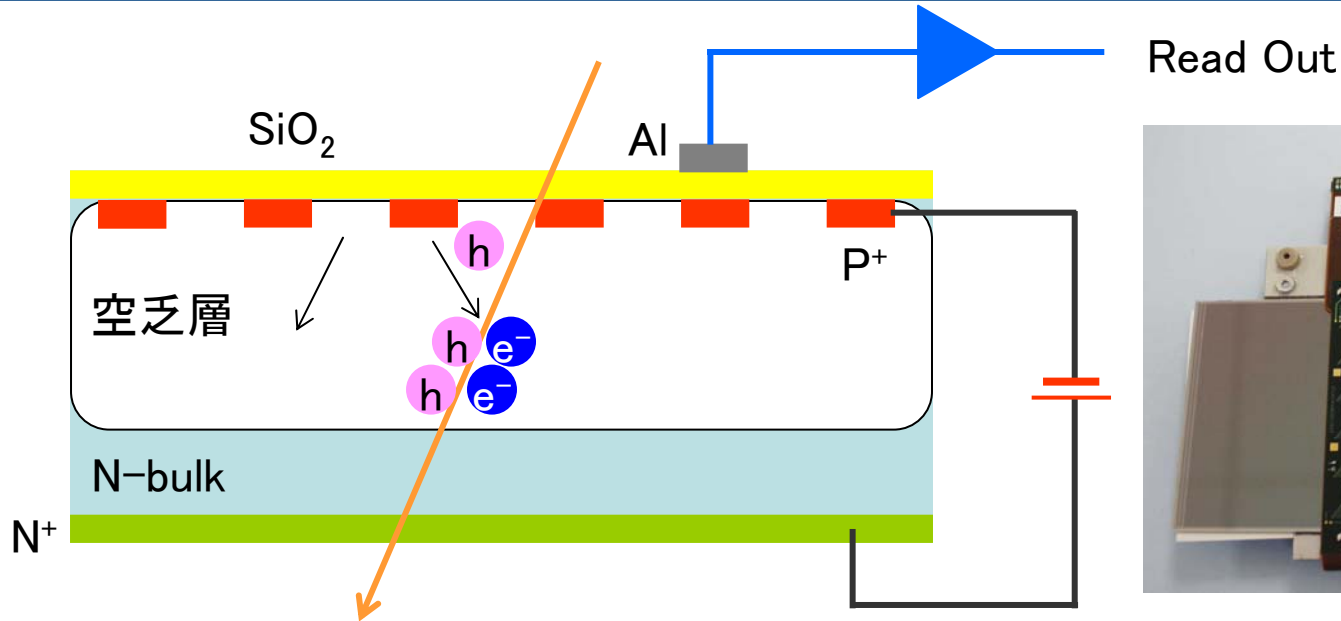
→検出器として実際に信号が読めるか確認する

### PTP

Isolation構造の違いや濃度によって差が出ているが、照射前後ともに $-20 \sim -60$ V程度でPTPが機能し要求を満たしている  
また、照射前後でPTP達成電圧に変化はない

# Backup

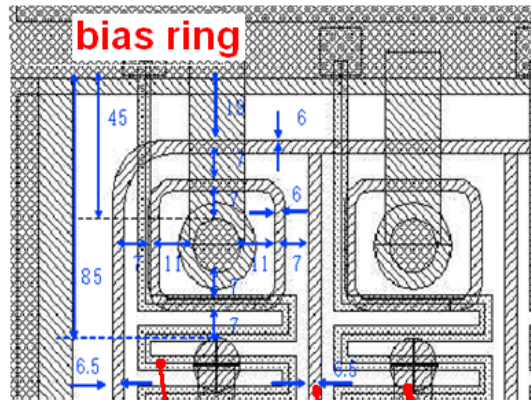
# Semiconductor Tracker (SCT)



- 1: 逆バイアスをかけ、空乏層を広げ信号を増やす
- 2: 空乏層に電荷を持った粒子、または十分なエネルギーを持った光子が入射すると電子・正孔対が生成される
- 3: 電場によってキャリアが読み出しストリップ側へと移動する  
パルス信号はアンプにピックアップされる
- 4: アンプの信号から電極のピッチに対応した、位置情報が得られる

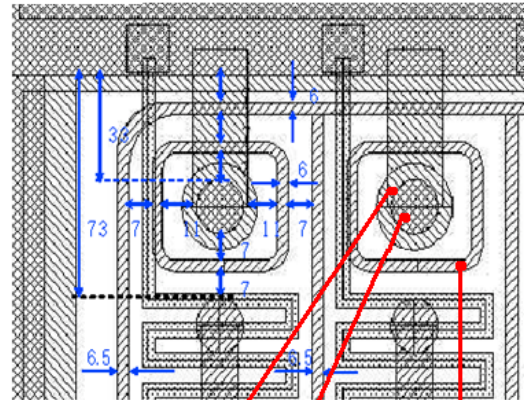
# PTP Structure

Z4-A



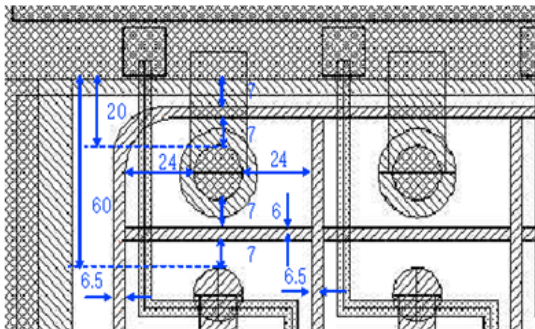
bias resistor p-stop strip n<sup>+</sup>

Z4-B

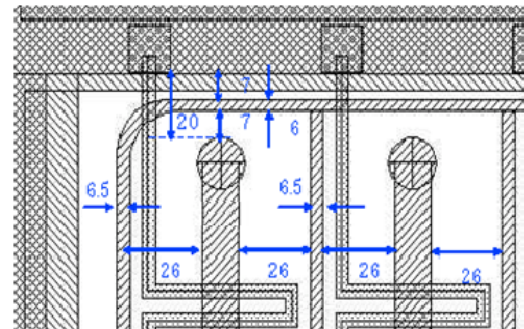


aluminum n<sup>+</sup> p-stop

Z4-C

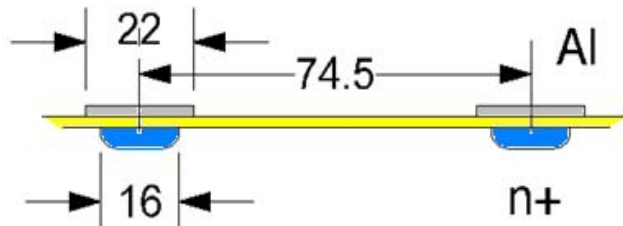


Z4-D

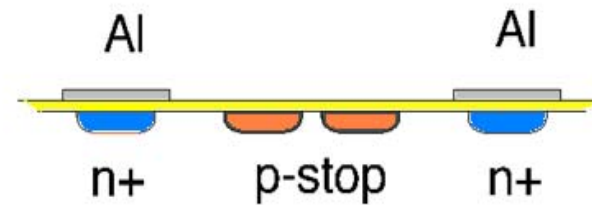


# ATLAS07

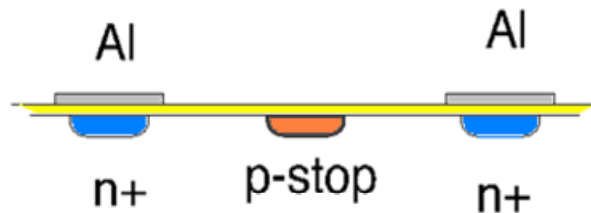
**Zone 1**  
No structure (PTP)



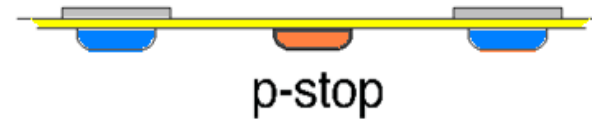
**Zone 2**  
Individual



**Zone 3**  
Narrow Common



**Zone 4**  
Narrow Common (PTP)



# Past Irradiation -<sup>60</sup>Co-

rate:100Gy/h

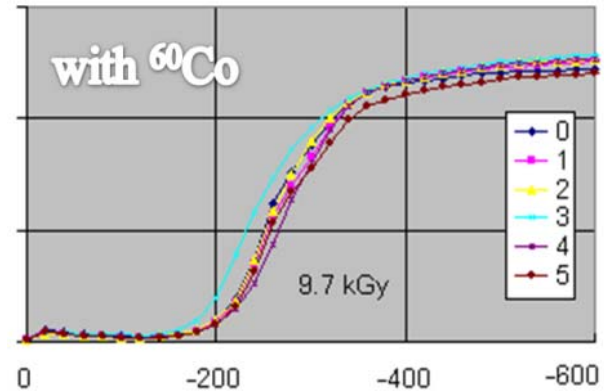
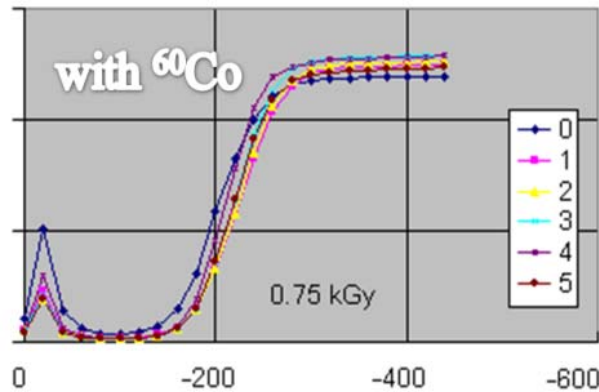
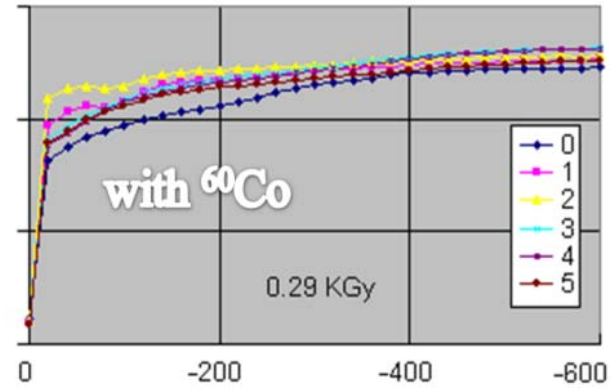
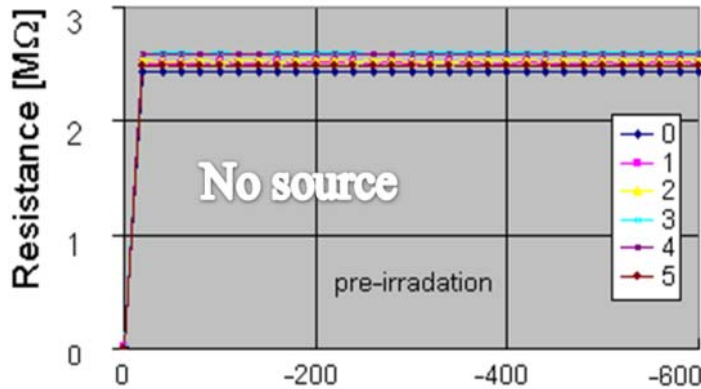
samples

0:Z2 P4

1:Z3 P4 2:Z4A P4

3:Z4B P4

4:Z4C P45:Z4D P4

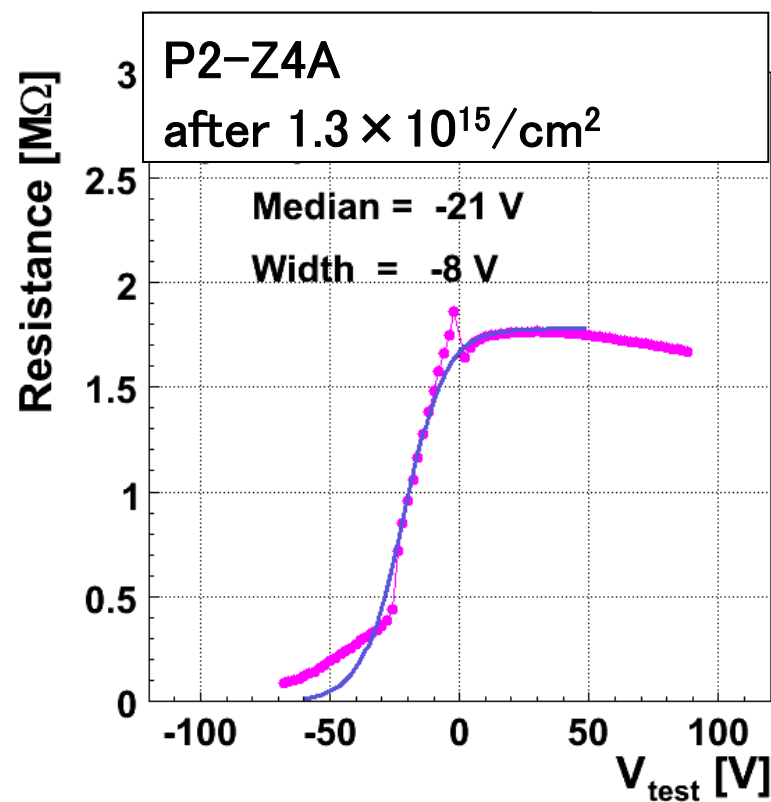




# PTP 達成電圧

$$\text{FitFunction} = \frac{a}{e^{(b-V_{\text{test}})/c} + 1}$$

$a, b, c$  : constant



# P-stop, P-spray density

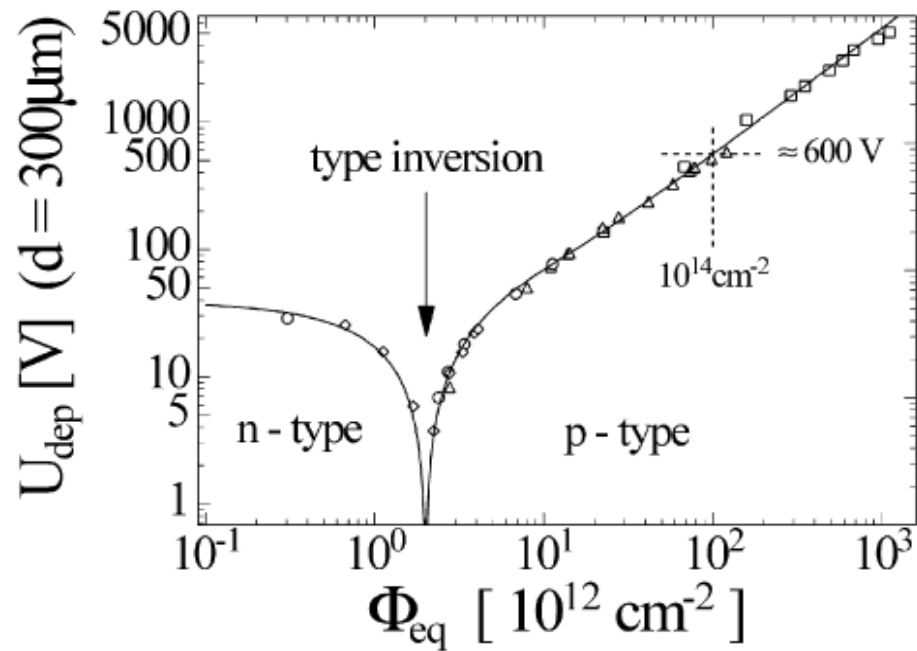
不純物濃度 B/cm<sup>2</sup> :

P-stop (P2, P4 ...) : (2, 4, 10, 20) × 10<sup>12</sup>

P-spray (r1, r2, r4) : (1, 2, 4) × 10<sup>12</sup>

stop + spray (P2r2...) : (2+2, 8+2, 8+4) × 10<sup>12</sup>

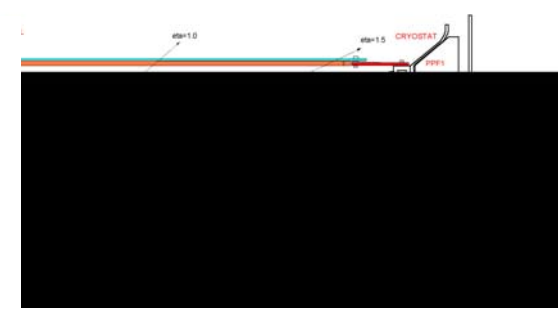
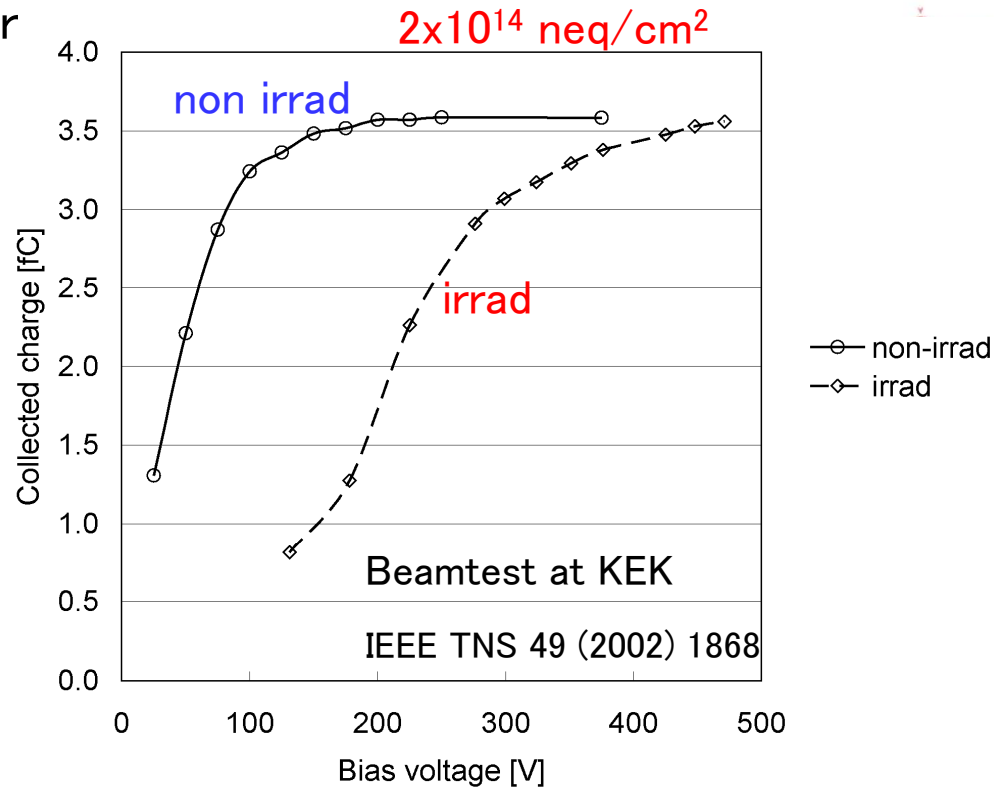
# type inversion



RD50

# LHC

p-in-n sensor



- Luminosity  $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Integrated fluence  $2 \times 10^{14} \text{ 1-MeV neq/cm}^2$  at  $r \sim 30 \text{ cm}$

# SCT

