

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, 濱崎菜都美, 三井真吾 (筑波大)

池上陽一, 海野義信, 高力孝, 寺田進 (KEK)

高嶋隆一(京都教育大), 花垣和則(阪大), 中野逸夫(岡山大)

他アトラスSCTグループ

SLHC実験

(Super Large Hadron Collider)

ルミノシティをLHCの10倍にする

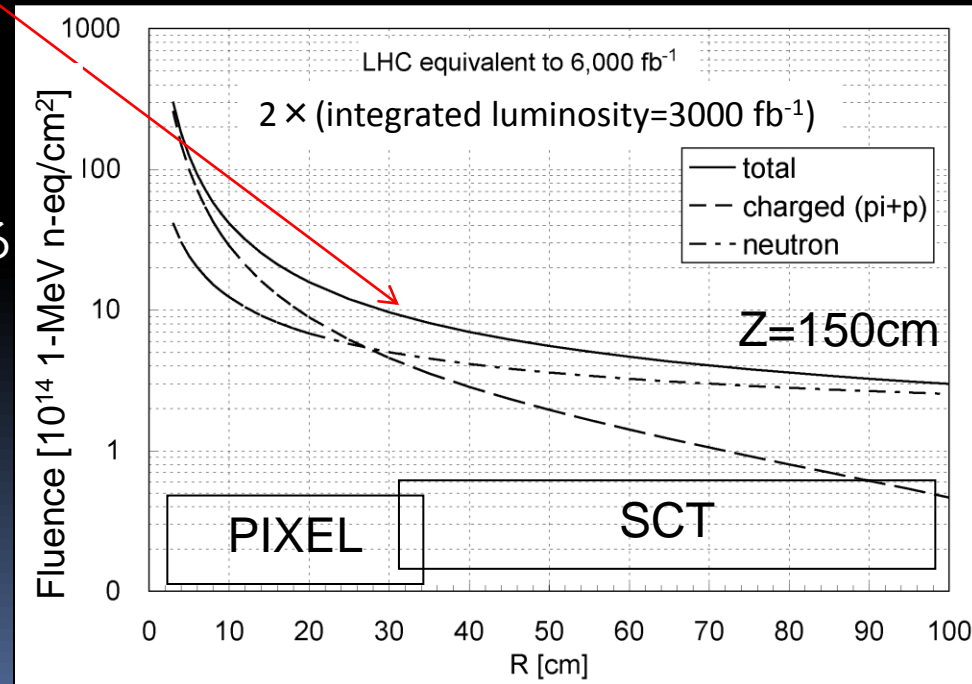
→ 現行のSCT(N型バルクシリコン飛跡検出器)は放射線耐性を上げたものと交換

SCT領域($r \sim 30\text{cm}$, $Z \sim 150\text{cm}$)では最大約 1×10^{15} 1MeV $n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ の放射線量が見込まれる

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
- 1cm²のテストセンサーに陽子線を照射して耐性を測定する

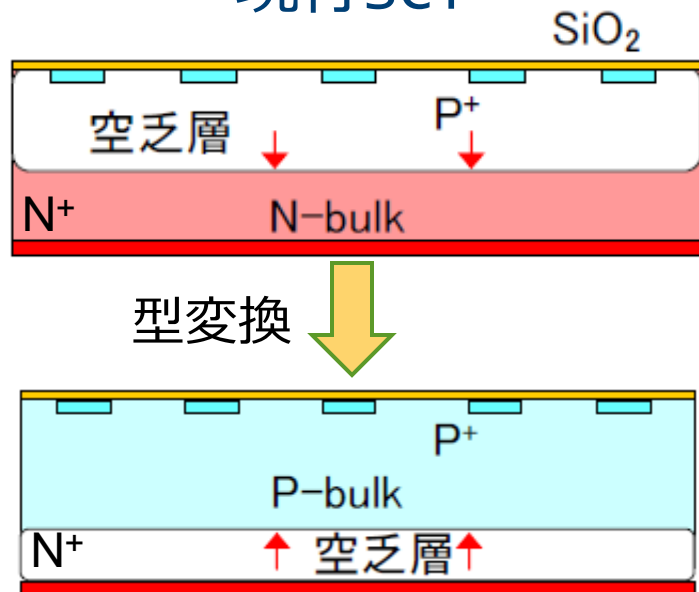
この発表では、表面損傷を報告
バルク損傷は次の発表者(三井)が報告



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：放射線量 2×10^{14} 1MeV n_{eq}/cm^2 (LHC10年分) でセンサーに加えるバイアス電圧は最高運転電圧の500Vに達する(500V以上はかけられない)

現行SCT

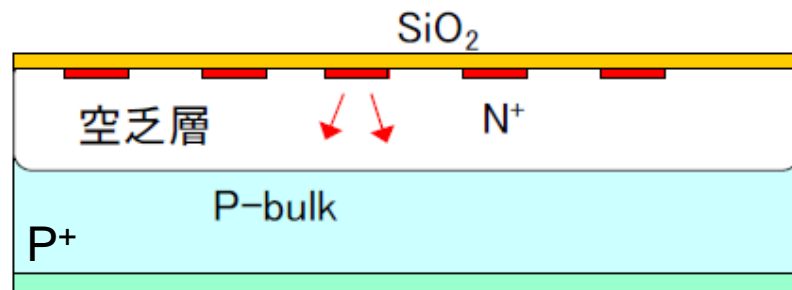


型変換後は全空乏化させる必要があり放射線照射量が増えるにつれ全空乏化のためのバイアス電圧は上昇する

→ 最高運転電圧500Vに達してしまう

放射線量が増えるSLHCでは現行SCTは使用できない

高放射線耐性P型バルクセンサー



型変換せず常にストリップ側から空乏化するため全空乏化電圧が最高運転電圧を越えても部分空乏化状態で作動させることが可能

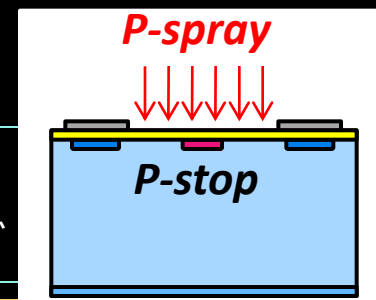
P型シリコン検出器の開発研究

P型センサーの問題点：酸化膜とバルクの界面に正電荷が蓄積しPバルク部表面に引き寄せられた電子層(N)のために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が防ぐ



マイクロ放電

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

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大きく変動した場合にバイアスリングに電流を逃がす機構

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

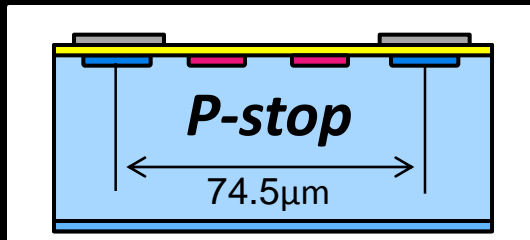
照射用サンプル

P-stop, P-sprayの濃度や構造を変化させることにより色々な分離構造を試験した

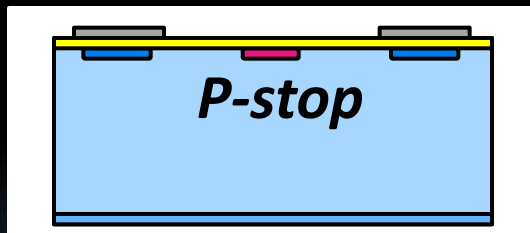
電極分離構造

ZONE1: P-stopなし

ZONE2



ZONE3



ZONE4: P-stopはZONE3と同様
PTPの構造(A,B,C,D)が入る

ZONE6: P-stopはZONE3と同じ
ストリップピッチが100 μm

P-spray 不純物濃度/cm²
r2: 2×10^{12}

P-stop 不純物濃度/cm²
P2, P4: $2, 4 \times 10^{12}$

P-stop & P-spray
不純物濃度/cm²
P2r2, P8r2: $2+2, 2+8 \times 10^{12}$

陽子線照射

70MeV 陽子線@東北大CYRIC

Fluence $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{15}$ 1MeV n_{eq}/cm^2

を4点に分けて測定した



東北大サイクロロン



ビームライン32

Fluence詳細 :

2008年11月

1.64, 21.0, 52.8, 103×10^{13} 1MeV n_{eq}/cm^2

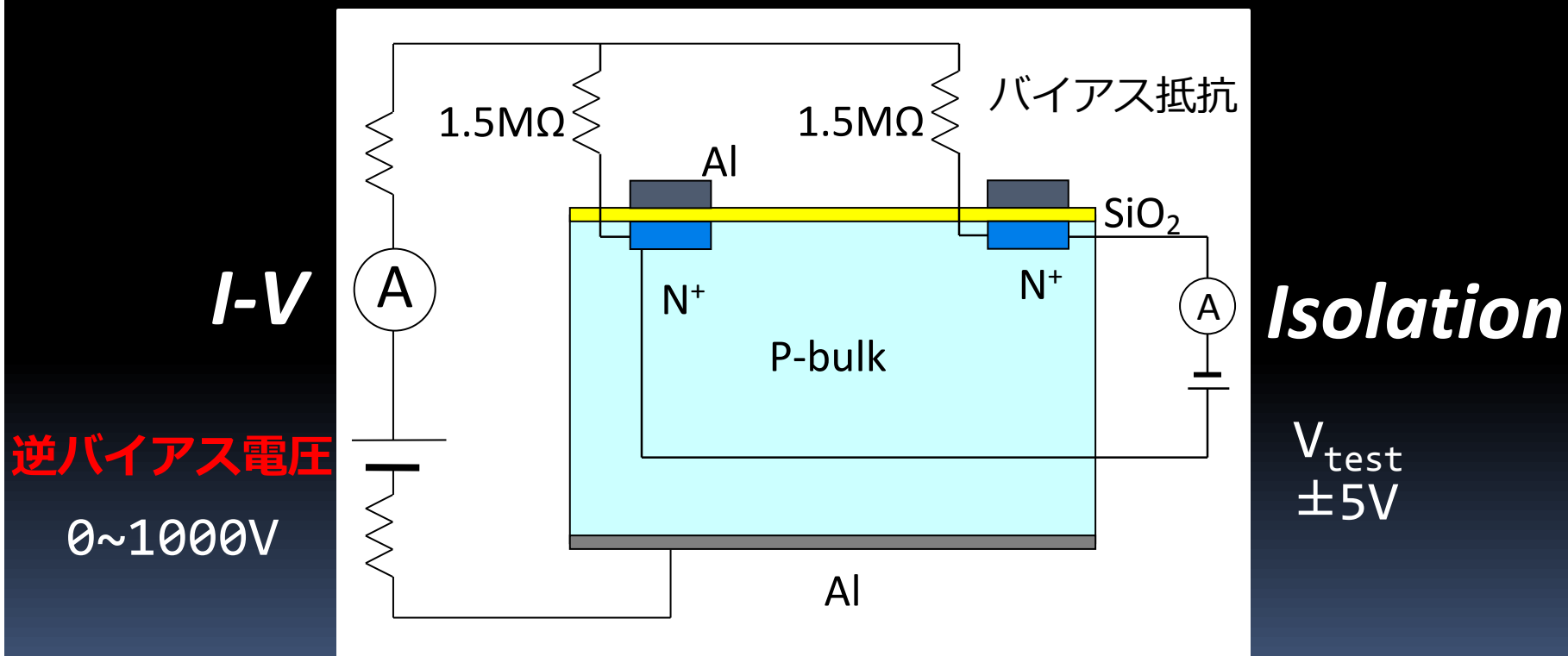
2009年3月

1.64, 18.6, 53.3, 102×10^{13} 1MeV n_{eq}/cm^2

センサー特性の測定

I-V : マイクロ放電発生の有無

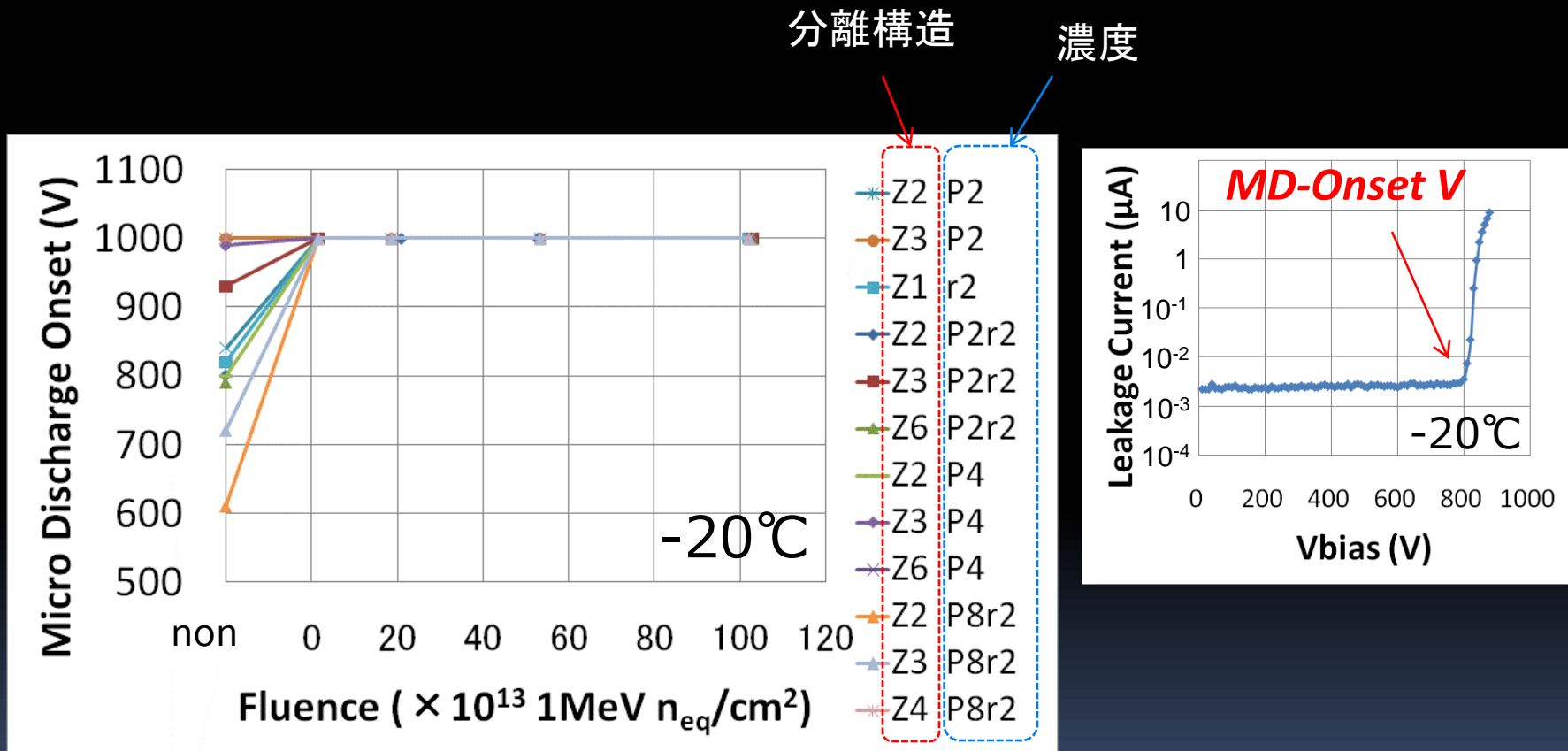
Isolation : ストリップ間が電氣的に分離されているか評価



マイクロ放電の発生

センサー表面の状態によりマイクロ放電は起こる

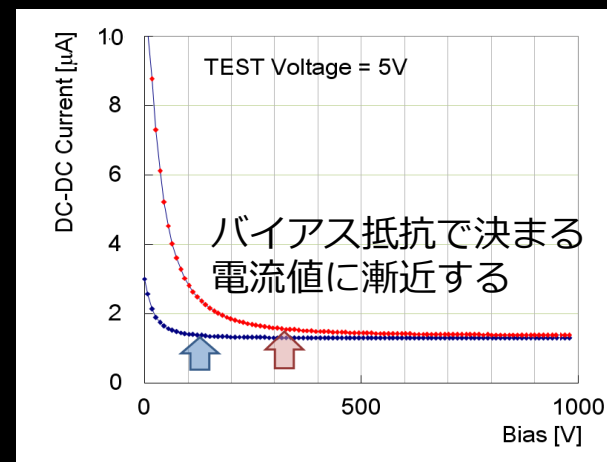
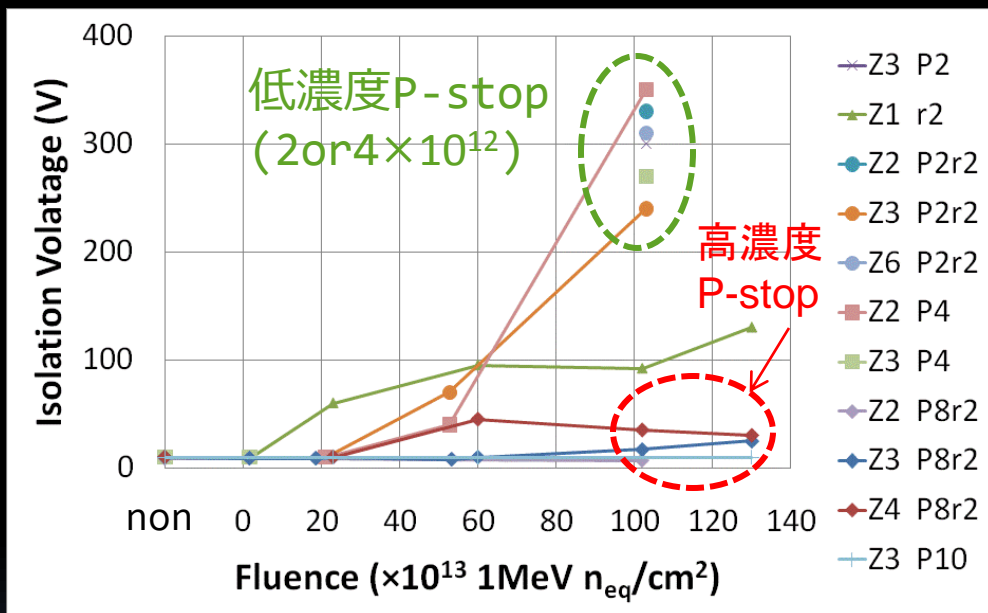
➡ 放射線照射を受けることによりマイクロ放電のオンセット電圧が変化する



1×10¹³ 1MeV/cm²程度放射線照射を受けると、1000Vまでマイクロ放電は起こらなくなった

ストリップ間分離 (Isolation)

ストリップ間分離が悪くなると検出される信号が小さくなり位置の分解能も悪くなるので飛跡検出器としての性能が悪くなってしまふ



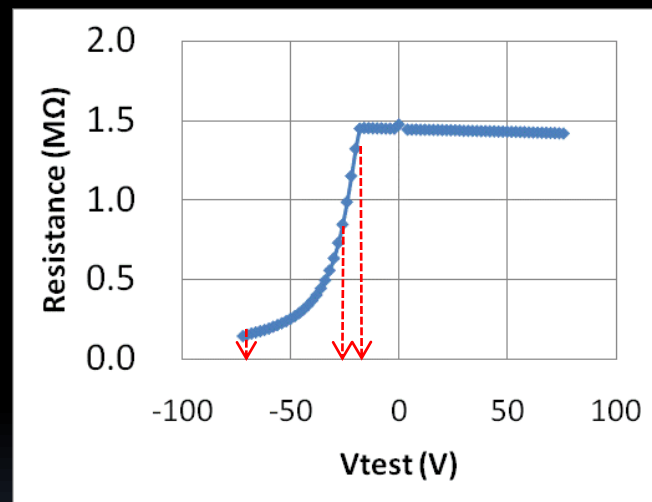
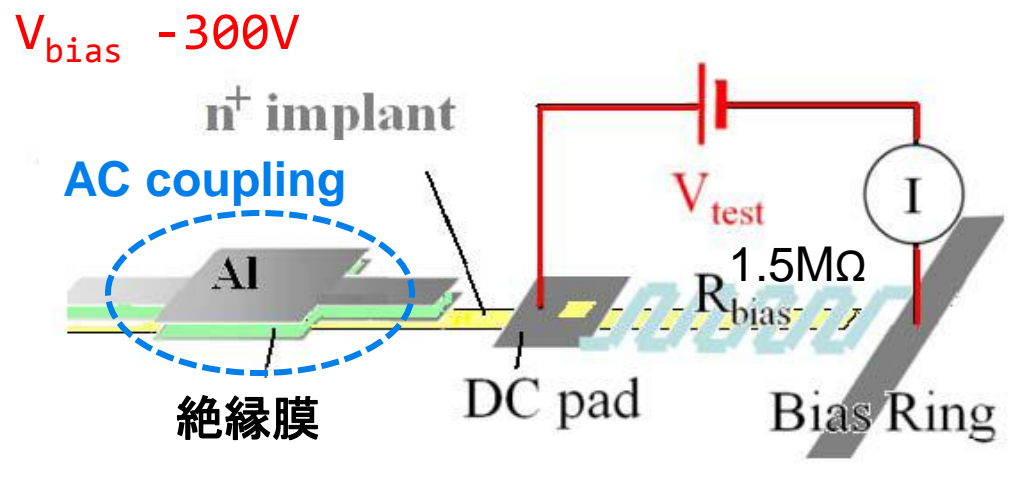
プラトー領域から10%高い電流値になったときのバイアス電圧を Isolation達成電圧と定義する

低濃度P-stopのサンプルはFluence上昇とともにIsolationが悪くなった
 高濃度P-stopのサンプルは 1.3×10^{15} 1MeV n_{eq}/cm^2 まで安定して数10Vで Isolationを達成できた
 Fluenceに関係なくIsolationを達成するにはP-stopにある程度の濃度が必要である

Punch Through Protection

インプラント電圧が大きく変動した場合にストリップとバイアスリング間を導通させることにより絶縁膜の破壊を防ぐ(絶縁膜の耐圧100V)

V_{test} を -100~100Vまで変化させたときのDCパッド-バイアスリング間の抵抗値を測定する



ストリップ-バイアスリング間の距離を変えた4種類のサンプルA,B,C,Dについて測定した

PTP達成電圧の定義

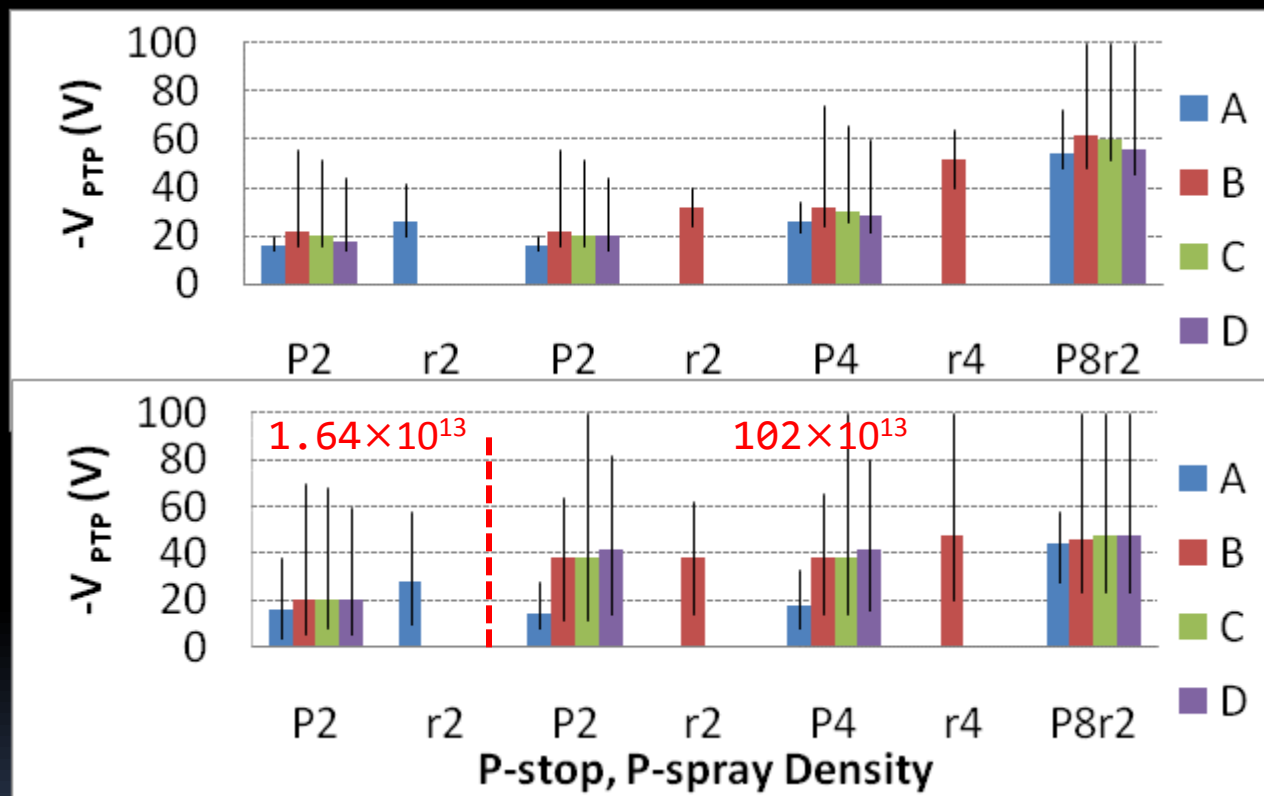
中心値 $50\%R_{bias}$

幅 $10\%R_{bias}, 90\%R_{bias}$

Punch Through Protection

絶縁膜の耐圧100V以下でPTPを達成したい

照射前



照射後

Isolation構造の違いによって差が出ている
 Aタイプのものが幅が狭くPTPしやすい
 今後、AタイプがPTPしやすい理由を理解する必要がある

まとめ

SLHC用P型シリコン検出器の放射線耐性を陽子線照射により評価した

I-V

1×10^{13} 1MeV n_{eq}/cm^2 程度の照射を受けると V_{bias} 1000Vまでマイクロ放電しなかった

Isolation

高濃度(P-stop: 8 or $10 \times 10^{12}/cm^2$)のサンプルなら照射量 1×10^{15} 1MeV n_{eq}/cm^2 まで安定して数10VでIsolationを達成できた

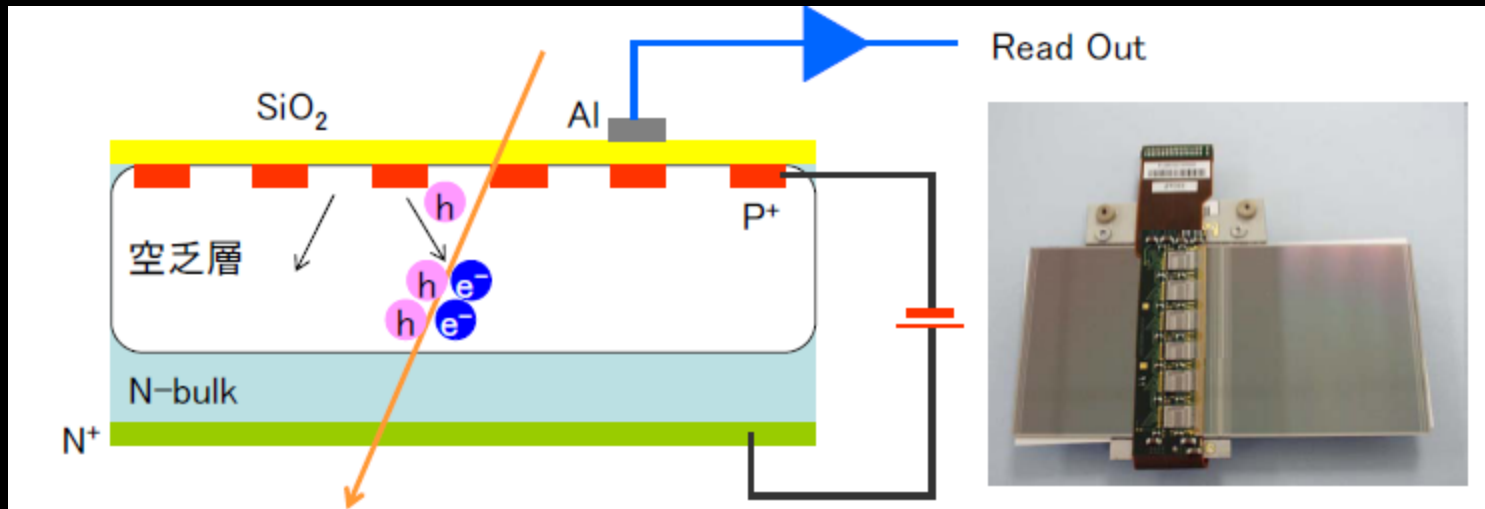
PTP

Isolation構造の違いによってPTP達成電圧に差が出ていたAタイプのものが最もPTPしやすく絶縁膜保護の見込みがある今後、AタイプのものがPTPしやすい理由を理解する必要がある



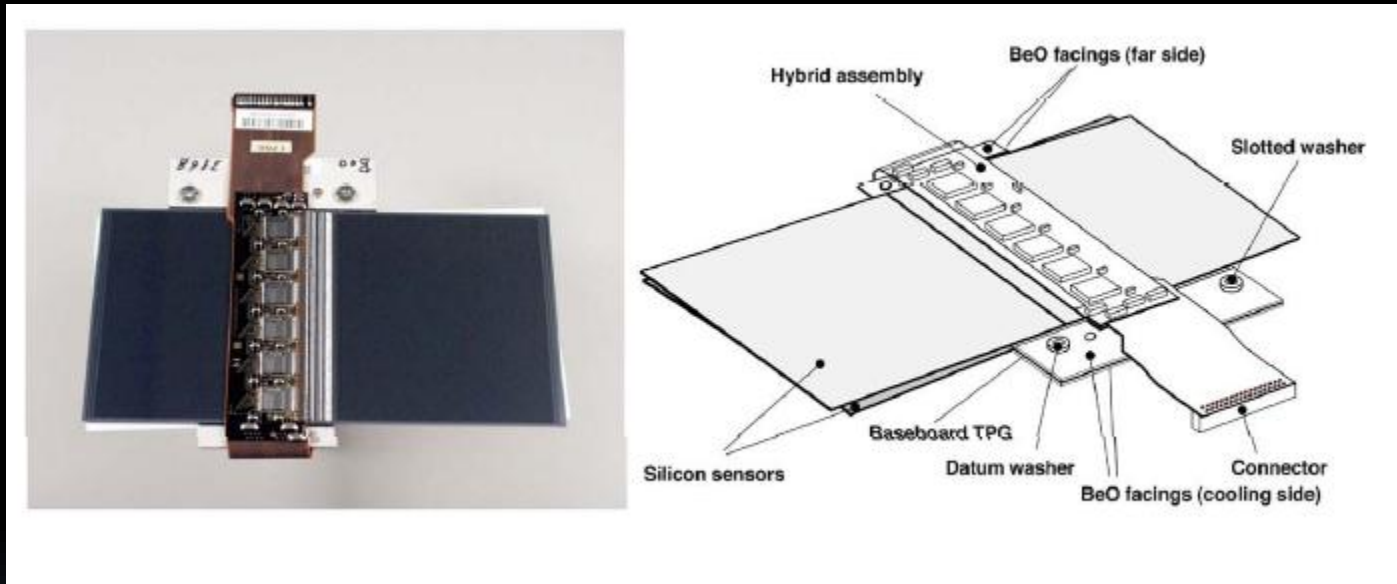
Backup

Semiconductor Tracker (SCT)



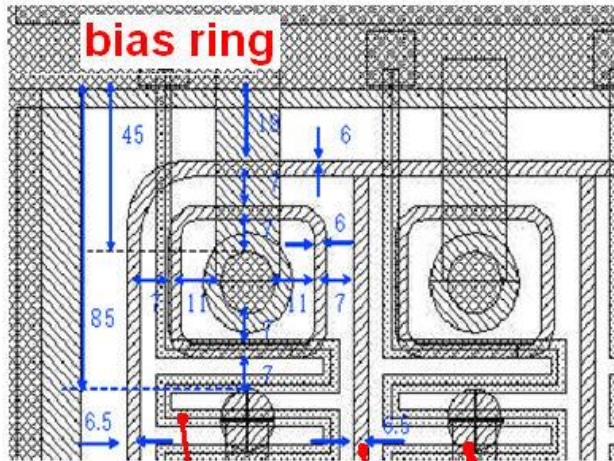
- 1: 逆バイアスをかけ、空乏層を広げ信号を増やす
- 2: 空乏層に電荷を持った粒子、または十分なエネルギーを持った光子が入射すると電子・正孔対が生成される
- 3: 電場によってキャリアが読み出しストリップ側へと移動する
パルス信号はアンプにピックアップされる
- 4: アンプの信号から電極のピッチに対応した、位置情報が得られる

SCT



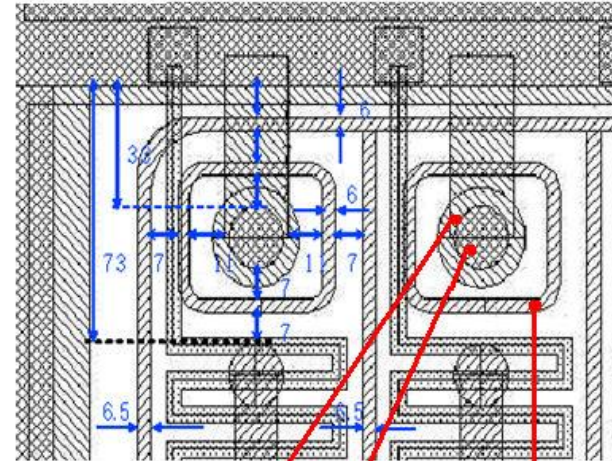
Punch Through Design

Z4-A



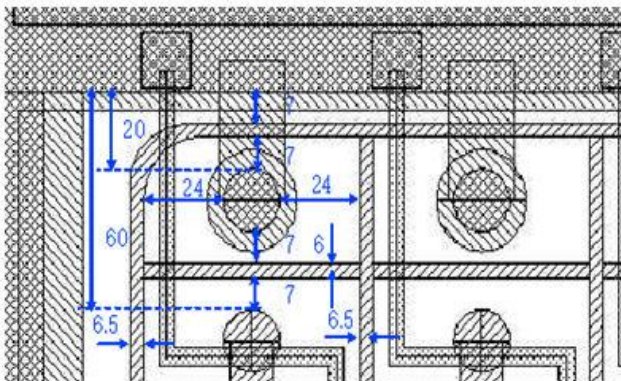
bias resistor p-stop strip n⁺

Z4-B

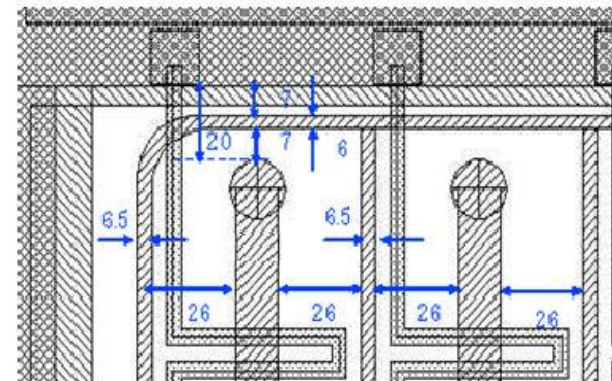


aluminum n⁺ p-stop

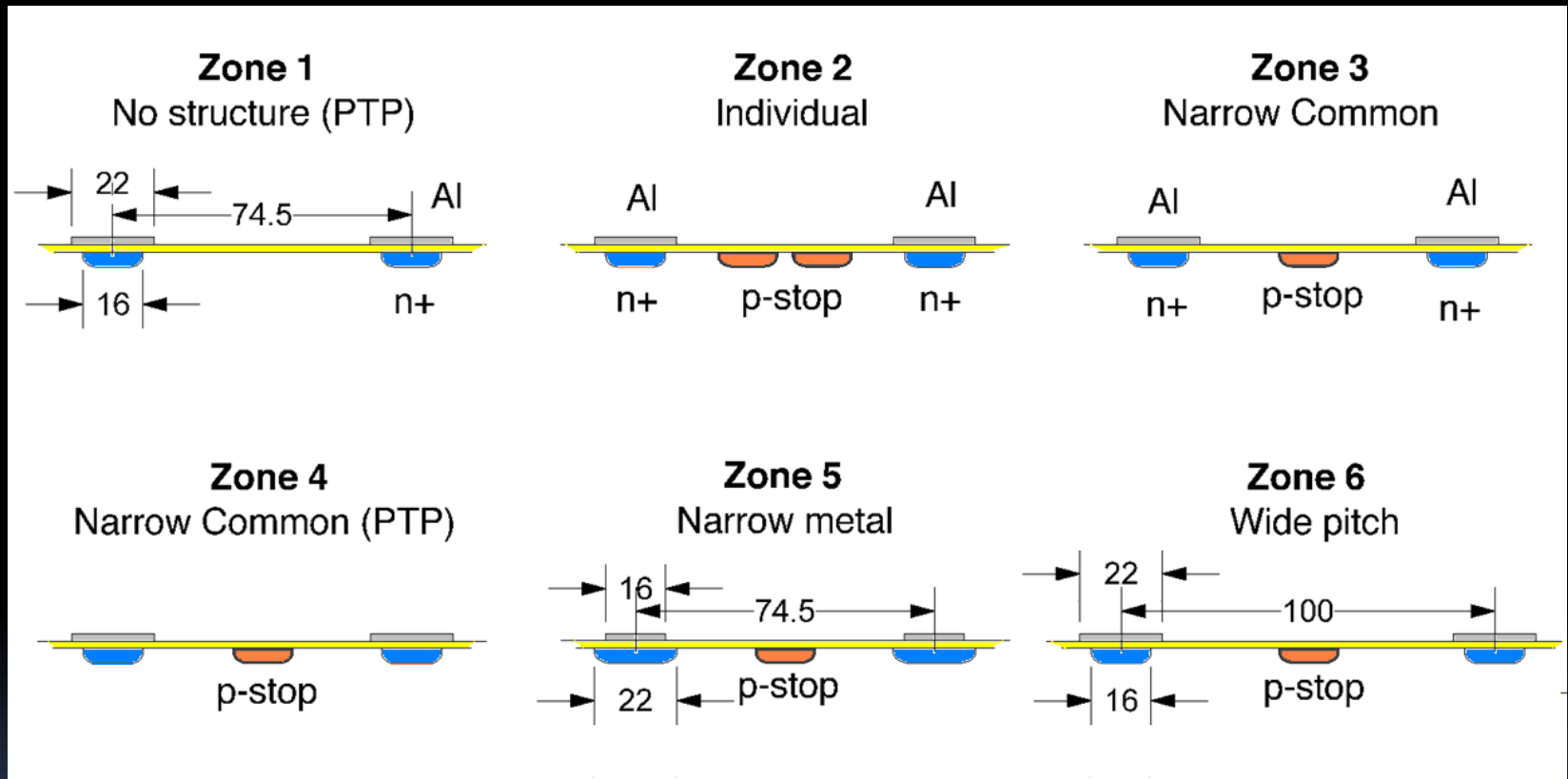
Z4-C



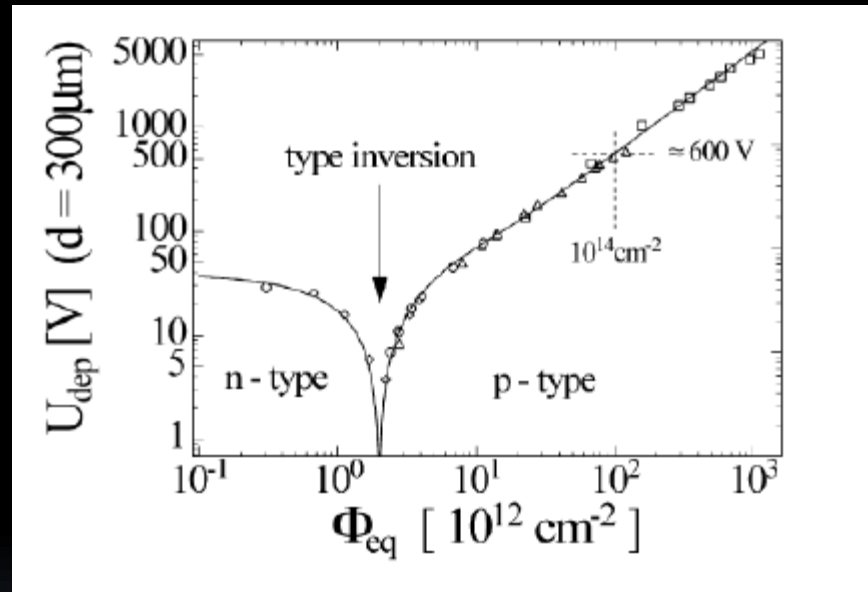
Z4-D



Isolation Structure



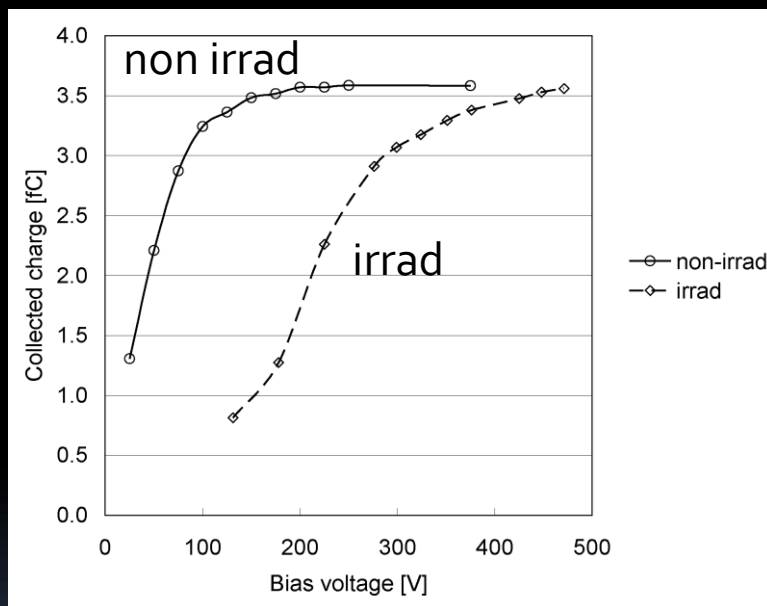
Type Inversion



RD50

Charge Collection

p-in-n sensor



Beamtest at KEK
IEEE TNS 49 (2002) 1868

Luminosity $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

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