

# SLHC実験に用いる高放射線耐性P型シリコンマイクロストリップセンサーの開発

## 筑波大学 高橋 優

金信弘, 原和彦, 永井康一, 濱崎菜都美, 大宮唯(筑波大)  
池上陽一, 海野義信, 寺田進, 東城順治, 近藤敬比古(KEK)  
中野逸夫(岡山大), 高嶋隆一(京都教育大), 花垣和則(阪大)  
陣内修(東工大), 寄田浩平(早大) 他アトラスSCTグループ

# Super LHC実験

- LHC実験(2009~)
    - >14TeV pp衝突型加速器
    - >瞬間最高ルミノシティ  $1 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
  - sLHC実験(2020~??)
    - >LHC実験のupgrade計画
    - >瞬間最高ルミノシティ  $5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
    - >ATLASの内部飛跡検出器を全てシリコン検出器に
    - >現行のSCTシリコン検出器は、より放射線耐性が優れたものと交換
- 浜松ホトニクス社のマイクロストリップセンサーに放射線を照射して、電気特性を測定・評価し、sLHC実験に最適な高放射線耐性のセンサーを開発する

# シリコン検出器の放射線耐性

現SCT **p<sup>+</sup>-on-nセンサー**

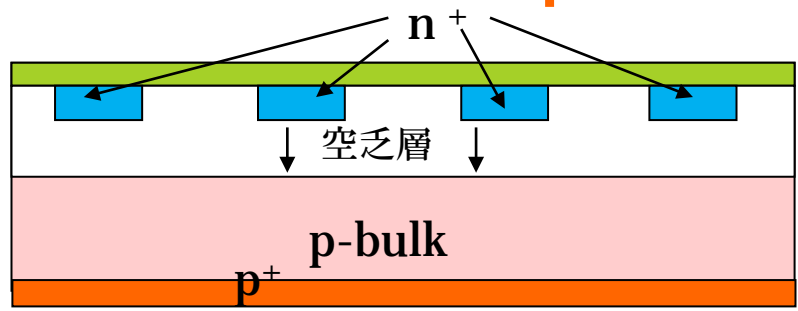


・信号を分離して読むには全空乏化する必要がある

現SCT 放射線量  $2 \times 10^{14}$  1-MeV  $n_{eq}/cm^2$  (LHC10年分) で  
全空乏化電圧はSCTの最高運転電圧(耐圧)の500Vに達する

→ 放射線量上がるsLHCでは同様の設計のものは使用できない

sLHC **n<sup>+</sup>-on-pセンサー**



- ・型反転しないので、常にストリップ面から空乏化。
- ・耐圧を超えたら、部分空乏化状態で作動。

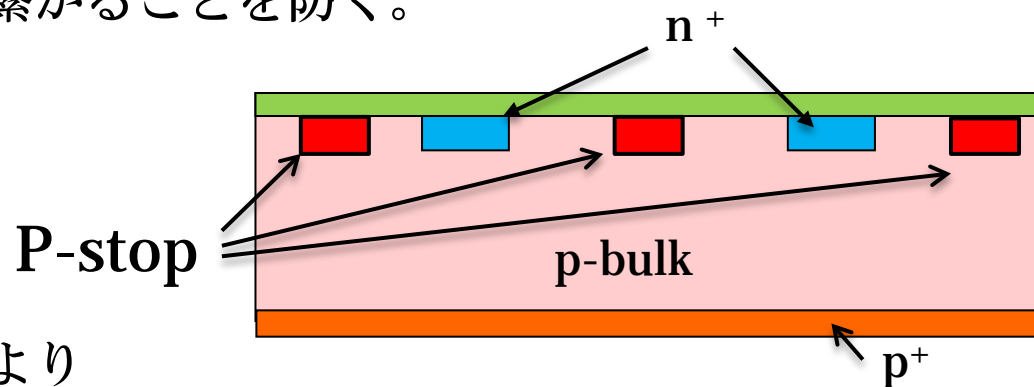
# P型シリコン検出器の開発

## P型センサーの主な問題と解決

**高純度P型Siウェハ**： センサー品質の高純度シリコンがあるか？

**電極分離**： P型センサーでは酸化膜SiO<sub>2</sub>にホールが蓄積され、可動性の電子層がSi界面に蓄積しやすい⇒電極間の信号分離が劣化してしまう。

解決策として、n<sup>+</sup>電極の間にp-stopをおき、電子の移動を遮断しストリップ間が電氣的に繋がることを防ぐ。



## センサー評価

昨年までの放射線耐性試験より

- P型バルクがN型と同等の性能（暗電流の増加など）を示す
- 収集電荷量は照射後も約50%あり、十分なS/Nを達成できる
- 照射による全空乏化電圧の変化も許容できる
- ストリップ間が電氣的分離も達成できる

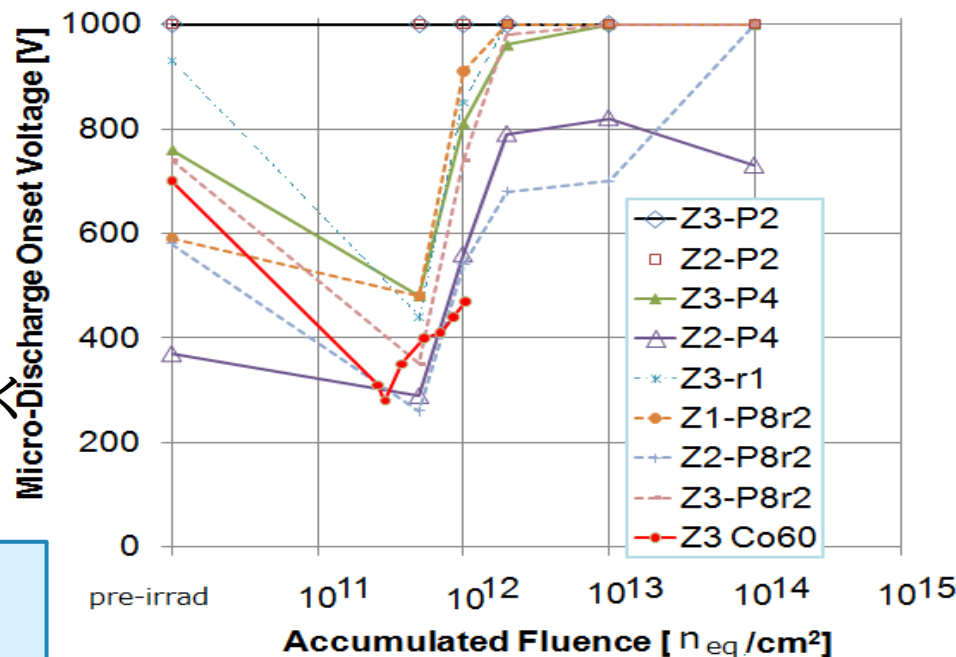
➡ p型バルクセンサーはSuper-LHCでの線量( $5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ )に十分な耐性があると判断された。

# 本研究の目的

但し、低い放射線量 ( $1 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ ) では、一旦ブレイクダウン電圧が劣化する。また、その状態での電極の信号分離 (Isolation) が十分であるかは不明

低線量での劣化は、バルクの損傷ではなく表面への電荷蓄積の効果と考えられる  
⇒  $^{60}\text{Co}$ による $\gamma$ 線照射により評価する

1. 低線量でのブレイクダウンの詳細 (MDは空乏化電圧より常に高いか?)
2. 低線量での電極分離の変化の詳細
3. これらの特性が2種類のP型バルク (FZ1 とFZ2\*) で違いがあるか



ブレイクダウン電圧 (MD) の線量依存性 (陽子照射と $^{60}\text{Co}$ 照射)

に着目して、線量率 0.02-1kGy/hの $\gamma$ 線を照射しながら特性を評価する

\*FZ2は通常品質、FZ1は欠陥の少ないもの

## Co( $\gamma$ 線)照射

原子力研究開発機構@高崎で0.02~1kGy/hで照射しながらIV特性, Isolation達成電圧を測定した。

sLHC : 0.05kGy/h @R=30cm

# 評価項目

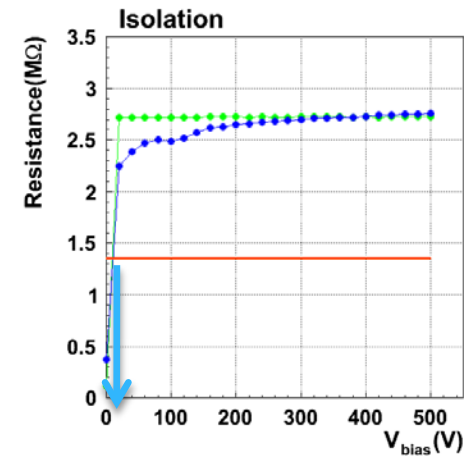
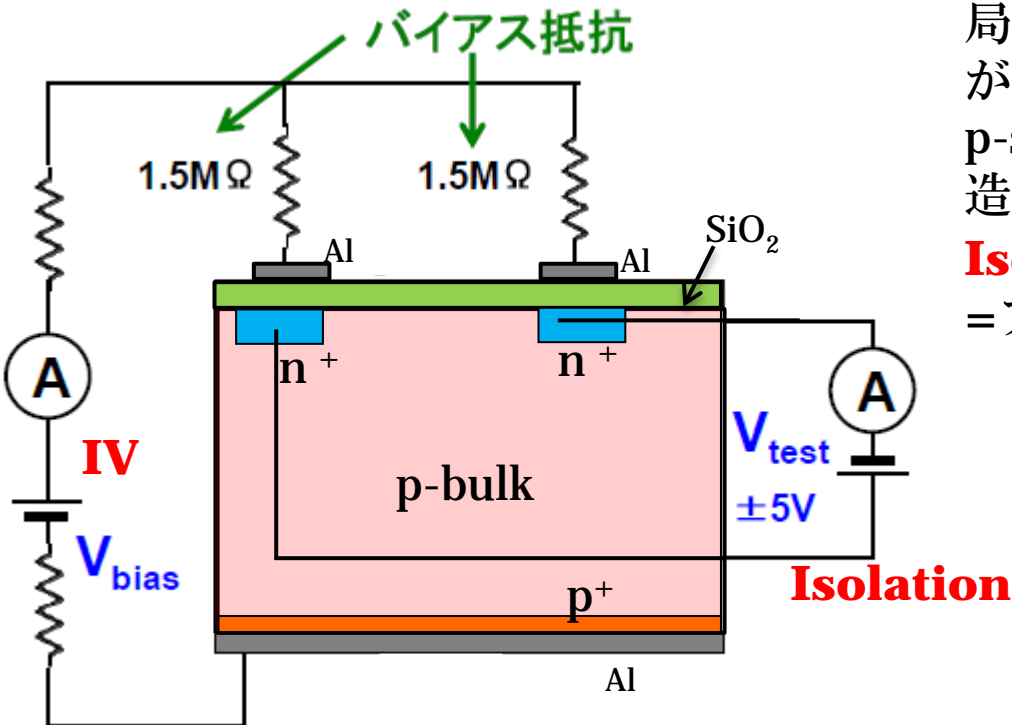
- IV特性->マイクロ放電の発生があるか
- Isolation->ストリップ間が電氣的に分離しているか

## 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(電極分離構造)のような構造が入ると起こりやすい。

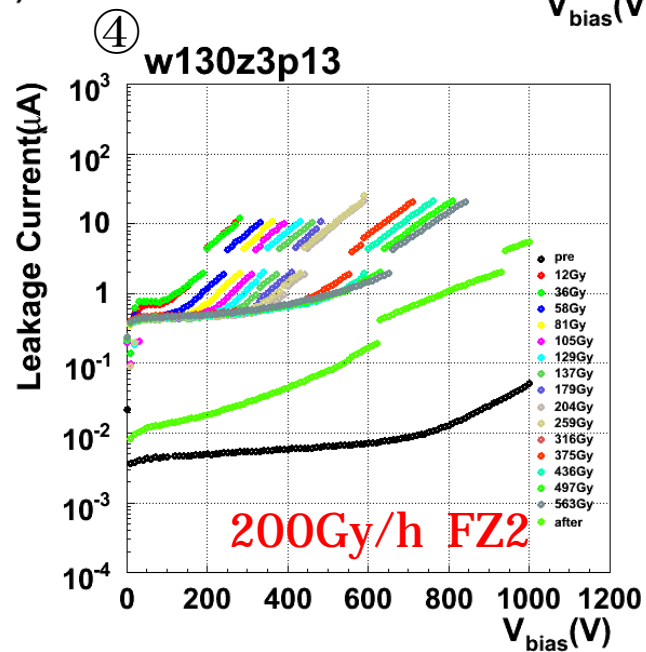
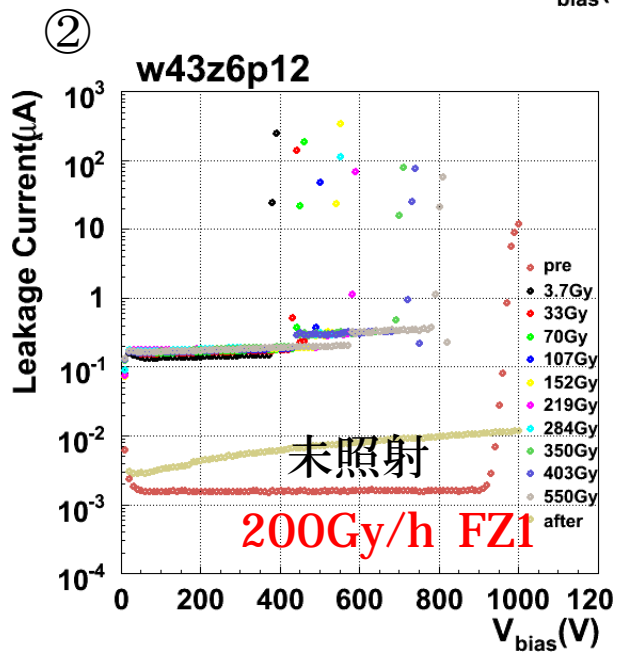
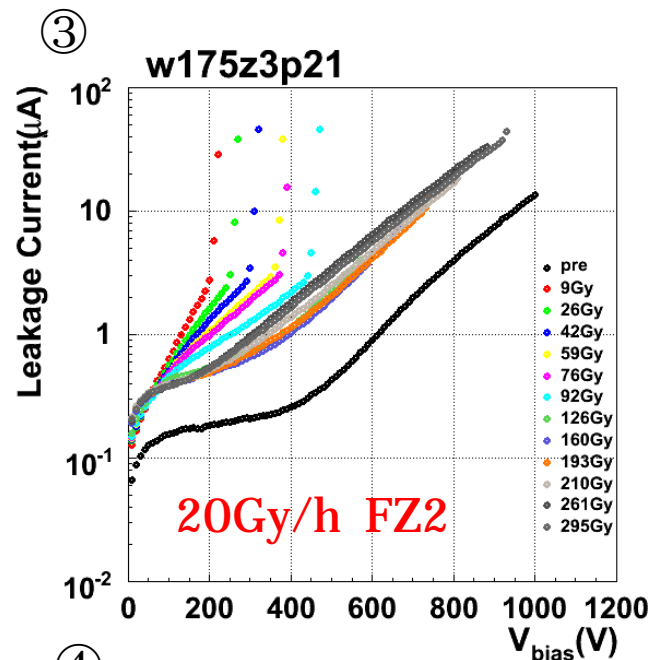
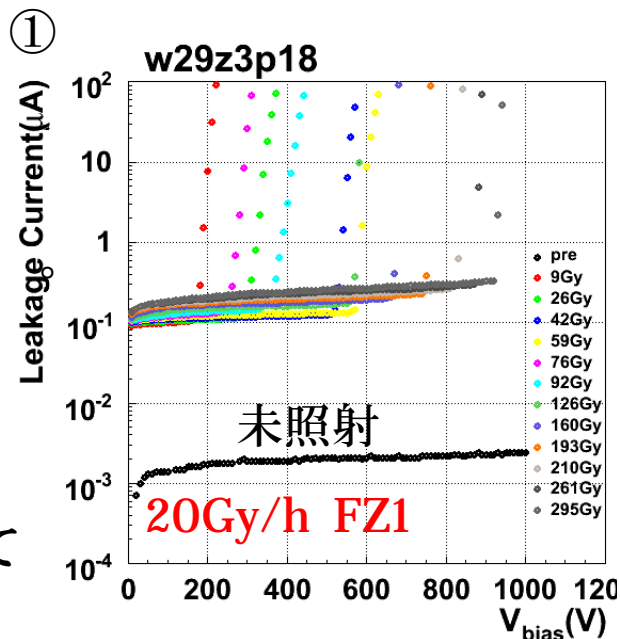
## Isolation達成電圧の定義

=プラトー領域(ほぼバイアス抵抗値)の50%になる電圧



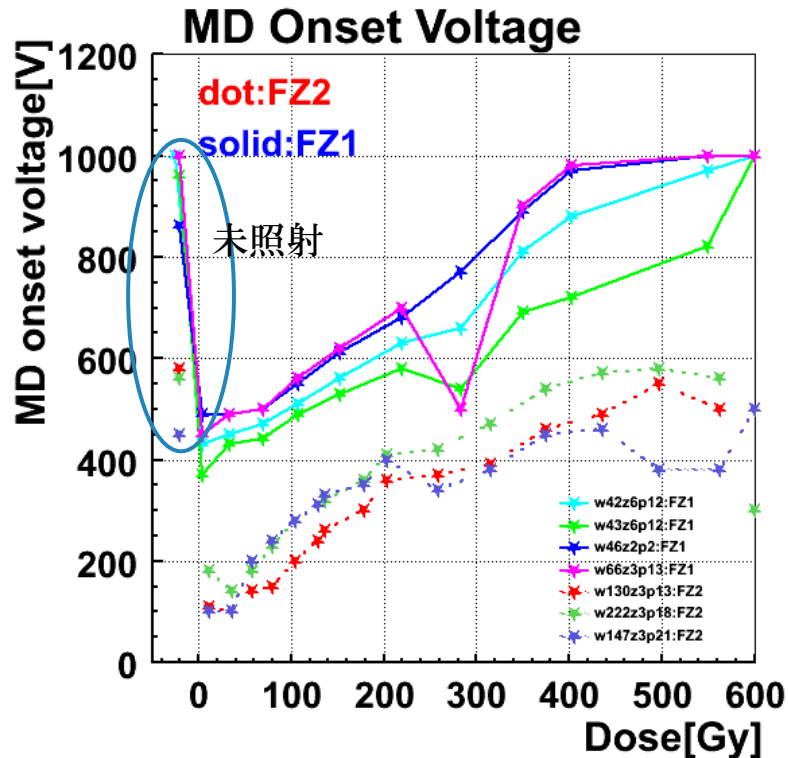
# IV測定例

- ①: 照射前にはMDなし  
照射後は200Vまで  
下がるが、回復していく
- ②: 照射前には950VでMD  
その後400Vまで低下  
した後、回復
- ③: 照射前に400VでMD  
照射後100Vまで下がり  
回復するが未照射より  
よくなることはない
- ④: 照射前に800VでMD  
照射後100Vまで低下  
その後回復していく



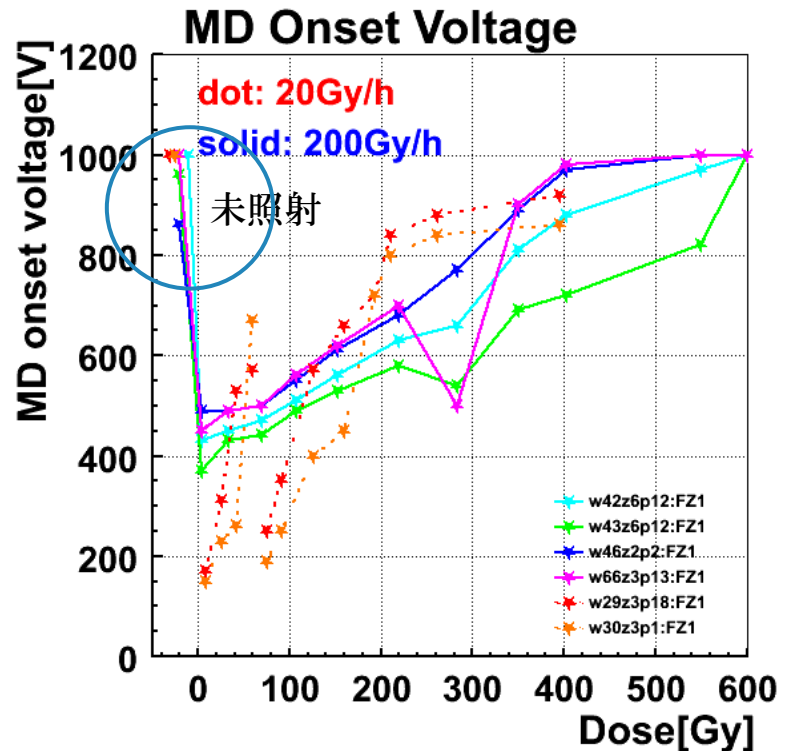
# IV測定summary

## FZ1 vs FZ2 (200Gy/h)



FZ1とFZ2で照射前のMD発生電圧の違いから絶対値に違いがあるが、照射による変化の仕方は同じである。

## 20Gy/h vs 200Gy/h (FZ1)

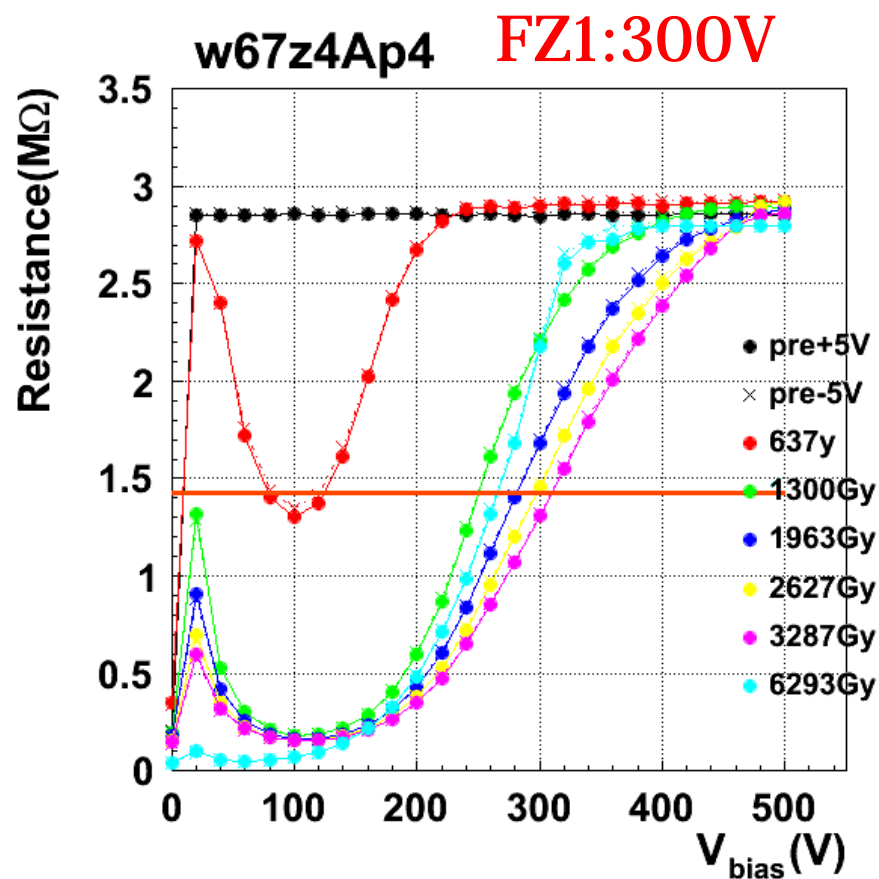
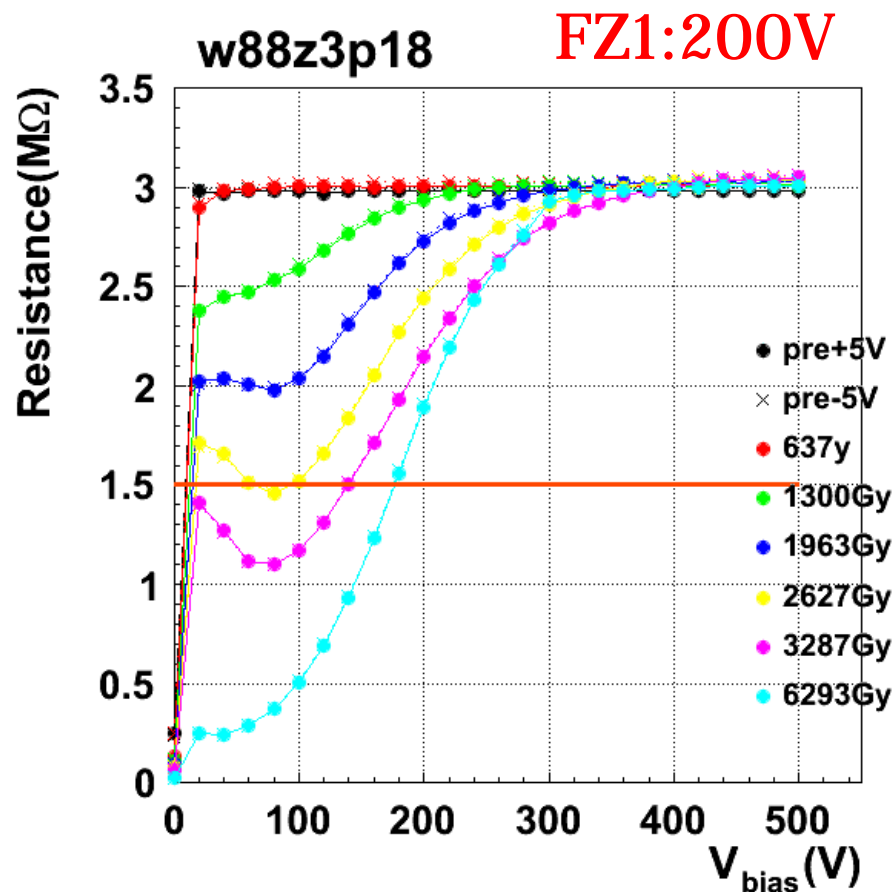


変化の仕方に照射レートによる大きな違いは見られないが、照射レートが低い方がMD発生電圧の下がり具合が大きい。

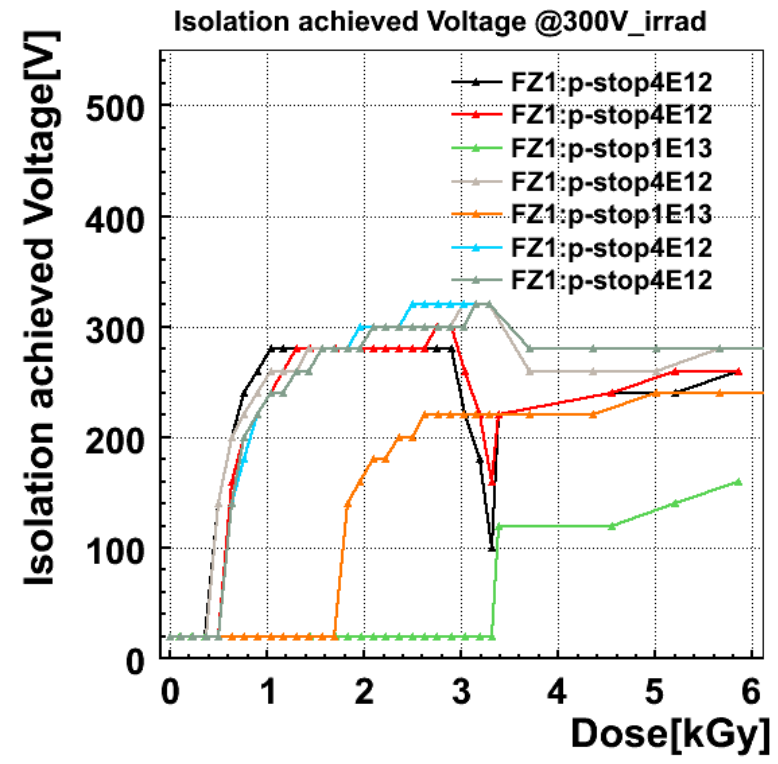
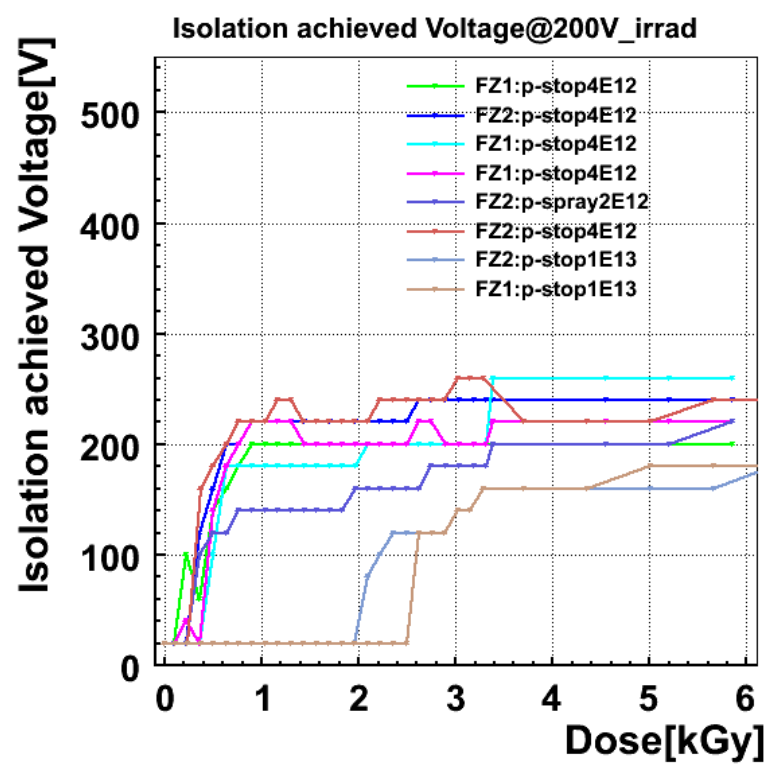


# Isolation測定例

照射中のバイアス電圧による違い



# Isolation測定Summary



- ★照射と共に悪くなるが、1kGy程度で落ち着き照射電圧を超えることはほぼない。
- ★バイアス電圧が低いほうがIsolation達成電圧が低い。
- ★電極分離構造濃度が濃い方がある程度の照射量までIsolation達成電圧が低い、最終的には電極分離構造濃度にほぼ依らない結果になる。

# Summary

開発中のp型シリコンマイクロストリップセンサーにCo( $\gamma$ 線)を照射し、低照射量での特性変化を評価した。

## IV測定

FZ1とFZ2では初期電圧に違いが見られたが、照射による変化の様子に顕著な違いは見られなかった。

照射レートが低い方がMD発生電圧の下がり具合が大きい。

MD発生電圧は照射とともに高くなるが、最初からMD発生電圧が低いものは照射後も大きく変わりはしなかった。

特に初期のMD発生率は、FZ2がFZ1よりも大きいので、どの程度ならば使用できるかの判断が必要。

## Isolation測定

FZ1とFZ2の顕著な違いは見られなかった。

バイアス電圧による依存性があると考えられる。

電極分離構造による違いは照射量が高くなるとなくなる。