

# SuperLHC ATLAS実験のための 高放射線耐性シリコン検出器の開発

## 目黒立真

原和彦、丸山和純、望月亜衣、秦野博光（筑波大 数理）

池上陽一、海野義信、高力孝、近藤敬比古、寺田進（高工研）

中野逸夫、田中礼三郎、美馬覚、内藤大輔、岡本敦志（岡山大 自然）

高嶋隆一（京都教育大）、花垣和則（大阪大）、大杉節（広島大）

2007/9/22

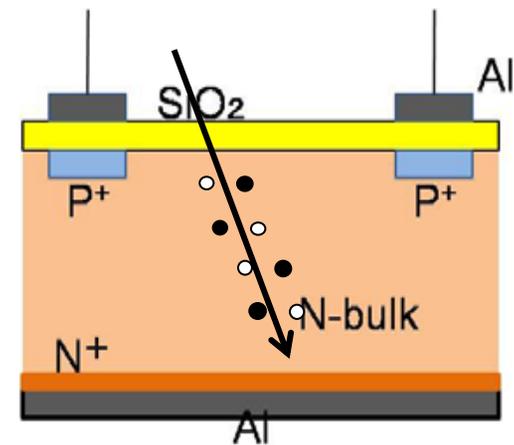
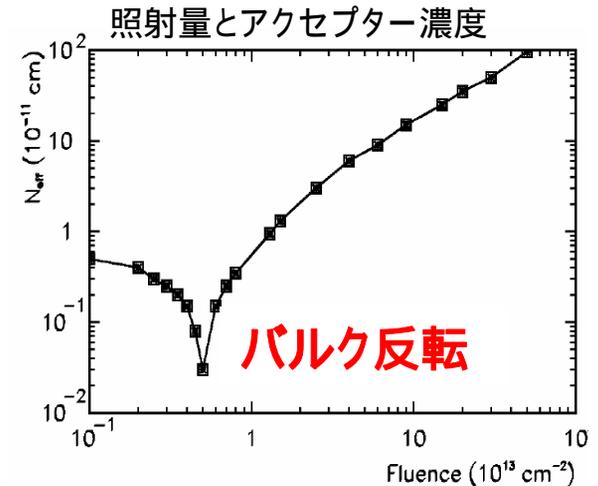
# Motivation 1

## SLHCの放射線量

- Particle fluence :  $<10^{15}$  1MeV n-eq/cm<sup>2</sup>  
(at 38cm , Integrated Luminosity : 3000 fb<sup>-1</sup>)

## 現在のSCTモジュール(Nバルク型)の問題点

- Nバルク型では放射線照射によりacceptorが増えてバルク反転(N-bulk P-bulk)が起こる。
- バルク反転後、空乏層はバルク部と下層部N<sup>+</sup>との間に広がるため、全空乏化した状態でなければ信号読み出しができない。
- 全空乏化電圧 > 500V (limit値) になるところが寿命  
( $\sim 2E14$  1MeV-neq/cm<sup>2</sup>) LHCの10年分



## 高放射線耐性のPバルク型センサーの開発

# Motivation 2

## Pバルク型の課題

照射により酸化膜 ( $\text{SiO}_2$ ) にプラスの電荷が溜まる

Pバルク部上方に電子が引き寄せられる

ストリップ間が電氣的に繋がってしまう

信号分離の劣化、ノイズの増加 SN比の劣化

- ・P<sup>+</sup> (P-stop) を埋め込む
- ・Wafer表面にアクセプターを一様散布 (P-spray) によってストリップ間を電氣的に切り離す

局所的な高電場によるマイクロ放電

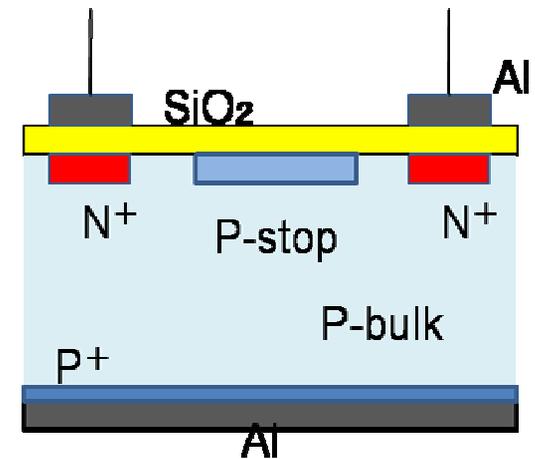


図 N<sup>+</sup>-on-P型

Pバルクを用いた安定なストリップセンサーの製造

# テストSamples (size:1 × 1cm<sup>2</sup>)

## Samples

Wafer製造法 FloatingZone (FZ),MagneticCzochralski (MCZ)

P-stopの形状

P-stop/p-sprayのDope濃度

N+インプラント電極の厚み

照射量: 5,10,20E14(1MeV n-eq/cm<sup>2</sup>)

合計 324枚 :1 × 1cm<sup>2</sup> Samples

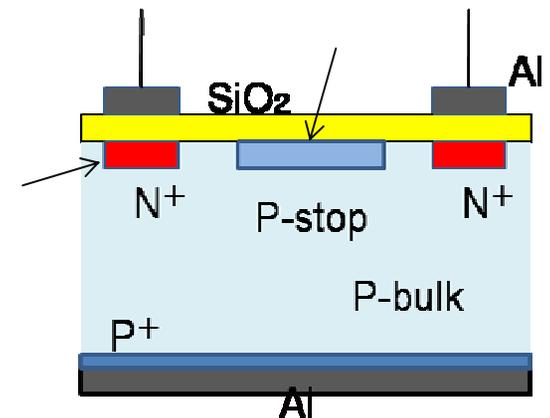
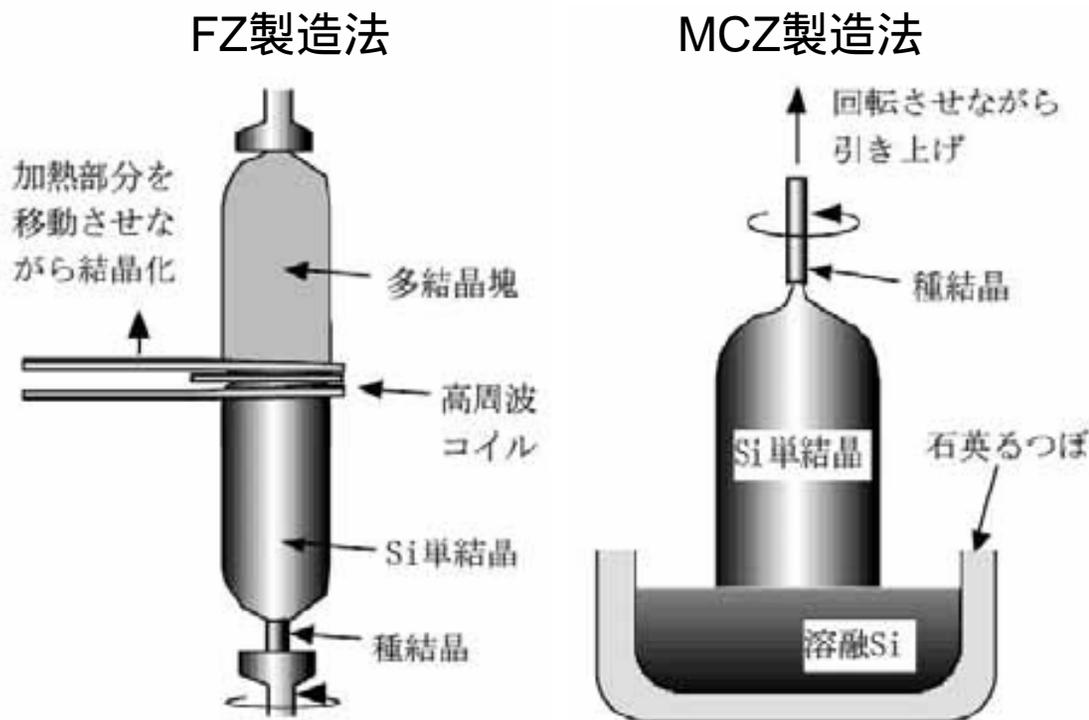


図 N<sup>+</sup>-on-P型

# FZ(FloatingZone),MCZ(MagneticCzochralski)



FZ法

高純度

抵抗:  $\sim 1.6k \cdot cm$

MCZ法

酸素濃度が高い

抵抗:  $\sim 0.8k \cdot cm$

特別なFZ製法で欠陥密度をさらに低くしたサンプル (FZ1) も用意

図 Wafer製造法

**FZ1, FZ2, MCZ : 3種類のwaferを用意  
すべて <100> の結晶方位**

# 照射試験 at 東北大学 (CYRIC)

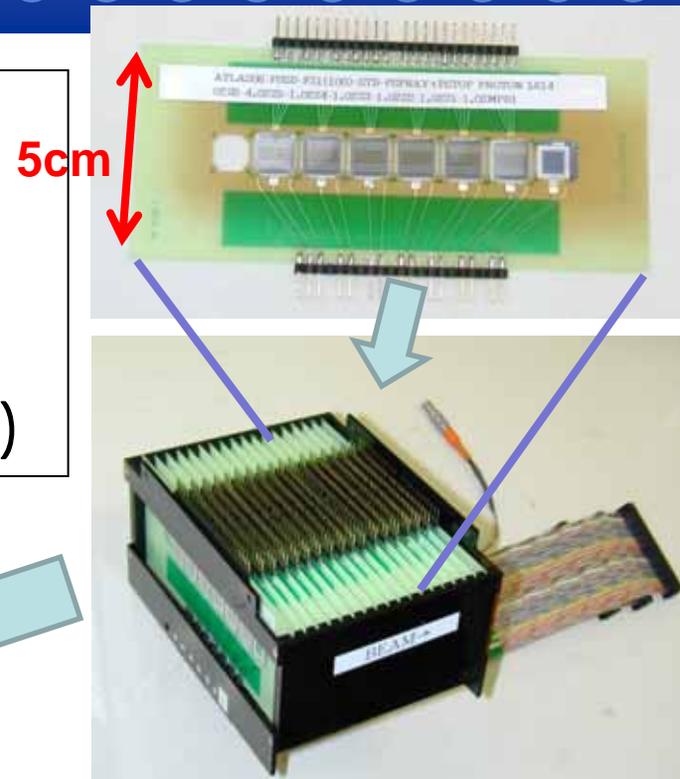
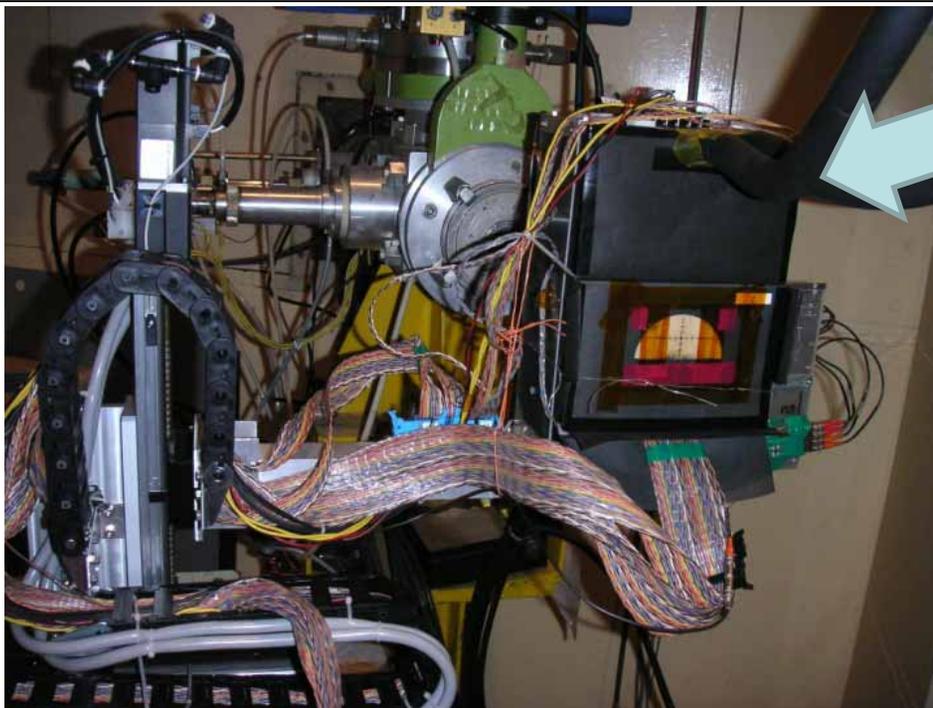
照射粒子 : 70MeV Proton

Beam spot size :

~9mm(水平方向)

~4mm(垂直方向)

Beam current : <500nA (2E15で~3h)



- 照射時はペルチェにより冷却 (-10 )
- バイアス電圧を印加
- ステージを動かして、一様に照射した

# 測定項目 & セットアップ

C-V 測定: 全空乏化電圧

I-V 測定: マイクロディスチャージ、損傷定数

ストリップ間分離電圧測定: 分離構造、濃度の評価

CCE 測定: 全空乏化電圧、収集電荷量

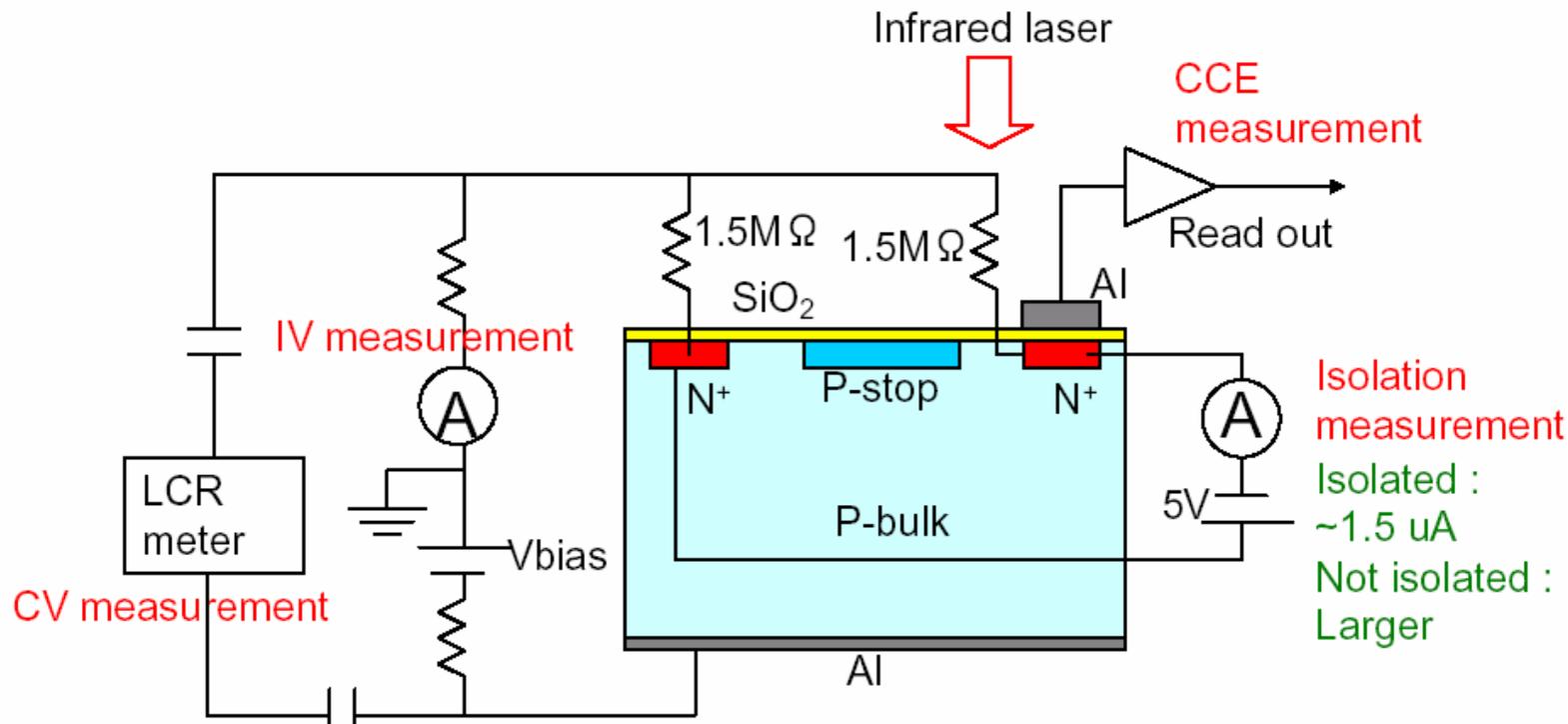


図 セットアップ: I-V, C-V, ストリップ間分離電圧測定, CCE測定

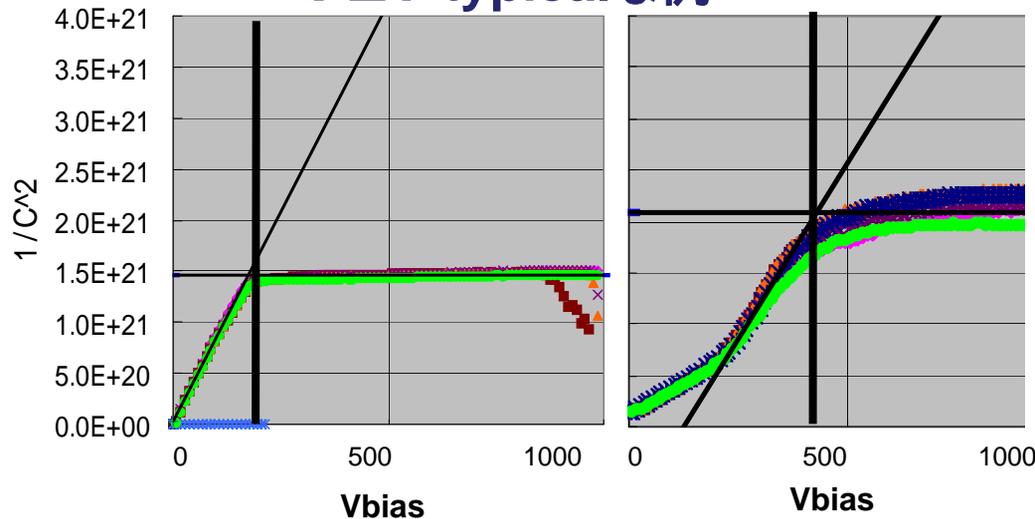
# 全空乏化電圧の変化

Measured after 80min @60 annealing

## 全空乏化電圧と照射量

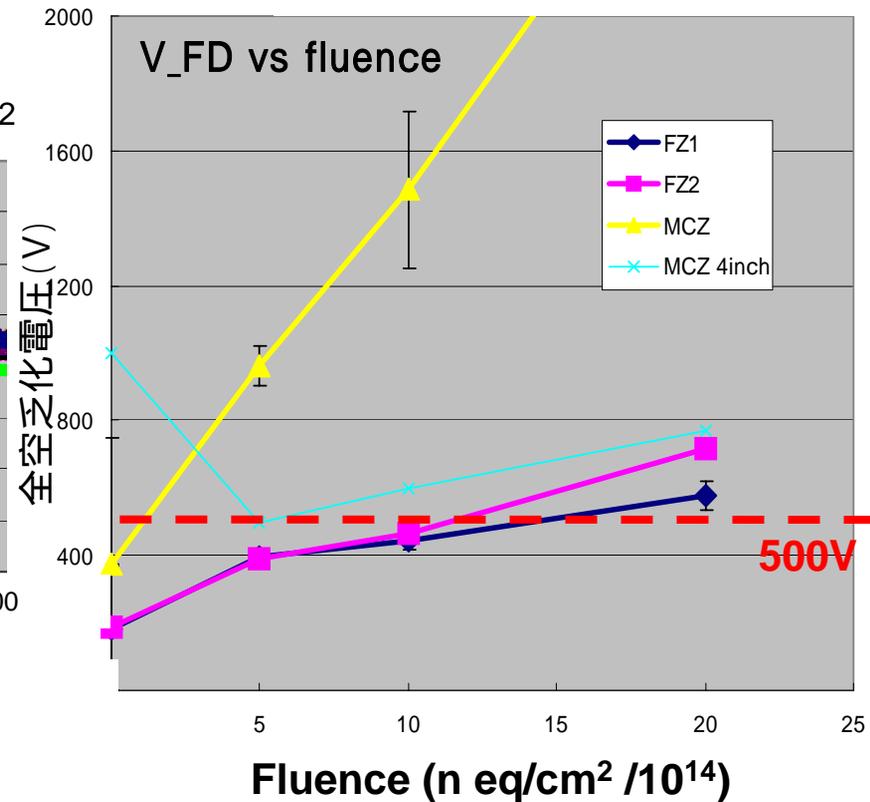
### 1/C<sup>2</sup> vs Vbias

FZ1 typicalな例 Vbias 1/C<sup>2</sup>



Non-irrad (at 20 )

10E+14(at -20 )

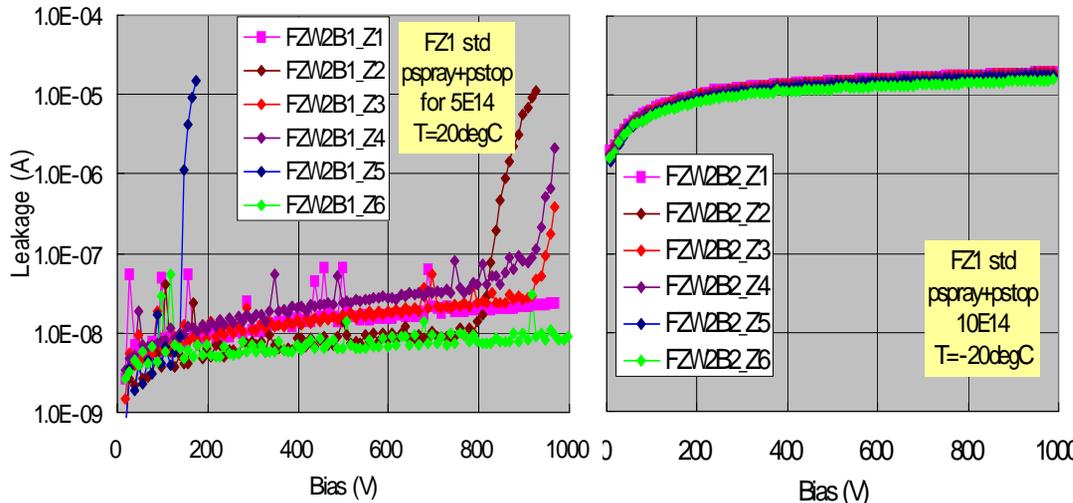


- ・照射量とともに全空乏化電圧は増加
- ・全空乏化電圧はFZ1、FZ2 << MCZ
- ・FZは照射量10E+14でもBias<500Vで運転可能

# I-V Curve before/after irradiation

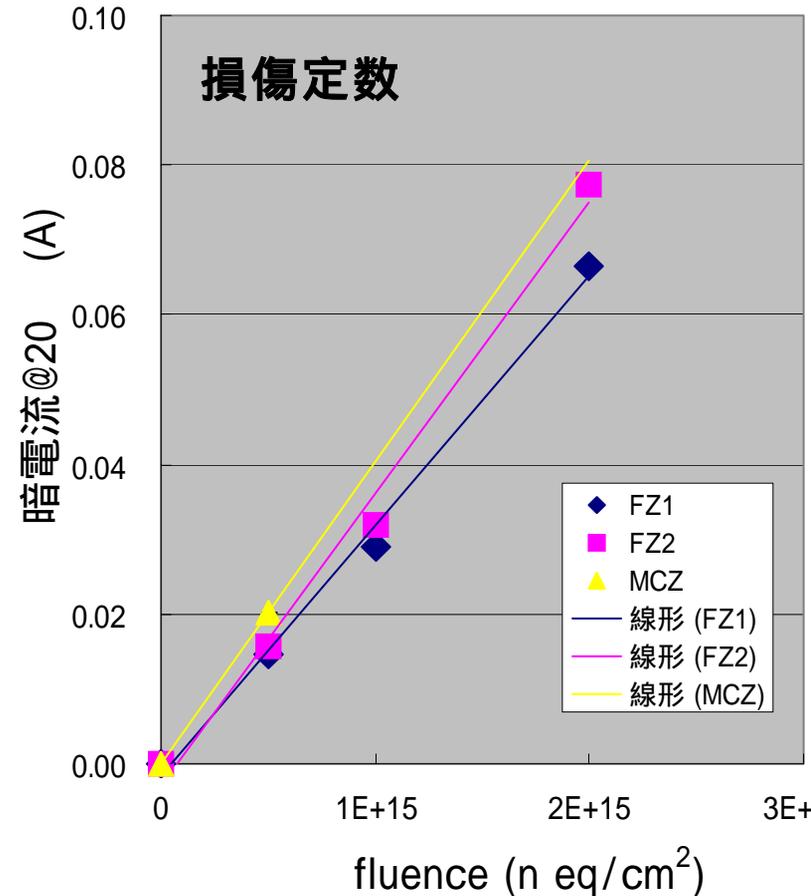
## I leak vs Vbias

### FZ1 typicalな例



**Non-irrad (at 20 )**

**10E+14 (at -20 )**

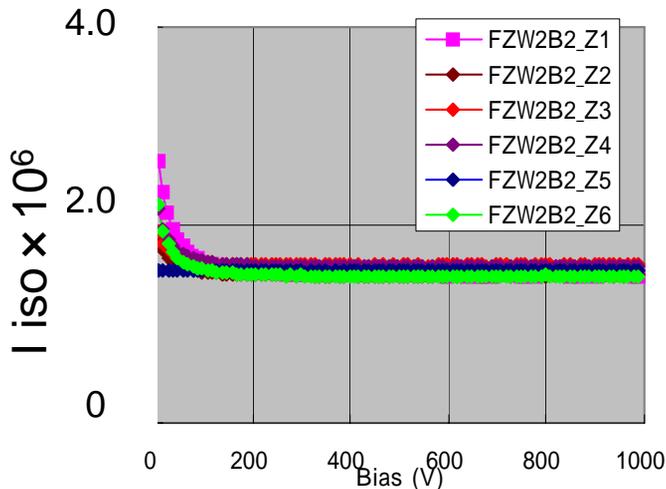


- ・照射によりマイクロディスチャージは無くなる
- ・照射量に比例してバルク暗電流値は上がる
- ・比例係数 (Damage Constant) はNバルクの値と一致する

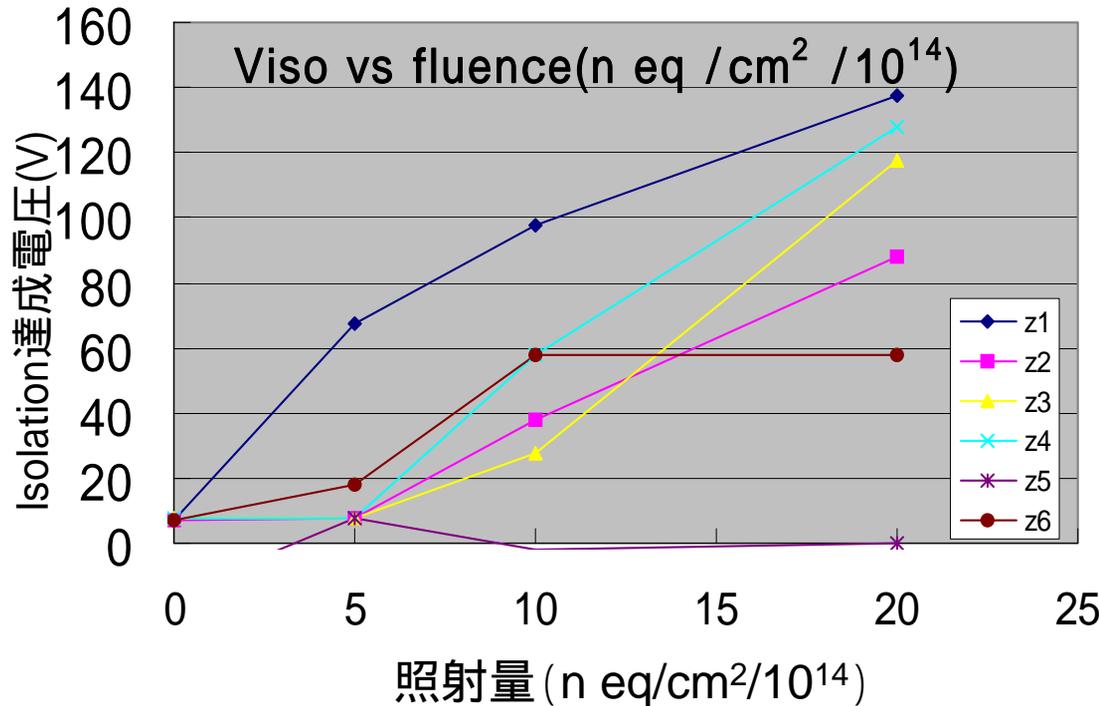
損傷定数 :  $(3.34 \sim 4.03) \times 10^{-17} \text{ A/cm}$

# Strip Isolation

## I iso vs Vbias



Plateauの10%増(約30M )になる  
点をIsolation達成電圧とする



- **すべてのサンプルでStrip Isolation電圧 < 200V**
- **Hi P-stop concentrationが最も低いBiasで分離する**
- **Isolation電圧は、MCZ < FZ1,FZ2**

## まとめ

- ・SLHC用のSCTセンサーを開発している
- ・テストサンプルに70 MeV陽子を照射し、放射線耐性のテストを行った
- ・Damage Constantの値はNバルクセンサーと一致した
- ・マイクロディスチャージは放射線の照射により消える
- ・FZタイプでは全空乏化電圧@ $10E14[1\text{MeV neq/cm}^2]$  < 500V **OK!!**
- ・すべてのサンプルでStripsolation電圧 < 200V **OK!!**



Backup

# CCE測定

## CC curves

pink: before  
blue:  $5 \times 10^{14}$   
green:  $10 \times 10^{14}$   
red:  $20 \times 10^{14}$

FZ1: smaller pulse height  
(different reflection at back side?)

