

シリコンマイクロストリップ センサーの放射線影響の評価

萩原睦人

筑波大, 阪大理^A, 高工研^B, 東工大^C

原和彦, 荒井泰貴^A, 臼井純哉, 海野義信^B, 池上陽一^B, 中村
浩二^B, 花垣和則^A, 陣内修^C, 本橋和貴^C, 他アトラス日本シリコ
ングループ

発表の流れ

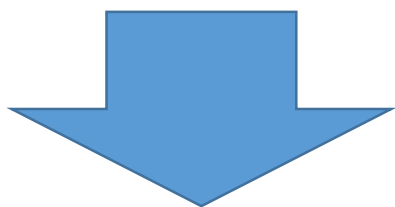


- HL-LHC
- マイクロストリップセンサー
- バルク損傷の測定
- 表面損傷の測定
- まとめ

HL-LHC

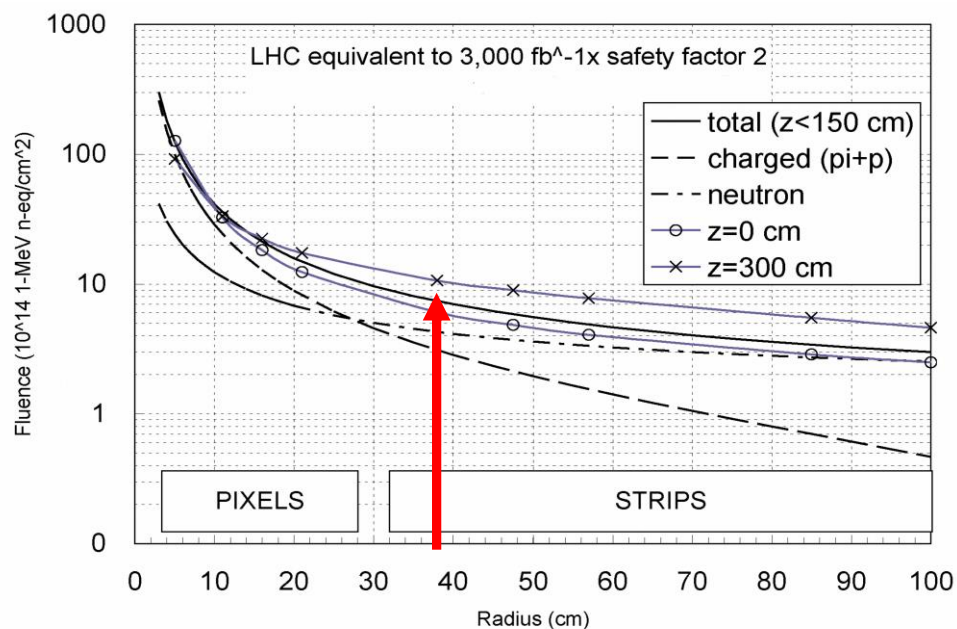


- HL-LHC(2023年～)ではATLAS検出器の内部飛跡検出器は全て半導体検出器に置き換わる
- HL-LHCの環境下ではマイクロストリップ検出器の最内層では 1×10^{15} $1\text{MeV } n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ の放射線が予想される



放射線耐性に優れた検出器の開発

1cm × 1cmのサンプルを用いて放射線に対する基本特性の測定を行う
(70MeVの陽子ビームによる照射)



マイクロストリップセンサー

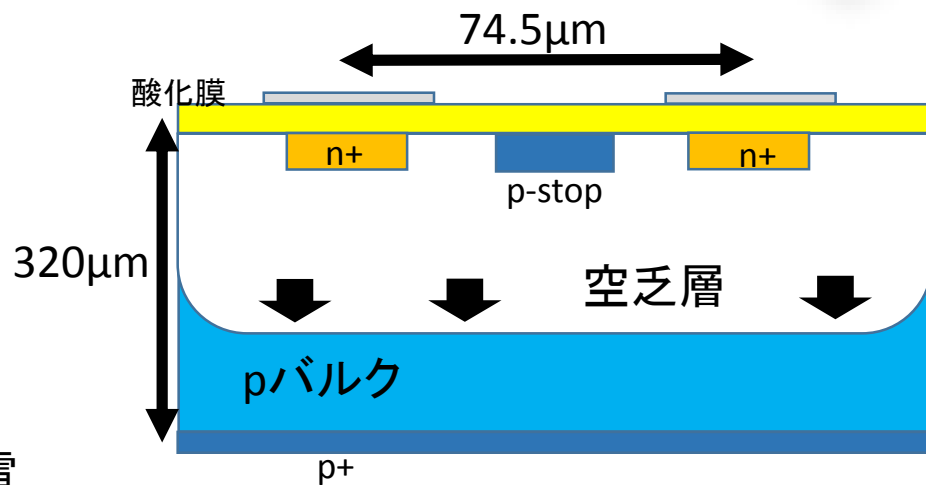


サンプル(新設計ATLAS12M)

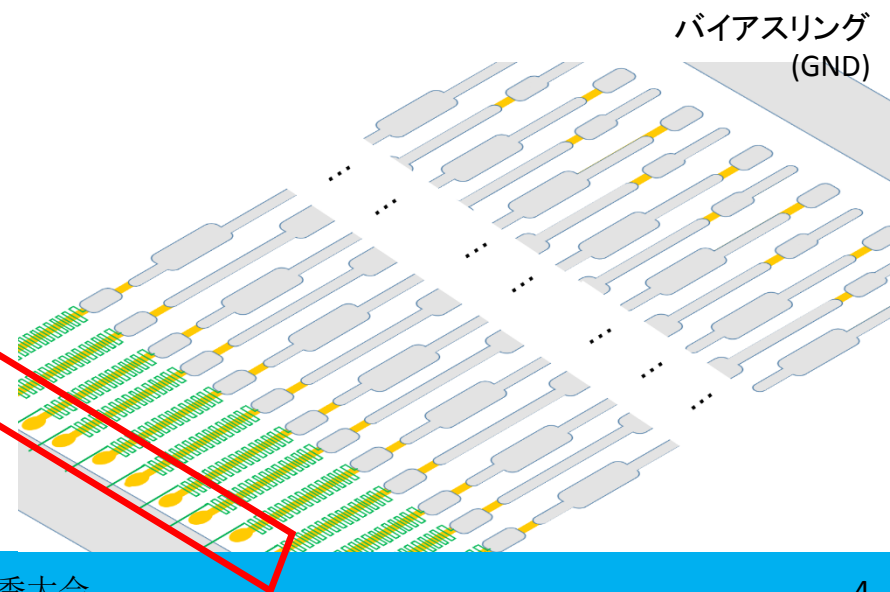
- STD/SLIM(エッジまでの距離)
- PTPへのゲート効果

測定項目

- バルク損傷
 - バルク部のリーク電流、マイクロ放電(MD)
 - 静電容量の測定による全空乏化電圧
 - 表面損傷
 - Punch Through Protection(PTP)
- 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



PTが起こる場所





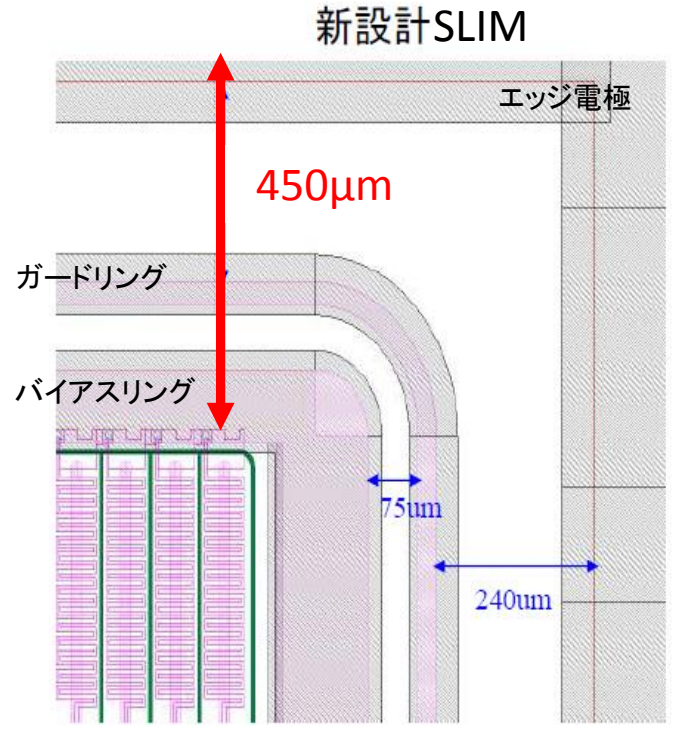
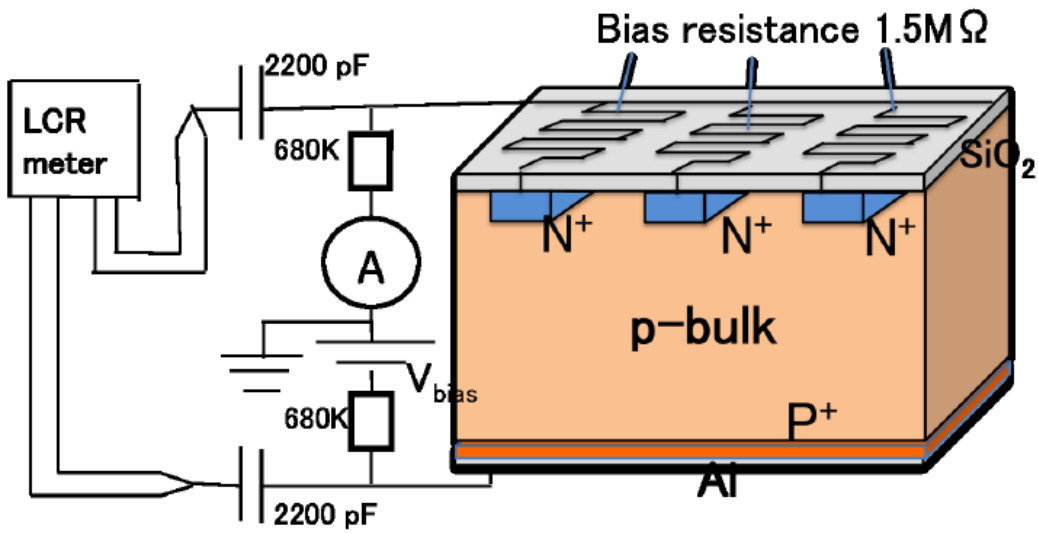
エッジ構造、SLIMとSTD

エッジまでの距離STD:910 μm →SLIM:450 μm

エッジまでの距離を短くすることにより物質量を2%減らすことができる。また、不感領域を1%小さくできる(モジュールを付き合わせるデザイン)

- 測定

エッジ構造の違いによるマイクロ放電への影響



I-V



- リーク電流

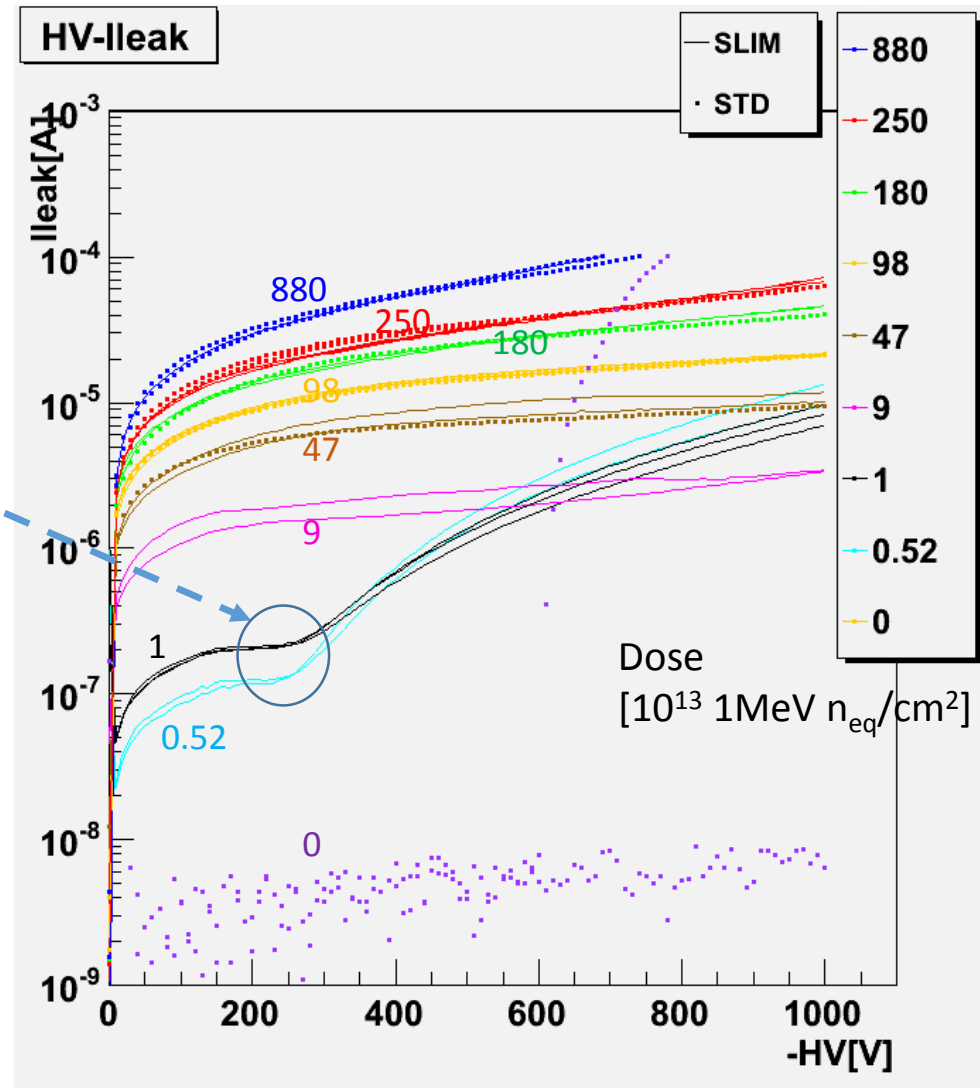
-20°Cで測定

リーク電流にはSLIMエッジによる増加は見られなかった

低い照射量では表面状態が不安定でマイクロ放電が起こる

→ATLAS07においても同様の傾向

(事実上の問題はない)



C-V



逆バイアスと静電容量

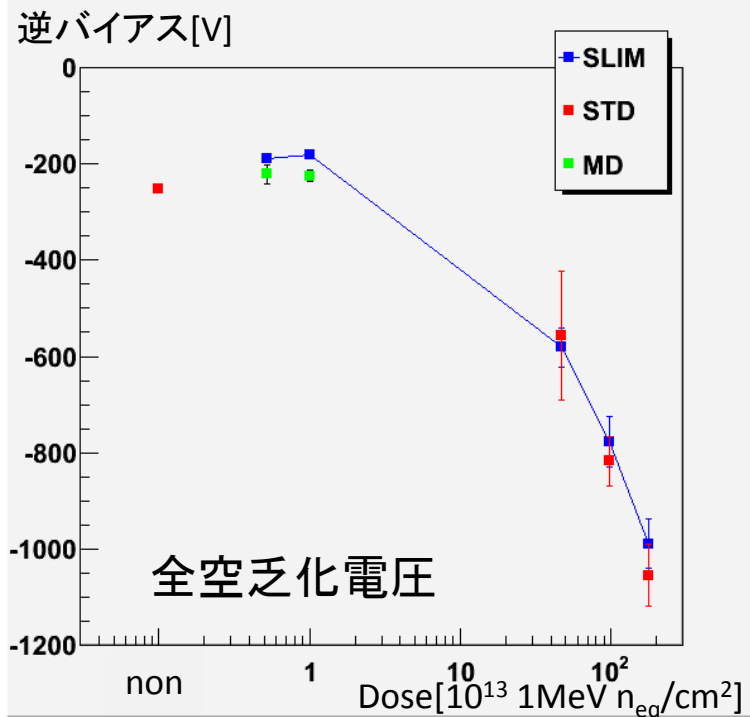
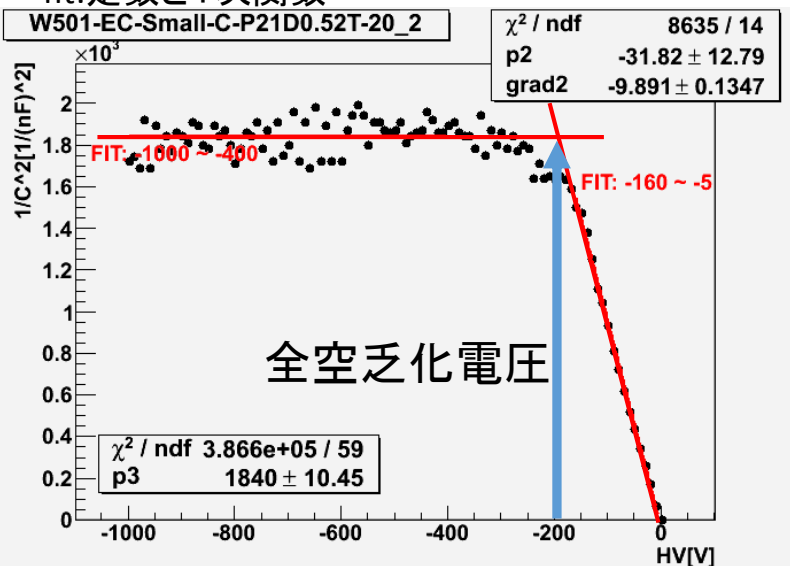
$$C = S \sqrt{\frac{e\epsilon N_A N_D}{2V N_A + N_D}} \rightarrow \frac{1}{C^2} \propto V$$

N_A : アクセプター密度、 N_D : ドナー密度、 s : 面積

電圧と $1/C^2$ が比例関係にある。

全空乏化電圧に達するとそれ以上電圧を大きくしても空乏層は広がらないため $1/C^2$ は一定になる。

fit: 定数と1次関数



- 1×10^{15} 1MeV n_{eq}/cm^2 では運転電圧である500Vで全空乏化しない
(320 μ mでは電荷量は全空乏化時の82%、ATLAS07でも同様の結果)
- 2.5×10^{15} 1MeV n_{eq}/cm^2 以上の照射量では全空乏化には1000V以上必要

パンチスルー構造

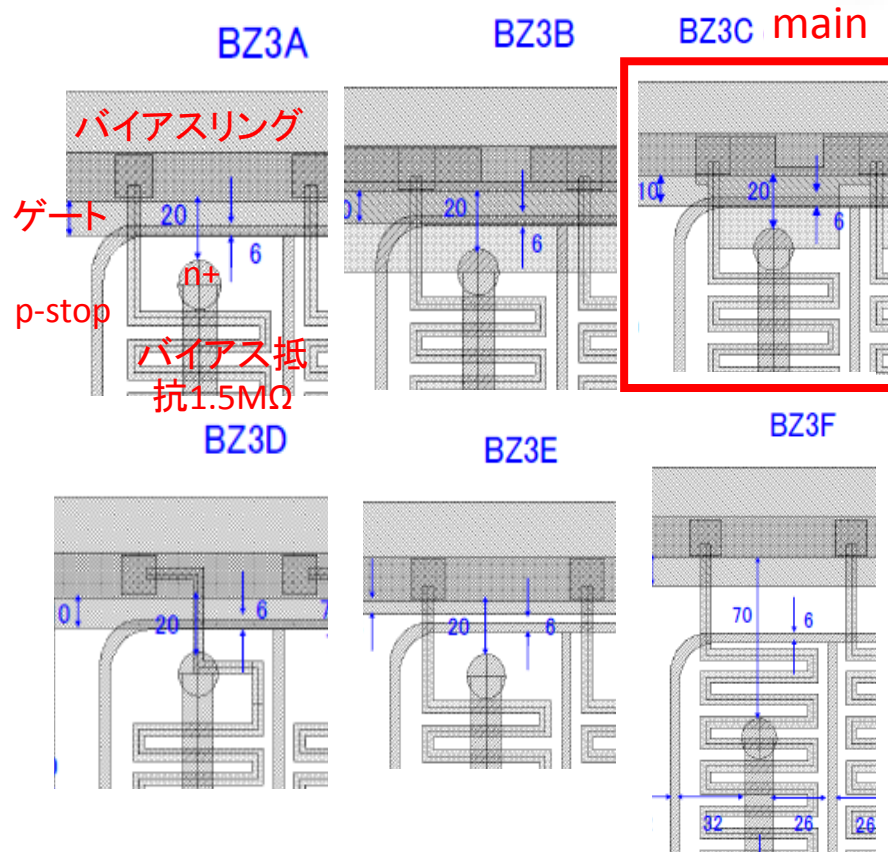
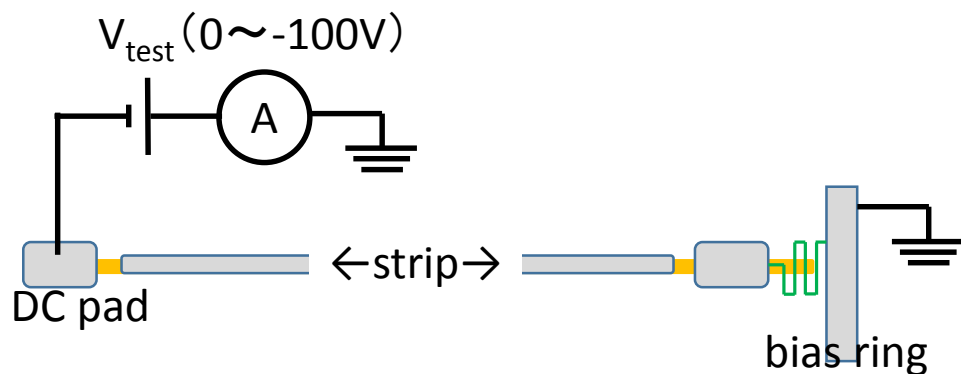


- 構造によるパンチスルー性能の放射線耐性

- PTP:酸化膜の耐圧である100V以下でPTPが機能するかを測定

6種類の構造に対してPTP電圧の測定を行った。

ストリップの最遠方にチャージが入った時を考慮し、バイアス抵抗と反対側のDCパッドから電圧を引印加した。

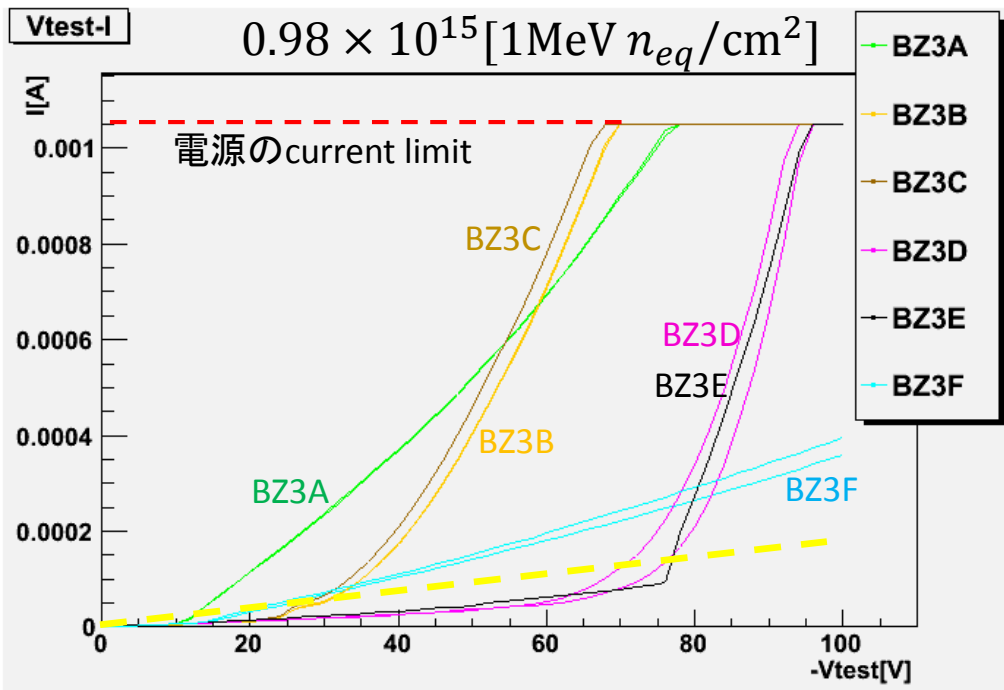
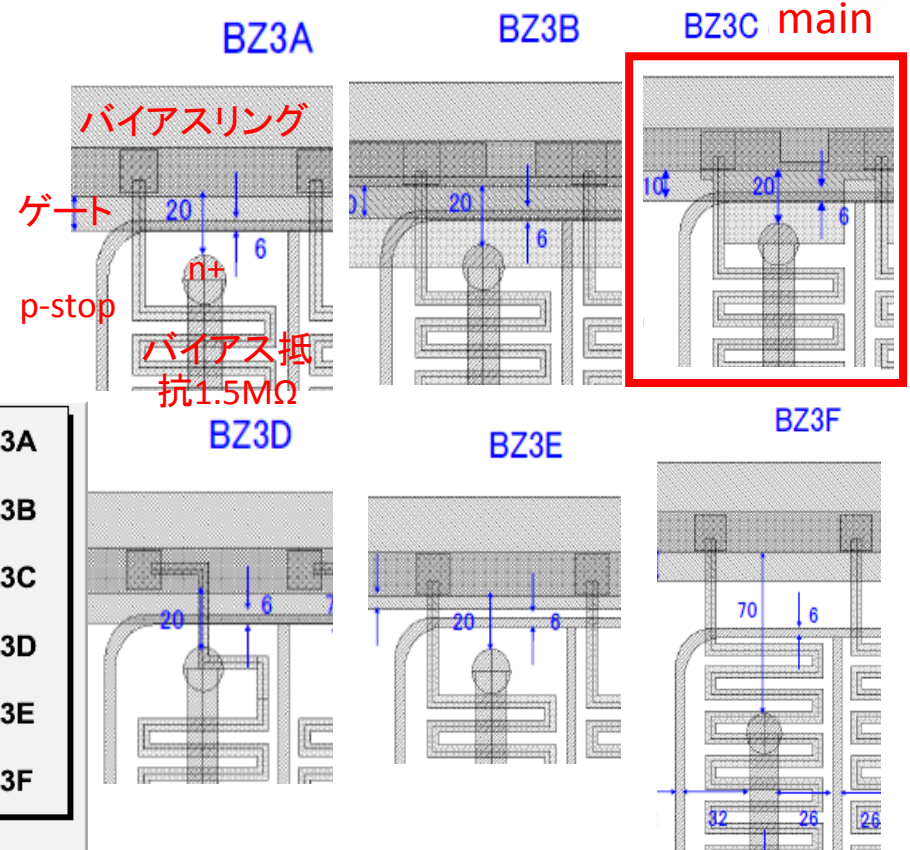


BZ3A～Eまではインプラント電極とバイアスリングの距離は20 μ m、BZ3Fは70 μ m
 バイアス抵抗1.5M Ω
 ストリップ抵抗20k Ω /cm、ストリップ長約8.1mm



Punch Through Protection (PTP)

- 構造によりI-Vの傾きに違いが見られた。
- 実効的な抵抗がバイアス抵抗(1.5MΩ)の1/2と同じになる電圧をパンチスルー電圧とした。(黄色の点線)

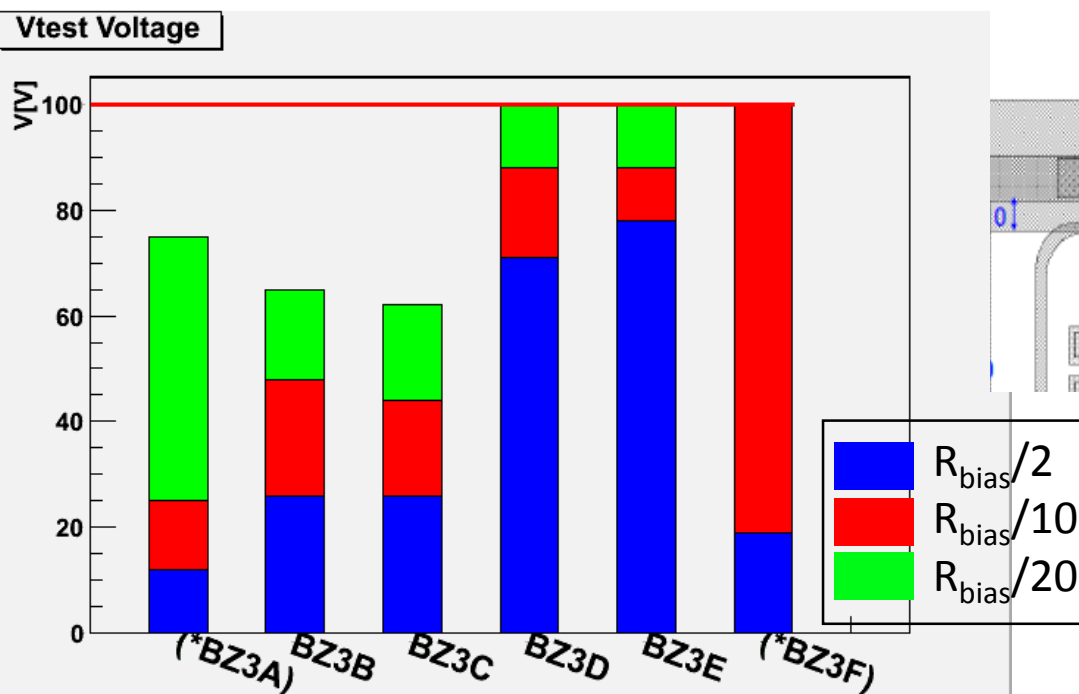
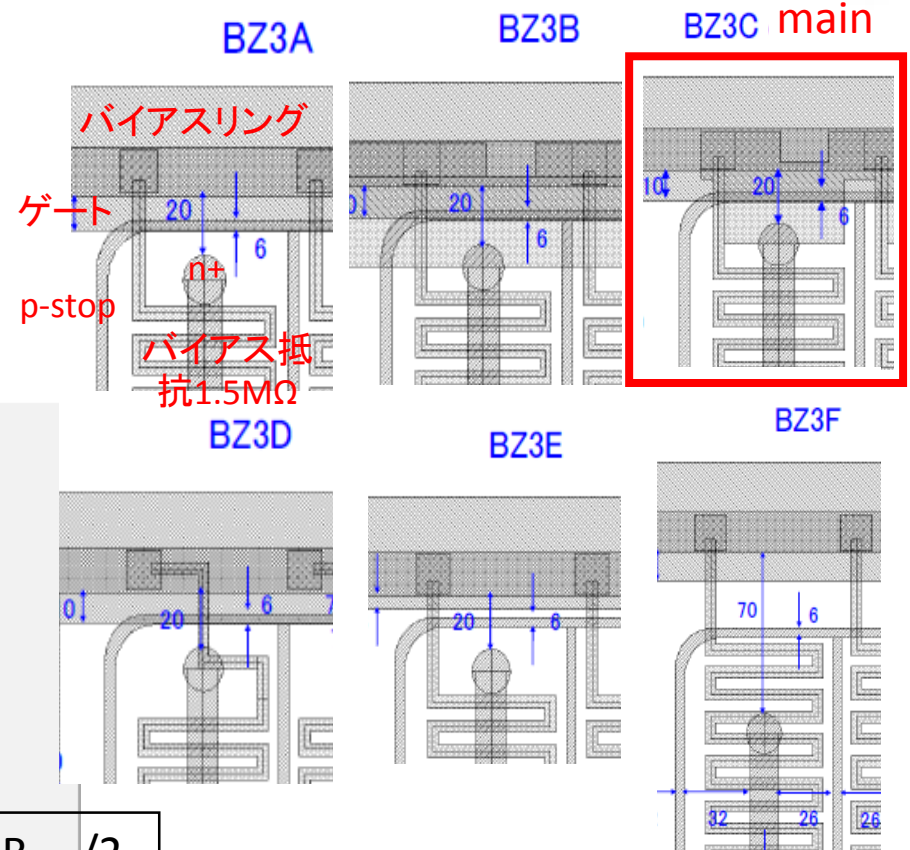




Punch Through Protection (PTP)

- 構造による違い

全ての構造において100V(酸化膜の耐圧)以下でPTPが機能している(青色)



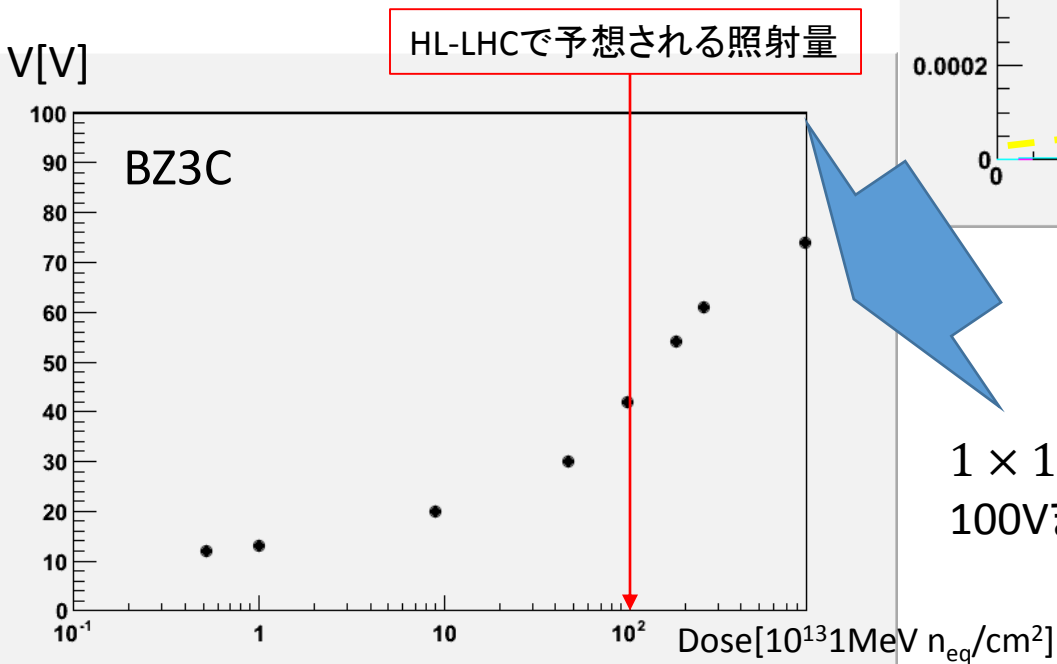
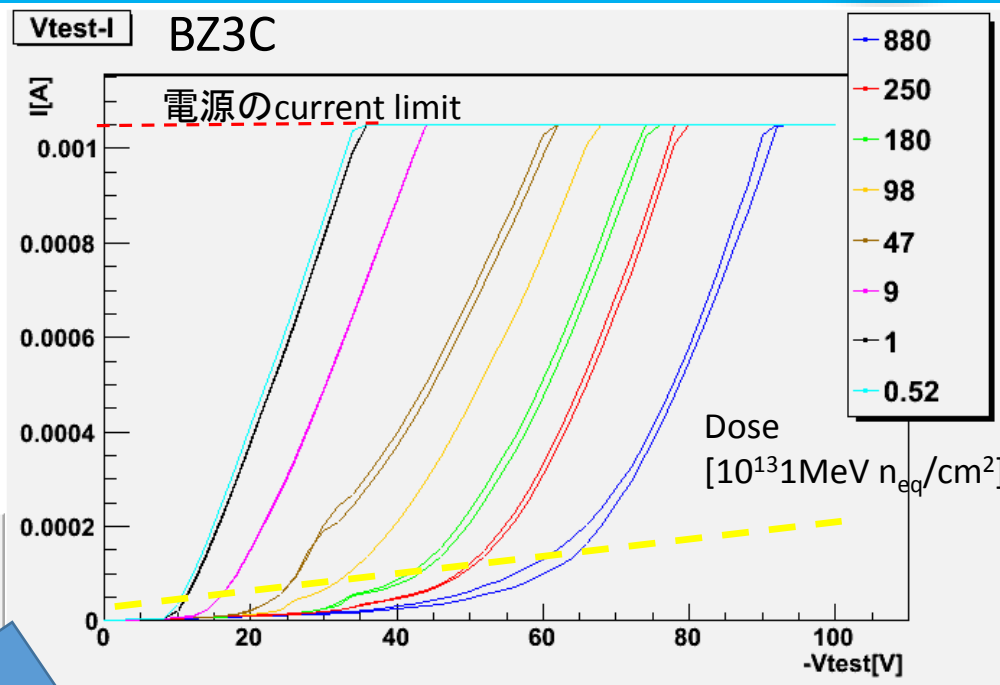
* :他の構造のサンプルに比べ、IVでの傾きが小さい

Punch Through Protection (PTP)



放射線への耐性

放射線照射量の増加にともないパンチスルーの起こる電圧の上昇がみられる。しかし、ゲートの効果により、切れの良さは照射量により劣化しない。



1×10^{16} 1MeV n_{eq}/cm^2 までの照射量は全て100VまでにPTPが機能している

まとめ



- ATLAS12Mで新たに採用した設計 (SLIMエッジ、PTP構造) に対して陽子 $70\text{MeV} \cdot 10^{16} \text{ 1MeV } n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ までの放射線耐性を評価した
 - I-V
SLIMによる劣化は見られなかった
 - C-V
運転電圧500Vに対し、低照射量では全空乏化できるが高照射量では部分空乏化での運転が必要となる
 - PTP
ゲート効果を考えた新設計において、酸化膜の耐圧である100V以下でPTPが機能し、酸化膜の保護機能が十分にある





PTP

サンプルのストリップ長は約8.1mmなので、ストリップの抵抗は16.2kΩとなる。

この時のパンチスルーの抵抗は

$$R = 750k\Omega - 20k\Omega/cm \times 8.1mm = 733.8k\Omega$$

となる。(ストリップとパンチする一の抵抗は直列に接続されている)

また、Short Stripの場合、ストリップ長は2.5cmなのでストリップの抵抗は50kΩとなる。つまり、パンチスルーの抵抗が750k-50k=700kΩとなる時の電圧を求めればよい。

1cm × 1cmのサンプルにおいて

実効的な抵抗が700k+16.2k=716.2kΩ

となる電圧を求めればよい。

これはプロットの赤の点線となる。

全てのサンプルで100VまでにPTPを

達成していることがわかる。

