

Silicon On Insulator(SOI)技術を用いた monolithic pixel検出器の開発(3)

陽子線照射実験

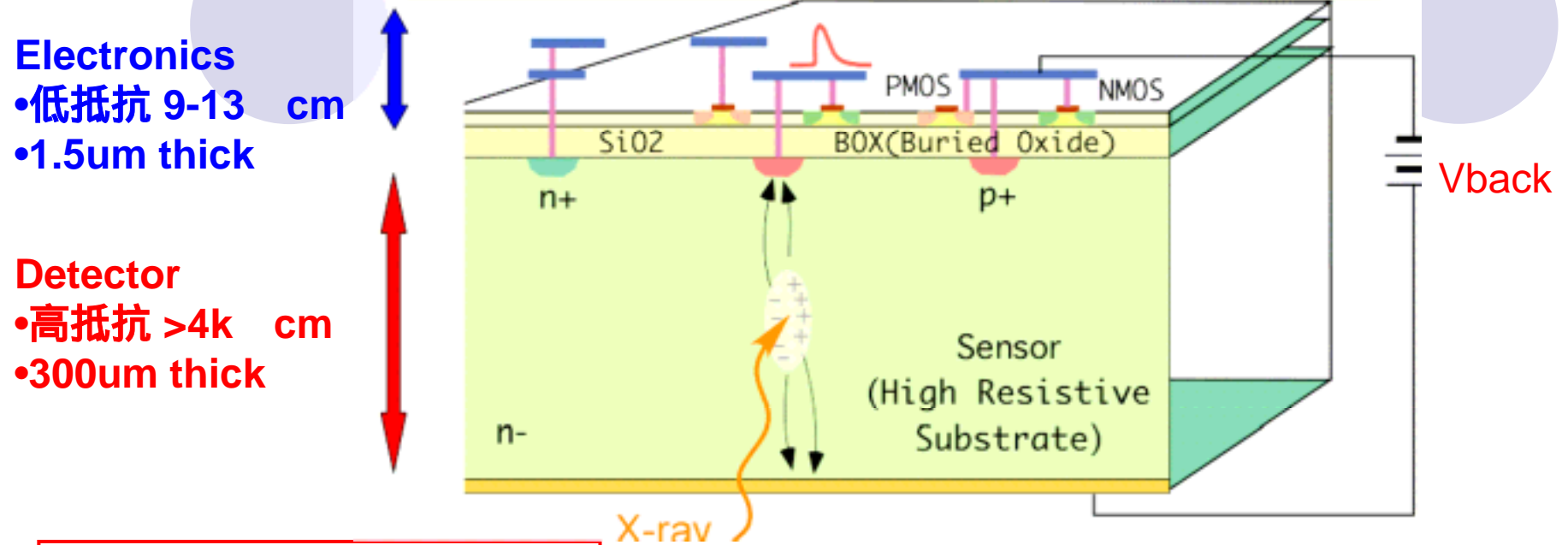
2007/09/22

日本物理学会@北海道大学

University of Tsukuba
Ai Mochizuki
他SOI group

- Introduction: Silicon On Insulator device
- n-type pixel: 性能評価(暗電流、不良chの割合)
- p-type pixel: 陽子線照射実験
- Summary & Plans

Silicon On Insulator Device

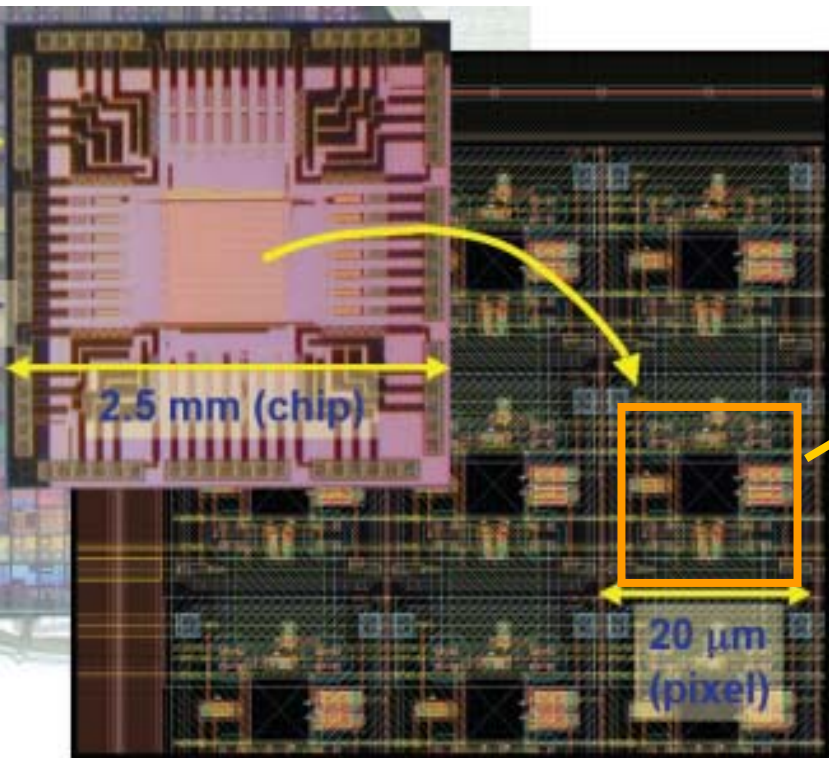


SOI detectorの特徴

- 埋め込み酸化膜(BOX)で回路部分と基板を分離
- ✓ 完全分離構造 latch upを抑制、
- ✓ 低接合容量 高速動作、低消費電力、高温でも動作
- 放射線耐性: latch up(OK), 酸化膜の帯電(研究中)
- センサー部(高比抵抗)とエレクトロニクス部(低比抵抗)を一体化できる

積分型pixel(32x32)

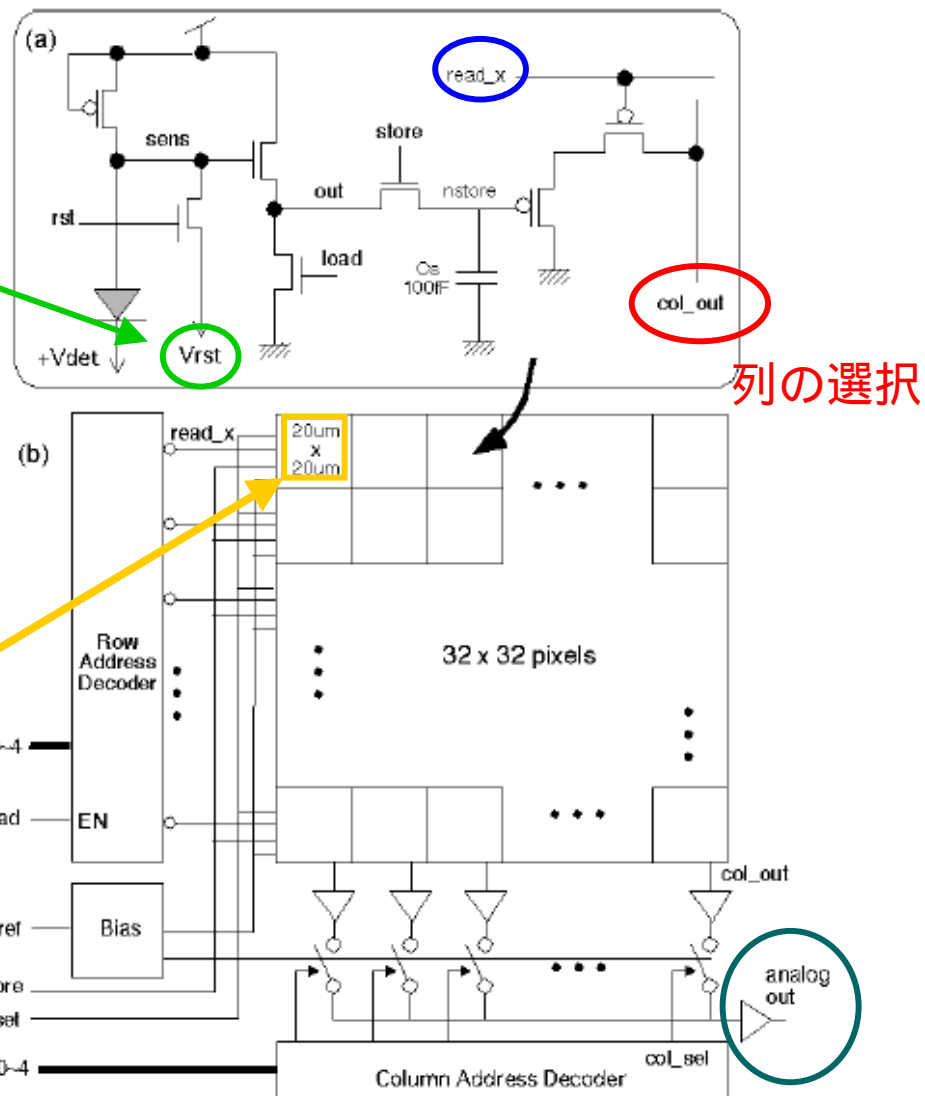
SOIによるセンサーとエレクトロニクスの
一体化をした20 μ m角のpixel chipを
作成した。



test pulse



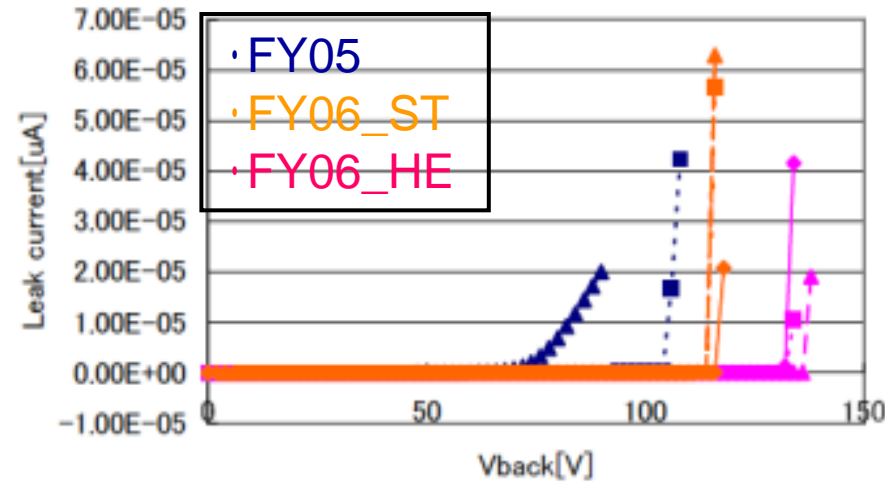
行の選択



列の選択

アナログ出力³

N-type pixel 性能評価 Leak current



昨年作成 FY05



FY06

Bias+Gard Ringの角に丸みをつけた

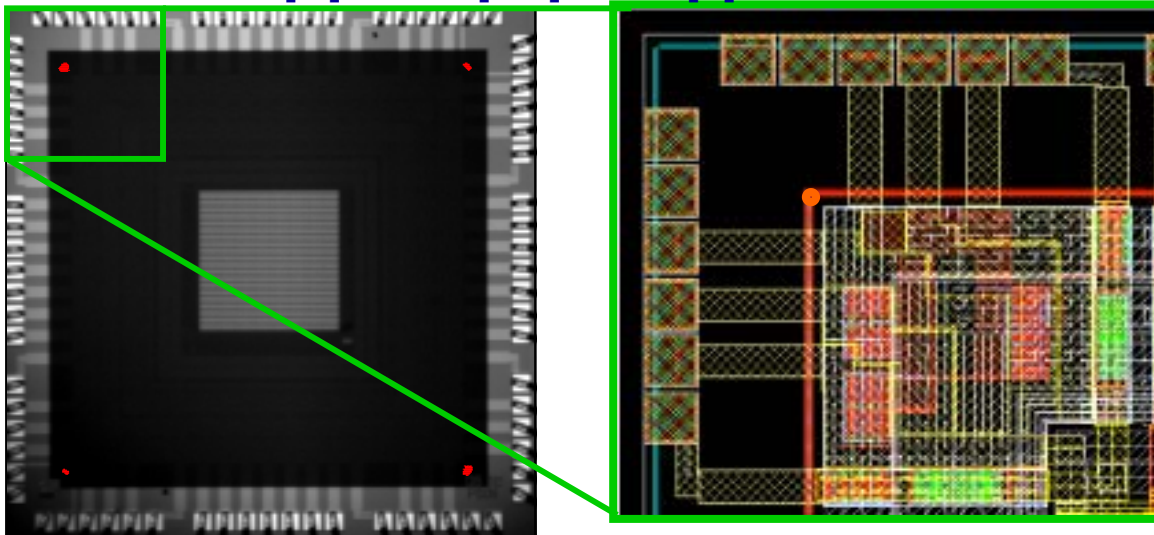
Standard =ST

High Energy=HE (4倍深くimplant)

最大で印加電圧: ~100V(FY05) 130V

leakが起こっている場所を特定するために、電流が増加した時点でchipを赤外線カメラで観測した。

$V=120[V], I=120[uA], T=60[s]$



Bias, Gard Ringの角4箇所 Hot spot(発光点)がみられた。高い電圧まで印加するためにはこの Ringの角をさらに改良する必要がある。

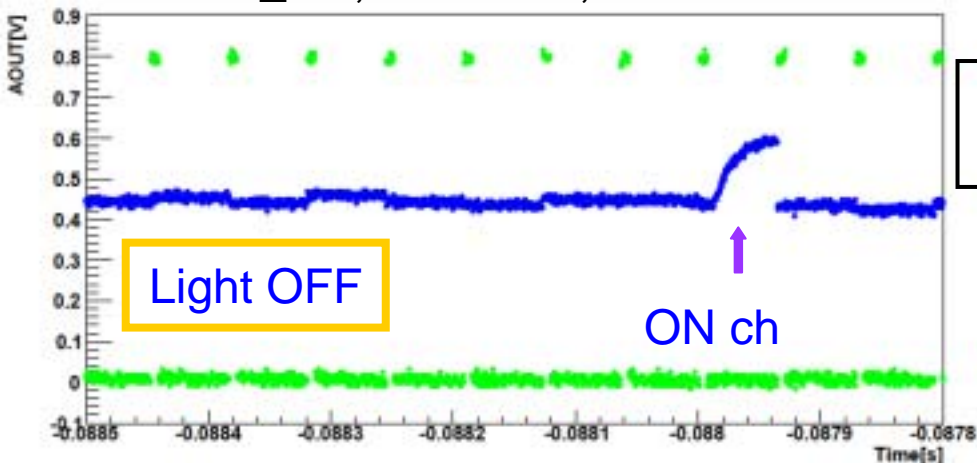
性能評価

Photo response



- Pixelにlaser(670nm)を当て、応答を見た。

FY06_HE, Vdet=10V, 64us/ch

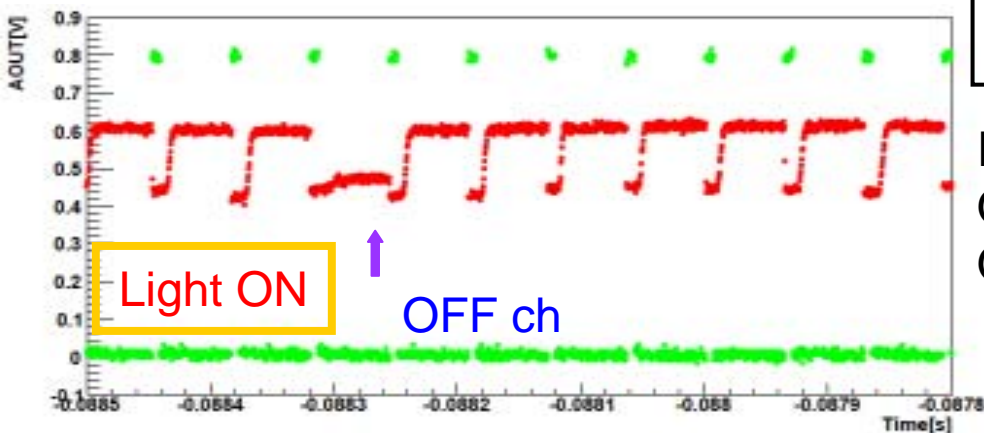


・RESET
・AOUT

I=9nA

異常chの割合

	ON ch	OFF ch
FY05	2%	3.4%
FY06_ST	0.49%	0.02%
FY06_HE	0.6%	0.1%



・RESET
・AOUT

I=8.1uA

Output=150mV/6us(HE)

Output=270mV/6us(ST)

異常chの割合が改善した。

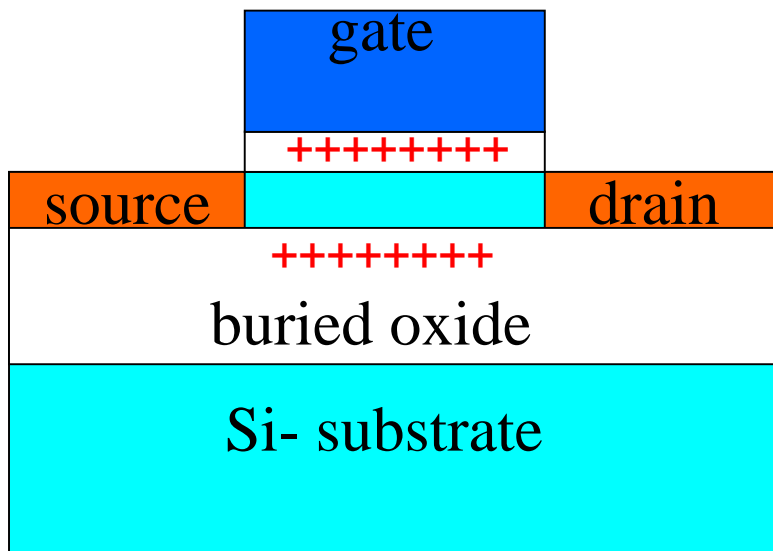
放射線による半導体デバイスへの影響

○ Single Event Effect (SEE)

- SOI は影響が少ない

○ Total Ionizing Doze (TID) [積算線量]

- 酸化膜にホールがトラップされる。
 - 閾値の変動、さらにMOS-Trが閉じきらなくなりleak電流が増える。
 - キャリア(e, hole)移動度の低下(Trの速度低下)がみられる。
- 酸化膜が近接するSOIではTIDの影響が大きいと我々は測定している。



○ センサーSiの放射線損傷

- 陽子線照射実験により評価した。

照射実験(2007/08/28-29) 東北大学サイクロトロン

70MeVの陽子線を照射

ビームの大きさ

水平方向 15mm(FWHM)

垂直方向 16.5mm(FWHM)



p-type pixel に以下の
照射量の照射を行った。

<放射線量>

1MeV-neq/cm²

1x10¹⁴

1x10¹⁵

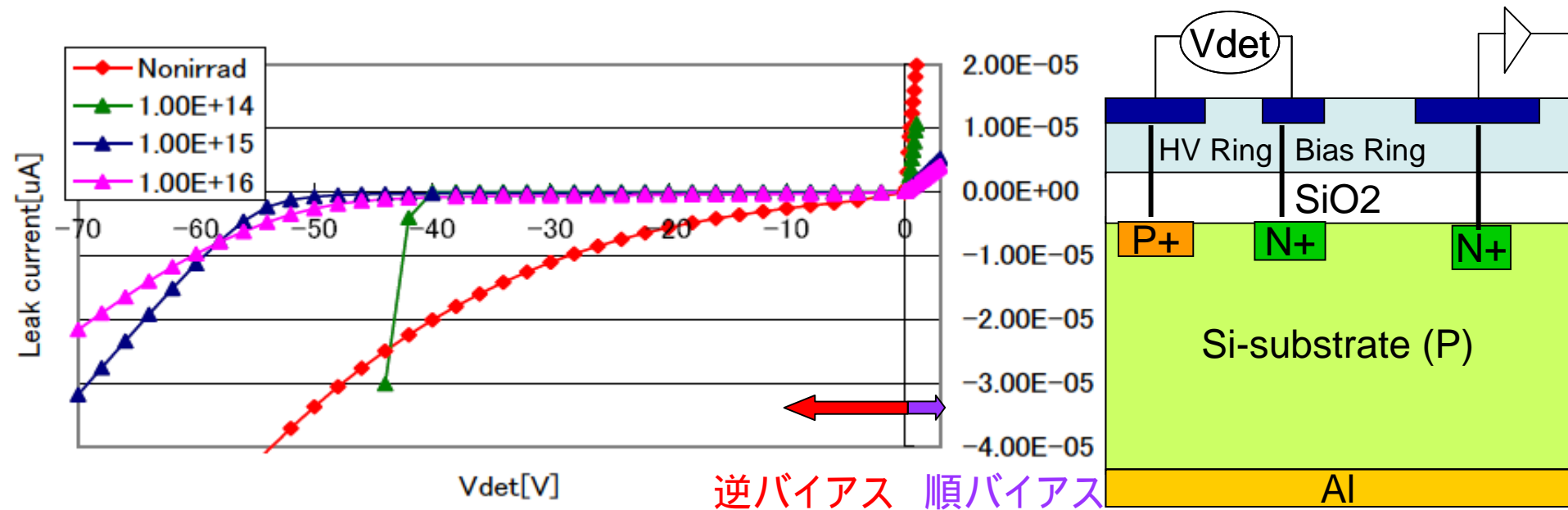
1x10¹⁶



LHC pixel検出器に要求される線量

P-type pixel 照射結果①leak current

照射したsampleは60 80分のアニーリングを行った後に測定した。



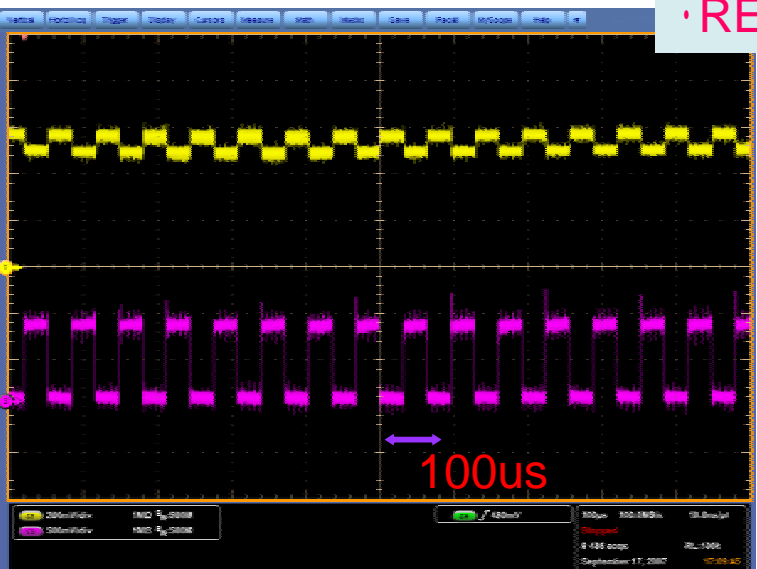
✓照射量 1×10^{14} では未照射と似た振る舞いをしており、ダイオード特性がみられる。

✓照射量 1×10^{15} , 1×10^{16} では逆バイアスの電圧幅が大きくなっているが、ダイオード特性ははっきりしない。

照射結果 Reset信号による応答

Vdet=-10[V], Vrst=0.8

未照射



·VOUT
·RESET

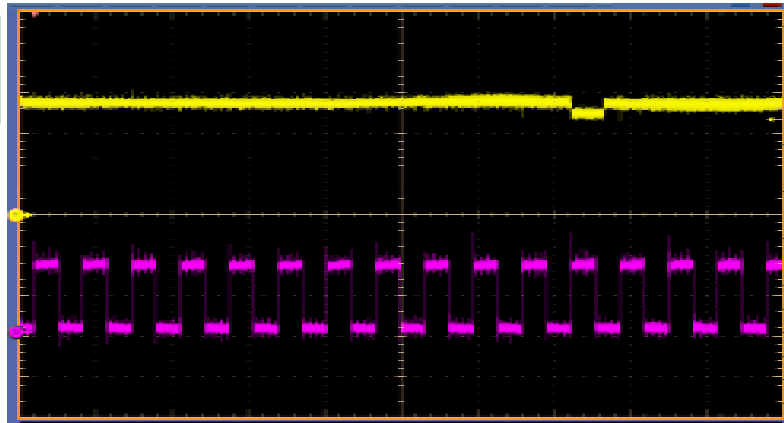
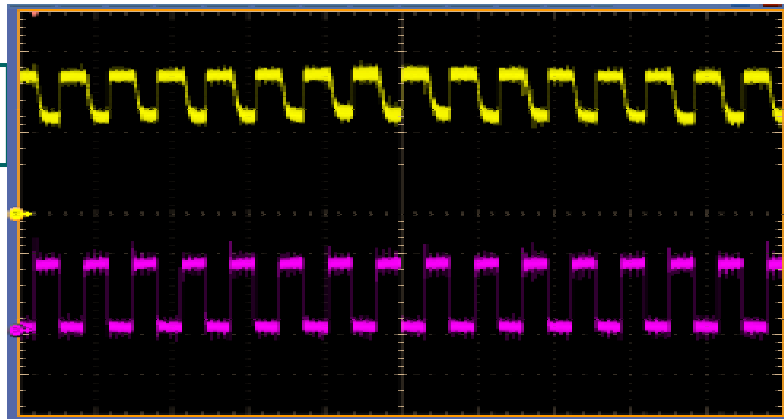
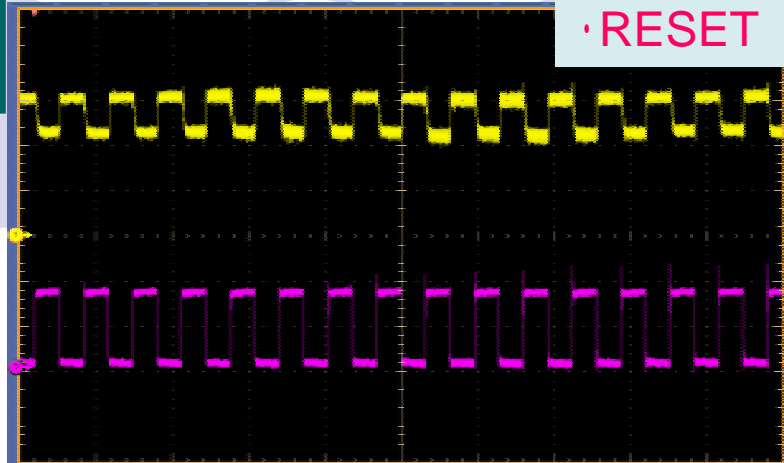
100mV

1×10^{15}

1×10^{16}

照射量
 1×10^{14}
200mV

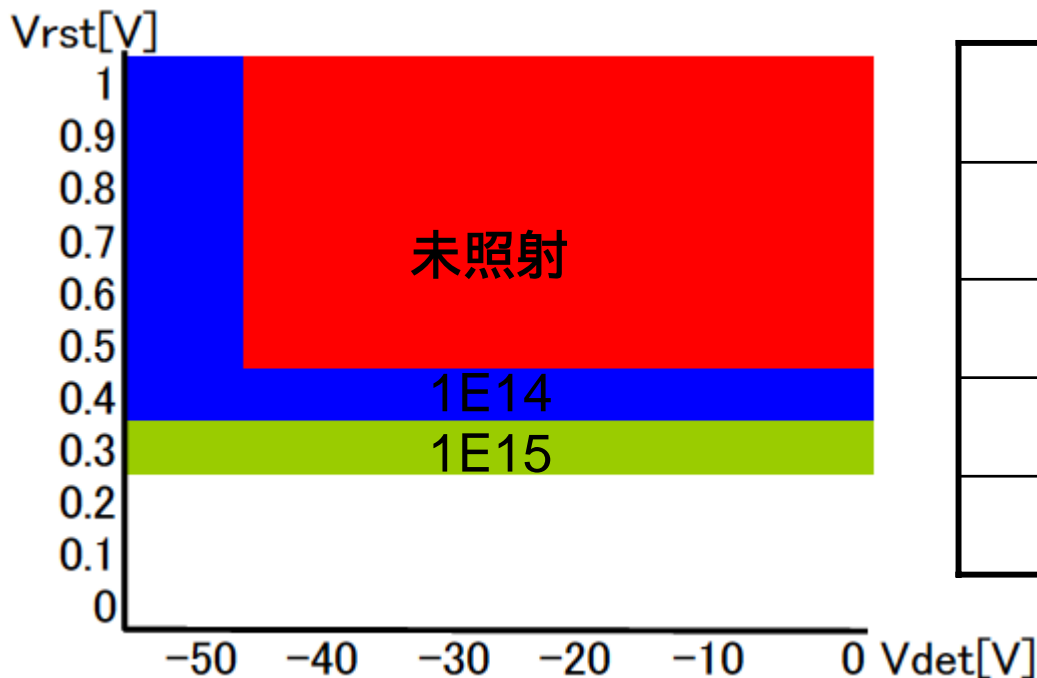
·VOUT
·RESET



- ✓照射量 1×10^{15} まではエレクトロニクス部分は動作している。
- ✓出力信号の大きさは照射前より照射後のほうが2倍大きくなっていることがわかる。

照射結果

Reset信号による応答 出力信号の動作領域

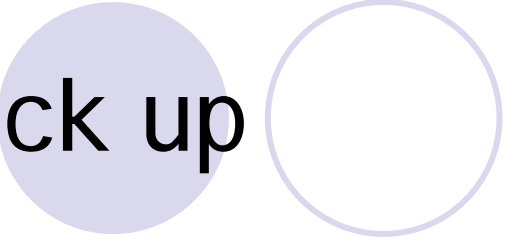


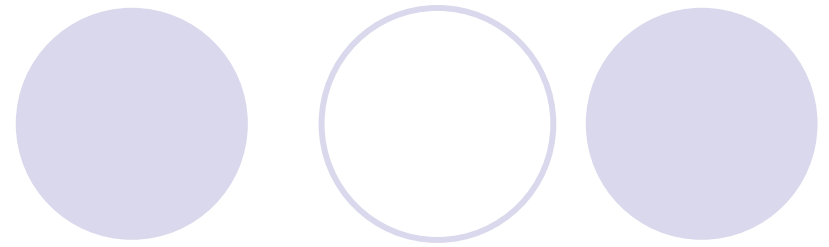
照射量	動作領域 Vrst
未照射	0.5-1.0[V]
1×10^{14}	0.36-1.0[V]
1×10^{15}	0.32-1.0[V]
1×10^{16}	No signal

- ✓ Vdetによる依存性はないが、
1x10¹⁵までは照射により動作領域が広がる。
- ✓ 閾値の変化に影響されたものだと考えられる。

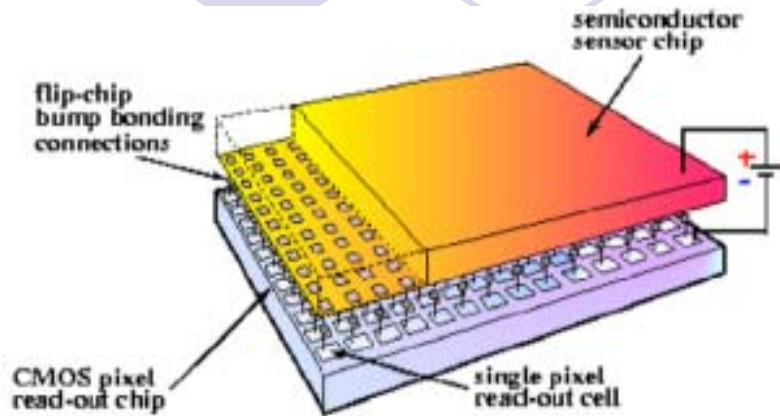
Summary & Plans

- **N-type pixelの性能評価**:今年作成したsampleは昨年作成したものより改善され、最大で130Vまで電圧を印加でき、異常chは0.1%未満である。
- **P-type pixel**: 1×10^{16} (1MeV-neq/cm²)までの照射実験を行った。 1×10^{15} までの照射量ではエレクトロニクス部分は動作していることが確認できた。
- backgate効果など陽子線照射損傷についての詳細について研究していく予定である。

Back up 



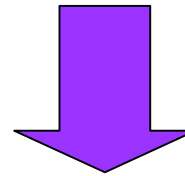
Introduction



現在のpixel検出器

Hybrid pixel

- ✓ 2つのSiを多くのワイヤーや金属バンプにより接合
- ✓ 厚さが厚く、高価

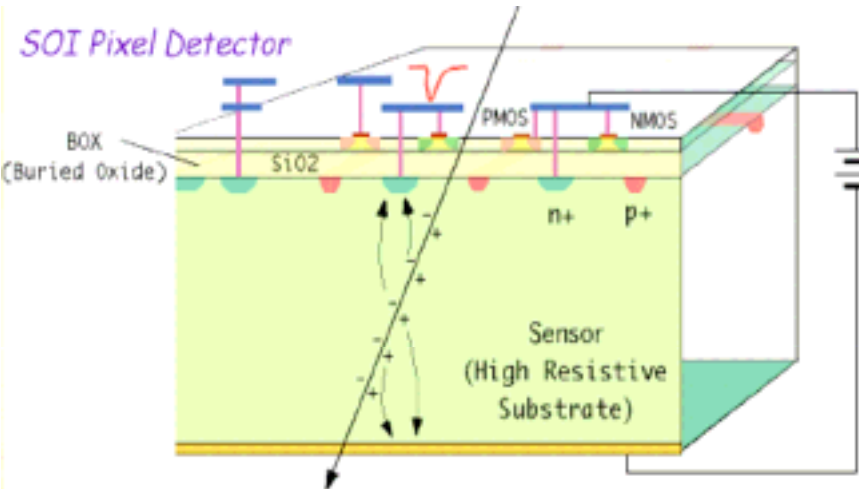


SOI pixel検出器

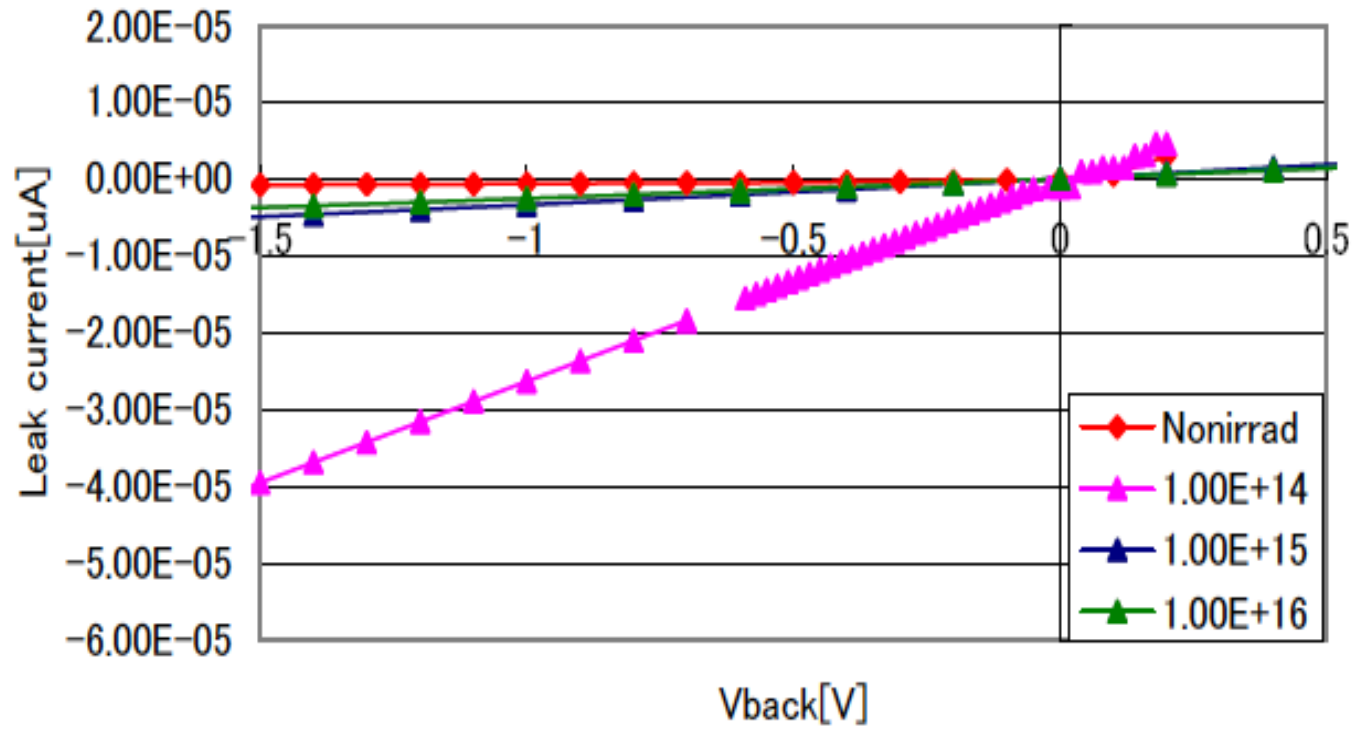
monolithic pixel

- ✓ センサー部とエレクトロニクス部を一体化
- ✓ 小型化、高速化

→ 将来性が高い。



Leak current: Vback



放射線によるbulkの変化

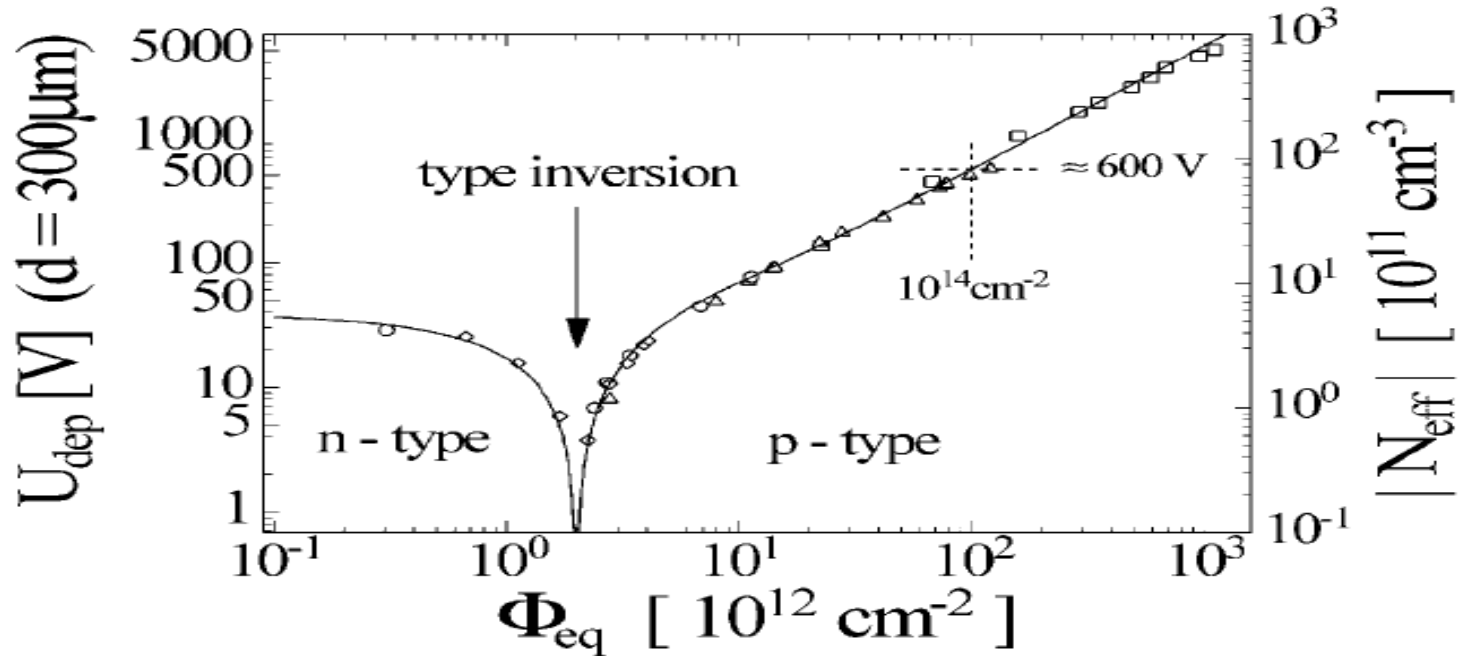
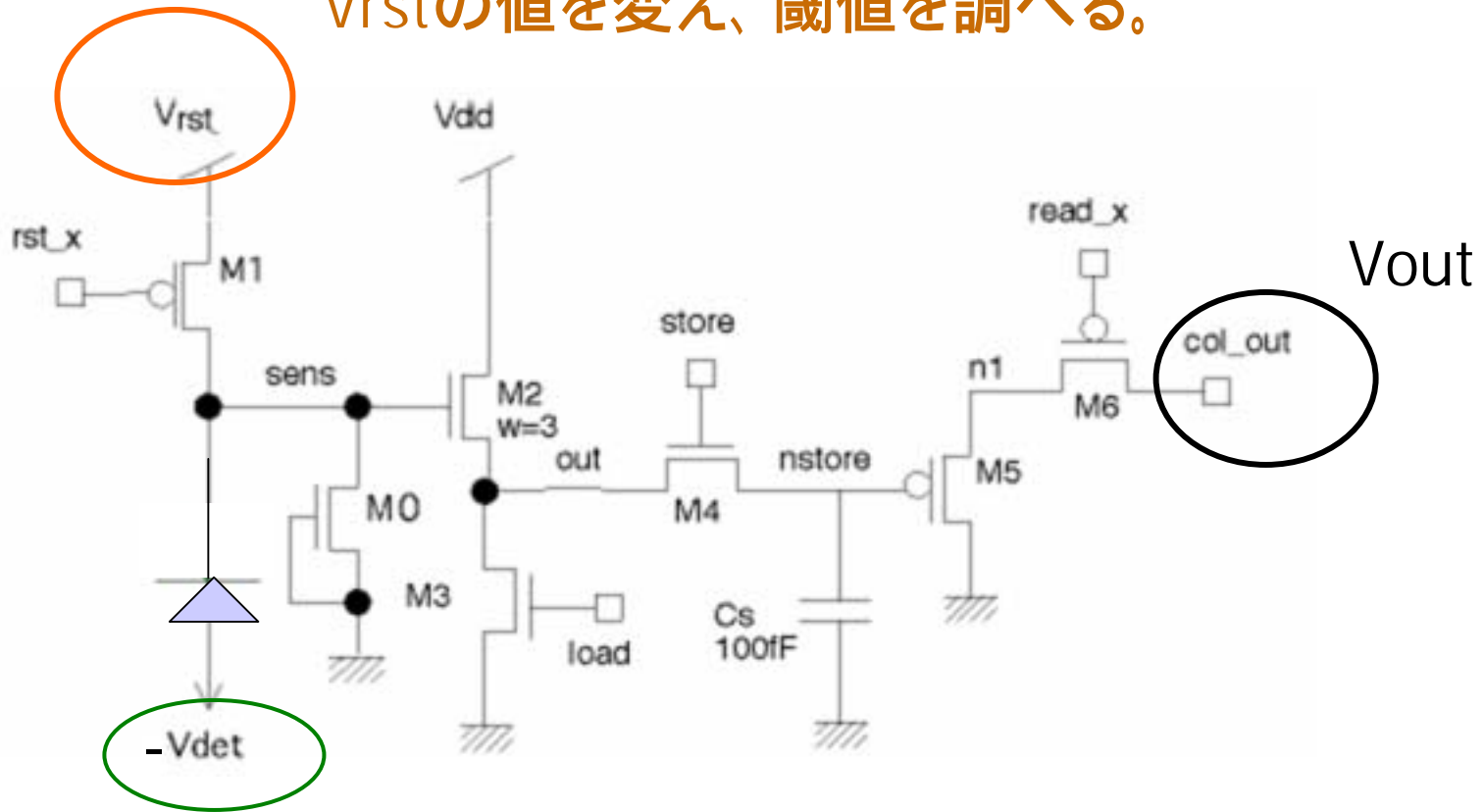


図 2.3: 不純物濃度の変化

p-type pixel 照射結果 Reset信号による応答

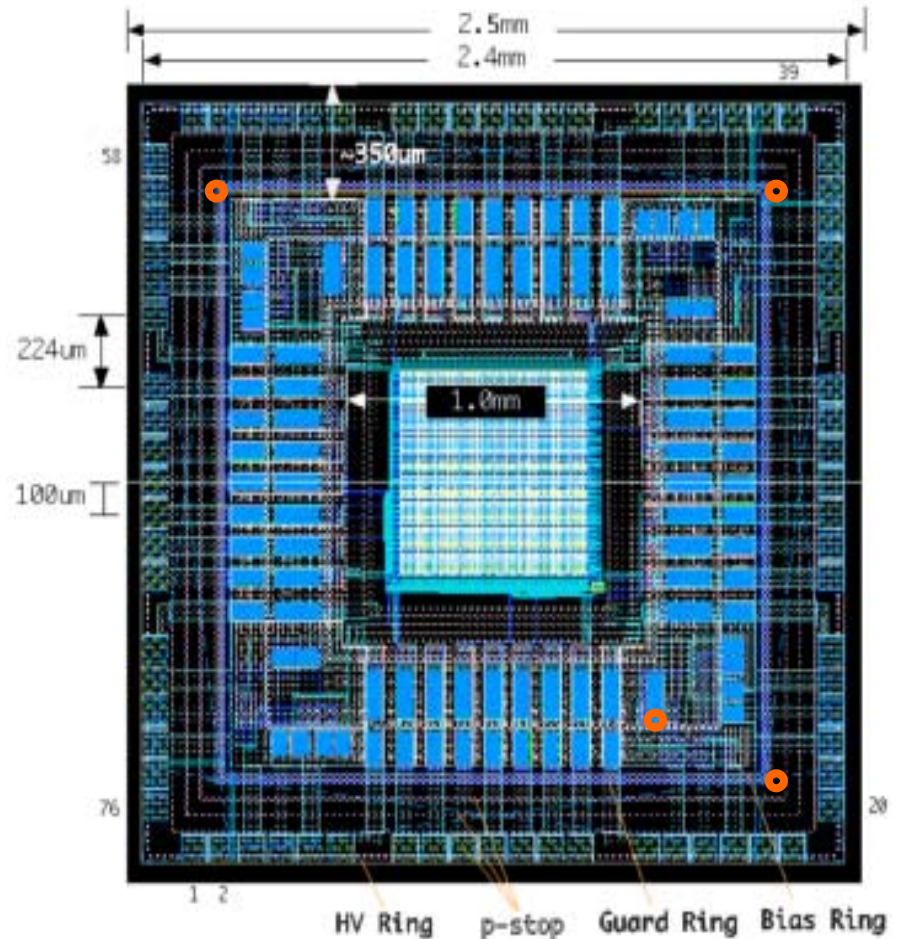
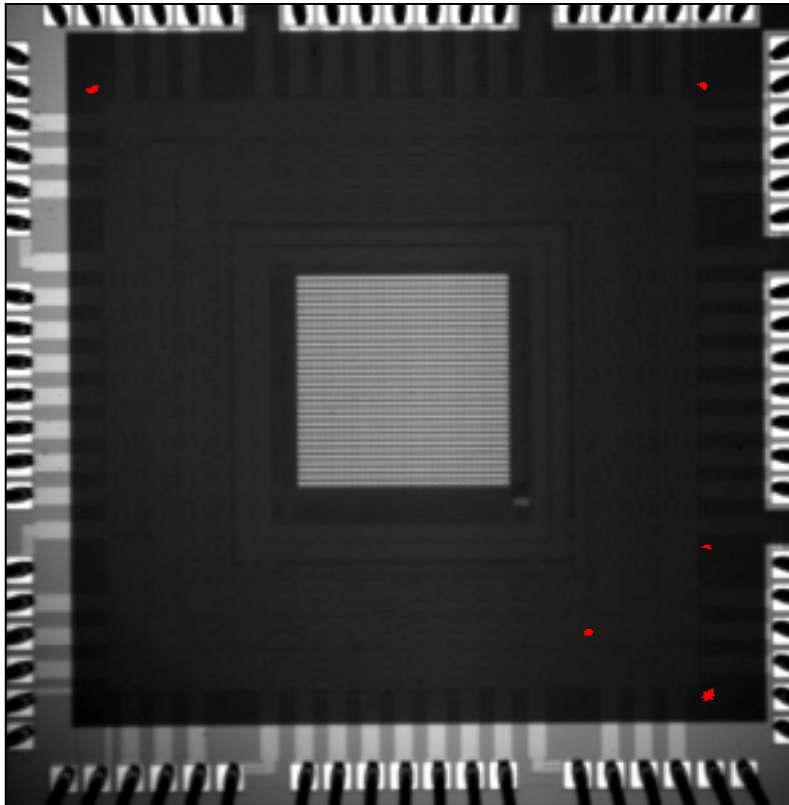
RESET信号をテスト信号として応答をみる。
Vrstの値を変え、閾値を調べる。



TOPPIXN Hot Spot測定

leakが起こっている場所を特定するために、電流が増加した時点でchipを赤外線カメラで観測した。

TOPPIXN06 (前回作成のchip)
V=110V, I=80uA 露出時間1分

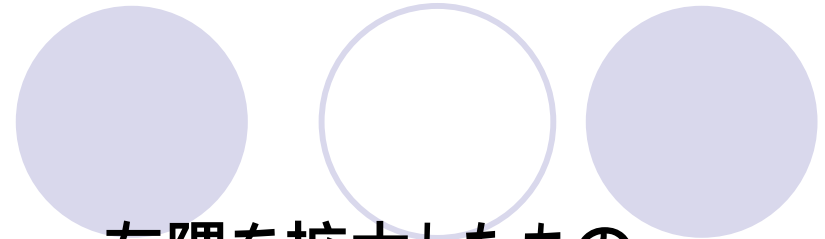
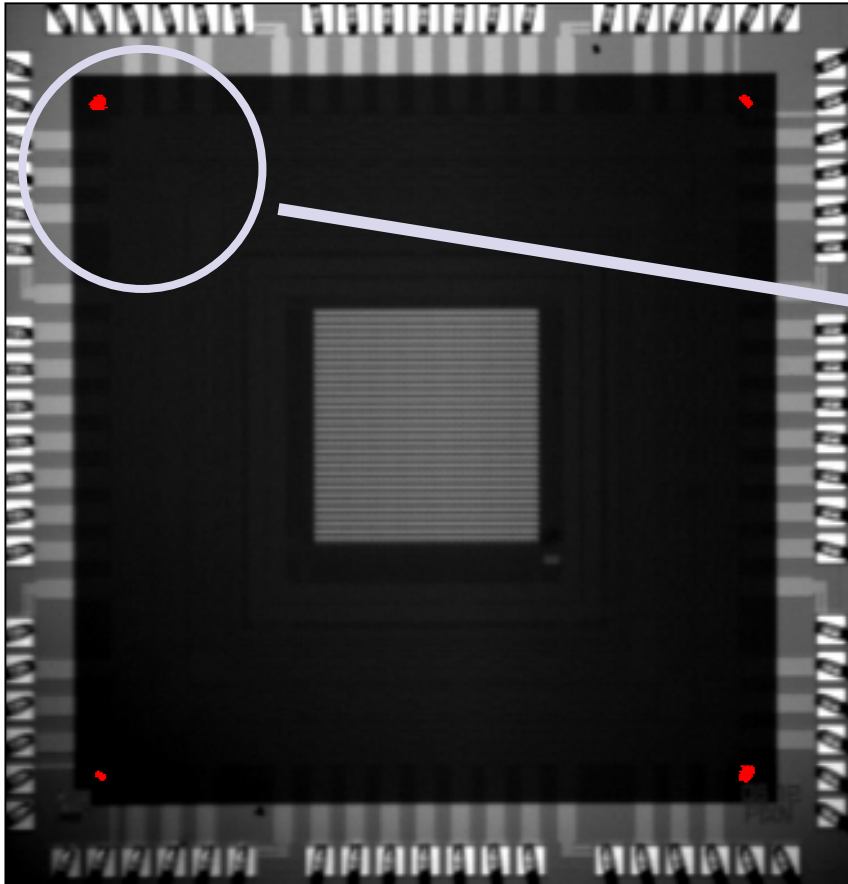


Bias Ringの角3点に発光点(Hot Spot)が見られる¹⁷。

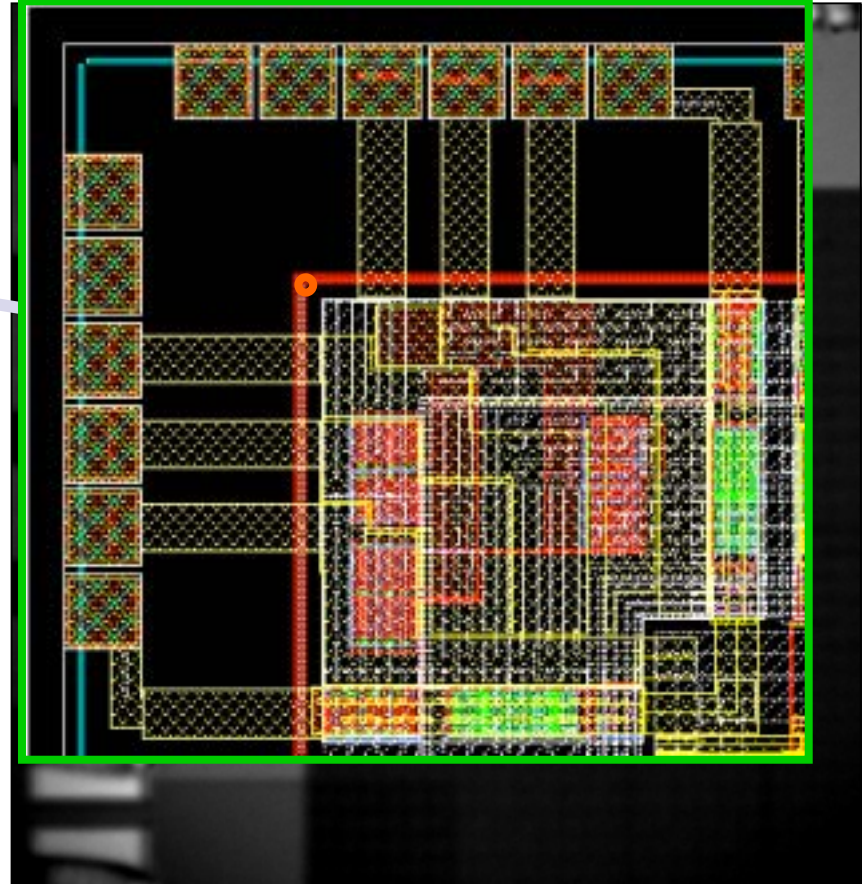
Standard Implant

V=120V, I=200uA

露出時間1分



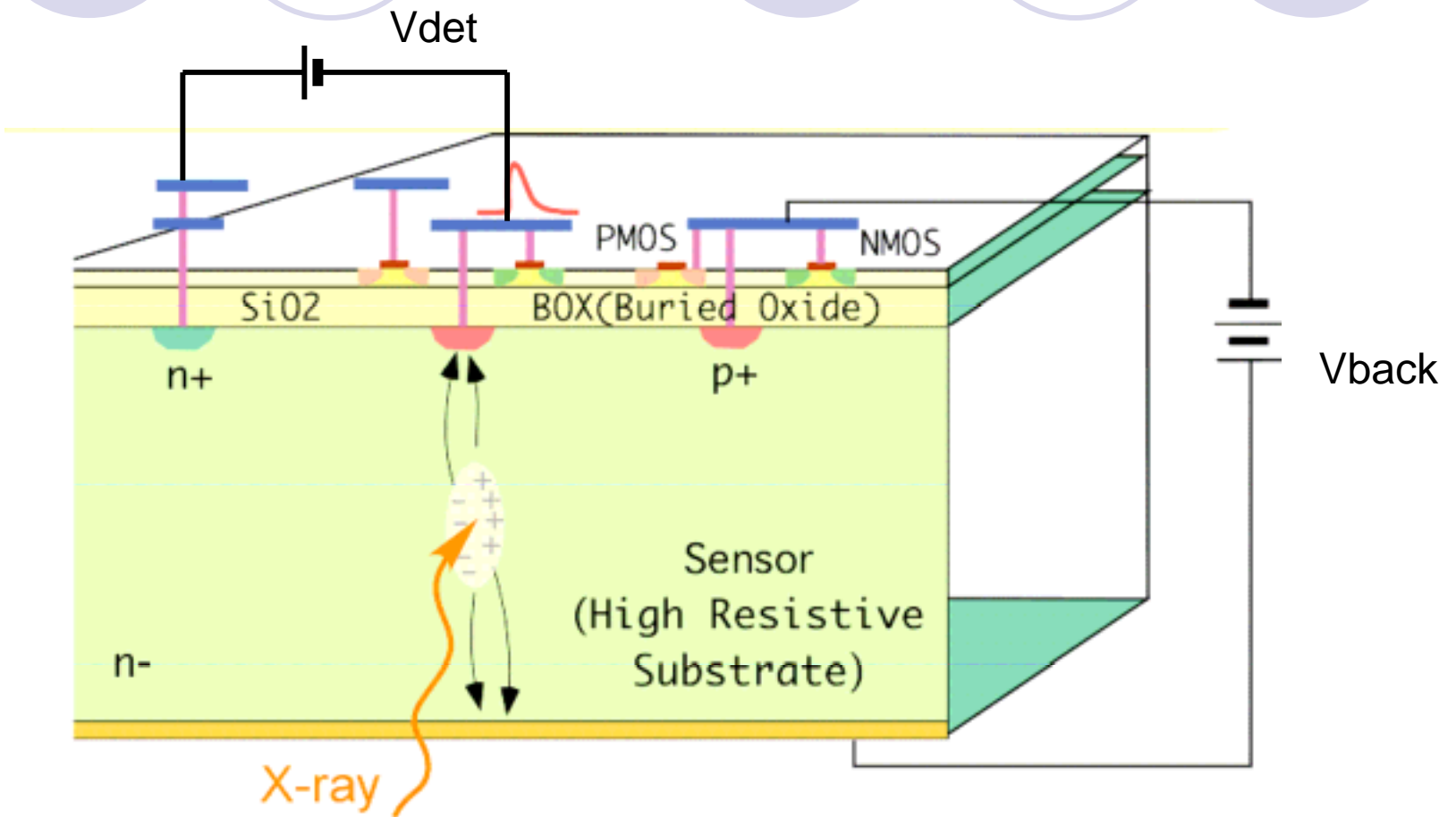
左隅を拡大したもの。



角4点にhoto spotがみられる。

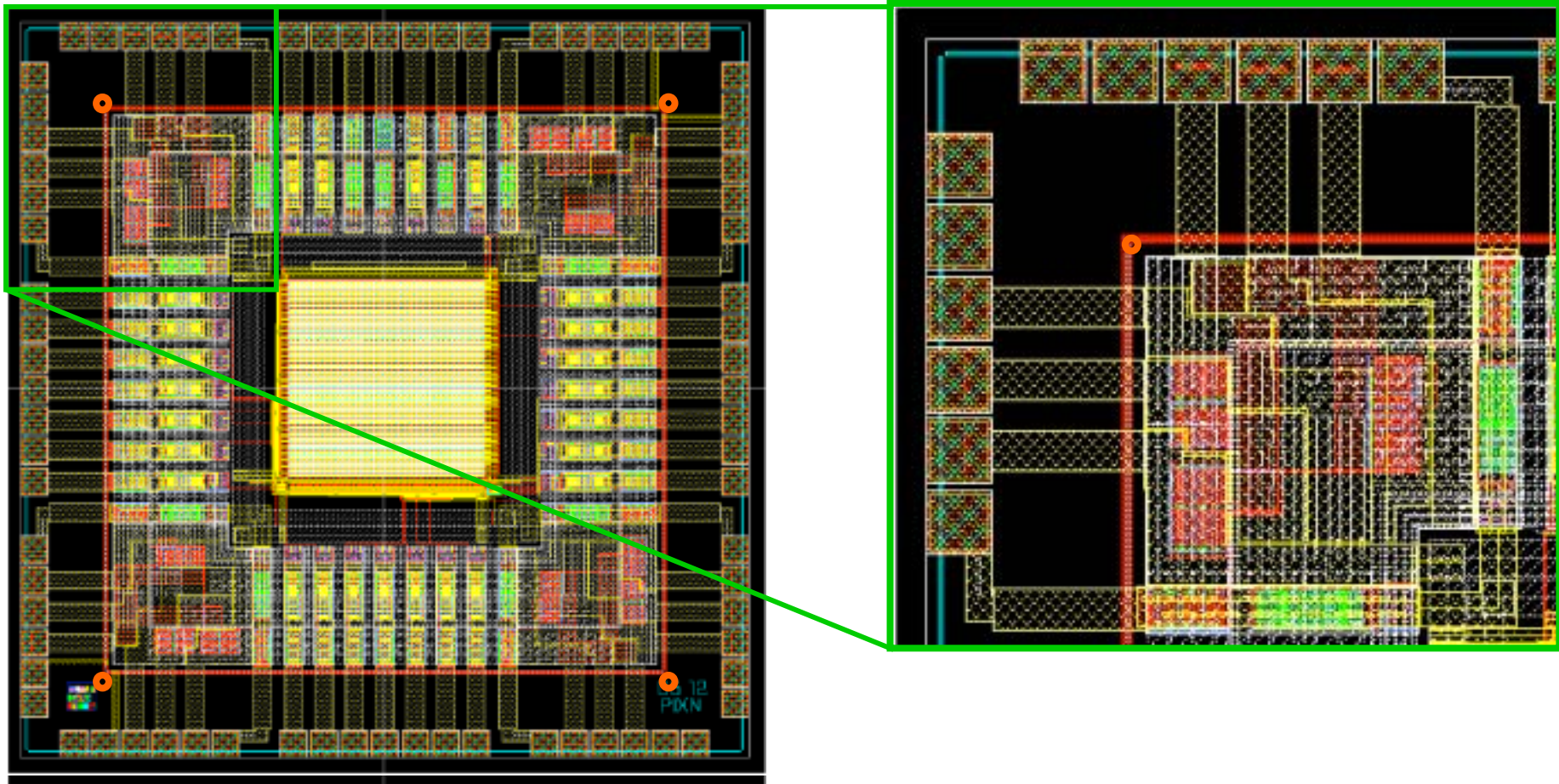
Hot spotはバイアスリングを丸くしただけでは改善しない。

Vdet, Vback



Standard Implant

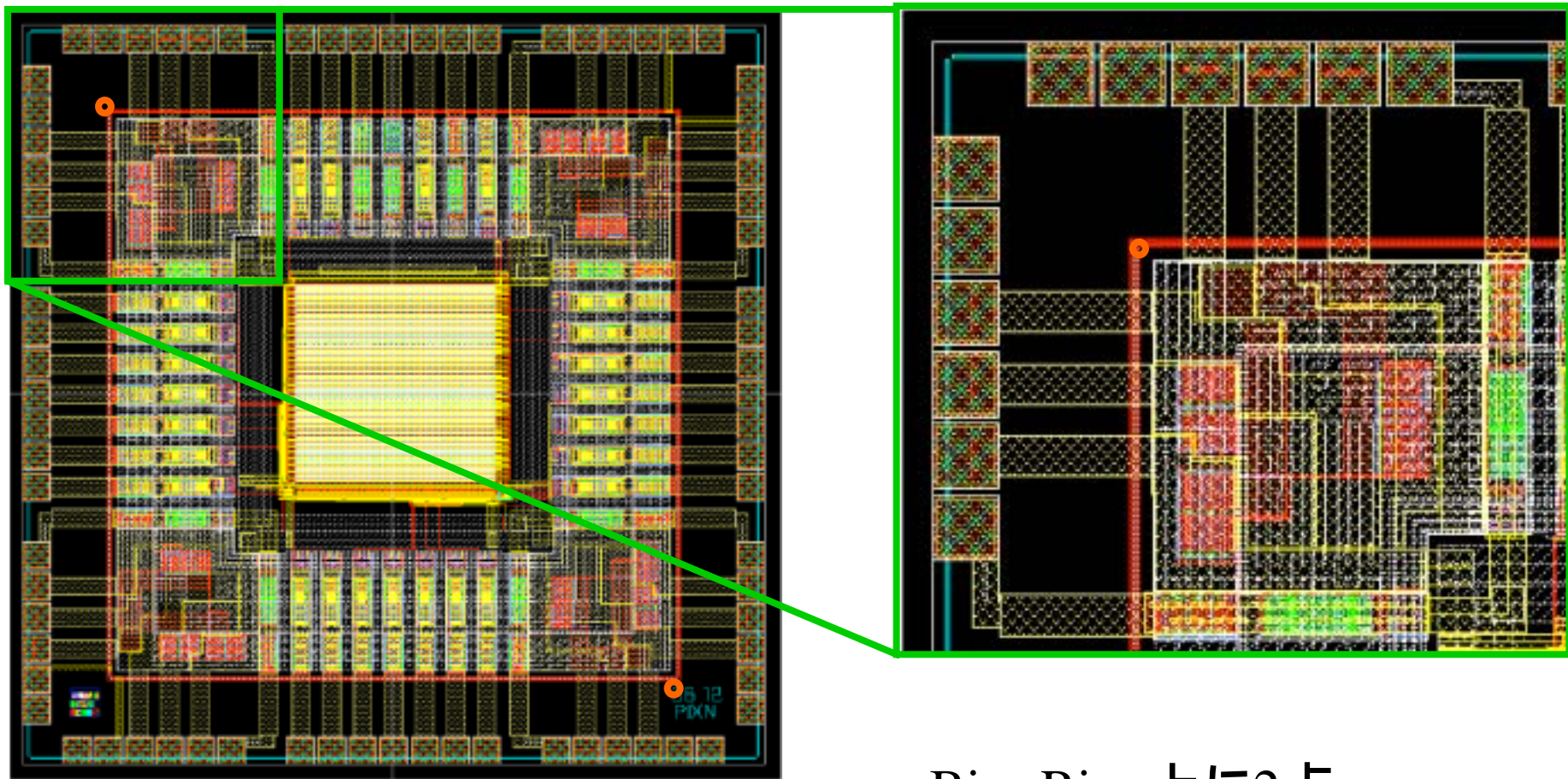
V=120V, I=200uA, 露出時間1分



Bias Ringの角4点にhot spotが見られる。
Hot spotは角を丸くしただけでは改善しない。

High Energy Implant

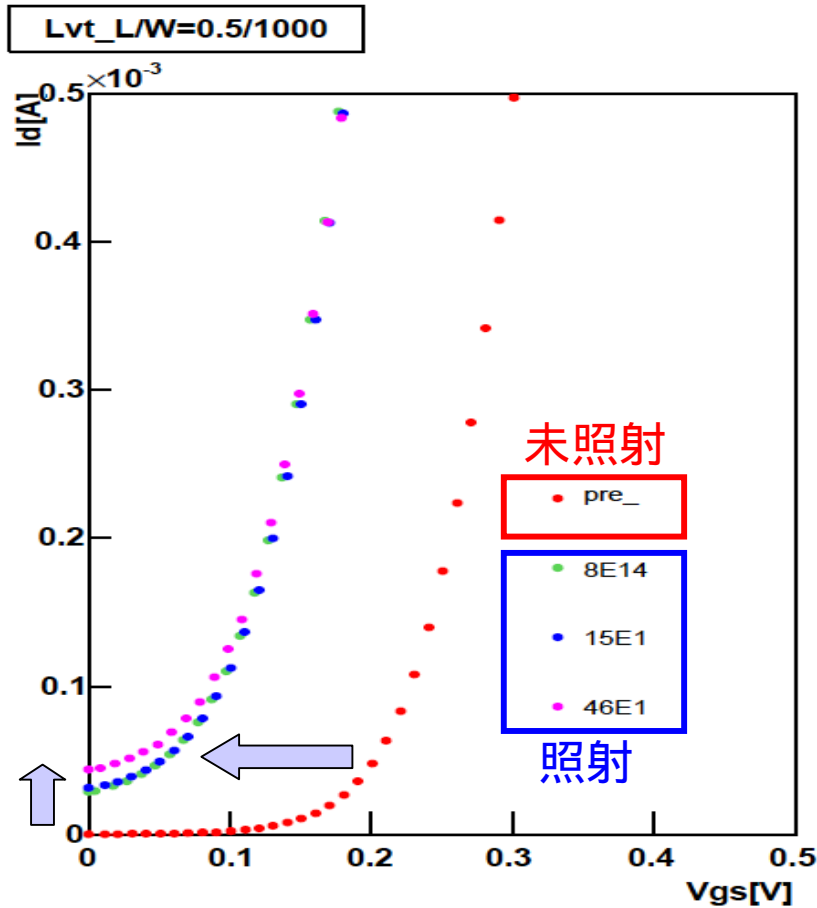
V=140V, I=120uA, 露出時間1分



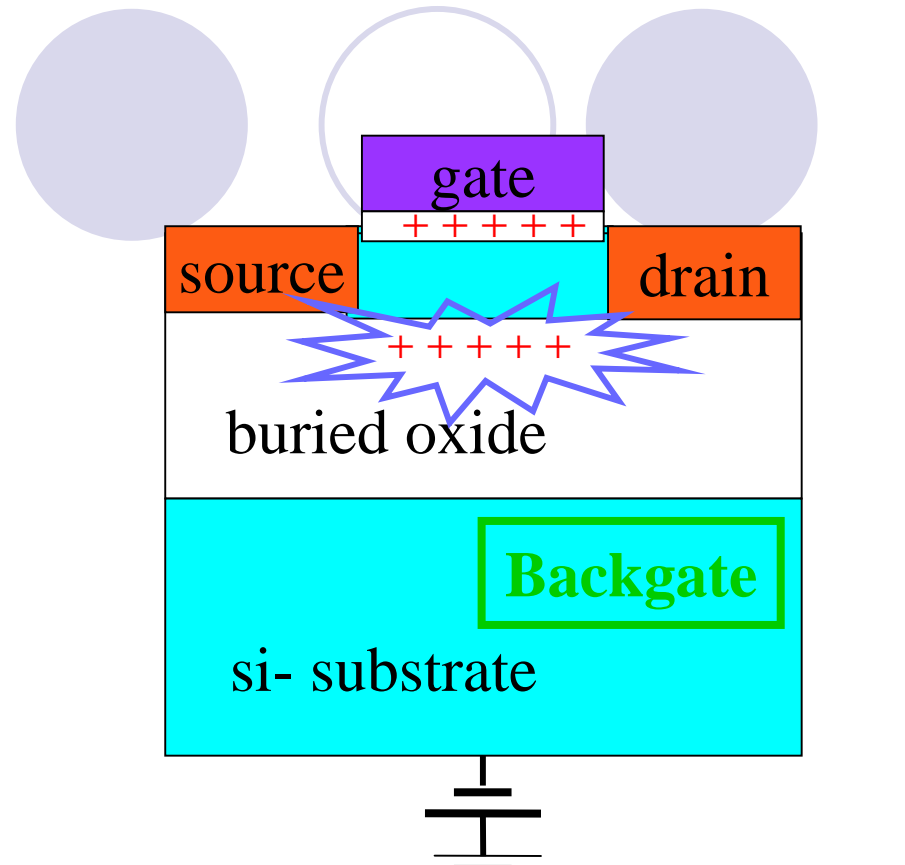
Bias Ring上に2点
hot spotが見られる。

放射線による影響

NMOS



- (1) threshold voltageのシフト
- (2) Leak currentの増加



放射線を受けると酸化膜に正電荷が蓄積し、Tr特性を変化させる

(SiO₂が近接するSOIでは影響大)

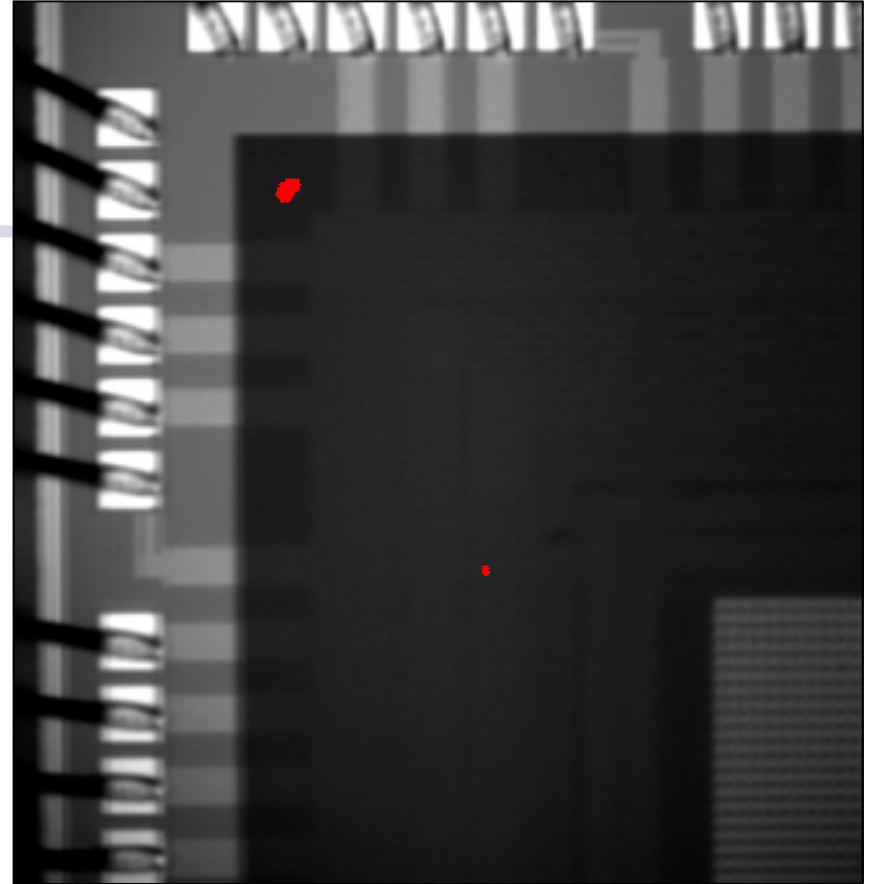
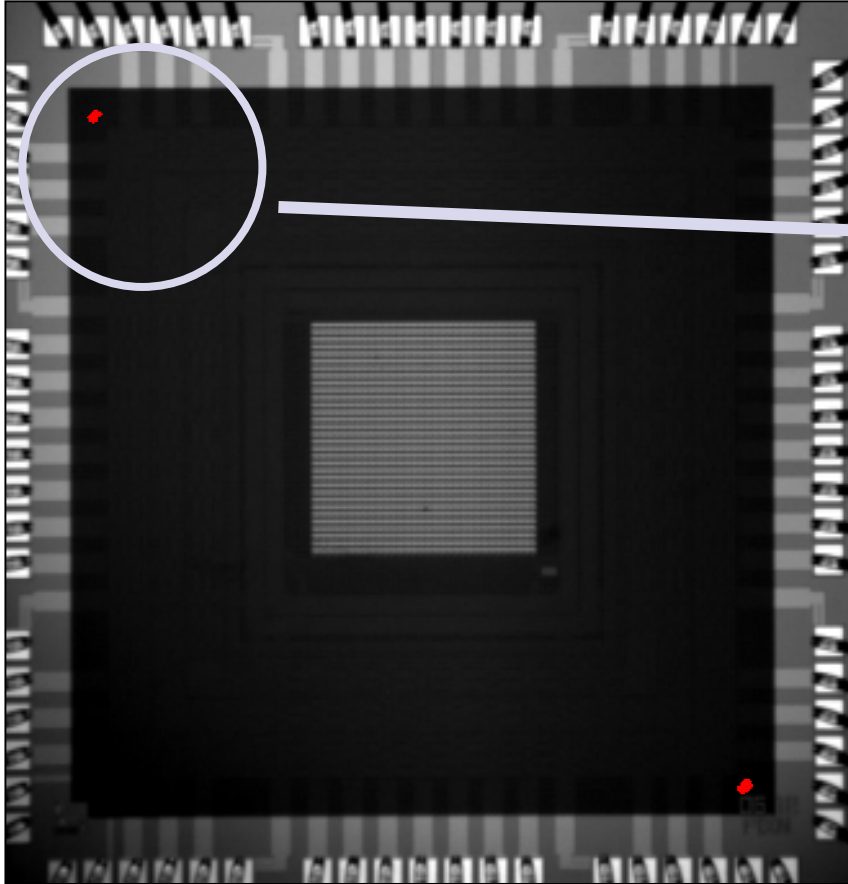
Backgate 電圧を調整することで電荷の影響を除去できるか?

High Energy Implant

Chip #5 $V_{det}=140V, I_{det}=120\mu A$

露出時間1分

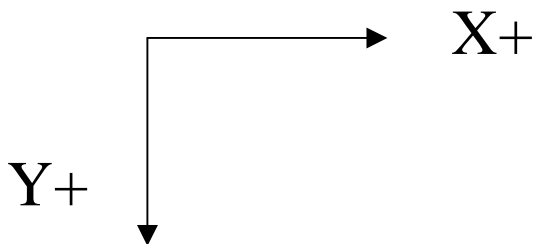
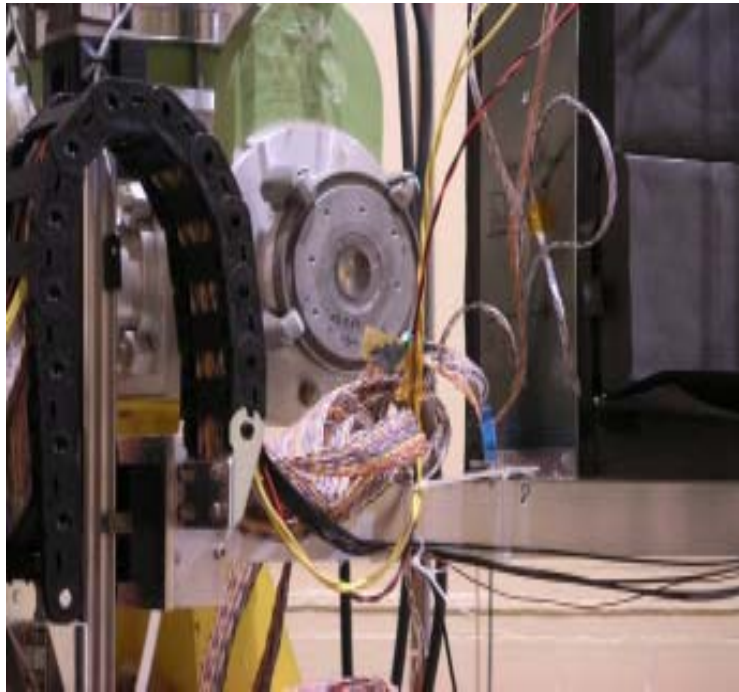
左隅を拡大したもの。



対角線上に2点hot spotが見られる。

照射実験(2007/08/28-29)

東北大学サイクロトロン



<目的>

- 70MeVの陽子線を新しいSiセンサに照射し、 $20 \times 10^{14} [\text{n}/\text{cm}^2]$ までの放射線耐性を調べる。
- その際、Al fingerやpin photoを使って、ビームの位置を測定した。
- また、ビームの一様性、照射量の確認のためにAl dosimetryを行った。