

SOI検出器におけるX線損傷 TID効果の軽減に関する研究

東北大M1
小野善将

2010 夏の学校



はじめに

SOI(Silicon On Insulator) 検出器

- センサ一部と読み出し部が一体となったモノリシック半導体検出器で、
センサ一部と読み出し部は酸化層BOX(Buried OXide)層で分けられています。

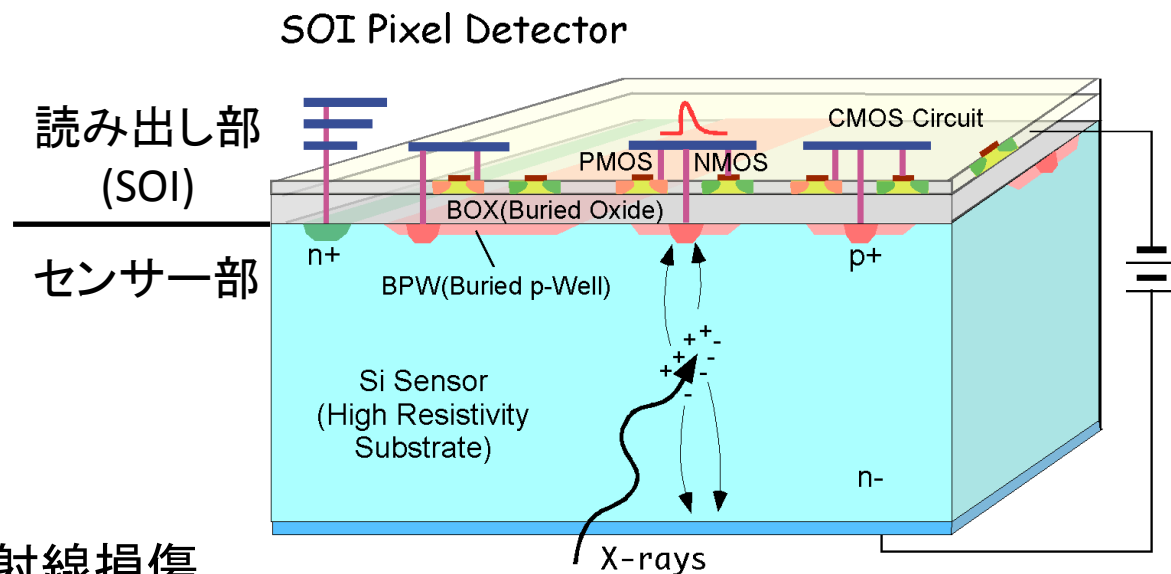
目次

◆SOI検出器とは

- ✓SOI検出器の課題
- ✓放射線損傷TID効果
- ✓BPWとBackgate効果

◆研究内容

- ✓SOI検出器における放射線損傷
- ✓損傷軽減試験

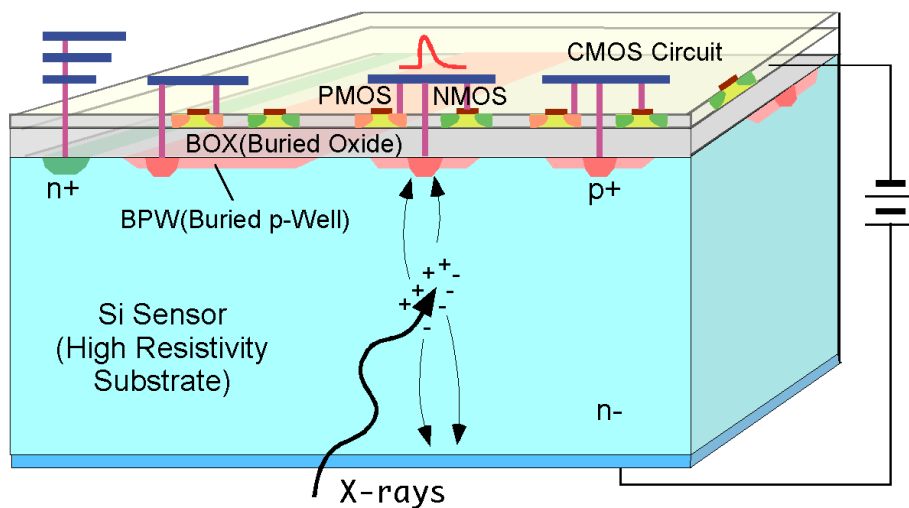


SOI検出器とは

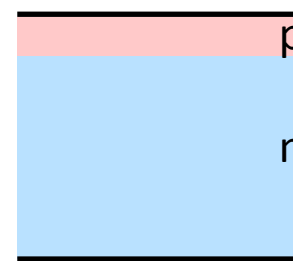
SOI(Silicon On Insulator) 検出器

- 半導体検出器
 - モノリシック検出器
- ⇒次世代検出器

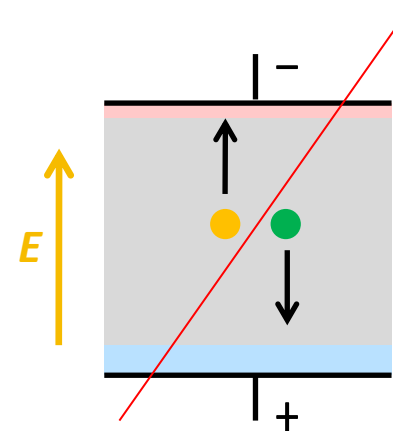
SOI Pixel Detector



PN接合を利用した粒子検出器



空乏化



粒子通過
↓
電離
↓
シグナル

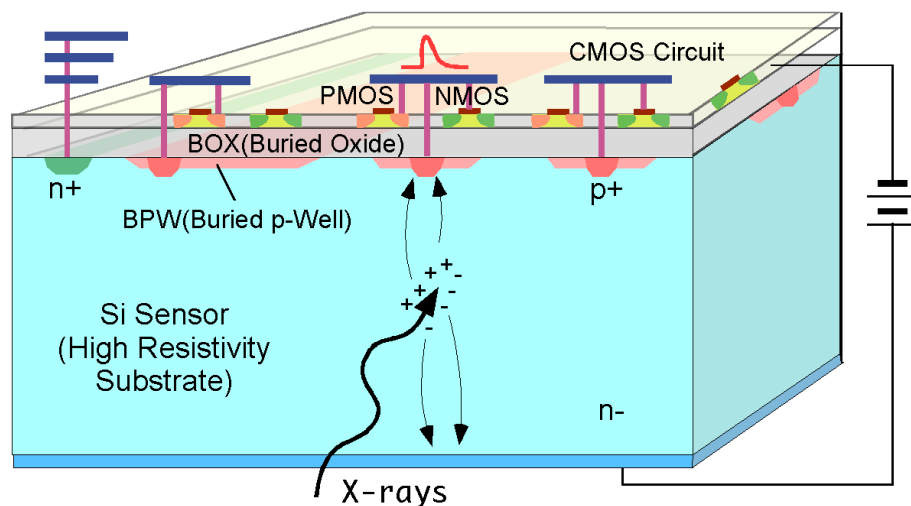
非常に高性能

SOI検出器とは

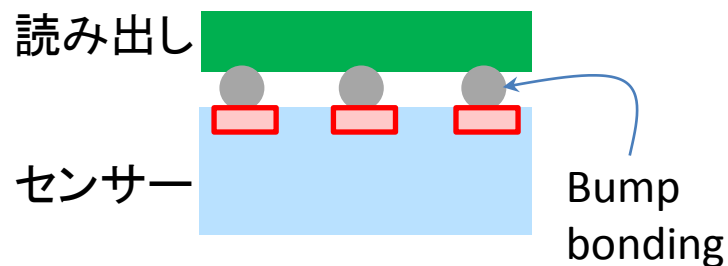
SOI(Silicon On Insulator) 検出器

- 半導体検出器
- **モノリシック検出器**
⇒次世代検出器

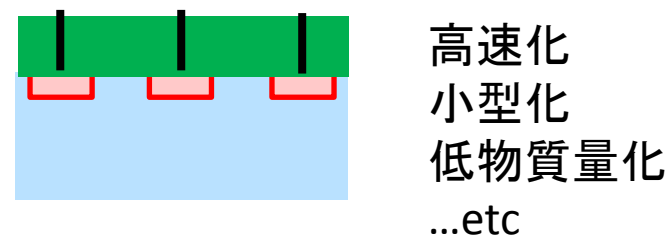
SOI Pixel Detector



モノリシック(一体)型は合理的



ハイブリッド型(今まで)



モノリシック型(これから?)

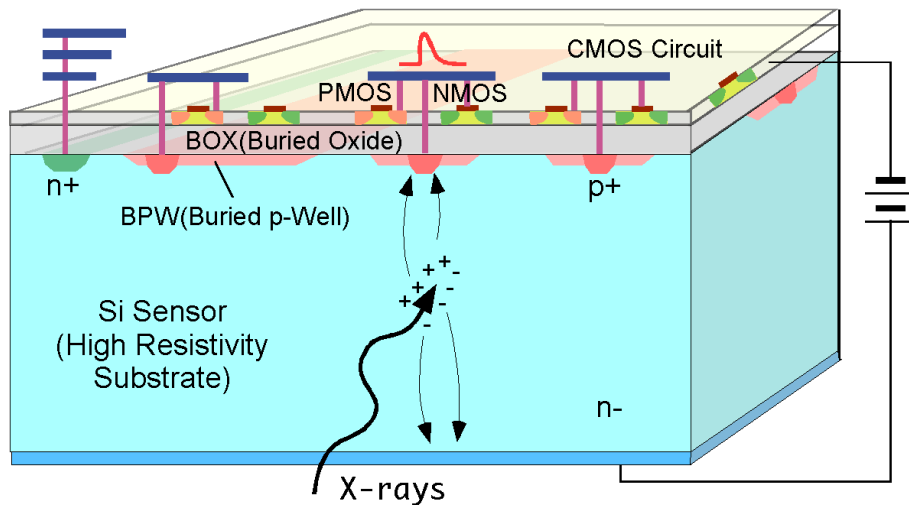
SOI検出器とは

SOI(Silicon On Insulator) 検出器

- 半導体検出器
- モノリシック検出器

⇒次世代検出器

SOI Pixel Detector



このようにSOI検出器は

- 高エネルギー、時間分解能
- 高速性
- 高集積性=高位置分解能
- 低消費電力
- 低物質質量
- 放射線耐性(Single Event効果)
- ラッチアップ耐性
- ...etc

などのメリットを兼ね備えた

“理想的な粒子検出器”

と言えます。

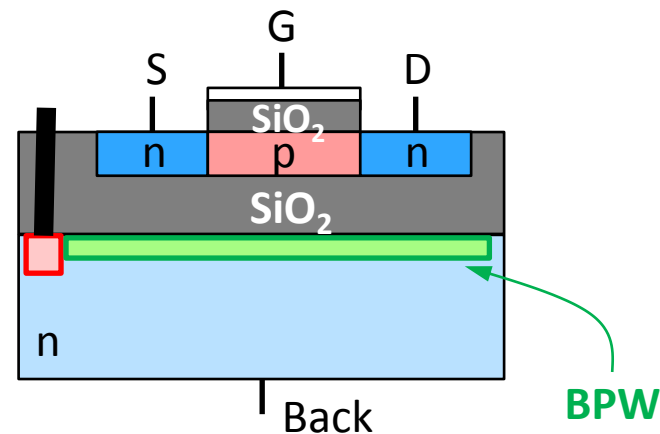
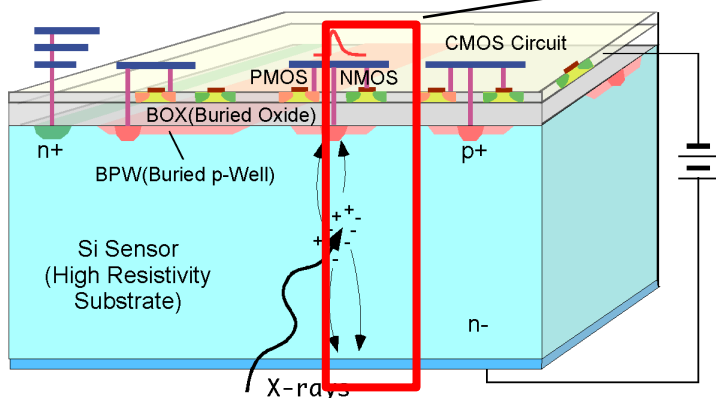
⇒ 崩壊点検出器から宇宙線検出器
まで、幅広い用途があります。

SOI検出器の課題

SOI検出器の課題

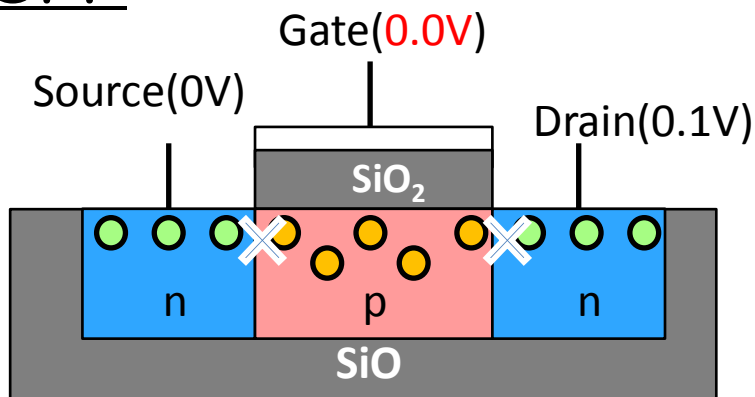
- Backgate効果 ⇒ **解決済み**
 - モノリシック検出器ならではの問題点
 - ⇒ BPWにより解決
- 放射線損傷TID効果 (Total Ionizing dose効果) ⇒ **今回の報告**
 - 放射線線量が蓄積していくことで起こる検出器の損傷
 - ⇒ トランジスタ(T_r)特性の変化が起こる。

SOI Pixel Detector

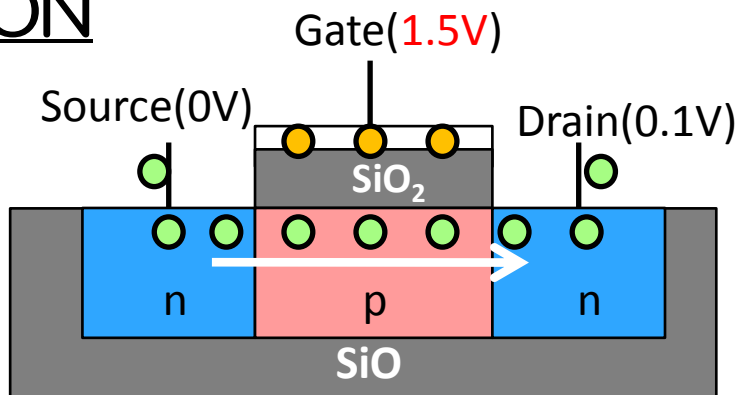


トランジスタ(Tr)特性

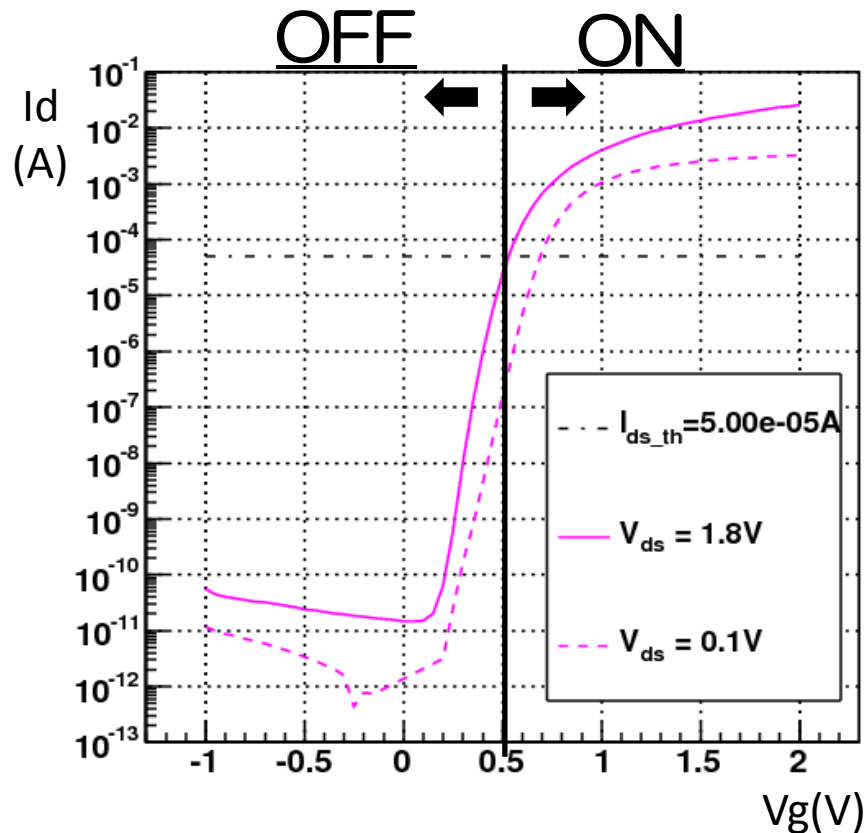
OFF



ON



Idrain – Vgate 特性 (NMOS)

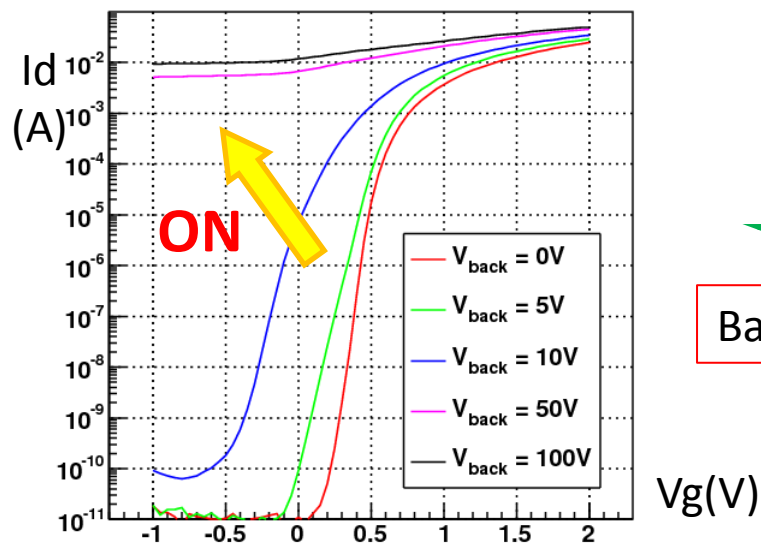
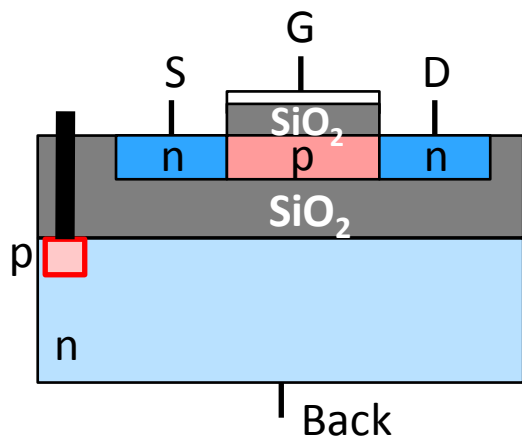


Gate電圧を上昇させていくと、あるところでDrain,Source間がONになります。

Backgate効果とBPW

- 現在、SOI検出器はBPW(Buried P Well)というP層を入れる構造をとっています。

NMOS (BPWなし)

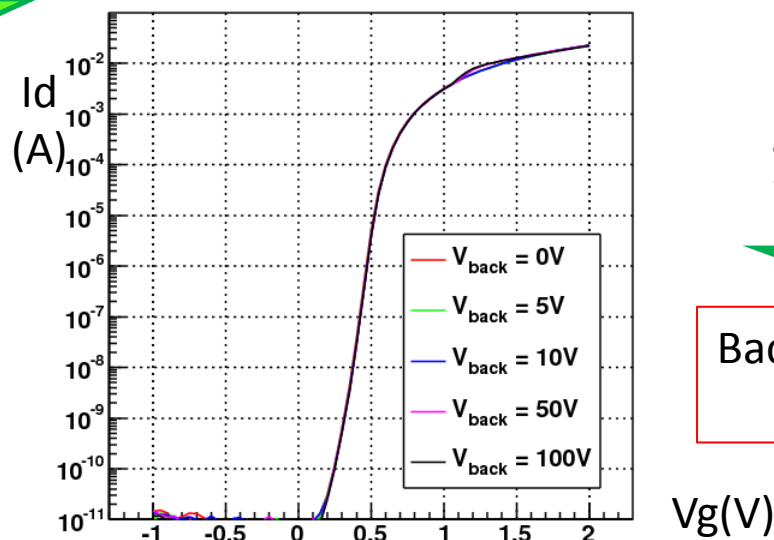
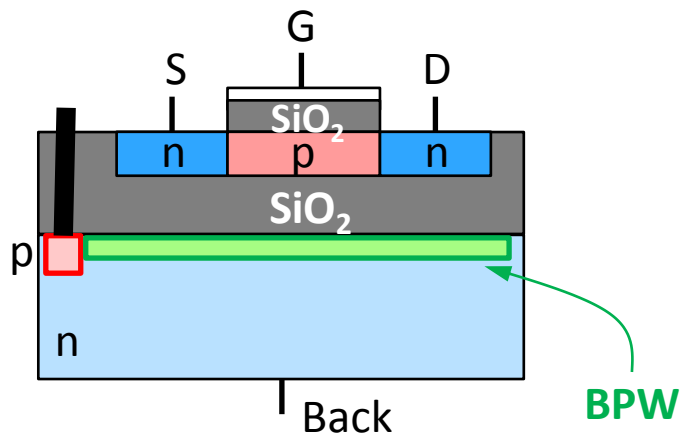


常時ON



Backgate効果

NMOS (BPWあり)



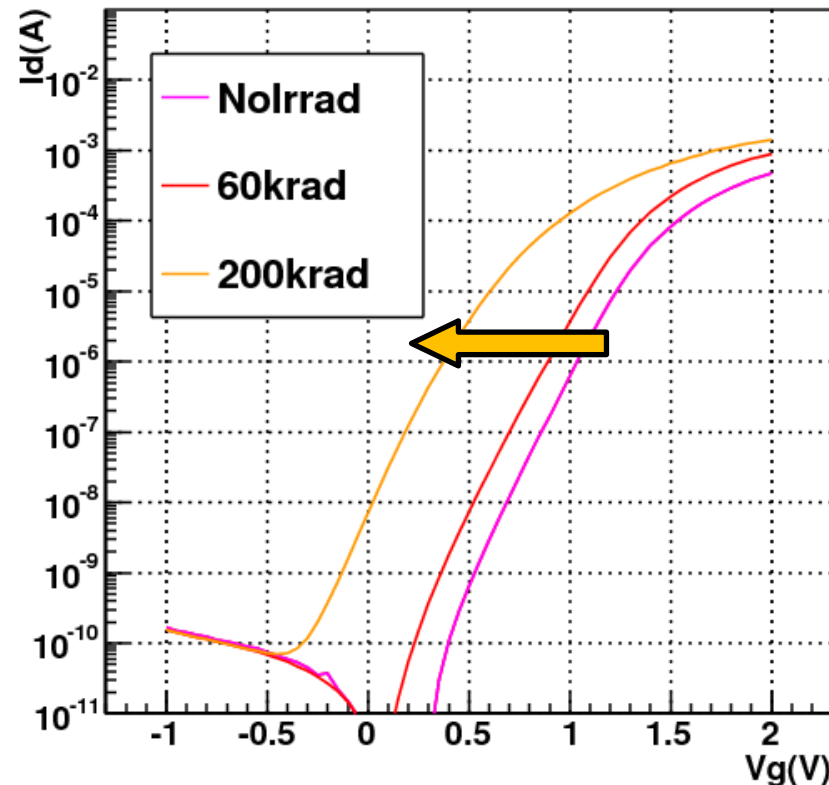
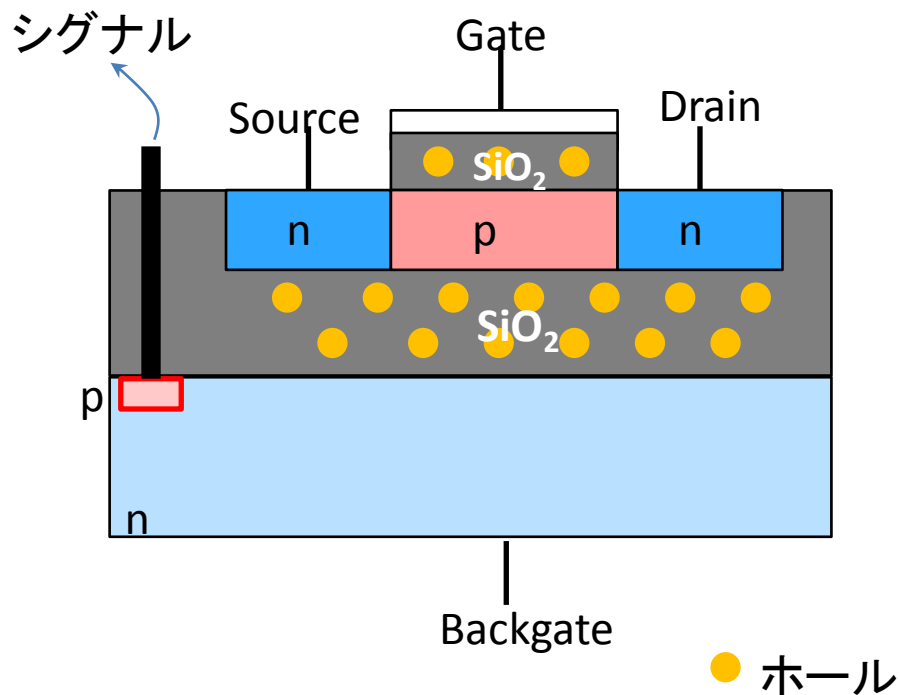
変化なし



Backgate効果
抑制

Total Ionizing Dose効果

- この放射線損傷TID効果は、酸化層にホールがトラップされることで起こると考えられています。



SOI検出器におけるTID効果

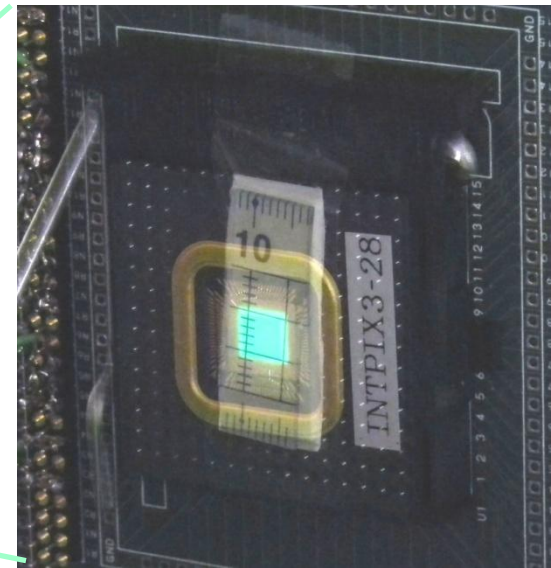
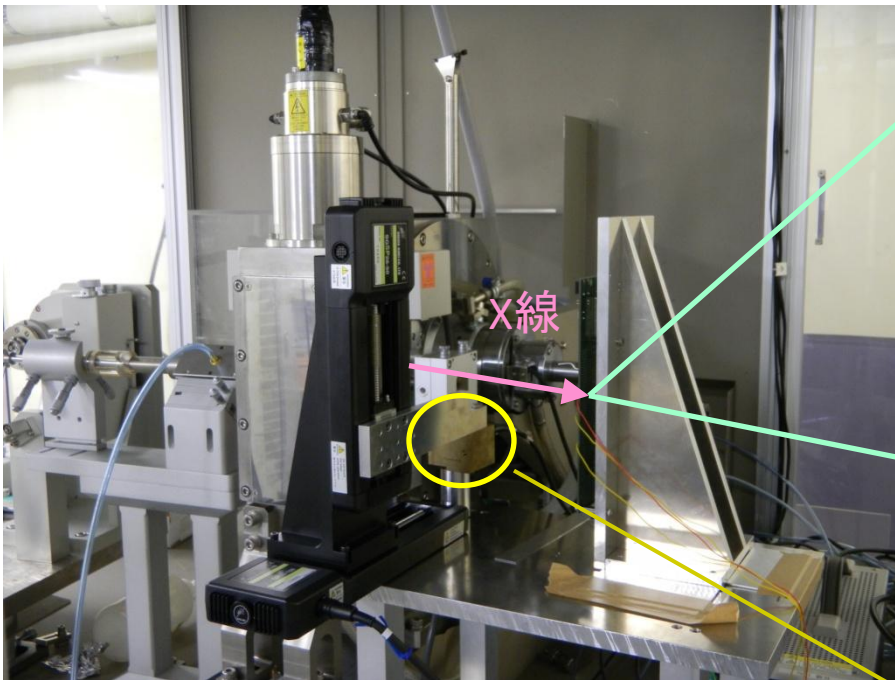
↳ トランジスタが正常動作しない。

↳ 読み出し回路が正常動作しない。

研究内容

研究内容

- SOI検出器のTID効果をX線を使って、調べました。



X線のスポットとチップ

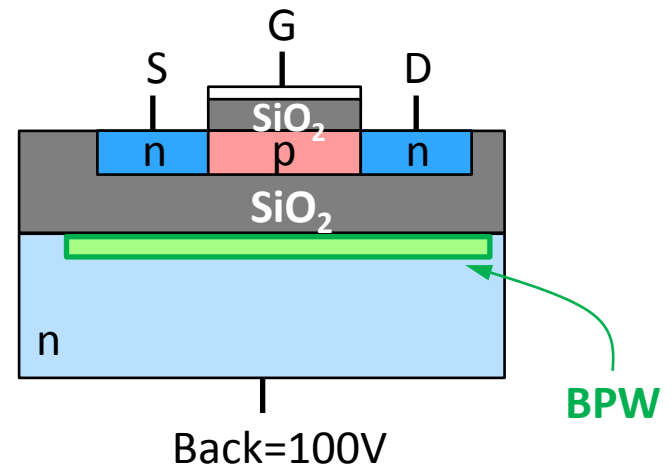
X線照射装置:リガク社 FR-D
X線:CuK α 線 8keVにピーク

フォトダイオードを使って
X線の強度を校正

X線照射 ⇔ 外して特性測定 を繰り返しました。

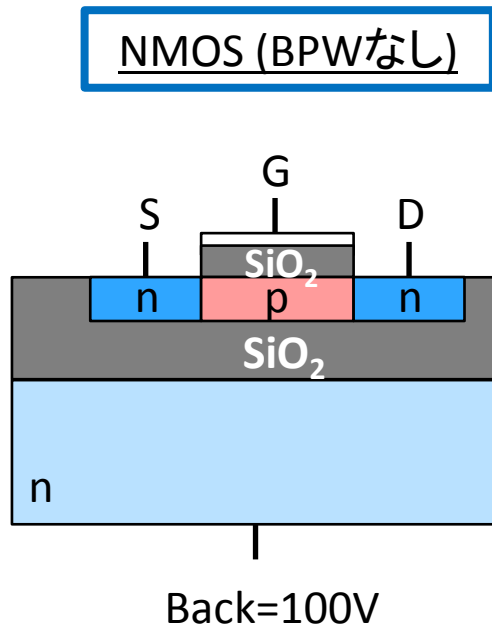
研究目的

- このTID効果に対して、
 - ① BPWによる損傷軽減(200kradまで)
 - ② BPWを使った更なる損傷軽減(1Mradまで)の試験を行いました。

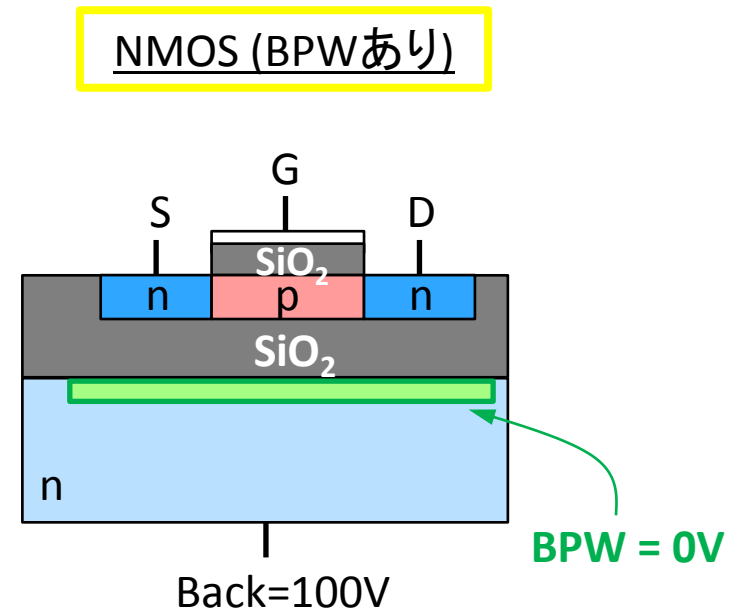


①BPWによる損傷軽減（設定）

- BPWのあるトランジスタとないトランジスタのX線損傷を比較します。
- X線照射時に電圧を以下のようにかけて試験を行いました。



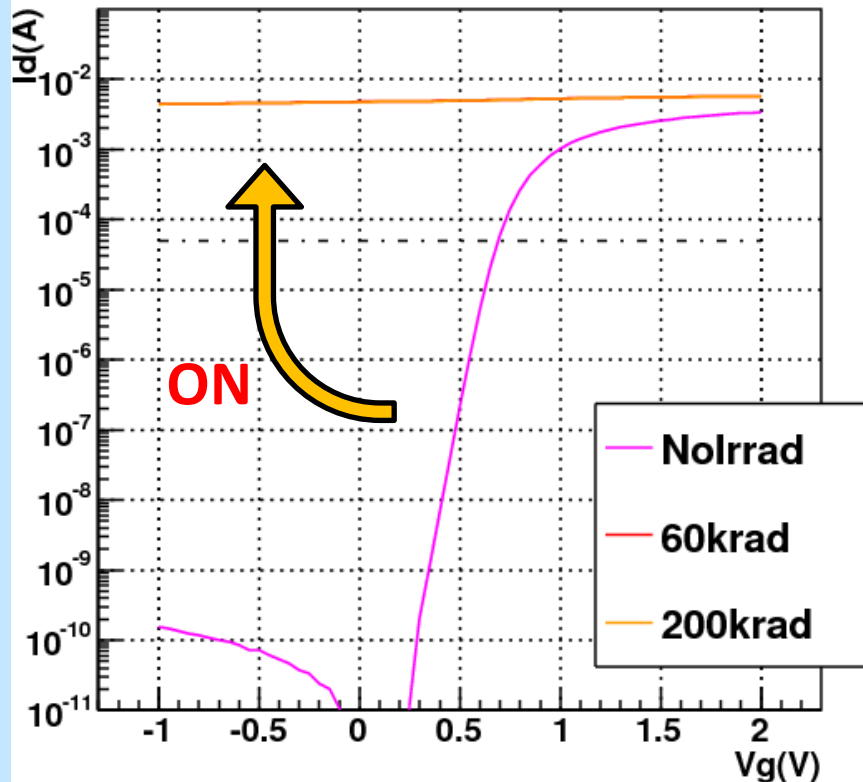
$V_{back} = 100V$ (検出器を再現)
 他: $V_{source} = V_{drain} = V_{gate} = 0V$



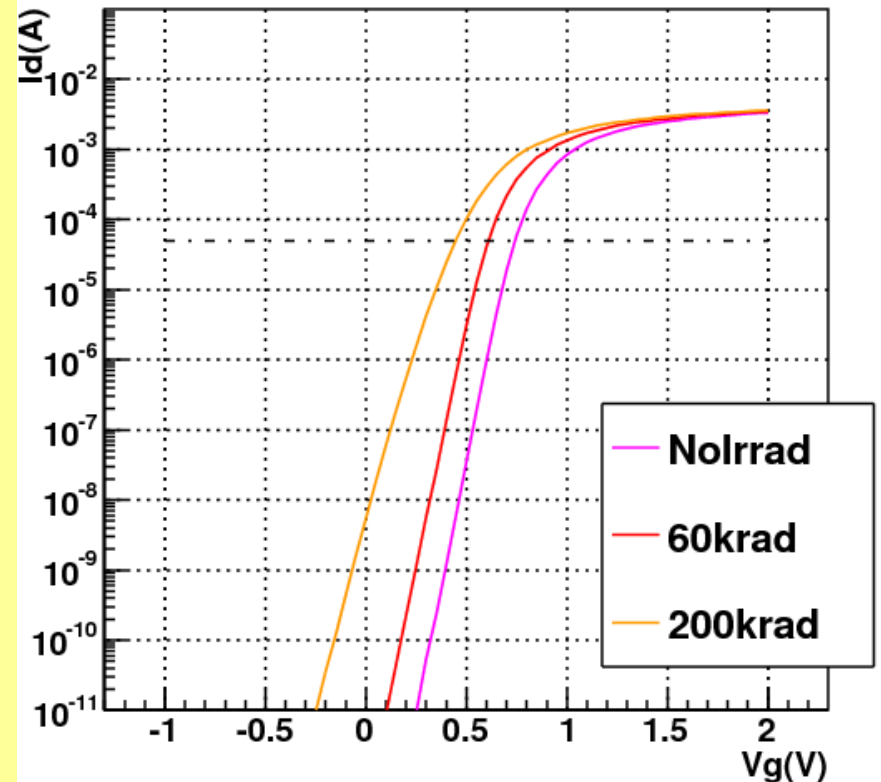
$V_{back} = 100V$ (検出器を再現)
 $V_{bpw} = 0V$
 他: $V_{source} = V_{drain} = V_{gate} = 0V$

①BPWによる損傷軽減 (結果)

BPWなし



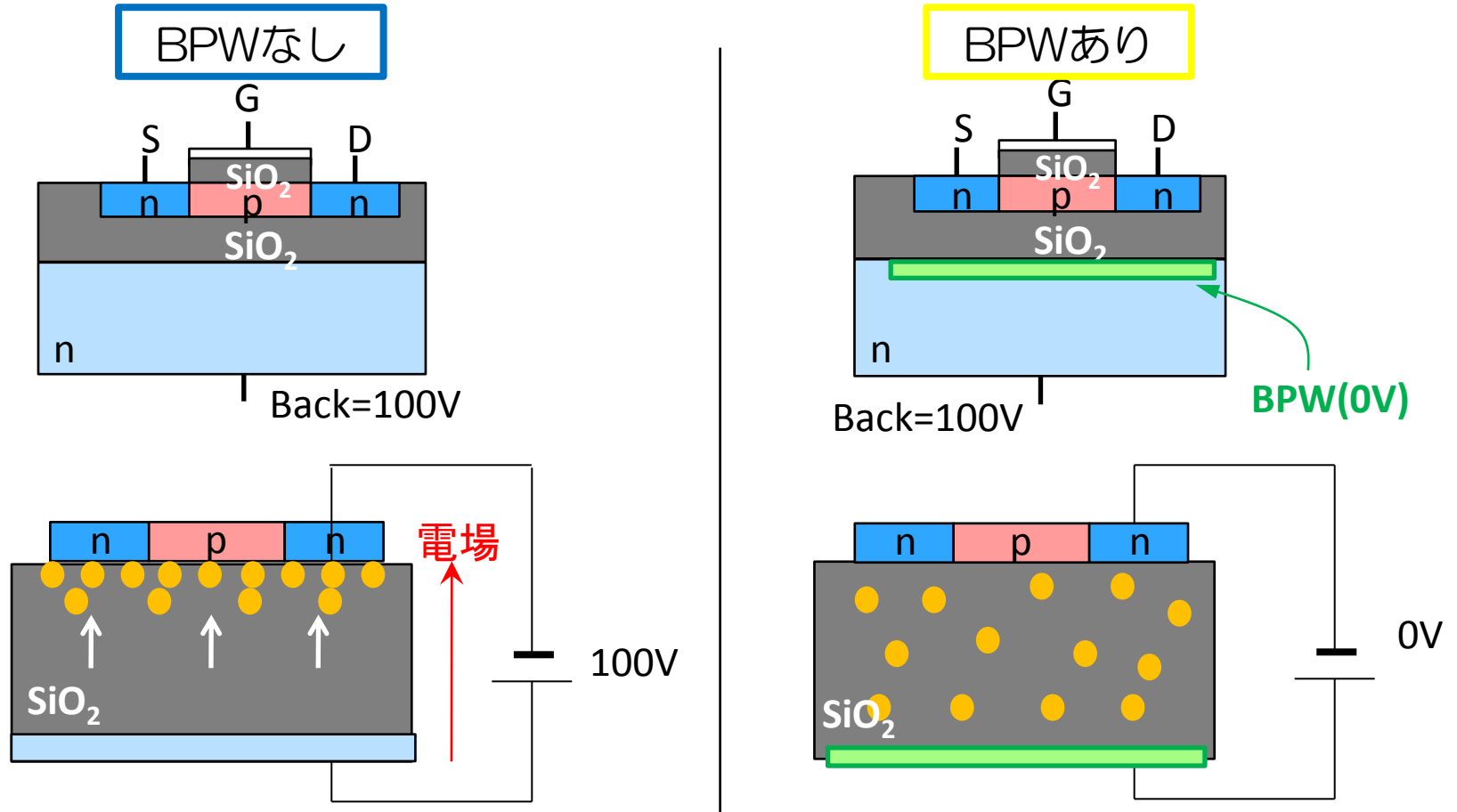
BPWあり



- BPWありではTr特性が守られている。

①BPWによる損傷軽減（原因）

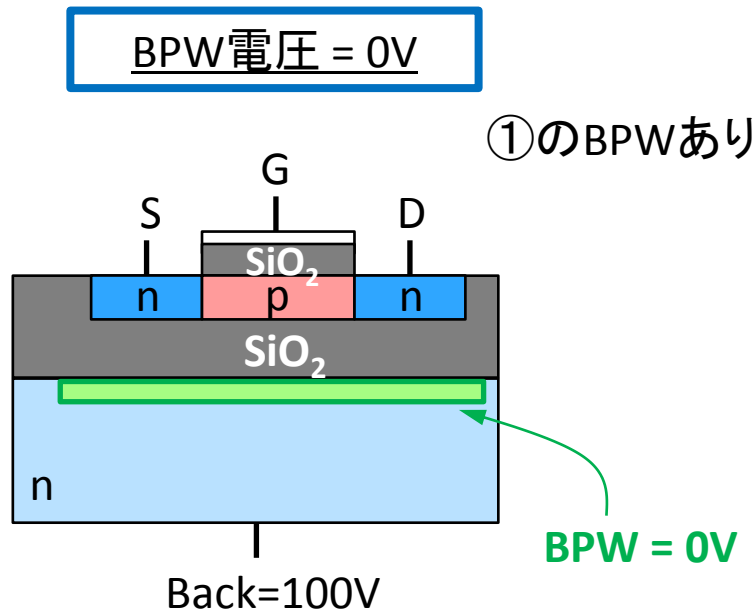
- 損傷の違いの原因は以下のように考えられます。



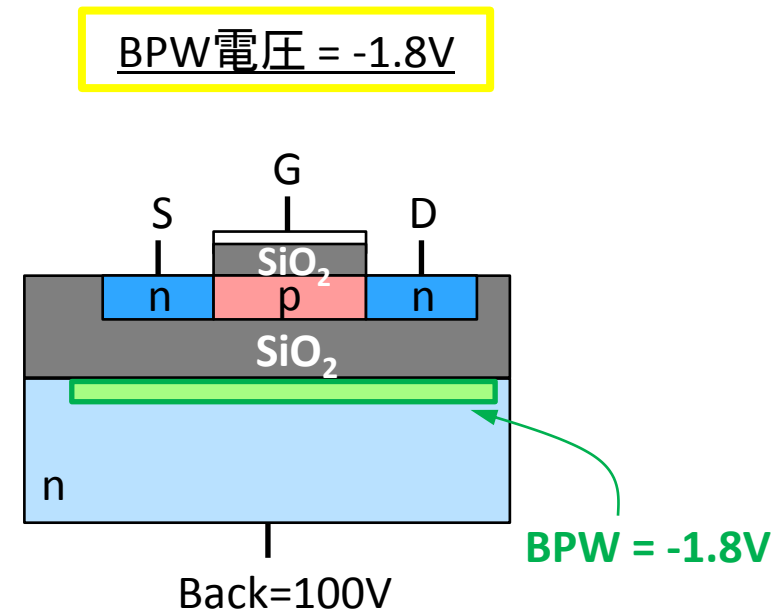
電場により、酸化膜中のホールがTrの界面に集中 ⇒ 損傷が大きくなった。

②更なる損傷軽減 (設定)

- 先ほどの結果を受けて、ホールをTr界面に行かせないようにすれば、損傷が軽減できると考えました(先ほどと逆)。
- BPW電圧を変えてみました。



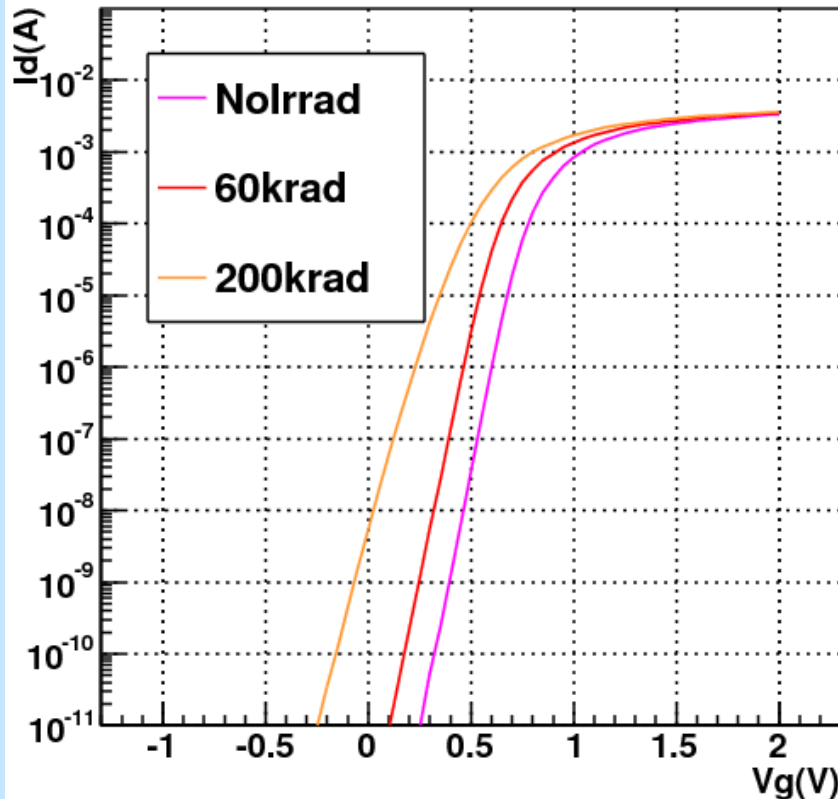
Vbpw = 0V
 Vback = 100V (検出器を再現)
 他:Vsource = Vdrain = Vgate = 0V



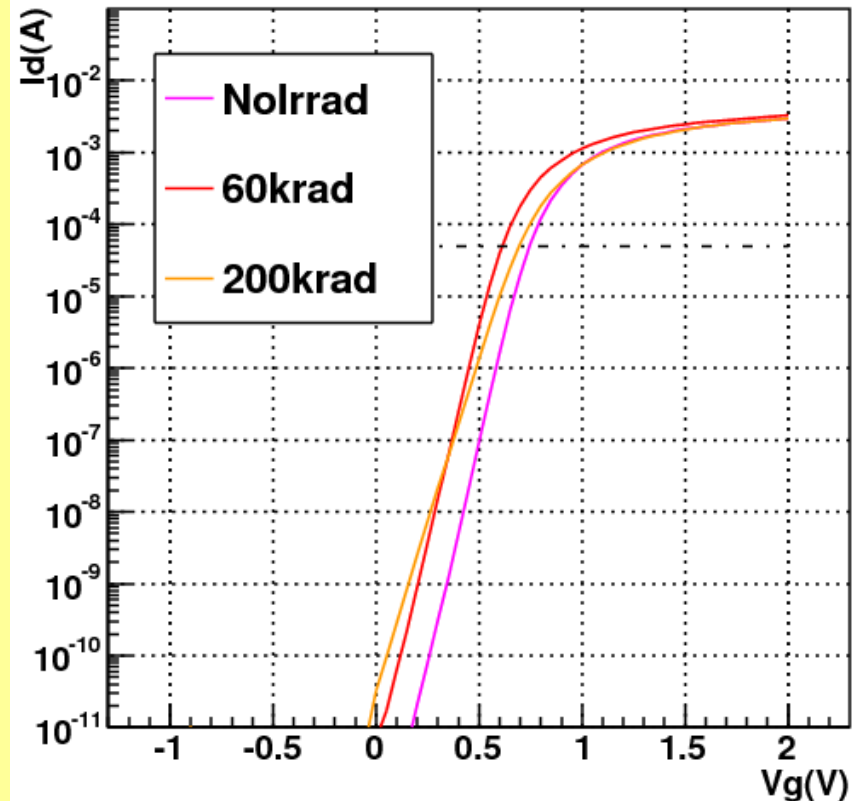
Vbpw = -1.8V
 Vback = 100V (検出器を再現)
 他:Vsource = Vdrain = Vgate = 0V

②更なる損傷軽減 (結果200kradまで)

BPW電圧 = 0.0 V



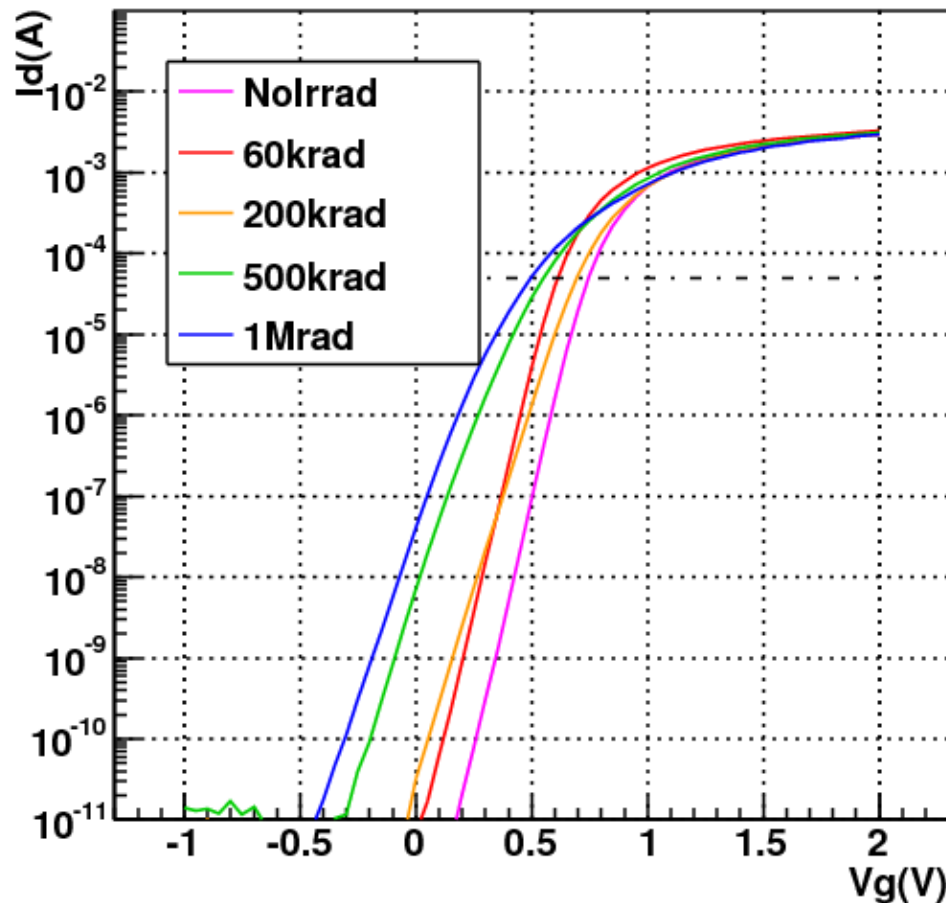
BPW電圧 = -1.8 V



- BPW電圧=-1.8Vで損傷によるTr特性のシフトが小さくなっています。
⇒ 損傷が軽減できました。

②更なる損傷軽減 (結果1Mradまで)

- BPW電圧=-1.8Vでの1MradまでのTr特性の変化です。



特性はシフトしていますが、Trのスイッチング特性は出ていることが分かります。

まとめ&今後

まとめ

- 次世代の半導体検出器、SOI検出器を開発しています。
- SOI検出器における放射線損傷TID効果、トランジスタ特性の変化を調べました。
- ①BPWがあることにより、放射線損傷が大幅に軽減できることが分かりました。
- ②X線照射時にBPW電圧を負にすることで、放射線損傷がさらに軽減できることが分かりました。

今後

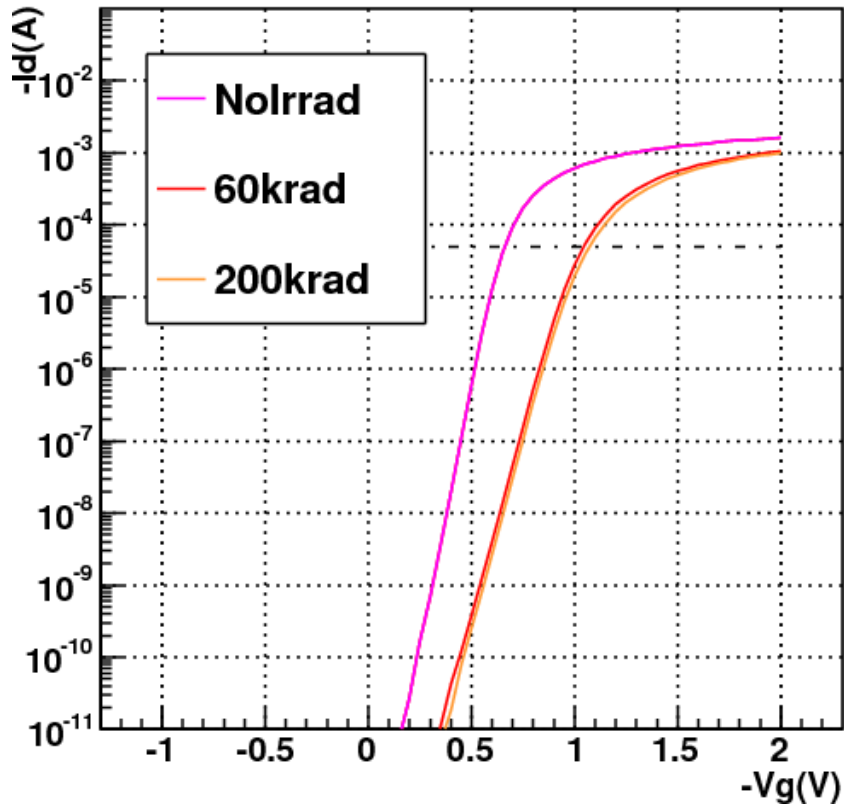
- BPWの負電圧を変えたときのTr特性の変化を調べる予定です。
- 現在、半導体シミュレーションソフトTCADを用いてセンサー構造の検討を行っています。

バックアップ

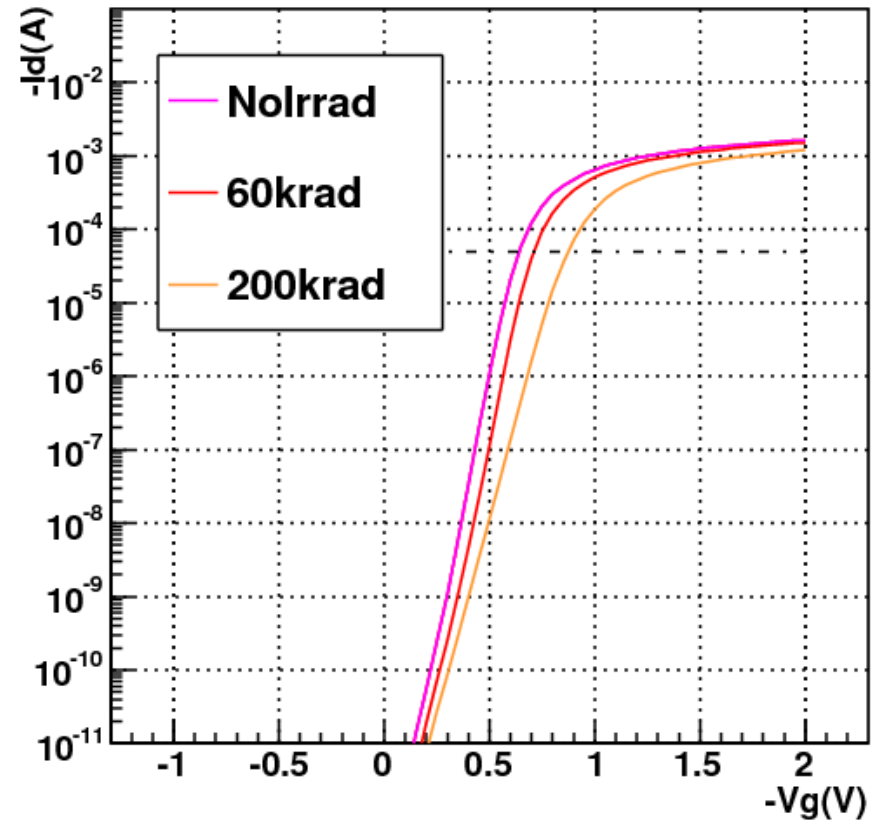
- ◆PMOSの結果
- ◆TCADについて

① PMOS (200kradまで)

BPWなし



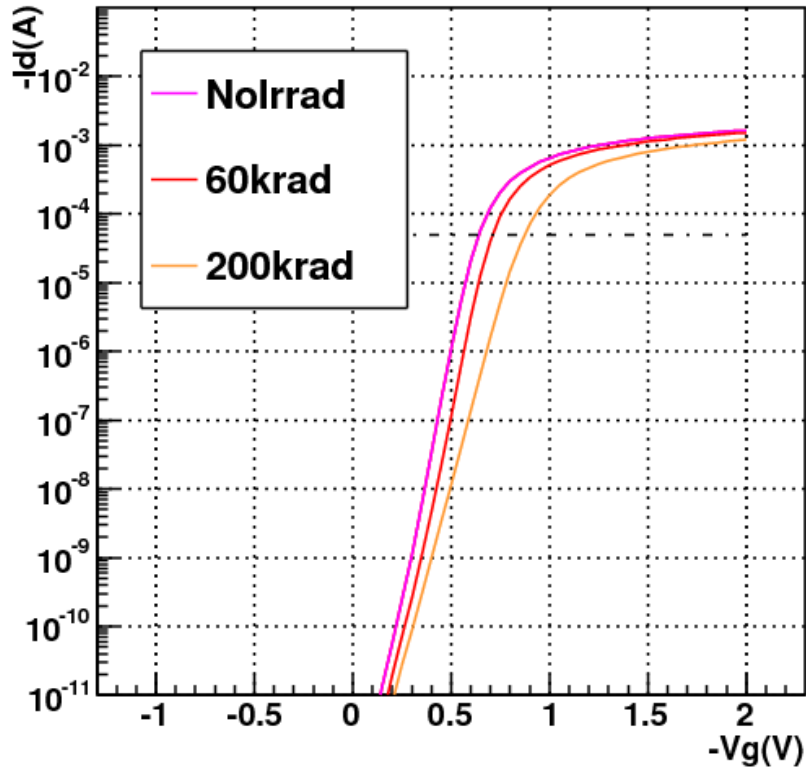
BPWあり



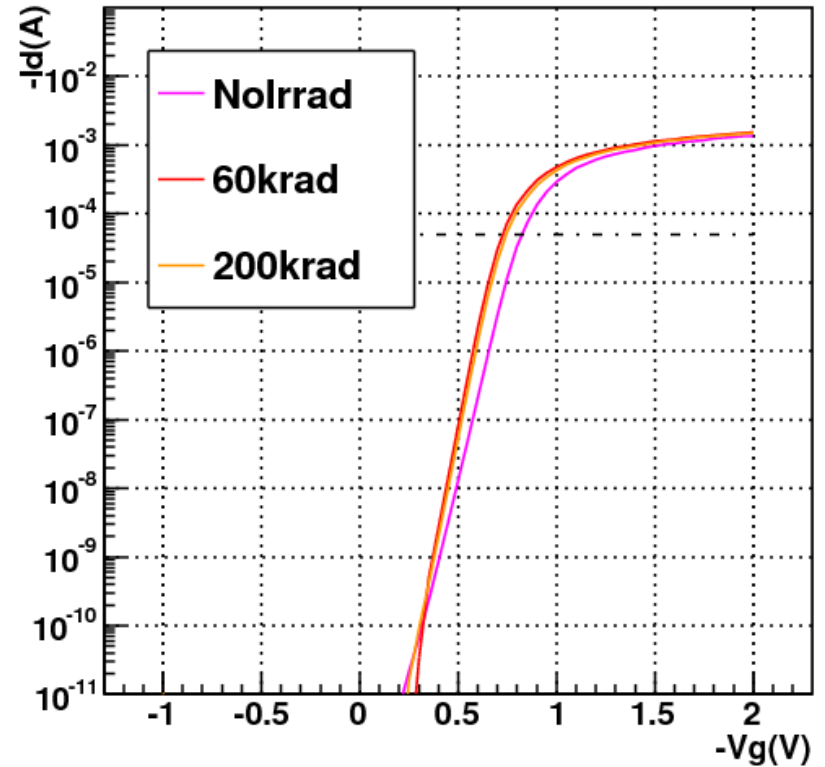
- PMOSはNMOSと比較して、損傷が小さいです。

②PMOS(200kradまで)

BPW電圧 = 0.0 V



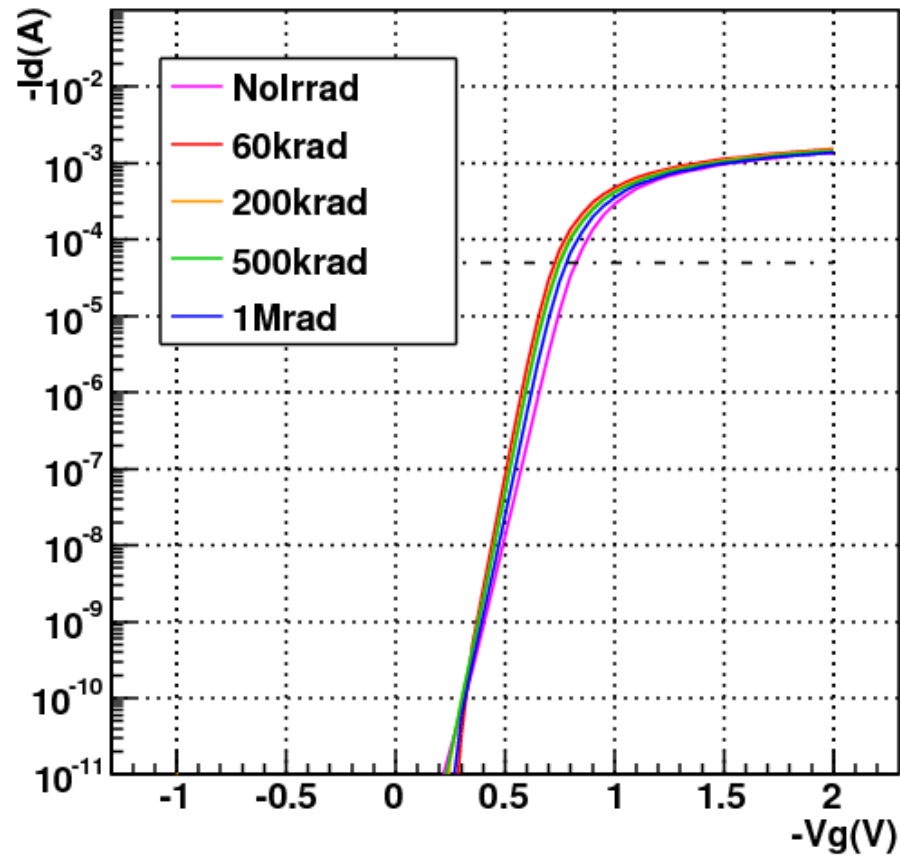
BPW電圧 = -1.8 V



- c)では逆にシフトしてしまっていますが、b)の未照射からのシフト量は少ないです。

※(c)は逆に変位してしまったので(2月に照射した損傷が残っている?)、(b)の未照射を使います。

②PMOS(1Mkradまで)



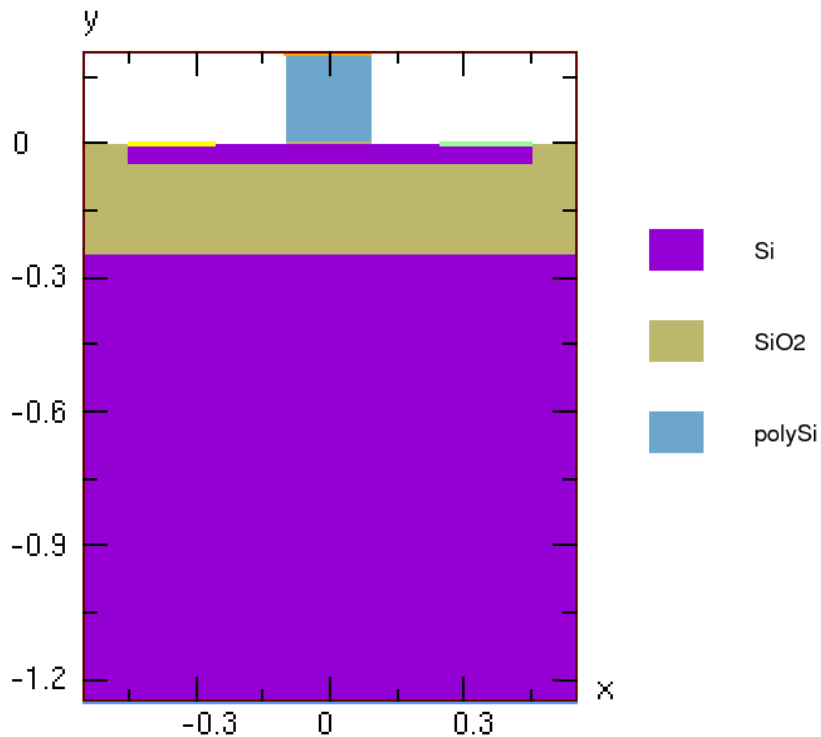
- ほぼ変化なし

TCADについて 1

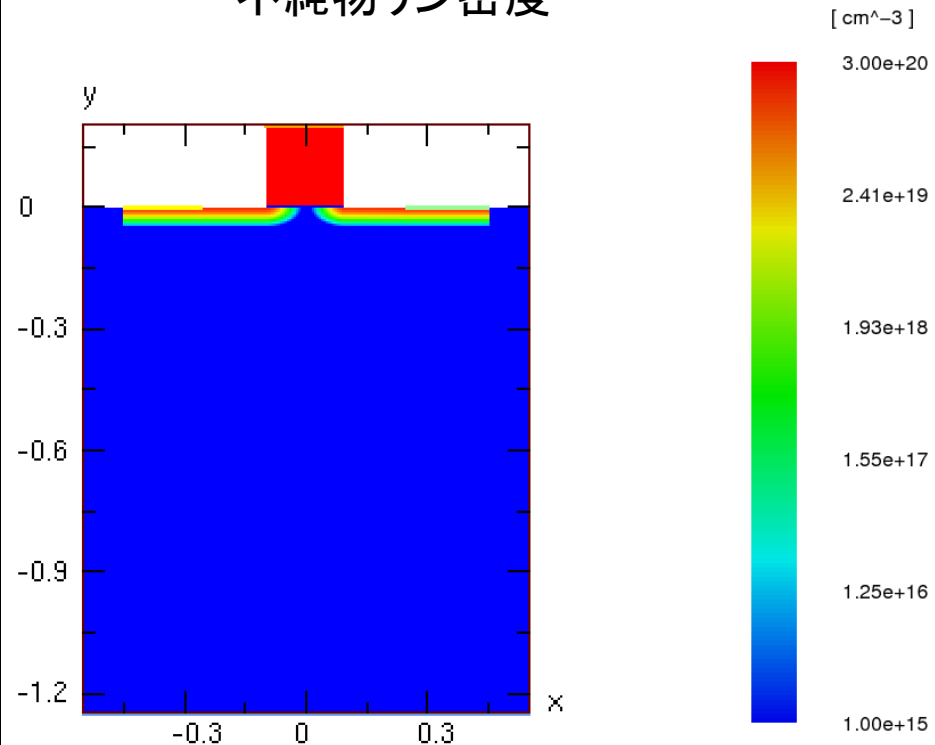
- 半導体デバイスを自分の好きなように作って、そのデバイスの特性を測定することのできるソフト。

例) Backgate 効果

デバイス構造



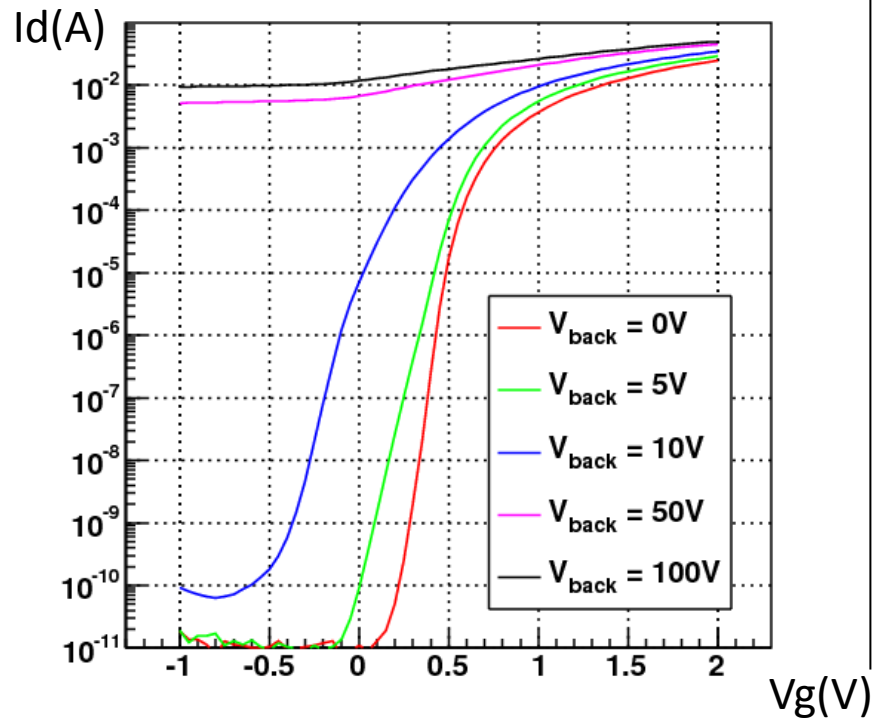
不純物リン密度



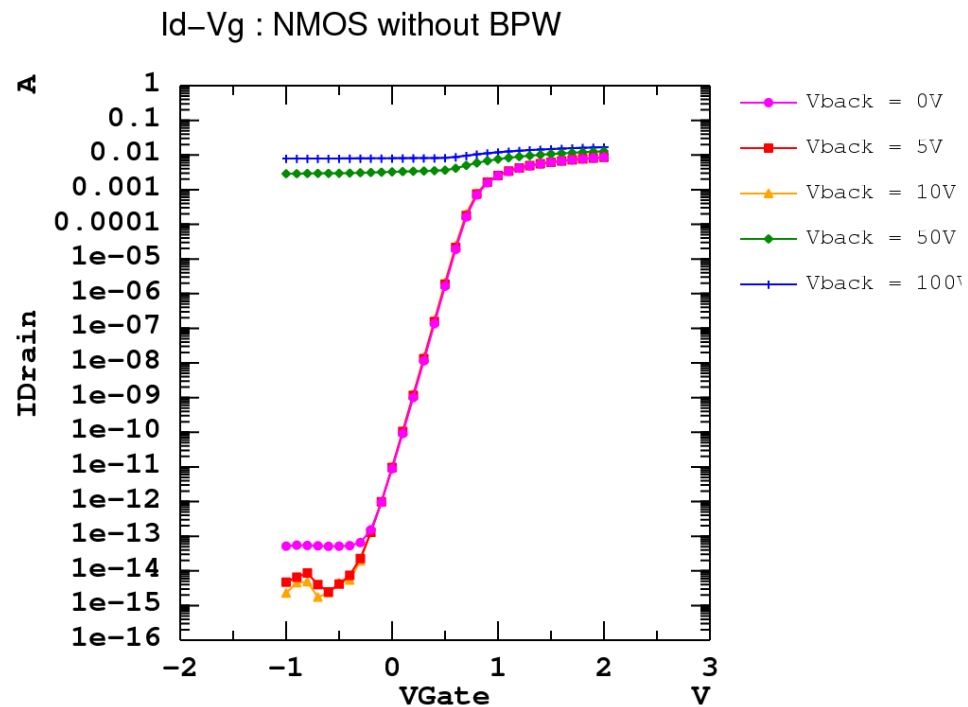
TCADについて 2

BPWなし

実データ



TCADシミュレーション

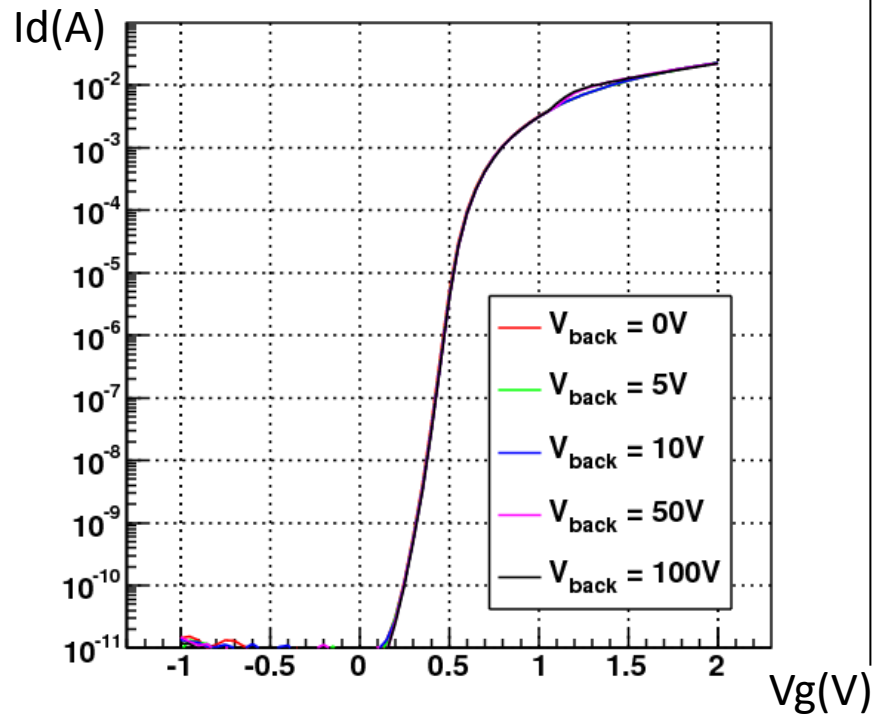


- Backgate効果によって、TrがONになっている。

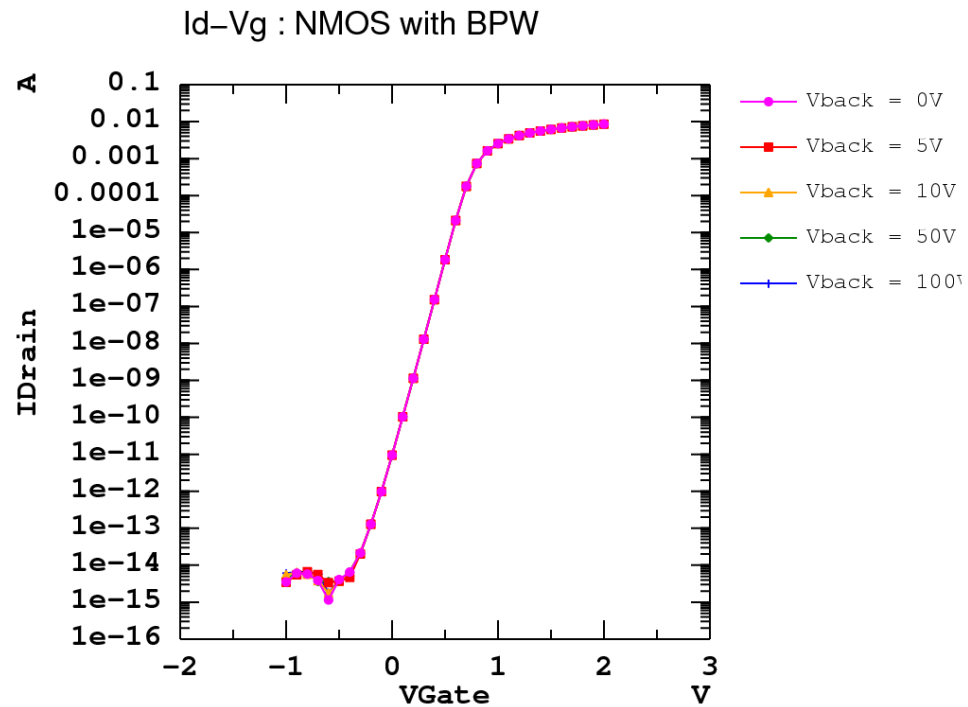
TCADについて 3

BPWあり

実データ



TCADシミュレーション



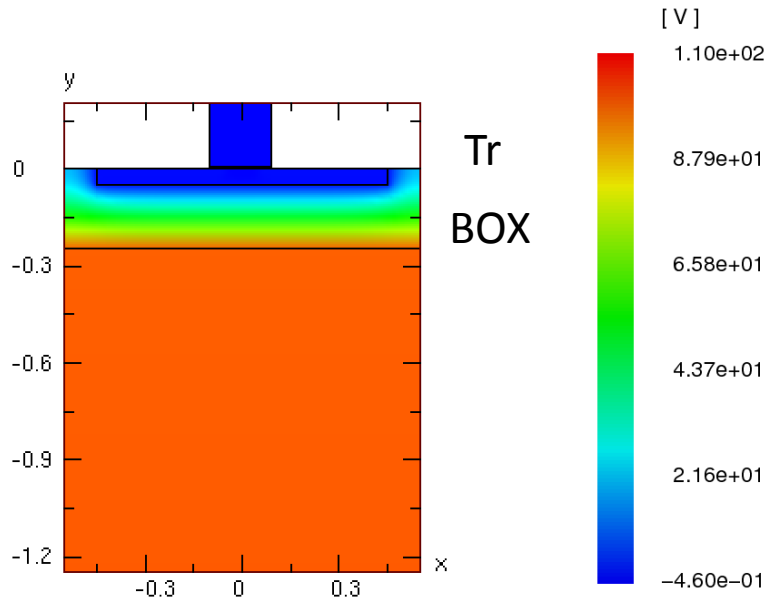
- Backgate効果が抑えられている。

TCADについて 4

電位分布

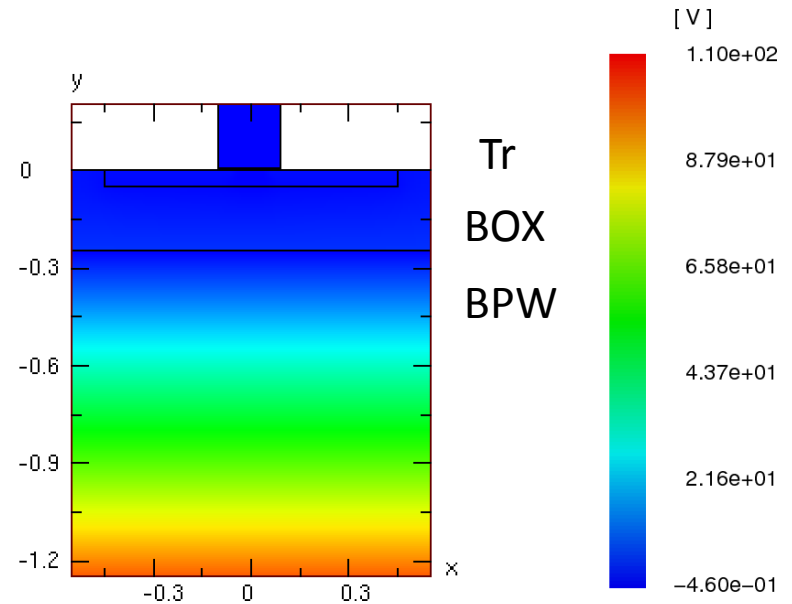
BPWなし

Backgate effect without BPW



BPWあり

Backgate effect with BPW



- BPWなしではTr側に電場がしみ出している。⇒ TrがONになった。