

ILDハドロンカロリメータのための シンチレータセルユニットの研究開発

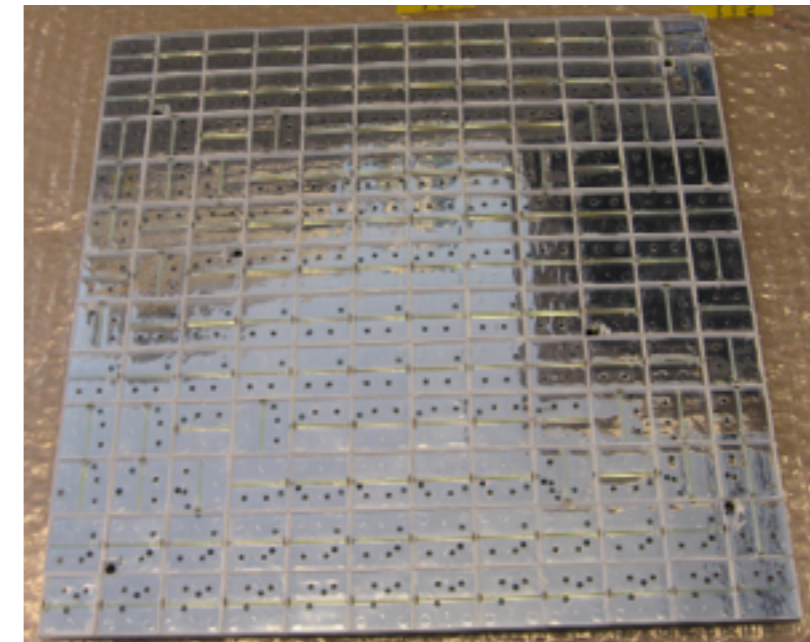
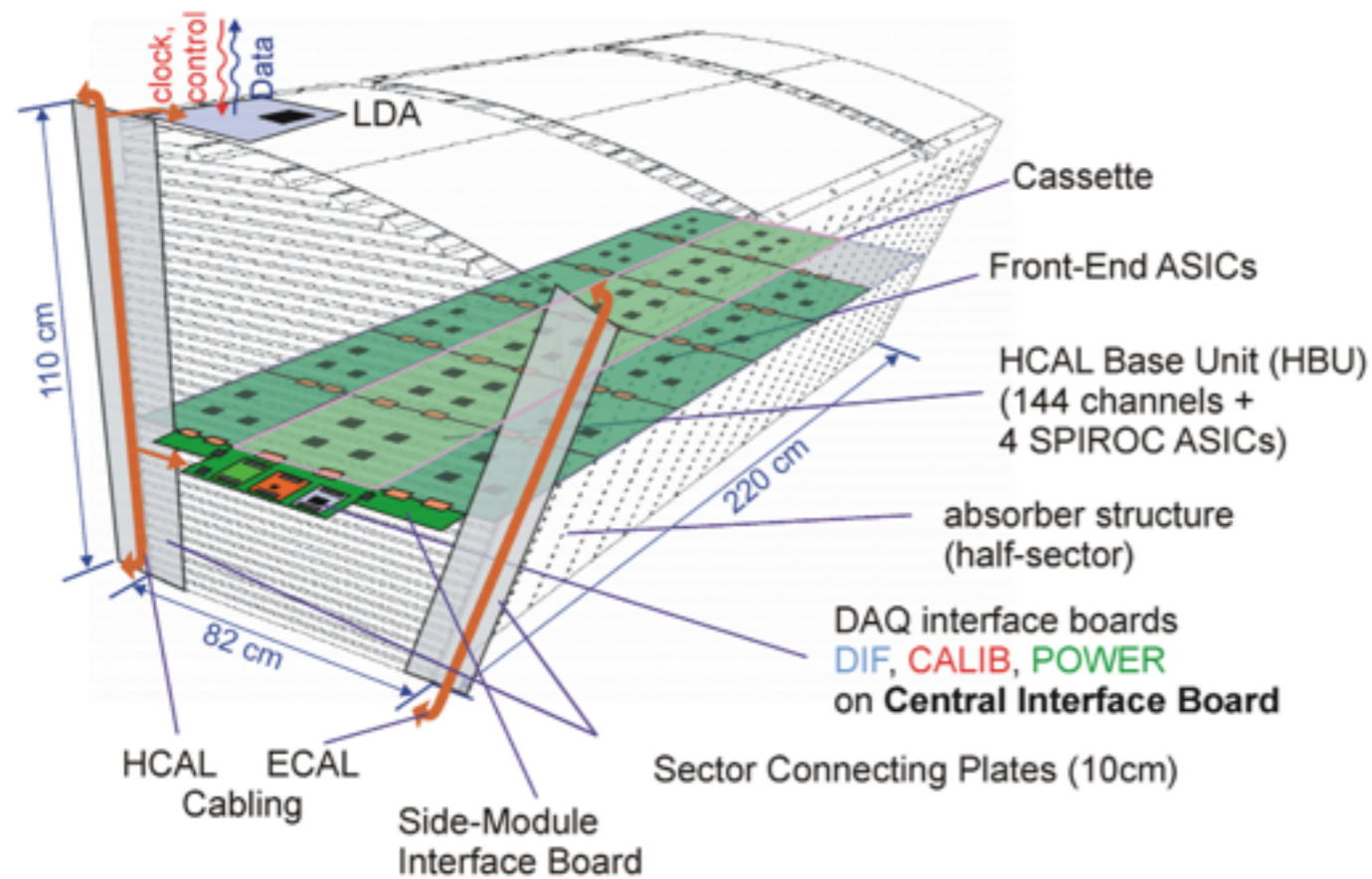
第21回 ICEPPシンポジウム

東京大学 柴田直哉

目次

- ILCの検出器案ILDにおけるHCALについて
- HCALに使用するMPPCの放射線照射試験
 - ガンマ線照射試験@高崎量子応用研究所
 - 中性子照射試験@神戸大学

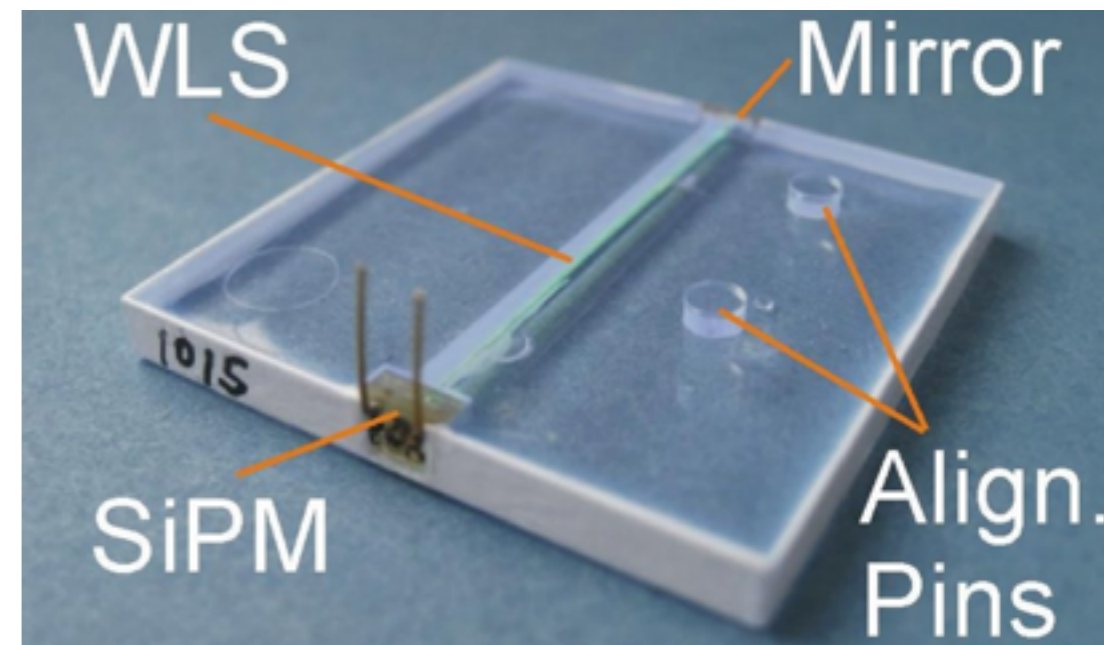
ILDにおけるハドロンカロリメータ



吸収層: 鉄

検出層: セルユニット+読み出し回路一体型
セルユニットをピクセル状に配置

セルユニット: プラスチックシンチレータ+MPPC



HCALにおける放射線環境
 10^{11} neutron/cm² (10year)



MPPCの放射線耐性が重要

MPPPCの放射線照射試験

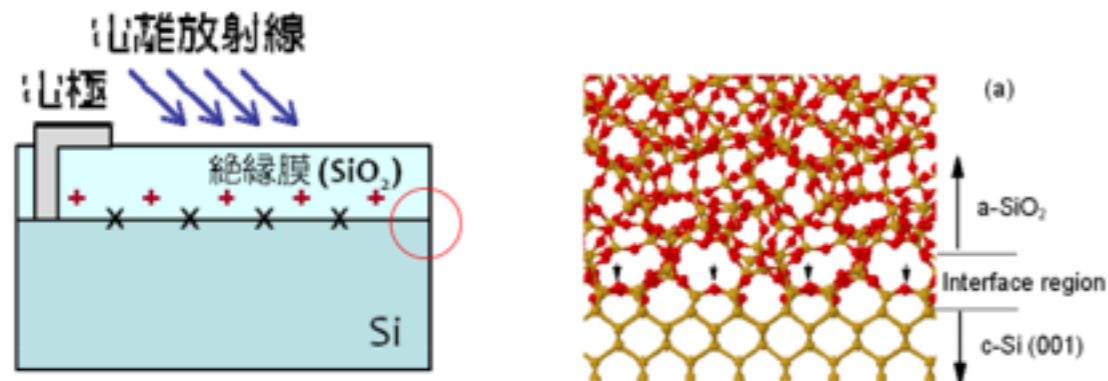
放射線によるMPPCの損傷

半導体デバイス内での放射線による損傷の要因：2種類

- 電離過程 ← ガンマ線, 電子
- 非電離過程 ← 中性子, 陽子

電離過程による損傷

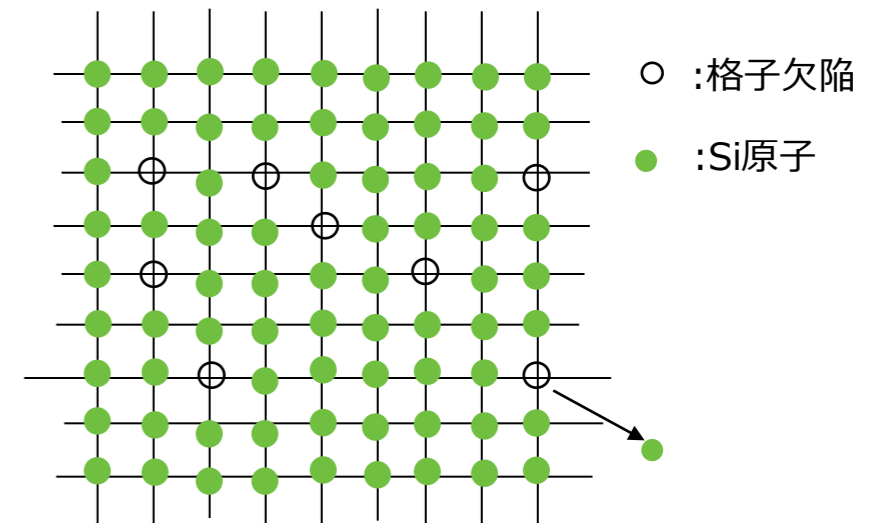
Si層と絶縁層の間の領域での化学的な結合の破壊
 界面-絶縁膜中での欠陥での正孔捕獲による電気的性質変化



MIS構造半導体
 第三回次世代光センサーに関するワークショップ(2010年12月名古屋大学)
 防衛大松村徹さんスライドより

非電離過程による損傷

中性子により格子点上のSi原子がはじき出され
 欠陥ができる



これらの影響でバンドギャップ中に新しいエネルギー準位ができる



→ **ダークノイズ、リーク電流の増加**

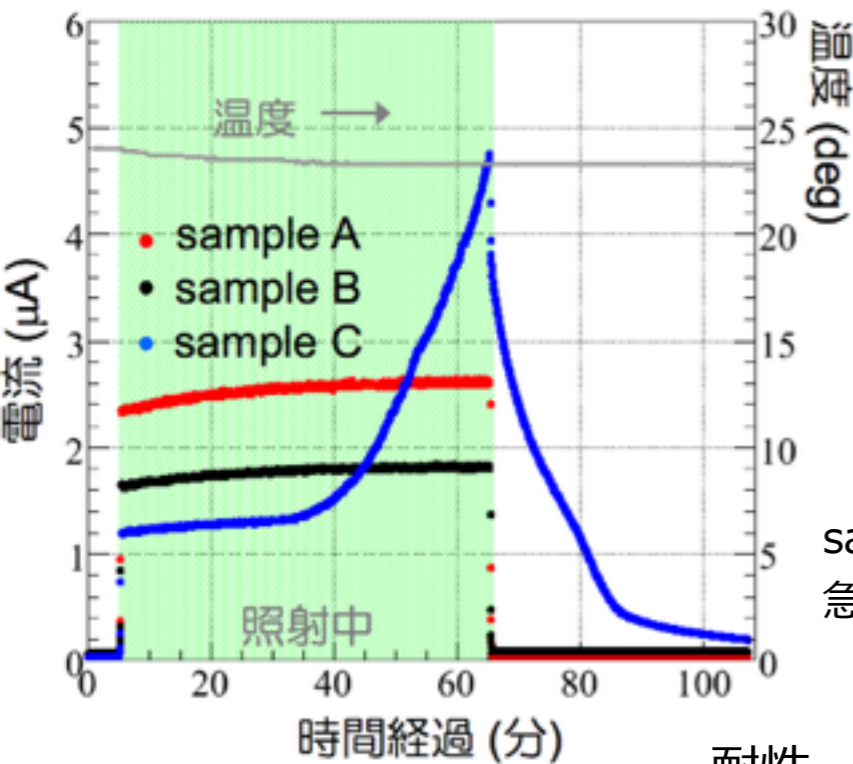
先行研究の結果

ガンマ線照射試験

リーク電流が急激に上昇する
吸収線量の閾値が見られた

サンプル	絶縁膜 (有感域) 厚さ <100 nm	絶縁膜 (その他) 厚さ ~500 nm	備考
A	SiO ₂	SiO ₂	窒化膜なし
B	SiN	SiN on SiO ₂	従来品
C	SiN on SiO ₂	SiN on SiO ₂	有感域に薄い酸化膜

② 60 – 120 Gy (60 Gy/h)



リーク電流急増の閾値

- ・ sample B: 220Gy
- ・ sample C: 60Gy

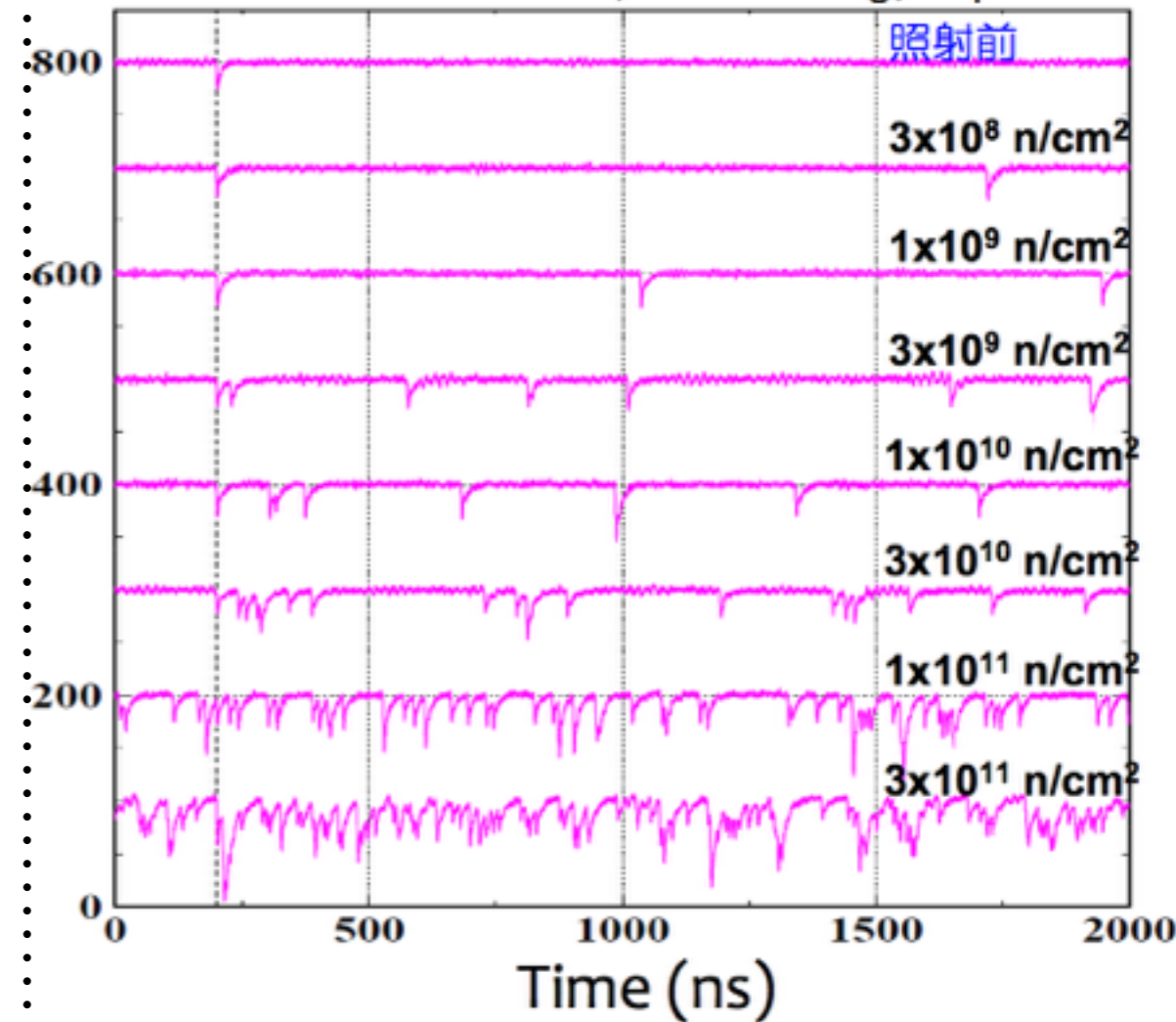
sample Aは3620Gyまで照射しても急増は見られなかった

耐性 A>B>C (絶縁膜の違いによる)

中性子照射試験

ダークノイズの増加が見られた

I.Nakamura, JPS meeting, Sep. 2008



今回行った照射試験の目的

- 最近のMPPCは様々な改良を加えられており放射線耐性も向上の可能性はある
- 実際に中性子及びガンマ線をMPPCに照射し特性を調べた

使用MPPC

old type: 先行研究で使用 アフターパルス抑制無し

new type: アフターパルス抑制モデル
AP抑制のための内部構造の変更がある可能性
— 中性子への耐性の向上の可能性

new(VUV) type: アフターパルス抑制モデル
VUV感度のために絶縁層の物質が変更されている可能性
— ガンマ線への耐性向上の可能性

MEG実験の放射線環境(5年)

- 中性子: 1.6×10^8 n/cm²
- ガンマ線: 0.6Gy

ガンマ線照射試験

絶縁膜が異なる可能性のあるサンプル間で比較
vuvとそれ以外の比較

- **new type**
 - S12572-025C(3mm x 3mm, 25 μ m pitch)
- **new(VUV) type**
 - VUV MPPC(6mm x 6mm, 50 μ m)

中性子照射試験

typeが異なるサンプル間で比較
newとoldの比較

- **new type**
 - S12571-025C(1mm x 1mm, 25 μ m pitch)
- **new(VUV) type**
 - VUV MPPC(6mm x 6mm, 50 μ m)
- **old type**
 - S10352-11-025C(1mm x 1mm, 25 μ m pitch)

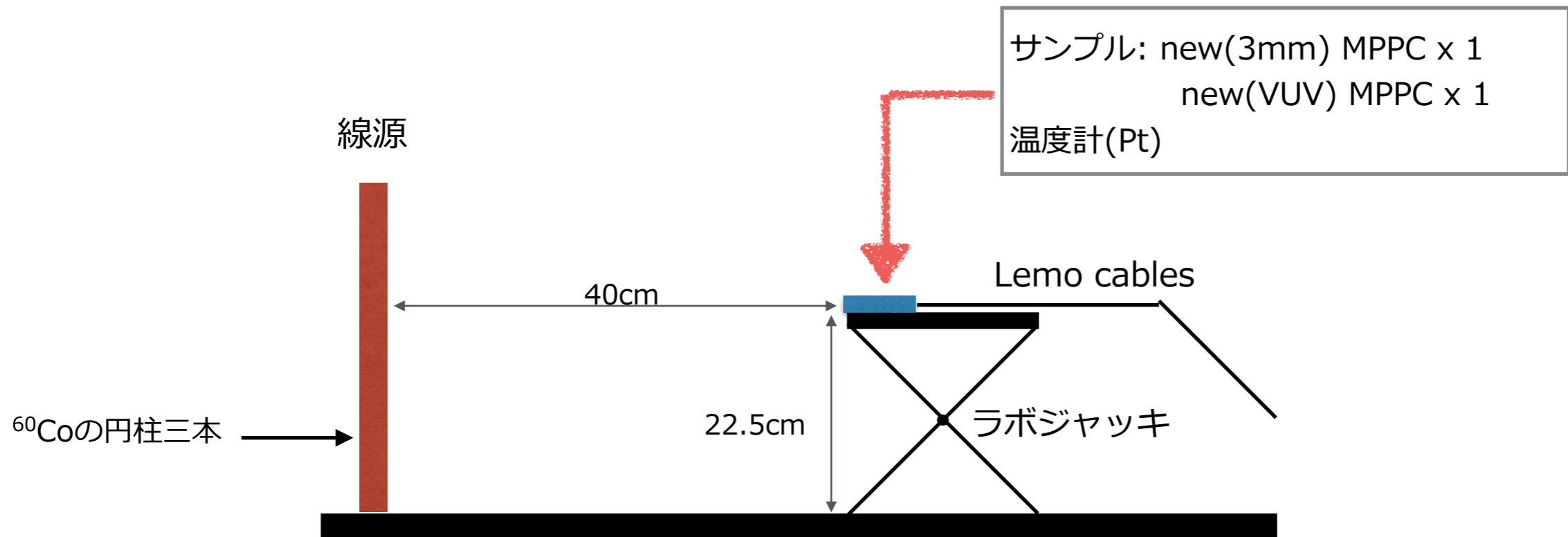
1.ガンマ線照射試験

@高崎量子応用研究所

2015/1/6 ~ 1/14

謝辞:JAEA出崎亮さん、KEK上野一樹さんご協力のもと実施された

セットアップ



温度計 (Pt)

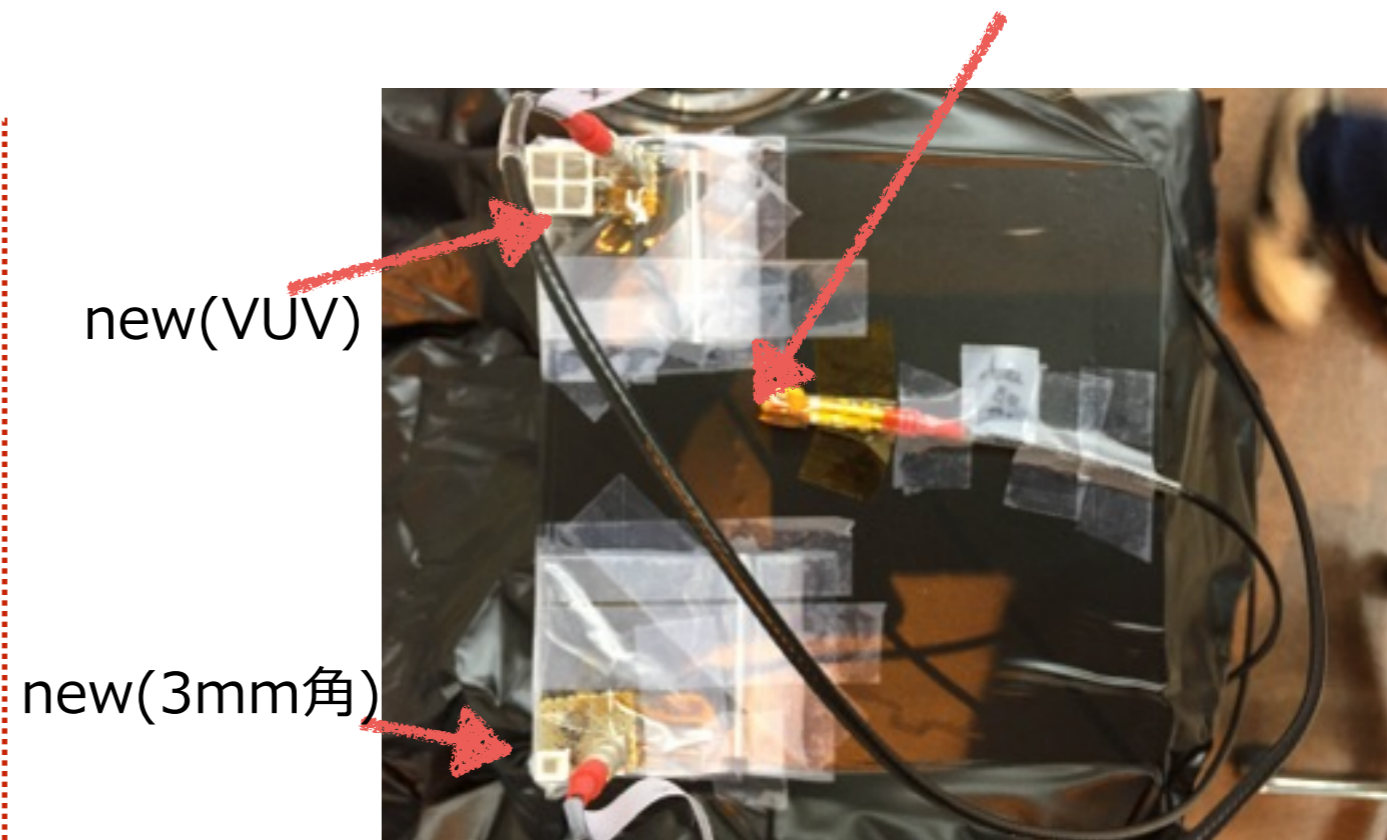
- 線源 : ^{60}Co (16TBq)
- バイアス電圧をかけながらMPPCのリーク電流をモニター

吸収線量/時 : 30Gy/h

線源からの距離40cm

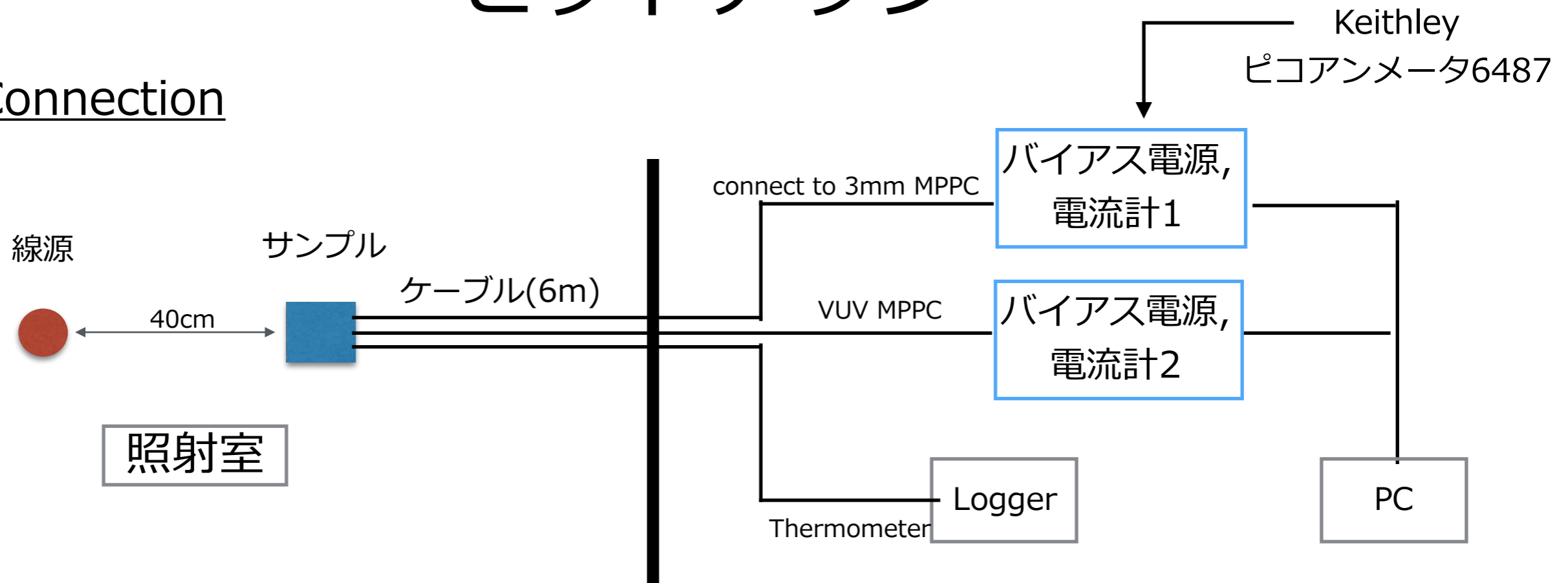
高さ22.5cm地点

9



セットアップ

Connection



取得データ

- MPPCのリーク電流
- バイアス電圧
- 時間

また、温度をリアルタイムで測定

照射条件

総線量

- サンプルセット 1 (new(3mm) x 1, new(VUV) x 1) : ~1.4 kGy
- サンプルセット 2 (new(3mm) x 1, new(VUV) x 1) : ~4.1kGy

温度変化

- 試験中、予想以上の温度変化があった

温度による影響

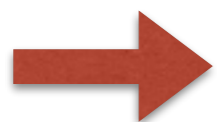
MPPCは温度変化により特性が変化する

ブレークダウン電圧:

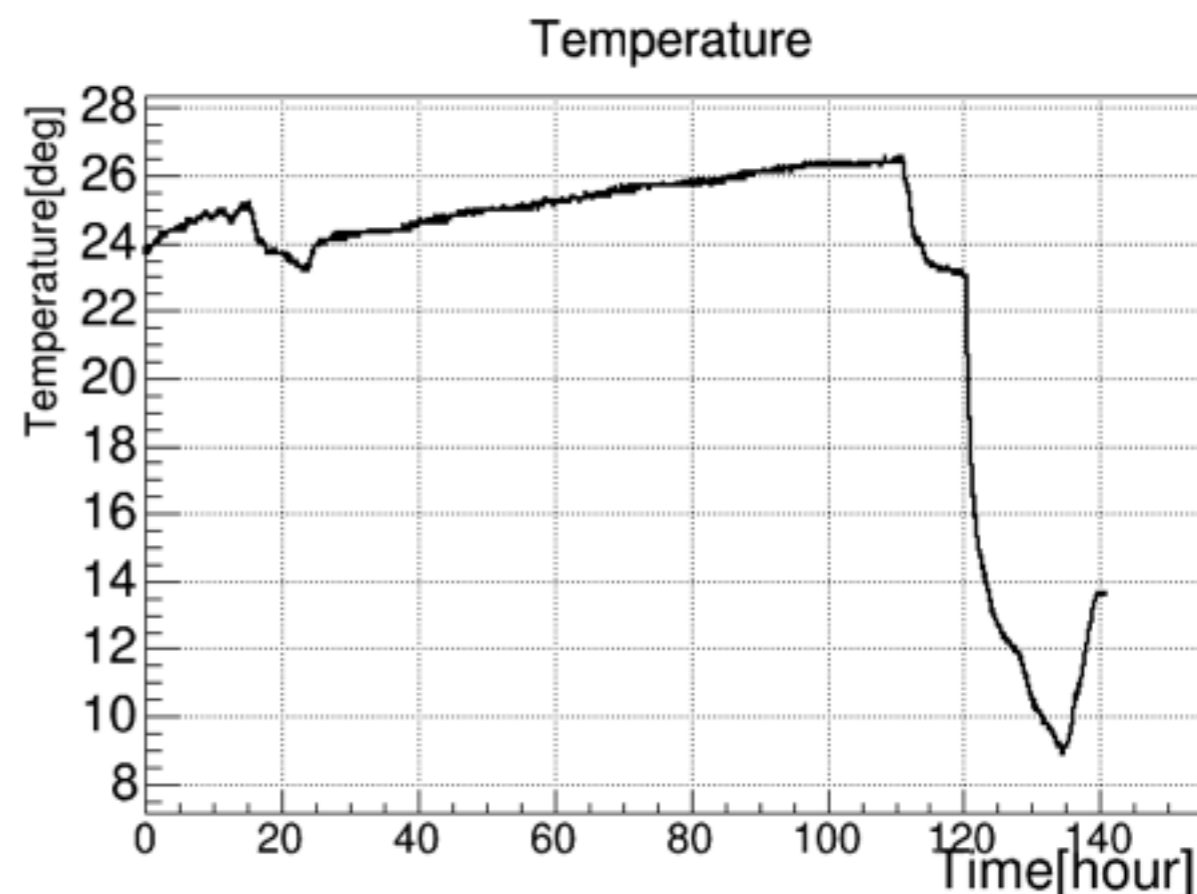
- 1℃上がるごとに50mV上昇 (+50mV/℃)

ダークレート:

- 8℃下がるごとに半減
- オーバー電圧に依存

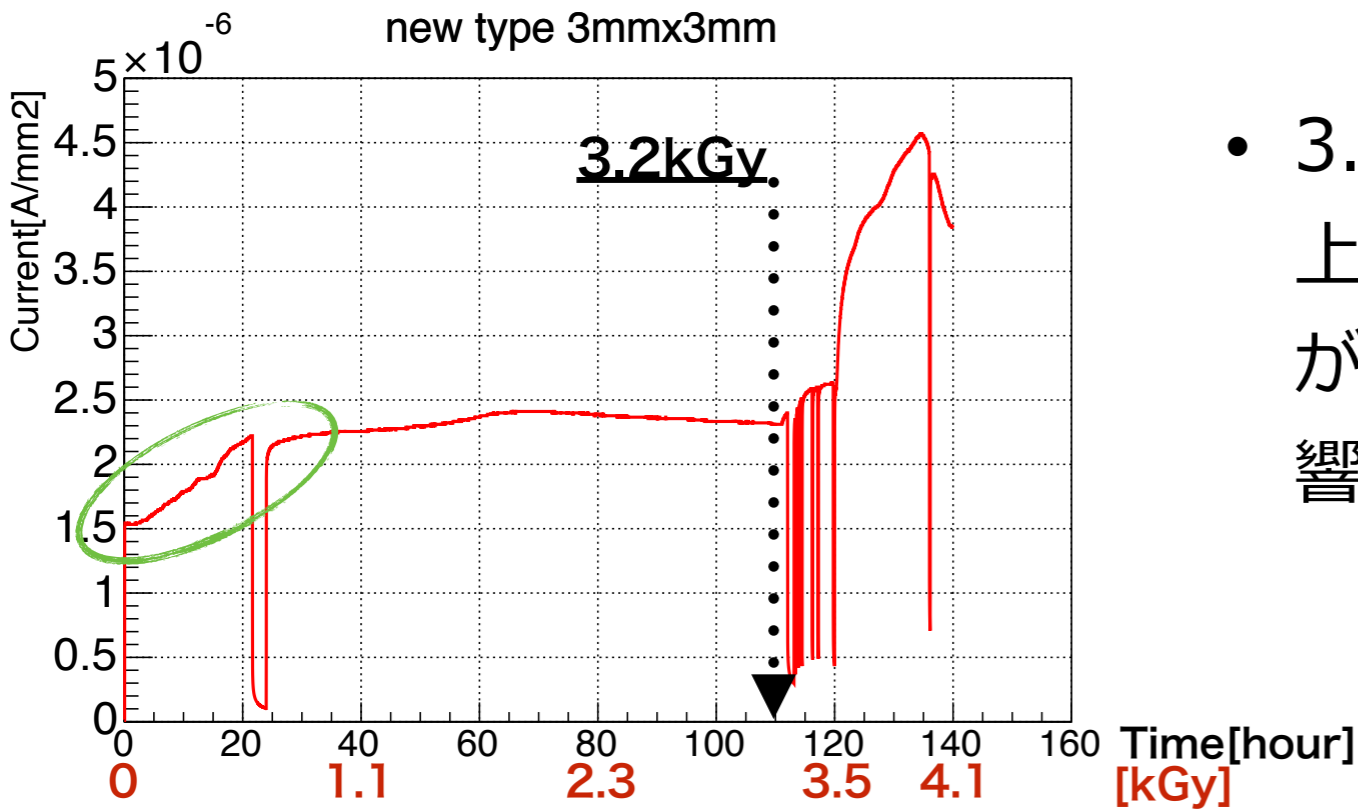


これらの影響を取り除くために
温度による補正が必要

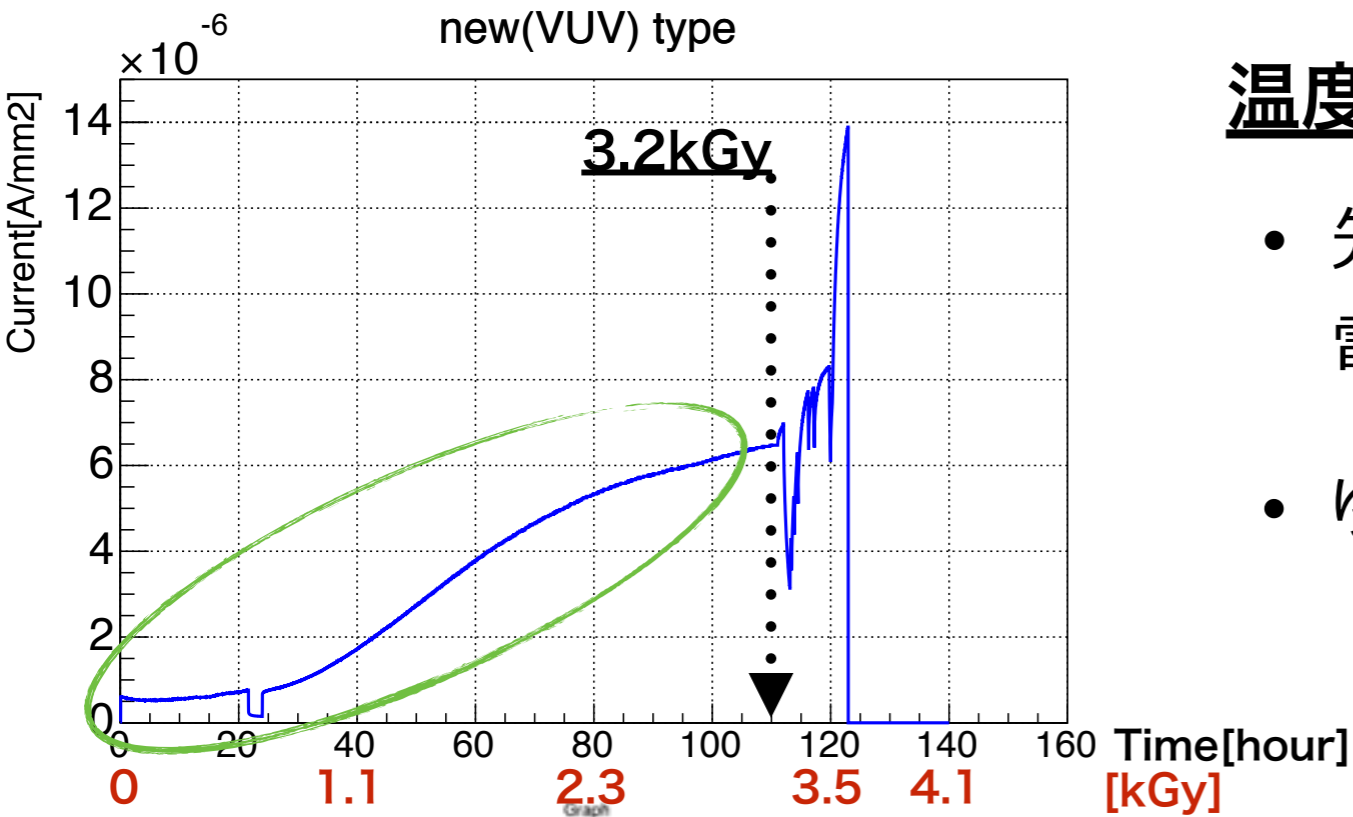


- まだ補正はうまくいっていない(特に開始後110時間以降)

ガンマ線照射中のリーク電流

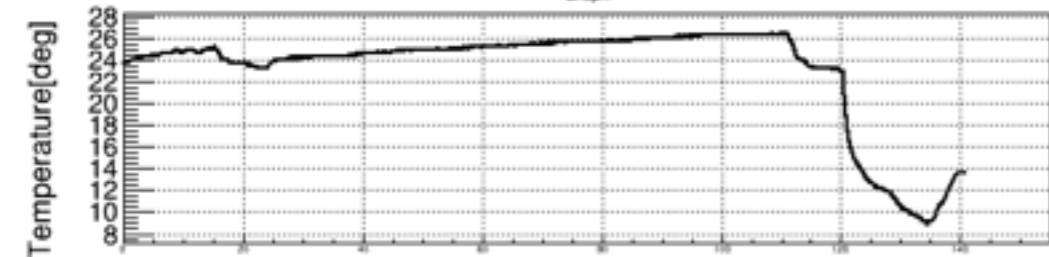


- 3.2kGy(110時間経過)以降の急激な電流の上昇は2つのサンプルの振る舞いと温度変化が同期していることから温度変化による影響だと考えられる



温度変化の小さい3.2kGyまでの電流変化

- 先行研究にみられるような急激な電流の変化は観測されなかった
- ゆるやかに電流が上昇する現象が見られた



先行研究

リーク電流急増の閾値

- sample B: 220Gy
- sample C: 60Gy

sample Aは3620Gyまで照射しても急増は見られなかった

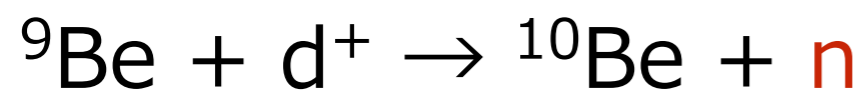
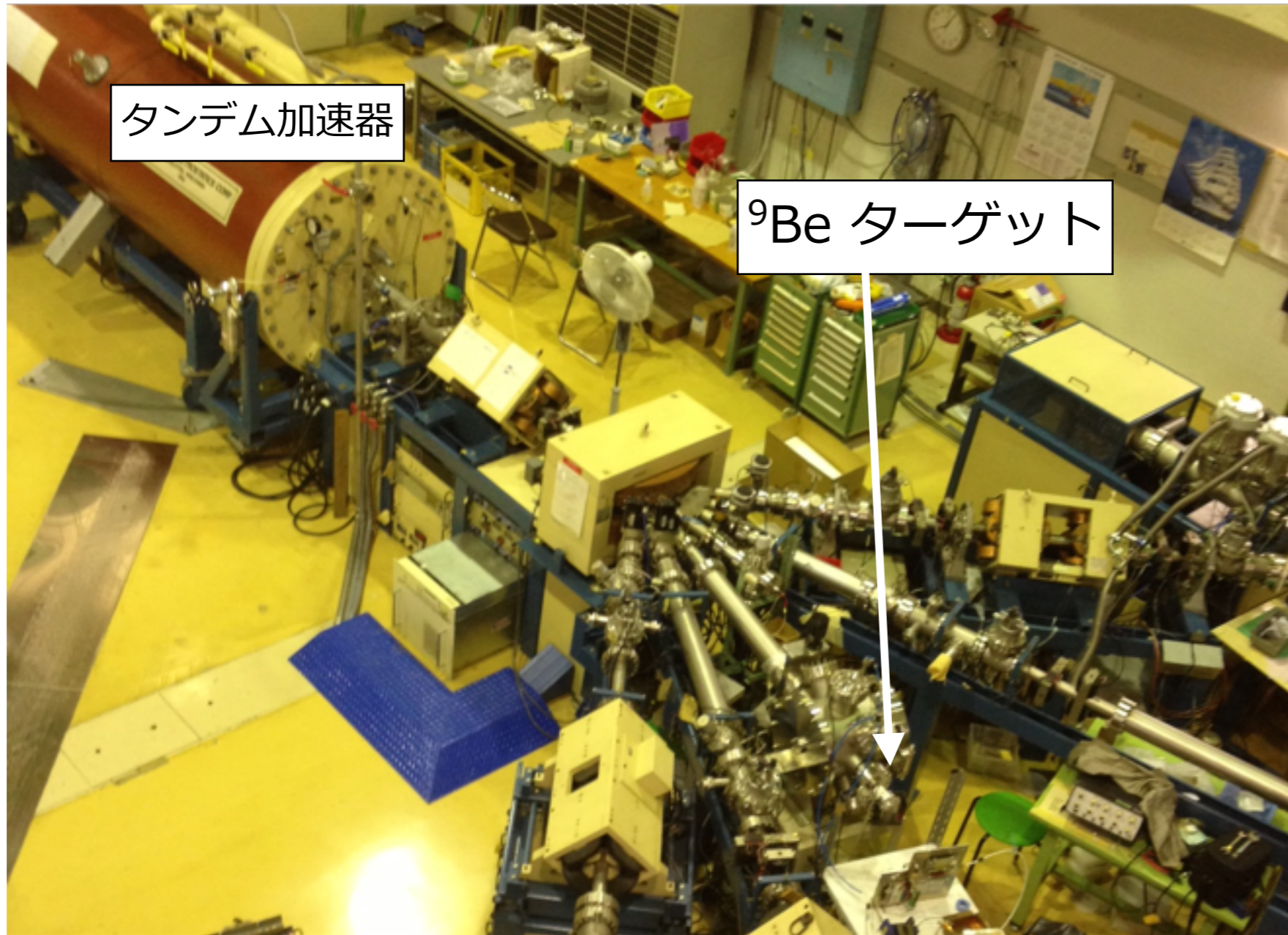
2. 中性子照射試験

@神戸大学

1月

謝辞:神戸大越智敦彦さん、KEK上野一樹さんご協力のもと実施された

セットアップ



中性子の時間あたりの生成数

10^8 neutron/sec

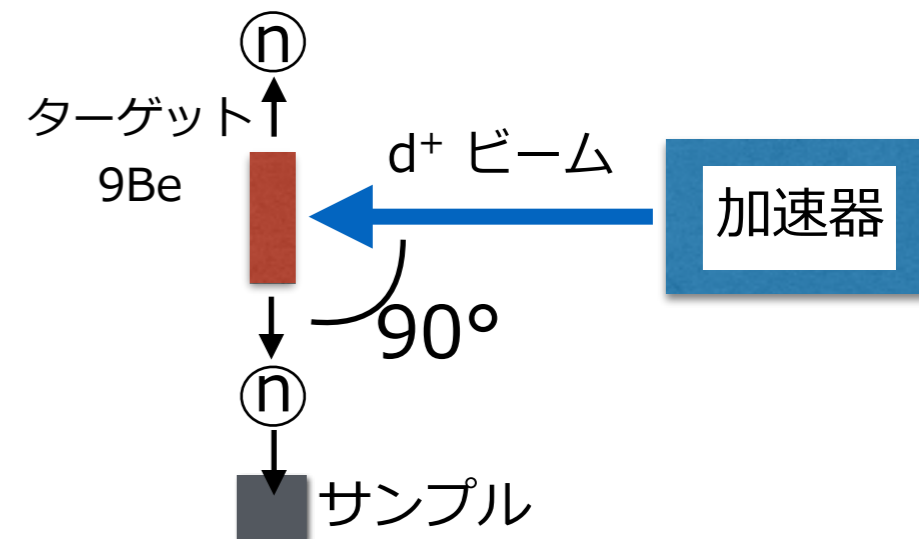
中性子以外にも即発ガンマ線が
共に飛来してくるため
影響を考慮する必要がある

セットアップ

- ビームに対し90度方向にサンプルを設置
- 照射時間、ターゲットからの距離を変えて総照射線量を調節

総照射量(見積もり)

距離	フラックス [n/(cm ² · s)]	照射時間 [hour]	総照射量 [n/cm ²]
3.6cm	3.2x10 ⁵	48	5.4x10 ¹⁰
10cm	3.6x10 ⁴	48	6.3x10 ⁹
14cm	2.1x10 ⁴	24	1.8x10 ⁹
7.3cm	3.8x10 ⁴	8	1.1x10 ⁹
40cm	2.5x10 ³	12	1.1x10 ⁸



サンプルへの総照射量の計算

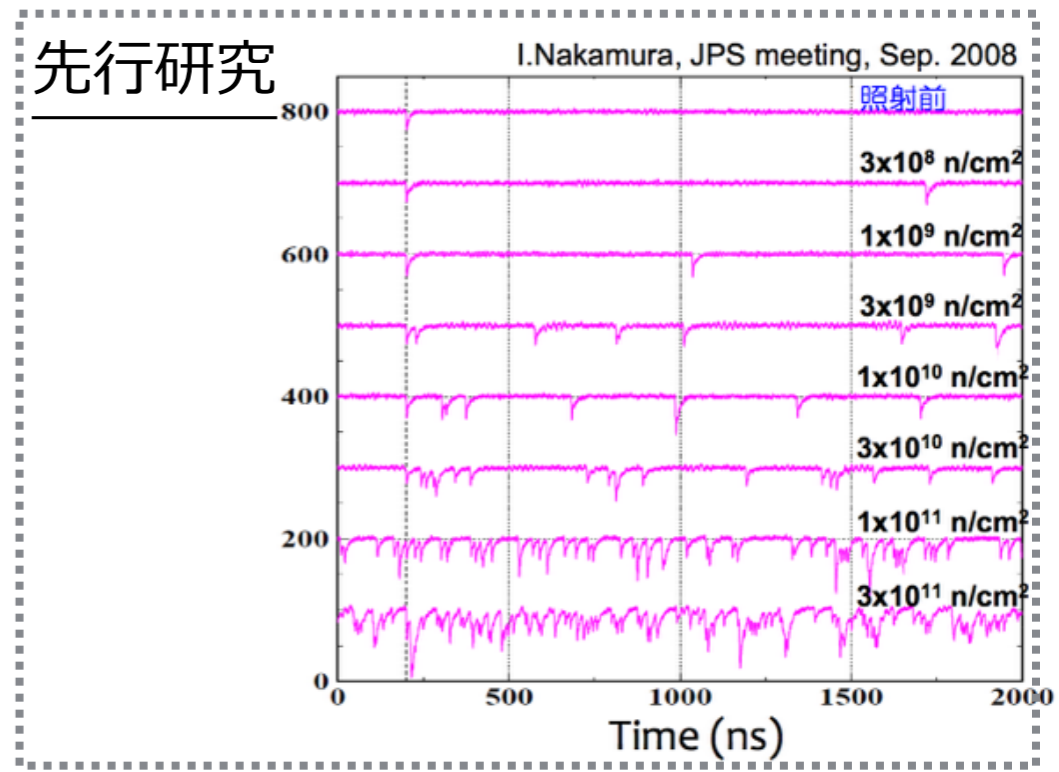
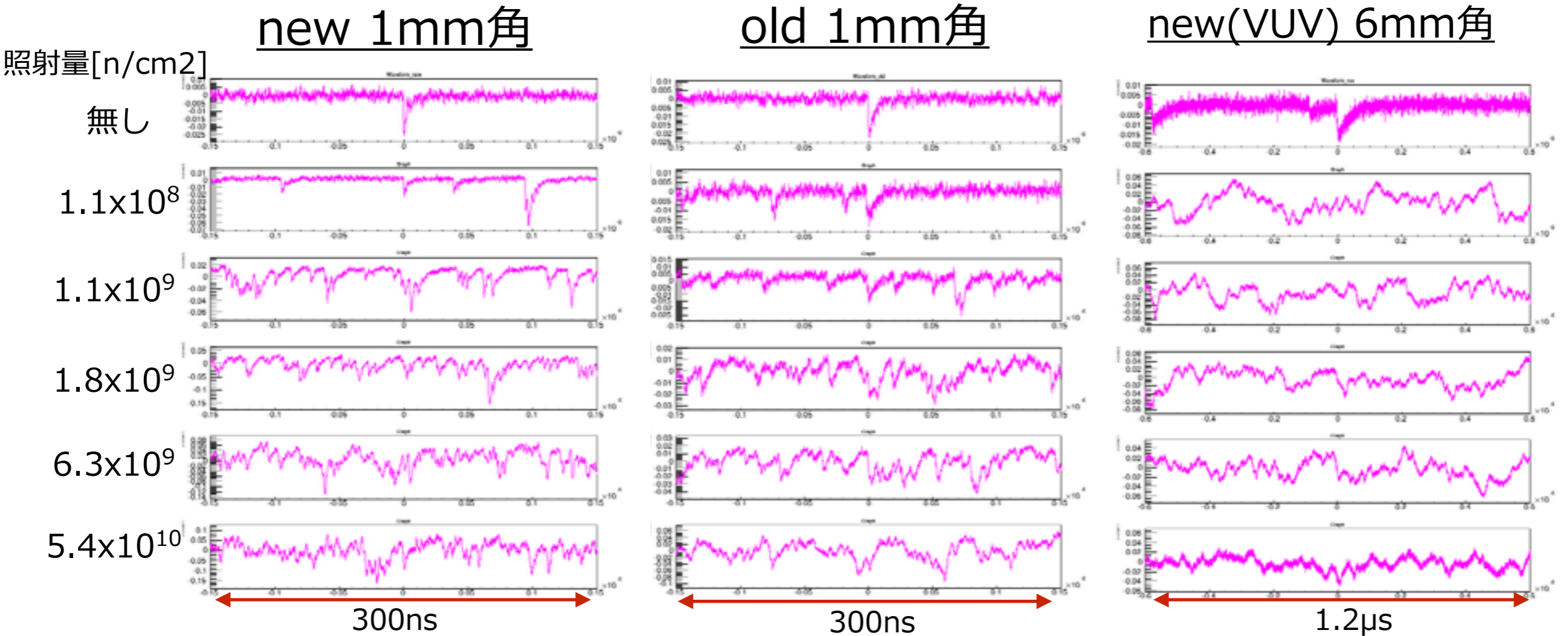
$$\begin{aligned}
 & \text{(総照射量)[n/cm}^2\text{]} \\
 & = 10^8 \text{[n/sec]} \\
 & \quad \times 1/2 \\
 & \quad \times 1/4\pi \times \text{距離}(1/r^2) \\
 & \quad \times \text{照射時間[s]}
 \end{aligned}$$

- 90度方向はfactor 1/2

フラックスの見積もりに大幅な不定性が見込まれている

- 現在神戸大での正しいフラックスの測定を計画中
- また、中性子以外にも即発ガンマ線が飛来していることが考えられており、それらによる影響の評価が必要

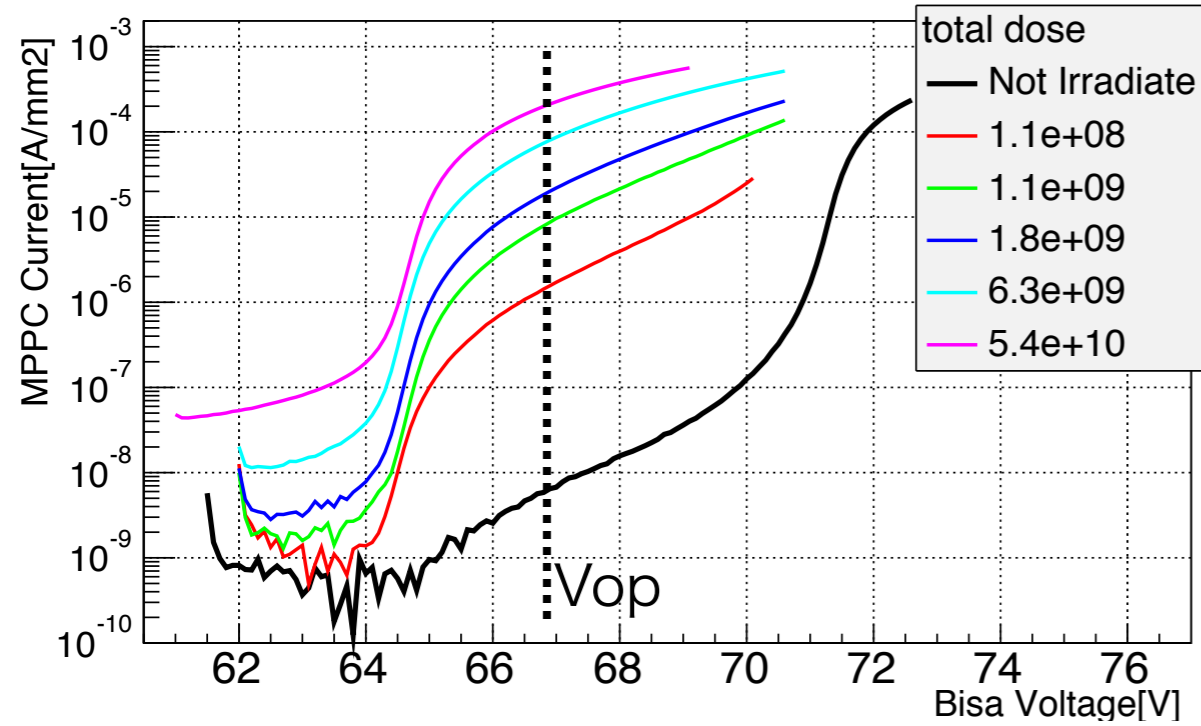
ダークノイズの変化



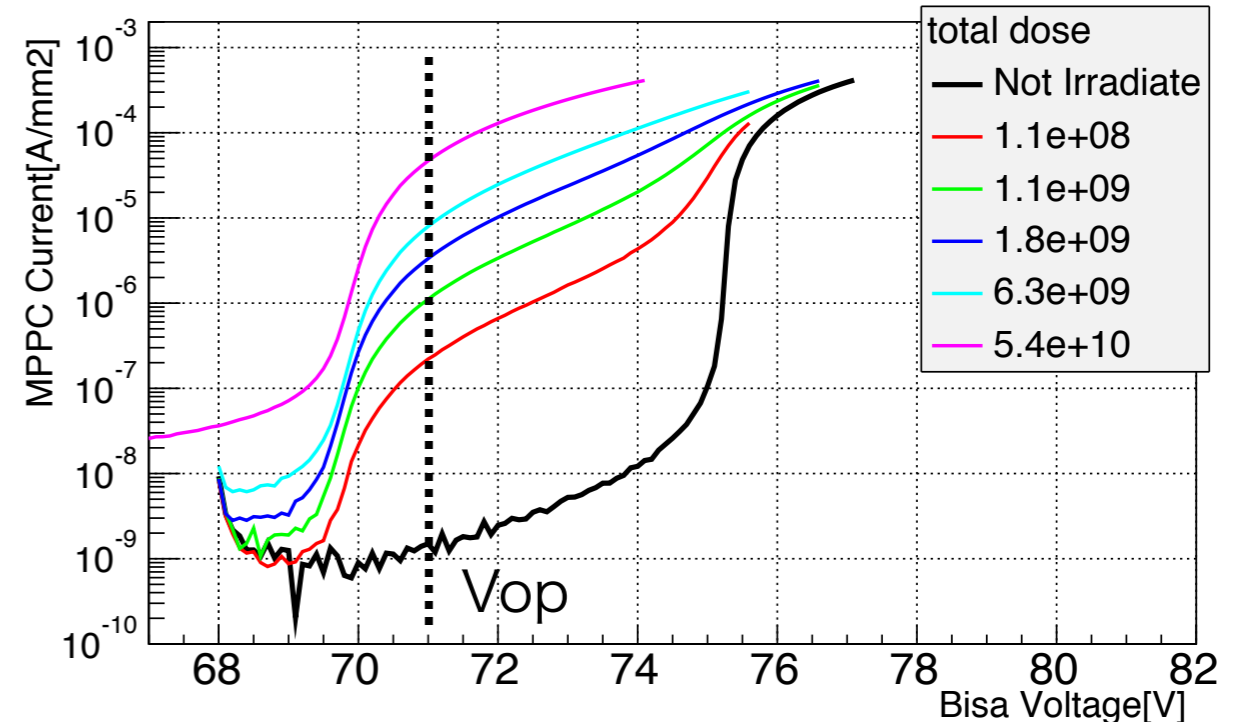
- ダークレートがの悪化が予想よりも大幅に大きかった (ただしフラックスの見積もりに大幅な不定性あり)
- ダークが多すぎるため、リーク電流で照射量依存性をみることにした

IV曲線

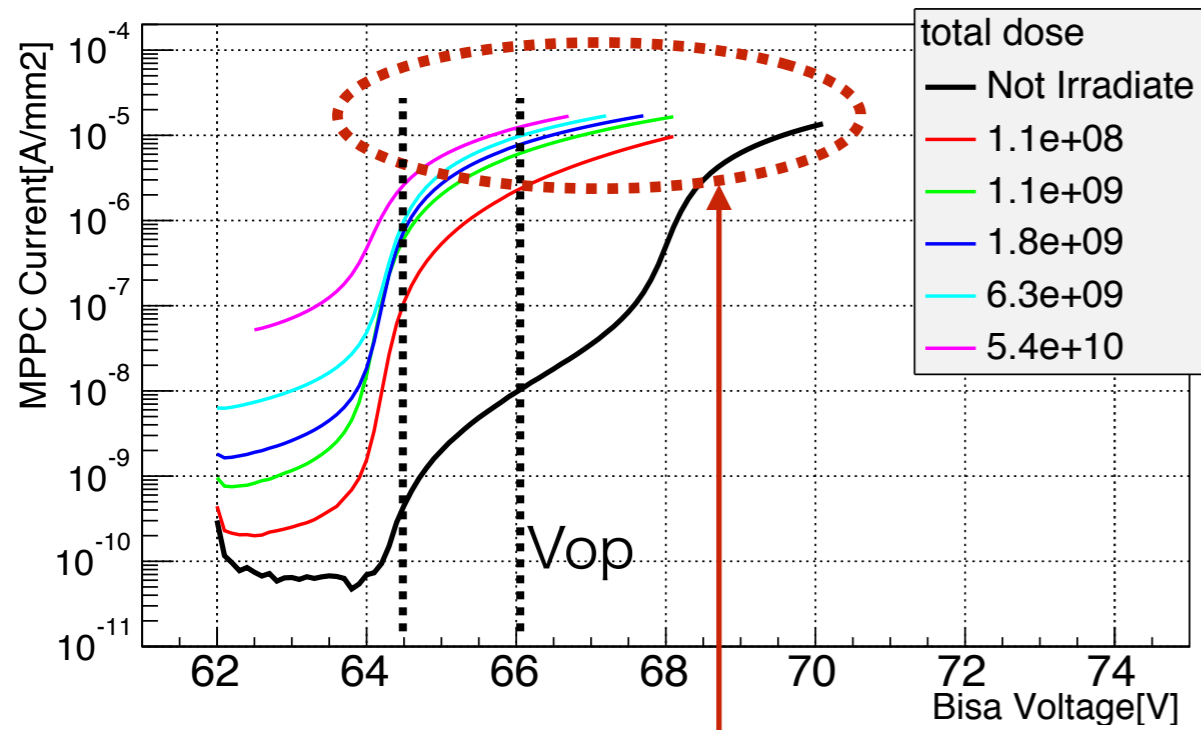
IVcurve (type : new)



IVcurve (type : old)



IVcurve (type : vuv)



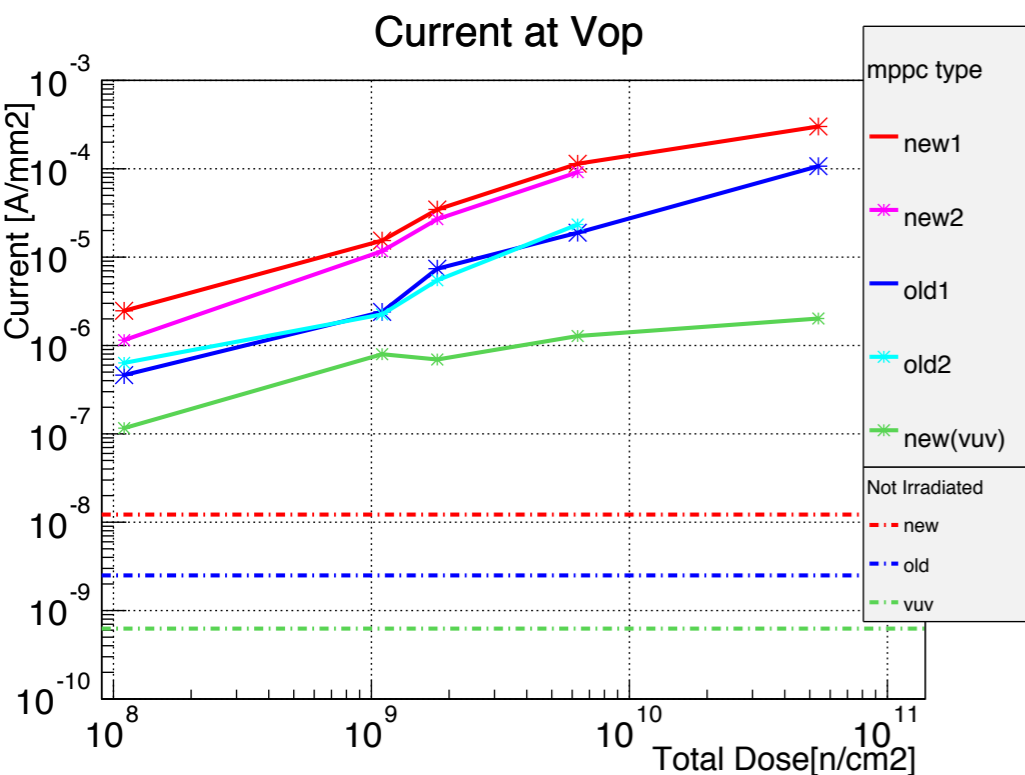
- 降伏電圧以上になると照射済のサンプルの電流はかなり大きくなる
- タイプごとの電流の照射量依存性をみるため Vopでの電流値をプロットする
- ただしnew(VUV)では大きいリーク電流のためにバイアス回路における電圧降下が見られるため正しく電圧をかけられない

VUVでは、(Vop-1.5)Vにおける電流値を用いた

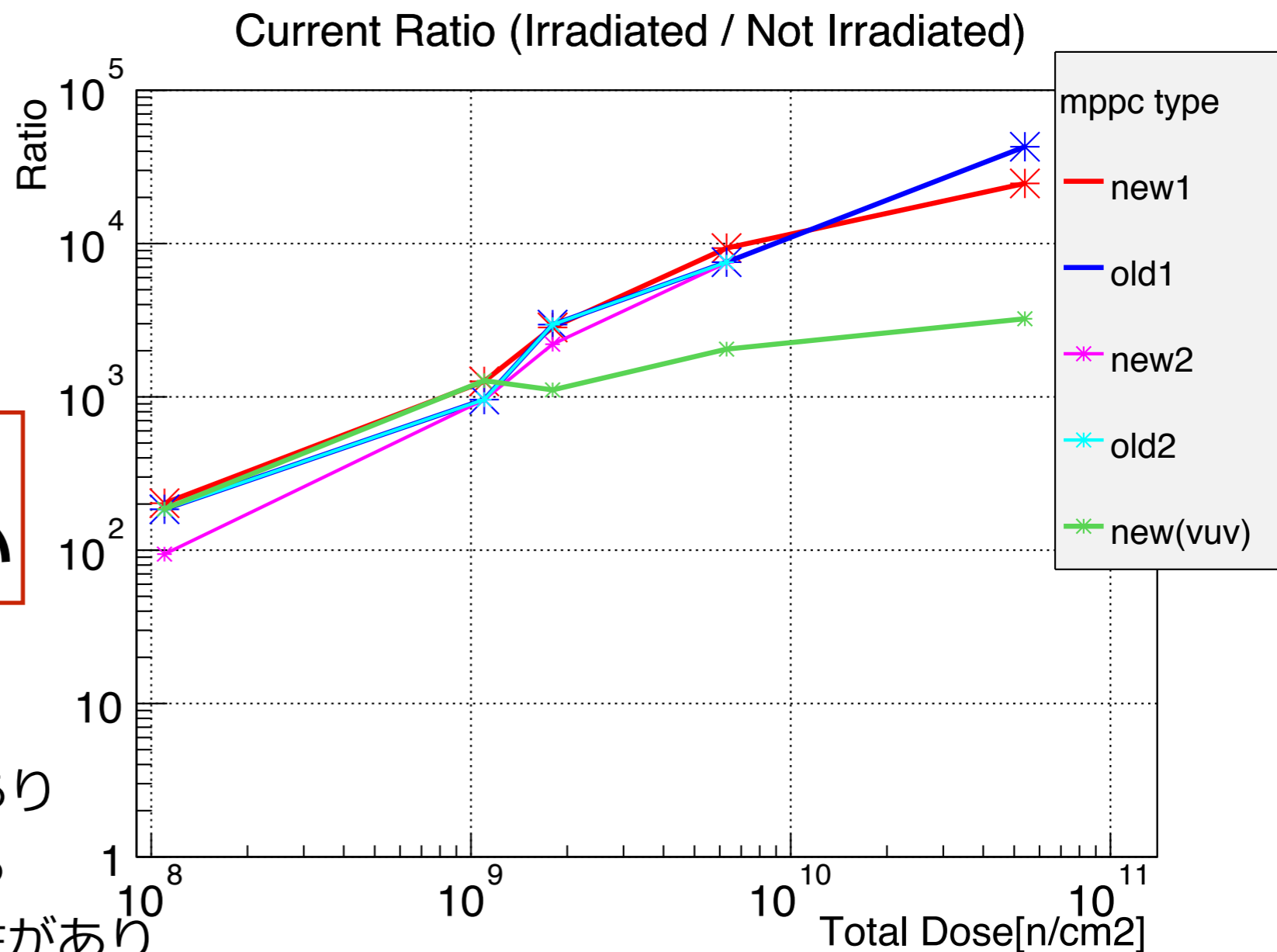
バイアス電圧を上げていくと照射の有無に関係なく一定値に収束していく

→リーク電圧増大によるバイアス回路の抵抗での電圧降下の影響¹⁷

結果



オーバー電圧やGainの素子ごとの違いの効果を補正するため照射無しサンプルの電流に対する比をとった (中性子照射による電流の増加率)



**new typeとold typeで
大きな違いは見受けられない**

ただし即発ガンマ線の存在などもあり
その影響が大きい場合中性子による
損傷の効果を見れられていない可能性があり
さらなる調査。

まとめ

ガンマ線照射試験

- **先行研究のような急激な電流の増加は見られなかった**
- 照射後からすぐに緩やかに電流が上がり続けた
- 温度補正が完全ではない
- (まだ電流変化の振る舞いについてのきちんとした理解は得られていない)

中性子照射試験

- **新型MPPCの放射線耐性は旧型と比べて大きな違いはなさそう**
(中性子による影響のみではない可能性があるが)
- フラックスの見積もりに大きな不定性あり

今後

ガンマ線照射試験

- 温度補正を適正に行う

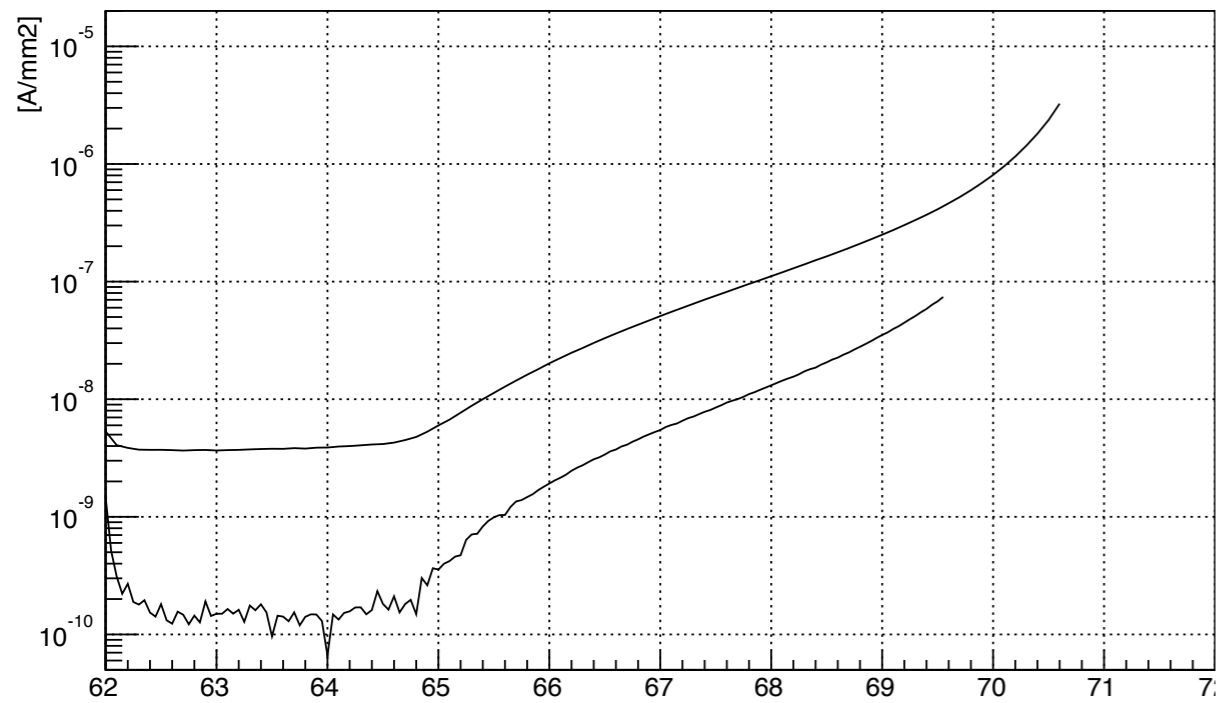
中性子照射試験

- 神戸大で中性子フラックスの測定を予定
中性子照射線量とリーク電流増加がキャリブレーション済みの
Siデバイス(ELMA diode)を使用する
- 中性子と共に飛来するガンマ線による影響の評価
- 中性子による影響のみを切り分けるため原子炉での測定も計画中

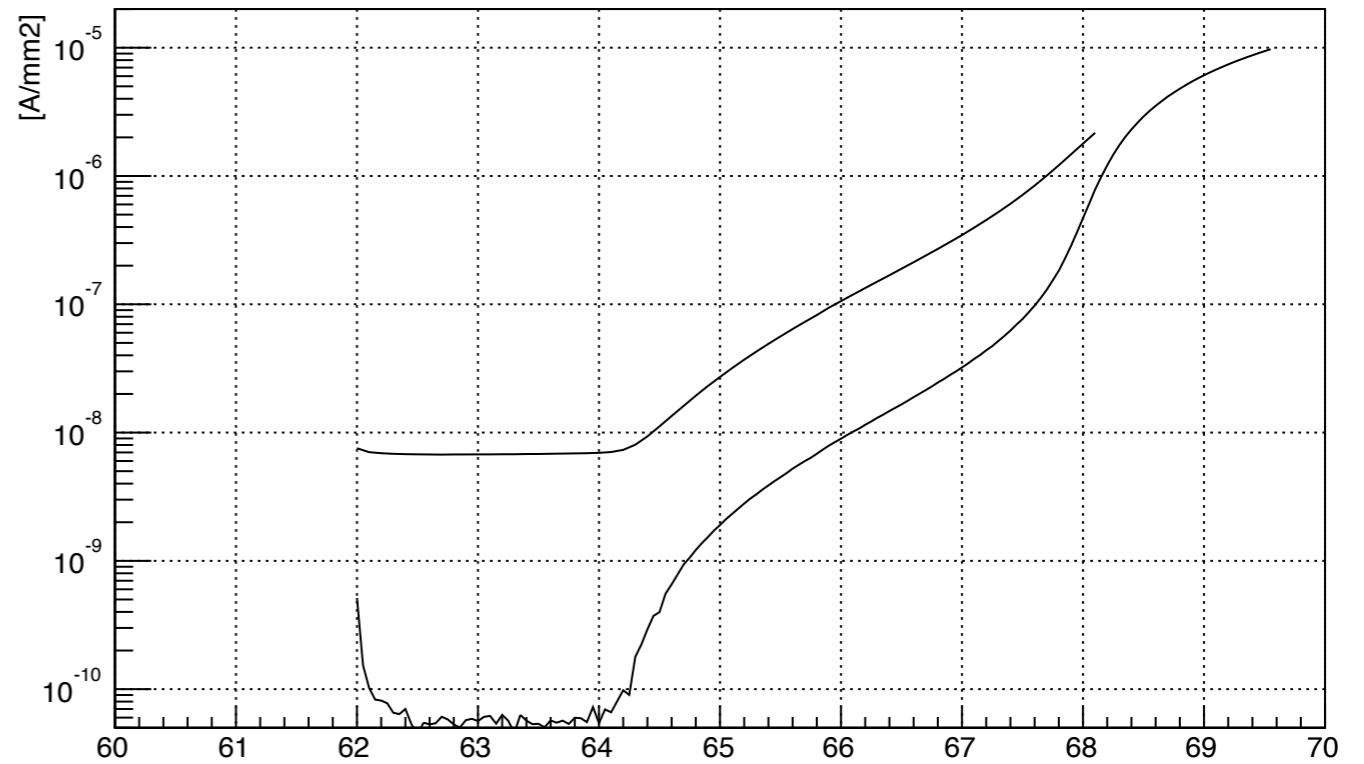
Back up

ガンマ線照射後のIV曲線

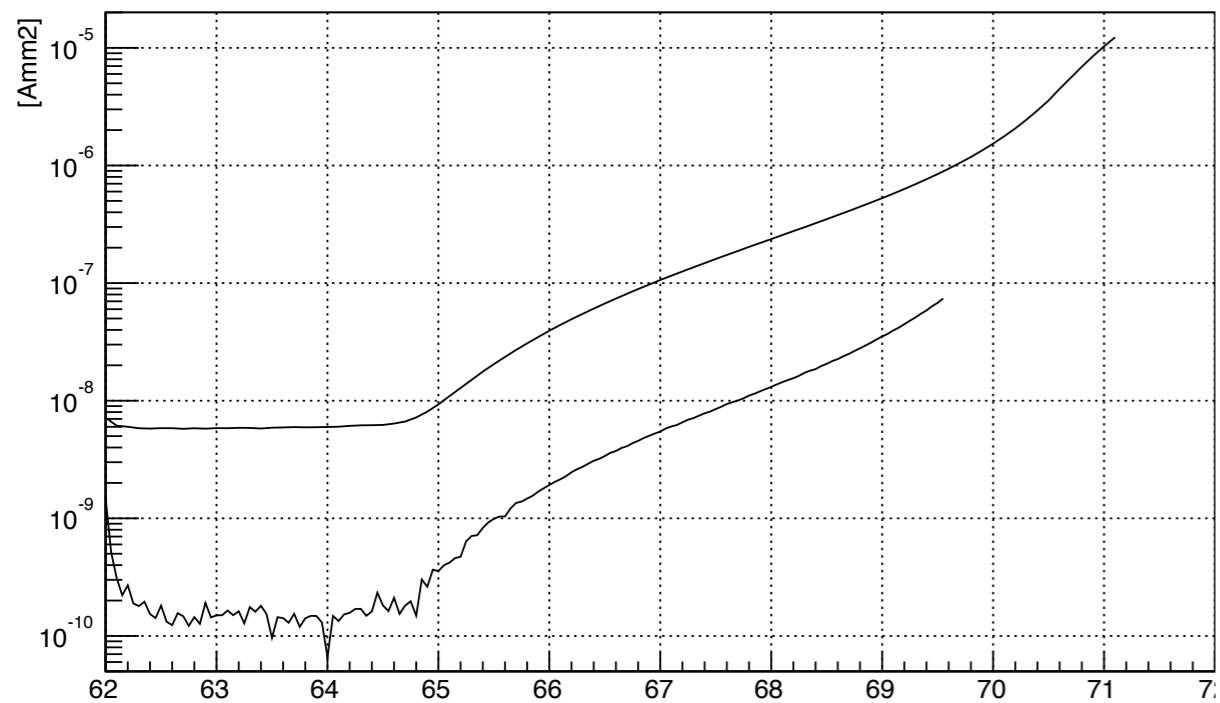
new_1



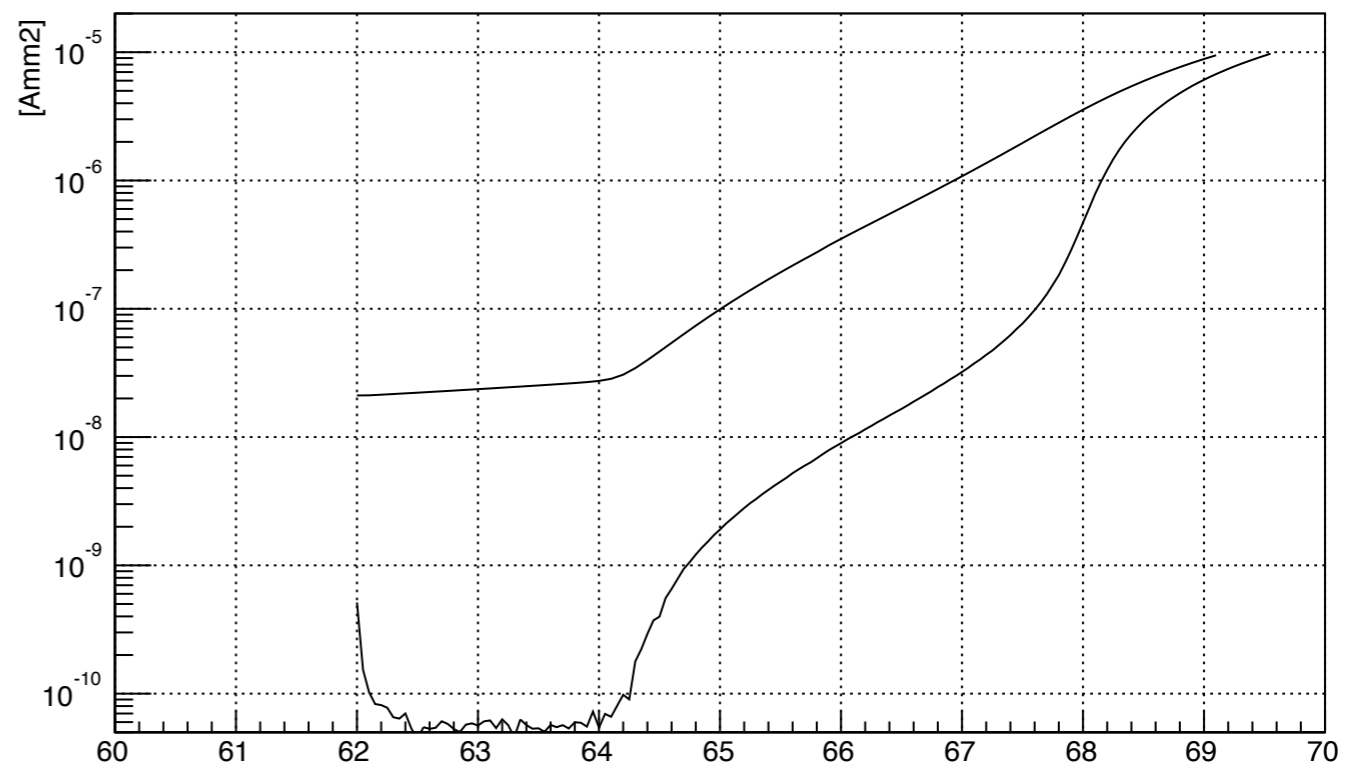
vuv_1



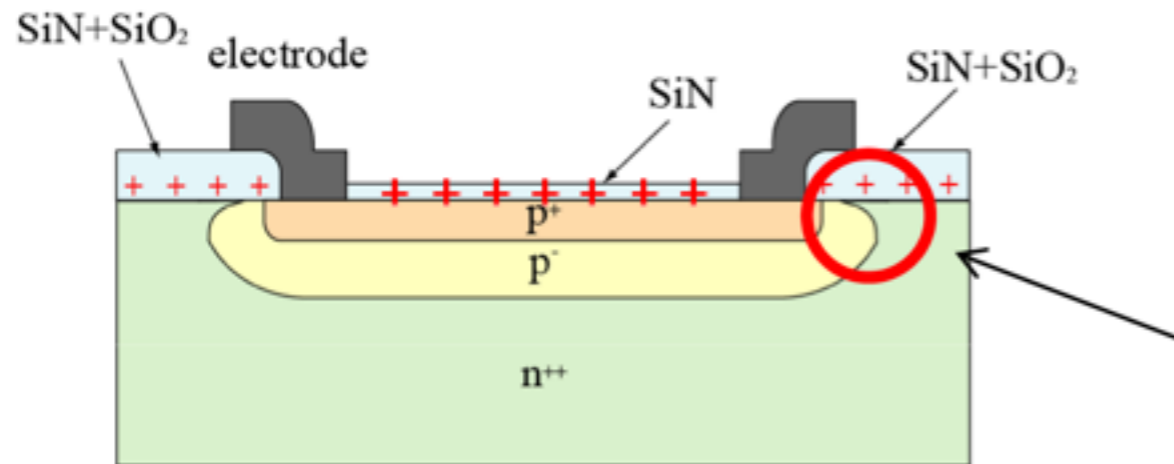
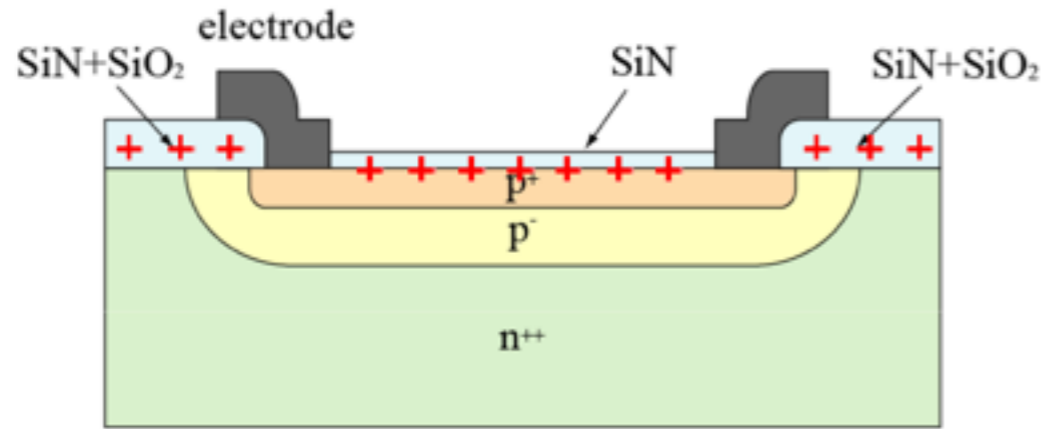
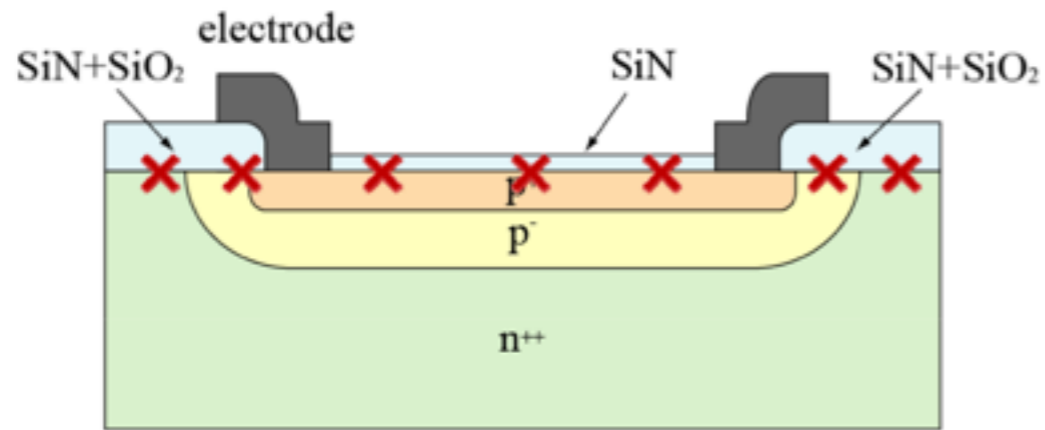
new_2



vuv_2



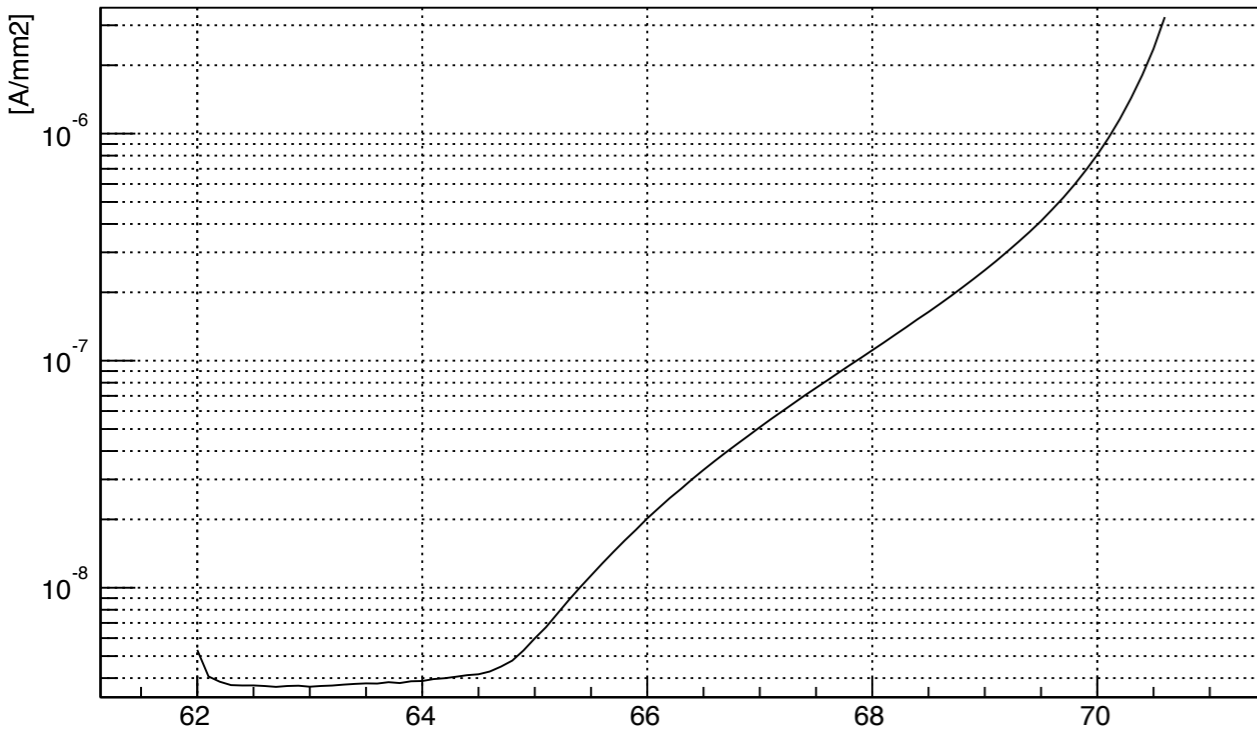
MPPCCの構造



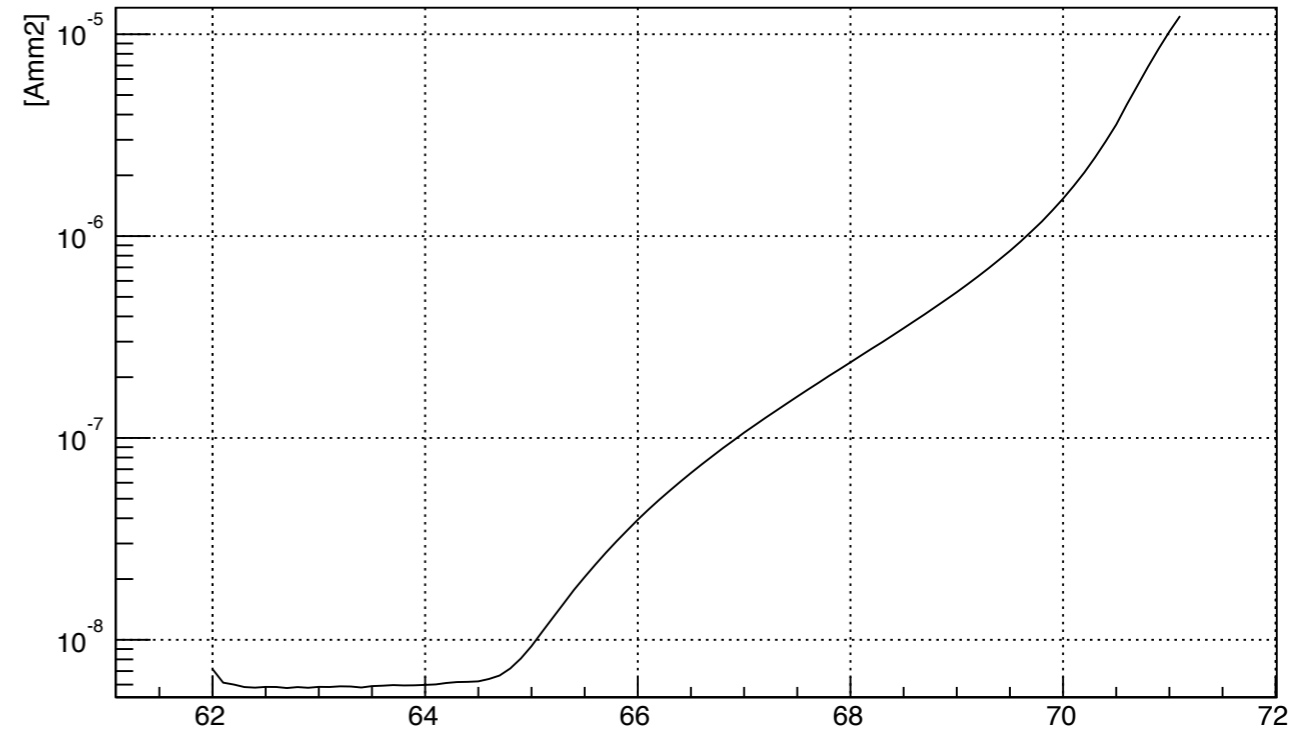
第三回次世代光センサーに関するワークショップ(2010年12月名古屋大学)
防衛大松村徹さんスライドより

ガンマ線照射後のIV曲線

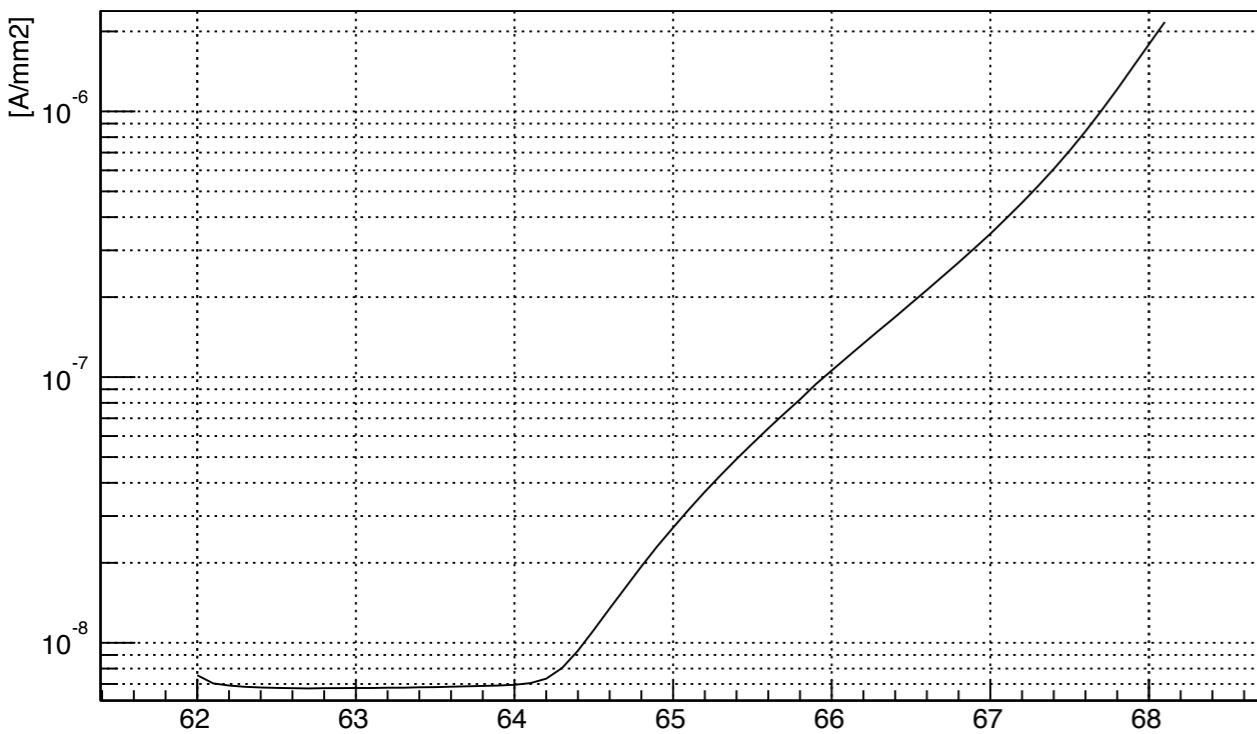
new_1



new_2



vuv_1



vuv_2

