

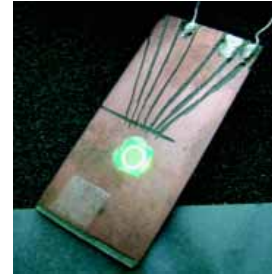
SiC半導体による放射線検出器の 開発・研究

2004年 3月 9日

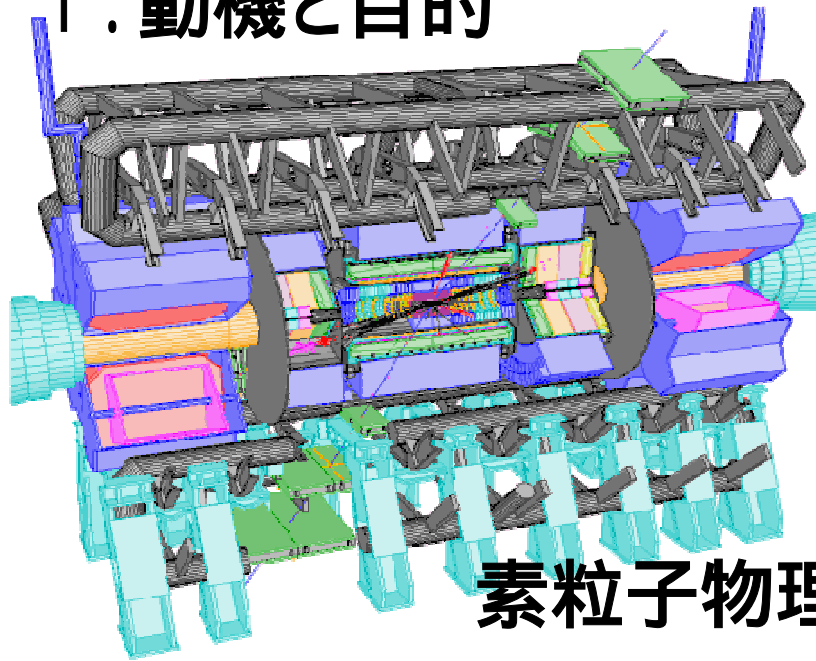
岡山大学・理学部	中野 逸夫, 岩見 基弘,
	木下 明将, 小林 健一,
	田中 礼三郎
原研高崎	大井 暁彦, 大島 武,
	神谷 富裕
KEK	福島 靖孝

内 容

- 1 . 動機と目的
- 2 . SiCについて
- 3 . SiC studyの簡単な歴史
- 4 . 静特性
- 5 . 動特性
- 6 . 放射線照射
- 7 . 現状のまとめ



1. 動機と目的



素粒子物理学



宇宙空間物理学



原子炉物理学

- 耐環境デバイスとして高速スイッチング・デバイス, パワー・デバイス等として開発・研究されている新素材
- 耐放射線
- 耐環境 熱
- RD42 Diamond Detector
- RD50 4H-SiC他

2. SiCについて

各種半導体の特徴

項目 / 材料	Si	GaAs	3C-SiC	6H-SiC	4H-SiC	GaN	Diamond
バンドギャップ(eV)	1.12	1.43	2.3	2.86	3.02	3.39	5.47
電子移動度(cm ² /Vs)	1500	8500	800	460	700	900	1800
絶縁破壊電界(MV/cm)	0.3	0.4	4	3	3.5	2	4
電子飽和速度(×10 ⁷ cm/s)	1	2	2.7	2	2.7	2.7	2.5
熱伝導率(W/cm·)	1.51	0.54	3.2	4.9	4.9	1.3	20.9
比誘電率	11.9	12.91	9.72	10.03 ^c	10.03 ^c	10.4 ^c	5.93
Johnson指数(高速・大電力)	1.0	7.1	1296	400	992	324	1100
Key指数(高速・高集積素子)	1.0	0.53	3.9	5.2	6.1	1.5	31
熱伝導率×Johnson指数	1.0	2.5	2750	1360	3370	280	15000

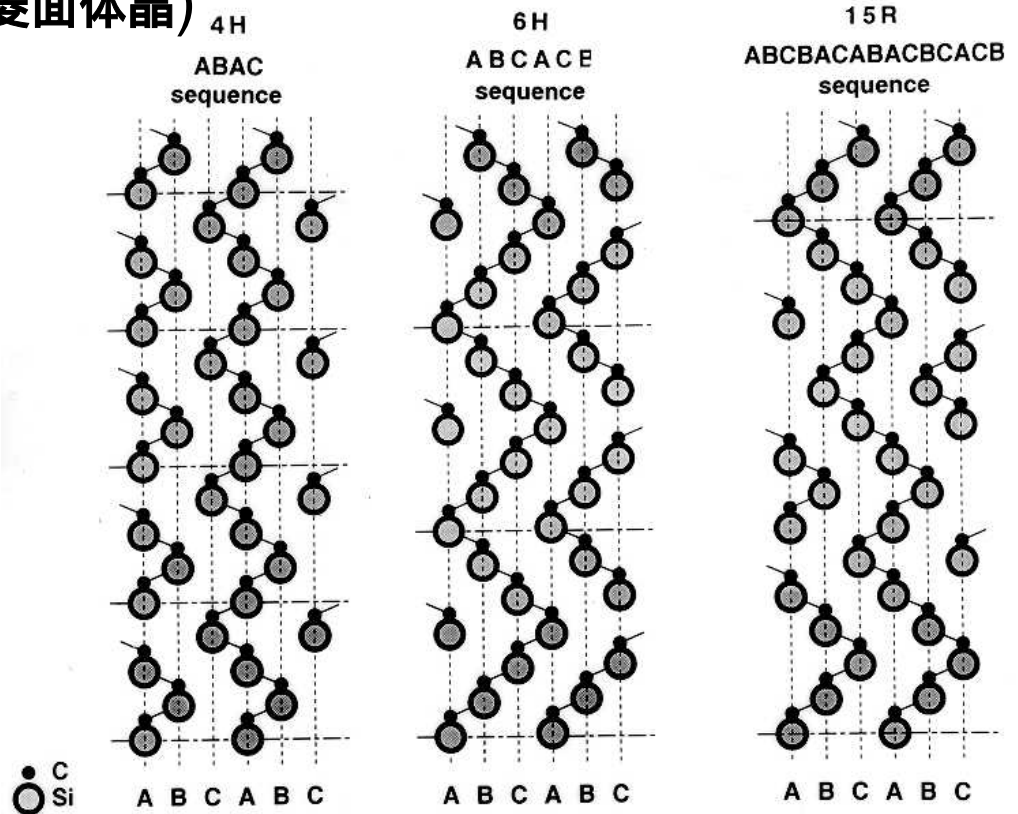
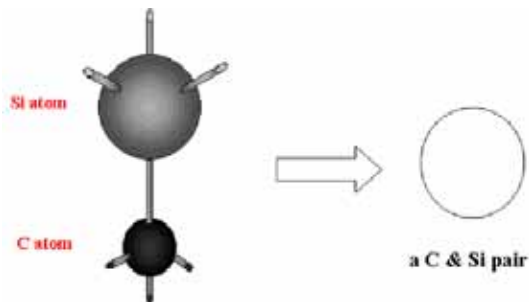
(注)Johnson指数 = (絶縁破壊電界 × 電子飽和速度)²
 Key指数 = 熱伝導率 × (電子飽和速度 / 誘電率)^{1/2}

SiC (vs Si)

- **禁制帯幅(bandgap)**
 - 2 ~ 3倍
- **絶縁破壊電界**
 - 1桁大きい
- **飽和電子速度**
 - 2倍
- **熱伝導率**
 - 3倍
- **動作温度の上限**
 - 500-600 (Si:150 くらい)
- **耐放射線性**
 - (MOSFETで1 ~ 2桁強い耐放射線性: 線)

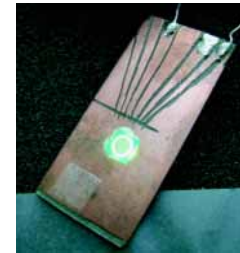
Polytype (結晶多系)

- 200種類以上
 - nH-SiC (hexagonal:六方晶)
 - nR-SiC (rhombohedral:菱面体晶)
 - 3C-SiC (Cubic:立方晶)

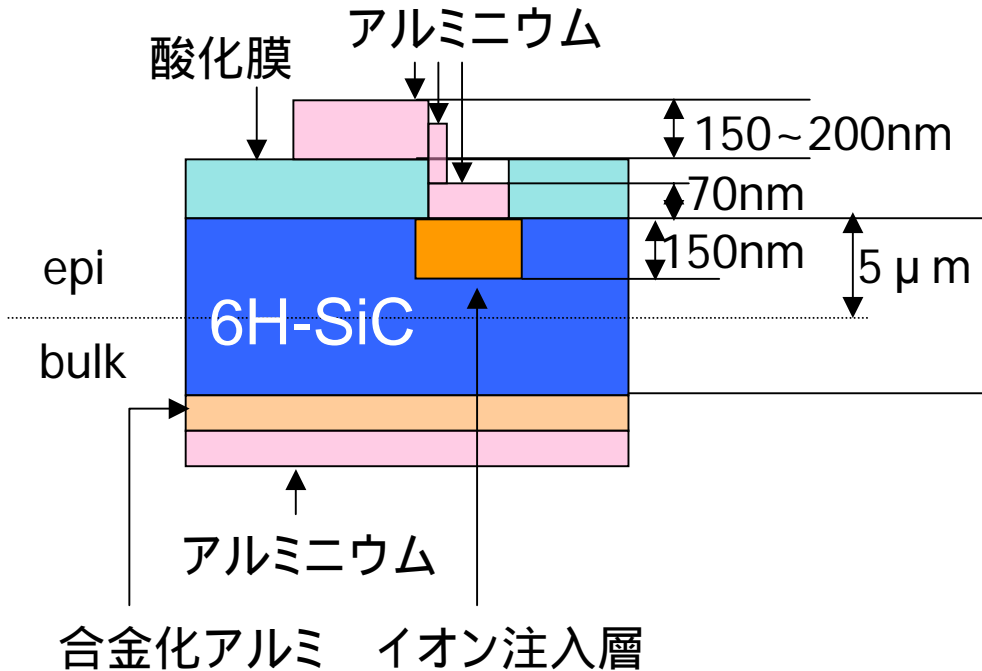


3 . SiC Studyの簡単な歴史

- ~2001年度
 - プロトタイプを作成 3mm
 - 低温における 線検出の確認
- 2002年度
 - 漏洩電流軽減により常温で動作確認
 - UV-LED (375nm;3.31eV) による反応を確認
- 2003年度
 - 放射線損傷(線、 線)の評価

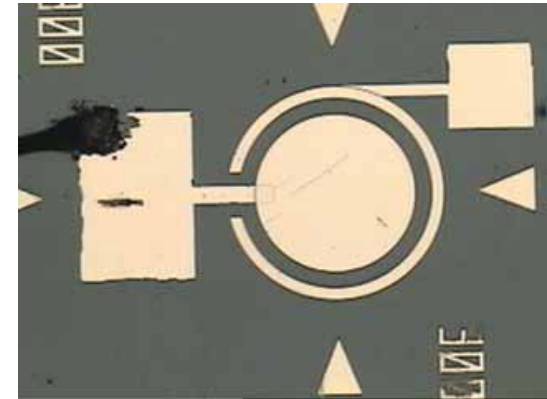
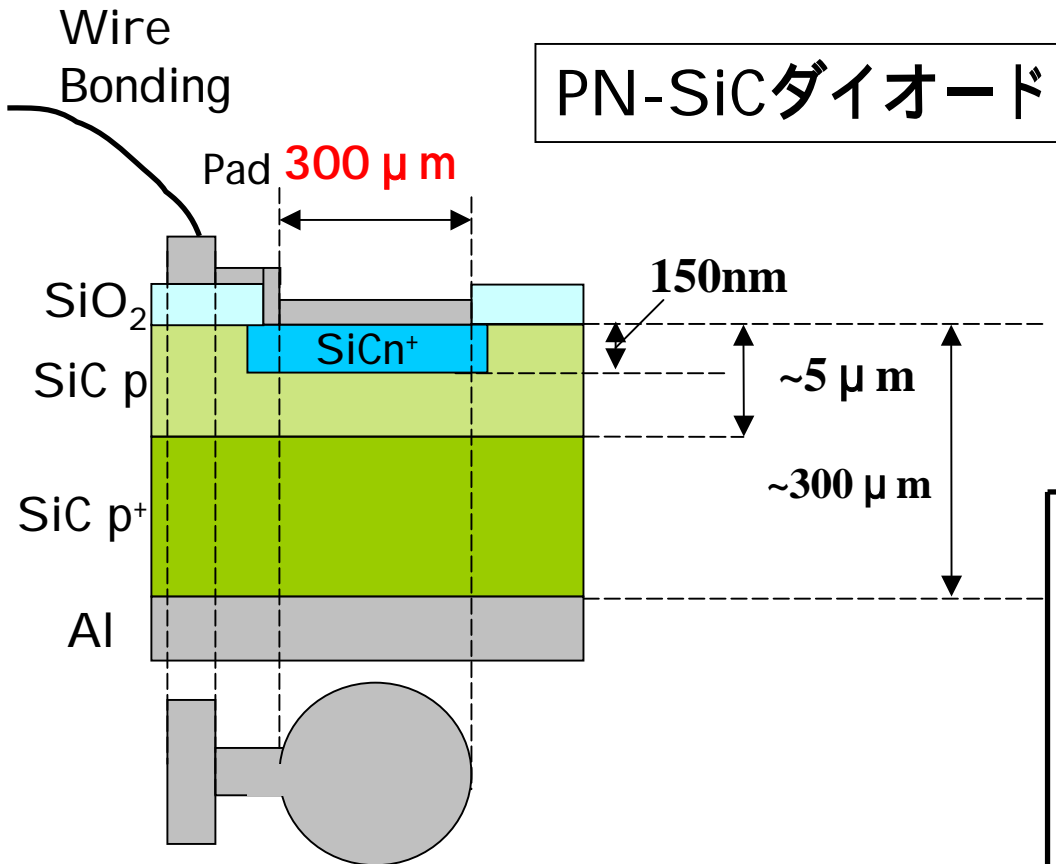


Sample (SiC detector) made in 原研(高崎)

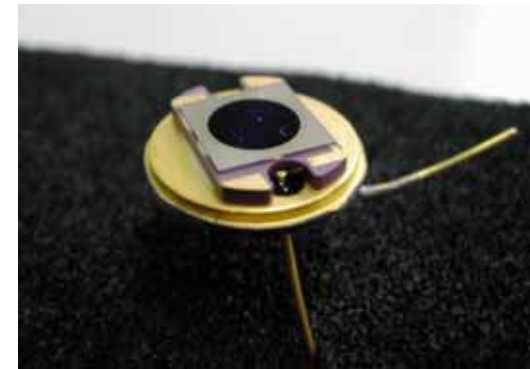


- p(epi)/p+(substrate)
 - CREE社より購入
 - 6H-SiC
- イオン注入
 - Pイオン
 - 1×10^{19} (3.3×10^{18}) [$/\text{cm}^3$]
- 電極
 - Al(オーミック接合)

測定試料



Si PIN フォトダイオード



- 原子力研究所高崎研究所の協力により製作(8個)
- 有効有感面積 0.0707mm^2

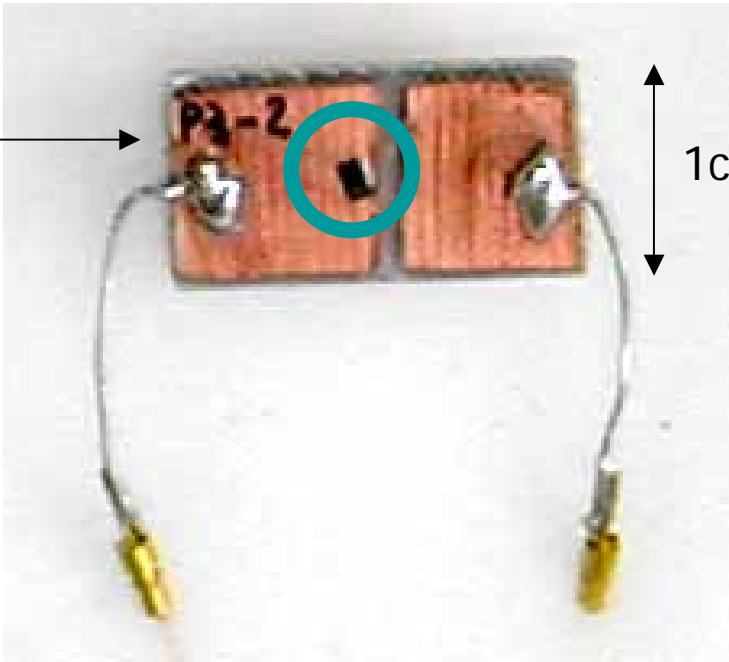
- S3071(浜松ホトニクス社製)
- 有効有感面積 19.6mm^2

Photograph of Sample

電極 (ボンディング用パッド)

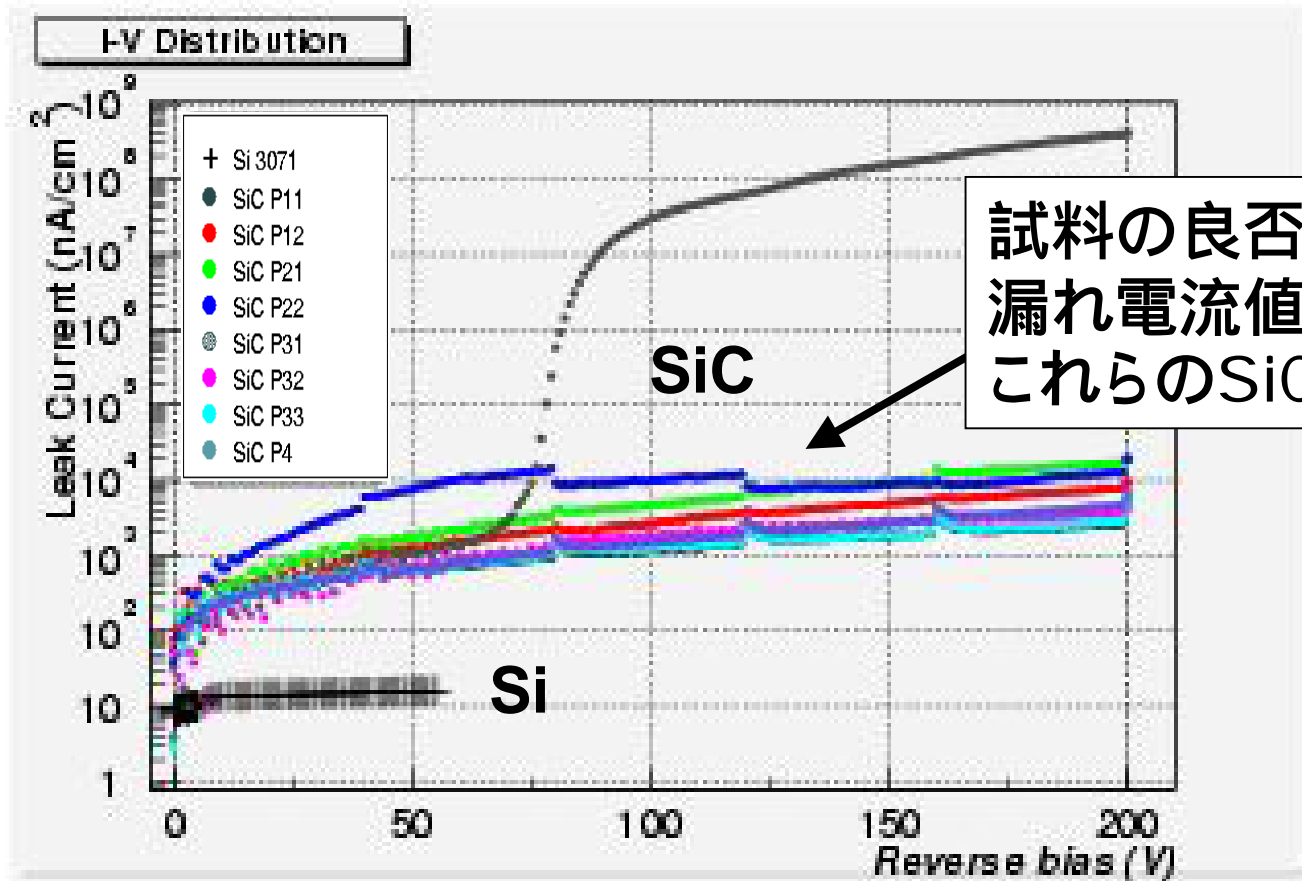
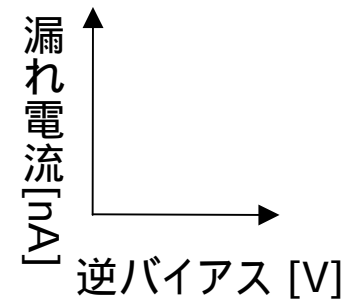


2cm

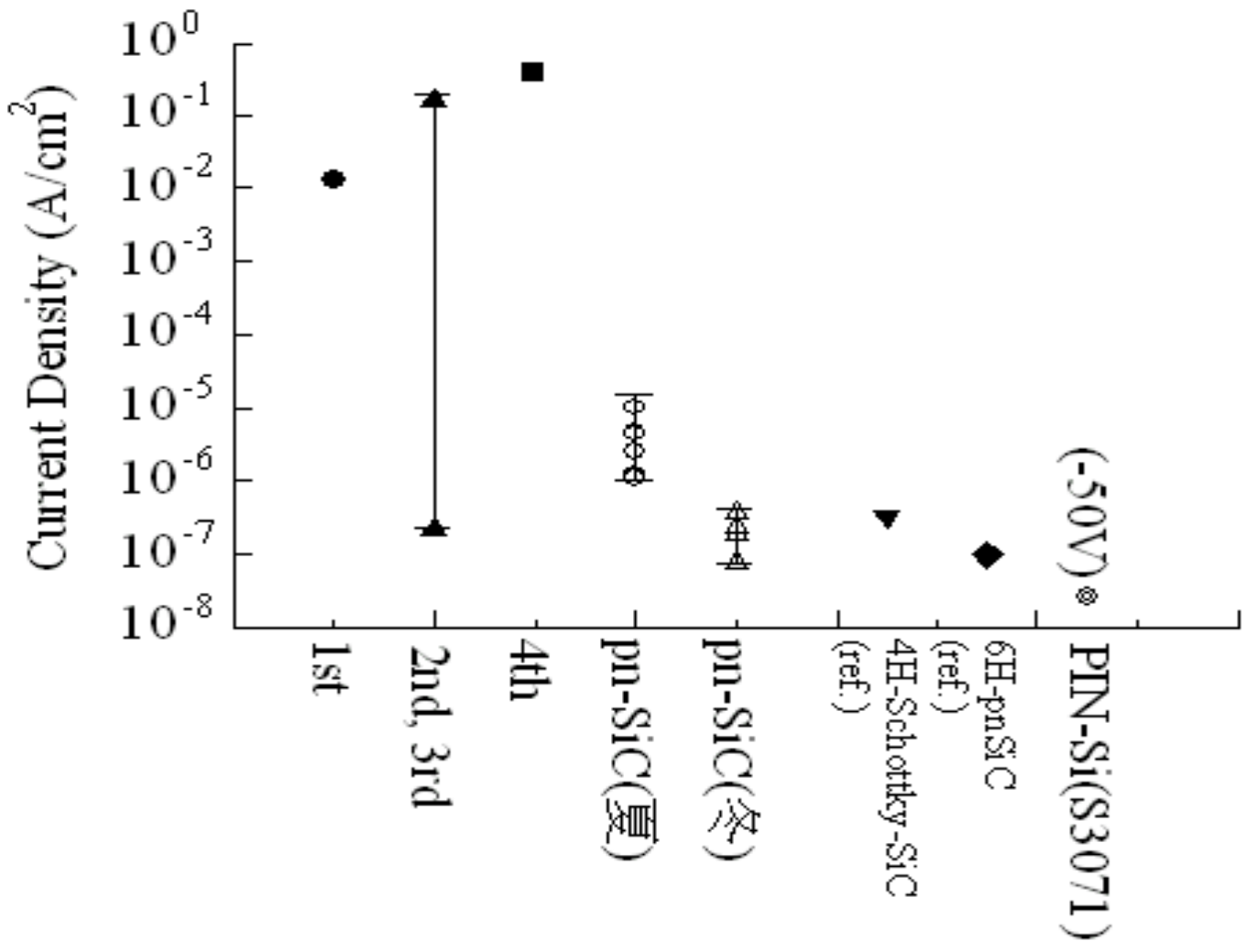


4. 静特性

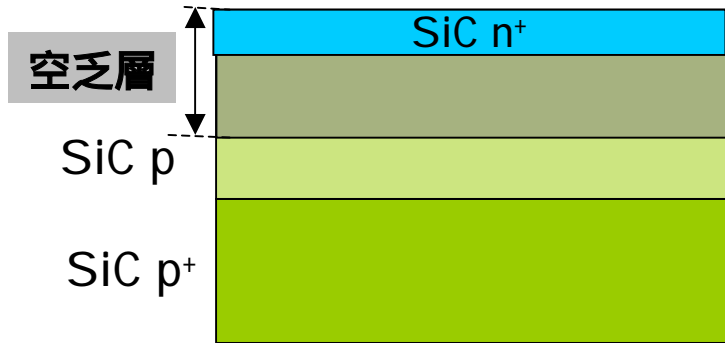
I-V特性



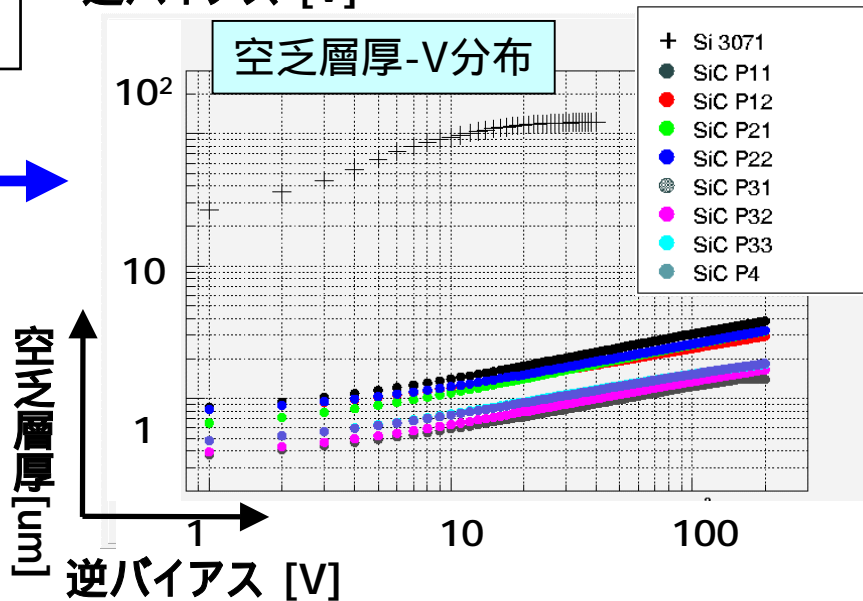
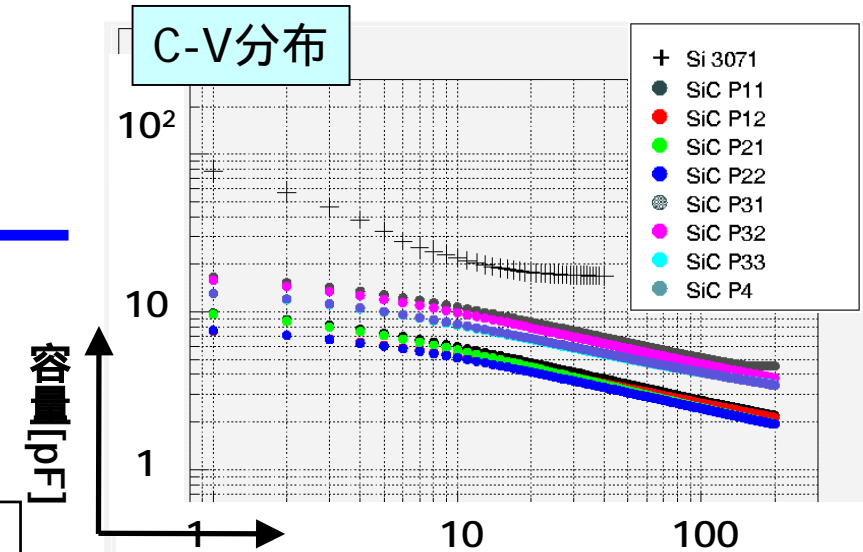
I-V 特性



C-V特性, 空乏層厚評価

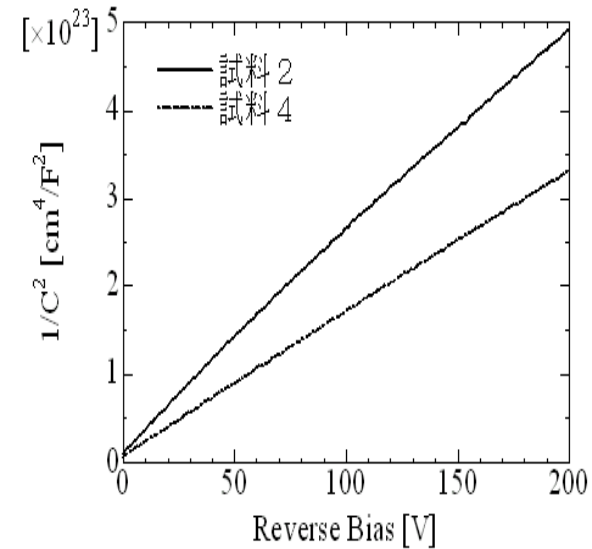
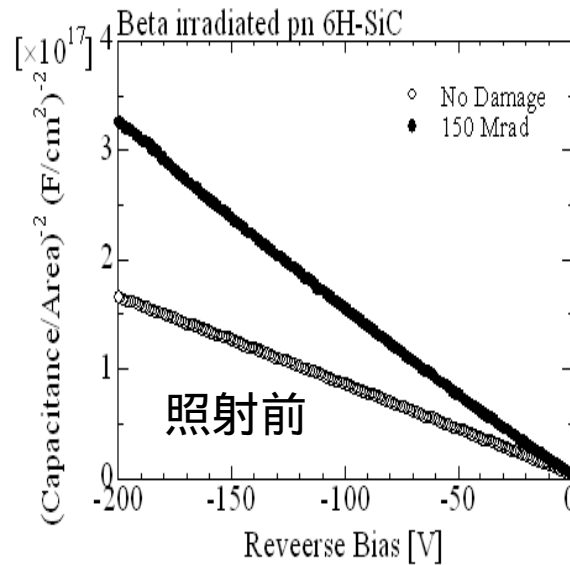
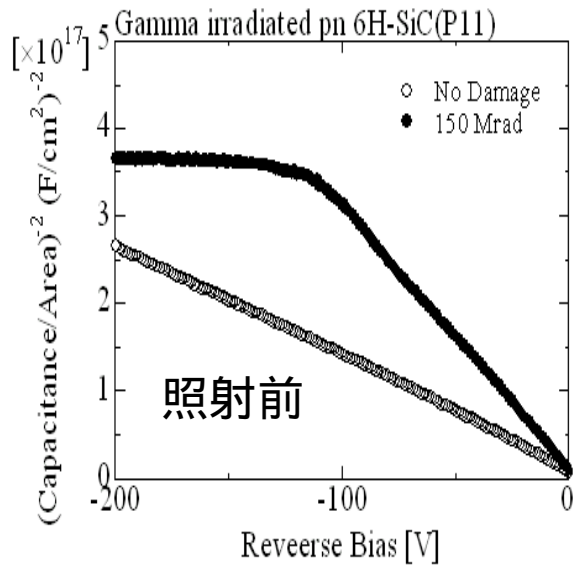


$$W = \epsilon_s \frac{S}{C}$$



	空乏層厚 [μm]
Si PIN フォトダイオード	26 ~ 122
PN-SiCダイオード	0.3 ~ 4

浮遊容量を補正した C-V 曲線



5 . 動特性

LED 応答

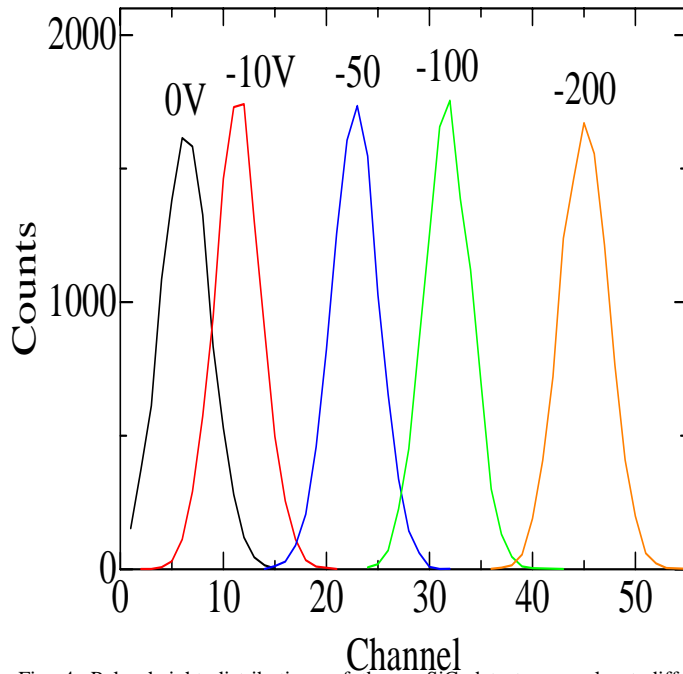


Fig. 4. Pulse height distributions of the pn-SiC detector sample at different reverse bias voltages for UV light of $1 \mu s$ width pulses at 100Hz.

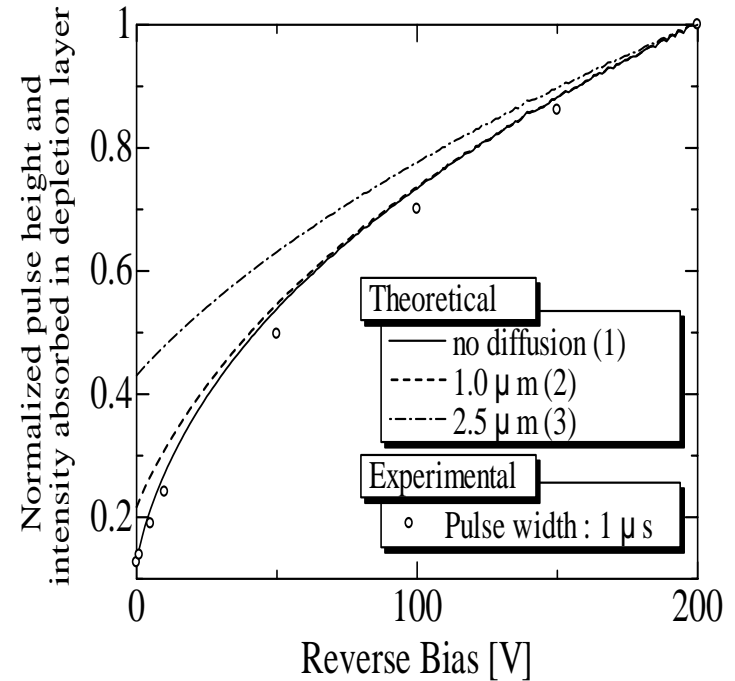


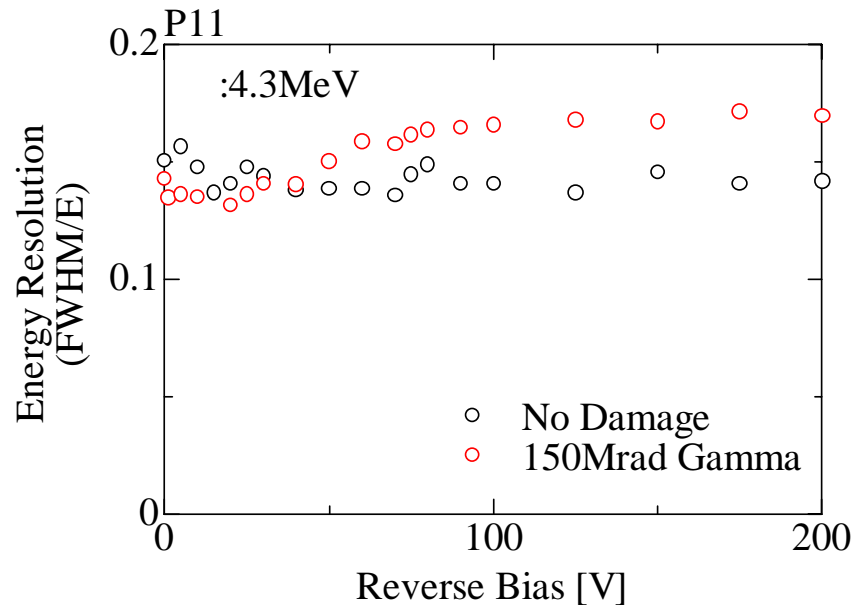
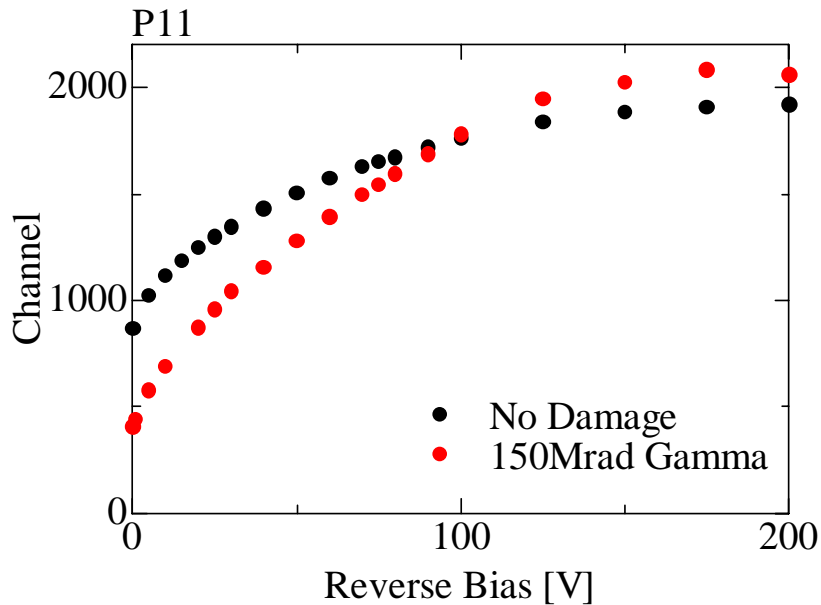
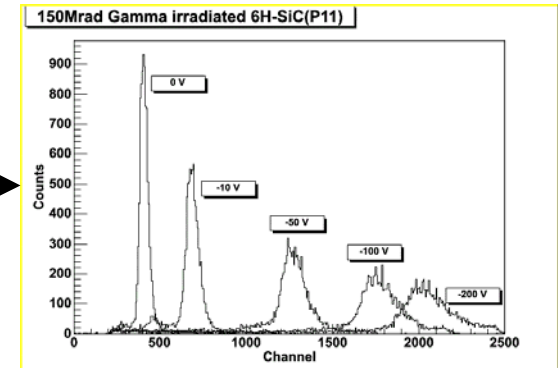
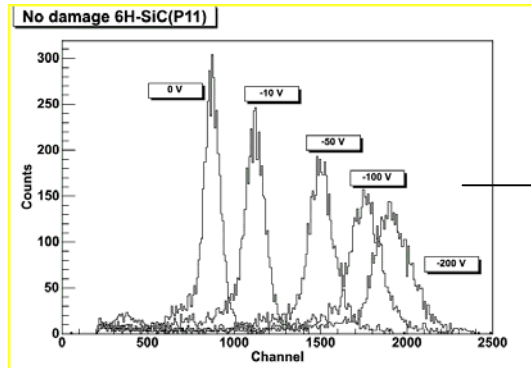
Fig. 5. For experimental data, the open circles for $1 \mu s$ pulse width are distribution of mean pulse height normalized by that at the reverse bias voltages of -200V. For theoretical data, the solid line, broken line and dash-dotted line are distribution of intensity normalized by that at reverse bias voltages of -200V.

Diffusion効果を考慮？

P+ Bulkの影響？

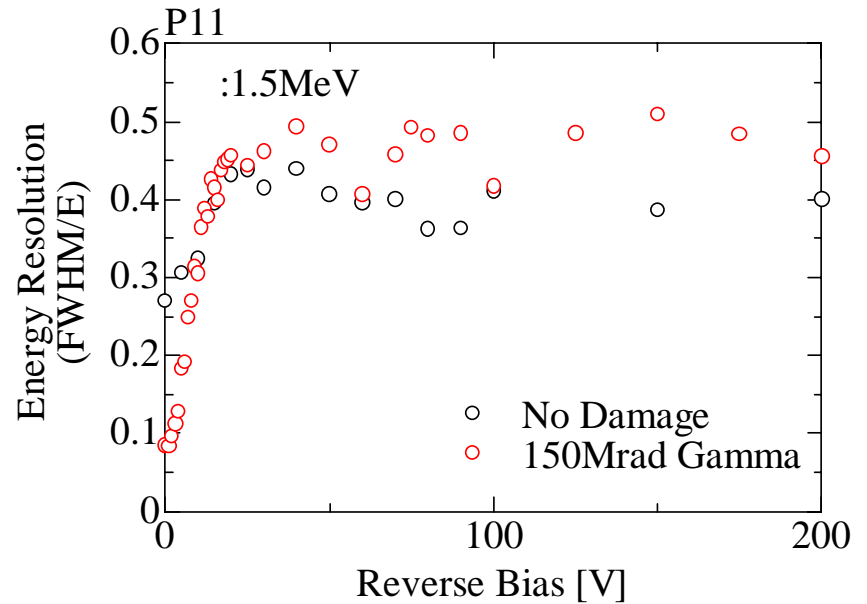
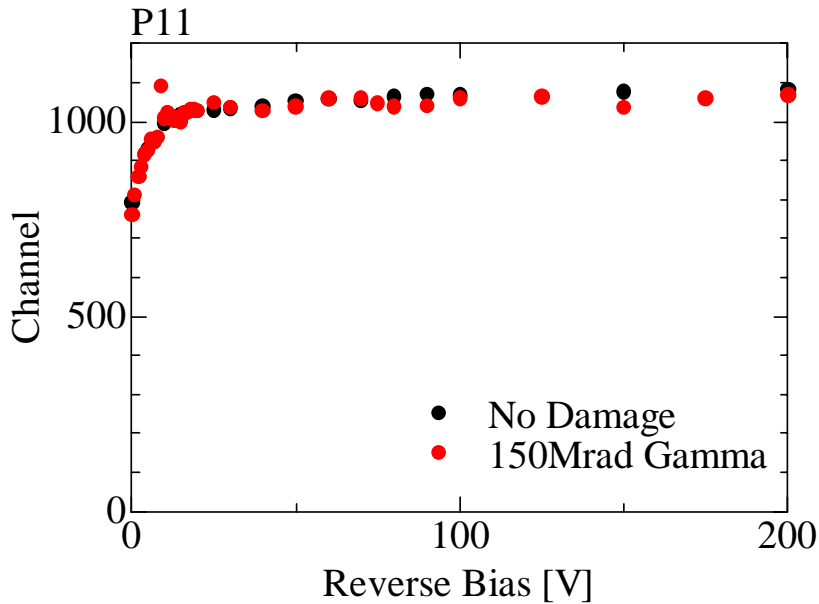
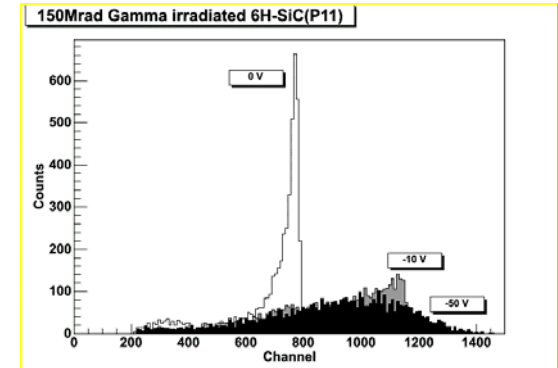
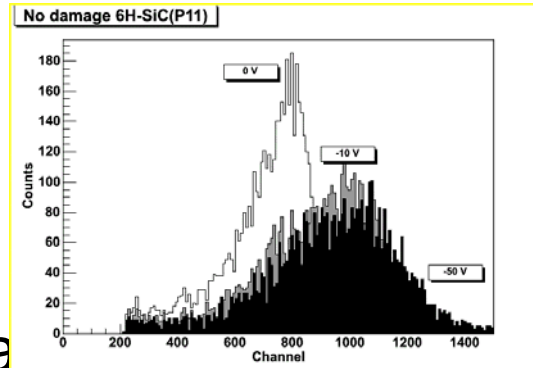
P11

- (4.4MeV)
 - No Damage
 - 150 Mrad Gamma



P11

- (~2MeV)
 - No Damage
 - 150 Mrad Gamma



Sensitive Areaが薄い(5 μ m)ため

6 . 放射線照射

放射線耐性の研究

@原子力研究所高崎研究所

✦照射(吸収)線量

■ (電子)線・・・2[MeV]

■ 1.0×10^{13} , 1.0×10^{14} , 1.0×10^{15} [e/cm⁻²]

■ 線・・・1.173, 1.333[MeV] (線源 ⁶⁰Co)

■ 1.3, 6.3, 15.2, 29.1, 43.1, 150.4 [Mrad]

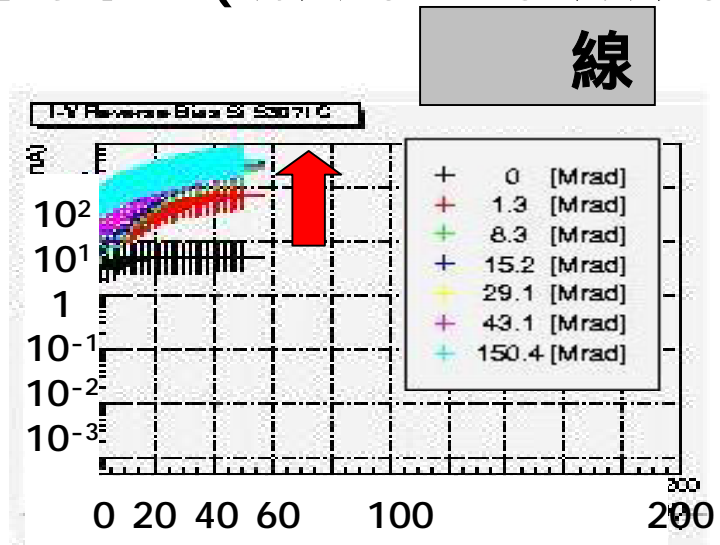
最初の試み

制御のしやすさ

Accessのしやすさ

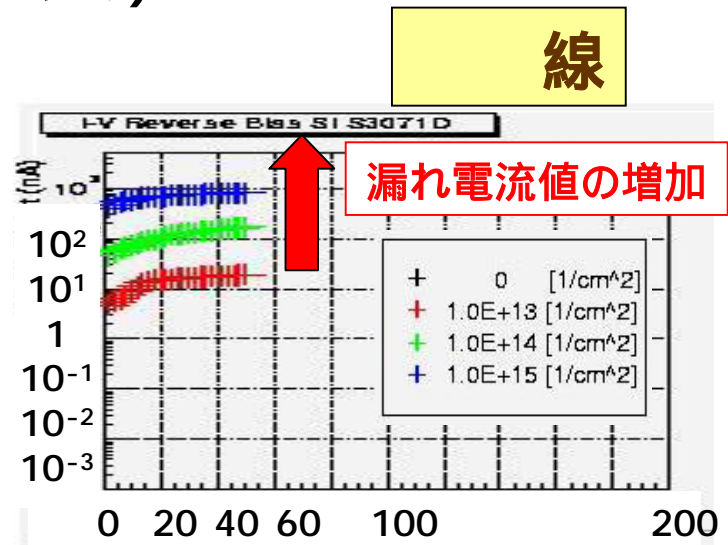
I-V特性 (放射線照射後)

Si



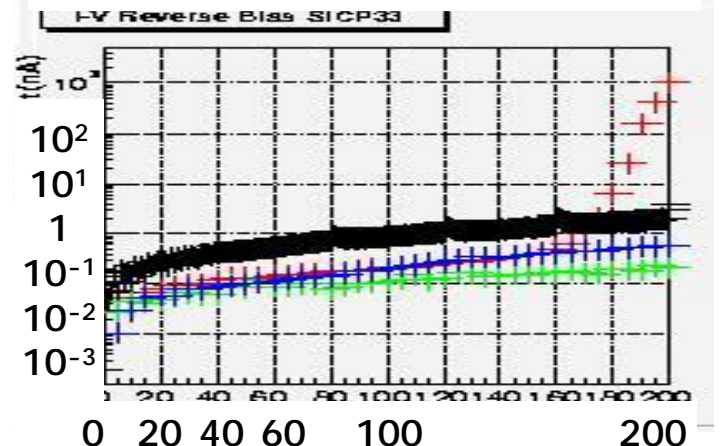
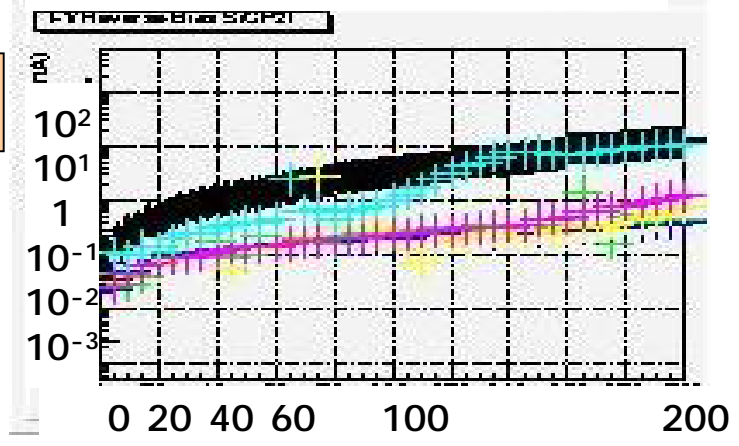
線

漏れ電流値の増加

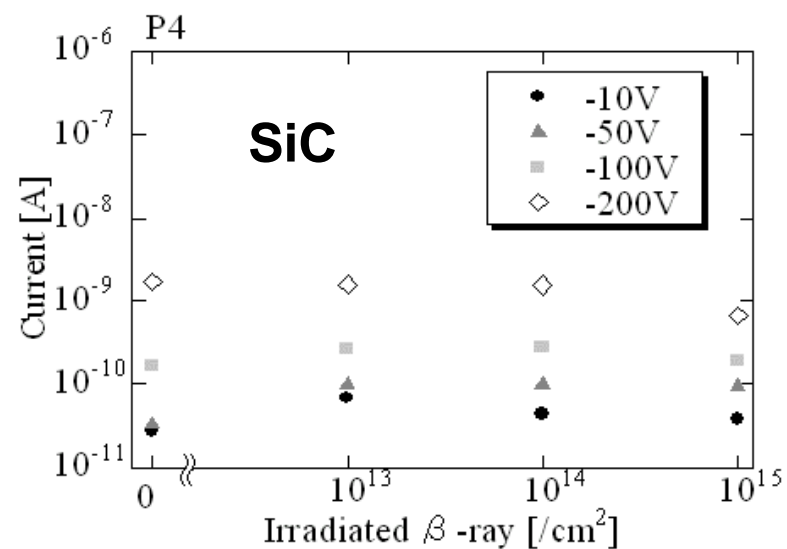
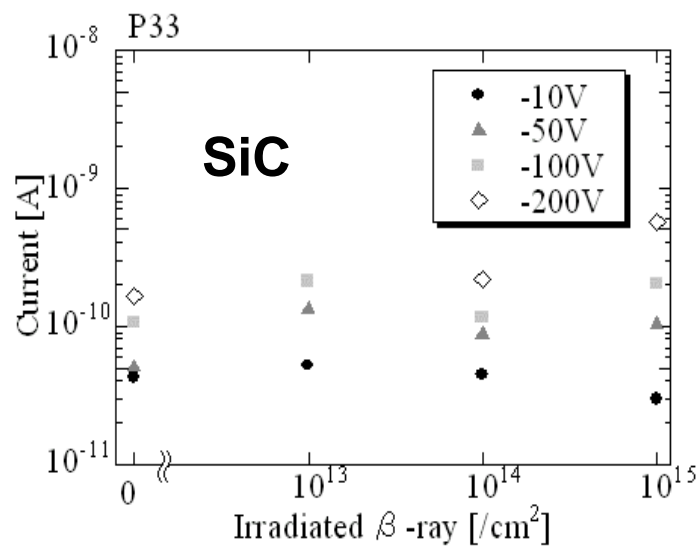
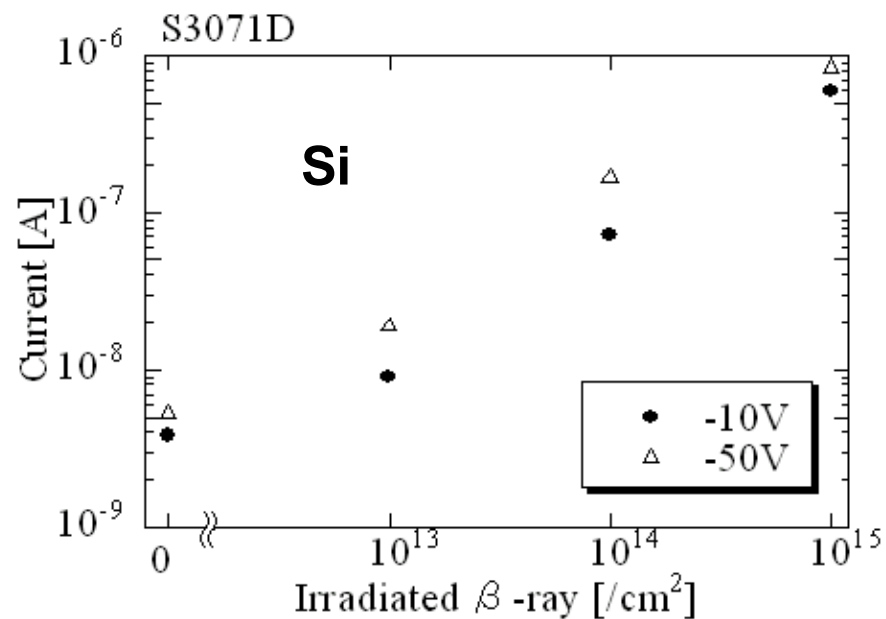


SiC

漏れ電流 [nA]



逆バイアス [V]



7. 現状のまとめ

- テストに耐えるサンプル作りができるようになってきた.
- 放射線検出器としてのSiCを**定性的に理解**し始めた.
- SiCの方がSiより**耐放射線はよさそう**である.
- より深い理解のために更なる研究と経験が必要である. そのためには、**epi-層を厚く**する必要がある

MIP Detection