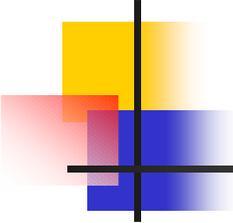


# SiC半導体による放射線検出器 の開発・研究

---

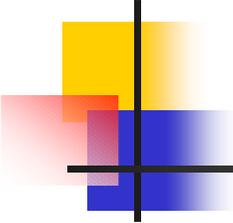
木下明将、栗田峰生、乗松健治、中野逸夫、田中礼三郎、  
岩見基弘、大井暁彦\*、大島武\*、神谷富裕\*、福島靖孝\*\*  
(岡山大学、原研高崎\*、KEK\*\*)



# 半導体検出器

---

- 特徴
  - 高分解能
    - 1対の電子正孔を作るエネルギーが小さい
  - 検出効率が低い
    - 密度が大きい
  - 時間分解能が良い
    - キャリア移動度が大きい
    - 高電界に耐えられる
- Si ▼放射線・高温・高電圧▼



## SiC (v.s. Si)

---

- 禁制帯幅 (bandgap) が Si の 2 ~ 3 倍
  - 絶縁破壊電界が一桁大きい
  - 飽和電子速度が 2 倍
  - 熱伝導率 3 倍
  - 動作温度の上限が 500-600°C (Si: 150°C くらい)
  - 耐放射線性も高い

# 各種半導体の特徴

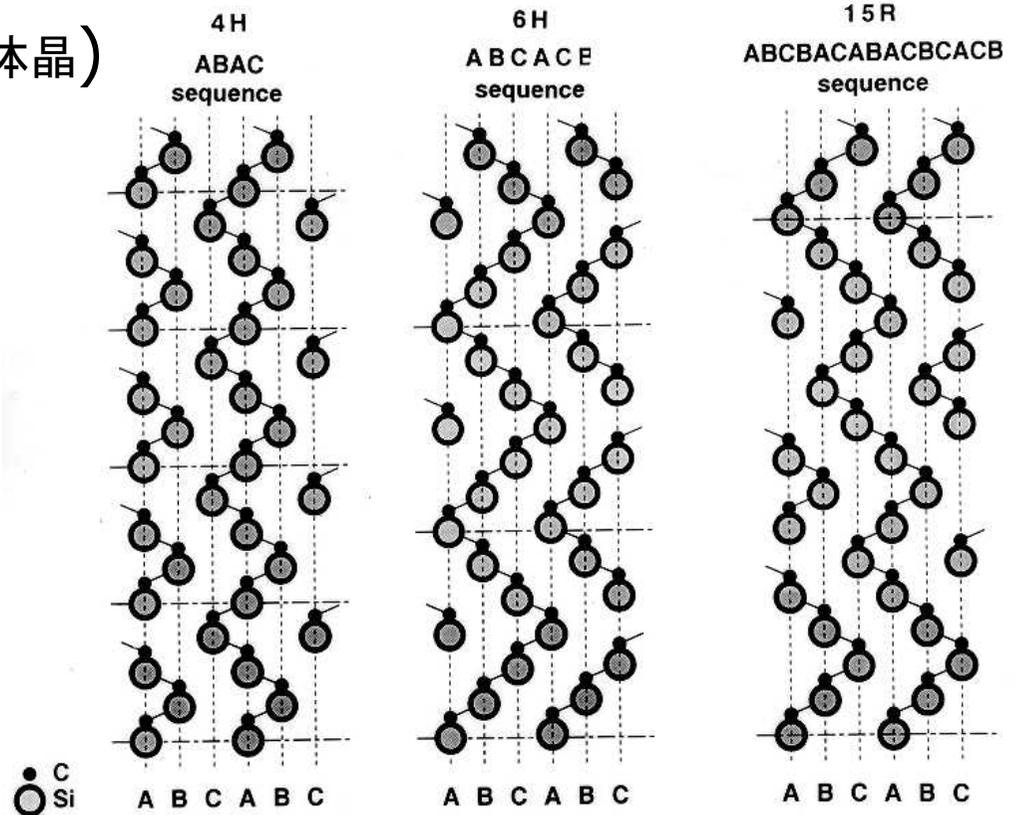
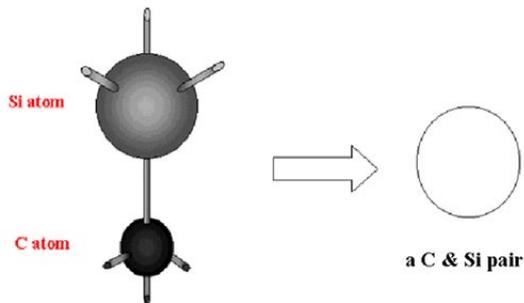
項目 / 材料	Si	GaAs	3C-SiC	6H-SiC	4H-SiC	GaN	Diamond
バンドギャップ(eV)	1.12	1.43	2.3	2.86	3.02	3.39	5.47
電子移動度(cm <sup>2</sup> /Vs)	1500	8500	800	460	700	900	1800
絶縁破壊電界(MV/cm)	0.3	0.4	4	3	3.5	2	4
電子飽和速度(×10 <sup>7</sup> cm/s)	1	2	2.7	2	2.7	2.7	2.5
熱伝導率(W/cm·°C)	1.51	0.54	3.2	4.9	4.9	1.3	20.9
比誘電率	11.9	12.91	9.72	10.03 <sup>c</sup>	10.03 <sup>c</sup>	10.4 <sup>c</sup>	5.93
Johnson指数(高速・大電力)	1.0	18.8	1296	400	992	324	1100
Key指数(高速・高集積素子)	1.0	0.52	7.0	5.0	6.4	1.05	37
熱伝導率×Johnson指数	1.0	6.7	2748	1298	3220	279	15379

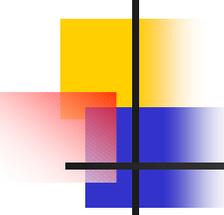
(注)Johnson指数 = (絶縁破壊電界 × 電子飽和速度)<sup>2</sup>

Key指数 = 熱伝導率 × (電子飽和速度 / 誘電率)

# 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)



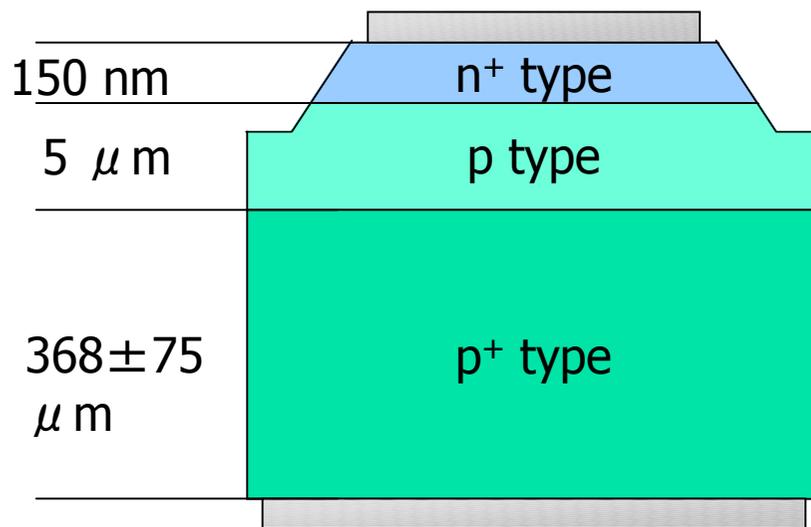


# 半導体検出器の種類

---

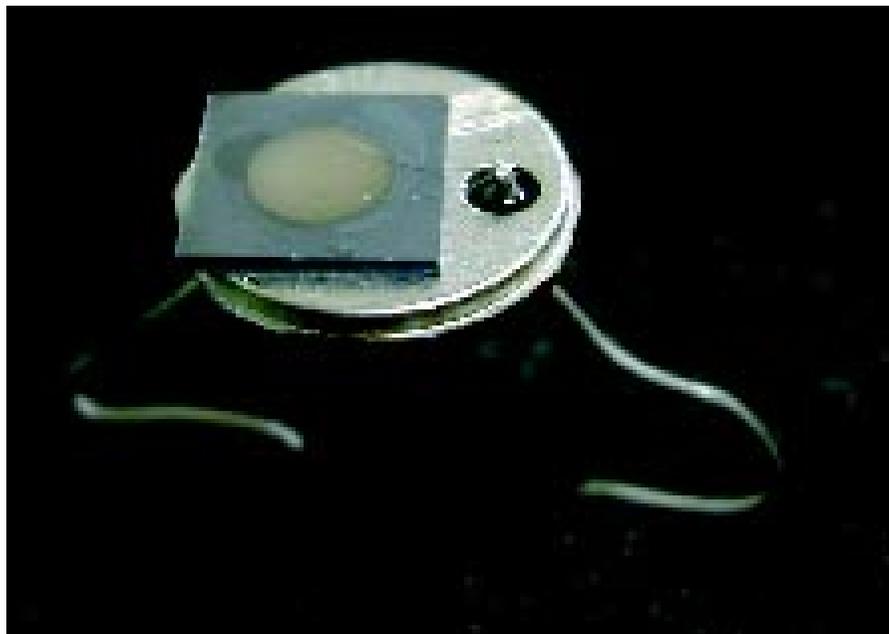
- pn接合型
  - 高耐圧品が作れる
  - 一般的に検出器で使われる
- ショットキー接合型
  - 順方向電圧降下が小さい
  - 接合容量がないため逆回復時間が大変短い

# 試料 (SiC検出器) made in 原研

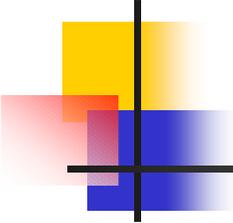


- p(epi)/p<sup>+</sup>(substrate)
  - CREE社より購入
  - 6H-SiC
- イオン注入
  - Pイオン
  - $1 \times 10^{19} (3.3 \times 10^{18}) [/\text{cm}^3]$
- メサ構造
- 電極
  - Al(オーミック接合)

# 試料写真 made in 原研



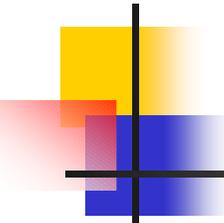
- p(epi)/p<sup>+</sup>(substrate)
  - CREE社より購入
  - 6H-SiC
- イオン注入
  - Pイオン
  - $1 \times 10^{19}$ ( $3.3 \times 10^{18}$ )[/cm<sup>3</sup>]
- メサ構造
- 電極
  - Al(オーミック接合)



# 評価試料

---

- 試料①
  - pn接合型 試作
- 試料②
  - 試作①の改良 漏洩電流小
- 試料③
  - 試料②の追試
- 試料④
  - 検出面の工夫 表面電極による吸収を小



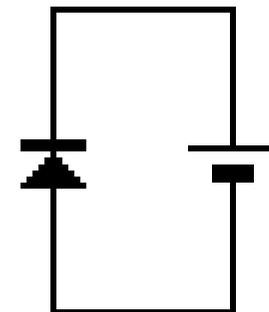
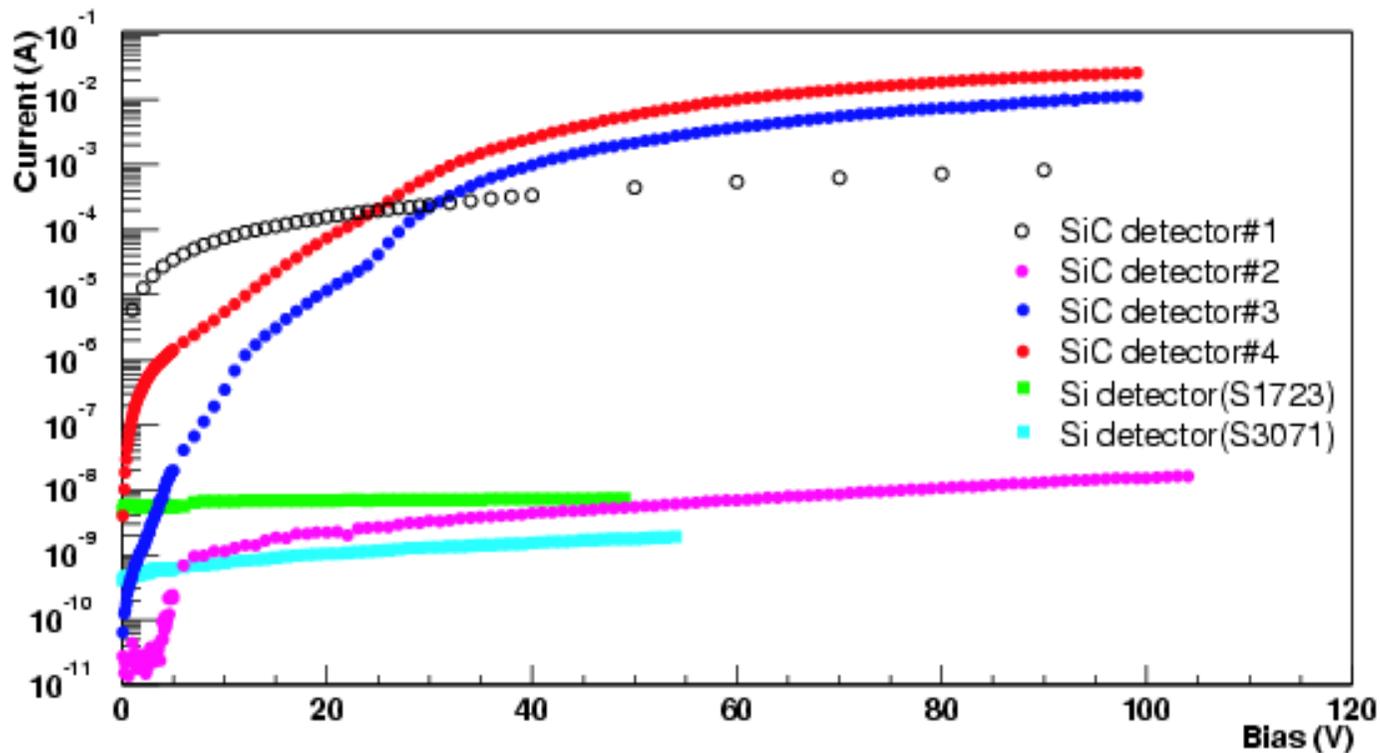
# 測定 (in 岡山大学)

---

- 静特性 (半導体検出器 = ダイオード)
  - I-V特性      整流性評価
  - C-V特性      空乏層評価
- 信号検出
  - $\alpha$ 線
  - LED(UV:3.3eV)

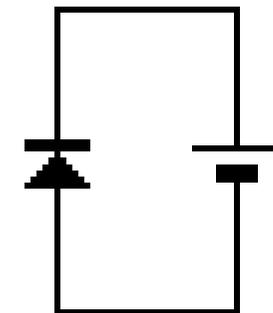
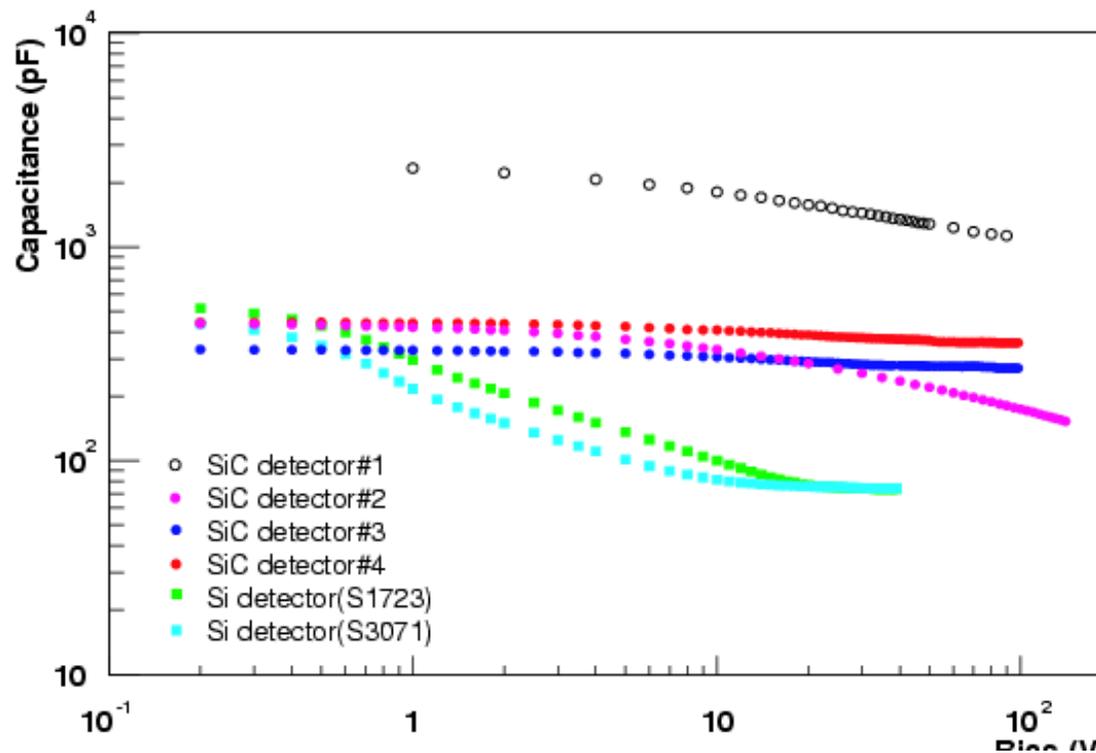
# I-V測定

- 整流性の評価 → ダイオード
  - 試料: SiC①, ②, ③, ④, 浜松PIN-Si S1723, S3071
  - V: 0~100

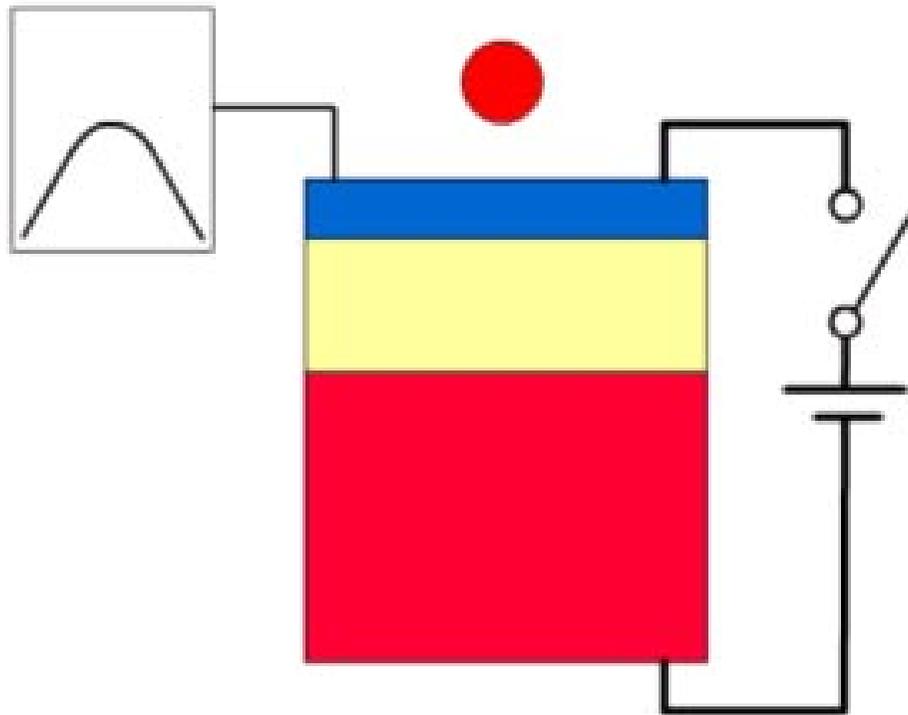


# C-V測定

- キャパシタンスの電圧依存
  - 試料: SiC①, ②, ③, ④, 浜松PIN-Si S1723, S3071
  - V: 0~100 ( $C \propto 1/V^{1/2}$ )

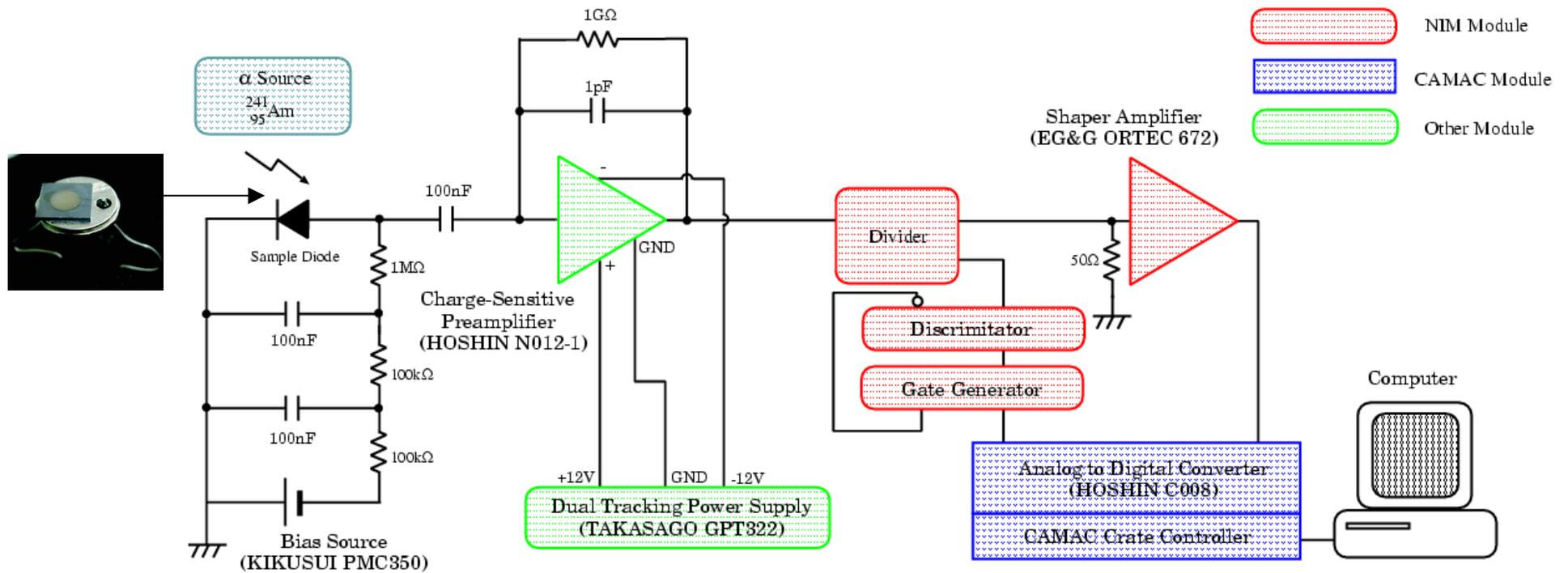


# 測定方法 ( $\alpha$ 線)



- $\alpha$  線源
  - Am241- $\alpha$  線
    - 5.48 MeV
- 動作確認

# セットアップ(α線)

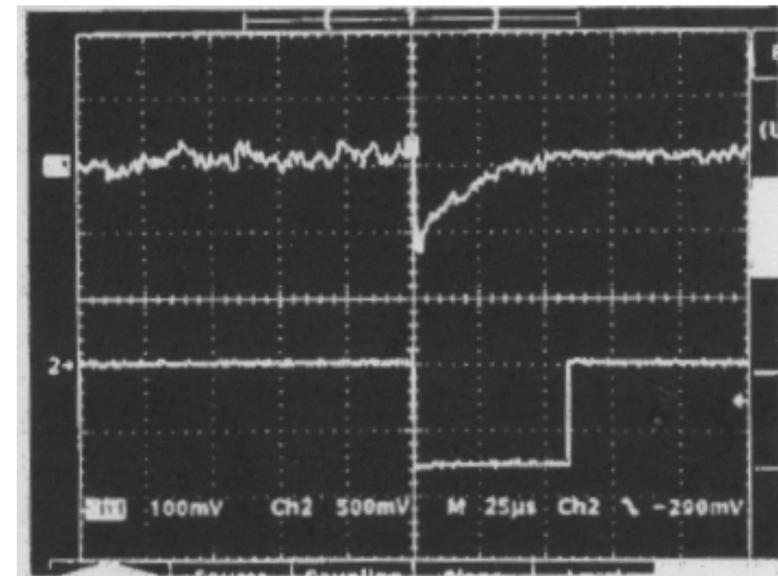
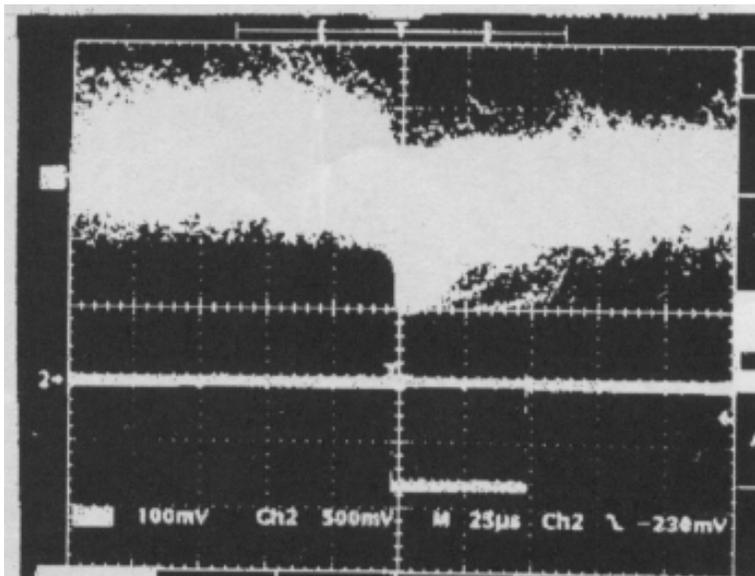


# $\alpha$ 線測定

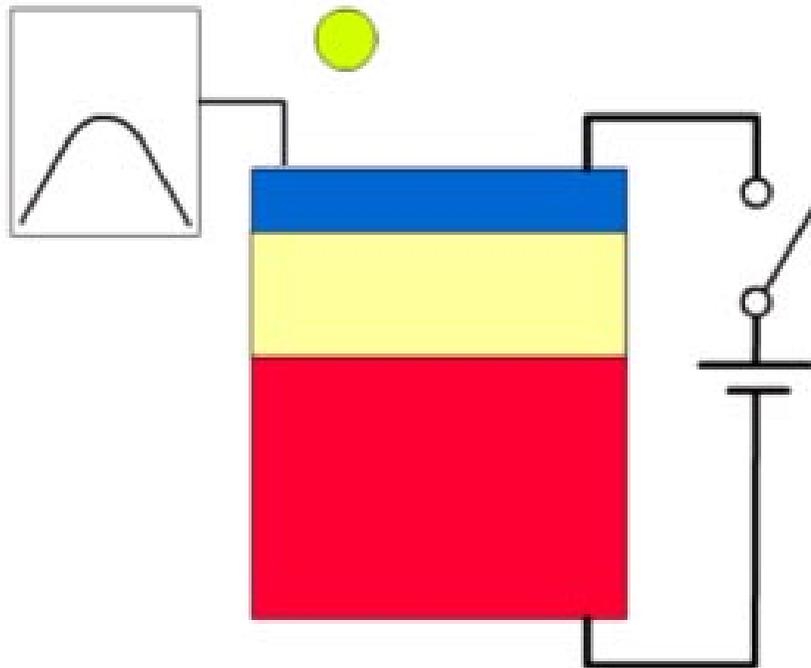
## ■ プリアンプの出力信号

- 試料①
- 25°C
- Y:100mV
- X:25  $\mu$ s

-40°C



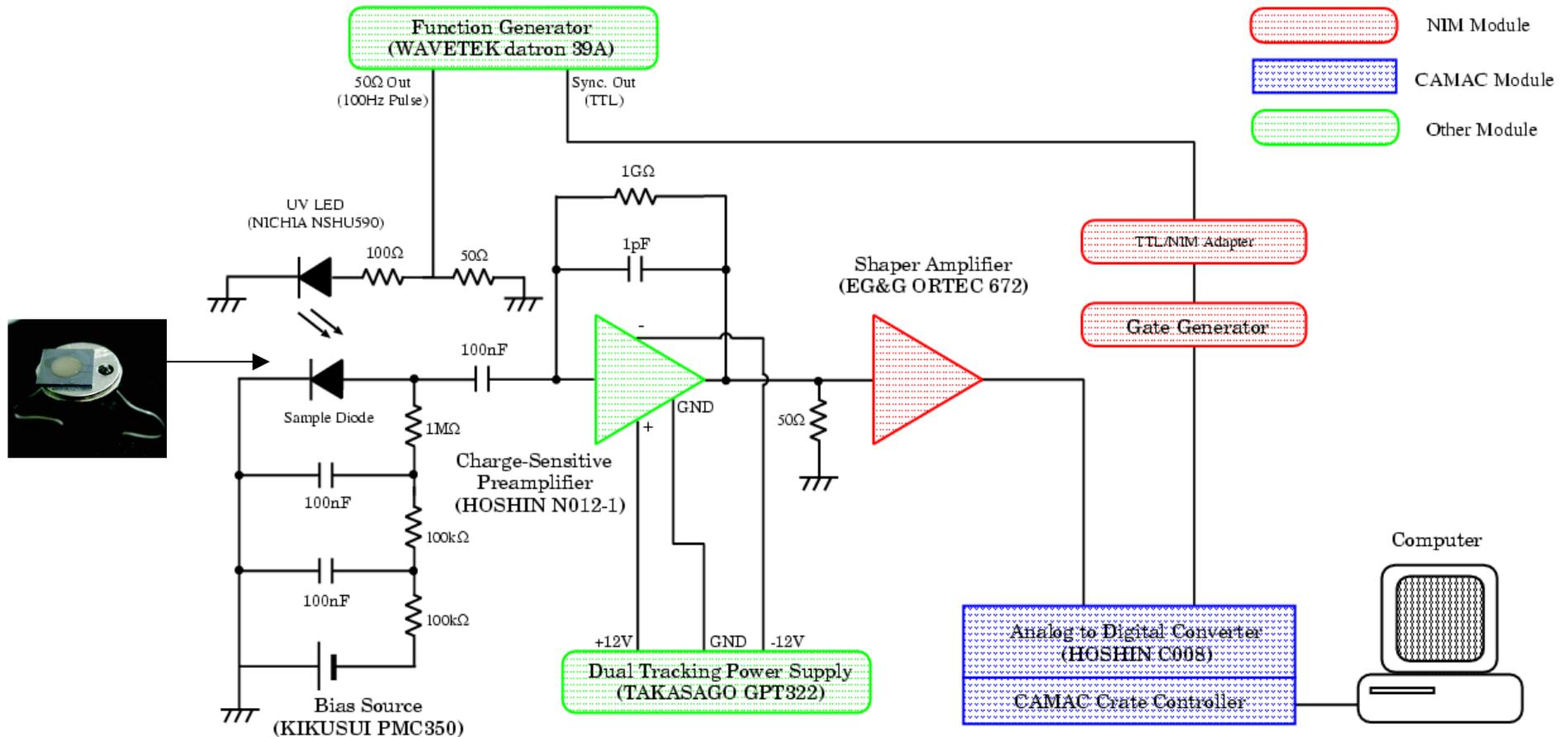
# 測定方法(LED)



## ■ 紫外線

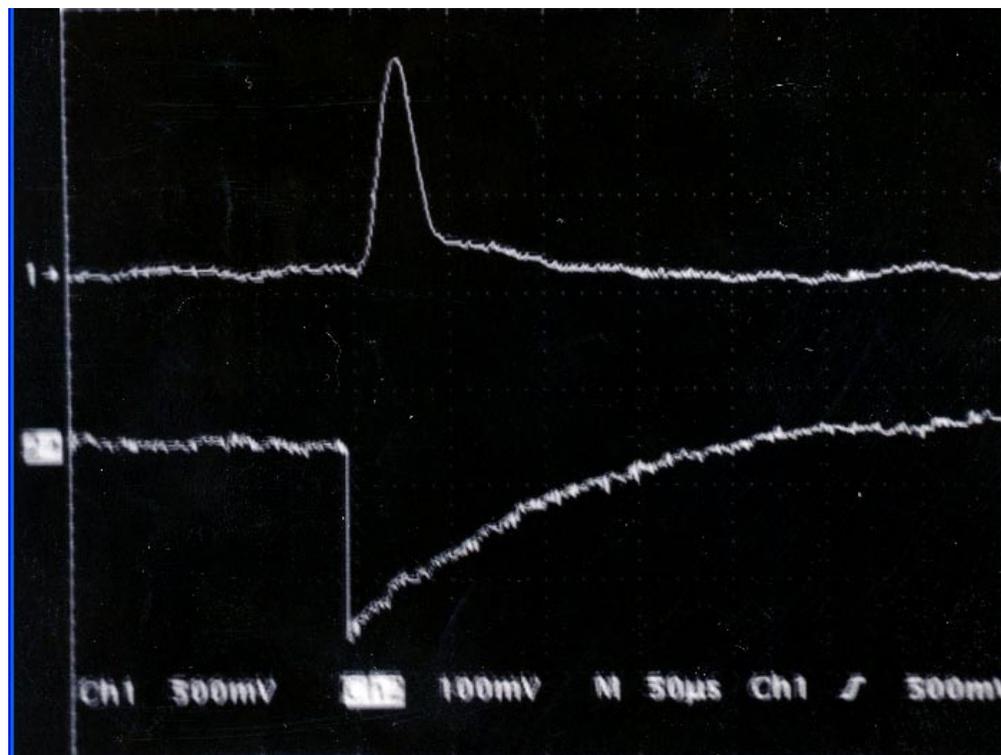
- LED
  - 波長 375 nm
  - エネルギー 3.31 eV
- 印加電圧
  - 0 ~ 145 V
- 信号強度

# セットアップ (紫外線: 3.3eV)



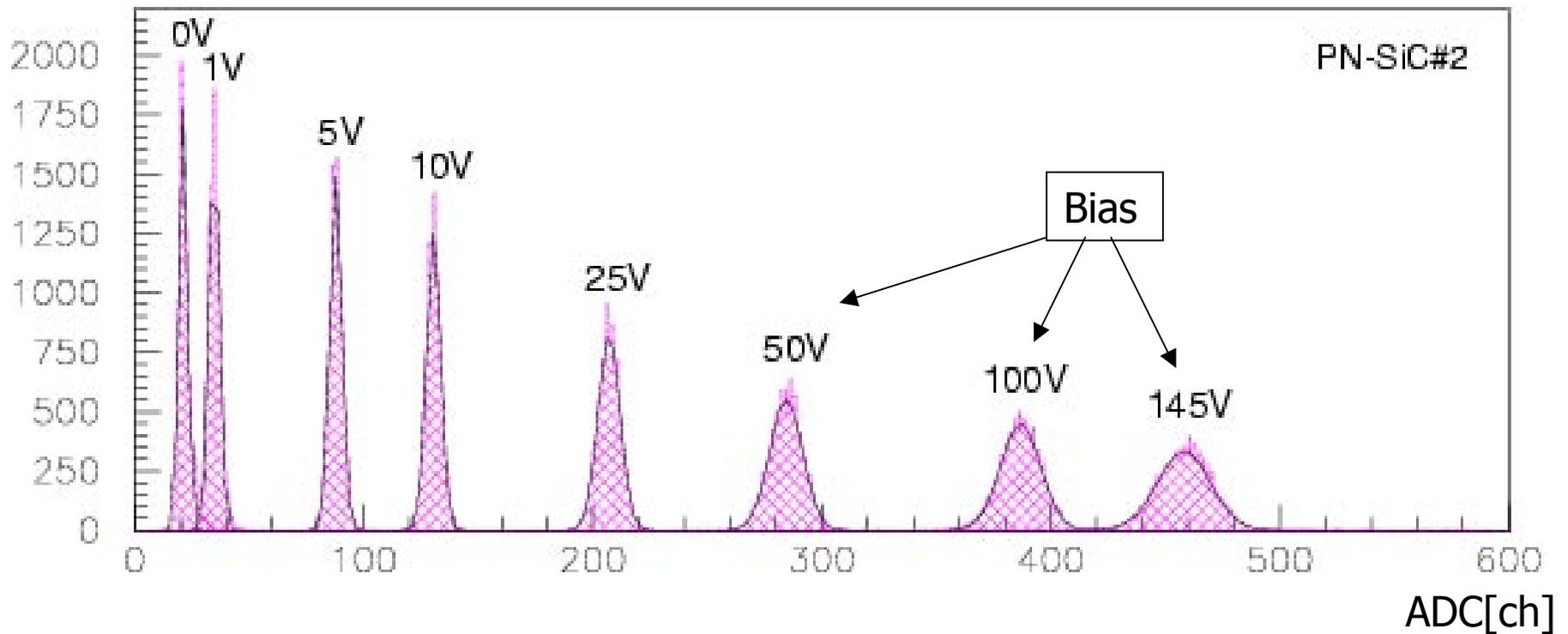
# UV測定

- シェイパーアンプ(上)
- プリアンプ(下)
  - 試料②
  - 室温
  - Y:100mV
  - X:50 $\mu$ s



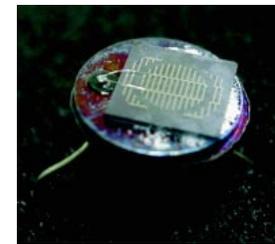
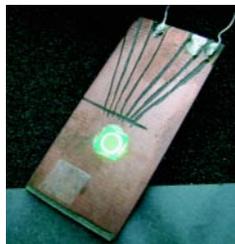
# バイアスとADC分布 (試料②)

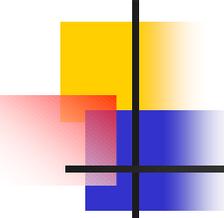
Number



# 結果

■ 静特性	①	②	③	④
■ I-V(漏洩電流)	大	小	大	大
■ C-V(空乏層)	▲	○	▲	▲
■ 信号検出				
■ $\alpha$ 線	▲	○	△	—
■ 紫外線	—	△	△	—

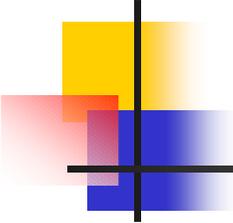




# 今年度のまとめ

---

- ダイオードとしての動作確認
  - ○整流性
  - ○可変容量
  - ×定量的
- 検出器としての能力
  - ○ $\alpha$ 線検出
  - ○紫外線検出
  - ×定量的
  - ×MIPは見れない



# 来年度の予定

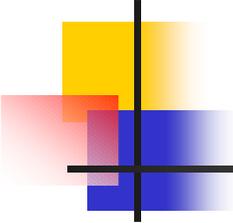
---

## ■ 国際学会発表

- SiC & Related Materials
- ICDS (International conference on defects in semiconductors)
- 材料国際会議 MRSのミーティング
- NSREC (Nuclear & Space Radiation Effects Conference; IEEE)
- ...

## ■ 論文投稿

- Nuclear Instruments and Methods
- Journal of Surface Science
- Journal of Crystal Growth
- Applied Physics Letter
- J. Applied Physics
- Applied Physics A
- Electron Devices (IEEE)
- ...



# 今後

---

- 品質の向上
  - 漏洩電流の減少
  - 理想的なC-V特性
  - 温度変化による安定動作
- 定量分析
  - $\alpha$ 線検出による信号量
  - LED光検出による信号量