

2005/5/11 workshop@RIKEN
「放射線検出器と電子回路の課題と展望
--光子検出器を中心に」

中高エネルギー原子核実験 におけるX線検出器SDDの開発

K中間子原子のX線測定実験
KEK-PS E570

岩崎先端中間子研究室
岡田 信二

for KEK-PS E570 collaboration

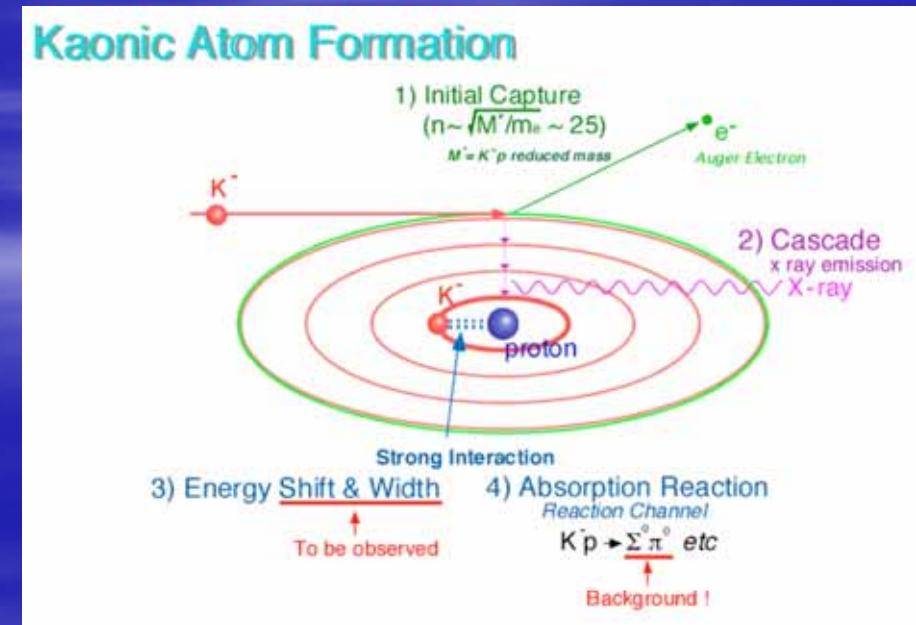
Contents

- ✓ エキゾチックアトム - K中間子原子とは？
- ✓ KEK-PS E570実験について
- ✓ SDD(シリコン・ドリフト・ディテクター)の特徴
- ✓ SDD テスト結果
- ✓ まとめ・これからの課題

エキゾチックアトム

- 原子を構成してる一つの電子を、負電荷のハドロンに置き換えた原子（アトミック状態）
 - 脱励起しX線を放出しながら、基底状態に近づき、原子核と強い相互作用をする
 - このX線を観測することにより、電磁相互作用のみによるエネルギー値のずれから、低エネルギー極限でのハドロンと核子(or原子核)の強い相互作用の研究が可能

- π 中間子原子
- K中間子原子 ...



K中間子ヘリウム原子(K⁻-⁴He); 過去の3つの実験

Exp.

$3d \rightarrow 2p$

$$\Delta E_{2p} = -43 \pm 8 \text{ eV} \quad \Gamma_{2p} = 55 \pm 34 \text{ eV}$$

repulsive shift

$$\Delta E_{2p} \text{ (eV)} \quad \Gamma_{2p} \text{ (eV)}$$

-41 ± 33	—
-35 ± 12	30 ± 30
-50 ± 12	100 ± 40
-43 ± 8	55 ± 34

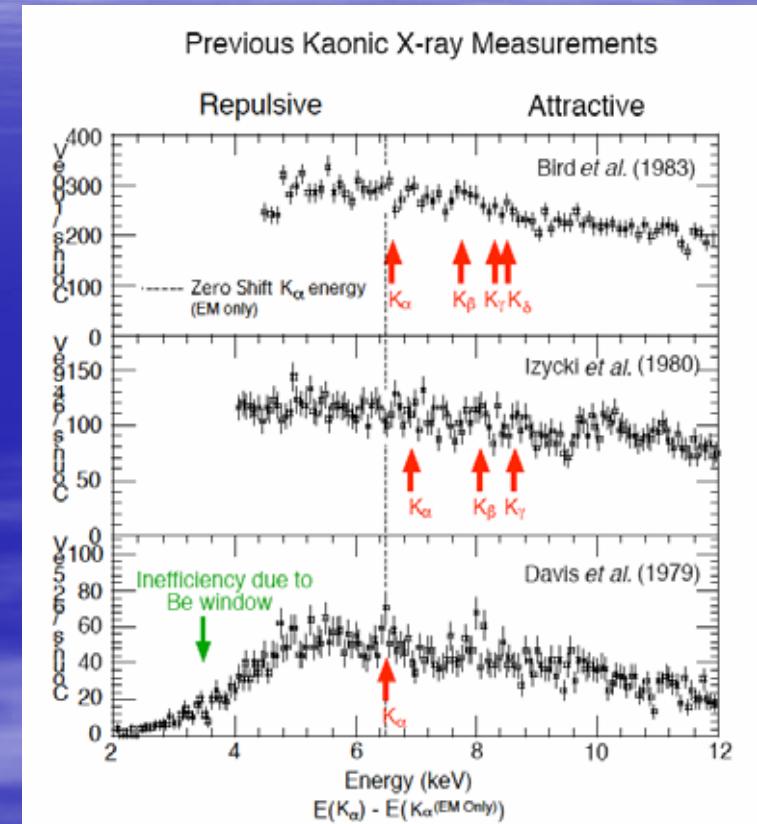
実験結果 → shift ~ 40 eV(repulsive)



理論計算によると → shift \sim 数eV(repulsive)

過去の実験

- no calibration peak (in beam)
- large background



KEK-PS E549実験

KEK-PS E570

- measure the shift (and width) of K-⁴He 3d-2p X-rays (6.5 keV)
with a sufficient resolution (\sim eV);

required performance
→ high resolution
→ lower background

(Calibration peak : Ti ...)



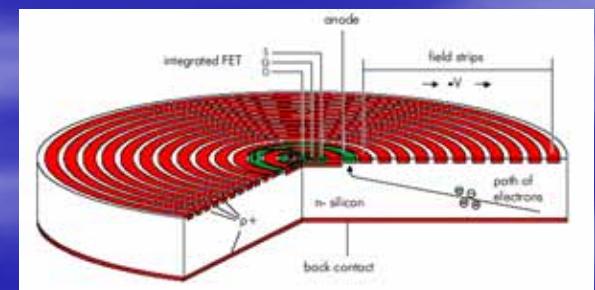
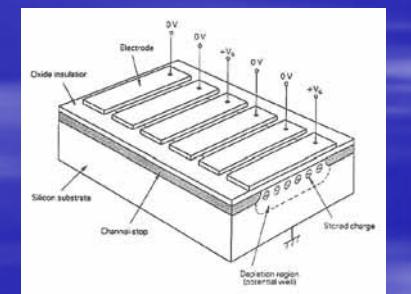
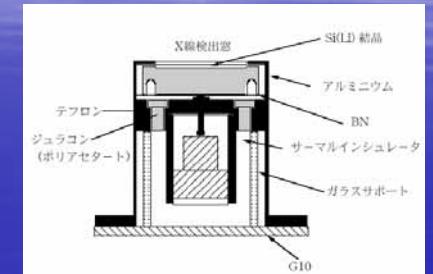
SDD

X線検出器

- Si(Li) 検出器 (@KpX) リチウムドリフト型シリコン検出器
エネルギー分解能: $\sim 300\text{eV}(\text{FWHM})@6\text{keV}$
時間分解能: $\sim < \mu\text{sec}$
$$Q = CV = (\epsilon_0 S / d) V$$

窒素温度
- CCD (Charge Coupled Device) 検出器 (@DEAR)
エネルギー分解能: $\sim 170\text{eV}(\text{FWHM})@6\text{keV}$
時間分解能: $\sim 30\text{sec}$
$$Q = CV = (\epsilon_0 S / d) V$$

窒素温度(?)
- SDD (Silicon Drift Detector) 検出器 (@E570)
エネルギー分解能: $\sim 175\text{eV}(\text{FWHM})@6\text{keV}$
時間分解能: $\sim < \mu\text{sec}$ (time jitter: $\sim 800\text{ns}$)
~常温でもOK(冷却するとさらに分解能が向上)



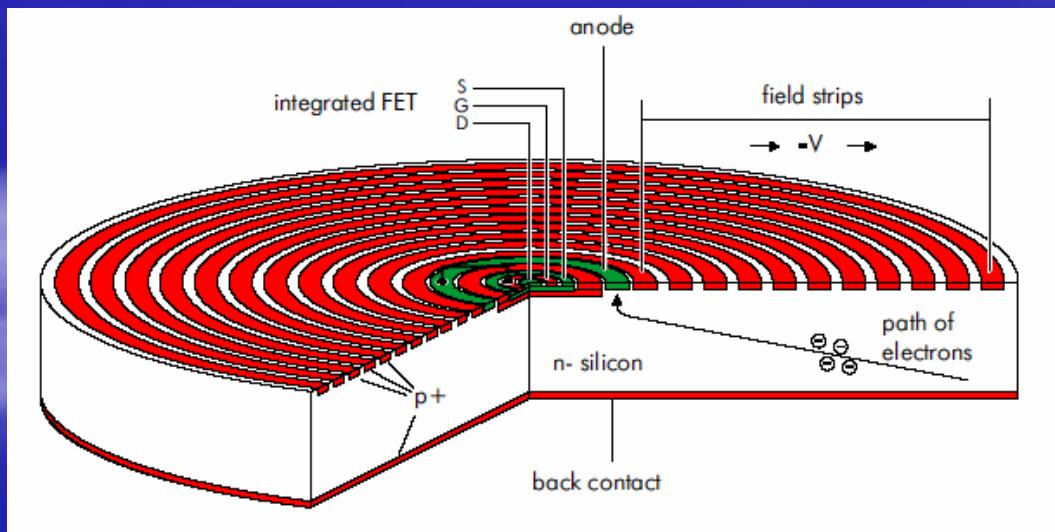
$$Q = CV = (\epsilon_0 S / d) V$$

SDD features

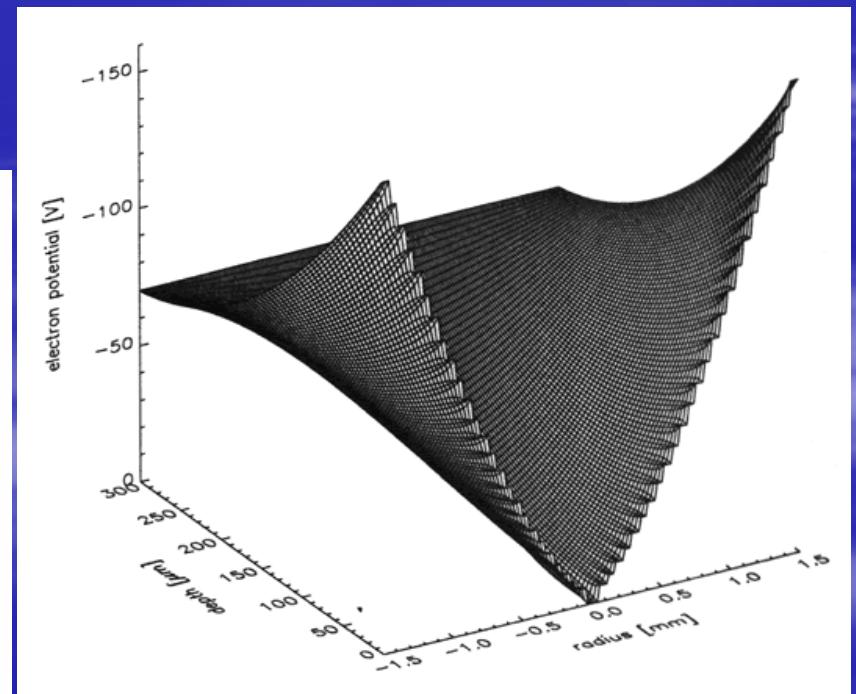
$$Q = CV \\ = (\epsilon_0 S / d) V$$

- ✓ **small capacitance** → good energy resolution
nearly independent of the detector area
- ✓ **thin active layer** (0.3mm << 4mm in previous experiments) → good S/N

ソフトコンプトンによるバックグラウンドを低減



Schematic drawing of a SDD

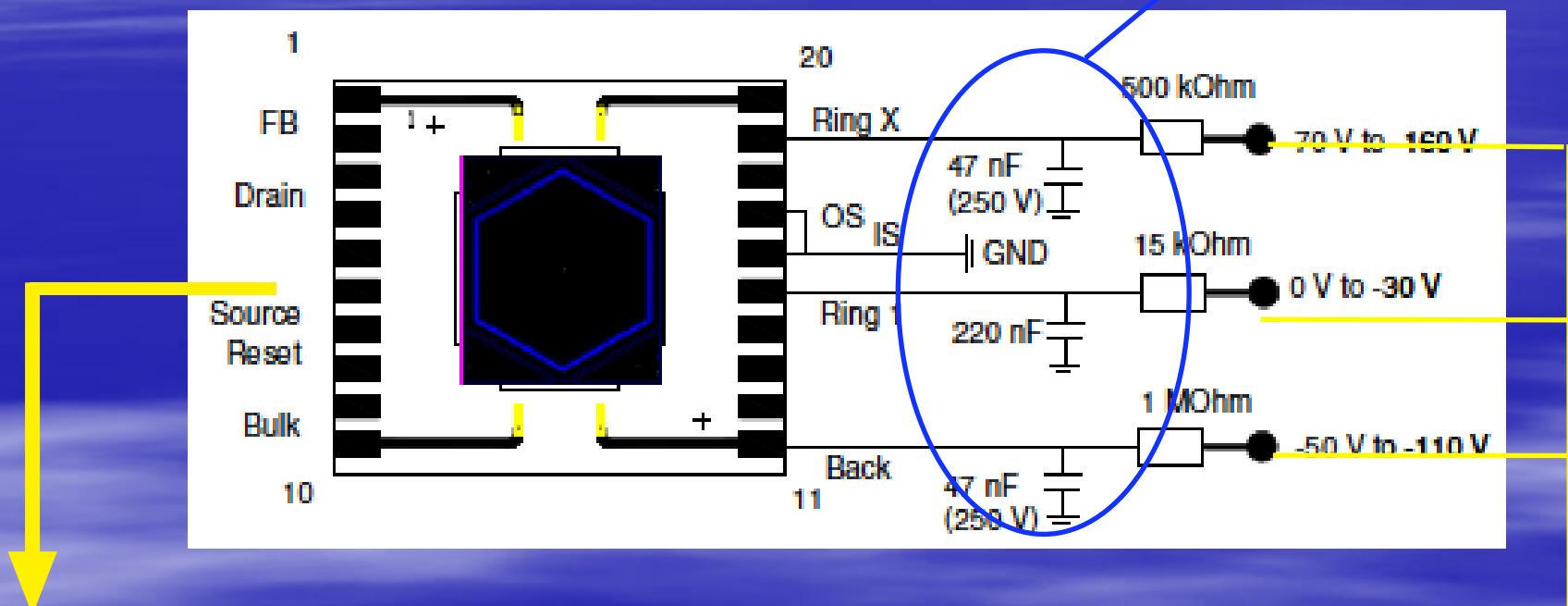


Simulated potential energy distribution in a SDD

Our SDD (100mm^2)

Hexagonal SDD mounted
on a 20-pin-ceramic

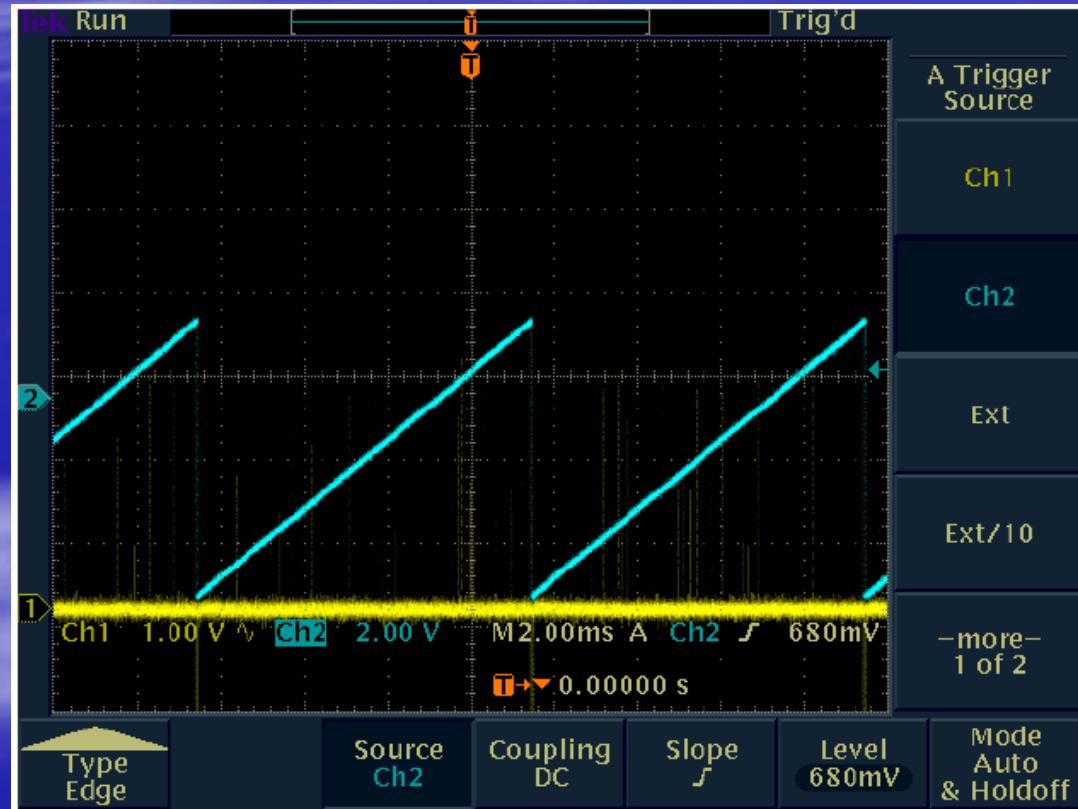
The filtered
detector voltages



Preamplifier

Power sources

According to a manual, the signal of the preamplifier should be a ramp



The ramp period is dependent on the chip temperature

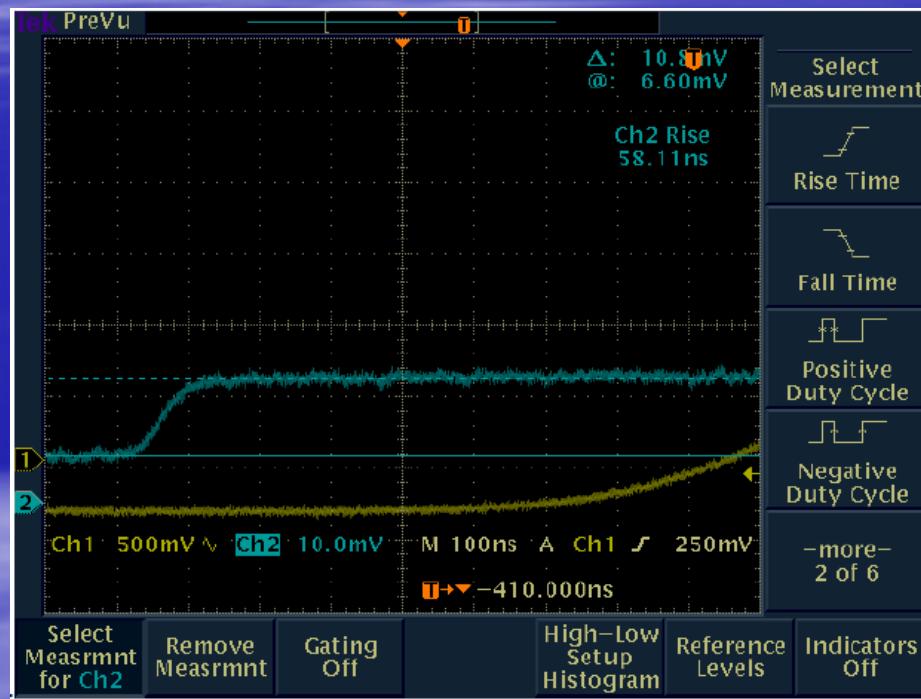
→ Temperature control is important

If the voltages are properly set, the ramp should look like in this figure

According to a manual, typical irradiated SDD signals look like...

@-20°C

Incoming photon energy is 5.892 keV



Signal rise time

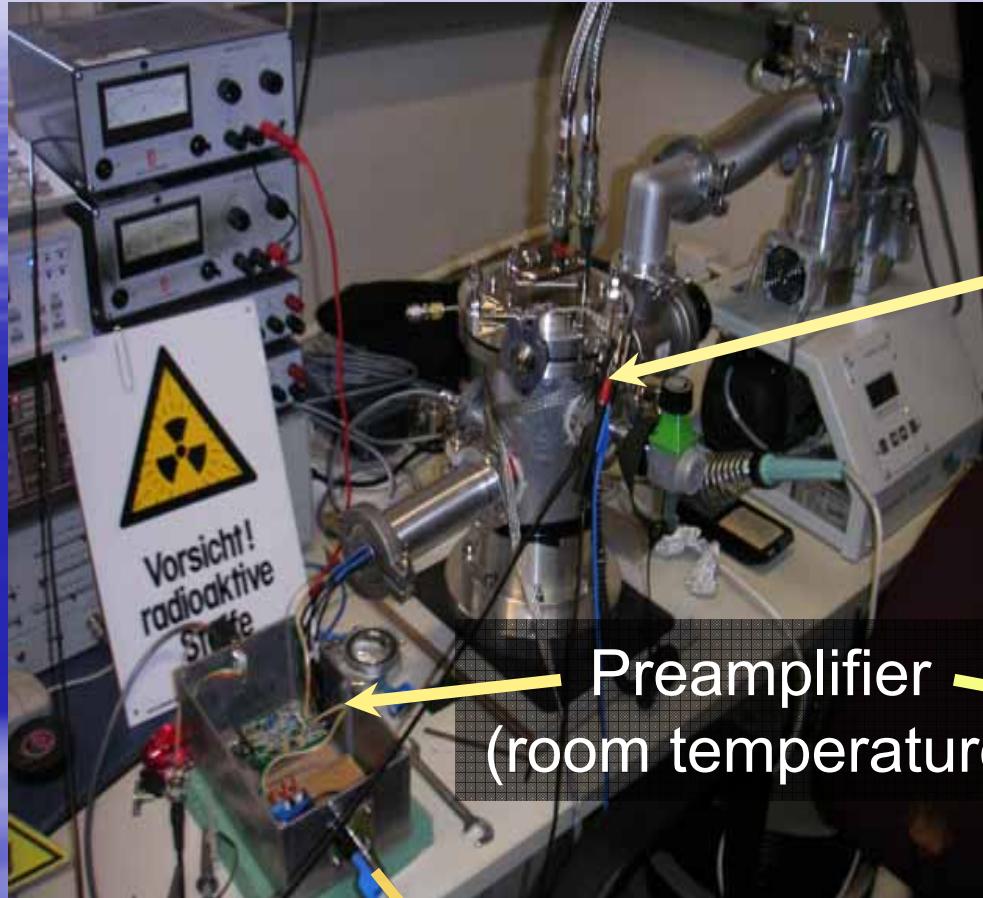
Signals were generated at the center of the detector



Shaped signal

First test setup

(at SMI (Vienna))



SDD (-120 degrees)

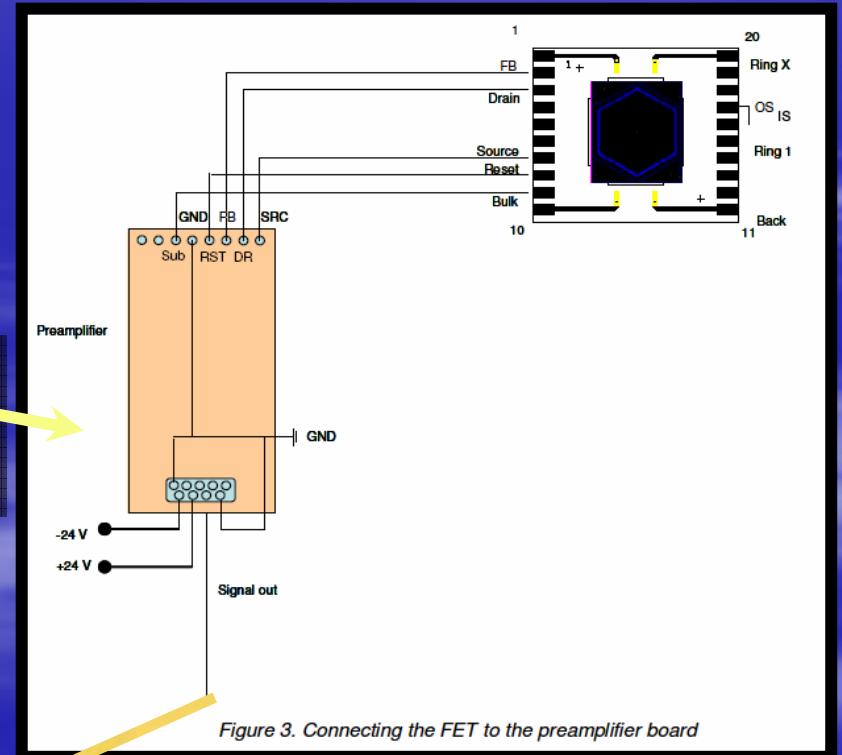


Figure 3. Connecting the FET to the preamplifier board

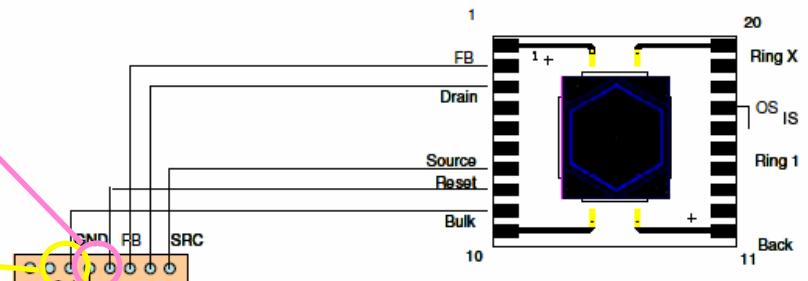
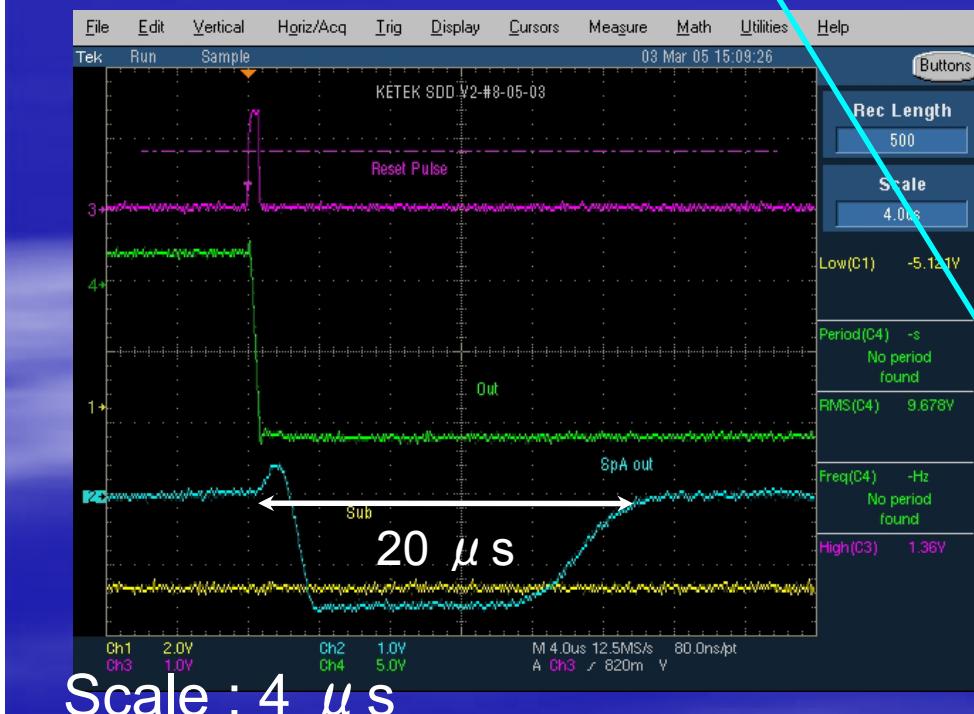
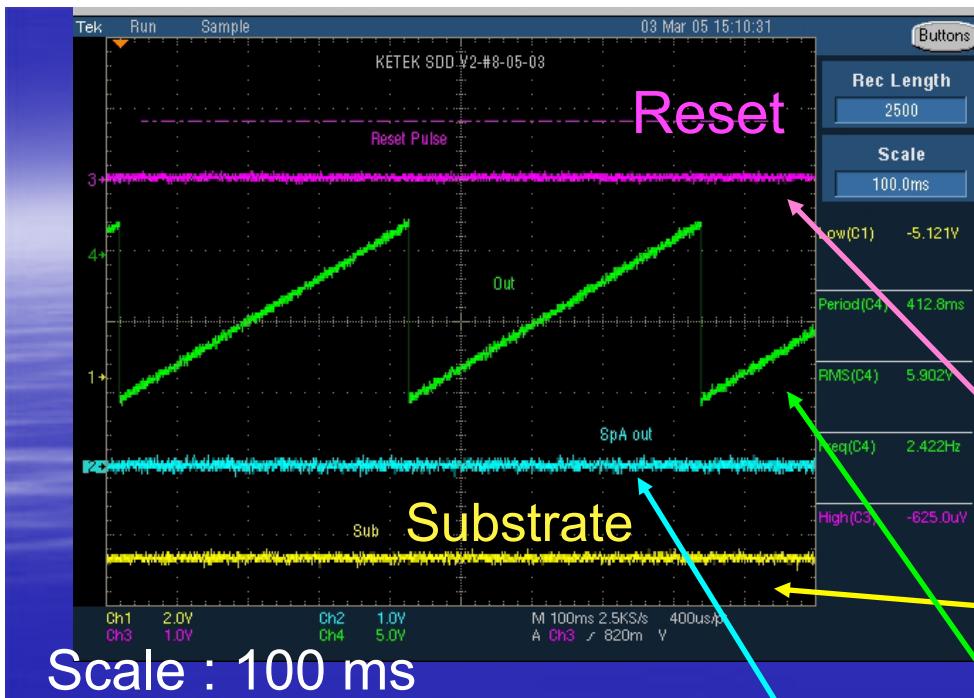
Shaping amp

Conditions of the SDD test

Conditions

- Cable inside vacuum : 25 cm (flat cable)
- Cable outside vacuum : 15 cm (shielded cable) ... total 30 cm
- Temperature of SDD : -120 degrees (153K)
- Shaping amp : gain factor 200, shaping time $2 \mu \text{ sec}$

Our first signals



Preamplifier
(room temperature)

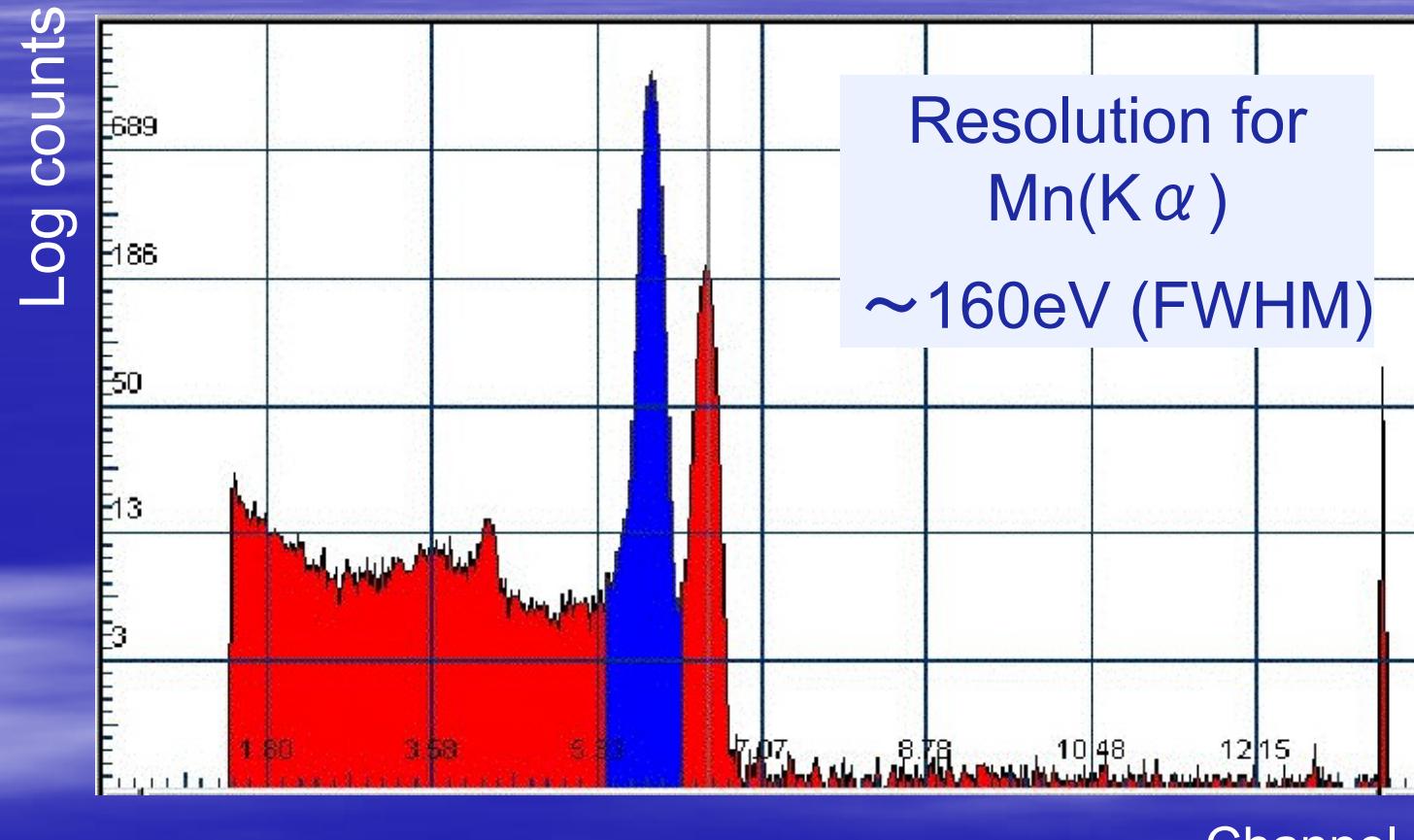
Signal of preamplifier

Shaping amp

Figure 3. Connecting the FET to the preamplifier board

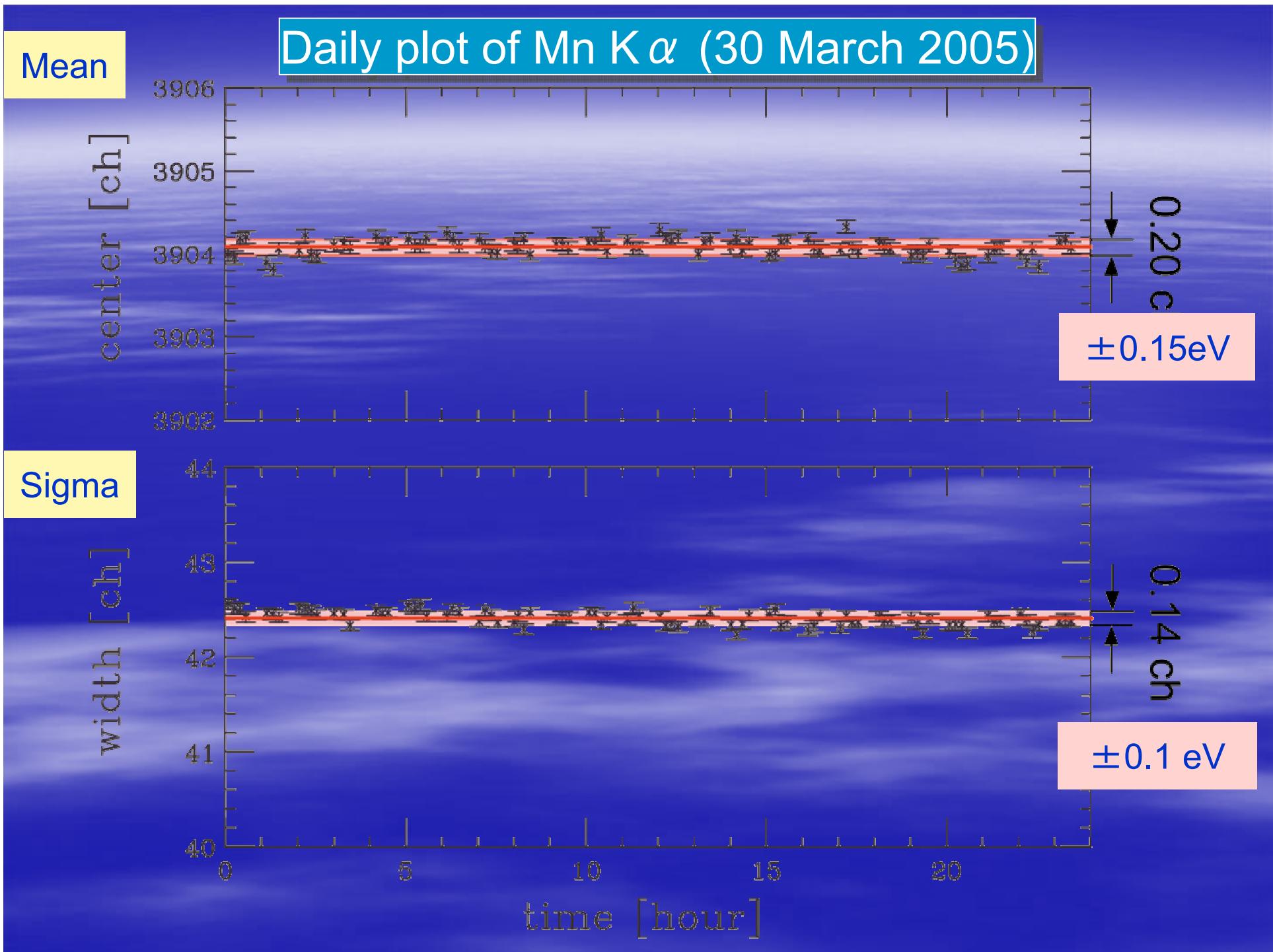
Signal of shaping amp

^{55}Fe source calibration for our SDD



S/N : #8-5.3

Good resolution!



Summary

- K中間子原子のX線測定実験に初めてSDDを用いる → KEK-PS E570
- SDD ... High energy resolution $\sim 160\text{eV}(\text{FWHM})$, Thin (good S/N)
- Long-term stability can be maintained
Daily plot errors : mean $\pm 0.15\text{ eV}$ & sigma $\pm 0.1\text{ eV}$
(but this requires good temperature control)

これからの課題

- high rate pion background(数kHz)
→ビームを用いたテスト実験 (@KEK-PS E549)
- Ti-foilを用いたキャリブレーションピークの中・長期のstabilityのチェック
- ノイズ対策 ... FETからプリアンプまでのケーブル etc...