

アバランシェフォトダイオードとBGO を用いたアクティブシールドの開発

竹本健太、白井裕久、浅野哲也、
吉田広明、深沢泰司、大杉節(広大理)、
片岡淳(東京工業大学)

研究背景

高感度軟ガンマ線検出器 (SGD)

...X線検出器検出器



ブロック

BGOアクティブシールド

阻止能が高い



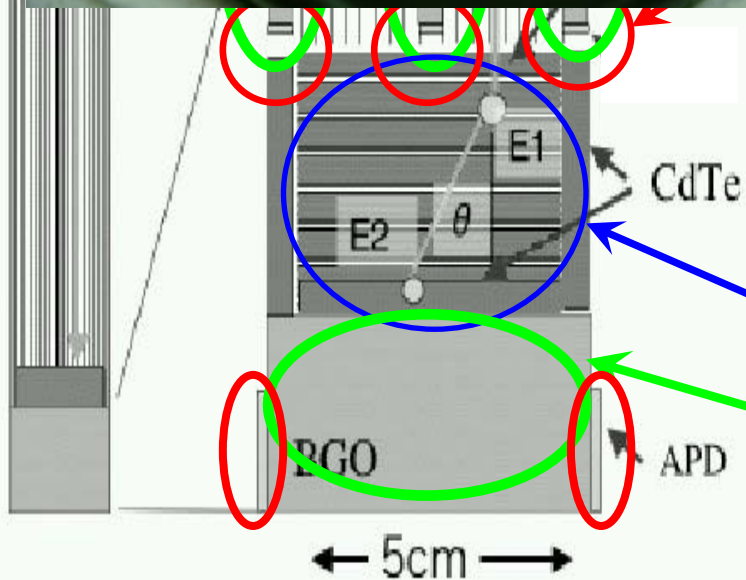
BGOアクティブシールド

向上が可能

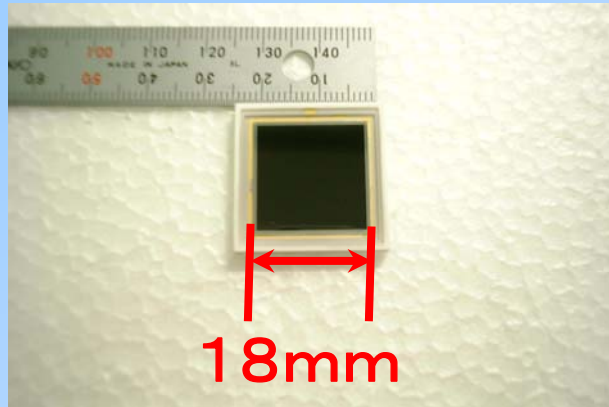
- ・構造がシンプルで体積が小さい

半導体多層コンプトンカメラ

BGOブロック



APDとPMTの特性比較



(Sato et al.2006)

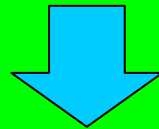
特性

	APD	PMT
内部増幅	数10倍	10^5 倍
量子効率	80%	~20%
磁場の影響	受けにくい	受けやすい
その他	小型で頑丈	

ノイズの影響がPMTよりも大きい

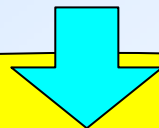
研究目的

BGOとAPDを用いた検出器デザインの決定



エネルギー分解能、エネルギー閾値の評価

BGO・・・発する光量が他のシンチレータに対して少ない
APD・・・ガンマ線観測においてE分解能やE閾値などの
基礎特性が定まっていない



エネルギー分解能とエネルギー閾値の定式化

BGOのポアソン揺らぎ

APDの電気回路系ノイズ

$$\left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 = (\delta_{sc})^2 + 2.355^2 \left[\frac{F}{N_{ph} \cdot Y \cdot Q} \cdot \frac{1}{E} + \left(\delta_{noise} \cdot \frac{1}{E_g} \cdot \frac{1}{N_{ph} \cdot Y \cdot Q \cdot G} \cdot \frac{1}{E} \right)^2 \right]$$

$$E_{th} \approx 3 \cdot \delta_{noise} \cdot \frac{1}{E_g \cdot N_{ph} \cdot Y \cdot Q \cdot G}$$

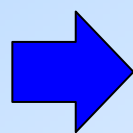
APDの光収集効率Y

電流性ノイズの不定パラメータA

$$\delta_{noise}^2 = \delta_{noise.I}^2 + \delta_{noise.C}^2 = A \times I_n + f(C_{in})$$

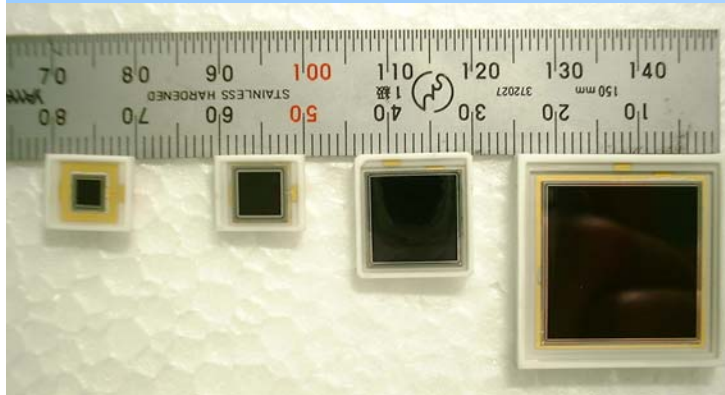
電流性ノイズ

容量性ノイズ



●パラメータY、Aの決定・・・アクティブシールド、ブロックとAPDを組み合わせた検出器の能力を決定

実験に使用したAPD



3mm: アクティブシールド用
18mm: ブロック用

サイズ

左から 3×3 (mm^2)、 5×5 (mm^2)
 10×10 (mm^2)、 18×18 (mm^2)

BGOからの光を読み出す場合

動作電圧...300~350V

増幅率...15~65倍

電流ノイズの不定パラメータAの決定

$$\delta_{noise}^2 = \delta_{noise,I}^2 + \delta_{noise,C}^2$$

$$\delta_{noise,I}^2 = \text{A} \times I_n$$

測定方法:

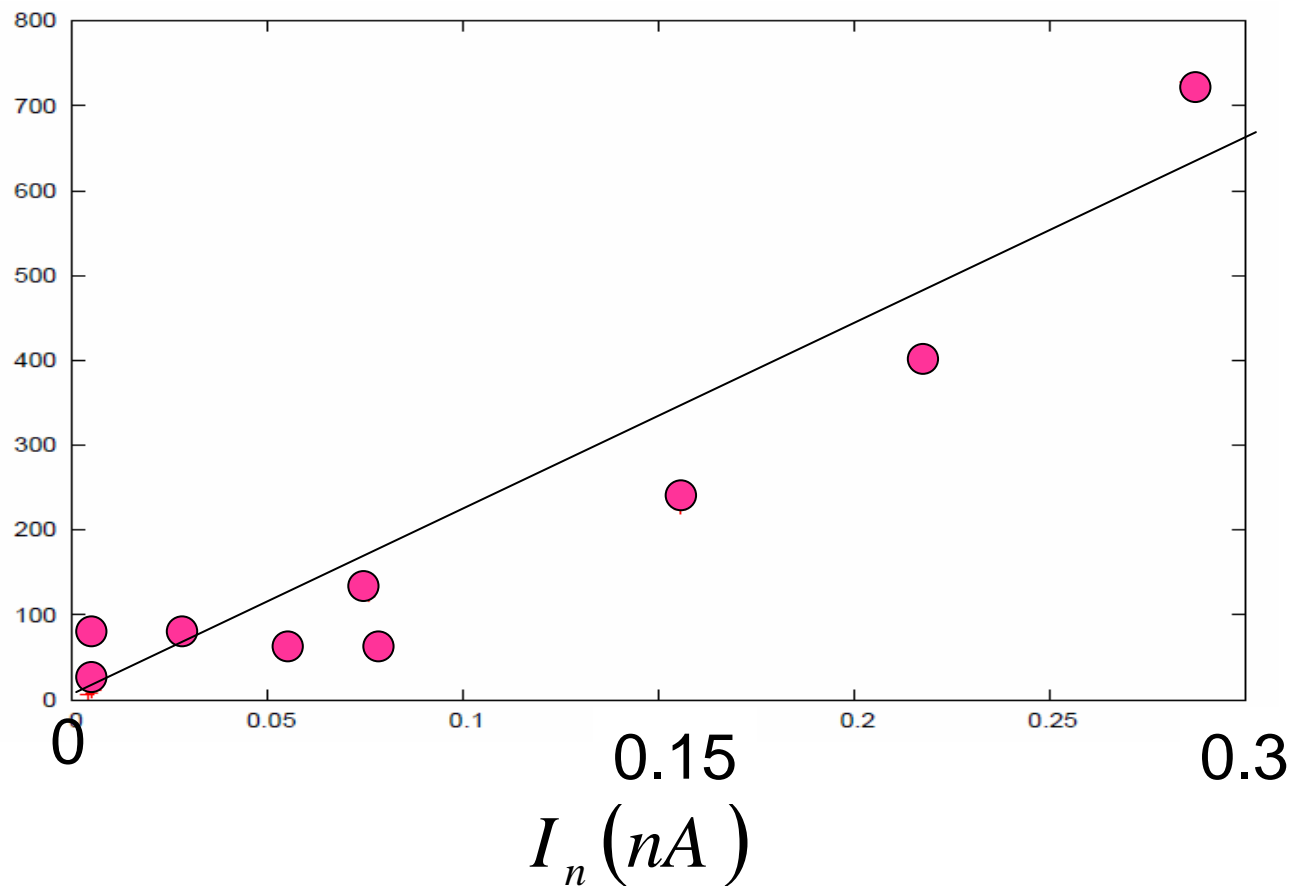
APD、プリアンプ、rms計 $\longrightarrow \delta_{noise}$

コンデンサー、プリアンプ、rms計 $\longrightarrow \delta_{noise,C}$

電流計 $\longrightarrow I_n$

δ_{noise}^2

電流性ノイズの評価



結果:

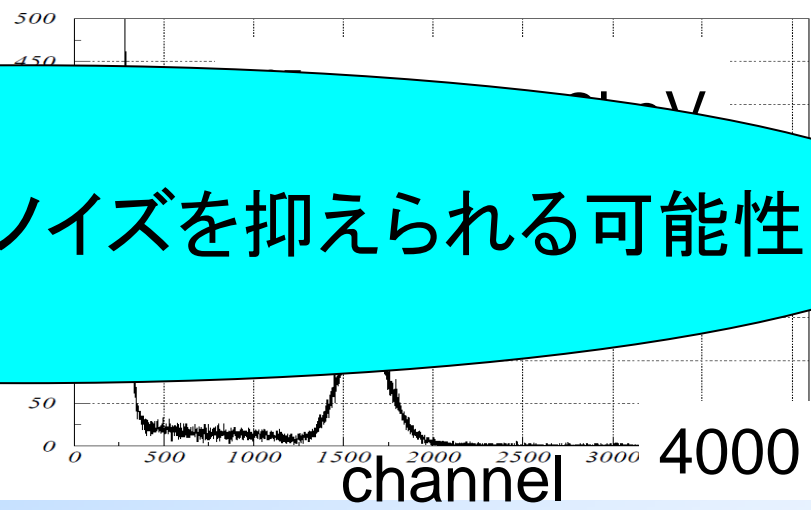
APDの大きさによらず、電流の比例定数A値は一定

ブロック

APD

※

PMT



開発中の大面積APDでノイズを抑えられる可能性

①ブロックについて

PMTとAPDの一次電子数比較

- (5mmAPD) PMT : APD = 1 : 0.47
- (10mmAPD) PMT : APD = 1 : 0.94
- (18mmAPD) PMT : APD = 1 : 2.8

	ΔE (keV)	Eth (keV)
PMT	63.6	41.3
5mm	165	152
10mm	120	151
18mm	140	276

E分解能、E閾値の比較

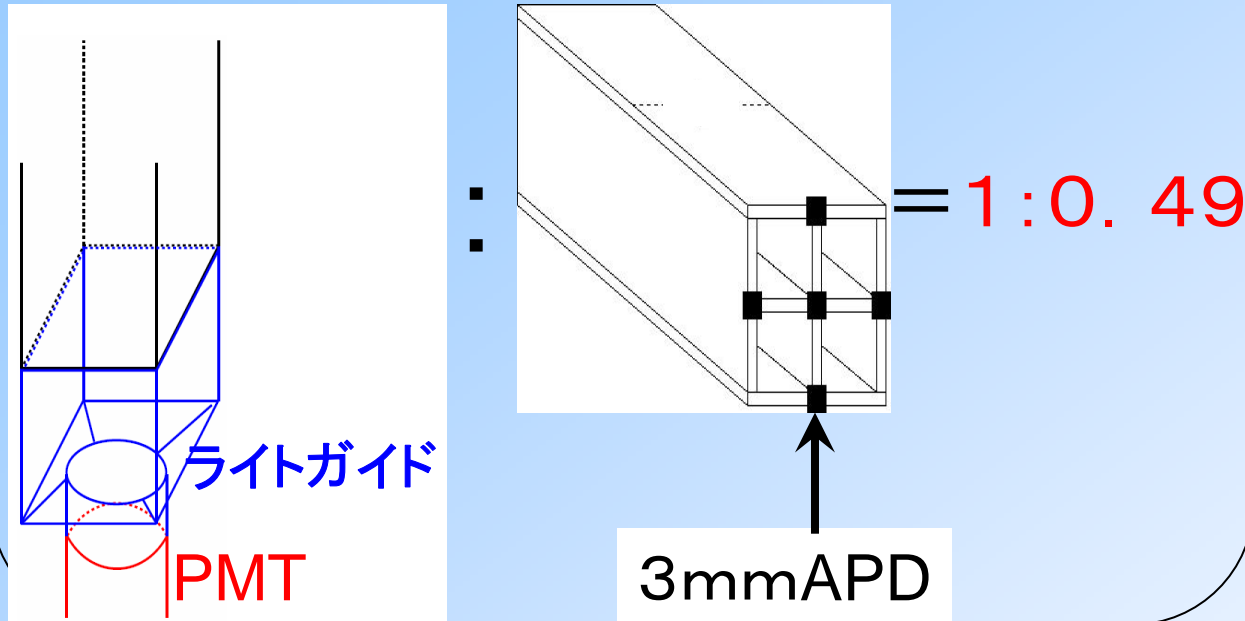
結果：18mmAPDではPMTの一次電子数の約3倍

↓しかし

サイズが大きくなると、PMTと比較してノイズが効いてくる。要改善。

②アクティブシールドについて

PMTとAPDの一次電子数比較



E分解能比較

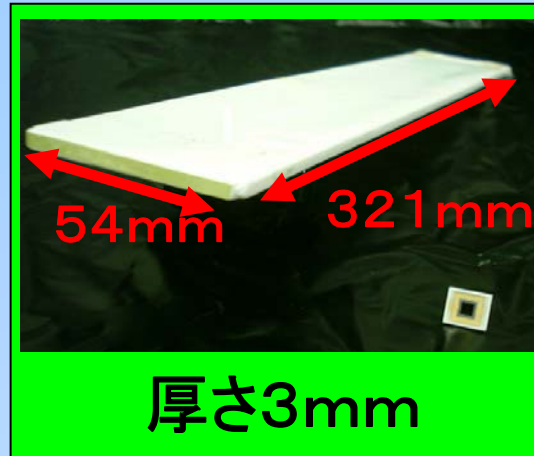
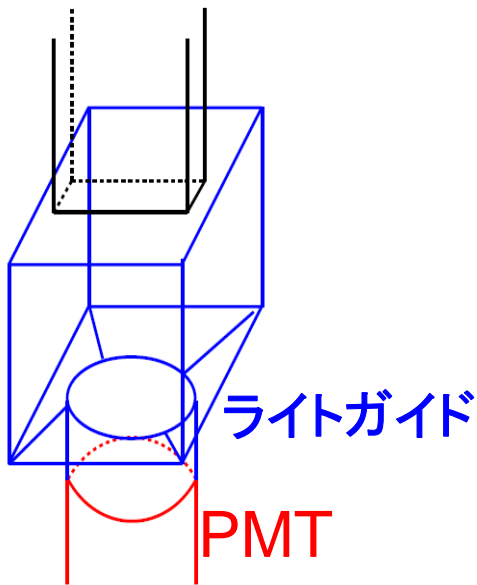
	ΔE (keV)
PMT	170
APD	651

問題: 3mmAPDではPMTの一次電子数の約半分しか獲得できない。その結果APDで測定した場合、E分解能が現状では悪い。

光収集率減少とE分解能増加の原因

- ①BGOプレート1面が大きすぎるため
- ②BGOプレート間の接合部で光吸収が起こるため

③BGOプレートについて



PMTとAPDの一次電子数比較

PMT : APD = 1 : 2.71

E分解能比較

	ΔE (keV)
PMT	124
APD	160

結果:

光量・・・プレートはPMTに比べて約2.7倍の一次電子数を光から変換している。

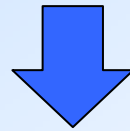
E分解能・・・APD測定の場合、E分解能が向上して測定の精密度が上昇する。



プレートの大きさによる光損失よりも、プレート間の接合部による光損失が顕著である。

まとめ

- ①電流ノイズの不定パラメータAの決定
 - ・定数化を確立した
- ②光収集効率 γ の測定
 - ・ブロック、アクティブシールド共に測定可能



APDの性能の定式化を達成

まとめ2

光収集効率 γ の向上について

●ブロックについて

- ・示した構造でPMT以上の電子数をAPDで変換する事が可能
- ・大面積APDで容量、電流ノイズを抑える事が必要

●アクティブシールドについて

- ・示した構造ではPMTの半分の電子数しかAPDで変換できない
- ⇒プレート間の接合部の光透過を改善する必要がある

リーク電流の低いものを開発中。E分解能、E閾値共に向上する。
⇒ブロック、アクティブシールドにおける使用を予定