

卒業論文概要書

CD

2011年 1月提出

学籍番号 1Y07B042-7

所属学科	応用物理	氏名	斉藤 龍彦	指導員	片岡 淳 印
研究題目	X線衛星 ASTRO-H 搭載 BGO シールド用 APD センサ及びアナログシステムの開発				

1. はじめに

次期 X 線天文衛星 ASTRO-H には、硬 X 線撮像検出器 (HXI) 及び軟ガンマ線検出器 (SGD) が搭載され、5~500keV の領域で、過去最高感度での高エネルギー宇宙観測を実現する。目標とする感度の実現には、検出器全体を巨大な BGO 結晶で囲み、アクティブ・シールドとして使用することで、膨大なバックグラウンドを効率良く除去する技術が鍵となる。とくに、ASTRO-H 衛星では BGO 結晶の読み出しにアバランシェ・フォトダイオード (APD) を初めて採用し、コンパクトかつ低電力なシステムを実現する。集光力と閾値の観点から、10mm 角の大型 APD 素子の使用を予定しているが、この APD は容量が 250pF 以上と大きく、従来使用されてきた光電子増倍管に比べゲインも低いため、ノイズに弱い。そのため使用する検出器として大容量の APD に特化した電荷有感型前置増幅器 (CSA) の開発が求められる。

さらに、ASTRO-H 衛星では宇宙機用データ通信インターフェースの世界統一規格として提唱されている SpaceWire を採用する。アナログ部・デジタル部を含む全 APD 処理システムを SpaceWire ベースで構築するのは初めての試みであり、本研究では SpaceWire を利用した測定環境の立ち上げから始めた。Space Cube (SpC) を on-board コンピュータとして使用し、Flash ADC (FADC) ボードでデジタル化したパルス波高データを取得することで機上システムを再現する。



Fig.1 FADC ボードと SpC (左上)

2. APD センサ及びアナログシステムの開発

CSA の Fig.2 に示すハイブリッド IC (HIC) はノイズ低減化において重要な要素の一つである。この比較検討のため、初段 FET、フィードバックコンデンサ、抵抗の異なる HIC 4 種類を用意し、77 素子について評価を行った。APD センサ (Fig.3) 自体についても衛星搭載品のパッケージ設計や窓材の評価を行った。また、大型の BGO (8x8x4cm³) と APD センサ、CSA を接続し、軌道上で想定される温度 -15°C において現状最もフライトに近いシステムで総合試験を行った。本研究では、アナログ部のフィルタとして一段積分アンプを作製し、FADC ボード及び SpC を使用し測定を行った。

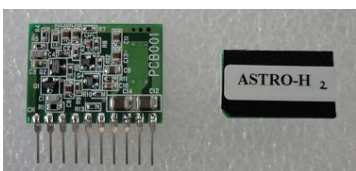


Fig.2 SIP 型 (左) と DIP 型 (右) HIC

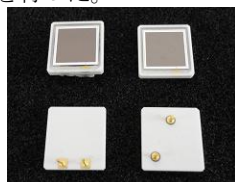


Fig.3 APD センサ

3. 結果

ハイブリッド IC を整形アンプの積分時定数に対してテストパルスの幅 (Si 等価 60keV 相当) で評価すると、最適な積分時定数は約 5 μ s になった (Fig.4)。一方、容量に対するノイズの大きさを比較すると DIP 型の容量勾配の方が小さく、APD センサとケーブルの合成容量 ~400pF に対して良い結果を得た。APD 素子単体の性能としては、-15°C において増幅率 50 倍での暗電流は ≤ 0.4 nA となり、フライトモデルと同等なものではさらに暗電流の小さな素子を作ることに成功した。APD センサと BGO シンチレータを組み合わせた測定では 137Cs の光電ピーク (662keV) とテストパルスを利用して積分時定数を評価した。BGO 等価でテストパルスの幅を比較すると整形アンプの時定数 1 μ s で最も良い結果が得られ、これを基準に後段のデジタル部を含めた時定数の評価を引き続き行っている。また、CSA において使用できる電力も雑音の等価幅と比較することで最も効率の良い値を使用する電力として決定した。FADC ボード及び SpC を用いたデータ取得はフライトを想定したサンプリング周波数 ~1 μ s を使用し行った。これも積分時定数を比較して評価すると 1 μ s で最も良い結果を得た (Fig.5)。さらに APD センサ - フライトモデル等価品を使用するとエネルギー分解能 10.2% 及び BGO 等価でテストパルスの幅 27.8 keV という結果を得た。この値は後段のデジタル・フィルタを通すことでさらに改善されることが期待できる。

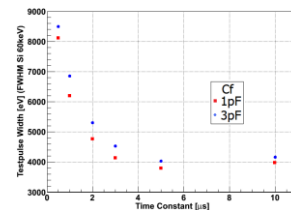


Fig.4 ハイブリッド IC の時定数評価

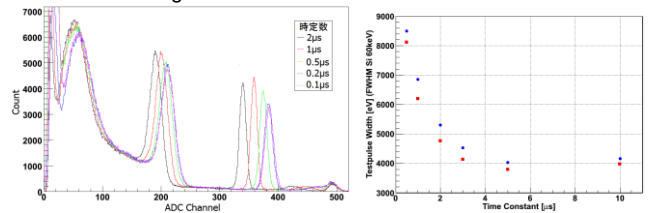


Fig.5 各時定数に対するエネルギースペクトル(左)と解析結果(右)

4. まとめと今後

ASTRO-H 衛星に搭載される検出器 HXI、SGD で使用される BGO シールドの APD とアナログシステムの評価を行った。ノイズ特性の鍵となる CSA のハイブリッド IC を完成させた。また、SpaceWire を利用した測定環境を整え、巨大 BGO を APD で読み出し、エネルギー分解能 10.2% 及び BGO 等価でテストパルスの幅 27.8 keV という結果を得た。

今後はさらに機上に近いシステムとして電磁シールドで保護した APD センサの評価、BGO (フライト等価品) との接着評価、FPGA 内におけるデジタル・フィルタの最適化でさらなる性能向上を目指す。また、APD センサの放射線耐性や温度サイクル試験、等価率試験を行い、フライトで使用される APD センサの全数評価及び受け入れの準備を行う。