

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 11 /2012 (MM/DD/YYYY)

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学	氏名 Name	吉野 将生	指導 教員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用 物理学研究	学籍番号 Student ID number	5310A110-1		
研究題目 Title	ASTRO-H 衛星搭載 APD アナログ処理部フライトモデルの開発				

1. はじめに

2014年打上げ予定の日本の次期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)が搭載される(図1)。HXI/SGDは5-600keVの帯域をカバーし、過去の衛星より2桁以上の高感度観測を実現する。目標とする感度の達成には、宇宙空間の過酷な放射線環境下で、極限の低バックグラウンドを実現する必要がある。そのためHXI/SGDでは、日本のX線天文衛星「すざく」硬X線検出器で実績のあるBGOアクティブシールドを採用する。このシールドは、主検出器を囲う部分にBGOシンチレータを使用することで、自身を放射線検出器として動作させることができる。従って、バックグラウンドとなる放射線がシールドで散乱して主検出器部に到達したとしても、シールド部と主検出器部との反同時計数を利用して効率良くバックグラウンドを除去することが可能である。

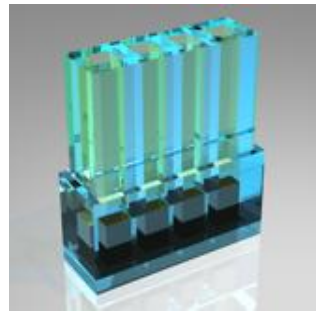


図1. ASTRO-H SGD完成予想図。半透明の部分がBGOシンチレータ。

本研究の目的は、BGOシールドの読み出しに用いるアバランシェフォトダイオード(APD)及び、アナログデータ処理システムのフライトモデル(FM)を開発することである。以下の章で詳細に述べる。

2. FM-APDの環境耐性試験

2.1 BGOと接着時の熱サイクル試験

衛星に搭載する素子は、打ち上げから軌道投入までの間に、複数回の急激な温度変化を経験する。そのため、使用する素子の熱サイクル耐性を評価することは重要である。本研究では、APDの窓材としてエポキシ系樹脂を使用した素子と、シリコン系樹脂を使用した素子の2種類を開発し、BGOと接着した際の熱サイクル耐性を評価した(図2)。その結果、シリコン系樹脂を使用した素子をFMとして採用したほうが、劣化が少ない。

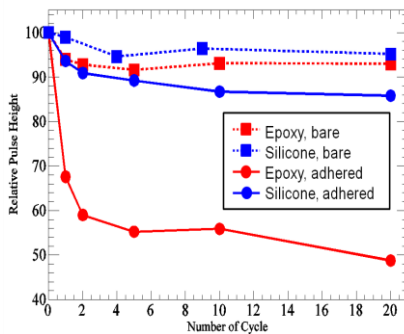


図2. 熱サイクル試験結果。エポキシ系樹脂窓APDに比べてシリコン系樹脂窓APDのほうが、劣化が少ない。

2.2 衛星搭載品選別のためのスクリーニング法の検討

APDは宇宙空間での過酷な放射線環境により、大幅な性能劣化を起こす可能性がある。特に、Siウェハース上にパターン欠陥由来の傷がある場合、ブレークダウン電圧が低下するなど致命的なトラブルを起こしかねない。従って、衛星搭載品となる素子を選別する際に、劣化を起こす素子を排除する方法を検討しなければならない。本研究では、不良品を検知するために必要なCo60ガンマ線の照射量を調べ、ガンマ線照射によるスクリーニングの有効性を検討した。その結果、衛星軌道上10年間相当の照射線量では、素子性能に異常が露見する可能性は極めて低く、ガンマ線照射によるスクリーニング試験は不要であるという結論を得た。

3. アナログ処理回路の開発

3.1 新型電荷積分アンプの開発

BGOアクティブシールドの読み出しに用いるAPDは、10x10mm²と大面積であり、ケーブルを含めると~400pFもの容量を持っている。またゲインも~50と従来用いられてきた光電子増倍管と比べてノイズに弱い。ノイズ低減に特化した専用のアナログ回路を開発することは不可欠である。ノイズ低減の鍵は初段に用いる電荷積分アンプ(CSA)にある。本研究では、新たな回路様式のCSAを開発し、市販のCSAとの比較検討を行った(図3)。その結果、最適な回路様式・回路定数を決定し、APDと組み合わせた際に最適なパフォーマンスを発揮するCSA-ハイブリッドIC(HIC)を完成させた。

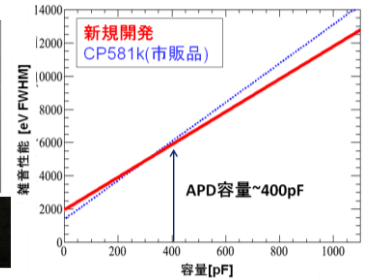
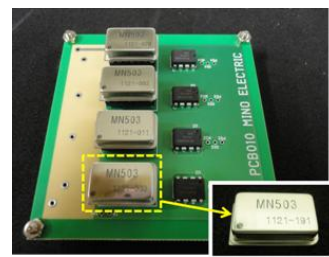


図3. 左図は新規開発したCSA-HICとCSA基板。右図は性能評価結果。開発したCSAはAPDなど中~大容量での雑音性能が優れている。

3.2 重粒子イオン対策回路の開発

BGOシールドに宇宙線重粒子が入射すると、APDで生成される電荷は、CSAのダイナミックレンジを遥かに超える大パルスとなる。このような回路飽和状態からの復帰時間を低減することは、検出器全体の不感時間を短縮するためには重要となる。本試験では、500MeV/uの鉄イオンを照射しアナログ回路の飽和状態からの復帰時間を測定した(図4)。様々な様式の回路で測定した結果、復帰時間約10msを達成できることを実証した。

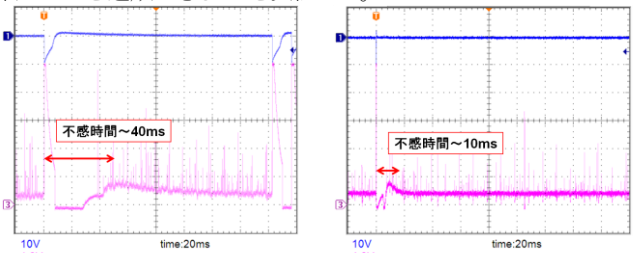


図4. 大パルス入射時のアナログ出力波形。左図は従来型回路(対策なし)、右図は本論文で開発した回路。不感時間が大幅に減少している。

4. 今後の展望

今後はFM-APD130素子、FM-CSA/HIC130素子の受け入れ試験を行なう。また本研究で開発した各要素を統合した総合性能評価試験を行い、回路定数等の最終的なパラメータを決定する。そして、実際にBGOアクティブシールドと主検出器部とを組み合わせ、ほぼフライトと同等のセットアップでバックグラウンドを除去できることを確認し、検出器からの要求性能を満たすことを実証していく。

研究業績

- M. Yoshino et al., Nucl. Instr. and Meth. A 643 (2011) 57-63
- 吉野将生 他、日本物理学会 2010年秋季年会 口頭発表 11pSK-9
- 吉野将生 他、日本天文学会 2011年春季年会 口頭発表 W65a
- 吉野将生 他、日本天文学会 2011年秋季年会 口頭発表 W70a