

Title	Development of ASICs for multi-readout X-ray CCDs
Author(s)	Matsuura, Daisuke
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/23460
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	まつ 松 浦 大 介
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 22708 号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学位論文名	Development of ASICs for multi-readout X-ray CCDs (X線 CCD の並列信号処理用 ASIC の開発)
論文審査委員	(主査) 教授 常深 博 (副査) 教授 池田 博一 教授 芝井 広 教授 土山 明 教授 能町 正治 准教授 林田 清

論文内容の要旨

天体の観測は近年ほぼ全ての波長の電磁波を用いて行われている。その中で我々の行っている X 線天文学は超新星残骸やブラックホール、銀河など様々な天体が放射する X 線を観測して、その高エネルギー現象の解明を目的としている。X 線は地球大気により吸収されてしまい地上まで届かないため、検出器を人工衛星に搭載し観測を行う。我々の研究室では X 線検出器の 1 つである X 線 CCD を開発している。X 線が CCD に入射して光電効果を起こすとエネルギーに比例した数十～数千個の信号電荷を発生する。このとき、信号処理システムの雑音レベルが十分に低い場合には発生した信号電荷の量を正確に測定し、入射した X 線 1 つ 1 つのエネルギーを求めることができる。入射した X 線の位置とエネルギーを高い精度で求められる X 線 CCD は X 線望遠鏡の焦点面検出器として用いられ非常に多くの成果をあげている。しかし、X 線 CCD の時間分解能は数秒程度しかなく、これは他の検出器と比べて大きく劣る。そのために数十ミリ秒の速い時間変動を示す X 線パルサー等の観測は難しい。CCD で数十ミリ秒の時間分解能を達成するには CCD の信号読み出し口の数を増やし、並列信号処理を行う必要がある。しかし、その数は数百にもなり、これら数百チャンネルの読み出し回路を現在の読み出しシステム同様に市販の IC で構成した場合巨大なシステムになってしまう。特に我々は衛星搭載を考えており、スペースや消費電力の面から実現は難しい。以上の背景より、X 線 CCD の信号処理専用集積回路 (ASIC: application specific integrated circuits) の基本回路ブロックを開発し、読み出しシステムの小型化、低消費電力化が本研究の目的である。

今回、CCD からのアナログ信号を増幅、整形して最後デジタル信号に変換する回路ブロックを 4 チャンネル集積した ASIC を開発した。パッケージングしたチップサイズは 1.5cm x 1.5cm、消費電力は 1 チップ当たり約 100mW であった。これらは現在我々の研究室で使用しているシステムの数%の値であり、本研究の目的である読み出し回路の小型化と低消費電力化に成功したと言える。回路の雑音レベルは既存のものと同様でなく、CCD の分光性能はほぼ理論限界を達成することができる。今回試作した ASIC は 4 チャンネル実装したものであったが、今後 CCD の信号読み出し口数を増やし、本研究で開発した回路ブロックを複数実装することで時間分解能は大きく改善できると思われる。そして、X 線 CCD は

今後の天体観測においても必要不可欠な検出器であり、開発した回路ブロックは様々な衛星搭載装置や地上試験装置へ応用できると思われる。その 1 つとして我々が現在開発している 2013 年打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 (ASTRO-H) に搭載する X 線 CCD カメラがある。今回、衛星搭載に向けて開発した X 線 CCD と ASIC を用いた読み出し試験を行い、要求性能を達成することを確認した。その他のプロジェクトとして次期小型 X 線観測衛星 (FFAST) や地上観測衛星で本 ASIC を使用することを現在検討している。

論文審査の結果の要旨

松浦君は、「Development of ASICs for multi-readout X-ray CCDs」というタイトルで論文を執筆し、公聴会で発表した。ここでは、CCD からのアナログ信号を低雑音でデジタル化する専用の IC を作製し、X 線天体観測のための CCD カメラに使用できるようにした。これにより、X 線 CCD を使い、時間分解能の高い観測が可能になり、将来の観測衛星に応用する見通しができた。

天体の観測はほぼ全ての波長の電磁波で行われている。その中で我々の行っている X 線天文学は、超新星残骸やブラックホール、銀河など様々な天体が放射する X 線を観測して、その高エネルギー現象の解明を目的としている。X 線は地球大気により吸収されてしまい地上まで届かないため、X 線 CCD などの検出器を人工衛星に搭載し観測を行う。X 線が CCD に入射した場合、低雑音の信号処理システムで発生した信号電荷の量を正確に測定すれば、入射した X 線光子のエネルギーを求めることができる。X 線 CCD は、その高い位置分解能と合わせて、X 線望遠鏡の焦点面検出器として用いられ、非常に多くの成果をあげている。ところが、X 線 CCD の時間分解能は低雑音の場合には数秒しかなく、これは他の検出器と比べて大きく劣る。そのために数十ミリ秒の速い時間変動を示す X 線パルサー等の観測は難しい。CCD で数十ミリ秒の時間分解能を達成するには、CCD の信号読み出し口の数を増やし、多数の並列信号処理を行う必要がある。これら多数の読み出し回路を個別素子で構成した場合は、巨大なシステムになり、衛星搭載には向かない。

以上の背景より、X 線 CCD の信号処理専用集積回路 (ASIC: application specific integrated circuits) の基本回路ブロックを開発し、読み出しシステムの小型化、低消費電力化を図るのが本研究の目的である。これまで三回の試作を続け、CCD からのアナログ信号を増幅、整形してデジタル信号化する回路ブロックを 4 チャンネル集積した ASIC を開発した。ベアチップは 3mm 四角で、消費電力は約 100mW である。回路の雑音レベルは 30 μ V 以下を達成し、CCD の分光性能はほぼ理論限界を達成することができる。これらは個別素子で作った既存システムと同等の性能である。今後 CCD の信号読み出し口の数を増やし、本研究で開発した回路ブロックを複数実装することで時間分解能は大きく改善できる。この開発により、次期 X 線天文衛星 (ASTRO-H) に搭載する X 線 CCD カメラの見通しが立った他、次期小型 X 線観測衛星 (FFAST) や地上観測衛星さらには地上実験装置でも本 ASIC の応用が期待できる。

以上のように、小型低消費電力の ASIC を実用化し、将来への見通しをつけた。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。