

R006-46

Zoom meeting B : 11/4 AM2 (10:45-12:30)

10:45~11:00

ASICを用いた粒子センサ用高速プリアンプの小型集積化に関する研究

#菊川 素如¹⁾, 浅村 和史²⁾, 栗田 怜³⁾, 小嶋 浩嗣¹⁾, 齋藤 義文⁴⁾

(¹⁾京大・生存圏,⁽²⁾宇宙研,⁽³⁾京都大学 生存研,⁽⁴⁾宇宙研

Study on Development and Integration of the High-Speed Current Detection Circuits in Particle Sensors

#Motoyuki Kikukawa¹⁾, Kazushi Asamura²⁾, Satoshi Kurita³⁾, Hirotsugu Kojima¹⁾, Yoshifumi Saito⁴⁾

(¹⁾RISH, Kyoto Univ., (²⁾ISAS/JAXA, (³⁾RISH, Kyoto Univ., (⁴⁾ISAS

Space is filled with extremely low-density plasma, which constantly generates various plasma phenomena. Especially in the vicinity of the planets in the solar system, the solar wind, which is a mass of supersonic plasma blowing from the sun, has a dominant influence. Since each planet has a magnetosphere of completely different size and intensity depending on its nature, in-situ observation will capture plasma phenomena unique to each planet. Therefore real-time observations by satellites are expected to bring very meaningful results in the study of plasma physics.

Plasma observation consists of plasma particle measurements and electromagnetic field measurements, and we are especially focusing on the integration of plasma particle measurement devices. Plasma particle measurement means to obtain the three-dimensional velocity distribution function of electrons and ions flying in space and to measure the mass of each particle. A top-hat type electrostatic energy analyzer (ESA) is used to measure the velocity vector of individual particles, and a TOF type mass analyzer (MA) is used to measure mass of particles. In practice, these are combined and mounted on a satellite to obtain the velocity vector and mass of the particles simultaneously. When particles enter the instrument, weak current pulses are emitted from the Micro-Channel Plate (MCP) inside the ESA or MA. A high-speed preamplifier is required to transmit this current signal to the logic circuit, but the conventional preamplifiers are composed of discrete components, which make the size of the device very large. The purpose of this research is to improve this high-speed preamplifier to be more suitable for use in satellites by making it more integrated using Application Specific Integrated Circuit (ASIC) technology. Similar to the conventional high-speed preamplifiers, we design the system to have a count rate of $10^6/s$ and to respond to any input at a constant time.

The small, high-speed preamplifier we have developed consists of two blocks. The first block is a current-voltage amplification circuit and the second block is a comparator. The current-voltage amplification circuit converts the weak current pulse coming from the MCP into a voltage signal and amplifies the current signal so that it can be input to the comparator in the next block. In a comparator, we arbitrarily determine the threshold voltage and make a distinction between the noise below the threshold and the signal above the threshold. The small preamplifier we developed in this study has a single channel size of $210 \text{ um} \times 570 \text{ um}$. When installed in a satellite, at least 15 channels will be integrated at the same time, because the same number of small preamplifiers as the number of ESA channels must be connected. Considering the size of each channel, 15 channels can be contained in a single chip of 5mm square, which is much smaller and light-weight than the conventional preamplifiers that are cylindrical shape with 170 mm diameter and 70 mm height.

In this presentation, we introduce the details of the small preamplifier we have developed, including design simulations and measurement results of a prototype chip, and discuss future development.

宇宙空間には非常に密度の低いプラズマが満ちており、それらが絶えず様々なプラズマ現象を生起している。特に太陽系惑星の近傍では、太陽から吹き付ける超音速プラズマの塊である、いわゆる太陽風による影響が支配的となる。各々の惑星はその性質ごとに全く異なる大きさや強度の磁気圏を有するため、そこでの観測はそれぞれに固有なプラズマ現象を捕捉する。すなわち、宇宙空間は一種の巨大なプラズマ実験装置であるともいえ、人工衛星によるリアルタイムな観測はプラズマ物理学を研究する上で非常に有意義な成果をもたらすものと考えられている。

プラズマ観測はプラズマ粒子計測と電磁場計測からなるが、我々は特にプラズマ粒子計測機器の小型集積化に取り組んでいる。プラズマ粒子計測とは、宇宙空間を飛翔する電子やイオンの3次元速度分布関数を取得し、それぞれの質量を測定することである。粒子一つ一つの速度ベクトルを計測する装置としてTOP-HAT型静電エネルギー分析器(以下ESA:Electrostatic Analyzerとする)があり、質量計測の装置としてはTOF型質量分析器(以下MA:Mass Analyzerとする)がある。実際には、これらを組み合わせて人工衛星に搭載することで粒子の速度ベクトルと質量を同時に取得する。粒子が機器内に入射すると、ESAやMAに内蔵されたMCP:Micro-Channel Plateから微弱な電流パルスが放出される。この電流信号をロジック回路に伝送するには高速プリアンプが必要となるが、既存のものはディスクリート部品によって構成されているため、装置のサイズが非常に大きくなってしまふ。本研究は、この高速プリアンプを特定用途向け集積回路(ASIC: Application Specific Integrated Circuit)技術を用いて小型集積化し、より人工衛星への搭載に適した形へと改良することが目的である。既存の高速プリアンプと同様、 10^6 個/sのカウントレートを有し、あらゆる入力レベルに対して一定の時刻で応答が可能であるように設計を行う。

我々が新たに開発した小型高速プリアンプは、初段の電流電圧変換増幅回路と次段のコンパレータからなる。電流電圧変換増幅回路は、MCPから入力される微弱な電流パルスを電圧信号に変換し、次段のコンパレータに入力可能

なレベルまで増幅する。コンパレータは任意に閾値となる電圧を決定し、閾値以下の雑音とそれ以上の信号とを峻別する役割を担う。

本研究において開発した小型プリアンプは、1チャンネルの大きさが $210\text{ }\mu\text{m} \times 570\text{ }\mu\text{m}$ である。実際の衛星に搭載される際は ESA のチャンネル数と同数の小型プリアンプを接続する必要があるため、少なくとも 15 チャンネルが同時に組み込まれることになる。1チャンネルの大きさを考慮すると 15チャンネルを 5mm 角のワンチップに収納することも可能であり、直径 170mm、高さ 70mm の円筒形をしている既存のプリアンプより遥かに小型・軽量である。

本発表では、我々が開発した小型プリアンプの詳細を設計シミュレーションや試作チップの測定結果を交えて紹介し、今後の開発展望について述べる。