

粒子センサ用高速粒子検出回路の集積化に関する研究

菊川 素如 [1]; 小嶋 浩嗣 [1]; 斎藤 義文 [2]; 浅村 和史 [3]
[1] 京大・生存圏; [2] 宇宙研; [3] 宇宙研

Study on integration of high speed particle detection circuit for particle sensor

Motoyuki Kikukawa[1]; Hirotsugu Kojima[1]; Yoshifumi Saito[2]; Kazushi Asamura[3]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] ISAS; [3] ISAS/JAXA

Plasma filling the space is very rarefied. Ions and electrons in space plasma do not exchange their kinetic energies through their collisions but through plasma waves. This is so-called "wave-particle interaction," and it is indispensable for understanding space electromagnetic environments. A conventional observation method of wave-particle interaction is to transmit plasma wave spectrum and particle velocity distribution function from a satellite to the ground. This method has problems that the time resolution is larger than several tens of milliseconds and phase difference information of the plasma wave vector and the particle velocity vector is lost. Therefore, it is impossible to calculate the energy conversion amount quantitatively. WPIA (Wave-Particle Interaction Analyzer) is a new sophisticated method. It calculates inner product of plasma wave vectors observed by a plasma wave receiver and particle velocity vectors of each particle observed by a plasma instrument on a satellite and determines the energy conversion amount directly. The high relative time precision for detecting vectors of plasma waves and particles is essential in the WPIA. This requires a synchronous performance of plasma wave receivers and particle instruments. We introduce a system that feeds particle detection pulses of particle detectors into plasma wave receivers to achieve the synchronization. The chip we developed consists of two stages. The first stage is the current-voltage conversion circuit. It picks up each current pulse and convert into voltage signals with enough amplitudes to drive the second stage. The second stage contains comparator and peak-hold circuits. The comparator ensures picking up real signals by setting a threshold level and the peak-hold circuit has a role to keep the level to connect to a next stage. In this study, we designed the circuits so that it is within several nanoseconds from the arrival of a particle to the convergence of the detection signal. Conventional circuits are made of discrete electronic parts. That requires large resources in their sizes and weights. However, the chip we developed is small and light-weight. In this study, we integrate detection circuits using ASIC (Application Specific Integrated Circuit) technology and we aim to accommodate at least 16 channels of circuits within 5 mm square chip.

In this presentation, we show the details of the chip designed for the particle detection circuits. We also examine the verification test results in the operation of those circuits. Furthermore, we describe the development plan for the future WPIA system integration.

宇宙空間は非常に希薄なプラズマで満たされているため、エネルギーの授受はプラズマ波動を介して行われる。これを波動粒子相互作用といい、そのメカニズムの解明は宇宙電磁環境を理解する上で欠かせないものである。従来の波動粒子相互作用の研究手法は、プラズマ波動強度と粒子の速度分布関数を人工衛星から地上に送信し、関係性を調べるといったものであった。この手法は粒子観測の時間分解能が数十 msec 以上と低い上、波動粒子相互作用を考える際に重要なプラズマ波動ベクトルと粒子速度ベクトルの位相差情報を喪失している点に問題があり、エネルギー変換量を定量的に求めることが不可能であった。そこで、波動と粒子速度ベクトルのデータを人工衛星上で処理し、エネルギー変換量を直接求める波動粒子相互作用解析装置 (WPIA: Wave-Particle Interaction Analyzer) が提案された。WPIA は、プラズマ波動受信器によって観測された波動ベクトルの瞬時値と、プラズマ粒子観測器によって観測された各粒子の速度ベクトルからエネルギーの交換量を計算する。したがって、プラズマ波動受信器と粒子観測器を同期させ、波動ベクトルと速度ベクトルの位相差情報を取得することが必要である。本発表では、粒子観測器の粒子検出パルスでプラズマ波動観測器へ高速に伝達し、両者の同期を取るために開発した粒子センサ用高速粒子検出回路システムを紹介する。この回路は、電流パルスを電圧信号に変換して増幅する粒子検出用高速アンプと、信号検出を行うコンパレータおよびピークホールド回路の2段から構成されている。波動ベクトルと同時刻のデータを得るためには、粒子の到来から数 ns 後に検出信号が立ち上がる高速応答性が求められる。従来の粒子検出回路はディスクリートで実現されており、回路規模が大きく小型衛星への搭載が困難であった。本研究では特定用途向け集積回路 (ASIC: Application Specific Integrated Circuit) 技術を用いた集積化を行い、高速応答性を維持しつつ 5 mm 四方のワンチップに少なくとも 16 チャンネルの粒子検出回路が収まるよう小型化することに成功した。

本発表では、この粒子検出回路システムの詳細と、動作実験の結果を紹介する。また、WPIA システム全体の小型化に向けた今後の開発計画について述べる。