

位置検出器型の半導体検出器を用いた高エネルギー電子分析器の高感度化

#三谷 烈史¹⁾⁽¹⁾JAXA

Concept design of high-sensitive high-energy electron analyzer using position sensitive semiconductor detectors

#Takefumi Mitani¹⁾⁽¹⁾Japan Aerospace Exploration Agency

To understand the underlying mechanisms of high-energy electron generation and loss in the Earth and planetary magnetosphere, we are developing a compact and highly sensitive high-energy electron analyzer. The ERG (Arase) satellite, launched in 2016, is equipped with the high-energy electron analyzer (HEP), that uses silicon strip detectors to detect electrons that have passed through a pinhole. These detectors consist of segmented electrodes that divide the silicon detector into multiple channels. Each channel outputs a signal when hit by an electron, and these signals are processed using a custom-designed IC (ASIC) to measure the position and energy of the incident electrons.

However, this design has a significant constraint: the processing speed of the measurement system. The ASICs used in ERG/HEP process all channels simultaneously after receiving a signal from one electrode, which takes around 100 microseconds per energy measurement, making it difficult to measure high counting rates. Due to this constraint, we had no choice but to design a smaller opening and detector in order to reduce the number of incoming particles.

To fundamentally improve this design, our research aims to develop an ASIC that can read out multiple channels independently in parallel. The envisioned ASIC will have a lower energy resolution compared to the ASIC in ERG/HEP but still provide sufficient performance for electron measurements. Moreover, each channel will be able to process signals independently, which is a significant departure from previous designs. For example, with one silicon semiconductor detector, we would need to process signals at 8 MHz without any parallel processing. However, by dividing the electrodes into 64 segments and processing them in parallel, we can reduce the processing rate to around 125 kHz per channel.

This presentation will outline the concept design of an high-energy electron analyzer using our envisioned ASIC and present future development plans.

地球・惑星磁気圏での高エネルギー電子の生成・消失メカニズムに通底する素過程の理解を進めるために、小型・高感度の高エネルギー電子分析器の開発を始めている。2016年12月に打ち上げられたジオスペース探査衛星 ERG（「あらせ」）に搭載した高エネルギー電子分析器においては、電子の入射方向とエネルギーを検出するために、ピンホールを通過した電子の検出部として半導体検出器の電極を分割した「シリコンストリップ検出器」を用い、それぞれの電極からの信号を読み出すために特定用途向け IC（ASIC）を利用することにより、入射電子が半導体検出器と反応した位置とそこで落とすエネルギーを計測した。この際に、設計の大きな制約となったのが計測系の処理速度である。これに用いた ASIC は、半導体検出器の電極のどれか 1 つに信号が入力されると全てのチャンネルを同時に処理し、1 回のエネルギー計測に 100 マイクロ秒程度を要し、高計数率には向かなかった。この計測系の制約のために、開口部のサイズや検出器サイズを小さくし、入射してくる粒子の数を減らす設計とせざるを得ず、結果として、分析器の感度指標である幾何学的因子（G-factor）を小さくせざるを得なかった。

本研究ではこれを抜本的に改善するために、複数チャンネルを独立・並列に読み出すことを実現する ASIC を利用することとした。現在想定している ASIC では、ERG に用いた ASIC の方式に比べ、エネルギー分解能は落ちるものの電子計測には十分な性能を実現しうる。さらに、各チャンネルを独立に読み出せる点がこれまでと決定的に違う。例えば、1 枚のシリコン半導体検出器であれば 8 MHz で信号を処理しなくてはならないところ、電極を 64 分割しそれぞれを独立・並列に処理すれば、処理すべき計数率も 1/64 の 125 kHz 程度まで下げることができる。

本発表では想定される ASIC を用いた電子分析器の概念設計を示し、今後の開発計画を示す。