

R006-19

A 会場 : 11/6 AM2 (10:45-12:30)

11:30~11:45

MCP・APDを用いた宇宙プラズマ粒子検出器の基礎特性実験

#片岡 ひな子¹⁾, 田中 誠志郎²⁾, 平原 聖文³⁾, 笠原 慧⁴⁾

(¹名古屋大学 ISEE, (²名古屋大学 ISEE, (³名大・宇地研, (⁴東京大学

Experiments on fundamental characteristics of space plasma particle detectors using MCP and APD

#Hinako Kataoka¹⁾, Seishiro Tanaka²⁾, Masafumi Hirahara³⁾, Satoshi Kasahara⁴⁾

(¹Nagoya University ISEE, (²Nagoya University ISEE, (³ISEE, Nagoya Univ., (⁴The University of Tokyo,

Avalanche photodiodes (APDs) are photodiodes with internal amplification gain due to an increase in the current inside the APD when a voltage of approximately 150 to 180 V is applied, and can detect electrons of several keV (≥ 5 keV) by enhancing the signal pulse heights. For the ERG mission, an electron sensor (MEP-e) composed of a cusp-type electrostatic analyzer (ESA) and APDs for the measurements of medium-energy (~7-87 keV) electrons in space. Since the signal pulse height of APD is almost proportional to the energy of incident particles in the medium energy range, the energy analysis of incident particles can be performed independently of the electrostatic energy analyzer. This also has the advantage of helping to reduce background in observations in harsh radiation environments.

Microchannel plates (MCPs) are charge amplifiers that multiply secondary electrons produced by incident particles and have high detection efficiency for low-energy particles. As the incident energy of electrons increases, detection efficiency decreases. The gain of the MCP depends on the number of MCP layers and the applied voltage, and a high voltage (2 to 3 kV or higher) is required to detect particles. Since MCP cannot analyze the energy of incident particles or identify particles, it is often used for particle detection in combination with an electrostatic energy analyzer or TOF mass spectrometer. Therefore, we are conducting fundamental experiments to develop a hybrid detector by combining MCPs and APDs. The hybrid detector is expected to reduce the number of MCP layers and the required voltage by using a low-noise charge amplifier and an APD. We are also carrying out experiments to obtain the basic characteristics of both MCP and APD.

We have conducted experiments using a hybrid detector consisting of a 1-layer MCP and an APD without and with 2 μ m aluminum-coating on the incident surface, irradiated with electron beams of 20 to 100 keV. The results are as follows:

A. 1-layer MCP and non-coated APD

1. The signal of the electron cloud amplified by the MCP and irradiated to the incident surface of the APD was confirmed.
2. The amplification of the electron cloud from the MCP inside the APD produces a signal pulse height about 3 to 10 times higher than that of A.1, and the pulse height is roughly proportional to the energy of the electron cloud.
3. The signal of electrons penetrating the MCP and entering the APD was confirmed at 20 to 100 keV.

B. 1-layer MCP and coated APD

1. The electron cloud from the MCP was identified.
2. When the electron cloud from the MCP was applied so that secondary electrons were emitted from the incident surface of the APD, the signal was almost as large as the signal from the electron cloud in B.1.
3. In the case of electrons penetrating the MCP and incident on the APD, the signal is roughly half that of A.3 because the aluminum-coated layer reduces the energy, and the minimum detected energy increases to about 30 keV.

The detection of electrons from 10 eV to 100 keV was also performed using a 3-layer MCP and a coated APD. From these experiments, it was found that the detection efficiency of the 3-layer MCP is highest between 600 eV and 1 keV, and that the pulse height signal is approximately twice as high as those at tens of eV and tens of keV.

We are currently planning to perform experiments to confirm how the results of pulse height analysis change depending on the ion species to a non-coated APD and a hybrid detector consisting of a 1-layer MCP and an APD.

Avalanche photodiode (APD) は約 150~180 V の電圧をかけることで APD 内部の電流が増加することによって増幅利得を持つフォトダイオードであり、信号波形を高めることで数 keV (5 keV 以上) の電子を検出することができる。そのため、ジオスペース探査衛星「あらせ」に搭載された中エネルギー分析器 MEP-e に使用されている。APD は中エネルギー範囲において、信号の波高が入射粒子のエネルギーにほぼ比例するため、静電型エネルギー分析器とは独立して入射粒子のエネルギー分析を行うことができる。また、このことは厳しい放射線環境下の観測でのバックグラウンド低減に役立つという利点がある。

Microchannel plate (MCP) は入射した粒子の作る 2 次電子を増幅する電子増倍素子であり、低エネルギー粒子に高い検出効率を持つ。エネルギーが増加すると検出効率は低下する。また、MCP の利得は MCP の枚数と印加電圧に依存し、粒子の検出には高電圧 (2~3 kV 以上) が必要となる。MCP のみでは入射した粒子のエネルギー分析や粒子の識別はできないため、静電型エネルギー分析器や TOF 型質量分析器などと合わせて粒子の検出に使用されることが多い。そこで、我々は MCP と APD を組み合わせハイブリッド型検出器とすることで開発に向けた基礎実験を行っている。ハイブリッド型検出器では、低雑音チャージアンプと APD を用いることで MCP の枚数を減らし、必要な電圧を低く抑えることが期待される。また、MCP と APD それぞれの基礎特性を得るための実験も行っている。

我々は1枚式MCPと入射面に2 μ mのアルミ蒸着のないAPDとあるAPDを組み合わせてハイブリッド型検出器とし、20~100 keVの電子ビームを照射する実験を行った。その結果、

A. 1枚式MCP + アルミ蒸着なし APD

1. MCPによって増幅された電子雲がAPDの入射面に照射された信号を確認した。
2. MCPからの電子雲がAPD内部で増幅されることにより、1.1に比べ約3~10倍の信号波高が得られ、その波高は電子雲のエネルギーとほぼ比例関係にある。
3. MCPを突き抜けてAPDに入射する電子の信号を20~100 keVで確認した。

B. 1枚式MCP + アルミ蒸着あり APD

1. MCPからの電子雲を確認した。
2. MCPからの電子雲を当て、APDの入射面から2次電子が放出されるようにした場合、2.1の電子雲の信号とほぼ同程度の大きさの信号が得られた。
3. MCPを突き抜けてAPDに入射した電子の場合、アルミ蒸着層があることでエネルギーを減らすため、1.3と比べて信号がおおよそ半分程度になり、最低検出エネルギーも約30 keV程度にまで上昇する。

また、3枚式MCPとアルミ蒸着のあるAPDを用いて10 eVから100 keVの電子の検出を行った。この実験から、3枚式MCPは600 eV~1 keVで最も検出効率が高くなり、効率の低くなる数十 eVや数十 keVの場合のおよそ2倍の波高信号が得られることが分かった。

現在、アルミ蒸着のないAPDおよび1枚式MCPとAPDのハイブリッド型検出器にイオンを照射することで、イオンの種別によって波高分析の結果がどう変化するかを確認する実験を予定している。