

固体検出器による宇宙空間プラズマ計測のための中エネルギー電子計測法の開発

Solid State Detection of Medium-energy Electrons for Space Plasma Missions

小笠原 桂一 [1]; 浅村 和史 [2]; 高島 健 [2]; 向井 利典 [2]; 斎藤 義文 [3]

Keiichi Ogasawara[1]; Kazushi Asamura[2]; Takeshi Takashima[2]; Toshifumi Mukai[2]; Yoshifumi Saito[3]

[1] ISAS/ JAXA; [2] 宇宙研; [3] 宇宙研

[1] ISAS/ JAXA; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS

地球磁気圏はダイナミックな現象に富んでいるが、その中でも高温のプラズマシートの成因と粒子加速・加熱過程の解明は宇宙空間物理学における重要な問題である。1keV から 100keV というエネルギー帯は、プラズマシート電子において熱的なスペクトル構造から非熱的なものへと移行を示す特徴的な領域であり、このエネルギー帯での電子計測は磁気圏におけるプラズマ加速・加熱メカニズムの本質に迫る上で直接的な手がかりとなりうる。その重要性にもかかわらず、1keV から 100keV の電子は今日までは検出素子の技術上の問題から観測のギャップ領域となっており、正確に測定することが難しかった。従ってこの領域の電子をターゲットにした観測を行うことは新しい観測領域の開拓であり、またこれまで行われてきた観測の信頼性を問う点においても非常に有意義である。本研究の目的は、APD (Avalanche Photodiode) という素子をこのエネルギー帯の電子計測に応用し、その穴を埋めようとするものである。

APD は光通信等に用いられる素子で、電子なだれ現象(アバランシェ効果)の利得がある。その内部利得により、荷電粒子入射時の電子正孔対生成数に対して数十倍の内部信号を生み出すことが可能であり、それによって高エネルギー分解能が実現される。

本研究では浜松ホトニクス社製 APD(Type Z7966-20)を用いて、5keV から 20keV の電子ビーム計測を行ったが、電子の出力信号の強度分布は入射エネルギーに対して直線性をもって計測され、APD によって電子はエネルギー弁別が可能であることがわかった。数 keV という低エネルギーの電子に対し、出力波形のピーク形成限界を決めているのは不感層の厚みであり、素子の分解能には内部の生成電荷による空間電荷効果によって弱められる素子の内部電場の構造が影響を及ぼしている可能性が示唆された。これらを定量的に示すためにモンテカルロ法による、電子と物質の相互作用のシミュレーションコードを開発し、不感層の信号に及ぼす効果を再現した。なお不感層とは、APD 素子表面に存在するごく薄い電場の弱い層で、信号電荷を取り出すことができない領域である。また 30keV を超える電子に対しては出力強度分布に特徴的なダブルピーク構造が見られた。これは 10 マイクロメートル程度のところにある信号の増倍領域を、入射電子が貫通してしまうことによって起きていると考えられる。この効果も先のシミュレーションコードによって再現した。さらに、浜松ホトニクス社製の不感層が薄く、有感層が厚い APD 素子 (Type spl 3989) を用いて 40keV までの電子計測を行ったところ、2 - 20keV に対しては 1keV 以下の分解能、40keV でも 5keV の分解能で検出が可能であることが分かり、また入射電子エネルギーに対する出力信号強度の直線性もよいことが分かった。