

論文審査の結果の要旨

氏名 小笠原桂一

本論文には、これまで宇宙空間において適当な計測技術の存在しなかった中エネルギー（数 keV から数 10keV）レンジの電子について、アバランシェ・フォトダイオード（APD）を応用することで精度よく計測する事が可能である事を示す実験結果とその解釈、及び、世界で初めて観測ロケットによる極域オーロラ帯の中エネルギー電子観測を行った結果が述べられている。

第一章はイントロダクションであり、地球磁気圏プラズマにおける、数 keV-数十 keV の電子（中エネルギー電子）の重要性と、その計測技術の問題点が述べられている。中エネルギー電子は、磁気圏において分布関数が熱的なマクスウェル型分布関数から非熱的関数に移行する特徴的な領域にあり、電子加速・加熱現象を理解する上で非常に重要である。しかし同時に電子検出技術上の境界領域となっており、正確な計測は困難であった。こうした現状に際し、内部利得により高 S/N が期待されるアバランシェ・フォトダイオード（APD）という半導体素子の中エネルギー電子に応用した。

第二章には、APD による電子の計測試験結果が述べられている。X 線により、温度依存性等の基礎的な特性を議論した後、2-40 keV の電子計測試験を行った。用いた APD は、浜松ホトニクス社製 Z7966 素子、及び sp13989 素子である。Z7966 素子と sp13989 素子は空乏層の厚みが異なっており、Z7966 の場合は $10\mu\text{m}$ なのに対し、sp13989 の場合は $30\mu\text{m}$ ある。結果は出力波高にピークが計測され、どちらの場合も分解能は 12keV で 1keV 以下であった。しかし 25keV 以上では、sp13989 素子の場合線形性と分解能が維持されるのに対して、Z7966 素子では波高分布が大きく変形される効果も明らかになった。また低エネルギー側については、Z7966 素子は 3keV 程度が限界で波高分布にピークは見られなかったのに対し、sp13989 素子は 2keV の電子に対して検出可能でエネルギー分解能も 1keV であった。Z7966 のこうした結果はモンテカルロ法を用いた数値シミュレーションによって検証されており、検出限界を決めているのは低エネルギー側で不感層、高エネルギー側で空乏層の厚みであることが示された。

本論文の扱う、中エネルギー電子計測への APD の応用は、世界的にも新しい試みである。審査員一同、本論文には、中エネルギー電子の新しい計測技術を

切り拓いたという意義があり本論文で得られた結果は独創的かつ斬新であると結論した。

第三章には、APD 素子を検出部に用いた低エネルギー電子計測器を製作し、JAXA の観測ロケット S-310-35 号機に搭載した実証実験と、その結果が述べられている。この電子計測器では電子のエネルギーが光除去のための磁場と個々の APD で二重に分解され、全部で 7ch のエネルギーレンジ (3.5-65keV) で計測できる。S-310-35 号機はオーロラ帯の直下にあるノルウェーのアンドーヤロケット試験場より打ち上げられた。観測結果は地上のオーロラ撮像カメラとよく一致していた。また電子輸送方程式を使って降込みスペクトルから電離層大気の影響を取り除き、評価した結果、高エネルギー側にマクスウェル分布関数より卓越した非熱的フラックスが見つかった。これらは冪分布、あるいは κ 分布でフィットされた。特にオーロラアークの外で見つかった κ 分布の κ (冪に相当) はプラズマシートでの過去の観測例と一致していた。これは非熱的オーロラ電子がプラズマシート起源であること的有力な証拠である。

このロケット実験は宇宙空間における電子計測への APD 素子の応用例として世界で初めてのものであり、審査員一同、本論文の結果が博士論文としてふさわしい内容であると結論した。

第四章は結論であり、論文の成果がまとめられている。APD を用いることで中エネルギー電子の新規計測技術が切り拓かれた。更に、電子の計測試験による較正により APD が中エネルギー電子の有効な検出素子となりうることが示され、実証試験としてロケットによるオーロラ電子の計測へ応用することでデータの取得に成功した。

以上を総合して、審査員全員一致で本論文が博士論文として十分なレベルに達していると結論した。

なお本論文第 2 章の一部及び 3 章の主要部分は浅村 和史・高島 健・齋藤 義文・向井 利典との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び結果の解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。