

機関番号：82645

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19360386

研究課題名（和文）地球高層中性大気のグローバル・リモートセンシング技術に関する研究

研究課題名（英文）Remote Sensing of Neutral Particles in the Upper Atmosphere using Artificial Ion Beam

研究代表者

國中 均（KUNINAKA HITOSHI）

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・教授

研究者番号：60234465

研究成果の概要（和文）：

電気推進から噴射されたイオンは地磁場に拘束され運動した後、高層中性大気と電荷交換衝突し、電荷を失った高速中性粒子となって地球近傍から脱出する。これを観測機で捕らえ、発生場所・時刻・エネルギー損失を特定すれば広範囲の高層中性大気情報を瞬時に得ることができる。高速中性粒子を計測するシステム実現に向けて各所方式を比較検討し、アバランシェ・フォトダイオードにおいて数 keV という著しく低いエネルギーの中性重粒子(Xe,Kr,Ar)を検出することに成功した。

研究成果の概要（英文）：

High energy ions generated by electric propulsions fly in space gyrating along the geomagnetic lines and collide with atmospheric neutral particles and then are converted to energetic neutral atoms. Observing satellites detect the energetic neutral atoms and enable to analyze information on neutral gas density and distribution. We have found avalanche photo diode sensible to keV heavy particles like Xe, Kr and Ar.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	9,500,000	2,850,000	12,350,000

研究分野：電気推進、プラズマ応用、宇宙機器の研究開発運用

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：リモートセンシング、高速中性粒子、イオンエンジン、大気圏再突入、APD

1. 研究開始当初の背景

高度 100km から 1,000km の地球超高層大気は、中性粒子がその大多数を占める。しかし、応答性が低いために、電波やレーザー等による遠隔観測が実施できない。中性大気に関する、地球規模広域で高い空間・時間分解のあるデータが蓄積されれば、宇宙環境におけ

る地球環境モニタが可能になるとともに、新しい科学分野が構築される。また低軌道衛星運用に役立つ宇宙大気の速報値を提供できて、世界に貢献できる。この技術は、地球のみに留まらず、火星や金星の大気観測への応用も期待できる。

研究代表者らは、宇宙推進用のイオンエン

エンジンの開発に成功して、これを「はやぶさ」小惑星探査機に応用し、深宇宙動力航行を実施して目的小惑星「いとかわ」へのランデブーおよび地球帰還を成功させた。このイオンエンジンを地球周回で用いる場合、放射されたイオンビームは地球磁場に捕らえられ、ラーマー旋回しながら、高緯度領域の高層大気深部に侵入して、大気との電荷交換により中性粒子に戻り、地磁場に影響されず慣性飛行して地球を脱出して失われる。この機構を研究する過程にて、能動的に利用して高層中性大気の遠隔観測法を着想するに至った。既知の速度・時刻・場所から放射された、自然界では稀な粒子種のイオンを用いて、後天的に変換された高速中性粒子（ENA: Energetic Neutral Atom）を遠方から観測すれば、高層中性大気の組成・密度・空間・時間分布を捕らえることができる（図1参照）。特に、クリプトンイオンは、高層大気の主成分である原子状酸素と選択的に反応する性質を持ち、また自然界には稀にしか存在しないため、観測用トレーサとして最適である。

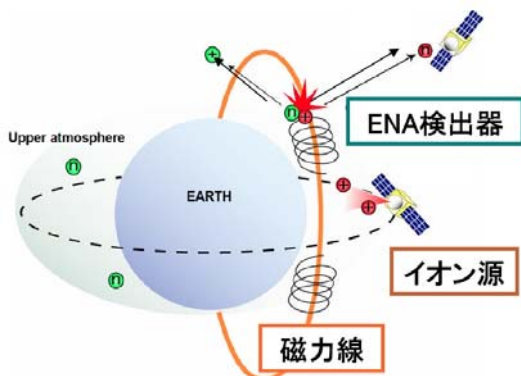


図1 中性大気観測系概念

これまで、宇宙観測システムの机上検討に基づいて、キセノンイオンと酸素分子による実験室模擬にて観測原理を立証した。また提案者が発明・開発し、「はやぶさ」小惑星探査機にて宇宙実用したマイクロ波放電式イオンエンジンをキセノンからクリプトンへ変更することで、観測用イオンビーム源へ対応した。

2. 研究の目的

ロケットや衛星を用いた実証試験や観測システム構築に向けて前進するには、クリプトン高速中性粒子観測装置の開発が課題であり、本研究課題の主目的である。

3. 研究の方法

一般的な高速中性粒子観測器は（1）斜衝

突電離または超薄膜電離機構、（2）質量分析、（3）コリメータおよび（4）粒子検出器から構成される。まずは研究の主題である、「微量かつ keV オーダーのエネルギーの高速中性粒子を高感度で検出可能な粒子検出器」についての検討と基礎実験を行った。

検討の結果、半導体粒子検出器、電荷増倍型検出器および蛍光 X 線検出器の三種を候補として、アバランシェ・フォトダイオード (APD)、マイクロチャンネルプレート及びシリコン PIN フォト検出器を入手し、基本性能を確認した。使用した実験装置を図2、APDを図3に示す。左端のイオン源にて生成された高速イオンは、中央部に電荷交換部にて ENA に変換され、右端のセンサに侵入する。センサの直前には電極が設置されていて、正電位を加えることによりイオンを排斥することができる。図3には、各種センサの反応を掲げる。イオン照射開始に呼応して反応するが、イオン排斥するとファラデーカップは信号が無くなる。それに対し、APD や QCM (Quartz Crystal Microbalance) は低レベルであるものの、ENA への反応をしめしている。APD は QCM に比べ早い時間応答を有していることが分かる。

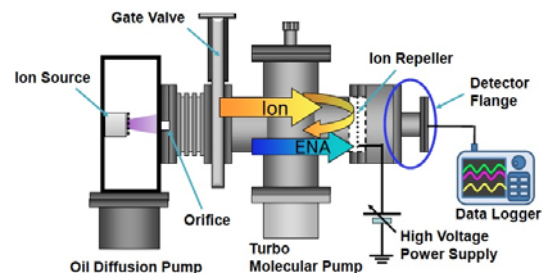


図2 実験装置

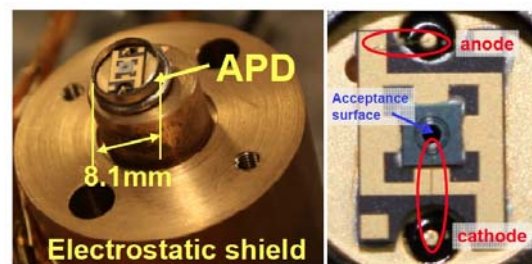


図3 アバランシェ・フォトダイオード (APD)

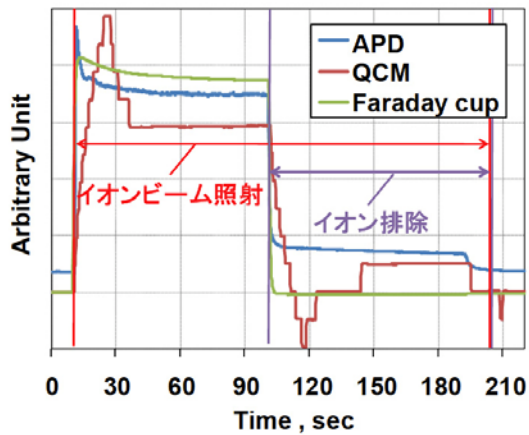


図4 各種センサの反応

さらに詳細に APD の特性を調査した。図 5 には、1.5keV の Kr イオン及び ENA に対する APD の反応の結果を示す。荷電状態に係わらず、入射粒子量に線形にかつ 100 倍程度の増幅感度をもって反応することが分かった。図 6 には、運動エネルギーに対する特性をしますが、特段の差異は見取れない。図 7 に示す Kr 以外の Ar や Xe に対しても特段の変化はない。この結果、アバランシェ・フォトダイオードにおいて、数 keV という固体検出器としては著しく低いエネルギーの重粒子 (Xe, Kr, Ar) を検出することに成功した。また入射する粒子数に対して比例した出力を得られていることから、高速中性粒子数を定量的に直接測定できるセンサとしての利用が期待できる。この結果は世界でも報告されておらず、低エネルギー中性重粒子検出器として工学的に価値のある発見であった。

またアバランシェ・フォトダイオードは高速中性粒子を直接測定でき、前述した観測器システムの (1) ~ (3) を不要した。特に (1) の斜衝突電離には高度な技術が要求されるため、システム構築の面において、高速中性粒子を直接測定できるメリットは大きく、実際の宇宙検証システム的设计に大きく前進した。ロケットでの原理実証試験を鑑みて、感度評価を行った結果、APD によって増幅された直流電流から、 10^5 個/s という微小なフラックスの高速中性粒子まで測定できることが実験的に確かめられ、APD は人工イオンビームを用いた高層大気観測における検出器として高い応用性があることが示された。

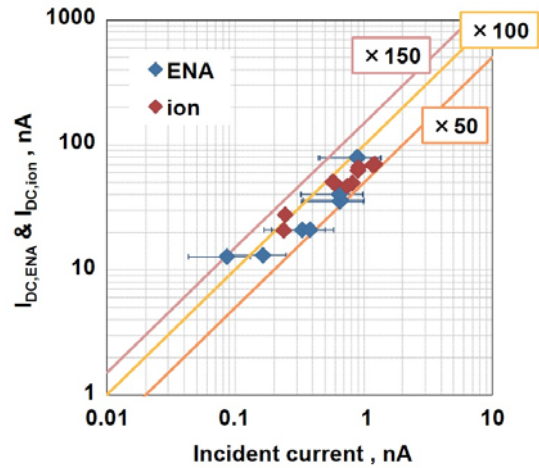


図5 1.5keV の Kr イオン及び ENA に対する APD の反応

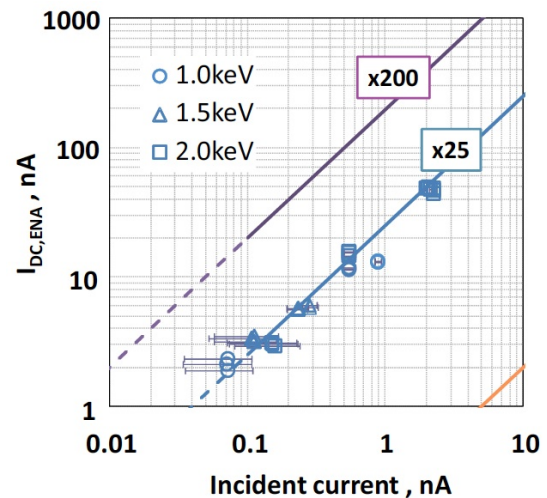


図6 Kr ENA の入射エネルギーに対する APD の反応

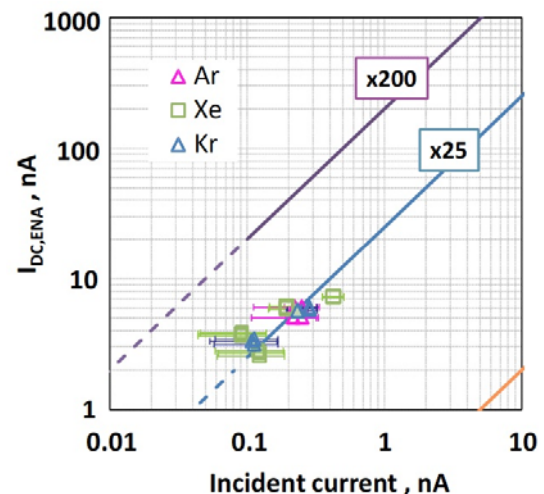


図7 1.5keV の Ar, Kr, Xe ENA に対する APD の反応

4. 研究成果

過去に実績のある高速中性粒子観測器は(1)斜衝突電離または超薄膜電離機構、(2)質量分析、(3) コリメータおよび(4) 粒子検出器、という4つの複雑な構造が必要とされ、さらに実際の宇宙用観測器としてシステムの感度保証や汚染対策などの高い技術的なハードルがあったが、keV オーダーの重粒子検出器として前例のないアバランシェ・フォトダイオードでの直接観測に成功したことによって、宇宙検証実験は目前となっている。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計9件)

- ① 小川卓哉、細田聡史、國中均、西山和孝、山極芳樹、アバランシェ・フォトダイオードによる微小フラックス ENA 測定、宇宙輸送シンポジウム、2010年。
- ② 細田聡史、小川卓哉、國中均、西山和孝、山極芳樹、アバランシェ・フォトダイオードを検出器とした惑星高層大気のリモートセンシング、宇宙科学シンポジウム、2010年。
- ③ 細田聡史、小川卓哉、國中均、西山和孝、山極芳樹、アバランシェ・フォトダイオードによる keV オーダーの人工 ENA 計測、宇宙関連プラズマ研究会、2009年。

-ほか6件

[その他]

ホームページ等

<http://www.ep.isas.jaxa.jp/eplab/> 研究 / 非推進応用 /

6. 研究組織

(1) 研究代表者

國中 均 (KUNINAKA HITOSHI)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・宇宙輸送工学研究系・教授

研究者番号：60234465

(2) 研究分担者

西山 和孝 (NISHIYAMA KAZUTAKA)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・宇宙輸送工学研究系・助手

研究者番号：60342622