

氏名(本籍)	ぬま くら とも はる 沼倉友晴(東京都)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第3113号
学位授与年月日	平成15年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	物理学研究科
学位論文題目	Novel Principle and Method of Simultaneous Ion and Electron Temperature Measurements for Potential Confinement Investigations (新原理並びに新手法を用いたイオン温度及び電子温度同時計測による電位閉じ込めの研究)
主査	筑波大学教授 理学博士 長 照 二
副査	筑波大学教授 理学博士 三 明 康 郎
副査	筑波大学助教授 理学博士 板 倉 昭 慶
副査	筑波大学助教授 工学博士 中 嶋 洋 輔
副査	筑波大学講師 理学博士 平 田 真 史

論文の内容の要旨

本論文では、①従来から原子核・素粒子実験分野で広く用いられてきた、粒子感度計算法の定説とされる半導体粒子感度理論・計算法を修正し、プラズマから放出される数10keV以下のエネルギーをもつ粒子にも正確に適用できる「新しい粒子感度理論」を提唱した。②この理論の特徴を生かして新たに開発した新型小型半導体検出器を用い、従来は不可能だと考えられてきた、「プラズマ・イオン温度 T_i 及び電子温度 T_e の二次元トモグラフィ空間分布の時間変化の同時計測を行う新手法」を提唱すると共に、③ガンマ10プラズマで、世界に先駆けてこれを実証した。更に④本新手法を用いて、イオン及び電子のエネルギー輸送・パワーバランス計測新手法、並びにプラズマ閉じ込め比例則の検証法を提唱した。

半導体検出器は、小型でアウトガスが少なく、強磁場下でも使用可能であり、廉価で、プラズマ真空容器中の種々の場所に設置できる。これらの特性により、X線トモグラフィ計測等のプラズマ計測に、広く使用されてきた。これを、イオン温度及び電子温度同時計測に適用する為、(i)プラズマから放出される数keV以下のエネルギーをもつ荷電交換中性粒子に対する半導体の感度計算法の確立、及び(ii)検出器に同時に入射する粒子とX線の半導体検出器出力を区別し、 T_i - T_e の分別・同時解析を行う新手法を確立した。

まず、(i)荷電交換中性粒子に対する半導体の感度計算は、半導体内部の粒子挙動をよく説明できる新しい関数を導入し、半導体内部の粒子速度の減衰をモンテカルロ・シミュレーションで再現した。また、(ii) T_i - T_e の分別・同時解析には、半導体の、粒子とX線に対する感度特性・浸透力の差異を用い、特にこれまで計測の妨げになると考えられ利用されなかった、半導体表面不感層を「nm厚の極薄いが破れず自立するエネルギー分析吸収フィルター層」と新発想して膜厚を制御し、積極的に利用するアイデアを用いた。プラズマから荷電交換中性粒子が半導体検出器に入射した場合、粒子出力はX線に比べ、不感層が薄い場合は大きく、厚くなると急減し、且つ上に凸の特徴的減衰特性を持つことが判り、薄い不感層をもつ半導体検出器と、厚い不感層をもつ半導体検出器を併用することで、 T_i と T_e が同時計測できることが予想された。

以上の原理に基づき T_i - T_e の二次元空間分布同時計測を行う為、マトリックス形状の列毎に同一で一様な厚さの不感層を形成した、新型半導体検出器を設計・製作した。これは、単一ショットで時々刻々に T_i - T_e の空間分布の

算出が行える、簡便ながら画期的なTi・Te二次元同時断層撮像トモグラフィ計測が可能となる。ガンマ10タンデム・ミラー装置において、新型計測器によるTi・Te同時計測を行い、従来から用いられてきた標準的荷電交換中性粒子計測器、並びにマイクロ・チャンネル・プレートを用いたTi・Te計測と一致する結果を得た。これにより、新しいTi・Te空間分布同時計測法が定量的に実証された。

また、Ti・Te二次元空間分布計測結果から、イオンと電子間のエネルギー輸送、特にエネルギー緩和現象を厳密に計算した。ガンマ10の主閉じ込め領域の電子に関するパワーバランスから、本計測法による測定結果と、理論計算結果を比較し、初めて、プラズマ半径方向各位置における電位によるプラズマ閉じ込めの効果を検証した。

審査の結果の要旨

本論文では、プラズマの閉じ込め、加熱、並びにエネルギー輸送の研究を進める上で主要パラメータとなるプラズマ・イオン温度Ti及び電子温度Teの二次元空間分布の時間変化を、単一プラズマショット中に同時計測ができる新型小型半導体検出器を開発した。この時、数keV以下のエネルギーをもつ荷電交換中性粒子に対する半導体の感度新理論・計算法を確立すると共に、半導体における粒子計測とX線計測の特徴的な差異を見出し、これからTi・Te新計測手法まで発展させた。これは、基礎的な半導体物理学への貢献にとどまらず、プラズマの研究を含め、広範な分野への影響を考慮するときに、顕著な意義を有するものと評価できる。

更に、開発したTi・Te同時計測新手法をプラズマ実験で世界に先駆けて実証し、イオンと電子間のパワーバランス計測からプラズマ閉じ込め比例則検証法の提唱を行った。これは、パスツコフの電位閉じ込め理論とコーエンの電位生成理論の「二大電位理論」を統合・統一した「新統合理論」に基づき、「電位によるプラズマ閉じ込めの物理機構解明」というタンデムミラー装置の将来性を検討する上で重要な研究として評価される。

以上のように、本研究は、新しい基礎物理理論の確立と、その影響・効果を研究し、新型計測器の開発、プラズマ閉じ込め比例則検証法の提唱等、多岐にわたる重要な研究成果を纏めたものと認められる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。