

氏名(本籍)	^{みなみ} 南 ^{りゅうたろう} 龍太郎(福岡県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第3114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	Study of Plasma Stability and Confinement Using a Novel Matrix-Type Semiconductor X-Ray Detector (新型マトリックス型半導体X線検出器によるプラズマの安定性と閉じ込めの研究)
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 森 岡 弓 男
副査	筑波大学助教授 理学博士 石 井 亀 男
副査	筑波大学助教授 理学博士 北 條 仁 士
副査	筑波大学講師 博士(理学) 小波蔵 純 子

論文の内容の要旨

本論文では、半導体検出器の一連の研究成果を基盤として、マトリックス形状の列毎に同一「X線吸収層」を形成した、新型半導体検出器を設計・製作し、電子温度を1ショットのみで計測可能な計測器を開発した。これは、鋸歯状振動等、ショット毎の再現性が期待しにくい場合や、単発的に生じる現象の物理機構解明のため、特に重要な意義を持つ。

この検出器では、プラズマ半径方向に対向した列毎に、異なる厚さの半導体表面の絶縁層/不感層(SiO₂)等を形成し、これを「X線吸収体」として位置付ける工夫を行い、各列の信号はそれぞれ同一吸収体、即ち同一エネルギー帯のプラズマ半径方向のX線信号と考えて解析を行う。各列の信号は、X線を輻射するMaxwell分布プラズマ電子から計算・予想される、各「吸収体」に対するX線強度と比較し、「X線吸収法」により、1ショットで時々刻々に、電子温度算出を行うことができる。

この検出器の特長は、多数個の半導体検出器を使用することに比べ、同一シリコン・ウエハー上で一度に半導体プロセスを実施する事により、(i) 検出器のベースとなるシリコン・ウエハーの不純物濃度・X線生成電荷拡散長等の特性が一樣で、(ii) 半導体プロセス時に、一度にイオン注入を行うため、感度も一樣になる。このため空乏層厚、並びに不感層厚を一樣に製作し易く、感度のばらつきを抑制できる。(iii) 1回のプロセスで製作できるため、コスト・パフォーマンスがよい。(iv) 無駄なケーシング・スペースがいらないのでコンパクトな検出器の設計・製作が可能、並びに検出器の実装密度を高くできる等の利点がある。

この検出器をタンDEM・ミラー型核融合装置ガンマ10に設置し、MHD不安定発生時に、コア・プラズマの内部構造の時間的・空間的振る舞いを研究した。その結果、コア・プラズマの形と構造は変化せずに、回転している事を初めて明らかにした。

また、コア・プラズマ回転を始める状況を研究し、MHD安定性の境界、即ち、セントラル部の高温イオンを安定化するために必要なアンカー部のベータ値のスケール則と、密接な関係があることを明らかにした。セントラル部とアンカー部のX線信号と、そのX線信号とコンシステントに振る舞う端損失イオン信号から解析された電子とイオンのデータから、詳細なガンマ10プラズマ全体の回転を明らかにした。以上により、以前から予想され

ていた、タンデム・ミラー・プラズマにおいて圧力駆動型交換不安定性が駆動されるシナリオが確認された。

一方、本論文では、開発した新型半導体検出器が1ショットで時々刻々に電子温度算出できる特長を用い、様々なプラズマ・パラメータによる計測から、電子温度と電子閉じ込め電位のスケール則の研究を行った。

電位で閉じ込められた電子に対するエネルギー・バランス方程式を用いて、電子温度と電子閉じ込め電位に関する理論的な解析を行い、実験データと比較した結果、良く一致する事が明らかになった。この事は、電子エネルギー閉じ込め性能が、電位の増大とともに向上し、電子加熱・電子温度増大に熱輸送障壁として電子閉じ込め電位が寄与している事を、定量的に明らかにしたものである。

審査の結果の要旨

本論文では、プラズマX線計測に標準的計測器として世界的にも広範に用いられている半導体X線計測器に対し、「半導体X線新感度理論」、「不感層厚制御技術」等の研究成果を基盤として、単一ショットで電子温度半径方向分布が計測できる検出器の開発を行った。これは、電子閉じ込め、加熱、並びにエネルギー輸送現象を解明する上で重要な計測パラメータであり、特に再現性の乏しい単発現象の解明、種々のプラズマ・パラメータに対する依存性のデータの蓄積により明らかにされる、スケール則の構築、詳細な物理機構の解明に道を拓く等、広範な応用が期待される検出器の開発が行われたと評価される。

また、MHD安定性境界条件と、コア・プラズマの直接的な内部構造の振る舞い、圧力駆動型交換不安定性の駆動について初めて計測し、理論的解明と実験による実証を行うと共に、電子のエネルギー閉じ込め時間と電子温度・電子閉じ込め電位のスケール則の構築を行った。これは、プラズマ全体のエネルギー閉じ込め状態を評価し、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、新しい半導体X線検出器の設計・開発と、MHD安定性の実験的評価、プラズマ電子閉じ込め比例則の検証等、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。