

氏 名	末 満 英 俊 すえ みつ ひで とし
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 939 号
学位授与の日付	昭 和 51 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Studies on Contraction Behaviors and Vacuum Ultraviolet Radiation of Linear Z-Pinch Plasma (直線 Z-ピンチ・プラズマの収縮機構と真空紫外輻射に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 福 田 國 彌 教 授 飯 吉 厚 夫 教 授 板 谷 良 平

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は直線 Z ピンチプラズマの収縮機構を実験・理論両面より研究し、その結果に基づいて希ガス直線ピンチプラズマ真空紫外輻射の分光特性を実験的に明らかにするとともにプラズマ内不純物多価イオンの電離・励起過程に関する研究の成果を述べたもので 5 章から成っている。

第 1 章緒論では直線 Z ピンチプラズマに関する従来の研究を概観して著者が行った研究の位置づけを行うとともに、本研究全体の構成と各章で取り扱う研究の主題と目的を述べている。

第 2 章では、直線 Z ピンチ放電におけるプラズマ収縮時間と放電管内初期ガス圧との関係を He 及び Ar ガスについて測定し、その関係が低ガス圧領域 (He: 2 Torr 以下, Ar: 1 Torr 以下) では Rosenbluth の雪かきモデルにより、高ガス圧領域 (He: 2~5 Torr, Ar: 1~3 Torr) では Allen-Jukes の衝撃波モデルにより説明できることを示している。

第 3 章では、雪かきモデルで近似的に表わされる低ガス圧領域でのプラズマ収縮を厳密に取り扱うため、Leontvitch-Osovets 方程式と放電回路方程式を連立させて Z ピンチ過程における電流層の運動を解析し次の結果を得ている。第一に、放電回路のインピーダンスが放電管のそれより大きい場合、最大ピンチ即ち重粒子密度が最大となるプラズマ収縮を与える初期ガス質量密度 ρ_{0M} が存在し、その値は $\xi \rho_{0M}^{1/4} \approx 0.85$ で与えられることを示している。ここに ξ は実験条件を規定するパラメタである。第二に、放電回路インピーダンスが放電管のそれより小さい場合、Kurchatov の観測したピンチに伴う放電電流のキンクと電圧の急激な極性変化はプラズマ収縮時の電流層の運動から説明できることを示している。さらに第一の場合、He ピンチプラズマについて電子温度と電子密度の測定を行い ρ_{0M} の存在を実験的に証明している。

第 4 章では、最大ピンチ条件のもとで発生する希ガスプラズマの輻射を波長 100~500 Å 領域では斜入射型分光写真器で波長 500~1500 Å 領域では瀬谷・波岡型分光計で観測しその分光特性を明らかにしている。また波長 230 Å 以下の領域で He ピンチプラズマに現われる He II フリーバウンド連続光を光源

として He I の 2 電子励起吸収スペクトルを観測し、波長 500~1500 Å 領域では Ar, Kr 及び Xe ピンチプラズマを光源として O₂ 及び N₂ 分子の吸収スペクトルを写真法で Ar のウィンドー型共鳴系列の吸収スペクトルを写真及び光電法で測定し、直線 Z ピンチ希ガスプラズマの輻射が真空紫外領域で優れた光源として利用できることを示している。

第 5 章では、少量の CO₂ 又は N₂ (0.1 モル%) を混入した He ピンチプラズマ中の C, N 及び O 不純物イオンの波長 500~1500 Å 領域での発光スペクトル線を同定し等電子配置系列に従って区別し各系列の発光特性を調べている。その結果、外殻 2s 電子励起によるスペクトル線の発光は 2p 価電子励起スペクトル線より遙かに強く、前者の強度は初期ガス圧の減少と共に増加するのに対し後者の強度は最大ピンチを与える初期ガス圧に於て極大となり、かつピンチ過程での 2s 励起イオン線発光はイオン化段階の増大する順序に従う時間的継起を示すことなく殆ど同時であることを観測している。特に 2s 励起イオン線強度の初期ガス圧依存性は初期ガス圧減少に伴うプラズマ収縮速度の増加と関連するものであり、急激なプラズマ収縮が He イオンと不純物原子またはイオン間の荷電変換衝突を惹起して外殻 2s 電子励起状態にあるイオンを発生するものであることを示している。

論文審査の結果の要旨

この論文は直線 Z ピンチ放電におけるプラズマ収縮過程の解析と真空紫外領域における希ガスピンチプラズマの輻射特性及びプラズマ内不純物多価イオンの電離・励起過程の研究について述べたもので、得られた成果は次のとおりである。

(1) 直線 Z ピンチ放電における電流層の運動と衝撃波の発生を観測しプラズマ収縮時間と放電管内初期ガス圧の関係を与える実験式を見出し、理論との比較からプラズマ収縮に対して Rosenbluth の雪かきモデルと Allen-Jukes の衝撃波モデルが適用できる初期ガス圧範囲を明らかにしている。

(2) 低い初期ガス圧範囲で現われる雪かき型プラズマ収縮における電流層の運動を Leontovich-Osovetz 方程式と放電回路方程式を連立させて計算し実験条件とピンチ発生との関連について明快な解析を行っている。即ち、放電回路インピーダンスが放電管のそれより大きい場合最大ピンチ即ち重粒子密度が最大となるようなプラズマ収縮を与える初期ガス質量密度 ρ_{0M} が存在し、その値は実験条件を規定するパラメタ ξ に対してあらゆるガスについて $\xi \rho_{0M}^{1/4} \simeq 0.85$ で決ることを導出し、さらに He ピンチプラズマについて電子温度および電子密度を測定して ρ_{0M} の存在を実証している。また、回路インピーダンスが放電管のそれより小さい場合 Kurchatov により見出されたピンチに随伴する放電電流のキンクと電圧の急激な極性変化がピンチ時の電流層の運動から説明できることを証明している。

(3) 波長 100~1500 Å 領域で直線 Z ピンチ希ガスプラズマ真空紫外輻射の分光特性をはじめピンチ条件と関連して系統的に測定している。また、繰返し放電用スイッチを開発して Z ピンチ輻射の光電分光測光を容易にし、Z ピンチプラズマ輻射が優れた真空紫外光源として利用できることをいくつかの興味ある原子・分子吸収スペクトル観測により明らかにしている。例えば、He プラズマでは 303 Å 以下に He II の共鳴線系列と強いフリーバウンド連続光の放射が現われるがこの連続光を光源として He I の 2 電子励起スペクトルを測定している。また、波長 500~1500 Å 領域では Ar, Kr または Xe プラズマを光源と

して $N_2(X^1\Sigma_g^+) \rightarrow N_2^+(X^2\Sigma_g^+, A^2\Pi_u)$ 等の Rydberg 帯といくつかの非 Rydberg 帯の構造及び O_2 の同種帯の帯列の分光写真測定さらに Ar ウィンドー型共鳴系列 $3s^23p^6 \rightarrow 3s3p^6np$ の光電分光測定に成功している。

(4) CO_2 または N_2 を少量添加して発生させた He ピンチプラズマ内 C, N 及び O 多価イオン不純物の真空紫外領域発光スペクトル線を同定しかつ等電子配置系列線に区分し、これに基づいて各系列のイオン線の発光の振舞いを分析して多価不純物イオンの電離・励起過程に関する興味ある原子過程を提示している。例えば、基底状態電子配置 $2s^22p^m$ を持つイオンの外殻 $2s$ 励起スペクトルの強い発光は速いピンチ収縮のために不純物イオンと母体プラズマ He イオン間に荷電変換衝突が起り $2s2p^{m+1}$ 配置のイオンが直接形成されるためであることを実験結果から推定しているが、高温プラズマにおける不純物イオンの輻射損失に対する一つの重要な原子過程を提示したものとして評価される。

以上要するに本論文は直線 Z ピンチプラズマの収縮過程を解析してピンチプラズマの発生条件を明確にし発生するプラズマの真空紫外域輻射の分光特性とその光源への応用及びプラズマ内不純物多価イオン輻射の原子過程に有用な知見を提供したものであり、学術上、応用上貢献するところが大きい。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。