

氏 名	斧 高 一 おの こう いち
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 666 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 航 空 工 学 専 攻
学位論文題目	Experimental Studies of Plasma Production by a Pulsed High-Current Electron Beam (パルス大電流電子線によるプラズマ生成に関する実験的研究)

論文調査委員 (主 査) 教 授 福 田 國 彌 教 授 飯 吉 厚 夫 教 授 赤 松 映 明

論 文 内 容 の 要 旨

パルス大電流電子線(相対論的電子ビーム)の応用はプラズマ工学, レーザー工学 放射線工学等の分野において近年急速に盛んになりつつあるが, これら応用の発展に伴い, 電子線により誘起される基礎的諸過程の解明が重要な研究課題となっている。

本論文は, パルス大電流電子線(600kV, 10KA, 3ns FWHM)を外部磁場の印加されていないドリフト管(全長 120cm, 内径 12.6cm)内の中性気体中に入射した場合に於るプラズマの生成と発光に関する一連の実験的研究を述べたものであり, 3章から成っている。

第1章は, 本論文の緒論であり, パルス大電流電子線の特徴及び種々の分野での応用に関する従来の経過と現状を概括し, 本論文の位置づけと全般の内容を概説している。

第2章は, ドリフト管内の中性気体中を軸方向に伝播する電子線電流と, 電子線によって誘起される軸方向のプラズマ電流の挙動を詳述している。電子線は 0.1~100Torr の水素, 窒素, 希ガス(He~Xe)中に入射され, 気体中で発生する現象をファラデーカップ, X線検知器, 磁気プローブ, 開放シャッターカメラにより測定し以下の事柄を明かにしている。ビーム電子の気体電離による電子線空間電荷中和時間が電子線電流の立上り時間より短いような圧力域(例えば Ar では 0.8Torr 以上)に於ては, プラズマ電流による電子線電流の中和が顕著である(この圧力域を電子線電流中和圧力域と呼ぶ)。また, プラズマ電流の持続時間が最も長くかつドリフト管軸に沿って形成されるプラズマ柱の明るさが最大であるような圧力が存在する(この圧力をプラズマ生成最適圧力と呼ぶ)。さらに, ドリフト管内の磁場分布の測定を電子線通過後に行い, プラズマ電流の径方向配位を求め, プラズマ生成最適圧力でドリフト管軸付近のプラズマ電流密度が最大となること, また電子線電流中和圧力域ではプラズマ電流の方向が軸上付近と外周部とで反対になっていることを明かにし, 電子線電流通過中における全電流(電子線電流+プラズマ電流)の径方向配位が電子線電流通過後も保持されることを推定している。さらに, 種々の気体で上述のような現象が起る圧力は, それら気体に対するビーム電子の電離断面積に逆比例することを示している。

第3章は、パルス電子線により生成される希ガス (He~Xe) プラズマからの波長域 $2,500 \sim 8,000 \text{ \AA}$ に於る発光スペクトル線の挙動を詳述している。ドリフト管軸方向と管側方向のプラズマ発光を両方向から分光器と各種狭帯域フィルターを用いて測定し、軸方向で極めて強い短パルス発光 ($10 \sim 40.0 \text{ W}$, 3 ns FWHM)を一価イオン及び中性原子の20本のスペクトル線で観測している。また、これらの発光が強い指向性 (拡大角 13 m rad) を持ち、電子線と共に伝播し、プラズマ中で増幅 (微小信号利得 $0.01 \sim$ 飽和) していることを示し、所謂、進行波励起の超放射レーザー発振であることを明かにしている。一方、側面方向の観測では、レーザー線を含む多くの一価イオンスペクトル線の強度を測定し、プラズマ生成最適圧に於て発光ピーク強度と持続時間が最大となること、また、各励起準位の密度は初めに極めて大きな非平衡分布を取ることを示すとともに、初期の励起準位での非平衡は、熱化していないエネルギーの高い初期プラズマ電子による中性原子基底状態からの同時電離励起により発生するものであることを明かにしている。さらに、レーザー線の微小信号利得から初期プラズマの励起準位密度及び電子密度を推定している。

論文審査の結果の要旨

パルス大電流電子線 (相対論的電子ビーム) の中性気体中の伝播及びそれに伴うプラズマ生成と発光に関する理解は、電子線の応用分野に於て重要な基礎的研究課題の一つであるが、現象の複雑さのために現在に至るまで一般的かつ基本的な理解が得られてはいない。本論文は、短いパルス巾の電子線によるプラズマ生成と発光の過程を実験的に理解しようとしたもので、得られた主な成果を要約すると次の通りである。

(1) 著者の実験では、一般に用いられているパルス電子線と比較して電流、パルス幅が一桁以上小さい電子線 (電流 10 KA , パルス巾 3 ns FWHM) を用いているが、この場合に於てもビーム電子気体電離による電子線空間電荷中和時間がパルス幅と同程度あるいはそれ以下になるような圧力において、プラズマが生成されることを明かにしている。

(2) パルス電子線通過により誘起されるドリフト管内の磁場分布を測定し、電子線通過中のプラズマ生成初期に於て形成される全電流 (電子電流+プラズマ電流) の径方向配位が、電子線通過後のプラズマ電流に於ても保持されることを明かにしている。このような電流分布の測定は従来に例がなく、著者が初めて行ったものである。

(3) ドリフト管軸方向での放射スペクトルの観測により、電子線と共に伝播する強いパルス発光を紫外・近赤外域にある20本の希ガス (Ne~Xe) 一価イオン及び中性原子スペクトル線に於て見出し、微小信号利得係数の測定を行って、これらの発光線が超放射レーザー発振であることを示している。これらのレーザー発振線のうちの数本は著者が初めて見出したものである。

(4) プラズマ電流と放射スペクトル線の挙動に関する詳細な測定から、パルス電子線によるプラズマ生成の最適圧力範囲を各種気体について見出し、その場合のプラズマの生成と発光の過程を明かにしている。即ち、ビーム電子の気体電離による電子線空間電荷中和の後、電子線電流の時間変化による誘導電場起因する放電破壊により初期プラズマが速やかに形成され、プラズマ電流が発生する。プラズマ電流発生後は、プラズマ電流の抵抗性消散によりプラズマ粒子にエネルギーが与えられ、電子線通過後もプラズマは

可成り長時間 ($1\mu\text{sec}$ 程度) 保持され、アフターグローを発生する。また、超放射レーザー発振は、電子線プラズマのアフターグロー中で励起されるエキサイマーレーザー等とは異なり、初期プラズマ中のエネルギーの高いプラズマ電子により直接励起されるものである。

(5) ドリフト管側面方向から、超放射レーザー発振線を含む多くの一価イオンのスペクトル線の発光強度を測定し、スペクトル線上準位の占有密度が極端な非平衡を示すことを明かにしている。また、イオン準位の同時電離励起の断面積との比較から、この非平衡は熱化していない初期プラズマ電子による中性原子基底状態からの同時電離励起によるものであることを明かにしている。

以上要するに、本論文は、パルス大電流電子線による中性気体内でのプラズマ生成と発光の過程を実験的に明かにし、超放射レーザー発振線を発見して発振機構について知見を得たものであり、学術上、応用上寄与するところが少なくない。

よって、本論文を工学博士の学位論文として価値あるものと認める。