

氏 名	尾 形 芳 郎 お が た よ し ろ う
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 428 号
学位授与の日付	昭 和 50 年 7 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 機 械 工 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Spectroscopic Studies of Positive-Column Plasma and He-Cd⁺ Laser Oscillation (陽光柱プラズマと He-Cd ⁺ レーザー発振の分光学的研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 福 田 国 弥 教 授 小 川 徹 教 授 大 谷 泰 之

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は陽光柱プラズマの励起原子占有密度および原子過程（励起，逆励起，電離）とプラズマ・パラメタ（電子温度，電子密度）の関連，ならびに陽光柱 He-Cd⁺ レーザーの連続発振の機構を分光学的に解明することを目的とした研究で，5章からなっている。

第1章は緒論で，陽光柱プラズマの励起原子占有密度と原子過程の研究の沿革，ならびに従来提唱された He-Cd⁺ レーザーの発振機構を説明し，本研究の目的を明らかにするとともに第2章以下各章の概要を述べている。

第2章では，Bates 等の衝突輻射モデルを陽光柱Hプラズマに適用し，励起原子の占有密度を自由落下および両極性拡散の両モデルに対して求めている。その結果，励起原子の占有密度は電子密度が増大するに従って，一般的に，コロナ平衡，準飽和相，完全飽和相を経て LTE (Local Thermodynamic Equilibrium: 局所熱平衡) に到達することを見出し，これらの各相における励起と逆励起の過程を解析するとともに，上記各相相互間の遷移の境界条件を求め Griem の LTE 成立条件が陽光柱プラズマではコロナ平衡からの準飽和相への遷移の境界条件に対応することを指摘している。

第3章では，両極性拡散モデルが成立する陽光柱 He プラズマに前記の衝突輻射モデルを適用し，現実の放電条件のもとでプラズマ平衡方程式と連立させ，励起原子の占有密度を算出している。この場合，準安定原子 2^{1,3}S の管壁への拡散を仮想の輻射遷移に置き換え必要な原子係数を算出している。その結果，弱電離プラズマ中でも電子密度の増大に伴って低励起原子 (2^{1,3}S, 2^{1,3}P) の占有密度は一旦飽和してのち減少すること，またこのような状態では電離は主に 2³S および 2³P からの電子衝突によることを見出している。さらに，プラズマ内の励起と逆励起の過程を解析することにより，2³P, 2³S 間および 2¹P, 2¹S 間にコロナ平衡の成立する領域，また，2³S, 2¹S 間および 2³P, 2¹P 間に電子衝突による詳細平衡の成立する領域の存在することを指摘している。

第4章では，Hook 法により前記 He プラズマおよび陽光柱励起 He-Cd⁺ レーザー・プラズマの励起

原子の占有密度を求めている。これによって第3章で行った解析が妥当であること、および He-Cd⁺ レーザー発振線の上準位は準安定 He 原子 2³S と基底準位 Cd 原子との Penning 電離衝突によって励起されることを明快に実証している。さらにこの測定結果にレーザー上準位からの自然放出光強度測定の結果を結合してレーザー上準位の占有密度および上記 Penning 衝突の平均電離断面積をも求めている。

第5章では、He-Cd⁺ レーザーの発振機構について詳細な解析を行なっている。はじめに、レーザーの発振出力を諸種の放電パラメタに対して測定し最適発振領域を見出すとともに、レーザー上、下準位からの自然放出光強度の観測からレーザー発振の挙動を明らかにしている。次に、混合気体に適用できるプラズマ平衡の一般式を自由落下および両極性拡散の場合について導出し、その結果を He-Cd⁺ レーザー・プラズマに適用して電子温度、電子密度ならびにイオン粒子密度を計算し、プローブ測定による実測結果と対比して理論の妥当性を示している。最後に、得られたプラズマ・パラメタと第4章で得た励起原子密度の値をもとにしてレーザー下準位を励起するあらゆる過程の反応速度を算出し、さらに自然放出光強度の観測結果を考慮に入れてレーザー下準位の励起機構を考察している。その結果、レーザー下準位は主にカドミウム準安定原子 5³P の電子衝突によって励起されることを示している。

論文審査の結果の要旨

陽光柱励起 He-Cd⁺ レーザーは紫外 3536Å と青色 4416Å で連続発振する紫外レーザーとして注目されているが、このレーザーの発振機構の系統的な研究は殆ど全く行われていない。

本論文は、陽光柱プラズマ内の原子過程と He-Cd⁺ レーザーの発振機構との関連を解明することを目的として行った分光学的研究をまとめたもので、得られた成果は以下の通りである。

1. 準定常プラズマ内で励起原子の占有密度を高励起準位まで系統的に求めることのできる衝突輻射モデルを管壁再結合が支配的に陽光柱プラズマに適用し、励起原子を支配する励起と逆励起の過程を解析するとともに、コロナ平衡と局所熱平衡 (LTE) との中間状態に於て励起原子を支配する原子過程を初めて明らかにしている。また、従来一般に採用されている Griem の LTE 成立条件は陽光柱プラズマではコロナ平衡と準飽和相の境界条件に対応することを示した。

2. 衝突輻射モデルを陽光柱 He プラズマに適用するに際しては、準安定励起原子の拡散による逆励起を仮想的な輻射遷移に置き換えることにより速度方程式を巧みに線型化し、これをプラズマ平衡方程式と連立して現実の放電条件にある He プラズマの解析に成功している。その結果、弱電離陽光柱プラズマ内に於て低励起準位とくに準安定準位 2^{1,3}S にある He 原子の振舞いを原子過程の立場から初めて明らかにした。

3. 吸収スペクトル線の異常分散を利用する Hook 法を細管陽光柱プラズマに適用した研究では、励起原子の占有密度の高精度測定に初めて成功している。すなわち、陽光柱 He プラズマでは、低励起原子密度の測定によって上記理論計算の妥当性を証明している。また、He-Cd⁺ レーザー・プラズマでは、準安定 He 原子と基底準位 Cd 原子の占有密度の測定およびレーザー上準位からの自然放出光強度の測定によって、上準位の励起機構が Penning 電離であることを極めて明快に実証している。さらに、レーザー上準位の占有密度を巧妙な分光学的方法で決定し、Penning 衝突による平均電離断面積を決定している。

が、その値は従来の測定値と比較して格段に信頼性の高いものである。

4. 一般に多成分系混合気体に適用できるプラズマ平衡方程式を自由落下及び両極性拡散の両モデルに対して導出しているが、これは、陽光柱プラズマ内での各種混合気体の電離過程の解析を行う場合に基礎方程式となるもので、利用価値の高いものである。

5. 上記多成分系プラズマ平衡方程式を現実の放電条件下にある He-Cd⁺ レーザーに適用してプラズマ・パラメータを計算し、プローブ測定の結果と対比して理論の正当性を証明するとともに、このプラズマ・パラメータの値と Hook 法により求めた各種励起準位の占有密度からレーザー下準位に対するすべての励起過程の定量的な評価を行い、準安定 5³P 準位にある Cd 原子からの電子衝突による励起がレーザー上準位に対する支配的な励起であることを初めて明らかにしている。すなわち、二成分系陽光柱プラズマの解析法を具体的に示し、原子過程を系統的に解明したものとして注目される。

以上要するに、本論文は理論計算によって陽光柱プラズマの励起原子密度の算定、原子過程の解析、およびこれらと放電条件との関係を見出すとともに、He-Cd⁺ レーザーの上、下準位の励起機構を系統的に解析して発振最適条件と発振機構を明らかにしたもので学術上、實際上貢献するところが少なくない。

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。