

報告番号

※ 甲第 1177号

主論文の要旨

題名

Studies on the Excitation Mechanisms
in the Positive Column He-Cd⁺ Laser
(陽光柱 He-Cd⁺レーザーの励起機構に関する研究)

氏名 森 正和

主論文の要旨

報告番号

※ 甲第 1177 号

氏名

千
村 正知

陽光柱 He-Cd⁺ レーザは可視領域では 416\AA に強い発振線を持ち、また紫外領域では 3250\AA に発振線を持つ実用的な金属蒸気レーザである。しかし、その物理的機構は充分に説明されておらず、その原因は各種実験条件下でのイオン密度や He(I) 準安定原子密度等の基本的パラメータの正確な測定がなされておらず、及びこれらの振舞いに対する理論的解釈が与えられておらず、よきと思われ、特にレーザ上準位密度と He(I) 準安定原子密度の放電の流依存性に対する矛盾のない理論的解釈は報告されておらず、注目すべきである。本研究の目的は基本的パラメータの正確な測定、及びその結果に対する理論的解釈に基づいて陽光柱 He-Cd⁺ レーザの励起機構を説明し、レーザ出力の飽和現象を統一的に説明することである。

最初に基本的なパラメータの測定がなされたその際、modified absorption method が開発され、イオン密度の正確な測定も可能となった。また、電子のエネルギー分布関数を non-Maxwell 分布とした場合のガブワポロフによる電子密度の決定法、及び励起割合に及ぼす分布の影響について議論した。次に He(I) 準安定原子密度に対して rate 方程式を立てて解き、計算結果と実験結果とを比較することにより、その飽和機構を考察した。最後に、レーザ遷移の上下準位密度に対して各種の生成・消滅過程を考慮した rate 方程式を立て、それに基づいて励起機構を議論した。尚、Cd(II) 3250\AA レーザの励起機構は Cd(II) 416\AA レーザの場合

主論文の要旨

報告番号

※甲第1177号

氏名

木正和

合と同様と考えられるため、後者についての測定、解析を主と取扱った。

まず本研究で用いられた基本的パラメータの測定法、及びその結果について述べる。

本研究において、吸収法の一様である modified absorption method が開発された。この方法は従来広く使用されてきた self-absorption method と比較して次の特徴を有する。① 放電管窓の透過率及び鏡の反射率を知る必要がない。② 光学系の軸合わせが容易である。③ ラオンの drift による影響を受けない。この方法により、可視領域のみならず、紫外領域においても正確な密度測定が可能となった。この方法、及びこの方法と sidelight 強度測定とを組み合わせたことにより、He(I) と Cd(I) の各準位密度、Cd(II) 基底ラオン密度、及びレーザ上準位密度が測定された。Cd(II) 基底ラオン密度の正確な測定は本研究によるものが初めてである。

従来、レーザ放電に用いられる様な中ガス放電の電子密度をダグワプローブ法で測定する際には、電子のエネルギー分布関数として Maxwell 分布が仮定されていた。しかし、中ガス放電では non-Maxwell 分布で取扱うべきであるという報告が実験、理論の両面からなされている。そこで non-Maxwell 分布とした場合に、ダグワプローブ法で電子密度が簡単に求められるかどうかについて検討した。エネルギー分布関数は Boltzmann 方程式に電界強度、及び He(I) と Cd(I) の最低励起準位密度の測定値を代入して、それ

主論文の要旨

報告番号

※甲第 1177号

氏名

木村 正和

を解くことににより得られたものを使用した。他方、ダブワプロードの理論を non-Maxwell 分布の場合に拡張するににより、電子温度に代わって特性エネルギーが電子密度を決定する際に必要になることが分かった。そこで Boltzmann 方程式から得られた特性エネルギーと Maxwell 分布を仮定してダブワプロード特性から形式的に得られた電子温度 (nominal electron temperature) とを比較した所、両者がほぼ等しいことが分かった。このことより、中カス圧放電の電子密度は nominal electron temperature を用いてダブワプロード法により簡単に求められることが示された。一方、He(I) 3^3P と 3^1P 準位密度について rate 方程式を立てて解析した所、励起割合や励起準位密度等の量は non-Maxwell 分布で取り扱ふ必要があることが分かった。

次に modified absorption method と modified double probe method とを組み合わせるににより、 Cd^+ イオンの移動度を使用しないで He^+ イオンと Cd^+ イオンの密度を分離した。また Boltzmann 方程式を使ってエネルギー分布関数を求め、rate 方程式に基づいてイオン化機構の議論をした。その結果、 Cd のイオン化機構のうちで直接電離が支配的であるという興味深い事実が実験的にも理論的にも確かめられた。

He(I) 3重項、1重項準安定原子密度を modified absorption method により測定し、それらの各種実験パラメータ依存性を調べた。一方、He(I) の主量子数 4 までの準位に対して各種の生成、消滅過程を考慮した rate 方程式を立てて理論計算を行い、準安定原子密度の飽

主論文の要旨

報告番号

※甲第 **1177**号

氏名

木 正和

知機構について議論した。その結果、Boltzmann方程式から得られた non-Maxwell 分布を使用することにより、実験結果を統一的に説明できることが分かった。(Maxwell 分布を仮定した場合)は特に He 圧力依存性において測定値からのずれが大きい。故電流依存性において、レーザー上準位密度が 100 mA 以上の故電流まで単調増加したのに対し、準安定原子密度は 10~20 mA の故電流で飽和することが確かめられた。この準安定原子密度の飽和は、 $\text{He}(2^3S \text{ or } 2^1S) + e \rightarrow \text{He}(2^3P \text{ or } 2^1P) + e$ の電子衝突によることが分かった。

レーザーゲルマニウム測定と modified absorption method とを組み合わせることにより、Cd(II) 4416 Å レーザ遷移の上下準位密度を分離した。その結果、下準位密度は上準位密度に比較して無視できるが、レーザー出力に及ぼす影響が非常に大きいことが分かった。従来、レーザー下準位密度は上準位密度に比較して無視できることと考えられていたが、これは Cd 原子密度の制御が良好ではなかったためと思われる。以上のことから、励起機構の研究においてレーザー上準位についてのみならず下準位についても考察することが必要であると結論される。

最後にレーザー上下準位についての励起機構を上述の基本的パラメータの測定結果に基づいて議論した。まずレーザー上準位について述べる。励起過程として従来の様に He(II) 準安定原子と Cd(II) 基底原子との Penning 衝突のみを考慮した場合は、レーザー上準位密度の故電流依存性を説明することができない。

主論文の要旨

報告番号	※甲第 117 海	氏名	林 正和
------	------------------	----	------

同様に、He (I) 準安定準位以外の He (I) 励起準位も Penning 衝突するとしても説明が困難である。他の励起過程として考えられるものは直接励起と Cd (II) 基底イオンからの階段励起がある。直接励起が支配的であるとした場合、上準位密度の放電の流依存性を説明するために、Cd の全電離断面積に相当する程度の断面積を仮定しなければならぬ。これに対し、Cd (II) 基底イオンからの階段励起は次の理由により、支配的な励起過程のうちの一つであると考えられる。

① Cd (II) 基底イオンの密度が大きい。② 励起の閾エネルギーが小さい。③ γ -コロン相互作用のため、衝突断面積が大きいと予想される。況に消滅過程を考える。従来は radiative decay のみが考慮されていた。しかし最近の報告によれば、電子衝突及び拡散等の non-radiative decay を考慮することが必要である。以上の考察から、レーザー上準位密度 n_2 について rate 方程式を立て、次式を得た。

$$n_2 = \frac{(n_T \overline{\sigma_{VT}} + n_S \overline{\sigma_{VS}}) N_{Cd} + n^e n_{Cd^+} + M_2}{A_{21} + D_{Cd^+} / (\Lambda^2 p / 2) + n^e \overline{\sigma_{Vde}}} \quad (1)$$

ここで、 n_T (n_S) 及び $\overline{\sigma_{VT}}$ ($\overline{\sigma_{VS}}$) ; He (I) 3重項 (1重項) 励起準位の密度の和、及び Penning 衝突の割合、 n^e ; 電子密度、 N_{Cd} ; Cd (II) 基底原子密度、 n_{Cd^+} ; Cd (II) 基底イオン密度、 M_2 ; Cd (II) 基底イオンからの励起割合、 A_{21} ; Cd (II) $4W6A$ の遷移確率、 D_{Cd^+} ; Cd^+ イオンの拡散係数、 Λ ; 拡散長、 p ; 封入 He 圧力、 $\overline{\sigma_{Vde}}$; 電子衝突による de-excitation の割合である。階段励起の断面積のエネルギー依存性は

主 論 文 の 要 旨

報告番号

※ 甲 第 1177 号

氏 名

林 正 和

Drawin の半実験式で表わせる n_1 の絶対値は、レーザ発振の最適条件下で (1) 式から計算した n_2 が測定値と一致するよりに決めた。また、電子のエネルギー分布関数は Boltzmann 方程式から得られたものを使用した。その結果、(1) 式により、 n_2 の変化をすべての実験条件下で統一的に説明できることが分かった。特に、継承は説明不可能であった放電 2 流依存性をも説明できることが分かった。

次にレーザ下準位の励起機構について述べる。この場合、励起過程として Penning 衝突、或いは直接励起が支配的であると仮定すると下準位密度の変化を定量的にさえ説明できない。他方、Cd(II) 基底ラオンからの階段励起の次の理由により支配的な励起過程であると考えられる。① F-ロン相互作用があること、及び光学的遷移が許されていることにより、衝突断面積が大きい。② Cd(II) 基底ラオンの密度が大きい。③ 励起の閾エネルギーが小さい。他方、消滅過程としては Cd(II) 2144 Å の遷移確率が非常に大きいため、non-radiative decay は radiative decay と比較して無視できると考えた。この時、rate 方程式から下準位密度 n_1 は次式で与えられる。

$$n_1 = \frac{n_e n_{Cd} + M_1}{\gamma_1 A_{10}} \quad (2)$$

ここで、 M_1 ; Cd(II) 基底ラオンからの階段励起の割合、 A_{10} ; Cd(II) 2144 Å の遷移確率、 γ_1 ; Cd(II) 2144 Å の trapping coefficient である。階段励起の断面積を上準位の場合

主論文の要旨

報告番号

※甲第1177号

氏名

森 正和

と同様にして仮定することにより、M₁の計算を行った。その結果、(2)式を用いて下準位密度の変化を統一的に説明できることが分かった。

陽光柱 He-Cd⁺レーザの励起機構について本研究で得られた結論を要約すると次の様である。レーザ上準位に対する励起過程としては Penning 衝突に加えて Cd(II)基底イオンからの階段励起が支配的であり、レーザ下準位に対しては Cd(II)基底イオンからの階段励起が支配的である。この結論は陽光柱 He-Cd⁺レーザに対して得られたものであるが、他の金属蒸気レーザに対する定量的な研究は今後の課題として残されている。