アルゴンレーザーの基礎

Fundamental of Argon Laser

久保 宇 市

Uichi KUBO

近畿大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Kinki University

1. はじめに

レーザー技術は急速に発展し、各種のレーザーが実現してきたがArレーザーはHe-Neに次いで可視域レーザーとして比較的早期に開発された(1964年)。

一般に、赤外域レーザー光は主に熱的效果を利用され、紫外域の光は照射対象との物理化学的效果が利用される。可視域レーザー光はこの中間に当り、レーザー光波長と照射対象との関係によって吸収性に特徴が現われ、例えば選択吸収特性などが生じる。

可視域レーザーとしてはHe-Ne($0.633\mu\text{m}$), Ruby($0.694\mu\text{m}$), Dye(Rh6G, $0.57\sim 0.61\mu\text{m}$), YAG(2nd harmonics, $0.53\mu\text{m}$), Cu vapor($0.51, 0.58\mu\text{m}$)などがある。これらの中で最も一般的なのはHe-Neレーザーであるが、発振出力が低く、特殊なものとして50mW級のものもあるが、数mWが普通である。したがって、発振出力がある程度要求され、しかも普及しているものとなればArレーザーが挙げられる。

2. 発振機構

Arレーザーは他の気体レーザーと同様に放電で励起される。He-Neレーザーの動作はNe中性原子におけるエネルギー準位間の遷移に基づくものであるが、Arレーザーは中性原子を電離

Fig.1. Argon laser mechanism by energy level.

し、Ar⁺イオンの状態を作り、このAr⁺イオンを更に励起して生じたイオン状態でのエネルギー準位間の遷移による発振である。Arレーザー発振の機構をエネルギー準位でFig. 1.に示した。

即ち、Ar中性原子(3P⁶)が電子衝突によって電離され、基底状態のイオン(3P⁵)がつくられる。この基底状態イオンは更に電子衝突によって上位準位(4P)へ励起される。4Pの下位準位(4S)は紫外線(720Å)の自然放射によって速やかに下位準位(3P⁵)へ遷移する。4S→3P⁵の遷移の時定数(τ₁)は3P⁵→4Sへの時定数(τ₂)より短いため4Sの占位イオン密度は小さく、4P-4S間に反転分布が生じ、レーザー遷移が起こる。

レーザー出力に關する4P準位の励起イオン密度*n*₄は3P⁵のイオンと電子との衝突による励起によって決まるので、基底状態のイオン密度(*n*_i)と電子密度(*n*_e)の積に比例する。したがって、次の關係が成り立つ。

$$N^2 = A n_i n_e \simeq A n_e^2 \propto i^2$$

但し、A：定数、*i*：放電電流密度

即ち、レーザー出力は放電電流の2乗に比例する。

3. 構造

Arレーザーは2～3mmφの細管中で大電流アーク放電(約30A)を行なわせるため大量の熱が発生するので、水冷装置を備えている。

また、熱による共振系のひずみに対しても、熱膨張の少ない材料を用いるなどの工夫が必要である。更に、大電流アーク放電プラズマ集束用として空心磁界コイルが放電管を包む形で配置されており、この空心コイルの発熱に対しても水冷を用いている。装置の概略をFig. 2. に示した。

放電管の構造が陰極部と陽極部は細管を経てつながっているため、大電流放電によって管内気圧が陰極部で高く、陽極部では低くなり、その結果、放電に不安定を生じる。これを防ぐため、陰極部と陽極部を結び、且つ放電を起こさない細管バイパスが設けられている。このバイパスには外部に細管を引き出し、放電を防ぐ長さにしたものと、管内をグラファイト板を多数重ね、中央に放電用の小孔を明け、バイパス用として中心より外れた位置で互いに違った場所に小孔を設ける方式とがある。

Fig. 2 Schematic diagram of Argon laser.

Ar レーザーの表現は他にアルゴンイオンレーザー，Ar⁺レーザー，A⁺レーザなどがある。

4. 発振波長および特徴

Arレーザーの発振波長は緑、青を中心とした可視光で4W級の発振特性の詳細を次に示した。

0.5145	μm	1600	mW
0.5017	μm	250	mW
0.4965	μm	450	mW
0.4880	μm	1400	mW
0.4765	μm	500	mW
0.4727	μm	180	mW *
0.4658	μm	100	mW *
0.4579	μm	180	mW

共振系の反射側に波長選択用プリズムを用いると、単一波長発振を行なわせることができる。この場合、最大の出力を示すのが0.5145μm(緑)で、次いで0.4880μm(青)で他の波長では出力がこれらの半分以下になる。放電電流が低く、発振出力の小さい場合は0.4880μmの方が0.5145μmより発振し易く、出力も大きい。励起電流を増すに従って、両波長の発振出力が逆転し、0.5145μmの方が強くなる。全波長反射ミラーを用いると6本(*印の発振線を除く)の発振線が同時に発振し、約4Wの出力が得られる。出力安定化の手段として、発振出力を光検出器でモニターし、出力光強度の変動に応じてレーザー管の放電電流を変化させるよう電源にフィードバックをかけ、出力光が一定になるよう放電電流を制御するものがある。また、放電を長時間行なうと管内のアルゴンガスが減少し、レーザー発振に異常を生じる。これを防ぐため、アルゴンガス補給機構が附加されている。

Arレーザーは前述のごとく、Ar原子をイオン化し、更に励起することが必要なため、励起に可成りの電力を要するので、発振効率は0.1%以下である。したがって、一般に、最大出力は数W程度のものが多い。最近、輸入品では20W、更に40Wの特殊なものも見られる。一方、可搬形として空冷方式の小形Arレーザーも出現している。しかし、出力は小さく、数mWから20数mW程度である。