

最近の技術から

レーザー波長の可変化技術

前田 三男

九州大学工学部 〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1

1. ま え が き

どんなレーザーでも、その利得バンド幅内では可変波長性をもつ。一般に可変波長レーザーと呼ばれているのは、その中で利得バンド幅が著しく大きいものであり、色素レーザー、アレキサンドライトなどの固体レーザー、色中心レーザー、半導体レーザーがよく知られている。気体レーザーのなかではエキシマーレーザーも広いバンド幅をもっている。

これらのレーザーの発振スペクトル幅は、その利得バンドが広いためにひろがりやすい。したがって、可変波長技術は常にスペクトル純化の技術と同時に論じなければならぬ。以下はスペクトル制御技術が最も高い水準にある色素レーザーを中心に話を進めるが、その技術は他の可変波長レーザーにも適用できるであろう。

2. 波長可変型共振器

色素レーザーの発振波長は色素の濃度や色素セルの長さ、共振器のQ値などで変化することが知られている¹⁾。半導体レーザーでは組成や温度によって変わる。しかし一般的には、共振器中に波長選択性をもった一種のバンドパスフィルターを挿入して、同調を行なう。それによって、スペクトルの純化も起きる。

得られるレーザー光のスペクトル幅は、同調素子の単一通過バンド幅より狭い(通常1/10~1/100)。これは共振器内で光が往復する効果であるから、ナノ秒オーダーの短パルスレーザーより、CWレーザーのほうがより著しい。

レーザー媒質のスペクトルの拡がり均一であれば、狭帯域化によってエネルギーの損失は生じない。しかし現実には、素子の挿入によってある程度の出力低下は避けられないから、使用しているレーザーの利得、必要なスペクトル幅および出力の兼ね合いで素子を選ばなければならない。

表1に代表的な同調素子とその特徴をまとめた。この

ほか、活性媒質の内部に回折格子を焼きこんで、選択帰還をかけるDFB(分布帰還)方式が半導体レーザーに広く使われるようになった。

なお、レーザー媒質のスペクトル拡がり不均一があると、狭帯域化が妨げられる。スペクトル拡がり均一であってもファブリ・ペロー型共振器では、定在波による空間的ホールバーニングが、そのような事態を引き起こす。これはリング形共振器を用いて一方向の進行波のみを存在させれば避けられるが、4章で述べるように、単一モードCW色素レーザーの場合にたいへん効果的である。

3. 回折格子による波長同調

回折格子は挿入損失が大きいけれども、分散が大きいので、単一の素子で著しい狭帯域化ができる。そのためエキシマーやNd:YAGレーザー励起色素レーザーのように、利得の大きいレーザーの同調に広く使われている。

図1に、現在パルス色素レーザーによく使われている二つの共振器構成を示す。(a)はHänsch型といわれ、倍率の高い(×30程度)ビーム拡大器をリトロ配置の回折格子と組み合わせたものである²⁾。ビーム拡大器には長さが短くてすむプリズム式のものも開発されている。それに対し(b)は、斜入射型あるいはLittman型とよばれ、89°以上の大きな入射角に回折格子を配置し、同調は平面鏡Mでとる^{3,4)}。前者にくらべ調整が容易で、共振器長が短くてすむ利点がある。1,200本/mm程度の平面回折格子を使った場合、スペクトル幅はどちらのタイプでもローダミン6Gで0.2~0.5cm⁻¹程度である。スペクトル幅は、前者の場合はビーム拡大率を大きくするほど、後者では入射角を90°に近づけるほど狭くなるが、挿入損失は増大する。

4. スペクトルの単一モード化と高出力化

図1の方法で安定した単一縦モード発振を得るには、

表 1 代表的な波長同調素子とその特徴

素子	特徴と欠点
回折格子	分散大, 挿入損失が比較的大, 光学的損傷に弱い
プリズム	分散小, 光学的損傷に強い, 挿入損失小
複屈折フィルター	挿入損失小(ブルースター角), バンド幅広い, フィネス小
干渉フィルター	安価, バンド幅広い, 粗調整向き
エタロン	バンド幅狭い, 微調整向き, フィネス, 温度係数大

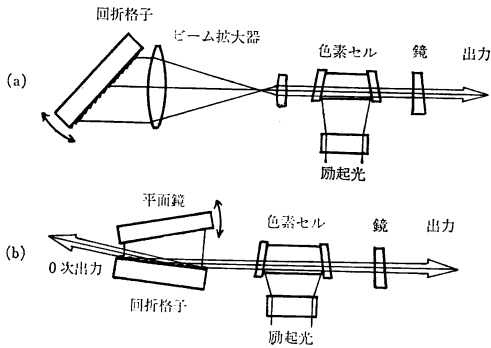


図 1 高利得短パルス色素レーザーの共振器構成 (a) Hänsch 型, (b) Littman 型

厚さ 5 mm 程度のエタロンを追加する必要がある。このようにエタロンは波長の微調整にたいへん有力な素子である。通常、フィネスが 5~30 程度のソリッド型またはエアーギャップ型のエタロンが、同調素子として使われている。その厚さは自由スペクトル間隔 (free spectral range) に反比例するから、となりのラインが発振しない範囲で、できるだけ厚くしたほうが分解能がよい。

単一モード発振では同調時にいわゆるモードの跳び (mode hopping) が起こる。単一モードでなめらかな同調を得るには、同調素子の動きと連動して、共振器長も変化させねばならない。短パルス色素レーザーの場合、単一モードといってもスペクトル安定度を 100 MHz 以下にするのは困難である。したがって、超高分解能分光などの用途には CW 色素レーザーが使われることになる。

図 2 は単一モード CW 色素レーザーの典型的な構成である⁵⁾。リング形共振器が使われ、複屈折フィルターと 2 枚のエタロンで単一モード化している。フリーラン

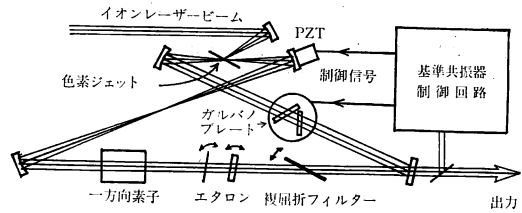


図 2 リング形単一モード周波数安定化 CW 色素レーザーの共振器

ニング時のスペクトルは主に色素流のゆらぎによって 20 MHz 程度 (数秒間の rms 値) の幅をもつ。周波数安定化によってこの幅を 1 MHz 以下にすることができるが、周波数安定化については別報⁶⁾において取り扱われるのでここでは触れない。

高出力のパルス色素レーザーの場合、出力を大きくするために励起を強めるとスペクトル幅が広がったり、同調素子が損傷する問題が起こる。これをさけるには、利得の高いパルスレーザー励起では増幅段をつけるのが普通である⁷⁾。それによってコヒーレンスを損なうことなく高出力化できる。しかし、増幅段を重ねると、今度は利得が上がりすぎて、ASE (amplified spontaneous emission) の発生が問題になってくる。

大きな活性体積をもつフラッシュランプ励起色素レーザーやエキシマーレーザーの場合には、注入同期 (injection locking) 法がある。とくに不安定共振器を併用すると有効であるとされている。

文 献

- 1) 前田三男: "レーザーと分光学—液体レーザー", 分光研究, 29 (1980) 279.
- 2) T. W. Hänsch: "Repeatively pulsed tunable dye laser for high resolution spectroscopy," Appl. Opt., 11 (1972) 895.
- 3) I. Shoshan, N. N. Danon and U. P. Oppenheim: "Narrowband operation of a pulsed dye laser without intracavity beam expansion," J. Appl. Phys., 48 (1977) 4495.
- 4) M. G. Littman and H. J. Metcalf: "Spectrally narrow pulsed dye laser without beam expander," Appl. Opt. Commun., 17 (1978) 2224.
- 5) Spectra-Physics 社カタログ.
- 6) 盛永篤郎: "位相安定レーザーの実現," 光学, 16 (1987) 380-386.
- 7) R. Wallenstein and H. Zacharias: "High power narrowband pulsed dye laser oscillator-amplifier-system," Opt. Commun., 32 (1980) 429.

(1987年4月27日受理)