

He-I₂ レーザの色別順次発振

西 脇 彰*

A Sequential Separate Multi-colour Output Operation of a He-I₂ Laser

Akira NISHIWAKI*

(Received September 16, 1978)

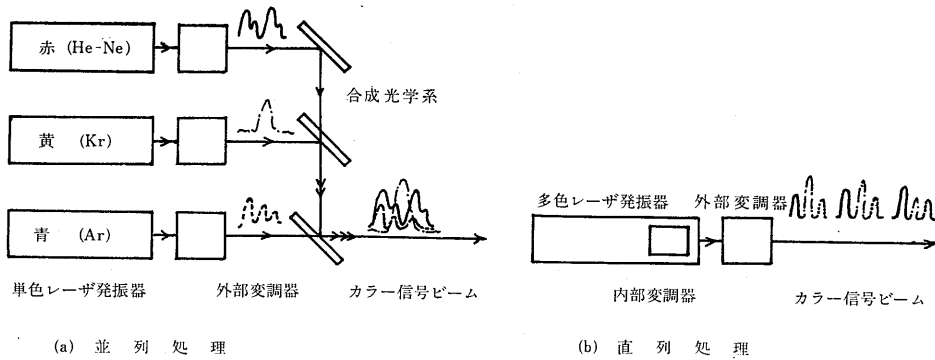
In a positive-column He-I₂ discharge of cataphoresis-type, CW laser oscillation in singly ionized iodine for nine lines extending from 540 nm to 880 nm has been observed¹⁾. The laser is useful as a light source of a colour signal procession. In a conventional colour signal procession three primary colours are superposed simultaneously. However an alternative colour signal procession may be introduced by treating separate colour signals time-sequentially. For this purpose we tried to operate a He-I₂ laser in a sequential separate colour oscillation. The operation was performed by modulating the laser internally with a rotating etalon plate. We intend to apply this laser as a quick measurement apparatus for multi-colour reflection coefficients.

1. はじめに

He と金属蒸気の放電を利用した、金属イオンレーザといわれるレーザは、同時に幾本もの波長で発振できる。中でも、He-Se²⁾、ホーローカソード放電によるHe-Cd³⁾、He-I₂¹⁾などの金属イオンレーザは、青から赤にわたって幾本も発振線をもち、3原色を単一のレーザ発振器からとり出すことができる。このため、これらのレーザを、カラー信号処理装置の光源として応用することは興味のあるところである。レーザを光源としたカラー信号処理装置の典型的なものは、カラーテレビジョンディスプレイであろう。この場合、色合成能力、雑音特性、安定性などから、赤をHe-Neレーザから、黄をKrイオンレーザから、青をArイオンレーザからそれぞれとり出して用いるのが適当であるとされている⁴⁾。これは、第1図(a)のように、複数のレーザ発振器から分光して選り出した原色成分光源を並列して置き、各々独立した外部変調器で強度変調をかけ、ハーフミラー系で合成し1本のカラー信号ビームをつくる方法である。3原

色の合成、カラー信号内の原色成分などが、並列的に処理される特徴がある。このため、処理装置の要素数が多くなり、安定性に対する要求もきびしくなる。並列的なカラー信号処理に対して、直列的な信号処理というのが考えられるのではなからうか。第1図(b)のような構成で、光源には上述の1本の多色発振レーザを用いるものである。このレーザ出力は、時間的に直列に、きまった順序で高速で繰り返す3原色パルスとなっている。これをカラー信号処理のキャリアビームとして、次に置かれた1個の外部変調器で各色のパルスを同期して強度変調しカラー信号ビームをつくる。ただし、この場合、時間的に分離した3原色パルスによってつくられた“色”が、並列的に合成された従来の“色”と、人間の視覚に同じ効果をもたらすかどうかは、くわしく調べてみなくてはならぬ重要な問題点であるが、電子管式カラーテレビジョンから類推して原理的な困難は考えられない。時間的に直列な3原色パルスで行うカラー信号処理方式では、必要な要素数は少なくなり、デジタル的な処理も容易となる。

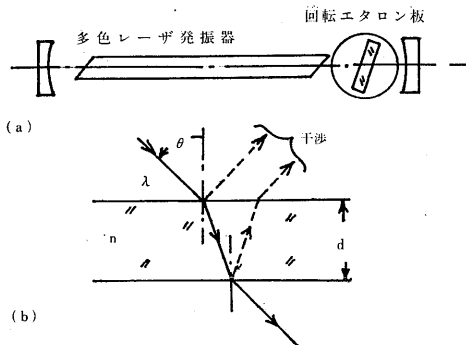
*電子工学科 (Department of Electronic Engineering)



第1図 カラー信号処理構成の比較

2. 系の構成

多色同時に発振できるレーザから色別に発振を起させるには、波長に依存する損失を共振器内にもちこんで、外部信号により損失を振幅変調することによって可能となる。その1つの方法は、第2図(a)に示したような、エタロン板による内部変調である。レーザ共振器内に、そ



第2図 回転エタロン板による波長選択多色レーザの構成

の光軸に対し直角から少し外した傾き角でエタロン板を挿入し、さらに傾き角を微小振動する機構を加える。エタロン板の面法線とレーザ共振器の光軸との成す角を θ とすると、第2図(b)に示すように、エタロン面で反射が起り、同じ方向に向う反射光は互いに干渉する。関係する光の波長を λ 、エタロン板の厚さを d 、その屈折率を n とすると、次の式を満たすとき反射損失を非常に小さくすることができる。

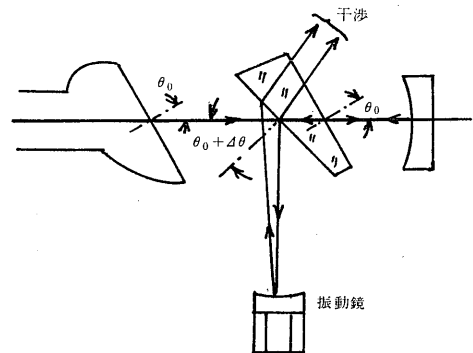
$$2nd\{1 - \theta^2 / (2n^2)\} = m\lambda. \quad (1)$$

ただし m は整数、 θ は小さいとする。傾き角がわずかわって、 $m \rightarrow m+1$ となる角度を θ' とすると、(1)式より、

$$(\theta - \theta') / 2 = (\lambda / 2) / [2d\{(\theta + \theta') / 2\} / n]. \quad (2)$$

(2)式の $2d\{(\theta + \theta') / 2\} / n$ という量は、エタロン面前後面反射の、干渉しあう光線の位置ずれをあらわしている。もし $(\theta + \theta') / 2 \approx 30 \text{ mrad}$ ぐらいのときには、 $d = 5 \text{ mm}$ 、

$n = 1.49$ として約 $200 \mu\text{m}$ となる。この大きさは、普通のレーザのスポットサイズにくらべ小さいので、上述の干渉は効果的に生ずるはずである。また(2)式からいえることは、 $(\theta + \theta') / 2 \approx 30 \text{ mrad}$ 付近で、とりうる最大波長を $\lambda = 800 \text{ nm}$ としても、 $(\theta - \theta') / 2 \approx \pm 2 \text{ mrad}$ となる。これは、エタロン板を約 30 mrad 光軸垂直より傾けたところで、さらに 2 mrad 程度の振幅でゆすってやれば、その1サイクル毎に、色の順序の決ったレーザ発振が可能であることを示している。この方法の問題点は、エタロン板の振動をどうやって高速まで行うことができるかということになるであろう。カラー信号処理の立場からは少なくとも $\text{KHz} \sim 10 \text{ KHz}$ オーダーの色順次発振が行われないと、興味ある応用に適さなくなるからである。



第3図 ブリュースター角近くのビームスプリッターと振動鏡による干渉変調波長選択

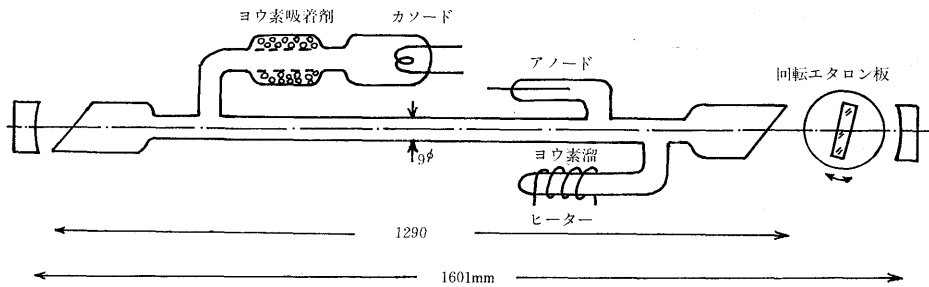
もう1つ別の同じような変調法は、第3図に示した構成をもつものである。先のように平行板のエタロン板でなく、わずかの角度 $\Delta\theta$ の楔状のガラス板を、一方の面は光軸に対しちょうどブリュースター角になるように共振器の間に挿入する。ブリュースター角からわずか $\Delta\theta$ だけはずれた面に入射する光のエネルギー反射率 R は近似的に

$$R \approx (n^2 - 1)^2 \cdot (\Delta\theta)^2 / 4n^2. \quad (3)$$

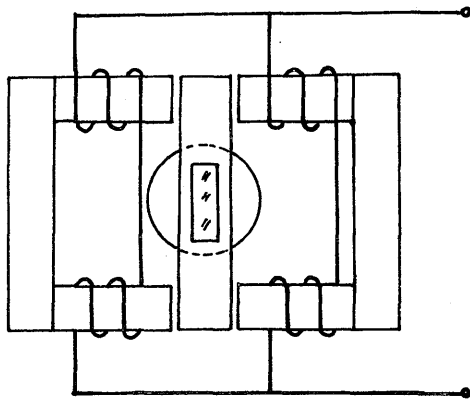
とあらわされる。数値例としては、 $n=1.49$ 、ブリュスター角 $\theta_0=56.2^\circ$ から 10° 外して共振器に挿入したとすると、(3)式からおよそ 1% の反射損失が生ずることになる。楔の角度を $4.5^\circ=10^\circ/n^2$ とすると、一方の面をブリュスター角にしておいて、もう一方の面に 1% の反射損失を、共振器内にもちこむことができる。このオーダーの損失は、ガスレーザの利得と比較しうるものであり、第 3 図のような構成をとることにより、干渉変調波長選択が可能と思われる。

3. 測定

実験には、多色レーザとして He-I₂ レーザを使った。



第 4 図 実験に使用した He-I₂ レーザ



第 5 図 エタロン板回転振動駆動機構

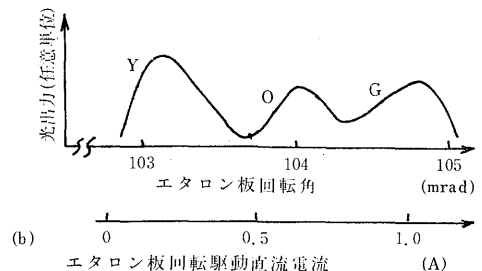
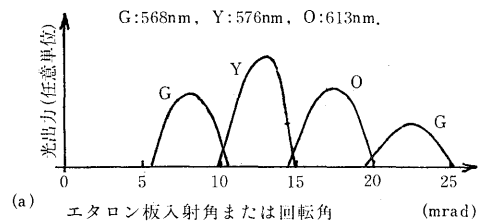
このレーザの発振線は第 1 表に示す。可視光で、利得が大きく実験しやすいのは、緑、黄、橙の 3 本である。用いたレーザの概要は第 4 図のようなもので、その共振器内に、熔融石英 $n=1.49$ 、厚み 2mm のエタロン板を挿入した。このエタロン板をはじめ回転角を微調できるマウントにとりつけられ、静特性を測定されるが、動特性は、第 5 図に示すような、交流磁石による吸引を利用した回転振動駆動装置で測定された。ただし、動特性とはいうものの、この駆動装置では、60Hz の応答しか測定できなかった。これは改良中である。

静特性の測定は、回転角を微少に読みとれるマイクロ

第 1 表 He-I₂ レーザの発振線と相対強度¹⁾

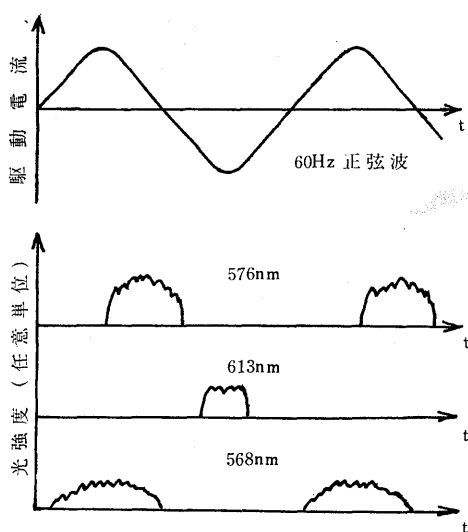
波長(nm)	相対強度	本実験の使用発振線
540.7	1	○ (緑)
567.8	6	○ (黄)
576.1	17	○ (橙)
612.7	11	○ (赤)
658.5	6	
703.3	1	
761.8	1>	
817.0	12	
880.4	7	

メータヘッドのついたマウントにより角度を読み、出力を、肉眼で色を確認しつつ、光電子増倍管で光電測光し

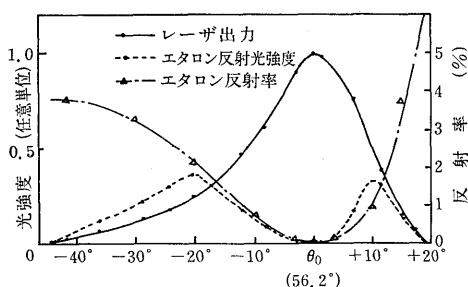


第 6 図 エタロン板回転角による波長選択静特性

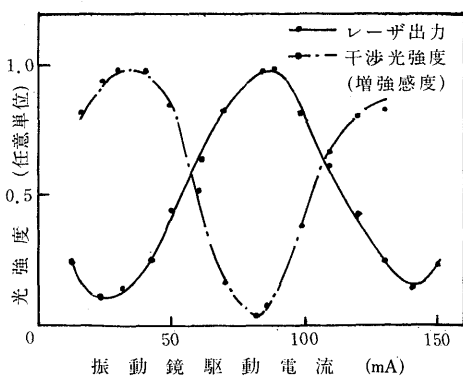
た。第 6 図は、そのような静特性であり、(a)は光軸に対しエタロン板が垂直に近い場合、(b)はかなり傾いたときで、わずかの回転で 3 色が比較的是っきりと切り替わるところを示している。レーザ軸に対しエタロンを 104mrad だけ静的に前もって傾けておき、これを中心にして、第



第7図 回転振動エタロン板による
波長選択低周波特性



第8図 ブリュースター角付近でのエタロン板の影響



第9図 干渉変調特性

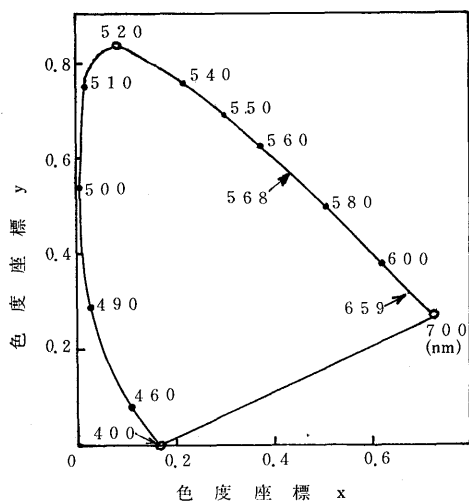
5図で示した振動機構で振動させると、第7図のような色別に順次発振するパルスの列をつくることができる。

もうひとつの波長選択変調法は、単一の波長についてその可能性をしらべる測定を行うにとどまった。この測

定は、扱いやすいHe-Neレーザ、633nmについて行った。第8図は、ブリュースター角付近で、エタロン板を回転させ、反射率、レーザ出力、反射光強度などを測定したものである。楔の角度を決めるための資料となる。第3図に示した構成をつくり、振動鏡として電流掃引型のムービングコイルに鏡をはりつけたもので、干渉の位相調整を行った。第9図は、干渉しあう反射光の干渉強度と、レーザ発振出力とを測定したもので、反射光が干渉しあって暗くなるとき、反射損失は小さくなり、レーザ出力は極大となることを示している。干渉の光路差は波長の函数となるので、極大の位置は波長によって異なり、波長選択が可能となる。

4. 検討

カラー信号処理を追求するのであれば、カラーテレビジョンの画像をつくるころまで、スピードアップをはからなくてはならないのではあるが、今回の実験では、準静的な測定しか行えなかった。現在、ピエゾ素子をつかった KHz オーダーの速度をもつ回転振動装置を開発しつつある。しかしこれでもまだ十分でなく、もっと速い波長選択損失変調の方法を開発してゆかなくてはならない。また使用した多色レーザとしてのHe-I₂金属蒸気イオンレーザは、天然色再現としては第10図からもわか



第10図 標準CIE色度図

るように最適のものとはいいい難い。しかし、直列方式のカラー信号処理の基本的な特性を確かめるには、このレーザで十分であろうと思われる。

今後の課題としては、より速い変調を行うこと、色再現のすぐれた光源で測定すること、直列方式の良さを定量的に把握することなどが考えられる。

おわりに、本稿をまとめるにあたり、日頃御指導給わっている、中部工業大学特任教授、金原淳先生、名古屋大学工学部教授、服部秀三先生に、心からの感謝の意を申し上げます。また、本学研究生、坪田省吾氏には、測定などで負うところが多い。

参 考 文 献

- 1) H. Kano, T. Goto, and S. Hattori ; J. Phys. Soc. Japan, vol. 38, p. 586, 1975. および服部秀三 ; 応用物理, vol. 40, pp. 1113—1121, 1971.
- 2) W. T. Silfvast et al. ; Appl. Phys. Letters, vol. 17, pp. 400—403, 1973.
- 3) K. Fujii et al., IEEE. J. QE, vol. QE-11, pp. 111—114, 1975.
- 4) 種田ら ; テレビジョン, vol. 29, pp. 117—123, 1975. および山本ら ; テレビジョン, vol. 29, pp. 124—129, 1975.
- 5) 西脇 彰, 服部秀三 ; 電子通信学会技術研究報告光量エレ研究会, OQE77-11。および西脇 彰, 坪田省吾, 服部秀三 ; 昭和53年度電気関係学会東海支部連合大会予稿。