

最新の技術から

2モード安定化 He-Ne レーザー

大田 建久*・村上 文夫**

* 同志社大学工学部電子工学科 〒602 京都市上京区今出川通烏丸東入

** 日本無線(株)研究所 〒356 上福岡市福岡 2-1-4

1. はじめに

Balhorn らにより提案された2モードで発振する内部鏡 He-Ne レーザーの安定化法¹⁾は、信頼性が高く低価格で入手できる市販のレーザーに容易に適用できる。この方式を用いた2モード安定化 He-Ne レーザーは、波長標準のひとつとなっている沃素安定化 He-Ne レーザーに比べて波長精度、長期安定度の面で劣るもの^{*1}、比較的高出力(～1 mW)で無変調の出力光が得られるため、干渉計測用の光源等に広く使われている。本稿では、著者らが開発したマイクロプロセッサ制御による2モード安定化 He-Ne レーザー³⁾と、それを用いた沃素分子の飽和分光⁴⁾を中心に紹介する。

2. 2モード安定化 He-Ne レーザー³⁾

内部鏡 He-Ne レーザーは、共振器の異方性と利得の空間ホールバーニング効果によって、隣接する軸モードは互いに直交する直線偏光で発振する。これら二つの偏光成分を偏光ビームスプリッター等で分離すると、それぞれの光強度(I_s, I_p とする)は、共振器長の変化、したがって各モードの波長変化に伴って変動する。このモード離調特性は、ネオンの同位元素²⁰Neと²²Neの含有比^{*2}、軸モード間隔、相対励起、管内全圧力、HeとNeの分圧比、共振器の異方性等に依存する。

図1(a)に、本装置で用いているレーザー管(Uniphase社1103H, 公称軸モード間隔730 MHz, ²⁰Ne:²²Ne=1:1)のモード離調特性を示す。本レーザー管は、ほぼ全領域で2モードで発振している。ここで前記 I_s, I_p の差をとり、さらにレーザー出力の変動の影響を

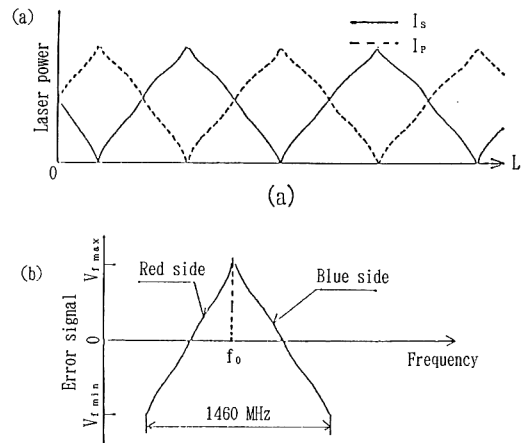


図1 (a) モード離調特性, (b) 誤差信号

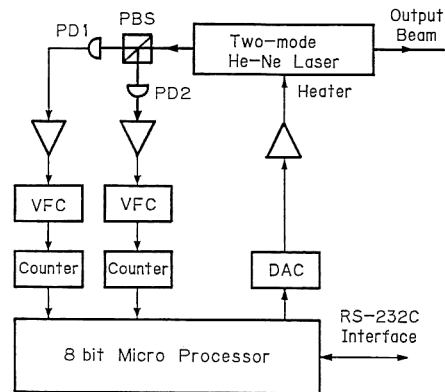


図2 2モード安定化 He-Ne レーザーブロック図

除去するため、これで除した量 $(I_s - I_p)/(I_s + I_p)$ を誤差信号とする。誤差信号の離調特性は図1(b)に示すように三角形に近い特性を呈し、発振範囲のほぼ全域での周波数安定化が可能である。このような特性が得られるのは、同位元素効果により、軸モード間の競合が緩和されるためである。

図2に装置のブロック図を示す。検出された I_s, I_p 成

^{*1} Niebauer ら²⁾は、著者らのものと同タイプのレーザー管を用いた2モード安定化レーザーを構成し、その波長精度と長期安定度を沃素安定化 He-Ne レーザーを基準として詳細に評価している。

^{*2} ²⁰Neと²²Neの自然状態での存在比は約91:9であり、また633 nmにおける²²Neの遷移周波数は²⁰Neのそれより875 MHz高い。

分を V/F コンバータとカウンタにより A/D 変換後、誤差信号を算出、これが所定の設定値と一致するようレーザー管に巻かれたヒーターの電流値を操作する。またレーザー管を包む金属ケースは、ペルチェ素子により温度制御されている。これらの制御演算は 8 ビット・マイクロプロセッサにより処理されている。本装置 2 台のビート周波数測定による評価では、0.25~250 s の領域で 10^{-10} よりも高い安定度が得られている。

3. 沃素分子の飽和分光⁴⁾

2 モード安定化 He-Ne レーザーの波長確度、長期安定度は、それがモード離調特性に依存するため、 10^{-8} のオーダーにとどまる²⁾。そこで、その周波数設定値を制御して、沃素の飽和吸収スペクトルに安定化すれば、波長確度、長期安定度の面で大幅な改善が期待できる。この方式を実現する第一段階として、2 モード安定化 He-Ne レーザーによる沃素分子の飽和吸収スペクトルの検出を試みた。飽和吸収を起こさせるのに十分なパワーが得られるよう沃素セルはリング共振器内に設置し、吸収スペクトル検出には FM 分光法を用いた。検出された沃素の吸収スペクトルを図 3 に示す。P(33) 線は、周波数安定化に用いるのに十分な信号強度が得られている。

4. 今後の課題

著者らの開発した 2 モード安定化レーザーは、ヒーターによるレーザー管長の熱膨張を利用して周波数操作を行っているため、応答速度に限界がある。前項で述べた方法に加えて、放電電流や外部光変調器によって高速で周波数操作を行い、高フィネスのファブリ・ペロー共振器を基準として周波数雑音の抑圧を行えば⁵⁾、高確度かつ超高コヒーレントなレーザーが比較的容易に実現できると思われる。

また、2 モード安定化 He-Ne レーザー独自の特徴を生かした応用として、軸モード間のビート変調波を用いた測距法⁶⁾が提案されているが、2 本の軸モード光を用いた光ヘテロダイン計測も可能であり、特に大きな差周波数 (~700 MHz) が必要な場合に有用であろう。

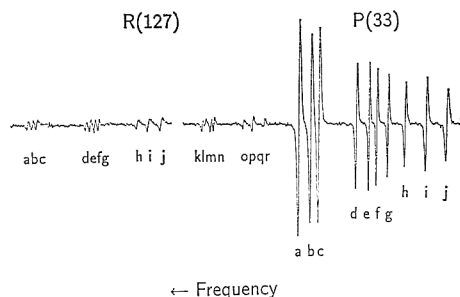


図 3 沃素分子飽和吸収スペクトル

5. ま と め

2 モード安定化 He-Ne レーザーは、信頼性が高く低価格で入手できる市販のレーザー管が使えるため、簡易型の安定化レーザーとして広く使われている。また出力光が無変調であるのも応用上大きな魅力である。本稿で示唆したような沃素飽和吸収スペクトルへの安定化や、高コヒーレント化が可能になれば、さらに高度な応用分野にも適用されていくものと期待される。

文 献

- 1) R. Balhorn, H. Kunzmann and F. Lebowsky: "Frequency stabilization of internal-mirror helium-neon lasers," *Appl. Opt.*, **11** (1972) 742-744.
- 2) T.M. Niebauer, J.E. Faller, H.M. Godwin, J.L. Hall and R.L. Barger: "Frequency stability measurements on polarization-stabilized He-Ne lasers," *Appl. Opt.*, **27** (1988) 1285-1289.
- 3) 田中義人, 大田建久, 一ノ瀬琢美, 村上文夫: "マイクロプロセッサ制御による内部鏡 He-Ne レーザーの周波数安定化 (II)", *レーザー研究*, **20** (1992) 392-397.
- 4) F. Murakami, K. Narumi and T. Ohta: "Internal-mirror He-Ne laser stabilized to saturated absorption of iodine in an external ring resonator," *SPIE Proc.*, **1837-09** (1992).
- 5) C. Salomon, D. Hils and J. Hall: "Laser stabilization at the millihertz level," *J. Opt. Soc. Am. B*, **5** (1988) 1576-1587.
- 6) K. Seta and T. O'ishi: "Distance meter utilizing the intermode beat of a He-Ne laser," *Appl. Opt.*, **29** (1990) 354-359.

(1993年1月29日受理)