

最近の技術から

He-Ne レーザーの多波長化

秋元 義明・岩崎 茂雄

計量研究所 〒305 茨城県新治郡桜村梅園 1-1-4

1. はじめに

He-Ne レーザーは、安定性に優れコヒーレンスがよいため計測用光源として活用されている。たとえば、633 nm や 3.39 μm He-Ne レーザーは、I₂ や CH₄ 分子の飽和吸収スペクトル線に安定化され、長さ／光周波数標準として活用されている。また、これまでと異なる応用分野からの要請により新しい発振線の商品化にも力が注ぎれている。たとえば、最近商品化された 543 nm の緑色レーザー¹⁾や、1.52 μm のレーザー²⁾は、その代表的な例である。とくに 1.52 μm He-Ne レーザーは光ファイバの性能試験に用いられているのが実情のようである。レーザーの多波長化には、目的とする複数本の発振線を同時に発振させたり、あるいは順次発振させたりすることが含まれるであろう。この解説では、計量研究所で計測用光源として開発中の可視域と赤外域の He-Ne レーザーの多波長化を中心に紹介する。

2. 可視域の He-Ne レーザー

表 1 は、これまでに商品化されたり研究・開発途上の He-Ne レーザーの発振波長と、Ne の遷移レベル、1 m 当たりの利得、出力および共振器長などを示す。表から明らかなように、実用に供している可視域のレーザー線は、上準位がすべて共通で競合状態にある。したがって遷移確率が最も高い 633 nm が発振することに伴い、他の 3 本の発振線は抑圧され発振しにくくなる傾向にある。よって、1 台のレーザー装置を用いて順次発振を実現するためには、目的とする波長に対し発振条件が満たされるように共振器を構成するとともに、それらの発振線に対し利得が十分得られるように波長選択すればよい。その一例として、共振器をレーザー反射鏡と波長選択用のプリズムで構成する方法がある。この方法は、プリズムを共振器内に配置するため、共振器内での損失が増加し目的の発振線が得にくくなる。このため、共振器内での損失を最少に抑えるために、次のようなことがなされている。(1) 波長選択プリズムの頂角は、プリズムへ

の入射とプリズムから出射する両光束に対してブリュースター角になるよう決められる。これをブリュースタープリズムという。(2) レーザー反射鏡の反射率は、目的の発振波長範囲内で最大になるようにする。たとえば、表 1 に挙げた 633 nm 以外の可視域の発振線を得るためにには、目的の発振波長に対しレーザー反射鏡の反射率を可能な限り大きくしたほうがよい。(3) 波長が 633 nm 以外の発振線の利得は Faust らが計算した相対出力³⁾から推定すると 0.8% 以下と低いので、ある程度レーザー管を長く設計すべきである。

図 1 は、可視域において多波長化を目指し設計・試作された多波長レーザー共振器の一例である⁵⁾。実験に用いたレーザー管は、633 nm の発振線に対し 5 mW の出力が得られたものである。2 枚のレーザー反射鏡 M は曲率半径 1.5 m、反射率は 590 nm から 650 nm の波長域でほぼ 100% になるように製作され、レーザー出力は 0.023% 程度の透過光として検出された。ブリュースタープリズムは、溶融石英製で頂角が約 69° である。波長選択は、ブリュースタープリズムとレーザー反射鏡が一体構造で設計されているホルダーを、光軸に対し回転させることにより実現される。この実験では、594, 604, 612, 629, 633, 635 および 640 nm の合計 7 本のレーザー線をそれぞれ单一波長で順次発振させることができた。これらの発振線のうち比較的の発振出力の大きい 612, 633 および 640 nm の出力を表 1 に示す。

主題から離れるが最近市販され始めた 543 nm の緑色のレーザーは、0.5 mW の出力が得られている⁴⁾。しかし、開発直後の製品であるため寿命の点で問題を抱えているようである。543 nm のレーザー線は、水中での伝送損失が少ないために海洋通信などの光源として注目されているだけでなく、高品位レーザービデオディスクの光源としても注目され始めている。

3. 赤外域の He-Ne レーザー

赤外域で試みられた He-Ne レーザーの多波長化の最近の例として、差分吸収方式でメタンを検出するために

表 1 これまでに実用化されたり、研究・開発途上の He-Ne レーザーの発振波長、レーザー遷移、利得、出力および共振器の条件

発振波長	レーザー遷移	利得(%)	出力 (mW)	共 振 器
543 nm	3s ₂ -2p ₁₀	—	0.5	内部鏡 34 cm
612 nm	3s ₂ -2p ₆	—	0.14	図 1 参照
633 nm	3s ₂ -2p ₄	2	0.62	図 1 参照
640 nm	3s ₂ -2p ₂	0.8	0.26	図 1 参照
1.15 μm	2s ₂ -2p ₄	12	1	内部鏡 32 cm
1.52 μm	2s ₂ -2p ₁	6	0.8	外部鏡 68 cm
3.39 μm	3s ₂ -3p ₄	1×10 ⁵	1	内部鏡 33 cm
7.70 μm	3p ₄ -3s ₁ ''	—	0.4	図 2 参照

開発された 3.391 μm と 3.392 μm の 2 波長同時発振レーザーがある⁶⁾。3.392 μm の発振線は利得が 30 dB/m もあるため 1.15 μm や 1.52 μm のレーザーを製作する際、同時発振し目的のレーザー発振を妨害することが多く、厄介者扱いにされていることがある。この利得の高い 3.392 μm の発振線との間でカスケード発振する 7.70 μm の単一波長化、2 波長同時発振化およびカスケード発振に伴う 7.70 μm 線の出力増加特性⁷⁾について紹介する。レーザー共振器の構成図は、図 2 に示す。共振器は、7.70 μm の発振線に対し反射率 95% のレーザー反射鏡 M1 と回折格子 G で構成し、それらは 162 cm の間隔で配置されている。ブレーブ波長 8.3 μm、溝数 120 本/mm の回折格子は、3.39 μm と 7.70 μm の 2 波長同時発振を目指し、7.70 μm の発振線に対しリトロ一型式に配置した。一方、3.39 μm の共振器は、レーザー反射鏡 M1 と回折格子 G、それにアルミ蒸着の全反

射鏡 M2 で構成し、その光路長は 174 cm にしてある。実験に用いられた回折格子は 3.39 μm の発振線に対し回折損失が 70% 以上と大きい。よって、3.39 μm の出力効率を上げるために回折損失が 23% と比較的小さい 3.39 μm の 2 次回折光が用いられた。レーザー管は、有効放電長 80 cm、内径 8 mm の放電管の両端に ZeSe のブリュースタ窓が取り付けてある。レーザー媒質は、封入圧力 200 Pa の混合気体 (³He : ²⁰Ne = 7 : 1) である。

図 2 の回折格子 G に替えて透過率 5% のレーザー反射鏡を取り付けることにより、7.47 μm から 8.06 μm の波長領域で 7 本と 3.392 μm の合計 8 本の発振線が同時発振状態で観測された。これらの発振線のなかで 3.392 μm と 7.70 μm のレーザー出力は、それぞれ約 5.4 mW と 2.4 mW であった。3.39 μm と 7.70 μm の発振線に対し回折格子をリトロ一型式に配置して行なった両発振線の單一波長化の実験では、それらの出力は回折損失のためにそれぞれ 1.5 mW と 410 μW と減少する。カスケード発振に伴う 7.70 μm 線の出力特性の測定は、レーザー共振器を図 2 のように構成し 7.70 μm と 3.39 μm の 2 波長同時発振状態で行なわれた。3.39 μm のレーザー出力 $P_{3.39}$ の調整は、シャッタの角度を変えながら行なった。3.39 μm のレーザー出力を変数に測定されたカスケード効率 $P_{7.70}/P_{3.39}$ は、63% になる。したがって、7.70 μm の単一発振時の出力を P_0 とすると 7.70 μm と 3.39 μm 線の同時発振状態における 7.70 μm 線のレーザー出力 $P_{7.70}$ は

$$P_{7.70} = P_0 + 0.68 \times P_{3.39} \quad [\mu\text{W}]$$

で表わされる。

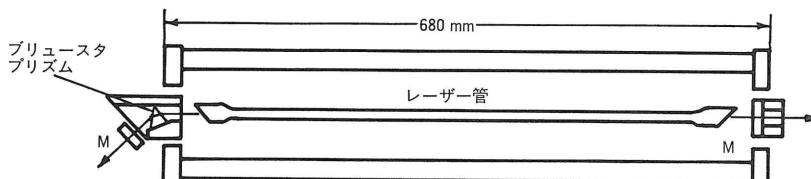


図 1 多波長発振用可視域 He-Ne レーザー共振器の構成

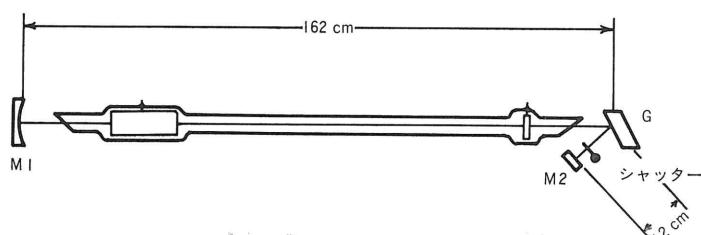


図 2 3.39 と 7.70 μm 同時発振用レーザー共振器の構成

4. ま と め

これまでに発振が確認されている He-Ne レーザーの遷移は数多くあるが、実用化されている発振線は表 1 に示したように 10 本にみたない。最近、優れた窓材や光学材料の開発が進み、それに加えレーザー反射鏡の蒸着技術も進歩してきている。これに伴い、543 nm の発振線のように単一発振を実現したり、あるいは必要に応じて多くの発振線を同時発振させたり順次発振させることが必要になることもあるだろう。その際にこの解説が参考になれば幸いである。

最後に表 1 の作成に当たり 1.15 μm および 1.52 μm の資料提供にご協力いただいた日本科学エンジニアリン

グ(株)の畠山重雄氏に感謝する。

文 献

- 1) D. L. Perry : IEEE J. Quantum Electron., **QE-7** (1971) 102.
- 2) R. A. McFarlane, *et al.* : Proc. IRE., **50** (1962) 2111.
- 3) W. L. Faust, *et al.* : J. Appl. Phys., **35** (1964) 2010.
- 4) Melles Griot Laser Products カタログ。
- 5) 岩崎茂雄, ほか: 第 43 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 29 P-C-2 (1982).
- 6) 上原喜代治, ほか: 第 32 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 29 P-ZE-6 (1985).
- 7) Y. Akimoto, *et al.* : Opt. Lett., **10** (1985) 333; Lasers Appl., **4**, No. 9 (1985) 145.

(1985 年 11 月 28 日受理)