レーザーオリジナル 3

長寿命・低ノイズ He-Cd レーザー

上出 幟*・徳留勝見*・石川道夫*・林 裕治*
小林俊昭*・庄子睦男*・小野田元*・服部秀三**

(1979年12月21日 受理)

He-Cd Laser of Long Life and Low Noise

Noboru KAMIDE*, Katumi TOKUDOME*, Michio ISHIKAWA*, Yuji HAYASHI*,
Toshiaki KOBAYASHI*, Mutuo SHOJI*, Hajime ONODA* and Shuzo HATTORI**

(Received December 21, 1979)

Two special techniques can result in the long life of the He-Cd Laser and the high performance. One is a technique of fixing the parameters; He gas pressure which is lost by Clean-up phenomena, the discharge voltage, the discharge current. The other is a stable resonator against the variation of the environmental temperature and long operation.

We made clear the relation among the parameters by fixing the value of the parameter each, and stabilized each value at the best condition.

By these technical improvements, we have developed the laser which has stable characteristics, low noise and long life.

1. はじめに

近年感光記録方式を用いたレーザー記録は、ファクシミリ、ノンインパクトプリンター、マイクロCOM、ビデオディスクメモリー、レーザー製版、ホログラフィーなど次々と商品化され、実用化されてきている。

これらに用いられるレーザー光源は、寿命、安定性、価格などの理由から現在、発振波長 632.8 nm の $\text{He}-\text{Ne}$ レーザーが利用される場合が多いようである。しかし最近、発振波長が 550 nm 以下に感度ピークを持つ感光体¹⁾の分

光感度特性に、 441.6 nm の発振波長が有利であることから、He-Cd レーザーが見直され、性能の向上にともない実用化されるに至っている。

我々は、He-Cd レーザーをOEMとして十分利用できる。長寿命で低ノイズの安定出力が得られるHe-Cd レーザーの製品開発と改良を行ったのでここに報告する。

2. He-Cd レーザーの概要

He-Cd レーザーは、キャリアガスとして He を用い、 Cd 金属蒸気イオンのレベル間遷移を

* 金門電気株式会社 技術部 (〒356 川越市大字下赤坂字大野原 750)

**名古屋大学工学部 電子工学教室 (〒464 名古屋市千種区不老町)

* Technical Department, Kimmon Electric co., LTD. (750, Aza Onohara, OAza Shimoakasaka, Kawagoe 356)

**Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering Nagoya University (Furo-cho Tikusa-ku Nagoya 464)

利用して、 $441.6nm$ 、 $325.0nm$ の発振波長を得る、一種のイオンレーザーである。このレーザー放電管は、封入されている He 放電により Effuser から移動する Cd 金属蒸気をイオン化し、陽極側から陰極側に Cataphoresis 効果により Capillary 内を移動させる。この場合、

のように、He 準安定原子と Cd 原子の Penning イオン化励起状態が上準位生成に寄与し、共振器ミラーの動きでレーザー発振が得られる^{2), 3)}

3. He-Cd レーザーのパラメータ

He-Cd レーザーは安定した出力を長時間維持させるために、多くのパラメータをある一定の条件に維持させることが必要である。このレーザーの放電特性であるパラメータとしては、管電流、管電圧⁴⁾、Effuser の温度⁴⁾、He ガス圧、ノイズなどあり、機械的には、ミラーの平行度を維持するための共振器構造、放電管構造があり、また光学的には、ミラー特性、プリュスター窓の光学特性などがある。我々はこれらのパラメータを個々に一定条件に固定化し、他のパラメータの関係を説明するという方法で、これらパラメータ間の関係を実験により究明した。

以下に、そのパラメータの測定データの一例を示す。

3.1. He ガス圧と出力

レーザー出力を左右するものに He ガス圧がある。第 1 図、第 2 図は、それぞれ放電管内の、各 He ガス圧に対して、管電圧、管電流を調整し、そのときの最大レーザー出力と Peak-to-peak ノイズを測定したものである。

図に示すように、一般に、He 金属蒸気レーザーの He ガス圧に対する増幅利得の変化は、最適値の前後で、二次曲線に近似されることがわかる。一方、レーザーノイズは He ガス圧に大きく影響を受けることがわかる⁵⁾。

このように、He ガス圧は He-Cd レーザーにとって重要なファクターであるが、He は動作

Fig. 1. The relation of He gas pressure vs. maximum power which is obtained by adjusting tube voltage and tube current of He-Cd Laser.

Fig. 2. The relation of He gas pressure vs. noise at maximum power of each He gas pressure

中、放電管々壁を通して拡散されること、また Cd が放電管内に附着凝固する際、He 原子の Cd

金属中への吸蔵、即ちゲッタ効果による Clean-up 現象を呈し、放電管寿命を著しく短くする⁶⁾。この状態を第3図に示す。図のA)はHeとCdの混合放電を自然のままに放置した場合の状態であり、B)は放電中にCdが管壁に附着しにくいように改良した場合である。またC)はHeのみの純放電の状態である。

Fig. 3. He gas pressure maintenance curve of He-Cd Laser.

3. 2. 管電流及び管電圧と出力

どのような放電管も管電流または管電圧の変化で、諸特性が変化することは、一般的現象であるが、He - Cdレーザーも例外ではない。ただこの場合、レーザー出力の最適値は、Heガス圧と出力の関係と同様二次曲線に近似された特性を示す。

第4図は、Heガス圧、管電圧を一定にした状態で、管電流を変化させた場合のレーザー出力及びノイズと管電流の関係を示す。

Fig. 4. The relations of tube current vs. power and tube current vs. noise for He-Cd Laser.

Fig. 5. The relations of tube voltage vs. power and tube voltage vs. noise for He-Cd Laser.

同様に第5図は、Heガス圧、管電流を一定にした状態で、管電圧を変化させた場合のレーザー出力及びノイズと管電圧の関係を示す。管電圧は、Effuserの温度によって決定されるため、レーザー出力とEffuser温度との関係も第5図のような二次曲線を示す。

4. 長寿命、低ノイズ、安定出力への改良

He - Cdレーザーを利用すべき立場より考えた場合、要求される事項は、寿命、出力安定度、ノイズ、立ち上がり時間、メンテナンスフリー、耐環境性などに要約される。

我々は、これらの点を第3項に述べたパラメータと考え合せ、次のような改良を行った。改良されたレーザーのブロックを第6図に示す。

4. 1. 寿命

寿命を短くする原因としては、a) 放電管特有の電極の不良、不純気体の発生、放電によるダスト分解物の Brewster 窓への汚染、b) Cd原子の再附着や Capillary からの拡散にともなう Heガスの Clean-up 現象、c) ダストのミラー及び Brewster 窓への附着にともなう光学的ロス、d) レーザー共振器の環境の変化や経年変化にともなうミラー平行度の変化、などがある。これらに対し、その改善は、それぞれ次のよう

Fig. 6. Block diagram of He-Cd Laser system.

に行った。

a) は一般的に放電管特有の現象であり、過去の放電管処理技術で解決できる。b) はいわゆる金属蒸気レーザー特有の現象であり、Cd 原子イオンが管壁で中性化と同時に沈着する場所があるように、放電管の構造を変え、同時に、一定の速度で減少する He を補うための連続ガス補給器を用いることで解決した。これは放電管中の He ガス圧を検出し、フィードバック回路により連続ガス補給器を作用させ、放電管内の He ガス圧を一定に維持させることで、寿命の向上と安定度の向上を計ることができる。c) は Brewster 窓や、ミラー内面をダストカバーにより保護し、光学的ロスを低減できる。d) は石英ロッドやインバーロッドなどの膨張係数の低い材料を使用して、共振器を設計することにより解決される。

4. 2. 出力安定度

出力変動の原因は第 3 項に述べたように、e) 電源装置のコントロール回路の不調整による最適状態からの変化、f) 共振器の放電管及びミラーの支持機構の振動や温度変動にともなう変化、

g) Cd 金属の附着部分の再配置、Capillary 長さ方向の温度不均一による Cd 原子蒸気の一様性の乱れ、などがある。

これらに対し、改善策は、e) は第 6 図に示すように、管電流を一定にする定電流回路、He ガス圧を一定にする He ガス補給回路、管電圧をコントロールする Effuser コントロール回路を用いて、各パラメータを適切な値に維持させることができる。f) については 4. 1. 項で述べたように、3 本の石英ロッド、またはインバーロッドを用いた熱的歪みを吸収するよう、レーザー管、ミラーを一体固定構造にし、外的振動や温度変化に影響を受けにくくする。g) の原因による出力不安定の防止には、Cd 蒸気発生部を高温に、Cd 蒸気沈着部を低温に、それ以外の Capillary 部は中間の最適 Cd 蒸気圧を飽和蒸気圧に近い温度に、一定で一様に保つよう保温しながら全体を冷却することで解決できる。

4. 3. ノイズ

He-Cd レーザーはノイズが大きいことが欠点であるとされている。このレーザーのノイズ

は、高周波ノイズ、低周波ノイズに分けられるが原因は未だ説明されていない。

高周波ノイズは、80～100 KHz 附近にピークがあり、200～500 KHz で微少のノイズがある。500 KHz 以上にはノイズはない。低周波ノイズは $1/f$ 特性をもつ。これらはそれぞれ管径方向と管長方向の励起原子の波に関係していることは、特性長と特性周波数の積が、いづれも、 $2 \times 10^4 \text{ cm/sec}$ を与えることから推定される。低周波ノイズは Peak to Peak 出力変動/平均出力で表わしたものは、第2図に示したように He ガス圧によって左右される。出力最大を与える He ガス圧では、ノイズ高となるため、He ガス圧を下げる方向で一定に固定するが、この場合でも、第4図、第5図に示すように、管電圧の変化、または管電流の変化に左右されることから、ノイズを低くする対策は He-Cd レーザーの各パラメータの相互関係より決定されねばならない。ノイズは尚、電源の改良によっても多少改善される。

4.4. 立上り時間

He-Cd レーザーは Cd 蒸気圧の正常な分布に至るまで、どうしても時間がかかる。このため規定の出力に達するまでには、従来は20分程度の時間がかかった。

立上りを早くするためには Effuser の時定数を小さくする必要があるが、管全体が一定温度分布に達しないと、Cd 金属の偏在がおきて出力不安定の原因となるから注意を要する。また共振器自体も温度変化に対し、ミラー平行度が維持されないと立上り時間を遅らせる原因となる。これらの点は、レーザー管、共振器及び電源装置のコントロール回路を組合せて、総合的に改良することにより、スイッチオンから90%出力に達するまでの時間は5分程度に改善できる。

4.5. 耐環境性

レーザーを使用する場合の重要項目の一つに温度、湿度、振動、塵埃などの変化に対して安

定した出力が要求されることである。温度変化に対しては第4.2.項で述べた基本的改良の他に、共振器の温度分布が一様になるよう外観ケースの保温または冷却を考え、熱歪み吸収構造にすることで、温度の微少変化に対しては、安定した出力が得られる。ただ大幅な温度変化に対しては、変化した状態で一定の温度を維持させることが必要である。湿度及び塵埃に対しては、ミラー内面及び Brewster 窓は、カバーにより密封しているため影響は受けないが、ミラー外面は湿度に対して結露しない状態が必要である。塵埃に対しても使用状況より定期的に除去すれば問題はない。振動に対しては、レーザー管の材質と構造及び共振器の材質と構造が振動に対して十分な強度をもち、経年変化にも、ゆるまない構造であれば良い。レーザー管は熱的にも、強度的にも有利である石英管を使用し、共振器は金属であるインバーロッドを組合せて構造設計したものは、2 G の振動にも十分耐えるものにできる。改良されたレーザーは温度10～40℃、湿度80%振動 0.25 G 以下で安定出力が得られるが、保管環境、運搬、輸送環境などに十分耐える構造にもなっている。

5. 改良された He-Cd レーザーの性能

第4項で述べた改良を行った He-Cd レーザーの性能は次のようである。

5.1. 定 格

出力15mW・30mW, 80mWの定格を第1表に示す。

5.2. 特 性

改良された He-Cd レーザーの主な性能特性は次の通りである。

1) 立上り特性

従来は20分程度の立上り時間を要していたものが、スイッチオンから無調整で、約5分に短縮された。これを第7図に示す。

2) 電源電圧変動特性

従来、マニュアルでレーザー条件を調整していたものが、自動的にコントロールされ、電圧変動にも安定出力が得られるようになった。こ

Table 1 BKUE LASER (He-Cd Laser) Specification

OPTICAL TYPE(Head)	CDR10SG	CDR15SG	CDR30SG	CDR80SG
Oscillation wave (nm)	441.6	441.6	441.6	441.6 (325.0)
Power (mw)	8	15	30	80 (10)
Mode	TEM ₀₀	TEM ₀₀	TEM ₀₀	TEM ₀₀
Beam diameter(1/e ²)(mm)	approx 0.9φ	approx 0.9φ	approx 1.0φ	approx 1.5φ
Beam divergence (mrad)	approx 0.5	approx 0.5	approx 0.5	approx 0.5
Polarization	—	vertical	vertical	vertical
Noise (RMS) (%)	2	4	4	4
Warm up to 90% (min)	<10 min.	<10 min.	<10 min.	<20 min.
Power stability (%) (in constant temp)	2	2	2	2
Power stability (%) (in 10°C-40°C)	10	10	10	10
Working tube life (h)	5,000	5,000	5,000	5,000
ELECTRICAL (Power supply unit)	CDA10SG	CDA15SG	CDA30SG	CDA80SG
Input voltage (V)	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)
Frequency (Hz)	50 (60)	50 (60)	50 (60)	50 (60)
Input voltage variation (%)	±10	±10	±10	±10
Frequency variation(Hz)	±1	±1	±1	±1
Input (W)	300	300	400	1,000
Power factor (%)	90	90	90	90
Power failure stability (msec)	8	8	8	8
Trigger	automatic	automatic	automatic	manual
ENVIRONMENTAL				
Temperature (operating) (°C)	10—40	10—40	10—40	10—40
Temperature (non-operating) (%)	—10—50	—10—50	—10—50	—10—50
Relative humidity (%) (operating)	20—80	20—80	20—80	20—80
Relative humidity (%) (non-operating)	8—95	8—95	8—95	8—95
Oscillation (operating) (G)	0.25	0.25	0.25	0.25
Oscillation (non-operating) (G)	2	2	2	2

NOTE 1. CDR80SG can be available for an oscillation wave of 441.6nm or 325.0nm by mirror selection.

2. In item "Beam output", figures in brackets are in the case of oscillation wave 325.0nm.

3. On starting the strength of the beam is approximately 90%.

4. The practical life of the laser tube

depends on the minimum beam output required.

5. The selection of both the Input and Cycle frequency is left to the user.

6. The tube life of approximately 5000 hours is only applicable for an oscillation wave of 441.6nm.

7. The newly developed laser tube type CDR10SG is of the Internal mirror type.

Fig. 7. Typical starting characteristic for He-Cd Laser.

Fig. 8. Typical characteristics of power vs. line voltage at each environmental temp. for He-Cd Laser.

れを第8図に示す。

3) 安定性

改善策の総合結果により安定度が向上した、この様子を第9図に示す。

4) 温度特性

改善策の総合結果であるが、共振器構造の改良が大きく影響している。このデータは第10図

Fig. 9. Typical power stability at each environmental temp. for He-Cd Laser

に示す。

5) ノイズ

改良を加えたレーザーは、Peak-to-peak で通常9%程度であり、改良前の30—40%に比較して大幅に改善された。R. M. S. で2~3%程度である。

6) 寿命

レーザー寿命は利用者の立場から要求される最低出力で決まる。改良されたレーザーは動作寿命で約5000時間ですが、定期的メンテナンスにより、ミラー調整や清掃による光学的损失をなくせば、出力維持率は向上し、期待寿命は更に延びることが考えられる。第11図は平均的な出力維持率曲線を示す。

6. おわりに

従来、He-Cd レーザーは寿命が短く不安定なものであるとのイメージが残っていた。ここに述べたような改良を加えたことにより、OEM など実用上十分利用できるようになった。更に改良を加えることにより、長寿命化が期待できることは疑いのないところである。小形化、軽量化に対する内部ミラー形も登場している現状より、今後の広い応用が期待される。

Fig.10. Typical characteristics of temperature vs. power for He-Cd Laser

Fig.11. Average life of He-Cd Laser

参 考 文 献

- 1) 日本學術振興会情報課, 記録用材料と感光性膨脹
- 2) W. T. Silfvast, Appl. Phys. Letters Vol. 13, No5 (1968) 169
- 3) W. T. Silfvast, Appl., Phys. Letters Vol 15, No 1 (1969) 23
- 4) J. Goldsborough, Appl. Phys. Letters Vol 15, No 6 (1969) 159
- 5) K. G. Hernguist, IEEE J. Quantum Electronics, Vol QE-8 No 9 (1972) 740
- 6) T. P. Sosnowski, M. B. Klein, IEEE J. Quantum Electronics Vol QE-7 No 8 (1971) 425