

#8

レーザーダイオードのモードホップについて

APPLICATION NOTE

レーザーダイオードのモードホップ

By T.A. Heumier and J.L. Carlsten

Department of Physics
Montana State University
Bozeman, MT 59717

前書き

半導体レーザーは、さまざまな用途で広く使用されています。

光ファイバー通信、マーチャンドライジング（バーコードスキャナー）、エンターテイメント（ビデオディスクおよびコンパクトディスクプレーヤー）、および科学的調査（分光法、レーザー冷却）。一部のアプリケーションでは、これらのレーザーの一部が満たさない波長の最小安定性が必要です。ある条件下では、半導体レーザーは波長を断続的に切り替えることができます。これはモードホッピングと呼ばれます。

このアプリケーションノートでは、モードホッピングが総強度のノイズと直接関連しており、このノイズがフォトダイオードによって簡単に検出されることを示しています。

また、モードホップにつながるレーザーケース温度と注入電流の組み合わせがあることも示します。逆に、レーザーが安定している他の組み合わせがあります。

これらの結果は、モードホッピングの制御に影響を及ぼします。

また、モードホッピングのメカニズムについて説明し、フォトダイオード法が機能する理由を説明します。

モードホッピングとは

半導体レーザーの出力スペクトルは、ケース温度と注入電流に大きく依存します。

たとえば、一定の出力でのGaAsレーザーの波長と温度の典型的なプロット（図1）は、階段状のパターンを示しています。

一部の地域では、温度とともに波長がゆっくり（約0.06 nm/°C）シフトすることに注意してください。

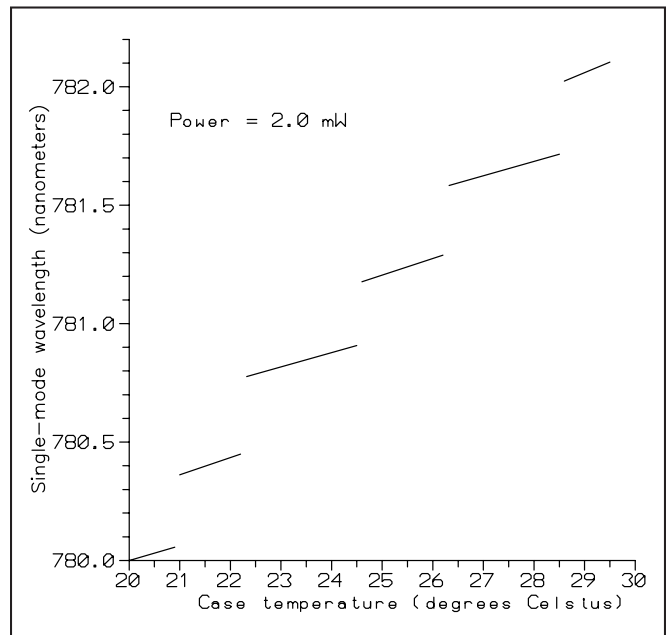


Figure 1. Temperature dependence of single-mode wavelength at constant power.

ただし、ケース温度の値によっては、波長によって0.3 nmの別の波長シフトが発生する場合があります。

これらの大きなシフトは、レーザーが1つの縦モードから別の縦モードに切り替わる時に発生します（モードホッピング）。

状況によっては、これらのモードホップは不規則に発生し、レーザーは波長間で急速に切り替わります。

モードホッピング中、レーザーの出力強度はわずかに変動し、相対強度ノイズが増加します。このノイズを測定すると、モードホップを検出する簡単な手段が得られることがわかります。レーザーのケース温度と電流が厳密に制御されている場合でも、モードホッピングが発生する可能性があることは後で説明します。

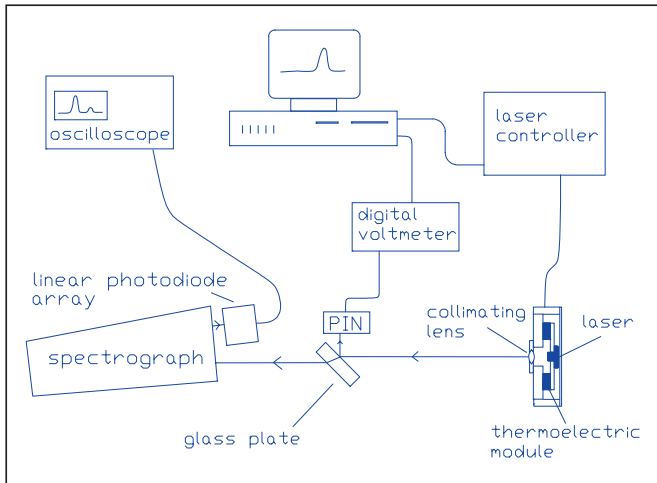


Figure 2. モードホッピングを研究するための実験的配置。コンピューターは、デジタル電圧計とレーザーコントローラーの両方に接続されていました。

モードホッピングに関する懸念の動機

半導体レーザーのモードホッピングは、不要な強度ノイズが発生するため、多くのアプリケーションで望ましくありません。

代表的な例は、ビデオディスクシステムです。モードホッピングは、分散がビーム方向の変動を引き起こすため、光ディスクに書き込まれたデータの場所の変動を引き起こし、「アクロマティックオプティクス」の使用が必要になる場合があります*1。

さらに、ディスクから得られる画像の品質は、信号対雑音比が低下するため、モードホッピングによって低下する可能性があります*2。

ファイバーオプティクスを介したビデオ伝送も、同じ理由でモードホップによって発生する強度ノイズの影響を受けます*3。

モードホッピングは、他のアプリケーションでも問題を引き起こす可能性があります。たとえば、光通信では、1つのモードから別のモードへの切り替えが最大データ伝送速度に影響します。これは、分散が大きいシングルモードファイバでは波長が異なると速度が異なるためです*4,5,6。分光法は、レーザーが1つのモードから別のモードにシフトする場合に発生する0.2~0.3 nmの変動よりも優れた波長安定性を通常必要とする別の領域です。

モードホッピングに影響するパラメーター

モードホッピングが発生するかどうかに影響を与える可能性のある要因には、レーザーケースの温度、注入電流、および光フィードバックがあります。

このアプリケーションノートでは、これらの条件の最初の2つを扱います。最後の項目に関する簡単なコメントは、ほとんどのレーザーの一般的なルールとして、レーザービームがレーザーキャビティに戻ることを避ける必要があるということです。

部分的または完全に反射する表面を少し傾けると、フィードバックがなくなります。

ファラデーアイソレータは、より効果的な対策が必要な場合に使用できます。

実験的研究：方法

図2に示す実験配置を使用して、ダイオードレーザーのモードホッピングを研究しました。三菱ML4402 GaAsインデックスガイドレーザーは、ILXモデル4412レーザーマウントに収容されました。レーザーのケース温度と注入電流は、コンピューターインターフェイスのILXモデル3722レーザーダイオードコントローラーを使用して操作されました。

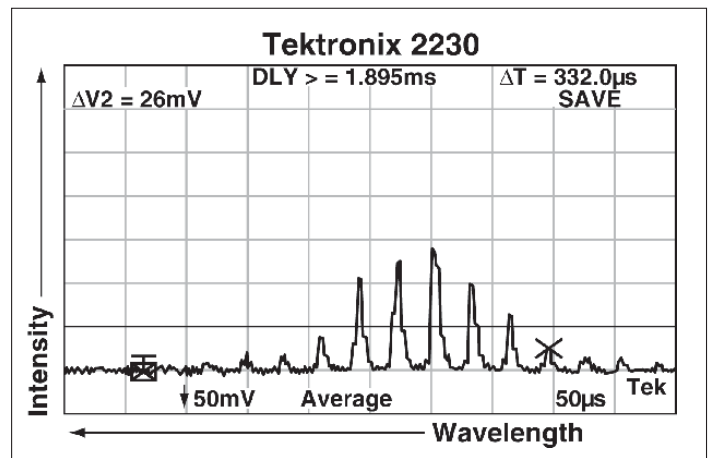


Figure 3. しきい値をわずかに超えるレーザースペクトルを示すリニアフォトダイオードアレイ出力。レーザーモードは0.3 nmごとに分離されます。ピークの小さな隆起がフォトダイオードで観察されます。

マウント内のレンズを調整して、平行ビームを生成しました。レーザー光線は、傾斜したガラス板を通過して分光器に到達しました。分光器を出た波長分析されたビームは、リニアフォトダイオードアレイに落ちました。オシロスコープはアレイ出力を読み取り、強度と波長のグラフを作成します（図3を参照）。この配置により、レーザーのモード構造の直接観察が容易になりました。

ガラスプレートから反射したビームは、出力電圧が光の強度に比例するHewlett-Packard 5082-4203 PINフォトダイオードによって収集されました（図については図4を参照）。

電圧は、コンピューター接続のFluke Model 45デジタル電圧計によって測定されました。

DC電圧とAC電圧を同時に記録できるこの電圧計は、100 kHzの帯域幅を持ち、マイクロボルトレベルまで測定できました。

コンピュータは一定のケース温度で注入電流をステップし、各電流設定で電圧計の読み取り値を記録しました。次に、ケースの温度を変更し、プロセスを繰り返しました。

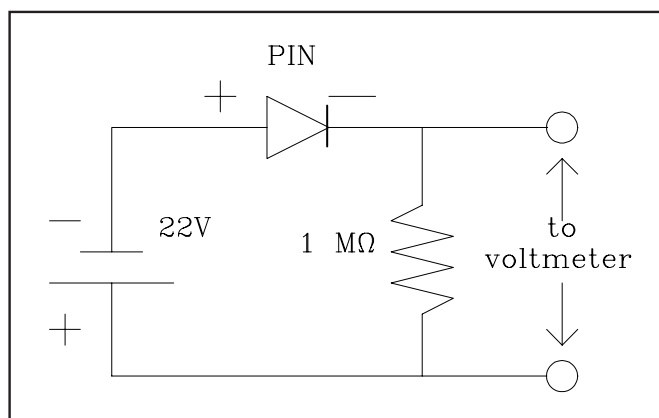


Figure 4. モードホッピングを検出するためのPINフォトダイオードの配線図。

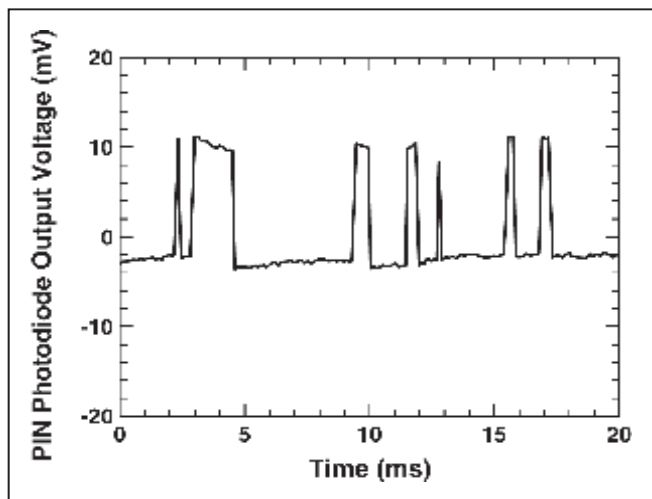


Figure 5. モードホッピング中のPIN PDの電圧出力。レーザーがモード間で切り替わると、レーザー強度は2つの強度間で切り替わりました。オシロスコープ:AC結合。DC電圧は約5ボルト。

実験的研究：結果

レーザーダイオードはモードホッピングでしたが、全体の強度はわずかに変動しました。これにより、フォトダイオードで測定可能な強度のAC成分が生じました。

図5は、レーザーがモードホッピングしている間のフォトダイオード電圧のワンショット時系列を示しています。

5 VのDCレベルと比較して、AC信号は通常5 mVでした。

図6は、レーザーのケース温度を一定に保った状態でのACフォトダイオード電圧と注入電流のプロットを示しています。

レーザーがモードホッピングのときにピークが発生し、最高点は最も活発な活動を反映していました。

したがって、フォトダイオードと組み合わせたマイクロボルト感度のAC電圧計を使用して、モードホッピングの程度を検出および定量化できます。

図6に示すように、厳密に制御された条件でも、モードホッピングに対してレーザーが不安定な状態で発生すると、モードホッピングが発生する可能性があることに注意してください。

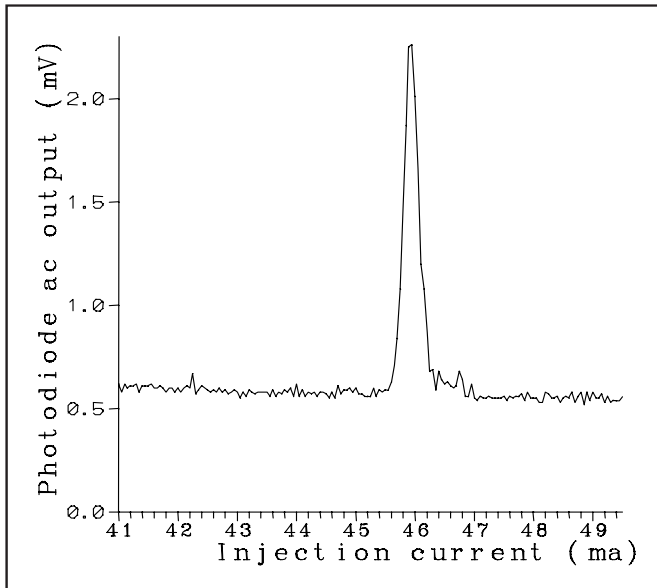


Figure 6. Plot of PIN photodiode ac voltage vs. current at constant temperature. The peak occurs when mode hopping is most vigorous.

グラウンド安定マップ。

異なる温度で取られた同様の曲線がプロットされました。

図7に示すケース温度の0.1°Cの増分の結果は、レーザーの不安定な領域を示すマップです。安定した動作の大きな領域（「プレーン」）があり、不安定なゾーンが繰り返されます

（"山脈"）。これらの安定領域に対応するケース温度と注入電流の特定の組み合わせでレーザーが動作する場合、モードホッピングは発生しません。

含意。

プロットには、一定電力の条件を示す線が重ねられます。

いくつかの不安定なゾーンを通過します。一定の注入電流、一定の温度、一定の光出力での動作は、モードホッピングを回避するために十分ではありません。

モードホッピングなしで動作する場合は、ケース温度の役割を含める必要があります。

残念ながら、このマップはレーザーごとに異なります（図8を参照）。また、レーザーが古くなると変化することがあります。

さらに、周囲温度は小さいながらも明確な役割を果たし、不安定ゾーンを周囲温度と同じ方向にシフトします。

それでも、図7に示すように、モードホッピングが発生すると、次のいずれかの方法でレーザーの動作パラメーターを安定領域に移動できます。ケース温度をわずかに（図7の生成に使用するレーザーの場合は1度以下）、または電流をミリアンペア程度に変更してください。

モードホッピングは、動作条件を適切に選択することで回避できます。

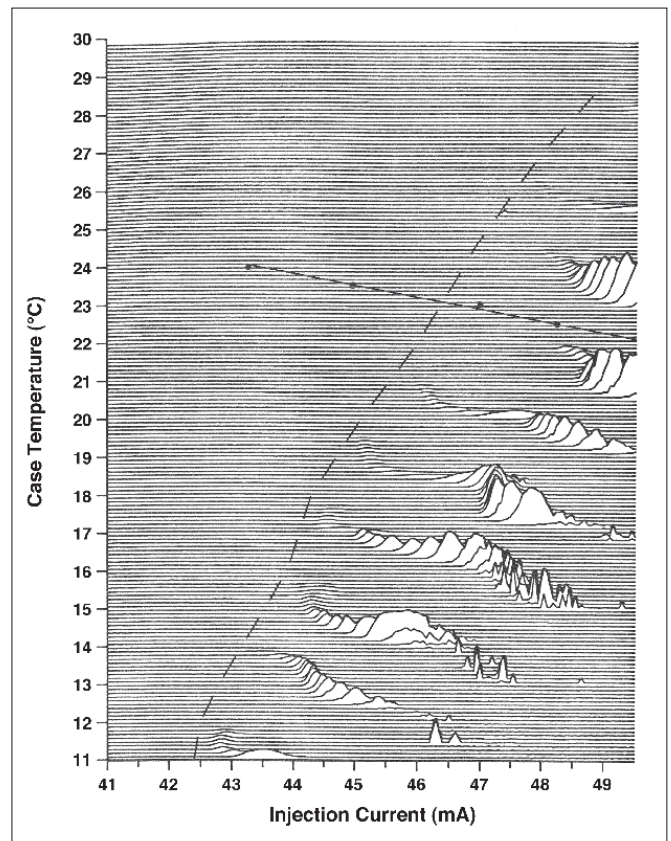


Figure 7. レーザー安定マップ。異なる温度で取得されたAC電圧VS電流のプロットは、オフセット、隠線法でプロットされます。実線は、一定の2 mWレーザー出力の条件を示しています。

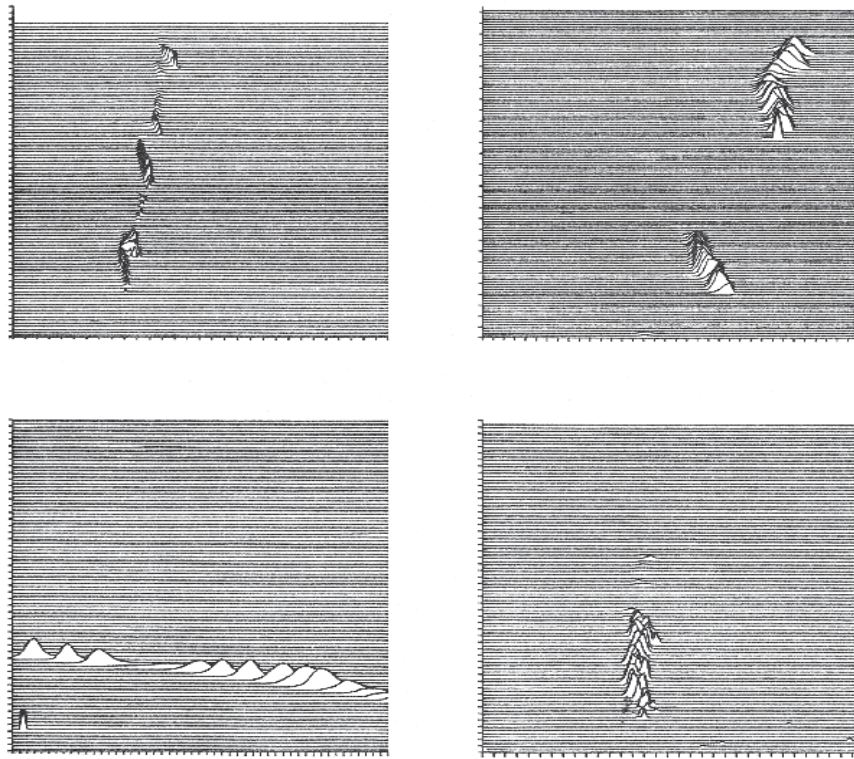


Figure 8. Sさまざまなレーザーの安定度マップ。左上から時計回り：Mitsubishi ML4402、780 nm（グランド安定マップと同じ）；シャープLT026MD0、780 nm；同じモデルの2番目のシャープレーザー；三菱ML7781、1300 nm。

マップ機能の説明

明らかな図7のいくつかの特徴は、(1) 山の範囲が負の勾配を持っている、(2) 範囲の中心が上にある
正の勾配の線、および (3) 高電流端と同様に、範囲の低電流端が線を形成します。これらの機能は、以下で説明する単純なモデルを使用して説明できます。これらの機能とその起源を図9に要約します。

モードホッピングの基本的な原因。

レーザーキャビティは、多くの異なる波長または縦モードをサポートできます。
レーザーダイオードでは、これらのモードは0.2～0.3 nm離れています。モードレーザーを決定するのは、モード波長に比例するゲインプロファイルのピークの波長です。ゲインピークに最も近いモードがリリースされます。ただし、ゲインピークが2つのモードの間にある場合、モードはゲインを奪い合います。自発放出は、最初に一方のモードを優先し、次にもう一方のモードを優先してバランスを傾け、それによりモードのホップを引き起こします。

モードホッピングの温度依存性。

モード波長とゲインピーク波長はレーザーの温度に依存します。モード波長は約0.06 nm/°Cで温度とともにシフトしますが、ゲインピーク波長は約0.25 nm/°Cでシフトします。
モードシフトは、半導体の屈折率の変化と材料の熱膨張によるものです。
後者は、レーザーキャビティが拡大するにつれてモード波長を増加させます。ゲインピークシフトは、温度によるバンドギャップの変化によるものです*7。
そのため、図10に模式的に示すように、レーザーの温度が上昇すると、ゲインピークがモードを1つずつ追い越します。
レーザーは、シングルモード動作とモードホッピングを交互に実行します。

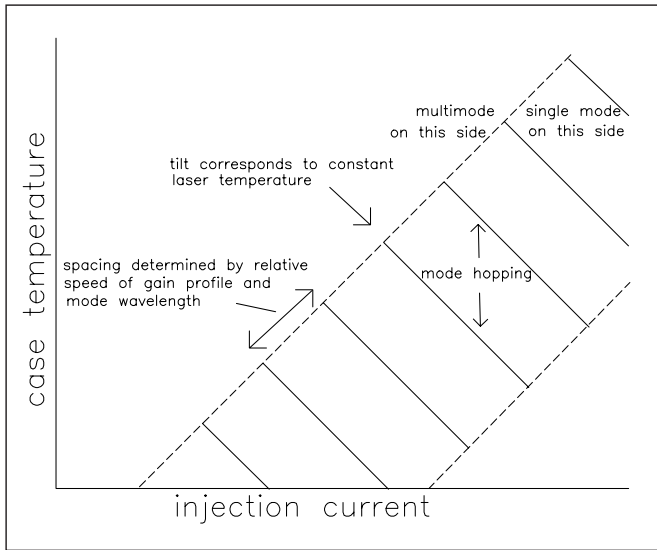


Figure 9. マップフィーチャーとその起源の概要。

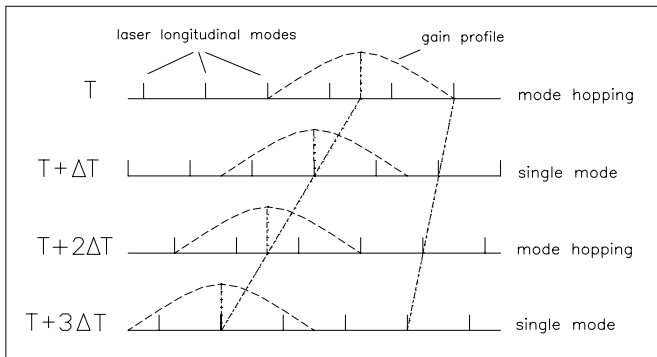


Figure 10. 利得プロファイルとモード波長は温度に依存します。ゲインピークがモードの中心になると、レーザーはシングルモードで動作します。ゲインピークが2つのモードの間にある場合、レーザーモードがホップします。

このモデルは、一度に1つのモードのみがレーザーを使用することを前提としていることに注意してください。

これは、しきい値を大きく上回るインデックスガイドレーザーに当てはまりますが、ゲインガイドレーザーは常にマルチモードで動作します。ゲインガイドレーザーダイオードはモードホップせず、モードとして「ウーズ」モードになり、ピークシフトを獲得します。図11に効果を示します。

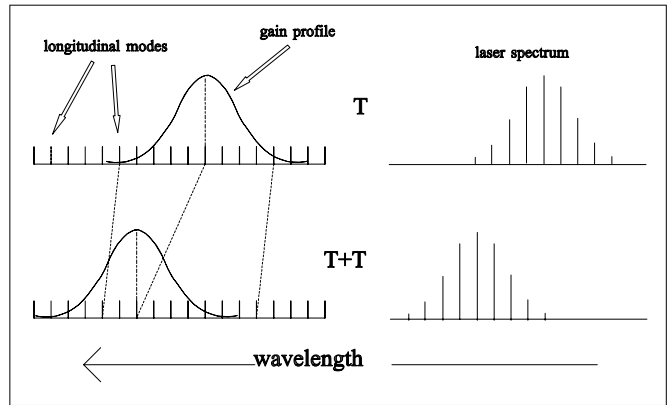


Figure 11. モード「にじみ出る。」ゲインプロファイルと縦モードは、温度に応じて異なる速度で変化します。ゲインプロファイルは、レーザーモードのエンベロップを提供します。

範囲の負の勾配。

上記のように、特定のレーザー温度でモードホッピングが発生します。

ただし、レーザー自体の温度はケース温度と同じではありません。

レーザーは、レーザーパッケージの中央に取り付けられた非常に小さな半導体材料です

。レーザーに電流が流れるため、ジュール加熱が発生し、ケースよりもレーザーが熱くなります* 8。レーザーからケースに熱が流れます。ケース温度が上昇した場合、同じレーザー温度を達成するには電流を低下させる必要があります。これは、山脈の負の勾配を説明しています。

一定のレーザー温度の線が図12の安定性マップにプロットされています。これは山の範囲と定量的に平行であり、上記の仮説を確認しています。

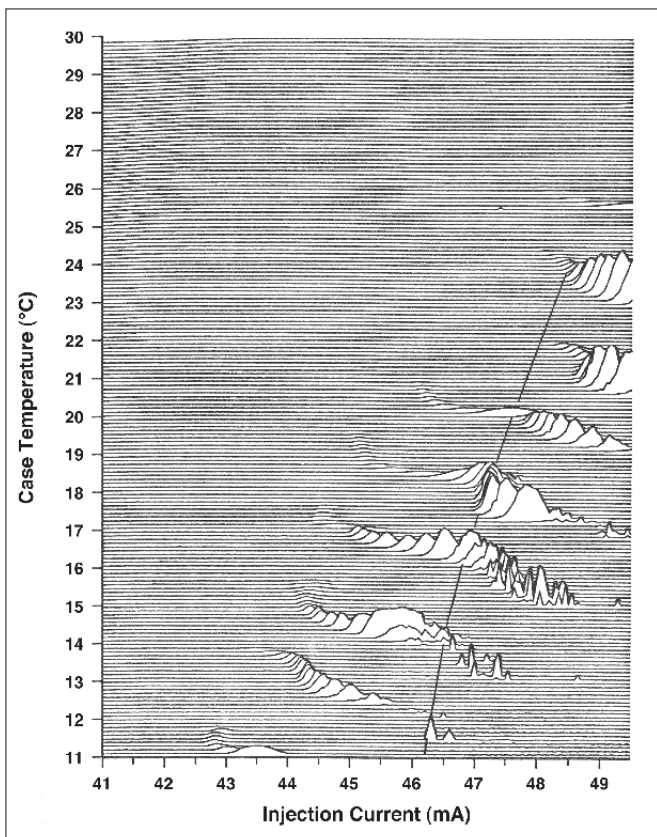


Figure 12. Laser Stability Map. Solid line marks boundary between multimode (to the left) and single mode (to the right) operation. Dots show measured conditions for constant laser temperature; dashed line is best-fit line to data.

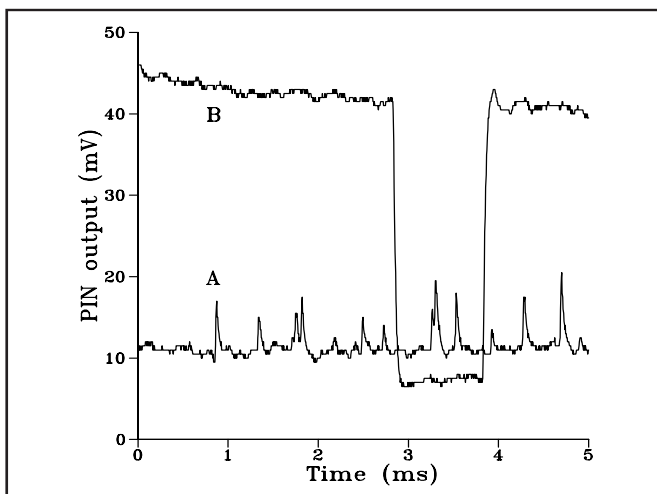


Figure 13. Oscilloscope traces showing total intensity fluctuations. Curve B was taken at the peak of the ac signal, Curve A at a low value.

範囲中心の正の勾配

レーザー温度は、電流またはケース温度のいずれかとともに上昇します。したがって、それぞれが異なるレーザー温度に対応する範囲の中心は、一定のレーザー温度の線に垂直な正の勾配の線上にあります。

有限範囲

レーザーは複数のモードで動作を開始します (図3を参照)。電流が増加すると、1つのモードが支配的になり始め、レーザーは最終的にシングルモードで動作します。

マルチモード操作中、モードホッピングは行われません。代わりに、レーザーが加熱されると複数のモードがシフトしますが、ゲインプロファイルはモード強度の全体的なシフトエンベロップを提供します (図11を参照)。

これは、モードホッピング領域が電流の下限を持っていることを意味します。シングルモードとマルチモードの動作の境界を図12に示します。

より高い電流では、自然放出は、あるモードから別のモードへの切り替えをトリガーできません。モードが短い波長から長い波長に切り替わる場合、逆切り替えの可能性は低電流の場合よりもかなり少なくなります。切り替えは、スイッチ間で数秒、さらには数分で、著しく頻度が少なくなります。

このまれなスイッチングはほとんどAC電圧を生成しないため、山岳地帯には大電流が流れます。

AC信号の原因

AC信号自体の単なる存在はコメントに値します。信号のサイズがモードホッピングアクティビティとよく相関しているという事実も同様です。前に述べたように、モードホッピング中にレーザービームの全体的な強度が変動します。長波長モードは、短波長モードよりもわずかに小さい強度を示します。これにより、レーザーモードがホップするときAC信号を生成する強度の変動が生じます。非対称のゲインプロファイルは、モード強度 * 9でこの非対称性の一部を担っていると考えられています。

ACピークの原因

AC信号のサイズは、レーザーがモードホッピングを通過するときに変化します。この変動は、モードホッピングのさまざまな段階でのスイッチングの大きさと時間スケールの両方の根本的な変化によって部分的に引き起こされます。

図13は、2つの異なる注入電流で取得したフォトダイオード電圧の2つの時系列を示しています。AC電圧がバックグラウンドレベルをわずかに上回ったときに、下の図（曲線A）が取られました。

モードホッピングはほとんど発生せず、レーザーは非常に短い時間で次のモードに切り替わりました。対照的に、上の図（曲線B）は、ピークAC電圧付近で撮影されました。モードホッピングは非常に活発で、2つのモードはほぼ同じ時間（平均）オンでした。

2つの曲線は同じスケールでプロットされることに注意してください。時間スケールと変動の大きさの明確な違いは明らかです。

上の図では、合計強度は2つの異なるレベル間で交互に変化し、各レベルでかなりの時間を費やしてから他のレベルに切り替えます。

対照的に、下の図は、強度が非常に頻繁かつ部分的に切り替わることを示しています。

これらのような時系列のフーリエ変換を行うと、ノイズのスペクトル分布に劇的な違いがあります。図14に、対応する時系列のフーリエ変換を示します。レーザーがモードホッピングに近づくと（曲線A）、ノイズのスペクトル幅が大きくなり、強度変動の大きさと周波数の広い範囲に対応します。モードホッピングのピーク（曲線B）では、スイッチング時間に極端に大きな変動がないため、スペクトル分布は非常に狭くなり、大きくなります。モードホッピング中に低周波ノイズレベルが増加するため、フォトダイオードからのAC信号はモードホッピングアクティビティの直接的な尺度です。

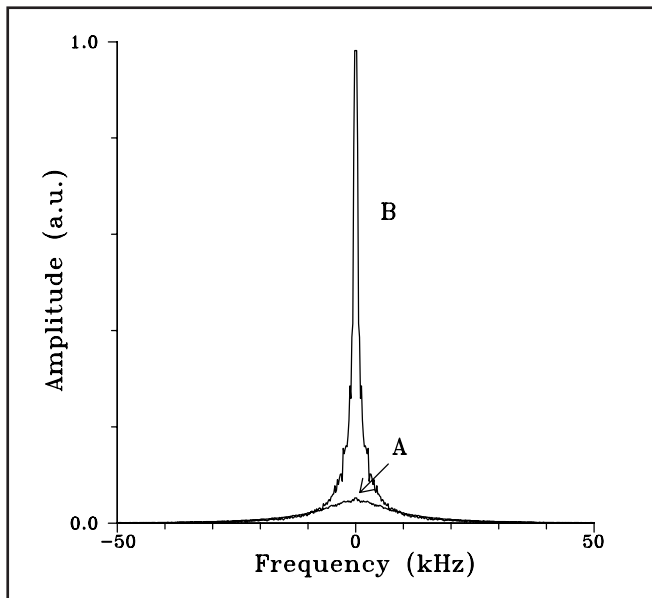


Figure 14. 図13に示す時系列の高速フーリエ変換。スペクトル密度の幅と高さの大きな違いに注意してください。

結論

半導体レーザーは、その多様な波長、コンパクトなサイズ、低価格、および制御の容易さにより、幅広いアプリケーションを見つけます。

モードホッピングとして知られる波長の急速な切り替えは、いくつかのアプリケーションでこれらのレーザーの性能を制限する可能性のある望ましくない強度ノイズを引き起こします。強度ノイズのレベルは、モードホッピングの発生と直接関連しています。モードホッピングを検出する単純な非分光法では、強度ノイズの増加を指標として使用します。

モードホッピングは、レーザーケース温度と注入電流の特定の値に対して発生します。これは、これらのパラメーターを慎重に制御することにより、モードホッピングを排除できることを意味します。

安定性マップ（レーザーごとに異なる）は、パラメーターのどの値が安定性をもたらすかを決定する信頼できる手段です。これらの調査結果は、モードホッピングが潜在的な問題である場合に有用であることが証明されます。

謝辞

図8に示す安定性マップの隠線アルゴリズムについてはDr.EzraSzökeに、他のレーザーのマップを取得してくれたDr.Heather Thomasには感謝します。
また、図13および14に示す時系列とフーリエ変換を取得してくれたMeg Hall博士に感謝します。

Literature cited:

1. Edward C. Gage and Brian Bartholomeusz. "Directional asymmetries due to write-laser mode hopping during optical recording." *Journal of Applied Physics* 69, 569-573 (15 January 1991).
2. T. Gotoh, A. Arimoto, M. Ojima and N. Chinone. "Characteristics of laser diodes and picture quality." *Proceedings of SPIE, Vol. 329, Issue on Optical Disk Technology*, 56-60 (1982).
3. Ken-ichi Sato. "Intensity noise of semiconductor laser diodes in fiber optic analog video transmission." *IEEE Journal of Quantum Electronics* QE-19, 1380-1391 (September 1983).
4. Richard A. Linke, Bryon L. Kasper, Charles A. Burrus, Jr., Ivan P. Kaminow, J-S. Ko, and Tien Pei Lee. "Mode power partition events in nearly single-frequency lasers." *Journal of Lightwave Technology* LT-3, 7066-711 (June 1985).
5. Robert H. Wentworth, George E. Bodeep and

Thomas E. Darcie. "Laser mode partition noise in Lightwave systems using dispersive optical fiber." *Journal of Lightwave Technology* 10, 84-88 (1992).

6. Stewart E. Miller. "On the injection laser contribution to mode partition noise in fiber telecommunications systems." *IEEE Journal of Quantum Electronics* 25, 1771-1781 (1986).
7. Carl E. Wieman and Leo Hollberg. "Using diode laser for atomic physics." *Review of Scientific Instruments* 62, 1-19 (January 1991).
8. Nagaatsu Ogasawara, Ryoichi Ito, Masahiro Kato and Yohshitaba Takahashi. "Mode switching in injection lasers induced by temperature variation and optical feedback." *Japanese Journal of Applied Physics* pt. 1 22, 1684-1690 (1983).
9. Nagaatsu Ogasawara and Ryoichi Ito. "Output power change associated with longitudinal mode jumping in semiconductor injection lasers." *Japanese Journal of Applied Physics* 25, L617-L619 (July 1986).

Further reading about mode hopping:

P.J. Herre and U. Barabas. Mode switching of Fabry-Perot laser diodes. *IEEE Journal of Quantum Electronics* 25,1794 (August, 1989). Corrugation of gain and mode competition.

George R. Gray and Rajarshi Roy. Bistability and mode hopping in a semiconductor laser. *Journal of the Optical Society of America B* 8,632 (March, 1991). Qualitative map of instability plus detailed look at individual mode behavior. Very interesting!

Naoki Chinone, et al. Mode-hopping noise in index-guided semiconductor lasers and its reduction by saturable absorbers. *IEEE Journal of Quantum Electronics* QE-21, 1264 (August, 1985).

G.P. Agrawal and N.K. Dutta, *Long-Wavelength Semiconductor Lasers*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986

Motoichi Ohtsu, Yasuaki Teramachi and Tetsuya

Miyazaki, "Mode stability analysis of nearly single-longitudinal-mode semiconductor lasers," IEEE Journal of Quantum Electronics 24, 716-723 (1988).

Minoru Yamada and Yasuharu Suematsu, "A condition of single longitudinal mode operation in injection lasers with index-guiding structure," IEEE Journal of Quantum Electronics QE-15, 743-749 (1979).

The following publications are available for download on at www.ilxlightwave.com.

White Papers

- A Standard for Measuring Transient Suppression of Laser Diode Drivers
- Degree of Polarization vs. Poincaré Sphere Coverage
- Improving Splice Loss Measurement Repeatability

Technical Notes

- Attenuation Accuracy in the 7900 Fiber Optic Test System
- Automatic Wavelength Compensation of Photodiode Power Measurements Using the OMM-6810B Optical Multimeter
- Bandwidth of OMM-6810B Optical Multimeter Analog Output
- Broadband Noise Measurements for Laser Diode Current Sources
- Clamping Limit of a LDX-3525 Precision Current Source
- Control Capability of the LDC-3916371 Fine Temperature Resolution Module
- Current Draw of the LDC-3926 16-Channel High Power Laser Diode Controller
- Determining the Polarization Dependent Response of the FPM-8210 Power Meter
- Four-Wire TEC Voltage Measurement with the LDT-5900 Series Temperature Controllers
- Guide to Selecting a Bias-T Laser Diode Mount
- High Power Linearity of the OMM-6810B and OMH-6780/6790/6795B Detector Heads
- Large-Signal Frequency Response of the 3916338 Current Source Module
- Laser Wavelength Measuring Using a Colored Glass Filter
- Long-Term Output Drift of a LDX-3620 Ultra Low-Noise Laser Diode Current Source
- Long-Term Output Stability of a LDX-3525 Precision Current Source
- Long-Term Stability of an MPS-8033/55 ASE Source
- LRS-9424 Heat Sink Temperature Stability When Chamber Door Opens
- Measurement of 4-Wire Voltage Sense on an LDC-3916 Laser Diode Controller
- Measuring the Power and Wavelength of Pulsed Sources Using the OMM-6810B Optical Multimeter
- Measuring the Sensitivity of the OMH-6709B Optical Measurement Head
- Measuring the Wavelength of Noisy Sources Using the OMM-6810B Optical Multimeter
- Output Current Accuracy of a LDX-3525 Precision Current Source
- Pin Assignment for CC-305 and CC-505 Cables
- Power and Wavelength Stability of the 79800 DFB Source Module
- Power and Wavelength Stability of the MPS-8000 Series Fiber Optic Sources
- Repeatability of Wavelength and Power Measurements Using the OMM-6810B Optical Multimeter
- Stability of the OMM-6810B Optical Multimeter and OMH-6727B InGaAs Power/Wavehead
- Switching Transient of the 79800D Optical Source Shutter
- Temperature Controlled Mini-DIL Mount
- Temperature Stability Using the LDT-5948
- Thermal Performance of an LDM-4616 Laser Diode Mount
- Triboelectric Effects in High Precision Temperature Measurements
- Tuning the LDP-3840 for Optimum Pulse Response
- Typical Long-Term Temperature Stability of a LDT-5412 Low-Cost TEC
- Typical Long-Term Temperature Stability of a LDT-5525 TEC

- Typical Output Drift of a LDX-3412 Loc-Cost Precision Current Source
- Typical Output Noise of a LDX-3412 Precision Current Source
- Typical Output Stability of the LDC-3724B
- Typical Output Stability of a LDX-3100 Board-Level Current Source
- Typical Pulse Overshoot of the LDP-3840/03 Precision Pulse Current Source
- Typical Temperature Stability of a LDT-5412 Low-Cost Temperature Controller
- Using Three-Wire RTDs with the LDT-5900 Series Temperature Controllers
- Voltage Drop Across High Current Laser Interconnect Cable
- Voltage Drop Across High Current TEC Interconnect Cable
- Voltage Limit Protection of an LDC-3916 Laser Diode Controller
- Wavelength Accuracy of the 79800 DFB Source Module

Application Notes

- App Note 1: Controlling Temperatures of Diode Lasers and Detectors Thermoelectrically
- App Note 2: Selecting and Using Thermistors for Temperature Control
- App Note 3: Protecting Your Laser Diode
- App Note 4: Thermistor Calibration and the Steinhart-Hart Equation
- App Note 5: An Overview of Laser Diode Characteristics
- App Note 6: Choosing the Right Laser Diode Mount for Your Application
- App Note 8: Mode Hopping in Semiconductor Lasers
- App Note 10: Optimize Testing for Threshold Calculation Repeatability
- App Note 11: Pulsing a Laser Diode
- App Note 12: The Differences between Threshold Current Calculation Methods
- App Note 13: Testing Bond Quality by Measuring Thermal Resistance of Laser Diodes
- App Note 14: Optimizing TEC Drive Current
- App Note 17: AD590 and LM335 Sensor Calibration
- App Note 18: Basic Test Methods for Passive Fiber Optic Components
- App Note 20: PID Control Loops in Thermoelectric Temperature Controllers
- App Note 21: High Performance Temperature Control in Laser Diode Test Applications

日本代理店
株式会社 日本レーザー Newport機器部
Tel: 03-5285-0853
E-mail: Newport_gr@japanlaser.co.jp
<https://www.newport-japan.jp/>



株式会社日本レーザー

For application assistance or additional information on our products or services you can contact us at:

ILX Lightwave Corporation

31950 Frontage Road, Bozeman, MT 59715
Phone: 406-556-2481 • 800-459-9459 • Fax: 406-586-9405
Email: sales@ilxlightwave.com

To obtain contact information for our international distributors and product repair centers or for fast access to product information, technical support, LabVIEW® drivers, and our comprehensive library of technical and application information, visit our website at:

www.ilxlightwave.com

