

半導体レーザシステムをあらゆる出力でも低温に維持する

ジョン・ウォレス

半導体レーザが最適に機能するのは低温時だ。異なるレーザ出力に対して、それぞれ最適となる冷却アプローチは異なる。

高出力レーザのほぼすべては、温度仕様内で動作させるために積極的に冷却しなければならない。一方、多くの低出力レーザは、いくつかのヒートシンクまたは自然発生するエアフローのどちらかによって、自然に冷却される。半導体レーザ(LD)は特殊であり、その小さなサイズが意味するものは、低出力エミッタでも熟慮された冷却構造が必要であるということだ。

すべてのLDには、熱伝導するマウント、通常は金属にマウントされた、アクティブに放射する半導体チップがある。その結果、すべてのLDはその中心で伝導的に冷却される。最も低出力のLD(そして多くのパルスLD)では、それ自身の伝導的冷却(小型デバイスではしばしば、対流による空冷がある)で十分である。出力がやや上が

ると、LDに熱電冷却器(TEC)の追加が必要になるだろう。材料加工で使われるダイオードバーやダイオードアレイで作られるような、最大級の高出力に対しては、水冷が必須である。

LDに必要な冷却のタイプや複雑性は、アプリケーションに大きく依存する。例に挙げると、電気通信のLDには安定性のために組み込み型TECが必要になるかもしれないし、ビーム干渉検知に使われる低出力LDには特別必要なものはない。LDの冷却が十分でない、ビーム質の低下、中心波長からの過剰なシフト、そして最悪の場合にはLDの壊滅的な不具合をもたらす。

現在の多くのLDと冷却装置の製造者が生産するLD冷却ハードウェアの多様性はいうまでもない。短い記事では、利用可能な製品のごく一部しか紹

介できないという事実もある。それでも本稿では、利用できるサンプルをわずかだが紹介したい。

熱電冷却

前述したように、最も低出力のLD(数mW以下)では、熱的に絶縁された環境にある場合を除いて、冷却について特に考える必要はない。レーザ出力が数十から数百mWになると、特にビーム質の高い制御が求められるとき、冷却が重要になる。この場合は、ヒートシンク設計がよい。10Wオーダーで放射する小型ダイオード源の冷却には、TECが小型で効率よく、可動部がない冷却となりうる(オプションとして小型ファンがある)。

米ソーラボ社(Thorlabs)は、異なるピン配列と、光学出力が2Wまでの単放射ダイオードを対象にしたTEC LDマウントのシリーズ(LDM21)を製造する。これらは電氣的に制御され、出力ビームのコリメーションのオプションが付いた完全マウントである。より高出力なTECバージョン(LDM56)は8WまでのLD出力に対応し、要望に応じて曲面マウントに取り付けできる。この会社のTEC LDマウントのすべては、標準的なネジ付きポスト、そして平行光学系のようなネジ付き光学部品とも互換性がある。

ラボスタイルのLDマウントに類似したものに加え、米ニューポート社(Newport)のTECマウント(LDM-4983T)は、一般的な13ピン、7ピン、ほかのバタフライ型電気通信LDパッ

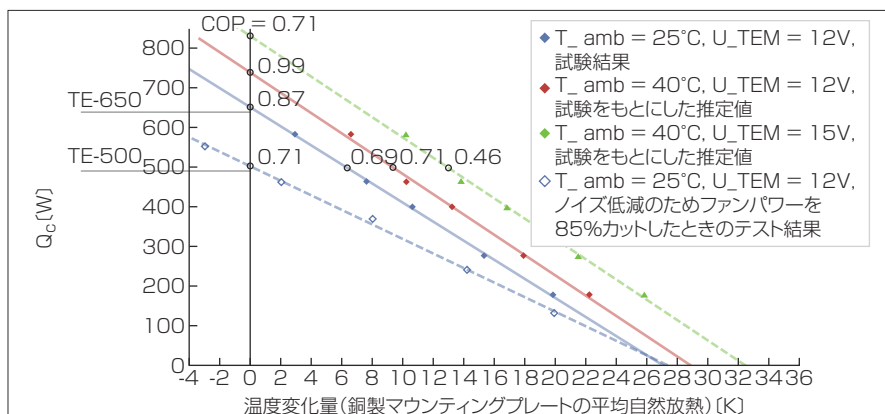


図1 AMSテクノロジーズ社のレーザダイオード熱電冷却モジュールであるTE-500とTE-650のパフォーマンス係数(COP)を、レーザベースプレートの上にある8個の15×15mm²の熱源を用いて、温度差(dT)と冷却能(Qc)の関数として特徴づけ、マウンティングプレートの平均温度を測定した。

ケージ、さらにはデュアルインライン (DIL)、ミニ DIL、コネクタ付き LD パッケージバージョンを含むほかの LD パッケージタイプに対応する。これらの TEC マウントは、内部に TEC がある電気通信 LD に使われる傾向にあることは注目すべきである。そのため、外部マウントは高温安定性が求められるアプリケーション、または LD 内の TEC が実行できるよりも広い温度帯で LD をテストするときに使われる。

熱電冷却技術は単放射 LD に限定されていない。独 AMS テクノロジーズ社 (AMS Technologies) が製造するような高性能 TEC ユニットは、数百 W の LD モジュール放射を冷却できる (図 1)。同社の最高性能の TEC ユニット (TE-650) は、公称で 650 ~ 830 W の冷却能がある。あらゆる LD ホールパターンに対応する銅ヒートシンクには 200 × 190 mm サイズの設置面があり、毎時 700 m³ のポリウムを押し出すファンで空冷する。熱グリースまたはグラフィート箔によって、LD と冷却マウント間の熱界面が作られる。

高出力向けの冷却

材料加工 (「ダイレクトダイオード」) レーザシステム、そして DPSS とファイバレーザの励起) や、ほかの用途 (軍事レーザ励起、油井掘削、将来的にはレーザ航行の宇宙船) では、LD ベースのシステムが数 kW の光学出力になりうる。そのようなシステムでは、最高の冷却能が要求される。

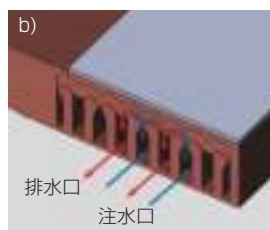
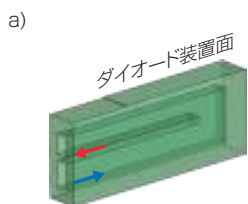


図 2 MC2 社によるマイクロチャンネル冷却器には、エミッタに対して 1 つの U 字型の水チャンネルがある (a)。高出力の LD へのマイクロ衝突冷却は、マニホールドなマイクロチャンネル設計となっている (b)。

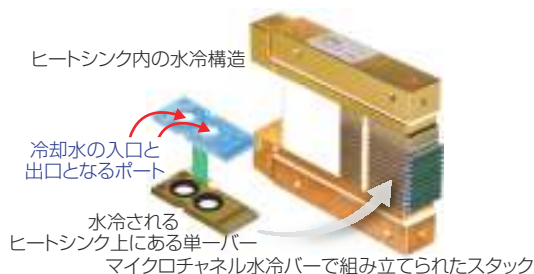


図 3 新しいマイクロチャンネル構造による水冷は、高出力のダイオード列を効率よく冷却する。モジュール型の水冷却構造によって、アレイ内にバーを重ねることができる。これにより水冷が平行となり、すべての列が均等に冷却される。

米レーザーテル社 (Lasertel) には、連続波 (CW) 出力で 2500 W、または準連続発振出力で 25 kW までに対応する液体冷却の LD アレイのシリーズがある。このユニットのモノリシックデザインは、高価な脱イオン水ではなく純粋な濾水によって冷却する (代替として水でない冷却液が使われることもある)。強固にはんだ付けされた構造である同ユニットを組み合わせることで、最大 1 MW を統合的な冷却する、より大きなモジュールを作ることができる。放出波長は 760 ~ 1700 nm である。

多くの高出力 LD ユニットとシステムは、マイクロチャンネルまたはマイクロ衝突冷却を用いることで冷却される。これらでは、LD がマウントされている金属ブロックにある多数の極小チャンネルに強制的に送水される。従来のチャンネル構造はブロックの末端から末端まで通じているが、米マイクロリングコンセプト社 (MC2, Micro Cooling Concepts) は交互式の構造の設計と製造に特化している (図 2)。1 つの放射 LD を十分に冷却するよう機能するマイクロチャンネル形状は、LD 下部で 180 度ターンする流路となっ

ている。高出力に対するマイクロ衝突冷却は、衝突熱伝導とマニホールドなマイクロチャンネル設計と組み合わせる。現在利用できる冷却器は 25 Kcm²/kW までの熱抵抗に到達し、実験的な冷却器は 18 Kcm²/kW まで到達していると MC2 社は述べる。

独コヒレント DILAS 社 (Coherent-DILAS) は、レーザ励起や多用途のために、多くの形状でさまざまな高出力 (数 kW レベル) の LD をもつ。これらに関連して、同社はマイクロチャンネルを含め、さまざまな冷却構造を開発している。ユニットをまたがる共通冷却は多列の LD スタックの平均操作に重要であるため、DILAS 社は平行冷却を開発した。これは、異なるサイズのスタックに対応する構造であるモジュールだ (図 3)。

高出力の LD と高い水流効率を目的に、閉ループの水循環システムが、水とそれによるコストを一定に保つ。このようなシステムはしばしばレーザーチラーによって冷却され、TEC またはほかの対応の冷却 (主に蒸気圧縮) のどちらかによって操作される。米オプティテンプ社 (Optitemp) にはさまざまなタイプの冷却チラーがあり、ポータブルな (運搬可能な) 液冷、空冷、ラックマウント式の液冷と空冷、遠隔のフロアにマウントされたコンデンサに対する巨大な空冷がある。遠隔装置には 35 kW までの冷却能があり、90 度の温度まで操作できる。