

最先端のアプリケーションに 高出力を供給する励起レーザダイオード

ジョン・ウォレス

レーザダイオードは効率的、狭線幅、高輝度であり、長寿命であるので、理想的なレーザ励起光源となる。また、極めて高出力の光パワーを生成するように作製可能である。

長寿命と小型だけでなく、レーザダイオード(LD)は、既知のレーザ光源の中で最高の電力変換効率を持つ。そのような理由で、レーザダイオードは、最新レーザ技術の基盤の大半を占め、それには2つの使用方法も関係する。まず、LDは多くの用途に合わせてUVから中赤外までの波長で発光する。二番目に、LDは多くのタイプの光励起固体レーザにとって、非常に確かな励起光源である。その範囲は、科学から、産業、さらに超高速から連続波まで広

がる。同時に、非固体ハイパワーレーザ、ダイオード励起アルカリ金属レーザ(DPaL)用の励起光源でもある。

レーザ励起用のハイパワーLDは、膨大な波長範囲で市販されている、物理的な構成、ビーム特性、その他の品質も豊富である。レーザダイオードの構成に含まれるのは、シングルエミッタ、バー(シングルエミッタの列)、スタック(2Dアレイ)およびパルス出力。そのような多様な製品を短い記事でカバーするのは不可能なので、ここでは

利用できるもののわずかなサンプルを紹介するにとどめる。

ハイパワー励起LDの最大メーカーの2社は、周知のハイパワーレーザメーカー、米IPGフォトニクス社(IPG Photonics)と独トルンプ社(TRUMPF)である。とはいえ、これら2社は実際上、励起LDの製品全体を自社のダイオード励起レーザ製品に組み込んでおり、従ってここでは取り上げない。

効率的な設計

マルチkWの固体レーザあるいはファイバレーザを光励起するのに必要なパワーは非常に高いので、効率的な励起光源の設計が重要である。「どんなハイパワーアプリケーションでも、パワー効率は、最重要パラメータの1つである、特に不適切な場所で熱を生成する可能性のある数kWのエネルギーを扱う場合には重要である」と独オスラム・オプトセミコンダクターズ社のシニアマーケティングマネージャー、ペドロ・ムニョス氏(Pedro Muñoz)は話している。「熱は寿命とレーザの性能を縮めるだけでなく、一定パワーレベル達成にはより多くのレーザダイが必要になり、一段と複雑な冷却の設計が必要になる。うまく設計されていないと、非効率なシステムは、通常より高価になり、性能は劣る」。

ムニョス氏の説明によると、効率改

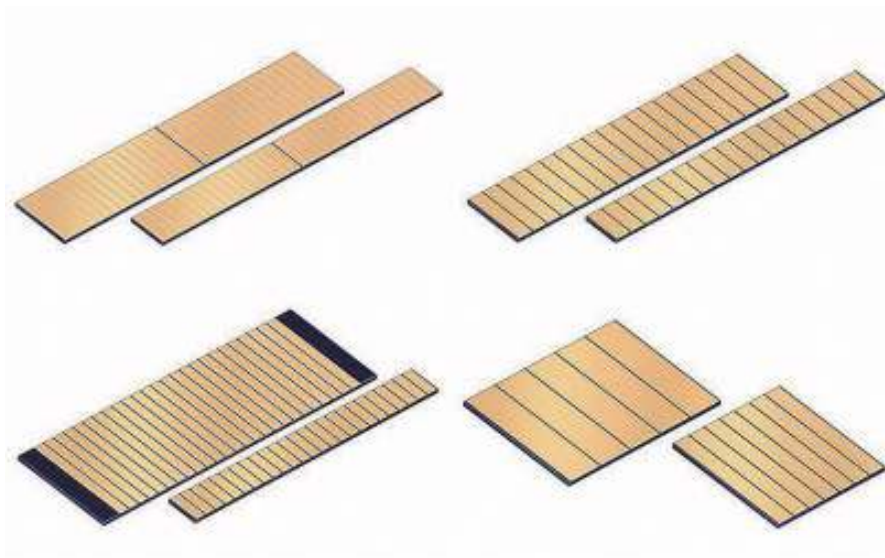


図1 オスラムオプトセミコンダクターズ社製のこのマウントされていない励起レーザダイオードチップは、ハイパワーQCWバー(上段左)、ローフィルファクタCWバー(上段右)、ハイパワーCWバー(下段左)、特注ミニバー(下段右)を含む。(提供:オスラムオプトセミコンダクターズ社)



図2 コヒレント・ディラス社のレーザダイオードスタック、1D(左)と2D(右)構成は励起パワー拡張性がある。(提供:コヒレント・ディラス社)

善のためには、効率のよいレーザが必要だけでなく、多様なLD光源や波長からのレーザパワーを効率的に統合しなければならない。「レーザの迷光を回避するために、必要とするところへ光を正しく方向付け、励起材料の代わりにレーザ装置を加熱するようなことがあってはならない。フリースペース結合の設計があるが、これが可能なのは一定のパワーレベルまでである、レーザの冷却と電気駆動要件は、通常、レーザ装置のどこかに設置されたコンパクトな周知のスタックユニットで行われる。エレクトロニクスや熱問題から解放されたレーザ光を供給するために、つまり活性材を励起するには、一般にファイバが用いられる」。

ムニョス氏によると、オスラム社のLDバーは発散角 $<8^\circ$ でレーザ光を供給する、これは高動作電流と熱条件で一定のままであり、実質的にすべての光を小さなファイバコアに結合できる。従って、レーザ装置全体の効率が向上する。

同社は、ハイパワー InAlGaAs ベースの、マルチブロードストライプエミッタの赤外 (IR) レーザバーを生産している (図1)。狙いは、固体レーザとファイバレーザの励起(およびダイレクト材料加工)である。標準波長に含まれ

るのは、808、880、915、940、960、980および1020nm。1060nmは準備中。一般的な出力パワーは、CWで250W、QCWモードで最大500W。OSRAMは、すでに一般的な65%電力変換効率(9xxnmで)を実証しており、量産で $>70\%$ ピークである。

「当社は、ファイバ結合用に低フィルファクタレーザバー、CW動作用に50%フィルファクタレーザバー、QCW結合用に80%フィルファクタバーを提供している。レーザバーマウンティング技術を熟知している顧客向けにはマウントしていないバーダイ(バーとして)のみを提供している、マウント作業は極めて難しく、それ自体が特殊技術だからである」とムニョス氏は説明している。

スケーラビリティ

超高出力アプリケーション用には、励起LD出力のスケーラビリティが決め手になる。結果的に、レーザダイオードスタックが重要である、と米独のコヒレント・ディラス社 (Coherent/DILAS) のハイパワーダイオードレーザ製品ラインマネージャー、ヨルク・ノイクム氏 (Jörg Neukum) は言う。「マイクロチャンネル冷却ヒートシンクが、レーザ

ダイオードアレイ当たり最高のパワーを供給する。これは熱マネージメントが卓越しているためである。さらに、ポンプ形状に特化した2D励起源構成とするには、垂直にも水平にもスタックできる」と同氏は説明している。「マイクロ光ビーム成形は、両軸コリメートビームを作れるので、ボリュウムブラッググレーティング (VBG) を用いて波長安定化、スペクトルライン狭線化と組み合わせることが可能であり、温度の影響を受けない、スペクトル的に安定な狭線出力を供給できる。用途は DPAL (Diode Pumped Alkali Laser : 半導体励起アルカリレーザ) 励起あるいは他の例を挙げれば、3レベルネオジウム (Nd^{3+}) 励起、1532.25nm でエルビウム:YAG 励起 (Er^{3+} :YAG)、発振波長は1645nm である」。

ノイクム氏によると、マルチkWレンジの超ハイパワーを生み出すために、適切な両軸コリメーションとスペクトル安定性を利用して、多くの垂直スタックを並べて構築することができる。「原理的に波長安定化に VBG を使用することは、ミラーを持つチップと外部 VBG との間で競合する共振器を生み出すことになる。これは原理上、動作範囲を制限するが、チップのプロ

ント端面を反射防止 (AR) コートすることで、こうした問題を取り除き、狭線幅で安定した中心波長をもつ著しく広い動作範囲を達成できる」と同氏は説明している。

コヒレント・ディラス社は、ロッド、ディスク、スラブ、ファイバレーザ、それにDPALなどの活性媒体形状向けに一連の励起波長のハイパワー励起LDを製造している。ノイクム氏の説明によると、これらのLDがターゲットにしている活性レーザドーパントは主にプラセオジウム³⁺ (440~450nm)、クロム³⁺ (640~670nm)、ツリウム³⁺ (785nm)、ホルミウム³⁺ (1908~1940nm)、ネオジウム³⁺ (792~888nm)、イッテルビウム³⁺ (915~976nm)、およびエルビウム³⁺ (960、1470と1532nm)で、これらは固体レーザとファイバレーザの範囲である。またDPALアプリケーション用にはセシウム (852nm) ルビジウム (780と795nm)、それにカリウム (766nm)がある。励起パワーの範囲は、10Wからマルチキロワットまでとなる。

波長安定化

多くのタイプのダイオード励起固体レーザおよびファイバレーザ、ファイバ結合レーザダイオードが医療や歯科分野で使われている。「これらの医療アプリケーションは、最終製品にぴったりと適合する、明確に規定されたパワー、波長、安全機能を必要としている」と独LIMO社のレーザシステム製品ラインマネージャー、アンドレ・ティンマーマン氏 (Andre Timmermann) は言う。「広範な環境パラメータにわたりすべての光学特性を安定化することは、医療製品とアプリケーションで求められるFDA認可を受けるためには重要である」。

結果的に、こうした目的のためにLIMO社で製造された励起LDモジュールには、集積光波長安定化機構が含まれている。これにより、LD波長は、広い波長範囲で一定に保たれる、とティンマーマン氏は説明している。同氏によると、設計は電気-光効率を一定に保つように最適化されており、大きなドリフトはまったく出ない。

同社のLIMO15-F200-DL981-EX15 24モジュールは、中心波長981nmで出力15W、サイズは108×19×25mm、プラグ&プレイコネクタによりファイバ結合出力となっている。デバイスの波長温度ドリフトは、波長安定化により、わずか0.01nm/Kである。

米QPCレーザーズ (QPC Lasers) 社製のスペクトル安定化励起LDは、ダイオード構造自体にグレーティングを集積しているためVBGが不要になっている。これらの励起レーザの狙いは多くの新旧アプリケーション。ここでは、スペクトルが狭く安定化されたポンプが必要とされている。976nmでのファイバレーザ励起、医療イメージングとアルカリレーザ (DPAL) 向けの785nmおよび795nmのルビジウム励起が含まれる。

安定化が必要とされる一例を挙げると、ファイバレーザメーカーは主励起として976nmに移行しつつある。これは976nmでの吸収が915nmでの吸収よりも3倍強力だからである。結果的に、ファイバレーザは短尺化し、光非線形性が低下する。とはいえ、976nm波長の狭い利得ピークは、正確な励起波長制御と狭線幅を必要としている (図3)。

QPCレーザーズ社は、同社の波長安定化LDのコスト、パワー、効率は、従来のダイオード励起と同じであるという。同社は、785~2000nmでNIRダイオードエミッタを製造している。構成は多種 (思いのほか、この分野がいかに多様であるかの例を示す) あり、パッケージされていないチップ、オープンヒートシンクレーザ、シングルモードファイバ気密封止バタフライパッケージ、マルチモードファイバ結合モジュール、マイクロチャネル冷却スタック、また冷却、パワー、制御でOEMサブシステムがある。

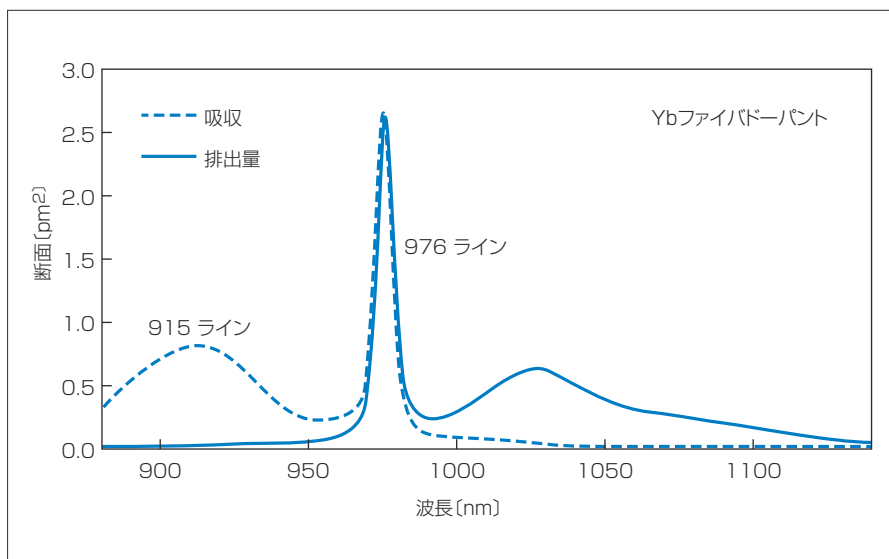


図3 ファイバレーザ向けの976nmレーザ励起バンドは、915nm励起バンドよりもファイバ利得媒体での吸収が高いが、励起バンドは遥かに狭く、従って波長安定化された狭線幅ダイオード励起の利用から恩恵を受ける。