

用途に適した半導体レーザを選択する方法

ホイ・シュウ、ハーウィグ・シュタンゲ、マイケル・ナイエル

本稿では、必要な半導体レーザの仕様を決定できるように導く、4つのステップからなるチュートリアルを紹介する。

半導体レーザは、現在のレーザ技術の陰の立役者ともいべき存在である。シンプルなレーザポインターから高度な量子通信衛星にいたるまで、半導体レーザはいたるところで使用されている。半導体レーザは、卓越した効率と小さなフットプリントのほか、何とんでもワットあたり価格がますます低下している。また、数えきれないほどのさまざまな種類で提供されている。

多くの場面で、半導体レーザの使用が検討される。まったく新しいシステムを考案する場合もあれば、製品に搭載されている古いガスレーザを単に置き換えたいだけという場合もある。そうしたときに問題になるのが、選択肢の多さである。多数の異なる種類の半導体レーザが存在するので、エンジニアであれセールスエキスパートであれ、正しい選択を行うには数日を要する可能性がある。

このチュートリアルは、アプリケーションに適切な半導体レーザとは何か、どのパラメータが最優先で、どれは無視してよいか、という最も重要な疑問に対する答えを導き出すための手引きである。

このチュートリアルでは、一連の質問を読者に投げかけることによって、適切な半導体レーザを直ちに見つけるために使用できる表を作成していく。この論理的なプロセスは、博士課程の学生から経験豊富なエンジニアにいた

るまでのすべての人にとって、適切な解決策にたどりつくための役に立つ可能性がある。このチュートリアルの論理は、適切な半導体レーザを求めるさまざまな顧客のコンサルティングに長年にわたって従事してきた著者らの経験に基づいている。

ステップ1:アプリケーション要件をレーザパラメータに変換する

アプリケーション分野は広大である。ライフサイエンス用の解析装置であるか、偵察任務用の頑丈なレーザであるか、材料加工システム用のシードダイオードであるか、計測用の非常に高い安定性を備えた半導体レーザであるかにかかわらず、とにかく適切な半導体レーザを適切に選択することが重要である。

自分にとって適切な半導体レーザを見つけるにはまず、そのアプリケーションによって確定される一連のパラメータを明らかにすることから始めるだろう。例を使って、その作業を説明していこう。以下では、表面プロファイリングや速度計測のための適切なレーザ干渉計を構築したいと仮定する。

このデバイスに対し、コヒーレンス長が1~10mの半導体レーザが必要で、干渉パターンは、温度が変化しても安定した状態を維持する必要がある(<0.1nm/K)。コリメートされた gaussian (Gaussian) ビームが必要で、出

力は80mW以上でなければならない。使用している検出器はシリコン (Si) ベースで、1100nm未満の波長にしか対応しない。中心波長そのものと偏光は、ここではそれほど重要ではない。パッケージやピン配置については、この時点ではまったくわからない。

表1は、ここまでに挙げたデータをまとめたものである。左側には純粋なアプリケーション要件、右側にはレーザパラメータが並んでいる。コヒーレンス長から、線幅を計算することができる($\Delta \nu = c / \pi L = 9.6 \sim 95.5$ MHz)。

この分野に疎い読者のために、以下では、各パラメータについて詳しく説明する。以下の説明のほとんどは、リュディガー・パショッタ氏 (Rüdiger Paschotta) の「RP Photonics Encyclopedia」(www.rp-photonics.com/encyclopedia参照)に記載されている。同書は、フォトンクスに関するあらゆる背景知識が網羅された、素晴らしい文献である。

コヒーレンス長は、コヒーレンスが著しく低下するまでの距離である。実際には、時間的なコヒーレンス長にも関連するが、ここでは上記の定義で十分である。詳細と計算方法については、www.rp-photonics.com/coherence_lengthを参照してほしい。このチュートリアルでは、 $\Delta \nu = c / \pi L$ という式を使用した。 $\Delta \nu$ は帯域幅(または線幅)、 c は光速、 L はコヒーレンス長である。

スペクトル分解能は、帯域幅(単位: nm)と波長の間の関係を表し、 $R = \lambda / \Delta \lambda$

で求められる。スペクトルグラフ、またはより一般的に、周波数スペクトルの場合は、電磁スペクトルの中の特徴を明らかにするレーザーの能力を表す測定単位である。

帯域幅の値を、ナノメートル (nm) 単位からメガヘルツ (MHz) 単位に変換するには、 $\Delta \nu = \Delta \lambda \cdot c / \lambda^2$ という式を使うか、インターネット上の計算機を使用することができる。たとえば、www.photonicsolutions.co.uk/wavelengths の計算機では、波数(単位:cm⁻¹) やその他4種類もの単位に、帯域幅の値を変換することができる。

通過帯域。 レーザ信号を検出するためのセンサの中には、干渉フィルタを使用して不要な周辺光を遮断するものがある。そのため、レーザー光源の波長を、フィルタの小さな通過範囲内に収める必要がある。これは、ベンダーにとっては重要な情報だが、この例では、中心波長の些細な誤差は無視できる。

ビーム品質は、いくつかの方法で定義することができる。1つは、ビームがどれだけ理想的なガウシアン形状に近いかを表すM²係数である。1.0は、完璧なガウシアンビームを表す。もう1つはビームパラメータ積(BPP: Beam Parameter Product)で、焦点におけるビームウエストに遠視野発散角を乗算することによって求められる。詳細については、www.rp-photonics.com/beam_quality を参照してほしい。

強度は、ビームエリア、できれば焦点におけるレーザー出力を表す。従って、単位はW/cm²である。ここでの問題は、何をもってビームエリアとするかである。詳しい議論については、www.rp-photonics.com/optical_intensity を参照してほしい。

ビームプロファイルは、レーザービームにおける強度分布のことである。そ

表1 アプリケーション要件と半導体レーザーのパラメータ (赤色で記されているのは、本稿の例のデータ)

アプリケーション要件	レーザーパラメータ	
コヒーレンス長 $L=1\text{-}10\text{m}$ スペクトル分解能 フィルタの通過帯域など	線幅 波長誤差 波長安定性 波長	$\Delta \nu = 10\text{-}100\text{MHz}$ $< 0.1\text{nm/K}$ $\lambda < 1100\text{nm}$
ビーム品質、発散角、ビームスポットプロファイル、サイズなど ガウシアンビーム	横モード	$M^2 < 1.1$
強度、輝度など	出力	$P > 80\text{mW}$

の分布に応じて、フラットトップ分布(矩形分布)やガウシアン分布となる。シングルモードのビームは通常、ガウシアン分布に(近く)なり、マルチモードのビームは通常、ガウシアン分布にならない。混合モードの数や強度分布によって、さまざまな形状になり得る。

レーザー光源の明度または輝度は、その出力パワーとビーム品質を1つの数値で表す測定単位である。基本的には、レーザー出力をBPPで割った値である。従って、単位はW/cm²srとなる。詳細については、www.rp-photonics.com/brightness を参照してほしい。

ステップ2: レーザの種類を選択する

ステップ2では、レーザーの種類をより具体的に絞り込みたいと思う。ここ

には、多数のオプションが存在する。それらをふるい分けるための適切な方法は、オプションを積み付けして、重みの合計が最も大きいものを選択することである(表2)。灰色で影付けしたフィールドは、シングルエミッタの半導体レーザーで一般的に提供されている、さまざまなオプションを示す。

ここではわかりやすいように、端面発光半導体レーザーのみを対象とする。垂直共振器面発光レーザー(VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser)、バー/スタック、アレイ、量子カスケードレーザー(QCL: Quantum Cascade Laser)など、そのほかの一般的な種類のレーザーは、特性がかなり異なるので、ここでは取り上げない。ただし、それらの種類のレーザーも、同じような方法でそれぞれ評価することに

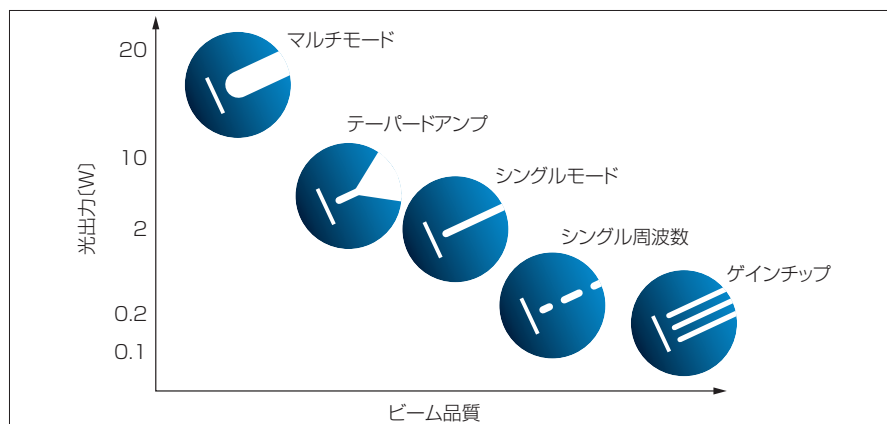


図1 さまざまな種類の半導体レーザーがあるが、一般的にはビーム品質が高いほど、出力パワーは低い。

表2 パラメータの選択と重み付け

パラメータ	シングル周波数レーザー					パラメータの重要度 2=必須 1=重要 0.5=あるとよい 0=重要でない
	マルチモードレーザー (一般名称:ブロードエリアレーザー[BAL])	シングルモードレーザー (一般名称:リッジ導波路レーザー[RWL], ファブリークペロー・レーザー)	ファイバ・ブラッグ・グレーティング(FBG)、 ボリューム・ブラッグ・グレーティング(VBG)	安定化リッジ導波路レーザー(RWS)	分布帰還型(DFB)、 分布ブラッグ反射器(DBR)	
波長誤差	Ca. 10-20nm	Ca. 5-10nm	Ca. 2nm	Ca. 3nm	Ca. 0.5-2nm	0
線幅	Ca. 3-5nm	Ca. 1nm	Ca: 300GHz	<50MHz ✓	<2MHz	2
波長安定性	Ca. 0.3nm/K	Ca. 0.3nm/K	Ca. 0.01 nm/K ✓	Ca. 0.06nm/K ✓	Ca. 0.06nm/K ✓	2
横モード	マルチモード (非ガウシアン)	TEM ₀₀ ✓ (ガウシアンビーム)	TEM ₀₀ ✓ (ガウシアンビーム)	TEM ₀₀ ✓ (ガウシアンビーム)	TEM ₀₀ ✓ (ガウシアンビーム)	2
M ²	>>2	Ca. 1.1 ✓	Ca. 1.1 ✓	Ca. 1.1 ✓	Ca. 1.1 ✓	2
出力 (シングルエミッタ)	連続波:1-18W ✓ パルス:5-100W	連続波:50-1000mW ✓ パルス:<3W	連続波:up to 600mW ✓ パルス:<1.5W	連続波:5-400mW ✓ パルス:<1W	連続波:5-400mW ✓ パルス:<1W	1
重み合計値	1	5	7	9	7	

よって、適切なものに絞り込むことができる。端面発光半導体レーザーの出力パワーは一般的に、設計に起因するビーム品質と関連性があることに注意してほしい(図1)。

結論を導き出すために、まずは、アプリケーション(この例では、レーザー干渉計の構築)に適したパラメータが記載された、すべてのフィールドにチェックを入れる。波長誤差の行にはチェックが1つもないが、それは、このパラメータには何の制約も設けなかったためである。従って、重みはゼロである。線幅については、10～100MHzの間と

計算したので、安定化リッジ導波路の列の「<50MHz」というのが妥当だと思われる。これは重要なパラメータなので、重みは2とする。

同様に、ほかの行にもチェックを入れ、重要度を示す重みをアプリケーションに応じて最終列に書き込む。最終行には、チェックを入れたフィールドの重みの合計値を書き込む。その結果、「シングル周波数レーザー/安定化リッジ導波路レーザータイプ」の列の重みが9となり、最も大きくなった。従ってこれが、求める半導体レーザーの種類となる。

各セルに重みを付けることで、この表をさらにきめ細かいものにすることができる。あるパラメータの値が、必要よりもはるかに高かったり(重み0.5は、あるとよいを表す)、ただ仕様の範囲内であったり(重み2は、必須を表す)する場合には、この方法の方が賢明かもしれない。パラメータに加えて安価なものを選択したい場合や、あるパラメータについて安全側の選択をしたい場合など、希望があればここで微調整を加えることができる。

ステップ3：レーザーの材料を選択する

波長は、アプリケーションにおいて非常に重要である場合が多いが、ある企業が提供するレーザーが、特定の波長範囲にしか対応しないのはなぜだかご存じだろうか。それは、その企業が使用する材料が、特定の波長範囲に対応するか、あるいは対応しないためである。

表3に、具体的な材料とその波長範囲の概要を示す。本稿の例では、検出器はSiをベースとするので、このレーザーの放射波長は1100nm未満に制限される。つまり、窒化ガリウム(GaN)や

表3 半導体レーザー材料の選択

放射波長	スペクトル	半導体レーザーの材料(基板)または構造
380-470nm	UV	GaN
630-1120nm	VIS to NIR ✓	GaAs*
1120-1650nm	NIR	InP
2-10μm	IR	QCL(量子カスケードレーザー)

*備考：一部のパルス発振 GaAs 半導体レーザーは、出力を2倍にしてスペクトル範囲をUV域まで拡張することができる。

ヒ化ガリウム (GaAs) の半導体レーザーが、この例には適している可能性がある。一般的に、紫外線 (UV : ultra-violet) レーザは、可視域 (VIS : visible) また近赤外域 (NIR : near-infrared) の半導体レーザーよりも高額になるので、ここでは、「VIS to NIR」の材料にチェックを入れることにする。

ステップ4：最後の表を作成して検索を開始する

以上で、半導体レーザーの適切な選択に必要なすべてのパラメータが明らかになった。表4は、これまでの表から導き出した一連のパラメータに、以下で説明するその他のパラメータを加えて示したものである。

動作モード (連続波 [CW]、パルス、変調) : これは、熱管理、従ってパッケージ形状に大きな影響を与える可能性がある。デューティ比が低いパルス発振またはパルス変調の半導体レーザーの場合は、排熱が少ない可能性があるため、パッケージサイズを小さくすることができる。

ビームのコリメーション (自由空間、集積光学部品を使用、ファイバピグテール付き) : これは、アプリケーションに大きく依存する。一般的には、フェルルールコネクタ (FC) またはスタンダードコネクタ (SC) などの標準的な光コネクタインタフェースが有効である。

パッケージ : 環境は、平面 (プリント回路基板 [PCB] やヒートシンクなど) か、それとも円形 (管) か。平面ならば、バタフライ型かフラットパック型、円形ならば TO-can が適している。全体的なサイズに何か制約はあるか。既存のソリューションにドロップイン式で追加できる互換性は必要だろうか。TO パッケージの場合は、ピン配置 (*m*、*n*、*p* タイプ) とサイズ (5.6mm か 9mm) を決定す

表4 半導体レーザーのパラメータ

パラメータ	キーワード	
出力	>80mW	
ビーム質	$M^2=1.1$	
レーザータイプ (ステップ2の結果)	安定化リッジ導波路レーザー、シングル周波数レーザー	
波長/材料 (ステップ3の結果)	630-1120nm/GaAs	
ビームコリメーション	自由空間、集積光学部品	
オペレーションモード	CW	
偏光	TM または TE	
パッケージ	パッケージタイプ	TO-can
	ピニング	<i>m</i> タイプ

る必要がある。14ピンのバタフライ型パッケージの場合は、通信と励起のピン配置を区別しなければならない。

価格 : 半導体レーザーの価格に関しては、何にも増して重要な規則が1つある。絶対中心波長が厳密に決まっているわけではないのなら、汎用品として販売されているレーザーを探すときよい。大手メーカー (米ルーメンタム社 [Lumentum] やソニーなど) は、いくつかの半導体レーザーをゲーム機やスマートフォンなどの民生用途向けに提供している。産業分野では、一般的な波長というものがいくつか存在し、たとえば、ファイバレーザー励起や分光法には 852nm や 980nm の波長がよく使われる。そのような半導体レーザーは、ほかのものよりもかなり価格が低い。

一方で、カスタマイズされた半導体レーザーには、連続製造に対してより高い安全性が確保されるというメリットがある。半導体レーザーの供給メーカーと戦略的提携を結んでおけば、製品が

予告なく生産終了になることはないからである。1個のデバイスを試作した後、年間数百または数万単位の量産へと移行する場合は、これは重要なことである。大量市場を対象とするベンダーならば、製造個数はそれよりもはるかに多くなる。

表4のデータを基に、半導体レーザーの供給メーカーに連絡をとるか、独自にインターネット検索を開始することができる。自分で検索する場合は、最初の4つのキーワード (RWS、シングル周波数レーザー、630 ~ 1120nm/GaAs、連続波、80mW 以上) を入力すれば、何社かの適切な供給メーカーを、直ちにを見つけることができる。

半導体レーザーのベンダーに連絡をとるとき、本稿の表があれば時間の節約になる可能性がある。ベンダーは、その表から直ちにニーズを把握できるので、アプリケーションに適していない選択肢について長々と議論する手間が省ける。

著者紹介

ホイ・シュウ (Hui Zhou) は、独イーグルヤード・フォトリクス社 (eagleyard Photonics) のセールス・エンジニア、ハーウィグ・シュタンゲ (Herwig Stange) は同ビジネス開発マネージャー、マイケル・ナイエルは同セールスおよびマーケティング担当副社長。
e-mail: hui.zhou@eagleyard.com URL: www.eagleyard.com