

フォトニクスの新しい成長機会を創造する緑色レーザ

ポール・ルディ

直接発光方式の緑色レーザダイオードは多数の利点をもつが、なかでも高効率と動作寿命によって可視レーザの用途が拡大し、新しい成長機会が創造されると期待されている。

最近の緑色および青色半導体レーザの商業化の進展は、既存市場の拡大ばかりでなく、新しい成長分野を創造しようとしている。可視光「ダイレクトダイオード」レーザの固有の利点は、防衛、産業、医療などの弾力性のある応用市場の成長が可能になり、半導体レーザ以外の可視レーザとの置き換えが始まると期待されている。また、特殊ランプや発光ダイオード(LED)のようなレーザ以外の光源のユーザが半導体レーザへ転向することにより、ディスプレイや照明分野で新しい応用が生まれるであろう。

可視レーザの応用は、まずヘリウムネオンとアルゴンイオンの気体レーザから始まり、その後はランプ励起固体

レーザ、半導体励起固体(DPSS)レーザ、赤外半導体レーザへと続き、その後に第2高調波発生(SHG)技術が導入された。SHG レーザシステムは、今日の青色および緑色レーザの特殊な用途には適用できるが、大量に使用する用途では、効率が低い、高価で大型、温度に敏感、壊れやすいなど、SHG レーザに固有の問題が解決されていない。小型で安価な赤色半導体レーザは容易に利用できるが、赤色が最適波長として選択されず、青色または緑色が必要になる応用も数多くある。

中村修二氏らは、1995年に最初の窒化インジウムガリウム(InGaN)系の可視半導体レーザを実証した⁽¹⁾。レーザはサファイア基板上に作製され、紫

外領域で発振した。この実証によってコストの低減、形状因子の小型化、耐久性の向上、温度感受性の低減、設計柔軟性の増加、効率の向上などを可能にする新しい方式の「ダイレクトダイオード」可視レーザの誕生が示された。この最初の実証以降、InGaN系レーザは、紫外領域と青色領域における発光効率と寿命が急速に改善された。そこでは量産技術の開発が行われ、ブルーレイディスクなどの応用が可能になった。ごく最近では、無極性および半極性GaN基板上にInGaN半導体レーザを作製する革新的な技術が開発され、青色半導体レーザの発光効率のさらなる向上が可能となり、連続波レーザ発振の波長は520～525nmの緑色領域にまで拡大可能になった(図1)⁽²⁾。

このような直接発光方式の青色および緑色レーザは、「緑色半導体レーザの利点」(p.36)で述べたように、従来のSHG青色および緑色レーザに比べると、素晴らしい利点が得られる。直接発光方式の青色および緑色半導体レーザが広く利用可能になると、その利点は可視レーザの産業に移転され、既存の応用の拡大ばかりでなく、新しい応用も生まれると期待している。

防衛とセキュリティ

防衛やセキュリティの分野には青色および緑色レーザのさまざまな応用があ

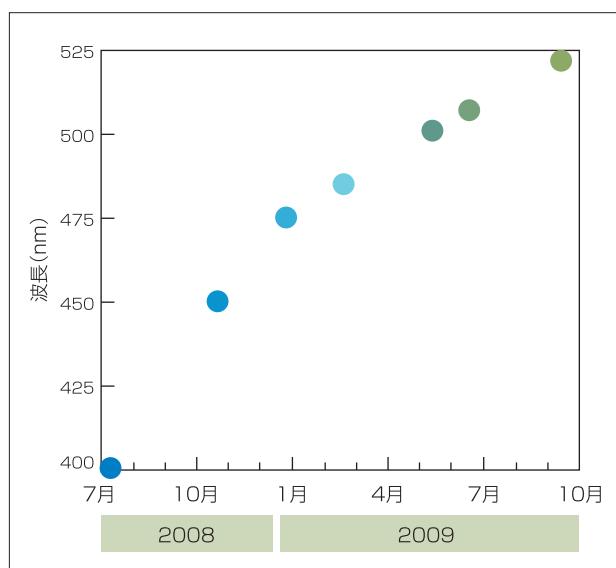


図1 InGaN系の半導体レーザは1995年に初めて実証された。それ以後、その発光波長は緑色へ着実に進歩した。

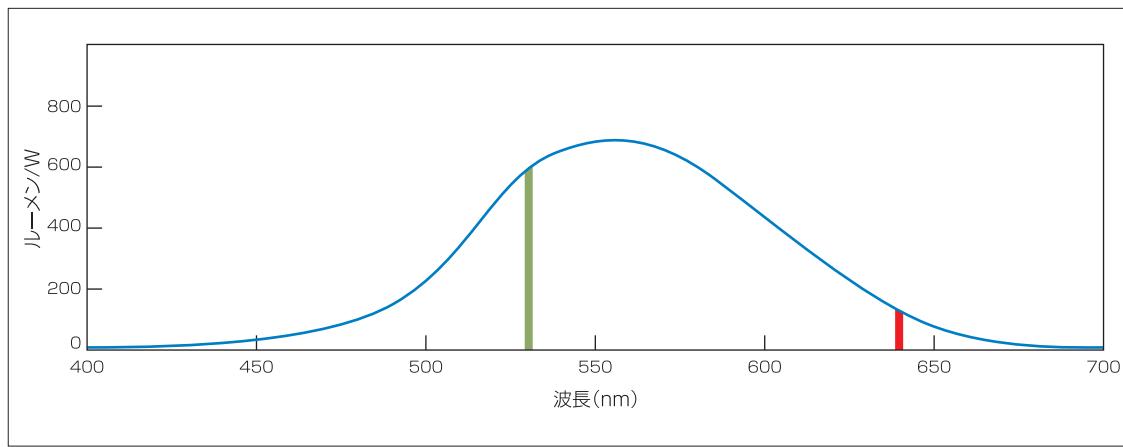


図2 人間の眼の波長感度曲線を示している。この曲線から分かるように緑色レーザは赤色レーザよりも眩しく感じる。

り、ポインティング、警告、脅威の検出、海底通信、ヘッドアップディスプレイ、プロジェクトショニディスプレイなどの用途が含まれる。防衛やセキュリティの分野の応用は、次第に大規模集中方式の特殊設備から陸上では分散方式の携帯機器、上空では無人飛行機(UAV)、海上では超小型船へと移行している。このような動向のなかで、保安要員と戦闘員にとっての緑色および青色半導体レーザの重要性は増大しているが、これは上述したように、SHGレーザと比較したときの利点があまりにも大きいことによる。

その一例を述べると、緑色半導体レーザは非致死性脅威検出レーザを大規模に展開するときの理想的な解決策になる(脅威判定、脅威緩和、視覚警告技術、レーザめくらまし、「ヘイル・アンド・ワーニング」とも呼ばれる)。これらの手段のエンドユーザーには戦場の兵士、国家防衛官、警察官、敵対可能性の状況下にある安全保障の関係者などが含まれる。脅威検出は脅威緩和の判定尺度になるが、同時に、強力な視覚警告、つまり近づいてくる敵対者グループを「めくらまし」状態あるいは一時的な盲目状態に誘導し、しかも眼には永久損傷を与えない警告の発動の必要性を判定する尺度にもなる。

このような用途のレーザは装置の携

帶性とロバスト性の要求を満たさなければならぬ。眼は緑色波長に対して最も敏感に反応するため、めくらましには緑色光源が必要になる。光パワーが等しくても、人間の眼の緑色光に対する感度は赤色光に比べると5倍以上になるため、この用途に対しては赤色半導体レーザは実用的ではない(図2)。この用途では三段DPSSレーザを使用しているが、エネルギー効率はかなり悪く、壊れやすく、アライメント温度に敏感で、波長は532nmに固定されるという重大な制約がある。前述したように、単一段の小さなチップから緑色レーザビームを直接発生するInGaN半導体レーザは、現在のDPSSシステムの欠点を排除できる。

ダイレクトダイオード方式の半導体レーザの利点を活用すると、緑色レーザの大規模展開にともなう障害が除去され、ほとんど全ての兵士やUAV、小型船舶などへのレーザの標準装備が可能になる。

バイオメディカル

防衛市場と同様に、医療および産業用レーザの用途も今日の多段式の青色および緑色SHGレーザがダイレクトダイオードレーザに移行し、その結果、これらの用途は大きく成長すると期待

される。現在の青色および緑色レーザを用いる生体計測と内科的治療の応用は、研究室のなかでは大成功を収めているが、今日のSHG固体レーザシステムは小型化が本質的に難しいため、携帯式の分析装置はまったく普及していない。さらに、現在のレーザ製品はコスト効果のある波長設計の柔軟性に欠けている。ダイレクトダイオードレーザによるアプローチでは、必要とされる小さなサイズとロバスト性に加えて、515、507、488nmなどの異なる発光波長を実現できる。

ディスプレイ

2009年は小型レーザプロジェクタが商品化され、レーザディスプレイの人気が高まった。これからの数年、レーザディスプレイの勢いはさらに強くなると予想される。小型レーザプロジェクタは手持ちサイズの装置から大画面(60インチ以上)を投影し、映画鑑賞、インターネットサーフィン、ビデオ会議などを行うことができる。レーザディスプレイ市場を実現可能にするには、プロジェクタの電力消費、サイズおよびコストの最小化とルーメン出力の最大化が必要になる。

一般のレーザプロジェクタは、光源(レーザ、LEDまたはランプ)、光学系、

緑色半導体レーザの利点

緑色半導体レーザは同等の緑色出力の第2高調波発生(SHG)デバイスに比べると、多くの利点が得られる。

効率：半導体レーザは單一段デバイスのため、多段デバイスに比べると、効率が本質的に高い。したがって、必要な電池は少なくなり(省電力)、光は最小の廃熱で発生する(さもなければ廃熱の管理と処理が必要になる)。全体として、サイズと重量はSHGデバイスの10分の1にまで減少し、コストも低減する。

ロバスト性：緑色レーザ光はチップの内部から発生するため、レーザ発振を維持するための外部からの光学的アライメントが不要になる。その結果、使用時の故障対策の機構も不要になり、製造コストが劇的に低減する。

動作温度範囲：半導体レーザは温度のわずかな変化に対して感受性がなく、温

度制御や能動加熱/冷却をしなくても、SHGデバイスの5倍の温度範囲で動作する。その結果、システムの複雑さ、コスト、サイズ、重量は大幅に減少し、故障対策の機構も不要になる。

動作特性：半導体レーザは10倍も広いスペクトル線幅で動作するため、スペックルは劇的に減少する。また、変調速度が1000倍になるため、デバイスの直接変調が可能になる。さらに、515、507または488nmの異なる波長での発光も可能になる。

安全性：この半導体レーザは緑色だけを発生する。SHGデバイスとは異なり、1064nmの基本光はまったく発生しない。したがって、基本光の遮蔽フィルタは不要となり、コストと複雑さが低減する。1064nmの残留光もないため、赤外ビームに曝される危険性も排除される。

も開発が進み、テレビやホームシアターばかりでなく、携帯サイズの装置として間もなく市販されようとしている。ダイレクト発光方式の青色および緑色半導体レーザは、手持ちサイズの小型装置から大型3D画像をどこにでも投影できる次世代ピコプロジェクタにとつて必須のものになる。

3Dコンテンツを表示し観賞するいくつかの技術は、一般に二つの異なる画像を投影し、一つの画像を右眼で、もう一つの画像を左眼で観賞する。携帯式の小型ピコプロジェクタのように、スクリーンでの制御が行わぬ場合は、二つの画像を異なる色の組合せで表示し、スペクトルフィルタ付きの受動型眼鏡をかけて見るのが最も簡便な方法になる。この眼鏡は安価であり、このアプローチはすべての面がスクリーンになる。この方式の3Dディスプレイを光学的に実現するには、二つの赤色光源、二つの緑色光源、二つの青色光源が必要になる。同色の二つの光源は相互にわずかに離調され、ノッチフィルタを使うことで、光源の一つが選択的にフィルタリングされて、見る人の視野になる。このアプローチはマイクロディスプレイ技術には依存せず、LCOS、MEMSアレイ、走査マイクロミラーのいずれとも互換性がある。このアプローチは商品化が始まった2Dレーザプロジェクタの自然な延長上の製品として位置付けられる。

ディスプレイ技術(液晶やマイクロミラー素子など)、電子回路および電源を用いて構成される。LEDやランプなどのレーザでない光源は、偏光でない(光損失が過剰になる)、空間モード品質に劣るため大型LCOSまたはLCDチップが必要になる、小面積へ集光が難しいため小型走査鏡の設計を採用できないなどの欠点がある。多段SHGレーザはレーザプロジェクタにも使えるが、このようなシステムは高価かつ大型で、高速変調が難しく、画像には狭線幅発光によるスペックルが現われる。

直接方式の青色および緑色半導体レーザは、強く偏光した出力と走査鏡の設計に適した単一空間モードが得られるため、レーザプロジェクタの理想的な光源になる。また、出力スペクトルの線幅がかなり広いためスペックルは減少し、発光効率も高く、走査鏡、LCOS、

MEMSアレイなどのディスプレイ技術による高速変調も可能になる。

近々実現する3D

3Dエンタテインメントは技術が進歩して人気が急上昇している。その結果、大手の映画会社、ビデオゲームメーカーおよびスポーツイベント関係企業は3Dコンテンツを積極的に制作している。3Dコンテンツの制作および伝達手法の標準化とともに、3Dディスプレイ

著者紹介

ポール・ルディ(Paul Rudy)はカエイ社(Kaai)の事業開発担当副社長。e-mail: prudy@kaai.com

参考文献

- (1) S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, and Y. Sugimoto, "InGaN Based Multi-Quantum-Well-Structure Laser Diodes," *Jpn. J. Appl. Phys.* 35, 74-76 (1996).
- (2) J. Raring, E. Hall, M. Schmidt, C. Poblenz, B. Li, N. Pfister, D. Feezell, R. Craig, J. Speck, S. DenBaars, S. Nakamura, "High-power high-efficiency continuous-wave InGaN laser diodes in the violet, blue, and green wavelength regimes," *SPIE Defense and Security Symposium*, Paper Number 7686-18 (2010).