

ブルーダイレクトダイオードレーザが産業レーザ機能を拡張

ジャン＝ミシェル・ペラブラ、マシュー・フィヌフ、ロバート・フリッツ、マーク・ゼディカー

ハイパワー、高輝度ブルーダイレクトダイオードレーザシステムは、銅を高効率、低過熱加工する。

レーザは、エネルギーを正確な場所に供給できる柔軟なツールである。柔軟で正確なエネルギー送達は、多くの産業アプリケーションにとって望ましいが、送達エネルギー量が作業実現に十分でありさえすればよい。例えば、溶接、切断、クラディングはすべて、産業用レーザの立派な候補である。しかし、最近まで、これらのアプリケーションで使える十分なパワーを持っているレーザは赤外 (IR) レーザしかなかった。米ヌブル社 (NUBURU) は、最近、新しいタイプの産業用レーザを開発した。光ファイバを結合したブルーレーザダイオードで構成されるハイパワーブルーレーザである (図1)。最初の商用製品、AO-150、は150W 450nm レーザ光源で、その出力は200 μ m径

光ファイバに結合されている。

多くのアプリケーションで、ブルーレーザは、IRレーザに対して複数の本質的な強みがある。第1に、より短波長になると、多くの一般的な産業用材料の吸収性が強くなるからである (図2)。例えば、銅および多くの他の金属の溶接は、IRの場合と比べると青色波長では、はるかに効率がよい。積層造形 (3Dプリンティング) に使用される多くの材料も、青色波長での加工効率が優れている。

材料加工にとって青色光の基本的な物理的優位性は、誰でも知っていることであるが、産業アプリケーションでの青色光の利用は、ハイパワー青色レーザ発振を可能にする技術進歩を待たねばならなかった。

青色化

ブルーレーザを使う溶接の利点は、吸収の基本的物理学からくる。そのような固有の利点は、生産的となるだけの十分な光パワーを供給するブルーレーザなら、どこからでも引き出すことができる。

第1の重要要素は、ダイオード光源そのものである。窒化ガリウム (GaN) ベース半導体技術は、急速に進歩し、一般固体照明や関連アプリケーションへ向かって進み、そこから恩恵を得ている。この一例は、独オスラム社 (Osram) のブルーレーザダイオード・マルチダイパッケージ (PLPM4 450) である。これは、20の個別マルチモードダイオードを単一のパッケージに統合し、総出力>60Wを供給する。AO-150は、4つの独立したパッケージからの個々のダイオード出力を統合し、半自動プロセスでアクティブアライメントしている。

すべてのレーザダイオード同様、個別素子の出力は非対称であるので、各出力は、まずは、速軸、遅軸コリメータで円形化される。これらのマイクロ光学素子は、ダイオード技術の発展にしたがって随伴開発される。コリメーション後、各ビームの発散は、1.5 \times 4.3mradとなる。次に個々のビームは、チップモジュールのおのおのからのギャップを満たすように一連のパターンミラーでインターリーブされる。追加のマクロオプティクスによ



図1 多くの材料にとって青色光は赤外よりも吸収性が良く、レーザ材料加工がより高速に良好になる。

り、約 $130 \times 225 \mu\text{m}$ 集束ビームサイズになる。これは、 $200 \mu\text{m}$ 光ファイバへの効果的結合には大きすぎる。

ビームは次に一連の光学素子で、さらに調整される。これには、偏光素子、2.5Xシリンドリカルテレスコープ、非球面結合レンズが含まれる。ファイバ入力点で、有効開口数0.22、ビームサイズ $125 \times 129 \mu\text{m}$ である。結果は、約95%の効率である。これには結合効率とファイバ損失の両方が含まれている。図3に示したように、出力ビームプロファイルは、よく調整されていて、非常に対称的である。

AO-150設計は、約190W連続波(CW)動作が可能であるが、供給システムは、レーザの長寿命を保証するために150W出力で動作するように設定されている。安定した機械的、熱的設計、クローズドループ水冷とともに、1000時間で3%を上回るパワー安定性を実現している。

このようにシステムエンジニアリングの詳細に注意を払う理由は、青色波長レーザが、多くの産業アプリケーションでIRレーザを凌ぐという期待である。最初のテストで、その期待の正当性は実証された。

銅溶接

銅は電気デバイスでは重要材料である。銅素子間の接続は、そうしたデバイスの機能にとって絶対に必要である。コンシューマーエレクトロニクスやリチウムイオンバッテリーなどの量産品では、膨大な数の接続が、レーザ溶接のような効率的で柔軟なプロセスを必要としている。

銅は、入射近赤外(NIR)照射の5%程度しか吸収しないため、結果的に、溶融が始まるにはかなりの量のIRレーザパワーが必要になる。溶融が始まれば、

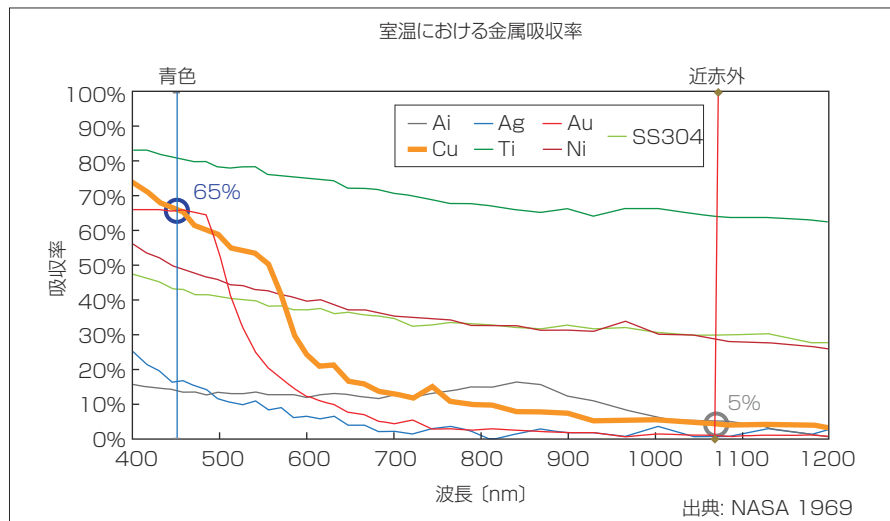


図2 さまざまな金属の室温スペクトル吸収率をプロットした。データは、青色(450nm)における銅の吸収率が、近赤外(NIR)と比較して12倍高いことを示している。さらに、ほとんどの他の金属の吸収率は、NIRの場合と比較して、2倍から100倍高い。

ば、キーホールが、入射IR照射の非常に大きな割合を吸収する。つまり、溶融プールに多すぎるエネルギーを供給するのは非常に簡単だが、結果はスパッタとボイドということになる。簡単に言うと、多すぎる吸収エネルギーによって低品質の溶接となり、最終加工品の機械的、電気的性能が劣る。銅溶接向けの赤外レーザシステムは、ほぼ不可能に近い細いライン、つまり狭いプロセスウインドウで進められなければならない。溶融を始めるために十分なエネルギーが供給されなければならないが、溶けた銅が瞬時に蒸発するほど多くのエネルギーであってはならない。

銅のIR吸収効率と比べると、銅の青色光吸収効率は10倍以上である、つまりはるかに広いプロセスウインドウを達成している⁽¹⁾。要は、溶融を開始するのに必要なエネルギーは、溶接を維持するために必要とされるエネルギーと本質的に同じである。このことは、ブルーレーザでは、より高品質の銅溶接に直接つながる。

そのような質的利点に加えて、ブルーレーザには量的利点がある。銅の低パ

フォーマンスIR溶接を補うために、さまざまな運用技術が開発されてきた。そのような運用法のすべてが、溶接を実行するために必要な時間を増やしている(つまり、それらの方法は、一般に、IRレーザで高品質溶接達成に成功していない)。ブルーレーザは、IRレーザの

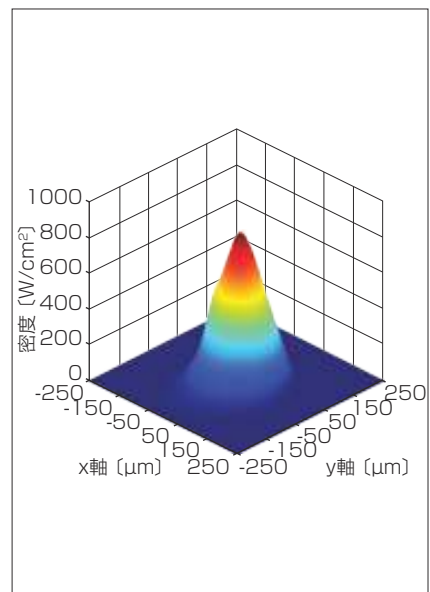


図3 ビームプロファイルが示しているのは、AO-150レーザツールのファイバ出力でビームが対称的で形が良く、多様な産業アプリケーション向けの高いパワー密度供給に重要な特性である。

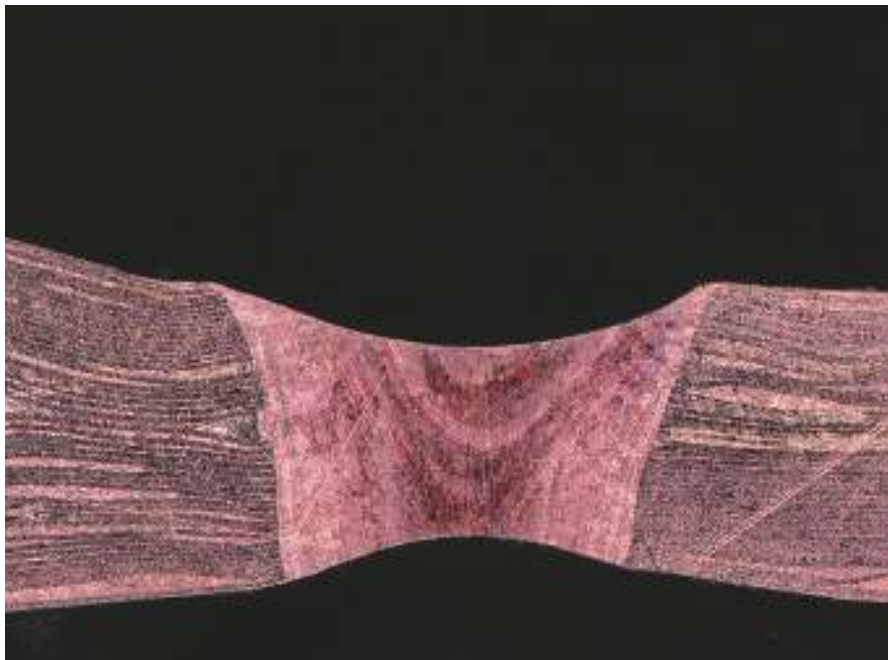


図4 横断面で示したのは、40の10 μ m厚銅箔をブルーレーザー光を使って溶接したものである。

2～10倍高速の加工速度で高品質の銅溶接を達成する。

こうした利点は、リチウムバッテリー製造などのアプリケーションでは疑う余地がない。バッテリーのパワーは、化学反応に関わる表面積に依存するので、リチウムバッテリーは、多くの薄箔シートを組み込むことで表面積を最大化する。それら個々の銅箔は結合されなければならない。しかし、結合に求められる品質は非常に高い。こうした銅箔の結合に超音波溶接が使えるが、超音波溶接ヘッドとの接触が必要になる。これは、最小値の溶接サイズを増やすことになり、製造の柔軟性低減になる。加えて、超音波溶接は、不要な微粒子を生み出し、内部短絡を形成する汚染問題となり、バッテリーの性能劣化となる。500WバージョンNUBURUレーザー、AO-150は、2018年後半に市場投入し、40の10 μ m厚銅箔でポイドや、スパッタのない溶接を実証した。一般的な、ブルーレーザーの薄箔溶接は、図4に示している。

バッテリーは、個々のセルの外側でリードやバスバーの結合も必要とする。赤外溶接はここで使用できるが、吸収問題は、気化やスパッタを誘発し、電気伝導性低減となる（したがってバッテリー効率低減）ポイドが生ずる。重ねて言うが、青色波長で向上した吸収と、非常に安定したレーザー出力によって可能になるプロセス制御は、気化やスパッタを除去する。

銅以外

これらの同類の利点は、銅以外、他の多くの金属に広がる。加えて、ブルーレーザーは、異種金属の溶接という困難な問題にも対処できることを実証した。異種金属溶接問題の1つは、光吸収や熱特性の違いである。例えば、一方の

材料が他方と異なる温度で溶ける。IRレーザー溶接のプロセスウインドウ制御という、ただでさえ困難な問題に、その複雑さが加わると、異種金属溶接作業はほぼ不可能になる。その結果、金属間化合物との溶接になる。これは、不定の機械的強度と不定電気伝導性につながるバラツキのある構造と成分である。

ブルーレーザー溶接の広いプロセスウインドウは、そのような問題を著しく扱いやすくする。例えば、AO-150ツールを使った銅とアルミニウム、あるいは銅とステンレススチールの初期の溶接結果は、青色光が銅だけで実証したのと同等の質的、量的利点を実証している。すなわち、ハイパワーブルーレーザーは、高品質を高速に実現しているのである。

溶接だけでなく、初期の結果はブルーレーザーが積層造形(3Dプリンティング)にも優位性があることを示している。粉体床焼結、レーザー金属積層技術にかかわらず、青色の吸収向上は、性能向上につながる。材料に依存するが、これは3倍から10倍の製造速度改善となる。

青色光の始動

150Wレーザーツールのユーザーは、上述のように、すでにバッテリー製造や他のコンシューマーエレクトロニクスアプリケーションで溶接性能改善を実証している。700Wモデルでの実験室試験は、数倍高速化した加工速度で、同じ品質特性を実証している。青色光の基本的物理特性によってアプリケーションが増えると考えるのは当然である。

参考文献

(1) M. Silva Sa et al., Proc. SPIE, 10514, 1051407 (Feb. 19, 2018); doi:10.1117/12.2291716.

著者紹介

ジャン＝ミシェル・ペラブラは共同創始者でチーフマーケティングオフィサー、マシュー・フィスフはアプリケーションマネージャー、ロバート・フリッツはアプリケーションエンジニア、マーク・ゼディカーはヌブル社のCEO。e-mail: jmp@nuburu.net URL: www.nuburu.net