

ピコ秒かフェムト秒か、加工現場が求めるレーザーとは？

ピコ秒やフェムト秒パルスで発振する超短パルスレーザーの加工用途への応用が期待されている。その加工はアブレーションを特長としていて、熱が発生する前に発振が終了するため、加工物に対して熱によるダメージを与えることがない。このことから「コールドアブレーション」とも呼ばれている。

こうした非熱加工を求める分野の代表はエレクトロニクス産業分野だが、ピコ秒レーザーやフェムト秒レーザーの加工特性を用いることで製造プロセスの高効率化や加工品質の向上を実現できる。

実は、この二つのレーザーはパルスの時間幅が異なるだけで、多光子吸収による3次元加工やガラス、セラミックス、シリコン、サファイアなどの難加工材料に対応するアプリケーションで競合する部分が多いといわれている。

しかし、コスト面ではフェムト秒レーザーに比べてピコ秒レーザーの方が安価で済むという。レーザーを採用するうえでコストは、加工スピードや品質とともに重要な選択要素だ。こうした点でピコ秒レーザーは優位性があるというのだ。そこで今回はピコ秒レーザーにスポットライトを当て、その加工応用への可能性と開発動向をレポートしたい。

フェムト秒レーザーとの違い

①電-光変換効率

ピコ秒レーザーとフェムト秒レーザーの大きな違いは二つある。「電-光変換効率」と「発振プロセス」だ。まず、電-光変換効率についてだが、フェムト秒レーザーは現在、チタンサファイアを媒体として発振させるのが主流だが、このチタンサファイアは半導体レーザー(LD)では直接励起が不可能なため、SHG(第2高調波)-LD励起

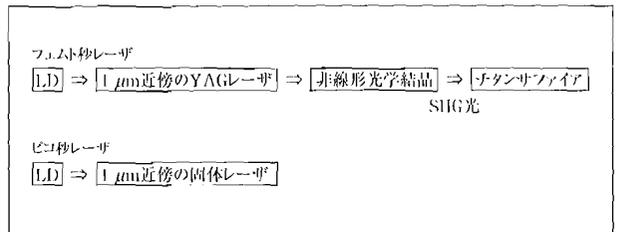


図1 フェムト秒とピコ秒の主なレーザー発振手段の比較

YAGレーザーのグリーン光を励起光として使用する必要がある。

一方のピコ秒レーザーは、LDを1μm近傍で発振する固体レーザーに励起させるのみで発振させることができる。こうした励起の回数が電-光変換効率の差として現れるため、効率はピコ秒レーザーの方が高くなる(図1)。

電-光変換効率は低ければ低いほど、その分発生する熱が大きくなる。多くのレーザー装置にはこうした熱からの光学部品の損傷を抑制するため、チラー(冷却装置)を必要とするが、熱の発生が小さければチラーは小型のもので済むようになる。また、レーザー発振にかかる消費電力も大きく異なってくる。ピコ秒レーザーがコストパフォーマンスに優れるとされる理由は、ここにある。

また、加工現場においては昨今の社会的要因を背景に省エネ化への取り組みも求められている。このような観点からもピコ秒レーザーの関心が高まっているようだ。もちろん、フェムト秒レーザーにおいても変換効率を高める技術開発は進展している。その動向にも注目しておく必要があるだろう。

フェムト秒レーザーとの違い

②発振プロセス

一方の発振プロセスだが、ピコ秒レーザーとフェムト秒

レーザはともに加工に必要な最終光を発振させるまでに出力を増幅させる必要がある。しかし、フェムト秒レーザの場合は、チタンサファイアから出力された光をそのまま増幅させることができない。それは、ピークパワーが高いためだ（パルス幅が極端に短いことに起因する）。

そこで、一度パルス幅を伸ばすストレッチャのプロセスが必要となる。これを可能にするのがチャープパルス増幅法（CPA：Chirp Pulse Amplification）で、ストレッチャは回折格子を複数用いて行なう。このCPAはフェムト秒での超短パルス発振が可能なファイバレーザでも不可欠という。

これに対してピコ秒レーザはそのまま出力を増幅できるため、必然的に光学部品の点数が少なくなる。このことが、レーザのコンパクト化という面でアドバンテージとなる。また短波長化に関し、フェムト秒レーザはスペクトルが広いために特殊な波長変換光学デバイスが必要というが、ピコ秒レーザでは従来からのLBOやKTPといった光学結晶を用いて倍波を得ることができる。

ピコ秒レーザ国内市場 ：先行する海外メーカーの動向

現在、加工用ピコ秒レーザを製品化し、国内市場に参入しているのはCOHERENT（国内販売：コヒレント・ジャパン）とRAYDIANCE（同：カンタムエレクトロニクス）の米国メーカー、Trumpf（同：トルンプグループ日本法人）とLUMERA LASER（同：オプトサイエンス）のドイツメーカー、オーストリア・HighQ Laser（同：カンタムエレクトロニクス）、リトアニア・EKSPLA（同：東京インスツルメンツ）、フィンランド・Corelase（同：ロフィン・バーゼルジャパン）などで、市場の大勢を欧米メーカーが占めている。

市販のピコ秒レーザのスペックを見ると、パルス幅は10ps前後のものが中心となっている。また、ファイバレーザ仕様のもも製品化されている。例えば、COHERENTのモデルではオシレータ部にファイバレーザを採用している。パルス幅は10-15psで、波長1064nm, 532nm, 355nmのモデルをラインナップする。

一方、発振器から再生増幅器までをファイバレーザ仕様としたモデルを製品化しているのは、RAYDIANCEだ。

波長1552nmのもので、パルス幅が<1.5psとなっている。またピコ秒ファイバレーザはCorelaseからも発表されており、こちらは波長1064nm, 出力24W（max）, パルス幅10-30psのスペックとなっている。

ピコ秒レーザの発振媒体には、一般的にNdをドープしたものとYbをドープしたものが用いられるが、このうち、NdをYVO₄にドープしたものを採用しているメーカーはLUMERA LASER, HighQ Laser, EKSPLAとなっている。

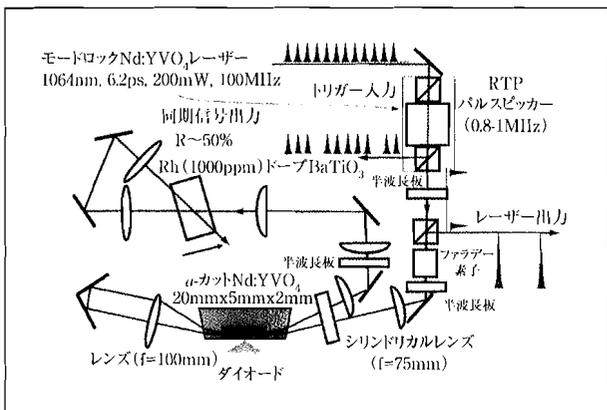
一方、YbをYAGにドープしたものをを用いて製品化しているのはTrumpfで、Yb:YAGはロッド型ではなくディスク型を採用、これにより、熱レンズ効果を低く抑えることを可能にした。パルス幅は<10psで、波長1030nm/出力50W, 515nm/25W, 343nm/15Wのモデルを開発している。一般的にYbドープの固体結晶では発光スペクトルが広いため、フェムト秒領域のパルス幅も得ることができる。

国内のピコ秒レーザ開発動向

加工用ピコ秒レーザの開発は欧米などが先行しているが、国内でも加工応用に向けた研究・開発は進んでいる。その一つは千葉大学大学院融合科学研究科教授・尾松孝茂氏の『位相共役光学を用いた高出力ピコ秒レーザ』だ（写真・図2）。出力100Wを目指しているもので、レーザシステムは1,000倍以上のレーザ利得を可能にする側面励起方式のNd:YVO₄スラブ増幅器と位相共役鏡で構成されている。

尾松氏によると、レーザ利得が高い増幅器ではノイズが発生し、ビーム品質に悪影響を及ぼすというが、位相共役鏡を使用することで、高いビーム品質を維持したままレーザ出力を増幅することが可能になるとしている。この位相共役鏡はチタン酸バリウム（BaTiO₃）結晶を用いて作製したもので、一度通過した光がノイズを受けて戻ってきても、元の光に再生する効果があるという。

商用化に向けては、長時間運転による耐久試験や耐環境性に関する試験が必要としている。また、位相共役鏡ではBaTiO₃という高価な結晶を使用しているため、低コスト化へのアプローチとして、位相共役鏡を使わない



写真・図2 尾松教授が研究開発中の位相共役光学を用いた高出力ピコ秒レーザー(上)と模式図[※](下)

ピコ秒レーザーの開発にも取り組んでいる。

もう一つは、メガオプトの『ピコ秒/フェムト秒YbセラミックスYAGファイバレーザー』(図3)。このレーザーはロッド型軸励起方式を採用していて、発振器からオシレータ部、再生増幅器までがファイバレーザー仕様となっている。パルス幅は数十ps～数百fsまでをカバーするもので、ビーム品質はTEM⁰⁰という。

同社によると、現在のチタンサファイアによる超短パルスレーザーの変換効率は原理的に0.5%が限界だが、このレーザーでは炭酸ガスレーザー並みの20%の高効率化を達成したという。スタンダードタイプでのレーザー出力は20Wだが、励起チャンバをタンデム化させることで50Wといった高出力化にも対応する。

同社は、これまで超短パルスレーザーの課題とされてきた高効率化と高出力化、システムのコンパクト化を中心

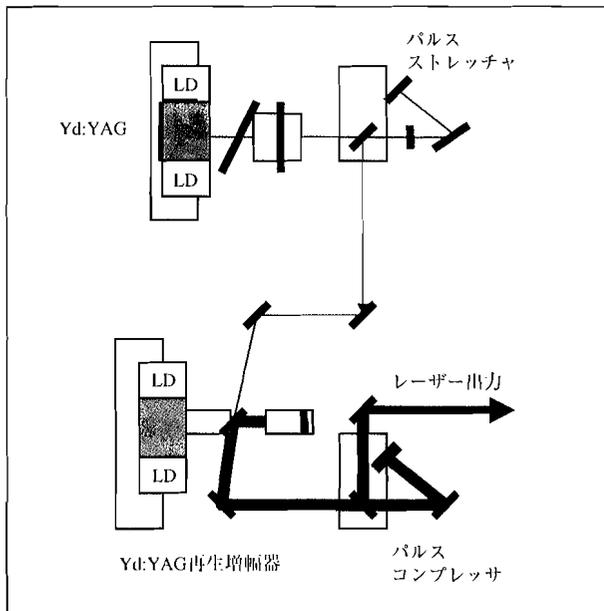


図3 メガオプトが開発中の超短パルスレーザーの構成図

に開発を進めてきたが、これらを実現することでイニシャルコストやランニングコストの低減化が可能になるとしている。今後はこうした国産ピコ秒レーザーの実用化にも期待したいところだ。

今後の市場展望

ピコ秒レーザーの今後の需要増加が期待されているのは、太陽電池やディスプレイ、LEDなどに関わる加工分野だ。太陽電池ではその市場が拡大傾向にあるシリコン薄膜へのスクライビングを中心に、またディスプレイではガラスの切断、LEDに関してはGaNの下地基板に用いられるサファイアへの加工用途として、それぞれ導入が進むものと見られている。

これらの加工分野ではフェムト秒レーザーとの対峙も予想されているが、ピコ秒レーザーとフェムト秒レーザーのどちらが有用かについては、選択する使用者側のニーズに大きく左右されると言えるだろう。いずれにしてもピコ秒レーザーの市場の行方には今後も注目だ。

※出典：応用物理第78巻第3号(2009)、P.242-247、尾松孝茂著「位相共役光学を用いた高出力ピコ秒レーザーのコヒーレンス制御」の図2