高信頼性・高出力フェムト秒レーザ

髙橋 伴明

フェムト秒、ピコ秒レーザによる加工は古くから注目されていたが、実際の製造装置など第一線の産業環境での使用は、その信頼性や加工速度の点から限定的であった。ここに紹介するHigh Q Laser は、1999年オーストリアに設立した超短パルスレーザ専業メーカーである。半導体レーザによるレーザ媒体への直接励起や、SESAM（過飽和吸収ミラー）技術、“Zero Sensitivity”、“Self-cleaning”Opticsといった独自の光学設計を駆使し、信頼性の高いレーザ装置を製造している。2011年には米国のフォトニクス総合メーカーNewport Corporationのレーザ部門Spectra-Physicsの傘下に入った。それにより双方の持つ技術を融合することで、さらに信頼性が高く市場要求に即した製品を投入している。特に産業用途への納入実績は増加しており、材料加工をはじめとして、医療分野へ応用が期待されている。

図1　Spirit™　外形図

Spirit™超短パルス再生増幅レーザ

One Box型コンパクト高出力・高繰返し超短パルスレーザSpirit™は、Ybドープした結晶をレーザ媒体として、チャープパルスを再生増幅させるCPA構造となっている（**図1**）。パルス幅は400fsec以下で、パルスの繰返しに柔軟性があり最大で1MHzでの動作が可能である。Yb系レーザ媒体を半導体レーザで直接励起し、SESAMの使用により安定したパッシブモードロック発振が可能となり、共振器内部でのパルスストレッチによるシンプルな再生増幅が可能となっている。こうした構造によりシステム全体が大変コンパクトになり、使いやすさと信頼性が増している。

Spirit™は現在1040nmの波長でパルス幅13psecのピコ秒と、400fsec以下のパルス幅を持つフェムト秒バージョンを有する。フェムト秒バージョンの出力は4Wと8Wがあり、それぞれ得られる最大のエネルギーは100kHz において40μJ と200kHzにおいて40μJ

表1　Spirit™ 仕様

Model	Spirit ps 1040-10	Spirit 1040-4	Spirit 1040-4-SHG	Spirit 1040-8	Spirit 1040-8-SHG
Average output power（1040nm）	10W	4W	4W	8W	8W
Average output power（520nm）	—	—	2W	—	4W
Wavelength	1040±5nm	1040±5nm	1040±5nm	1040±5nm	1040±5nm
Wavelength	—	—	520±5nm	—	520±5nm
Pulse width（FWHM）	13±3ps	<400fs	<400fs	<400fs	<400fs
Pulse repetition rate	Single shot – 1MHz	Single shot – 1MHz	Single shot – 1MHz	Single shot – 1MHz	Single shot – 1MHz
Pulse energy	50μJ @ 200kHz	40μJ @ 100kHz	40μJ @ 100kHz	40μJ @ 200kHz	40μJ @ 200kHz
Pulse energy	-	-	20μJ @ 100kHz	-	20μJ @ 200kHz
Power stability	<1% RMS（100h）	<1% RMS（100h）	<1% RMS（100h）	<1% RMS（100h）	<1% RMS（100h）
Beam quality	TEM_{00}; M^2＜1.2	TEM_{00}; M^2＜1.2	TEM_{00}; M^2＜1.2	TEM_{00}; M^2＜1.2	TEM_{00}; M^2＜1.2

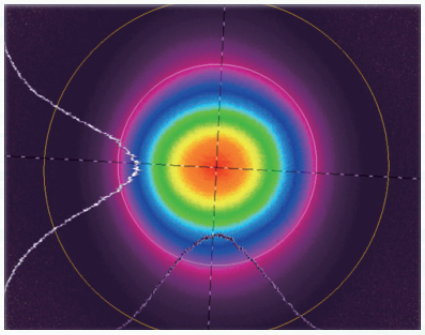

図2　ビームプロファイル例　M^2<1.2

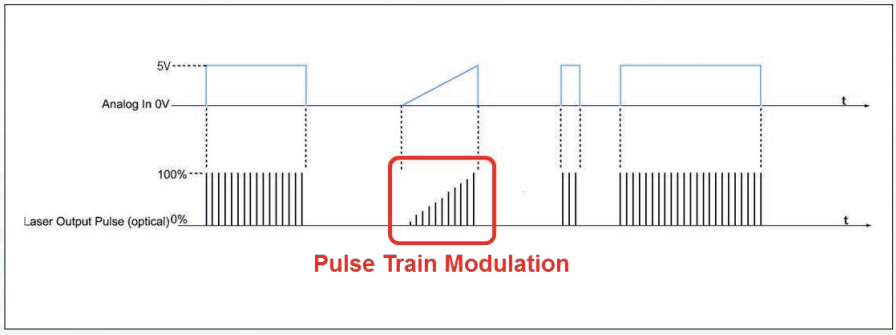

図3　パルストレイン制御例

である。さらにフェムト秒バージョンにはSHGの設置が可能で変換効率は約50%となっている。**表1**にそれぞれの仕様を示す。

その他の特徴として、ビームプロファイルがM^2<1.2と極めて優れていること、長時間の出力安定性が100時間で<1%RMSであり産業用途には欠かせないパフォーマンスを備えていることが挙げられる（**図2**）。また機能面においては、モジュレーターが内蔵されユーザーによるパルストレインの制御が容易となり（**図3**）、加工などの対象物に応じたパルス制御が可能となっている。

アプリケーション

フェムト秒レーザ加工が他の一般的なレーザ加工に比べ特徴的に異なる点は、加工対象物に対し熱的な影響がない、もしくはきわめて少ないことが挙げられる。これはフェムト秒レーザ光が加工対象物の熱拡散時間に比べ極めて短く、光エネルギーを有効に利用できるためで、その結果照射周辺部の熱影響（HAZ：Heat Affected Zone）が限定的で、高精度な微細加工が実現できる。また、レーザ光の電場強度が非常に高いため、ビームが集光されたところのみに多光子吸収、多光子イオン化などの非線形作用を誘起することが可能である。このような特長から、加工対象物としてガラス、セラミック、複合材料といった難加工材や、熱的な影響を極めて嫌う素材に対し有効であると考えられる。

それらの特徴的な部材に対するアプリケーション事例をいくつか紹介する。医療用のステントは、冠動脈性心疾患およびその他の動脈閉塞の治療に変革をもたらしてきた。今日までに何億個というステントが世界中で使用されてきたが、それらのほとんどは金属製である。金属製がそのままの形で体内に

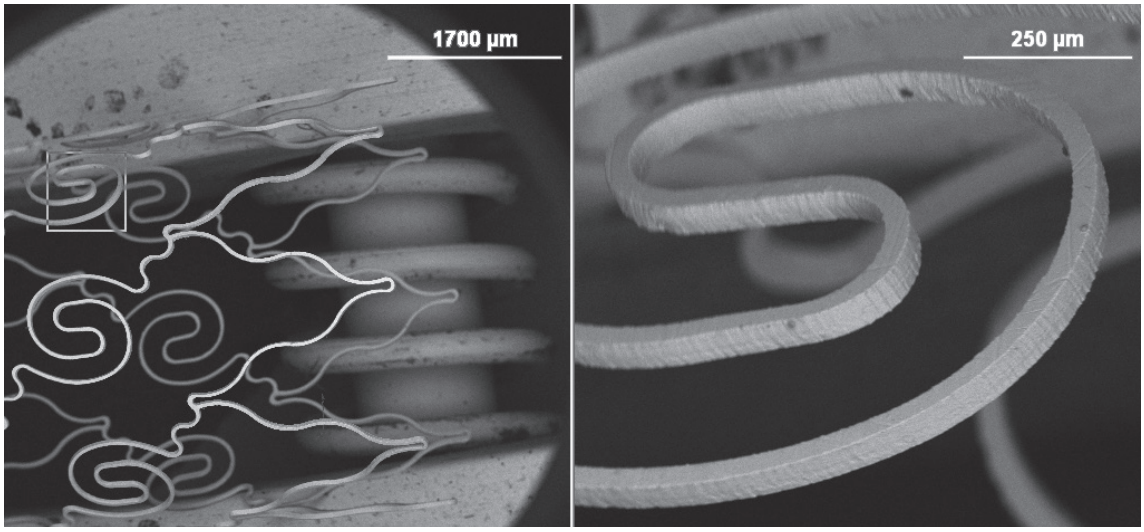

図4　マイクロステント微細加工（素材Nitorol、筒外形4.25mm、厚み45µm、幅35µm）

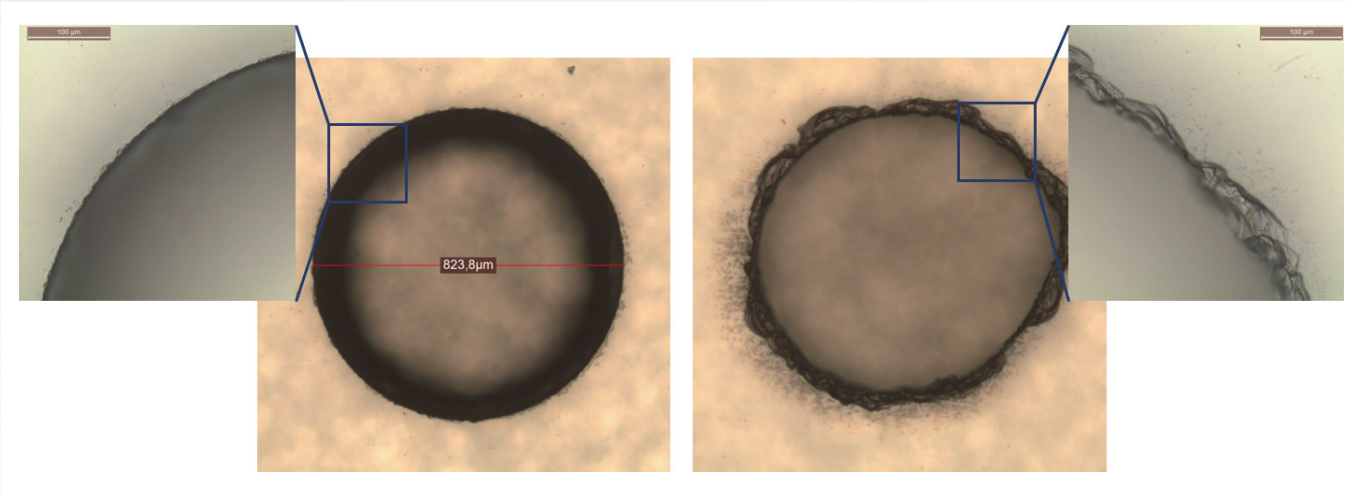

図5　超短パルスレーザ(左)とナノ秒レーザ(右)の強化ガラスのドリル加工比較

残るのに対し、溶解することができる生体吸収性のステント材料が登場している。この材料はNitrolやPLLA(Pohly-L-lactic acid polymer)と呼ばれ、その融解温度は一般的に100℃以下となっているため、加工部周辺への熱影響は重要なポイントでもある。フェムト秒レーザは比熱加工かつ、微細な加工が可能であることから、それらの条件を満たすものとなっている。**図4**はSpirit 1040-4フェムト秒レーザにより加工されたものである。厳しい加工公差の要求に対してもHAZが見られず、熱によるひずみが見られない。微細な格子構造で切り込まれたエッジも大変なめらかで理想的な加工結果となっている。

近年レーザによるガラス材への微細加工が注目を集めている。たとえば生物医学等で使用されるLab-on-chipやMEMS、またスマートフォン、タブレットPCに代表されるモバイル系ディスプレイに使用されるガラスへの加工である。加工を行うにあたっては、加工された周辺の損傷や、マイクロクラックを極力減少させることが要求される。従来の波長依存性を主体としたナノ秒レーザ加工と比べ、フェムト秒レーザなどの超短パルスレーザビームは、透明材料に集光されると、その焦点近傍の局所領域にのみ非線形光吸収によりレーザ光が吸収される。その結果目的とする加工領域のみに強く影響し、その周辺部は影響を受けないままに保存されことになる。

図5は、スマートフォンに使用される0.5mm厚の強化ガラスのドリル加工例である。右側はフェムト・ピコ秒レーザを使用した例であり、左側はナノ秒レーザを使用した場合のものである。ガルバノ・スキャナを使用した高速マルチ・パス加工であり穴径は約824μmである。小径のビームスポットサイズで早いスキャンを実施した超短パルスレーザ加工の結果は蓄積熱による影響が少ないことが分かる。加工のエッジチッピングの大きさはナノ秒レーザの20～30μmに比べ1μm以下のサブミクロンレベルとなっている。

要約

Spectra-Physics / High Q Laser が開発・製造している高出力・高繰返しの超短パルスレーザSpirit™の内容とアプリケーション事例について述べた。かつて、研究室環境での研究用途が主体であったこれらの超短パルスレーザは、その信頼性が確立され24/7といわれる産業・生産環境下でも十分使用できるレベルとなっている。当社は今後これらの技術を基にさらに医療・産業界に貢献できる機器を紹介していく所存である。

InterOpto 2013に出展します
10月16日(水)～18日(金)　ブースNo. **I-066**
◆JIAL グローバルテクノロジーセミナー
Quasarなど新製品を用いた最先端応用事例を紹介
10/16 (水)　12:00～/ 15:00～
10/18 (金)　12:00～

著者紹介
スペクトラ・フィジックス株式会社
営業部 統括マネージャー
髙橋 伴明

ILSJ