

産業と科学に役立つ ピコ秒・フェムト秒ファイバレーザ

ジョン・ウォレス

二光子顕微鏡法、3D印刷、及びその他のアプリケーションはすべて、最新世代の超短パルスファイバレーザの恩恵を受けている。

ピコ秒及びフェムト秒ファイバレーザの出現により、コンパクトで保守が容易な超高速ツールが産業界や学界に提供された。これらのレーザの用途は、材料加工から顕微鏡法やその他の科学的用途にまで及ぶ。これらのレーザを最先端技術において評価することは、偏光保持及びフォトニック結晶ファイバ、並びにパッシブとアクティブモード同期のようなキャビティ及びエクストラキャビティ要素、半導体可飽和吸収体ミラー、周波数変換などの進歩につながる。この記事では、超短パルスファイバレーザについて説明し、多数の製品例とアプリケーションを紹介する。

500～15000nmの スペクトル範囲

すべての超短パルスファイバレーザメーカーは、テクノロジーに独自のひねりを加えている。例えば独メンロー・システム社 (Menlo Systems) は、寿命を制限するコンポーネントのないすべての偏波保持ファイバ設計に基づいて、独自のモード同期アプローチ (フィギュア9と呼ばれる。特許を取得) を開発した。メンロー・システム社におけるフェムト秒ファイバレーザのプロダクトマネージャーであるクリスチャン・モーゼル氏 (Christian Mauser) は、アディティブパルスモード同期技術は、非線形増幅ループミラーに基づいていると説明する。それは非常に速い人工可飽和

吸収体として作用し^{(1),(2)}、半導体可飽和吸収ミラー (Semiconductor Saturable Absorber Mirrors : SESAM) のような他の技術と比較していくつかの利点を持つと同氏は言う⁽³⁾。

「最適化された設計により、タイミングジッタと位相ノイズを最小限に抑え、相対強度ノイズ (RIN) を非常に低くすることで、シンプルで堅牢、かつ信頼性の高い操作を同時に実現できる」とモーゼル氏は言う。「このファイバレイアウトにより、非常にコンパクトな設置面積で温度や振動の影響を受けない操作が可能になり、またメンテナンスフリーの操作が可能になる。非常に高いピークパワーを備えた超短フェムト秒パルスにより、500～15000nmの巨大なスペクトルカバー範囲は、高調波、スーパーコンチニウム、または差周波発生などのさまざまな非線形プロセスを介して実現される。開始波長が930、1040、1560、及び2050nmのフェムト秒レーザ発振器を実現できる。その後の増幅とパルス

圧縮により、高いピーク電力は、数ワットの平均出力電力と40～400fsのパルス幅で実現できる。追加の非線形プロセスを使用して、波長とパルス幅を変更できる」。

繰り返し周波数とキャリアエンベロープ周波数は、キャビティ内アクチュエータを使用して広範囲に調整できるため、いわゆる (完全に) 安定化された光周波数コムが可能になるとモーゼル氏は述べる。これは、原子時計の光学遷移の調査など、安定化されたレーザを使用した分光法や計測学のアプリケーションにとって特に重要である。光学及び電子機器の最適化により、アト秒レベルでのタイミングジッタと非常に低い位相ノイズが発生する。

過去数十年間、フェムト秒チタンサファイア (Ti:サファイア) ベースのレーザシステムは、多光子イメージングアプリケーションの主要な光源であったが、ラボ空間とインフラに対する複雑さやさまざまな要求があることで知られている。ファイバレーザは、ここで優秀な代替品として機能し、前例のない柔軟な方法で生きている動物の神経

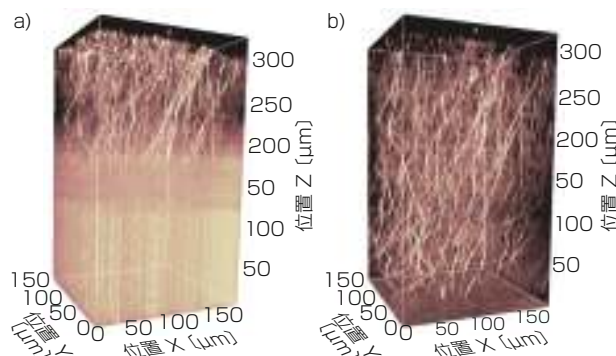


図 1 780nm (a) 及び 1300nm (b) で励起された、Alexa647で染色された厚さ300μmのマウス脳スライスの二光子励起蛍光画像。測定は、独マックスプランク実験医学研究所と協力して行われた。(画像提供: マックスプランク研究所、メンロー・システム社)

活動を画像化できるポータブル非線形内視鏡システムなどの新しい顕微鏡アプリケーションに特に有益である⁽⁴⁾。ファイバベースのレーザシステムは、多光子イメージングにおける信号生成効率を改善する新たなチャンスも提供する。例えばパルス繰り返し周波数は広い範囲で選択できる。繰り返し周波数を下げるとピークパワーが増加し、生成される非線形信号が増加するが、平均パワーは維持され、サンプルの熱損傷が低く抑えられる。

さらに、多光子吸収メカニズムを備えたより長い波長は、非常に低い励起パワーでもサンプルのより深い領域で高い画像コントラストを提供するとモーゼル氏は述べている。特に厚いサンプルでの二光子顕微鏡法の場合、より長い波長は散乱を減らし、コントラスト比を改善するのに非常に有益である。図1は、厚さ300 μm のマウスの脳サンプルにおける多光子励起蛍光画像の例を示している。サンプルはAlexa 647で染色され、780nmのTi:サファイアシステムからのレーザパルスと1300nmの波長シフトイッテルビウムドープファイバレーザ(メンロー・システム社の「YLMO」)で励起される。より長い波長の励起の利点は、はっきりと見える。非常に低い励起パワーでも、サンプルのより深い領域でも高い画像コントラストを得ることができる。

高速カッティング

米スペクトラ・フィジックス社(Spectra-Physics)は、赤外、グリーン、紫外波長をカバーする、工業用製造向けの超短パルスピコ秒及びフェムト秒レーザを開発・製造している。「当社のハイブリッドファイバレーザ設計は、例えば、IRフェムト秒パルスで600 μJ を超える高いパルスエネルギー、シング

ルショットから10MHz超までの広い動作範囲、及び柔軟なパルスプログラムに対応するための『TimeShift』機能を備えている」と製品マーケティングディレクターのスコット・ホワイト氏(Scott White)は語っている。「これらの機能により、有機ELディスプレイ、脆性材料、薄膜、フレキシブルプリント回路基板(FPCB)など、今日のさまざまな複雑な材料の高速微細加工が可能になる」。

同社の50W UVピコ秒ファイバレーザである「IceFyre 355-50」は、1.25MHzで40 μJ /パルスを生成し、通常のパルス幅は10psで、シングルショットから10MHzまで動作する。ハイブリッドファイバ設計、レーザのTimeShiftピコ秒プログラマブルバーストモード技術により、ユーザーは独自の波形を作成してプロセスの速度と品質を最適化し、バーストモードで数百 μJ のパルスエネルギーを生成できる。レーザには、パルスオンデマンド(Pulse On Demand: POD)と位置同期出力(Position Synchronized Output: PSO)があり、「ポリゴンスキャナを使用する場合のような超高速スキャン速度で高品質の処理を行うために、クラスで最も低いタイミングジッタ」でトリガーされるとホワイト氏は言う。同氏は、レーザはガラス、サファイア、FPCB、フラットパネルディスプレイ材料などの幅広い材料を処理できると付け加えた。

IceFyre 355-50は、スマートフォンで使用される有機EL、ポリエチレンテレフタレート(Polyethylene Terephthalate: PET)、シクロオレフィンポリマー(Cyclo-Olefin Polymer: COP)などのフレキシブルディスプレイ材料の高速カッティングに使用できる。有機ELの製造には、通常、層状に積み重ねたPET/COPを接着剤で処理することが

含まれる。完成したスタックは、厳密な要件に合わせてカットされ曲線を描く必要がある。ピコ秒UVレーザは、数年前からフレキシブル有機EL切断に必要な品質を得るために使用されてきたが、これらの家電製品の生産需要を満たすために、材料を高速で切断することが課題であった。「IceFyre 355-50は、より高い再現率でより高い出力を発揮するため、以前のより高価なUVピコ秒レーザと同等のパルスエネルギーとパルス幅でフレキシブル有機EL材料を切断できるが、その中でもほぼ90%の速度を維持している」とホワイト氏は述べている。

パルス幅可変により、スクライビングを最適化

フォトリソグラフィ結晶ファイバ(PCF)の技術でよく知られるデンマークのNKTフォトニクス社(NKT Photonics)は、ファイバレーザにその知識を適用している。例えば「aeroPULSE」超短パルスファイバレーザプラットフォームの形についてであり、それは同社のPCFアンプ技術に基づいている。同社の超高速レーザ担当上級副社長であるカーステン・トムセン氏(Carsten Thomsen)が説明しているように、標準のピコ秒モデルは、1030nm及び5psのパルス幅(5~50psの間でカスタマイズ可能)で10W(「aeroPULSE PS10」)と40W(「aeroPULSE PS40」)の出力を備えている。例えば効率的な外部周波数変換が必要なアプリケーションで利用可能な狭帯域幅バージョンである。

「aeroPULSE FS」シリーズは、同社のOptoCAGE技術を利用してピコ秒プラットフォーム上に構築され、500fs未満のパルス幅でフェムト秒超高速レーザ出力を提供し、高いポインティング安定性と20~50Wの出力電力を提供

する。グリーン及びUV周波数変換モジュールaeroPULSEプラットフォームで利用可能で、単一または多波長のオプションがある。

最新の「aeroPULSE FS-50」フェムト秒ファイバレーザは、1030nmで50Wの出力を提供し、パルスエネルギーは40 μ Jであるとトムセン氏は語る。レーザ処理条件を最適化するための追加機能には、バーストモード、出力減衰、繰り返し周波数の選択(シングルショットから50MHz)、パルス幅の選択(<500fsから3ps)、及びゲートとイベントのトリガー制御が含まれる。グリーン(515nm)とUV(343nm)高調波モジュールにより、熱に敏感な材料やもろい材料を処理するための柔軟性がさらに高まる。「このレーザは、薄膜切断、ガラスマーキングと切断、医療用ステント製造、ICパッケージとPCB切断、low-k材料のスクライビング、バイオイメージング用のOPAポンピング、表面処理薬、及び耐食性マーキングを対象とするアプリケーションに最適だ」とトムセン氏は説明する。

ディスプレイ業界のアプリケーションの場合、low-k、特に次世代有機ELとフレキシブルディスプレイは200 μ m未満の薄い誘電体材料の多層スタックで構成されているため、温度に敏感な材料は、熱プロセスを最小限に抑えるために超高速プロセスを必要とする。aeroPULSE FS-50レーザのパルス幅を調整する機能により、特に異なる材料のスタックを操作する場合に、ユーザーがスクライビングプロセスを最適化する柔軟性が得られる。繰り返し周波数とパルスエネルギーを調整できるといふ追加の柔軟性、及びバーストモードを使用する可能性により、顧客はスクライビング・切断プロセスを改善し、スループットを向上させることができ

る。オプションとしてグリーンとUVを利用できるため、スポットサイズが小さくなり熱負荷がさらに減少すると、パルスエネルギーの供給精度が向上し、マイクロクラックや不均一な加工切り口が減少することから、加工材料の歩留まりと信頼性も向上する。

マイクロスケール印刷

米カルマ・レーザー社(Calmar Laser)は、パッシブモード同期フェムト秒ファイバレーザ、アクティブモード同期ピコ秒ファイバレーザ、チャープパルスアンプ、非線形波長変換、ラージコア、ダブルクラッドエルビウム・イットリウムファイバンプ、光パラメトリックアンプ、レーザエレクトロニクスのハードウェアとソフトウェアなど、幅広い技術に関する知識と強力な特許ポートフォリオを持つ同社の創設者兼社長であるトニー・リン氏(Tony Lin)は述べている。カルマ・レーザー社製の超短パルスファイバレーザとファイバアンプシステムは、OEM、B2B、生物医学、半導体/マイクロエレクトロニクス、電気通信、産業、及び科学研究市場セグメントの研究顧客を対象としている。

同社には3つの主要な製品プラットフォームがある。1つは、シードソース/増幅器モジュールとして他のメーカーの高出力レーザプラットフォームに組み込むための堅牢で高度にカスタマイズされたファイバレーザのOEMモジュールである。第二に、製造または研究開発環境でのテスト及び測定アプリケーション用に設計されたベンチトップシステムである。第三に、さまざまな市場セクターにわたる特定のアプリケーション向けに開発された高出力システムである。

最近、ギガヘルツの低ジッター同期信号を備えた新しい一連のフェムト秒光源

が、同社の低電力「Mendocino」ベンチトッププラットフォームに追加された。780、850、1310、1550nmの波長オプション、0.3ps未満のパルス幅、及び200fsの低いタイミングジッタを備えたこの新しい製品ラインは、高速トランシーバー適合性テストとフォトダイオードの特性評価の光源として最適である。

「Carmel X-780」は、市場で最も小型の高出力フェムト秒ファイバレーザであり、780nmで最大1Wの出力、90fs未満のパルス幅を備えている。「Carmel X」シリーズの構成要素は、カルマ社独自の可飽和吸収技術を備えた超高速Er:ファイバであり、電源投入時に再現性と信頼性の高いモード同期を実現する。すべてのファイバベースのチャープパルス増幅方式を使用して、より高いパルスエネルギーとより高い平均パワーを提供する。チャープされた1.55 μ mパルスは、装甲ファイバケーブルを介して手のひらサイズのレーザヘッドに送られ、そこで圧縮されて、バイオイメージング、二光子顕微鏡、光学計測、3Dナノプリンティング、テラヘルツイメージング、眼科学などに有用な780nmの出力に変換される。

オーストリアのアップナノ社(Up Nano)は、新しい超高速高解像度3D印刷システムの開発のバイオニアである。2019年に同社はマイクロ部品の試作品製造と少量生産のために、最初のデスクトップ3Dナノ及びマイクロプリンティングプラットフォームである「NanoOne」を発表した(図2)。このようなシステムを設計する上で最も重要なコンポーネントの1つは、超高速レーザ光源であった。「高いスキャン速度で最大100倍のスループットを達成するには、1Wを超える出力パワーを備えた超安定超高速レーザ光源が必要だった」とアップナノ社の共同創

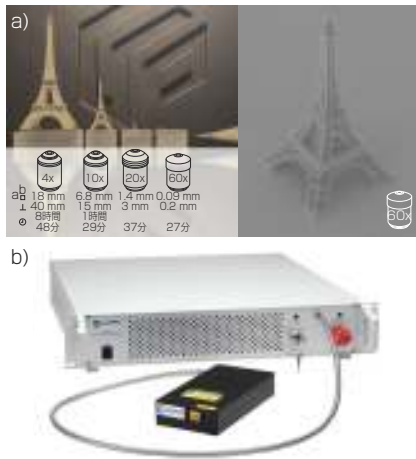


図2 (a) NanoOne 3D印刷プラットフォームで作成されたオブジェクト。4倍対物レンズによるメソスケールの部品(高さ40mm)から60倍対物レンズによるマイクロスケール(高さ200 μ m)の分解能構造と、それぞれの印刷時間を示している。(b)プラットフォームの光源は、Carmel X-780高出力、スモールフォーム要素のフェムト秒ファイバレーザである。(提供:カルマ・レーザ社)

設者兼技術責任者であるペーター・グルーバー氏(Peter Gruber)は語る。「加えて、我々にはコンパクトなデスクトップデザインをサポートするフットプリントが必要だった。慎重に評価した結果、「Carmel X-780」は必要な出力を提供する唯一の商用レーザ光源であると結論付けた。安定したフェムト秒出力パルス、及びすべて空冷式のコンパクトなフォーム。これは、我々のプラットフォームを実現する重要な要素だ」。

科学用途の超短パルスファイバレーザ

独トプティカ・フォトンクス社(TOPTICA Photonics)によって製造された多種多様な科学レーザは、世界中のラボでの使用を保証しており、それは同社の超短パルスファイバレーザにも当てはまる。「これらのシステムは、エルビウム発振器のSESAMロックによって安定性を高めている」とトプティカ社の超高速アプリケーション科学者

であるアダム・ハイニガー氏(Adam Heiniger)は語っている。「次に、エルビウムで増幅して1560nmで高電力を取得する。これにより、周波数変換のトリックを使用して、780、920、及び1050nmでワットレベルの電力を生成できる。これらは多光子イメージングにとって重要な波長である。また、ポンププローブ分光法またはコヒーレントラマン化学イメージング用に単一の発振器からシードされた複数出力の同期マルチカラーシステムを構築することもできる。そして、これらのファイバベースのシステムは、固体レーザに依存する同様のシステムよりもはるかに安定しており、コストも低くなる」。

ポンププローブのセットアップは機械的遅延線が遅い場合があるため、トプティカ社は非同期光サンプリング(Asynchronous Optical Sampling: ASOPS)を実装することもできる。この場合、2つの発振器間の繰り返し周波数オフセットを注意深く制御して、ポンプパルスとプローブパルス間の時間遅延を迅速に変更する。さらにハイニガー氏は、同社がマイクロジュールクラスのファイバレーザの任意のパルスピッキングをシングルパルスレベルまで習得したと指摘している。これは、ラスタースキャンレーザ材料の加工に不可欠である。通常、ラスタースキャンシステムは、スキャンがコーナーを曲がる時に一定の速度を維持できない。トプティカ社の超短パルスファイバレーザの可変繰り返し周波数は、スキャンが遅くなくても、単位距離あたりの一定数のパルスを維持するように補正できる。

「二光子蛍光顕微鏡法(図3)は、生きている脳の活動を観察するために使用される。この目的で使用される最高の蛍光プローブであるGFPまたはGCaMPは、920nm付近で最適な二光

子励起を示す」とハイニガー氏は語る。「これまで、このアプリケーションに必要なパルス幅とピーク及び平均パワーを提供できるのは、Ti:サファイアレーザだけだった。当社の「FemtoFiber ultra 920」は、Ti:サファイアレーザの性能に匹敵する唯一のファイバレーザであり、ファイバレーザとしてははるかに費用対効果が高く、定期的なメ

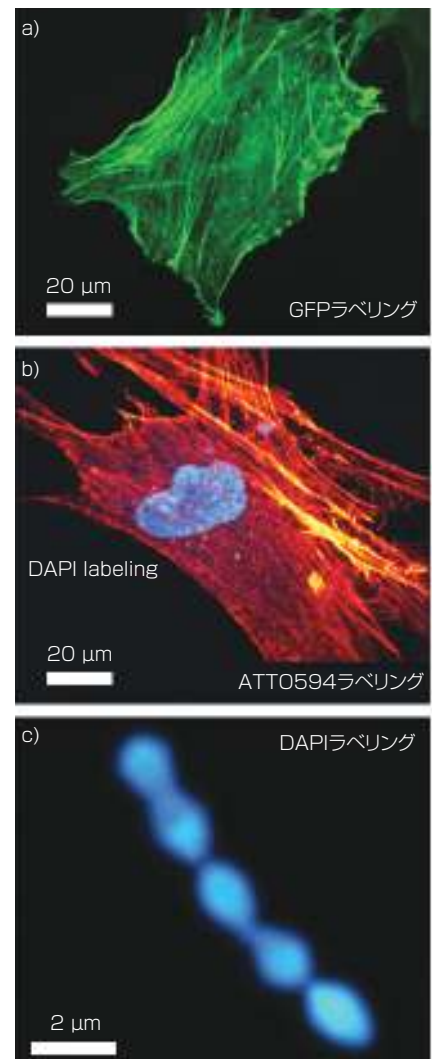


図3 二光子顕微鏡画像は、蛍光励起用の「FemtoFiber ultra 920」超高速ファイバレーザを使用して撮影された。(a)アクチンネットワークに接続された緑色蛍光タンパク質(GFP)を発現するヒト幹細胞の画像。(b)アクチンネットワークのATTO594タンパク質標識及び細胞核のDAPI蛍光DNA標識を伴うヒト幹細胞。(c)DAPIで標識された肺炎連鎖球菌。(提供:トプティカ・フォトンクス社)

メンテナンスや水冷が不要で、光学テーブル上のほんの一部のスペースしか必要としない」。

ファイバを使用してこの波長に高出力と短いパルス幅を提供することは困難だとハイニガー氏は説明する。「我々の正確なアプローチは独自のものだが、1560nmの発振器から920nmに到達するには、周波数変換ツールボックスを大幅に拡張する必要があった」と同氏は言う。「必要な空間ビームパラメータと短い『クリーンな』パルス形状を設計するために特別な注意が払われた。我々のレーザでは、通常パルスエネルギーの99%がメインパルスで一時的に圧縮される。これにより、生きている脳組織へ不要な熱負荷がかからず、すべての光子を二光子蛍光励起に非常に効果的に使用できる。当社のultra 920は、80MHzの繰り返し周波数で1.5Wの平均電力を提供でき、パルス幅は100fs未満、ピーク電力は188kWを超える。パルス形状とその二光子イメージング及び生細胞の加熱への影響を測定する重要な性能指数は、ピーク電力と平均電力の比率であり、システムでは125kW/Wを超えている」。

ノルウェーのモーザー・ラボ社 (Moser Lab) のウェイジャン・ツォン氏 (Weijian Zong) と同氏の同僚は、自由に動くマウスの脳のニューロン活動の研究にFemtoFiber ultra 920を使用している。このアプリケーションでは、レーザは自由に動くマウスの頭に直接取り付けられた小さな顕微鏡にビームを導く特殊なガラスファイバに結合される。「統合された分散事前補償と組み合わせたレーザの『クリーンパルス』技術は、動物の自然な脳機能への洞察を提供するアプローチの鍵となる」とハイニガー氏は語っている。「さらに、本質的に静かなファイバレーザ

設計は、不要なバックグラウンドノイズを大幅に低減し、レーザによる動物の混乱を最小限に抑える」。

FCPAのパイオニア

米イムラアメリカ社 (IMRA America) は、同社のマーケティング及びセールススペシャリストであるエミリー・グリッシュ氏 (Emily Grish) によると、ファイバチャープパルス増幅 (Fiber Chirped-Pulse-Amplified: FCPA) 技術を開拓し、それを材料加工の商用アプリケーションに導入した会社であり、FCPAモード同期フェムト秒レーザ光源を製造している。「『DE』及び『DX』シリーズ製品のレーザパラメータは、独自のフェムト秒アプリケーション向けに最適化されている」と同氏は言う。「出力波長は1040nm付近であり、オプションで520及び347nmで動作し、フェムト秒以下の波長の組み合わせを提供する。レーザは可変繰り返し周波数、パルスバースト、及びパルスピッキングオプションを備えている」(グリッシュ氏)。

「DE 2050 ULTRA」モデルは、イムラ社の全ファイバベースのFCPA設計の1つに基づいて設計されており、グリーンとUVの波長をすべて1つのシステムに統合している。最大50μJのフェムト秒パルスエネルギーと最大20WのIRの平均出力がベースラインレーザパラメータを形成し、これを2次及び3次高調波に変換できる。対象となる用途は、精密マーキングや表面トリミングから透明部品の溶接まで幅広い。

「DE 2050 ULTRA」は、ガラスやその他の透明な材料の溶接に最適だとグリッシュ氏は言う。溶接は、周囲の領域に影響を与えることなく、部品同士が会う界面で材料を正確に熔融することによって実現される。このプロセスは室温で追加の材料や化学薬品を

使用せずに行われるため、ULTRAは、製造フローを変更せずにインラインプロセスを可能にして、他のデリケートな材料を統合する。例としては、センサデバイスを組み込んだガラスプレートの領域貼り合わせシールがある。

次世代SESAMテクノロジー

リトアニアのエクストラ社 (EKS PLA) によって製造されたすべての超短パルスファイバレーザは、パッシブモード同期と偏光保持イッテルビウムドープファイバにSESAMを備えた発振器を使用している。「SESAMベースのファイバ発振器には、簡単なセルフスタート、高い繰り返し周波数、高い安定性など、多くの利点がある。ただし、このテクノロジーの主な欠点は、SESAMの劣化によって引き起こされる比較的短い寿命だ」とエクストラ社のOEMレーザプログラムの責任者であるアルダス・ジュロニス氏 (Aldas Juronis) は語る。「この欠点を克服するために、当社のエンジニアは、非常に長い寿命を持つSESAMデバイス用の半導体ウエハを成長させるための独自のレシピを開発及びテストした。これらの新世代SESAMは、15000時間以上のノンストップ動作ですでにテストされており、早期劣化の兆候はない。この新しいSESAMテクノロジーに基づいて、我々はすでにファイバレーザのファミリー全体の再設計を開始し、24時間稼働で中断のない動作を可能にしている」。

同社には3つのファイバレーザ製品グループがある。「LightWire FPS」シリーズは1064nmピコ秒レーザで、平均光出力は1.5～250mWである(最も強力なモデル「FPS200」には532nmの第二高調波オプションを搭載できる)。「LightWire FFS」シリーズは、

1030nmと1064nmのチャープピコ秒(CPAシステムのシード用)のレーザーで、平均光パワーが50~200mWで、パルス幅が130fs未満である。また「FemtoLux 3」レーザーは、300fs未満から5psの範囲でパルス幅を調整でき、1030nmで最大光パワーが3Wを超える。このレーザーには、第二高調波オプションを装備できる。

「新しい非常に長寿命の発振器にアップグレードされる最初のファイバレーザーの1つは、FemtoLux3レーザーだ」とジュロニス氏は言う。「これは最大パルスエネルギーが3 μ J(バーストモードでは10 μ J以上)、優れたビーム空間パラメータ、10kHz~5MHzの調整可能な繰り返し周波数を備え、パルスピッカー及び出力減衰器が統合された、工業用グレードのコンパクトなパッシブ空冷レーザーである。このレーザーは、第二高調波顕微鏡法やフェムト秒OPO/OPAポンピングなどの科学的アプリケーション、及び多光子光重合や透明材料のポリウム内マーキングなどの産業用途の両方に対応する汎用ツールとして、多くのユーザーにより証明されている」(ジュロニス氏)。

ポーランドのヤギェウォ大(Jagiellonian University)の物理学研究所の研究者は、銀イオンを含むさまざまなガラスマトリックスで、FemtoLux 3レーザーを使用した直接レーザー書き込みをテストした(図4)。このような銀含有ガラスは、銀ナノクラスター、または銀金属ナノ粒子の独自の光学特性により、多くのフォトニックアプリケーションの有望な候補である。

中赤外線での直接出力

超短パルスファイバレーザーシステムは通常、近赤外または可視スペクトル領域で発光するが、カナダのフェムタム

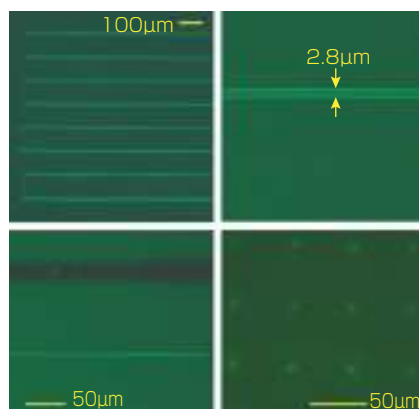


図4 蛍光銀ナノクラスターからなる微細構造は、FemtoLuxレーザーを使用した直接レーザー書き込み技術によって作成され、蛍光顕微鏡で観察された。(提供:エクスプラ社)

社(Femtum)は、中赤外(2800nm及びそれ以上)で直接発光する第1世代のファイバレーザーとファイバ増幅器を製造している。同社の製品には、2800nmフェムト秒ファイバレーザーである「Ultra2800」が含まれる。「Amp 2800」は1ステージ構成で最大25dB、2ステージ構成で最大40dBの利得を持つ2800nmファイバ増幅器である。「UltraTune 3400」は2.8~3.5 μ mに調整可能なワットレベルのフェムト秒ファイバレーザーで、パルス幅は150fsまで、エネルギーとピーク出力はそれぞれ最大30nJと100kWである。「高出力及び高パルスエネルギー(マイクロからミリジュール)レーザーシステムが間もなく登場する」とフェムタム社の共同創設者兼CTOであるサイモン・デュバル氏(Simon Duval)氏は語っている。

Ultratune 3400は、その高いビーム品質とファイバ化された出力により、ポリマーや生体組織などの有機材料との最適な相互作用のために正確に調整できるシンプルな超高速レーザーだとデュバル氏は語る。用途には、薄膜の選択的アブレーションやポリマーの正確な表面改質などがある。レーザーは、周波数コムアプリケーション、中赤外顕微鏡法、ハ

イパースペクトルイメージング、及びその他の分光法関連アプリケーション用の水やメタンなど、多くの分子の基本共振に合わせて調整することもできる。

Ultratune 3400は、2つの重要な工業用ポリマーであるポリメタクリル酸メチル樹脂(PMMA)とポリエチレンテレフタレート(PET)の吸収ピークに正確に調整されており、このような材料の内部に表面導波路を生成する。これらの生体適合性材料の表面導波路は、温度と圧力の監視だけでなく、物質の識別のための低コストのフォトニックデバイスとセンサの効果的な製造につながる可能性がある。より高い電力では、滑らかで正確なマイクロメートルスケールの表面改質も観察されているとデュバル氏は言う。ガルバノスキャナヘッドまたは電動ステージと組み合わせると、任意のパターンをすばやく正確に印刷できる。

Ultratune 3400は、カルコゲナイドファイバでのスーパーコンティニウム生成など、非線形光学の実験用の科学ツールとしても使用される。このモード同期レーザーの波長が長い場合、このようなファイバでは、2.5~5 μ mに及ぶコヒーレントなワットレベルの中赤外スーパーコンティニウム光源が生成された。非常に安定したスーパーコンティニウム光源は、中赤外スペクトル領域光コヒーレンストモグラフィ(Optical Coherence Tomography: OCT)または周波数コムアプリケーションにとって非常に興味深いものである。

参考文献

- (1) W. Hänsel et al., Appl. Phys. B, 123, 41 (2017); doi:10.1007/s00340-016-6598-2.
- (2) J. Kim et al., Adv. Opt. Photonics (2016); doi:10.1364/aop.8.000465.
- (3) N. Raabe et al., Opt. Lett., 42, 6, 1068 (2017); doi:10.1364/ol.42.001068.
- (4) A. Lombardini et al., Light Sci. Appl., 7, 10 (2018).