

カーボンで記録的な $2\mu\text{m}$ 超高速レーザの波長可変を実現

モードロックレーザは、多くの科学的、工学的分野で有効な重要ツールである、たとえば光通信、計測、生体イメージング、固体物理学研究などである。超高速ファイバレーザの多くの性能指数（ピークパワー、パルスエネルギー、パルス幅）の中で、波長可変性は非常に価値がある。周波数コム生成、分子吸収ライン検出、時間分解分光学では、エンドユーザーにとってアプリケーションの柔軟性が非常に大きくなるからである。

一般的な利得材料と可飽和吸収体の帯域が限られているため、モードロックレーザは通常、かなり可変範囲が狭い。例外はチタンサファイア(Ti:Sapphire)レーザで、これは超高速科学の主力製品である。とはいえ、これらのレーザの動作は一般に $1\mu\text{m}$ 以下の波長範囲である。 $1\mu\text{m}$ を超える波長チューニング機能を利用するには非線形波長変換デバイス、たとえば光パラメトリックオシレーター(OPO)、あるいは増幅器(OPA)を市販のTi:Sapphireレーザの標準的拡張として用いる。しかし設置面積が比較的大きく、保守が面倒であるため、フィールド導入アプリケーションでは、その適用は著しく制限されてきた。

カーボンベースの可変性

$2\mu\text{m}$ 程度の広い発光帯域幅を持つ利得材料が過去10年で急速に成熟してきた。中国の南京大の研究者が先頃、非線形ディラック半金属を用いて中赤外($3\sim 6\mu\text{m}$)で動作するレーザを実証し、彼らは今は、カーボンベースのナノマテリアルを使い、コンパクトでローコストの $2\mu\text{m}$ レーザ発振器で記録的なチュー

ニング範囲を可能にしている⁽¹⁾。特に、彼らが開発したカーボンナノチューブ(CNT)ベースのトリウム/ホロミウム(Tm/Ho)ファイバレーザは、 $1860\sim 2060\text{nm}$ までの 200nm で連続可変である。これは、知られる限りで、パッシブモードロックファイバレーザ発振器で、これまでに達成された最も広い可変範囲である。

「現在、長波長域で波長可変ソリューションを探し求めている人々にとっては、オプションは多くない」と南京大のフランク・ワン教授は言う。「カーボン材料は、 $2\mu\text{m}$ でこれら広帯域利得材料と相性が良いようだ。数十年前にTi:Sapphireレーザでカーレンズ(Kerr lens)が果たした重要な役割を、正にカーボン材料が果たせるかも知れない」。

200nm のチューニング範囲は、CNT

可飽和吸収体と内製のグレーティングミラーを組み合わせ、ピコ秒トリウムファイバレーザで達成された。まず、 $20\mu\text{m}$ 厚のCNT膜を溶解処理とラマン分光学を利用して製造した。チューブ径分布は、 $1.3\sim 1.6\mu\text{m}$ 、 Tm^{3+} ドープファイバの利得領域で比較的高い吸収を示すサイズは、優れた変調維持に役立った。

実験セットアップでは、 1560nm の出力は、 10mW レーザダイオードをエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)で 1W に増幅し、波長分割多重(WDM)により 2m 長、 0.16NA 、 $9\mu\text{m}$ コア径Tm/Ho共添加ファイバにインプットし、波長チューニングはファイバコリメータと 600 ライン/mmフリースペース回折格子を用いて達成した。WDM第2アームのCNT可飽和吸収体によってモードロックプロセスが可能になり、 200nm チューニングレンジは結果として得られたパルスで、実に 60dB のサイドバンド抑圧比、出力偏差は、 36 時間連続波チューニング周期で 1% だった。

別の実験で、グラフェンを使って一段と高帯域、約 300nm レンジのクロム硫化亜鉛(Cr:ZnS)固体レーザを実証した。ここでの出力は、パルス幅 200fs 、波長選択はプリズムペアを用いて達成(図1)。

「われわれの暫定的な成果は極めて有望である。カーボンナノチューブとグラフェンも含めて、カーボンナノマテリアルは、重要な光スイッチング材料になる可能性がある。」とワン教授は話している。(Gail Overton)

参考文献

- (1) Y. Meng et al., Nat. Sci. Rep., 7, 45109 (Mar. 21, 2017).

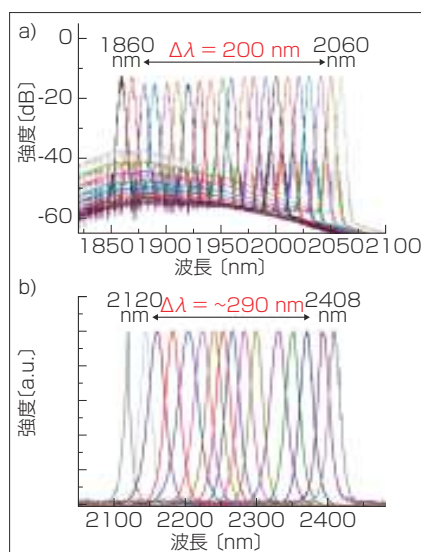


図1 示しているスペクトルは、チューナブルカーボンナノチューブ(CNT)モードロックトリウムファイバレーザ(a)と、チューナブルグラフェン可飽和吸収体モードロックCr:ZnSレーザ(b)。(提供:南京大)