

アンクラッドYb:YAG結晶ファイバは完全導波路レーザとして動作

バルク固体レーザに言えることだが、添加ガラスの利用から添加単結晶利得媒体への移行は、個別ファイバレーザの出力向上では重要な一歩である。このため、単結晶ファイバ(SCF)の開発が盛んになっている。様々な構成が考案されており、接着剤フリーボンディング(製造は難しく、したがって量産には向かない)を用いて作られた結晶クラッド結晶ファイバ、ガラスクラッド結晶ファイバ(ガラスクラッドの断熱特性のため、出力増強には適さない)、アンクラッドSCF(研究には最適であるが、普及するには適切なクラッド堆積技術が必要)がこれに含まれる。

以前にテストしたアンクラッドSCF構成は、直径1mm以下の短尺(30~60mm長)フロッド・イルミネート結晶ロッドからなる。ここでは内部全反射によりポンプ光がロッド内を弾んで進むが、出力レーザ光自体のモード構造はキャビティミラーによってのみ決まる。言い換えると、SCFはレーザ光にとっては導波路として機能するのではなく、ファイバレーザと比べるとバルクタイプと言える。

対照的に、もっと長尺で細いダイオード励起アンクラッド・イッテルビウムYAG(Yb:YAG)結晶ファイバが最近米国陸軍研究所(Army Research Laboratory)と米シャスタ・クリスタルズ社(Shasta Crystals)によって開発されテストされた。これは、完全導波路レーザ動作を実証している(図1)⁽¹⁾。直径100 μ m、100mm長でドーパント濃度1%のSCFは、同社がレーザ溶融ベダスタル法(LHPG)技術を使って製造



図1 アンクラッドYb:YAG単結晶ファイバ(SCF)は直径がわずか100 μ mであり、完全導波路レーザ動作を示す(提供:シャスタ・クリスタルズ社)。

した。LHPGは潜在的にSCFの量産に適している(ただし、量産可能な結晶クラッド堆積法の開発が必要)。そのファイバにより、SCFの実験と最適化が可能になる。

高変換効率

実験セットアップでは、SCFの非反射防止被覆部分を2つのレーザキャビティミラーで挟む。3nm帯域、969nmで発光する直線偏向レーザダイオードからの光をファイバ片端に集光し、リア(ダイクロイック)キャビティミラーを通してファイバに入れる。ファイバは最小限のフィジカルコンタクトとなるようにV溝に緩やかに置き、凸レンズでレーザの出力をコリメートする。集束レンズ、レーザラインフィルタ、レーザパワーメータでレーザ出力のデータを収集する。

結果的に導波に悪影響が出るため、ファイバから熱を奪う熱グリースを用いていないので、ファイバが熱くならないように、ダイオードポンプは1%デュロティサイクル、準連続波(QCW)モードで動作させた。1msポンプパルス長は、YAGのYb³⁺の上の準位レーザ寿命と

同等である。したがって実験結果はCW動作を示しているが、熱負荷が減少しているだけである。

18%~70%までの様々な出力ミラーの反射性を試し、最適反射性が25%であることが分かった。91.6WのQCWポンプ出力で、QCWレーザ出力は1030nm波長で約53Wであり、そのファイバレーザが、粗製の実験構成においてさえも効率的であることを示している。

SCFのパラメータそのものについて、シャスタ・クリスタルズ社の社長兼CEO、ジゼル・マクスウェル氏(Giselle Maxwell)は、1%のドーパントレベルはレーザ発振に最適条件となる濃度決定に役立つための分光学的研究によって決まった、と説明している。結晶の長さは同じ分光学的研究で決まった。分光学的研究で決めるのは、一定のドーパント濃度でポンプビームの最大吸収を実現するために、また結晶で最高効率の発振効果を実現するために必要な結晶の長さである。また、結晶の直径はユーザーの利便性と所望の効果の関数で決まった(直径が小さい方が導波が優れている)。

「次のステップはクラッド技術の改善で(主にクラッド厚)、目的は真の完全結晶ダブルクラッド単結晶ファイバの実現である。これにより、熱伝導特性が改善されるので、全てのダブルクラッドガラスファイバの性能を上回る」とマクスウェル氏は話している。

(John Wallace)

参考文献

(1) J. Zhang et al, Laser Phys. Lett., 13, 075101 (2016); doi:10.1088/1612-2011/13/7/075101.