ファイバレーザに利益をもたらす新しいファイバ製法

ムリデュ・P・カリタ、アンドリュー・S・ウェブ、アレキサンダー・J・ボーイランド、
セオンウー・ヨー、ジャヤンタ・K・サフ

修正化学気相蒸着法（MCVD）による新しいその場溶液ドーピングと坩堝内キレート蒸着の技術がファイバレーザ製造用の光ファイバを改良している。

産業用ファイバレーザの製造はシリカ光ファイバにおける高成長分野の一つになっている。ファイバレーザは競合する半導体励起固体レーザに比べると、性能や信頼性の高さ、小型サイズ、高効率など多くの利点があり、結果的にユーザコストも低減する。とくにイッテルビウム（Yb）ドープファイバレーザは、連続波とパルスの両方の動作において、マルチキロワットの出力レベルへのパワー増強が指摘されてきた[1]。Ybドープファイバレーザは、その応用の広がりがさまざまなシリカファイバの開発を加速させ、用途に合せて独自の特性が得られるようになっている。また、ガラスの設計と材料特性はファイバレーザの性能に対して重要な役割を果すため、光ファイバとプリフォームの製造技術は進歩を続けている。

シリカ光ファイバの多くはMCVDを用いて製造されたプリフォームから線引きされる。この方法は伝送用ドープファイバの製造には十分に適しているが、プリフォームのガラス構造に希土類イオンを導入する用途には十分に適しているとは言えない。この目的には溶液ドーピングとして知られる方法が確立されている。しかし、この方法は複雑に設計された多数の層で構成されるファイバの製造には実用的でない[2]。増大するファイバレーザの需要と現在の希土類ドーピングの製法とのギャップを埋めるために、英サザンプトン大学のオプトエレクトロニクス研究センター（ORC）は、他に先駆けてその場溶液ドーピングと坩堝内化学蒸着として知られる二つの技術の開発を行った[3]、[4]。

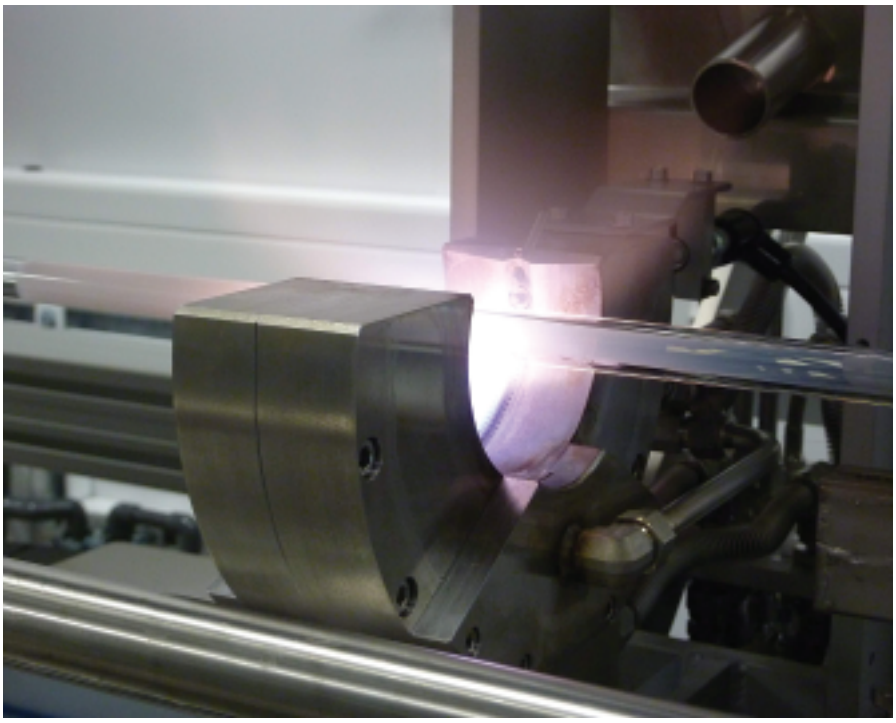

図1　多孔性シリカの層を蒸着してプリフォームを製造するMCVD装置を示している。
（資料提供：サザンプトン大学ORC）

その場溶液ドーピング

その場溶液ドーピングは、まず「スート」と呼ばれるシリカ粒子の層を高純度ガラス管の基板の内壁に蒸着する（**図1**）。スートの層は数十μmの厚さしかないが、その非常に広い表面積からは高い多孔性が得られる。この層が最終的に光ファイバの導波コアになる。蒸着後のガラス管はプリフォーム製造用の旋盤から取外され、必要な希土類イオンと共ドープ用のアルミニウムイオンを含む溶媒を収めた別の装置に移される。設定された浸漬時間（通常は1時間）が経過すると、ガラス管は旋盤に戻される。再び旋盤に取付けられたガラス管は高温で焼成され、内壁の多孔性の層はガラス質の層に変わる。この工程は多層膜の層ごとの反復

が必要になるが、取外しを繰返すことで、利用可能なプリフォームの全体は小さくなる。したがって、この方法は3ないし4層以上のドープ層の蒸着には適していない。

MCVDその場ドーピング法の工程も従来の溶液ドーピング法と同様だが、ガラス管を旋盤から取外し、その後に再び取付ける作業が不要になるため、工程の効率と信頼性が向上し、プリフォームの歩留りが改善される。この工程は、まず、前述した方法を用いてスートの層を蒸着する。次に、旋盤に取付けたガラス管の心押し端部から溶媒をスートの内部に導入する。直径の小さなガラス管が上流に押し込まれてスートの層に近づき、ガラス管のもう一つの端部はフレキシブルホースに取付けられ、溶液はポンプを用いて供給される。この作業中のガラス管の位置は固定される。スートへの浸漬が完全に終わると、注入用の管は取外され、残された溶媒は蒸発し、希土類イオンが残留する。この層は完全に乾燥され、希土類イオンがドープされたシリカ粒子は焼成されてガラスになる。最後に、ガラス管は内部を潰して封止するコラプス加工が施され、固体のガラスプリフォームになる。このドーピング工程を繰返して形成される多層構造は、プリフォームの仕様にしたがって各層の組成が変化する。

その場ドーピング法の柔軟性からは、従来の溶液ドーピングでは製造で

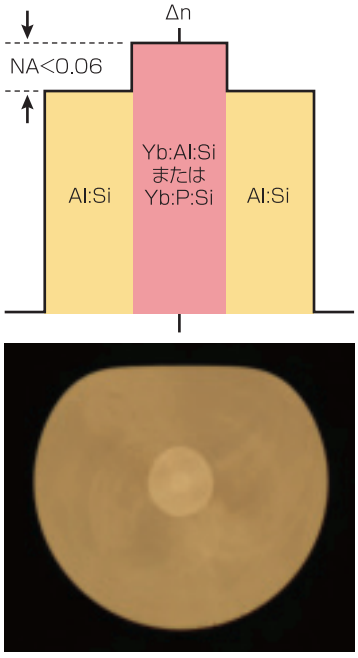

図2　台形の屈折率分布をもつ光ファイバの屈折率プロファイルと断面画像を示している。（資料提供：サザンプトン大学ORC）

PennWell が
世界を相手にした
マーケティングをお手伝いします。

貴社の技術 / 製品を必要としているバイヤーは、国内だけに限りません。
PennWell では、「フォトニクス」が関わるすべてのアプリケーションをカバーする Laser Focus World のほか、
加工、バイオ、LED など成長分野に特化したメディアをグローバルな読者にお届けしています。
技術 / 製品の情報を世界に発信するメディアとして、PennWell の各誌をご活用ください。

www.laserfocusworld.com

www.industrial-lasers.com

www.bioopticsworld.com

www.ledsmagazine.com

各誌の資料をご用意しています。
広告掲載については、お気軽に下記までお問い合わせください。

株式会社 ICS コンベンションデザイン
Tel: 03-3219-3641　email: lfwj@ics-inc.co.jp

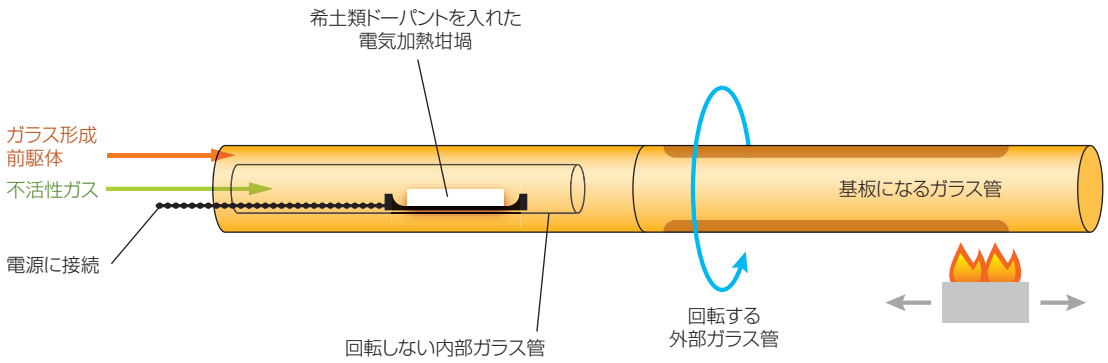

図3 坩堝内化学蒸着法による光ファイバプリフォーム製法の概念図を示している。（資料提供：サザンプトン大学ORC）

きない複雑な希土類ドーププリフォームの幾何学構造の実現が可能になる。このことをYbドープ「台形」ファイバを例にして述べる。従来の台形ファイバはドーピング濃度を増やし、コア周りの内部クラッドリングの屈折率を高くして、一般には＞0.15の大きな開口数（NA）を確保している（**図2**）。このような台形ファイバにその場溶液ドーピング法を適用すると、約0.06の有効屈折率が得られ、レーザ発振波長における少数モード伝送が可能になる。

指定されたコア内の光導波を保証するには、そのプリフォーム内に、いくつかの蒸着層で構成される直径の大きな内部クラッドが必要になる。多くの層が気相で蒸着されるため、MCVDではリンまたはゲルマニウムの前駆体が通常選択される。しかし、この方法によるガラスには応力がかかり、亀裂が発生しやすい。その場溶液ドーピング法を用いると、数層以上の応力のかからないアルミノケイ酸塩ガラス材料を内部クラッドとして蒸着することができる。その場溶液ドーピングを用いた例では、単一Ybドープコアと14層のアルミノケイ酸塩ガラスを用いて屈折率を高くした400μm径のファイバが実証された（図2）このファイバは二重クラッド配置で線引され、そのYbドープファイバレーザは約80%の光 - 光変換効率を得ることができた。

坩堝内化学蒸着法

ORCはその場溶液ドーピング法に加えて、比較的低い揮発性をもつ前駆体の蒸発と導入を可能にする坩堝内化学蒸着法を開発した。現在は、室温では固体だが150～200℃になると昇華するランタニド系キレート錯体の使用に重点を置いている。このような前駆体を用いる蒸着装置は市販されているが、低い希土類濃度をもつ通信用ファイバの製造を目的にして開発されている。したがって、高パワーレーザへの応用についてはほとんど報告されていないが、それは外部から希土類元素を供給することが実用的でないためと考えられる。

MCVD坩堝内化学蒸着法を用いると、旋盤上での蒸着ゾーンに近接して配置するMCVDガラス容器を用いた希土類前駆体の直接加熱が可能になり、汎用性が増加し、プリフォームの長さ方向の均一性も改善される（**図3**）。希土類または共ドープ前駆体は坩堝内に置かれ、外部から供給される電力を用いて加熱され、温度は1℃以内に制御される。

ランタニド系キレート錯体の高い揮発性とMCVDを組合せることによって、気相においてプリフォームを希土類イオンでドーピングし、約200℃という比較的低い温度でも非常に高い濃度を確保できるという素晴らしい機会が得られる。シリカの蒸着時に希土類イオンとアルミニウムやリンなどの修飾イオンを同時に導入できるため、溶液ドーピング法に比べると、同じドーピングレベルにおける希土類クラスタの形成が顕著に減少することも利点になる。この新しい坩堝内化学蒸着法によるプリフォームの製法では、さまざまな前駆体を用いる気相蒸着法にも応用できるため、大量の蒸気の生成を必要とする場合は数百℃の高温に加熱するという柔軟性も得られる。

参考文献

(1) Y. Jeong et al., Opt. Exp., 12, 25, 6088-6092（2004）.
(2) J.E. Townsend et al., Electron. Lett., 23, 7, 329-331（2004）.
(3) A.S. Webb et al., J. Non-Crystalline Solids, 356, 848-851（2010）.
(4) A.J. Boyland et al., CLEO/QELS 2010 paper CThV7, San Jose, CA（May 2010）.

著者紹介

ムリデュ・P・カリタ（Mridu P. Kakita）はサザンプトン大学（Uninversity of Sounshampton）オプトエレクトロニクス研究センター（ORC）のPhD学生で、現在は英フィアニウム社（Fianium）に所属している。アンドリュー・S・ウェブ（Andrew S. Webb）はORCのPhD学生、アレキサンダー・J・ボーイランド（Alexander J. Boyland）とセオンウー・ヨー（Seongwoo Yoo）はORCの研究員、ジャヤンタ・K・サフ（Jayanta K. Sahu）はORCの主席研究員。e-mail: jks@orc.soton.ac.uk

LFWJ