

セルフセンタリング・ナノスパイクが高出力レーザー光を光ファイバにデリバリ

光ファイバ産業に携ったことがあるものは誰でも、光結合を最大化するためのファイバとファイバのアライメントが簡単な作業ことではないことを理解しており、技術者はこの作業に何万時間もかけてきた。しかし中空コア光ファイバに、簡単にレーザー光を入れる新しい巧妙な手段を独マックスプランク光科学研究所の研究者が開発した。その技術は、光トラッピング原理を使用する。これは、テーパ状の終端した光ファイバ、つまり「ナノスパイク」と組み合わせる。こうすることで

レンズレス、無反射で、自己安定化が可能となり、標準的なシングルモードファイバから中空コアフォトニック結晶ファイバ(HC-PCF)と自己整合的に結合して、結合効率約88%が達成できる⁽¹⁾。

威力を感じる

光ピンセットとして知られる現象は、ナノ粒子が存在する中でレーザー光によって生ずる力の段階的な変化を利

用してその粒子の動きを操作する。先頃、ナノプラズマ構造が、非球面粒子でも操作できるように変更できることが発見された。この場合、いわゆる自己誘導的反動というプロセスで相対的に小さなレーザーパワーを利用する。ここでは、対象物つまり粒子を捕まえる力の大きさが増幅される。それには、金属膜内のフォトニック結晶キャビティ、つまりナノアパチャからのフィードバックを利用する。

キャビティへのレーザー光デリバリによく使われる構造は、光ファイバテーパである。これは、光ファイバを加熱し、引き延ばし、時にはテーパに入る光がテーパ領域を進む過程でモード展開を感じるようにエッチングすることもある。この実験のために、研究チームは標準の125 μm径シングルモードファイバ(SMF)から始めた。それを加熱して直径400nm程度にテーパ化し、次にフッ化水素酸エッチングでファイバ先端の最終径を150nm、長さを1mm長にした。

ナノスパイクに対する力を定量化するために計画された実験で、先端を50 nmステップサイズ圧電x-y-zステージでコントロールし、HC-PCFの12.1 μm径のコアに挿入した(図1)。Nd:YAGレーザーからの波長1064nmの光をファイバ先端に入れ、99:1 カプラで入力光とナノスパイクからの後方反射をモニターする。HC-PCFから結果として得られるビームの近接場プロファイルは、CCDカメラで記録し、ナノスパイクが中空コアに挿入されたときの横の動きをクアドラントフォトダイオードが追う。周

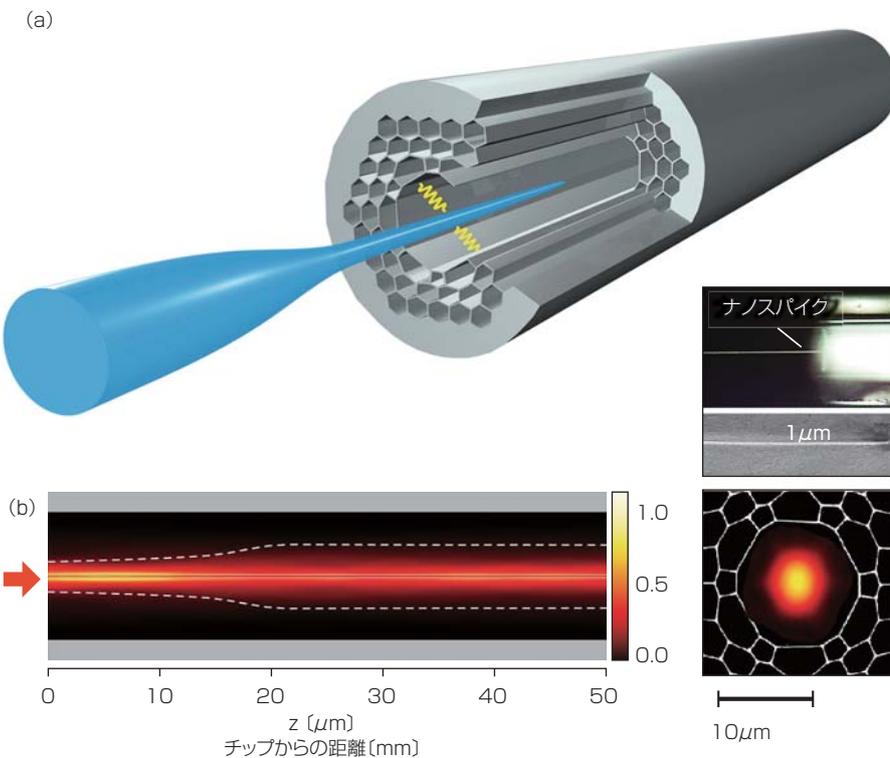


図1 ナノスパイク(青色)は、光学機械的に(a)中空コアフォトニック結晶ファイバ(HC-PCF)に結合。上方挿入図は、このセットアップの光学顕微鏡図およびナノスパイクの最終セクションの画像を示している。シミュレートしたナノスパイクモード(ポインティングベクトルのz成分をプロット)の断熱的進展はナノスパイクをHC-PCFコアの中心にして50 μmの挿入長で示している(b)。グレーの影部分はコア壁、局所モードフィールド径は点線カーブで示している。右のプロットは、PCFの走査型電子顕微鏡(SEM)画像と、ナノスパイクで励起したモードを計測した近接場プロファイル。(画像提供: マックスプランク光科学研究所)

圃圧を制御するために、ナノスパイクと30cm長HC-PCFは真空チャンバに入れている。

光がナノスパイク(その直径は波長そのものよりも小さくなる)に沿って進むにつれ、モードフィールド径はテーパ以上に大きくなり、HC-PCFの中空コアに及ぶ。先端がコア深くに挿入されると、研究者は、ナノスパイクと中空コアとのオプトメカニカル相互作用によってファイバにかかる力を計算する。このようなセンタリング力は、ウエストが中空コアに一致している標準的なガウシアンビームよりもはるかに強いことが分かっている。これは、中空コア構造が、一般的な光ピンセットよりも強い反動力を持つことを示し

ており、先端で自己センタリングとモード整合が起こることになる(フレネル反射はほぼゼロ)。

入力効率とアプリケーション

入力パワー 450mWでは、テーパ(0.31dB)とHC-PCF(0.13dB)の伝送損失を考慮した後、87.8%(挿入損失0.57dB)の効率が観察された。断熱テーパの自己集中面が、オプトメカニカルシステムなしに光をファイバに入力する必要があるエンジニアを勇気づけている。

「これは、光を中空コアファイバに結合するための全く新しいソリューションであり、自己安定化と自己アライメントという独自の特徴を備えている」とマックスプランク光科学研究所

のポストドクフェロー、シャングラン・シエ氏(Shangran Xie)は話している。「レーザーパワーがもっと高くなると、こうした特徴はさらにはっきりしてくる。したがってこの技術は、ハイパワーレーザー切断や溶接にアプリケーションが見つかる可能性がある。将来、この技術を他の中空コアファイバシステムに適用することを考えており、それにはガス充填あるいは液体充填HC-PCFも含まれる。目的は、UV光生成や生体細胞トラッピングなどのアプリケーションへの拡張である」。

(Gail Overton)

参考文献

(1) S. Xie et al., *Optica*, 3, 3, 277-282 (Mar. 2016)

LFWJ

光産業技術マンスリーセミナー

OITDA

Optoelectronics Industry and Technology Development Association

プログラム(8~9月)

No. / 開催日	講演テーマ / 講師
第 399回 8月23日(火) 15:30-17:30	「青色LEDの開発と今後の展望」 講師: 太田 光一氏(豊田合成株式会社)
第 400回 9月20日(火) 15:30-17:30	「無機系材料を用いた人工光合成技術の研究動向とCO2還元反応研究の進展」 講師: 羽柴 寛氏(パナソニック株式会社)

- 場所 一般財団法人光産業技術振興協会
- 定員 各60名
- 参加費 光協会賛助会員: 1,500円(税込み) / 一般参加: 3,000円(税込み)
※支払いは、当日受付にて現金でお願いします。

- 申込方法 オンライン申込フォーム >>> http://www.oitda.or.jp/main/monthly/monthly_postmail.html
- 申込締切 定員になり次第締め切ります。なお、締め切った場合にはWeb上にその旨を掲載します。

問い合わせ先

一般財団法人光産業技術振興協会マンスリーセミナー担当 間瀬、潮田
〒112-0014 東京都文京区関口1-20-10 住友江戸川橋駅前ビル7F TEL:03-5225-6431 FAX:03-5225-6435
E-mail: mly@oitda.or.jp URL: <http://www.oitda.or.jp/>