

# センシングナノ粒子を持つサスペンドコアファイバはヘルスケアに有益

ジョン・ウォレス

液体充填光ファイバに安全に包含されるプラズモンナノ粒子は、いつの日か病気の検出に役立つ可能性がある。

センシング用に設計された光ファイバは、光学的なセンシング素子を個別あるいは連続的に、ほぼファイバに沿って收容している。センシングのためにファイバが環境に投入されると、光を使ってセンシング素子を働かせ、ファイバ長に沿って環境特性を調べる。一般的な用途には、温度、圧力、あるいはまたひずみ計測が含まれる。ファイバセンシング技術は、センシングされる環境同様、幅広い。これに含まれるのは、建物や橋梁の構造、風力タービンブレード、石油やガス井のダウンホール、その他多くである。

一つ興味深い分野で成長途上にあるファイバセンシングアプリケーションは、医療およびライフサイエンス分野である。ここでは、センシング長はミリメートルから数メートルの範囲である。例えば石油やガス産業でよく用いられる数キロメートル長のファイバセクションではない。時として、ひとつだけの特性を計測する必要がある。

疾病の非侵襲的検出は、バイオフォトンクスにおける急成長の研究分野である。光ベースの非侵襲的検出技術で、金属ナノ粒子の利用に依存しているものがある。光でナノ粒子を励起するとプラズモン共鳴が発生する。これはセンシングすべき物質に対して波長を変えられることができる、例えば屈折率変化センサとして使える。この技術は、ファイバベースのセンシングに適用できる。

これらナノ粒子は、光ファイバの外側に付着させることができる。光ファイバは、直径が小さいので、エバネセント波領域がファイバの外表を通過して周囲の分析物まで浸透し、ファイバが伝達する光がプラズモンナノ粒子を励起することができる。とは言え、このアプローチは、非常に脆弱なファイバプローブであり、そのナノ粒子は簡単に失われる。加えて、このタイプのファイバセンサは、非常に小さなパーセンテージでしか周囲の分析物をセンシングできない。

## サスペンドコアファイバ

プラズモンナノ粒子を付着させるファイバセンシングの代替アプローチは、独ライプニッツ光技術研究所 (Leibniz Institute of Photonic Technology) と独フリードリッヒシラー大 (Friedrich-Schiller-University) の研究者によって開発された。これは、シリカサスペンドコアファイバ (SCF) をベースにしており、ナノ粒子はファイバコアの外側に付着していて、ファイバの周囲クラッドで保護されている (図1)<sup>(1)</sup>。

SCF形状では、少数の縦オープンチャンネル構成はファイバ軸周囲のパイ・スライス配置となっている。チャンネルは、極薄シリカウエブで分離されている。シリカウエブ (膜) は中央で交わって小さな硬いコアを形成する。コアは非常に小さいので、コアを通る光のエ

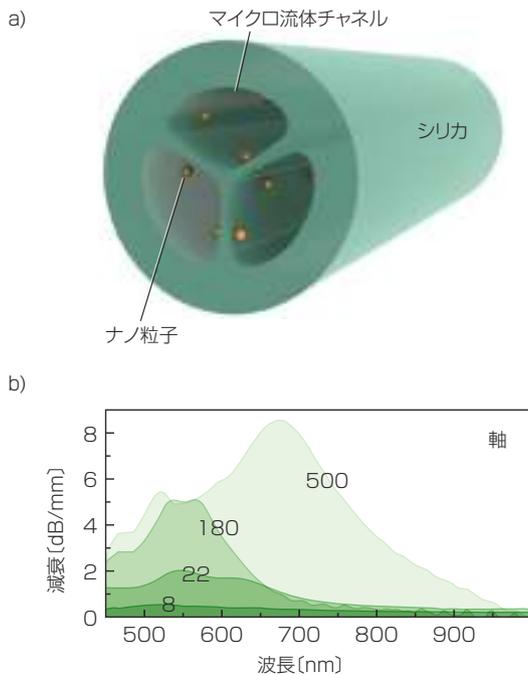
バネセント波は、コアを超えて広がり、コアあるいはその付近に付着したプラズモン構造を励起することができる。

実験用ファイバには、3つのチャネルがあり、各コア・チャネル・エッジのサイズが約30 $\mu\text{m}$ 。3つの0.5 $\mu\text{m}$ 厚シリカウエブは、ファイバの中央で交わり、約2.8 $\mu\text{m}$ 径の硬いコアを形成する。ファイバは、3本のキャピラリをシリカジャケットチューブに挿入して、結合された構造でファイバに線引きされた。

研究者は、ファイバのチャネル表面内部を機能させ、次に34 $\mu\text{m}$ 径の金ナノスフィアの懸濁液を蠕動ポンプを使って引き込んだ。最長6mのファイバセクションは、懸濁液で満たされ、ファイバに沿って均質なナノ粒子濃度となった。比較のために様々なナノ粒子濃度のファイバが作製された。

実験的光学セットアップでは、計測セクションに対して2つの計測設定を用いた。1つは、モード減衰を確定できるようにナノ粒子を含むSCF (NP-SCF) ファイバセクションだけで構成されている。第2はNP-SCFファイバセクションに接続されたSCFの光を供給するセクションを含み、これを屈折率感度測定に使用した。

デンマークのNKTフォトンクス社製スーパーコンティニウム光源からのブロードバンド光 (450nm ~ 2.4 $\mu\text{m}$ ) を開口数 (NA) 0.9の顕微鏡対物レンズを利用してファイバコアに入れた。フ



**図1** コア付近にプラズモンナノ粒子を付着させたシリカサスペンドコアファイバ(SCF)は、非侵襲生物分析用のセンサとして使用できる。(a)スペクトル図は、モード減衰 vs. 波長をファイバ内部(b)の様々なナノ粒子密度で示している(単位、ナノ粒子/平方マイクロメートル)。

ファイバの他端で、出力モードは光スペクトラムアナライザ(OSA)に結合されるか、選択可能な狭帯域光フィルタによりカメラで撮像された。

モード減衰計測では、ファイバのチャンネルを空気で満たし、ファイバを短くなるまで繰り返し切断した(液体と空気パスによる後続の高散乱を除去することは、1cmから2mmまでの短いセクションを計測するという意味である)。屈折率感度の計測のために、NP-SCFセクションを取って、注射器ポンプを使って気泡がなくなるまで、米カーギル研究所(Cargille Laboratories)の多くの異なる屈折率オイルで洗浄した。

### 低濃度ナノ粒子での有効性

様々な粒子濃度でのスペクトル計測は、予想通り、ナノ粒子の密度が高ければ、モード減衰が高いことが示された。しかし、コア径が非常に小さけれ

ば、ナノ粒子密度は $2\text{NP}/\mu\text{m}^2$ までの低密度が可能であり、同様に高密度は $500\text{NP}/\mu\text{m}^2$ まで可能だった。スペクトルカーブは、バルク付近の局在表面プラズモン(LSPR)波長の大きな増加を示した。

最高粒子密度では、ナノ粒子は非常に近接して相互作用が始まった、また周囲との相互作用も始まった。これは、粒子密度とモード減衰との理論的線形関係から、実験の展開でわかる。

屈折率感度の計測は、LSPR波長のスペクトルディップが、屈折率の増加とともに長波長側に移行することを示していた。結果としてスペクトル屈折率感度は、 $167\text{nm}/\text{RIU}$  (RIU:屈折率単位は、実際には大きさのない、屈折率を寸法用語に使用する方法)。

研究者たちは、この非侵襲的生物分析学技術が分子病診断や環境科学に適用されることに、特に興味を示している。

### 参考文献

(1) B. Doherty et al., Biomed. Opt. Express (Feb. 1, 2017); <http://dx.doi.org/10.1364/boe.8.000790>.

## HyperFineシリーズ

スペクトロメーター (分光器)

ライトマシナリー社製VIPA使用



超微細スペクトルとスペクトルシフトをリアルタイム測定

エクスポート可能なデータ  
(USBインタフェース)

リアルタイムPCソフトウェア分析  
(LabViewドライバー)

### アプリケーション

#### 光源性能評価

- 全てのレーザー
- シングルショットレーザースペクトラム
- スーパーミネセントダイオード (SLD)
- ガス放電ランプ等

#### 分光法

- プラズマ分光
- 高精度ガス分光
- ブリルアン分光/ラマン分光
- フェムト秒コム指紋分光法
- スペクトル領域光干渉断層撮影

#### 特性t評価

- ノッチフィルター
- エタロン
- ファイバーブラッググレーティング

### 仕様

|            |   |
|------------|---|
| 分解能:       | 1 pm @ 532 nm<br>(resolution > 50,000)                  |
| 精度:        | <2pm (校正後)  |
| ダイナミックレンジ: | システムの場合は10の6乗、<br>1回の測定では256                            |
| 波長範囲 1:    | 10nmレンジ<br>(サブピコメートル分解能)<br>100nm以上でユーザー調整可能            |
| 波長範囲 2:    | 100nmレンジ<br>(サブナノメートル分解能)<br>400nmから700nmまで<br>工場にて調整可能 |
| 同時レンジ分解能:  | > 10,000@532 nm   |
| 分析速度:      | > 2Hz (典型値)   |
| 校正:        | 外部校正  |

TEL 042-797-4141  
FAX 042-797-4441  
sales@beams-inc.jp

ビーム株式会社

〒194-0215東京都町田市小山ヶ丘2-2-5  
まちだテクノパーク センタービル6F

**BEAMS**  
<http://beams-inc.jp>