光ファイバプラズモニクスを可能にする埋め込み金ナノワイヤ

導波路やプラズモニック構造などの平面ナノフォトニックデバイスは、挿入損失が大きくなりがちであり、光ファイバネットワークの場合には物理的な平面構造と円筒形光ファイバとの複雑な結合が必要になる。しかし、ナノフォトニックデバイスが光ファイバ構造自体内に物理的に統合されたとしたらどうであろうか？ まさにこのような可能性が独フリードリヒ・シラー大（Friedrich-Schiller-University）と独マックス・プランク光科学研究所（Max Planck Institute for the Science of Light）の科学者たちによって実証された。すなわち、円筒形のナノフォトニック構造が直接フォトニック結晶ファイバ（PCF）、微細構造化光ファイバ、あるいは毛細管内に加圧溶融充填（PAMF）プロセス[1]によって埋め込まれた。

PAMFを使って、研究者たちは、近接場顕微鏡アプリケーションに有益なプラズモニックナノプローブの作製など、新しい機能をもつPCFを開発している。

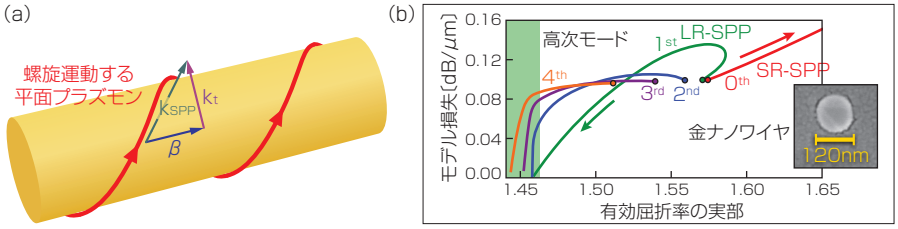

図1 （a）プラズモニック金属ナノワイヤ（矢印は平面プラズモンの波動ベクトルとトラジェクトリーを示す）の図式と（b）ワイヤ半径の関数としてのさまざまなプラズモンモードの複素平面の表現が示されている。

PAMF機能

まず、シリカファイバまたは毛細管に浸透させる材料の融解温度がシリカの軟化温度（1400℃）以下であることを確認し、その後、溶融材料を高圧下でファイバの空孔内に圧入する。液体金属は半湿潤性材料なので、ナノスケール直径の穴を埋めるには数百バール台の圧力を要する。

従来の線引きまたは押出技術とは異なり、線引加工中の小さな「空孔」直径での材料の熱ミスマッチに関係する問題を避けながら、金属と低融点化合物ガラスの双方、あるいは半導体材料さえをも合体させることができる。

PAMFで可能になるユニークな光ファイバの例には、1μm口径への三硫化ヒ素ガラスの毛細管充填があり、その結果として、2μm波長の超短パルスを照射された時に、4μmに拡張されたコヒーレントな中赤外スーパーコンティニウムを発生するカルコゲナイド‐シリカ導波路が開発された。

プラズモンプローブも提案

もう1つの斬新な光ファイバは、PAMFプロセスを使って微細構造化ファイバ内に作製された100個の金ナノワイヤアレイからなる。ここでは、シリカが充填中に金材料と接触することがないので、ファイバ内の薄い円筒形ナノワイヤに沿ったプラズモンモードの伝搬を可能にする高品質な縦型ナノワイヤ構造が実現した（**図1**）。これらの円筒形プラズモンモードはそれらが埋め込まれている光ファイバモードと結合しうる、新しいクラスのナノフォトニックデバイスを創出する。

このナノワイヤ埋め込みファイバを使うことによって、研究者たちは、スーパープラズモンモード形成を観察することができた。さらに、チップキャリブレーション技術を使って、彼らは局所電場ベクトルの配向（ナノスケール偏光）も60nmより良い横方向分解能で測定した。これは伝搬プラズモンモードの横方向近接場パターンの最初の測定である。

テーパー付きナノワイヤで強化されたファイバのエッジを切り開くと、10nm程度の小さい直径をもつ金属「円錐」が形成される。入射光はこのファイバチップのエッジで特定のプラズモン共鳴を励起し、ファイバが共鳴サブ波長プローブとして機能することを可能にする。「これは、DNA配列用のバイオフォトニクス分野でアプリケーションを見出しうる新しい種類のファイバベースのナノプローブである」とフリードリヒ・シラー大のマーカスA.シュミット教授（Markus A. Schmidt.）は語っている。「ナノワイヤベースのファイバプラズモニクスは、光ファイバだけが到達しうる新しいエリアにアクセスするための新しく、将来有望なルートの象徴である」。 （Gail Overton）

参考文献
（1）M. A. Schmidt, Nanotech., July 14, 2014; doi:10.1117/2.1201406.005493.

LFWJ