励起子を集中させる 均質なカーボンナノチューブ

カーボンナノチューブは、癌を識別するための生体分子タグ、プレーナ通信用デバイス内の波長変換素子、放射線吸収や他の先端機能を持つコーティングなどへの利用を目的として研究と改良が続けられている。

ある研究チームは、典型的な励起波長よりもかなり大きなサイズの電子的に均質な単層カーボンナノチューブ（SWNT）材料を構築して、この材料のアプリケーションリストを拡大しようとしている[1]。米マサチューセッツ工科大学（MIT）、ソニー、韓国のキョンウォン大学、米パデュー大学、ブラジルのミナスジェライス連邦大学から成る研究チームは、すでに励起子アンテナを実証し、フォトダイオード、光起電力素子、ボロメータを含む励起子集中構造を活用することができる他の多くの未来のフォトニックデバイスの開発を想定している。

均質性が鍵

この研究チームは、自動化誘電泳動（DEP）ドローイング装置を用いて、半導体SWNT溶液からコントロールされた長さと直径（最高4μm）をもつ整列ファイバを組立てた。DEP工程は電子的、光学的に均質なファイバを作り出すため、得られた単一DEP層内のすべてのSWNTは半導体であり、同じバンドギャップを持つことになる。DEP工程でSWNTのコア層を作製した後、このファイバを特性の異なる第2のSWNT溶液に浸漬することによって、内側層よりも大きいバンドギャップを

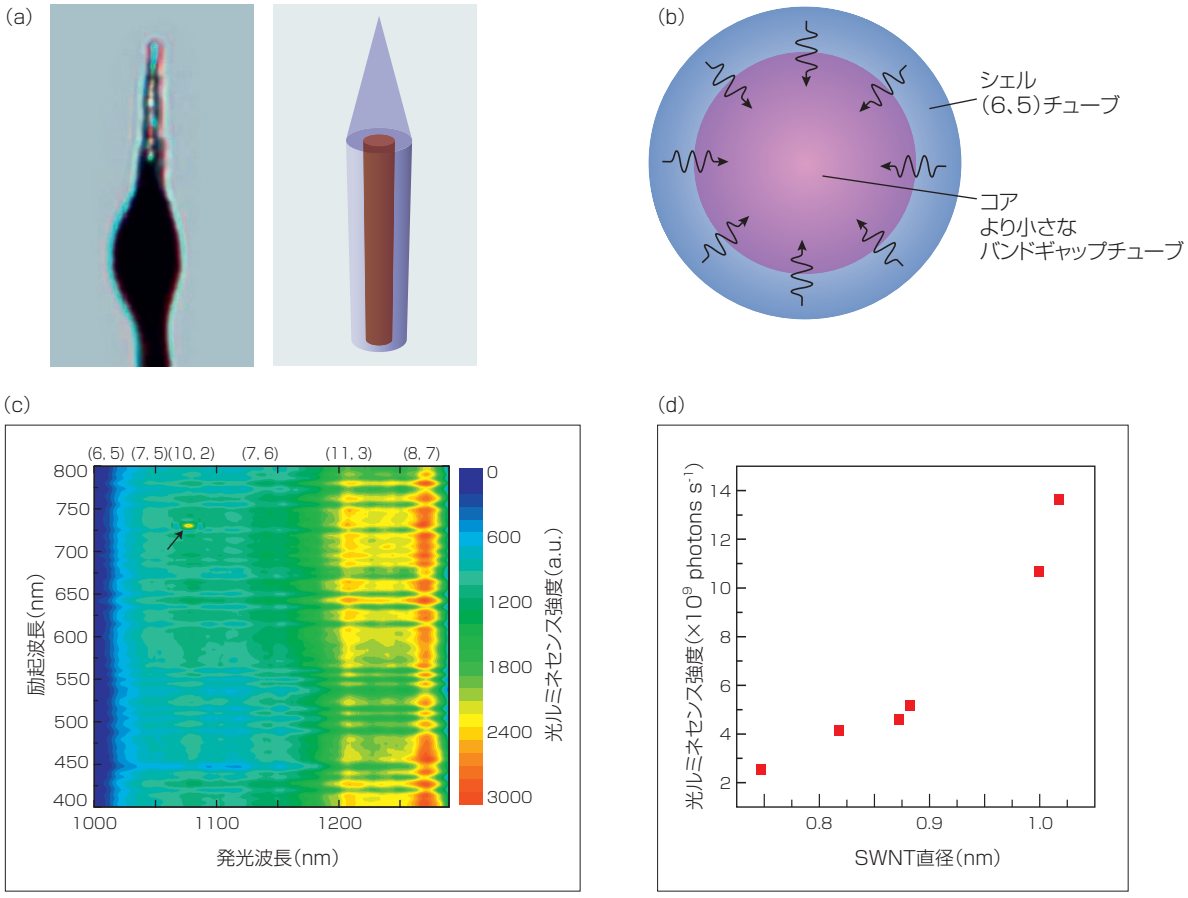

図1　コア・シェル構造はバンドギャップ値が異なるSWNT要素から成り（a）、コア部分に励起子を集中させ（b）、光電子放出を誘起する（c）。実験データは励起子アンテナ内の各タイプのSWNTに対する光ルミネセンス強度を示している（d）。（資料提供：MIT）

もつSWNTで外側層を構成した。そのため、このファイバは外側シェルから内側コア（小さなバンドギャップをもつSWNT）へと励起子（電子と正孔の束縛状態として定義される励起子）を集中させ、近赤外（NIR）領域の光を放射した。典型的な14μm長のファイバは吸収光の波長より大きな構造に内蔵された3.3×10^7程度のSWNTを含むことができる。

一連の実験とモデリングを実施し、雰囲気温度から357Kまでの範囲で温度を循環させると光ルミネセンスの鋭く可逆的な減衰が起きることが明らかになった。このことは、デバイス効率が室温で最高となり、高温では励起子が互いを消滅させて、もはや光デバイスとして寄与しないことを示唆している。この発見は、高温環境においても最適に機能するアンテナを作製する方法を探索している研究者たちを刺激するはずだ。さらに、コア領域とシェル領域のファイバ径の不一致ならびにSWNTの濃度と充填構造の違いによる波長シフトが、ファイバの長さ方向に沿って観測された。

励起子アンテナ

バンドギャップが外に向かって放射状に徐々に大きくなるSWNTの連続層で構成される構造を作ることによって、励起子はそのエネルギーを励起子エネルギーの「集中デバイス」として効率的に機能するこの構造のコア（本質的には励起子アンテナ）へと移動させることが可能になる（**図1**）。

MIT教授のマイケル・S・ストラーノ氏は、「光エネルギーを捕捉して集中させるSWNT光アンテナは、非常に薄く高効率な光起電力素子アレイを将来実現することになるだろう。さらに、実証された光アンテナアプローチは、広く研究されている生物の光子集中アプローチに類似している。光合成反応は植物の光合成において集中的に起こり、例えば、特定の位置に励起を集中させる集光複合体タンパク質中には集光アンテナが含まれている。この類似性はアンテナ構造から生物発色団へ励起子エネルギー移動が起きる新しいアプリケーションを可能にするはずだ」と語っている。　（Gail Overton）

参考文献

（1）J.-H. Han et al., Nature Mats. online, doi: 10.1038/NMAT2832（Sept. 12, 2010）.

LFWJ