



2011年10月18日
国立大学法人 東京大学
独立行政法人 理化学研究所

記者会見のご案内

電子輸送層とホール輸送層の2つの分子グラフェンを接合

—光電変換機能に理想的な構造の実現により電荷を長寿命化、
飛躍的な高効率有機薄膜太陽電池の開発に期待—

本研究成果のポイント

- 異なる電気特性の分子グラフェンを真っすぐに接合した1本の炭素ナノチューブを開発
- 自己組織化を利用したナノレベルの精度の接合界面を構築
- 高効率な太陽光発電材料の開発に向け、革新的な分子設計戦略を提案

<会見日時> 平成23年10月20日(木) 15:00～

<会見場所> 工学部列品館2F 中会議室(文京区本郷7-3-1)

国立大学法人東京大学(濱田純一総長)と独立行政法人理化学研究所(野依良治理事長)は、「電子を流す分子グラフェン^{*1}層(電子輸送層)」と「ホール^{*2}を流す分子グラフェン層(ホール輸送層)」が、ナノレベルの精度で真っすぐに接合した炭素ナノチューブ^{*3}の開発に成功しました。筒状の構造を持つこの炭素ナノチューブは、光を照射すると発生する電子とホールがきれいに分離し、長寿命の電荷分離^{*4}状態を実現することが分かりました。これは、東京大学大学院工学系研究科相田卓三教授(理研基幹研究所機能性ソフトマテリアル研究グループ グループディレクター)、理研基幹研究所エネルギー変換研究チーム福島孝典チームリーダー(東京工業大学教授)と張維研修生(東京大学大学院博士課程学生)、および大阪大学大学院工学研究科の関修平教授らによる共同研究の成果です。

環境問題やエネルギー問題を解決するための要素技術の1つとして、高効率な有機太陽電池の実現に向けた研究が世界中で繰り広げられています。太陽光の発電効率を飛躍的に高めるためには、電子とホールの輸送を担う各分子層が、ナノスケールの精度で相分離^{*5}するとともに、それらが広い接触面積で接合した状態を達成しなければなりません。しかし、異種の物質を分子構造の規則性を保ったまま完璧に接合することは極めて困難であり、実現には至っていません。

研究グループは、炭素原子が平面上に並んだ分子グラフェンに、フッ素原子を導入して電子輸送機能を付与したものと、金属を取り込む能力とホール輸送機能を併せ持つものを合成し、その性質を検討したところ、それらが溶液中で自発的にチューブ構造を作る現象を見いだしました。そこで、ホール輸送層のナノチューブが存在する条件で電子輸送層のナノチューブを作ったところ、ホール輸送層のチューブ断面だけから電子輸送層のチューブが成長することを発見しました。得たチューブに光を照射したところ、接合面から発生した電子とホールはきれいに分離し、接合構造を持たないナノチューブに比べて4～6倍という電荷の長寿命化を実現しました。

電子とホール輸送層を精度よく接合した1本の炭素ナノチューブは、高効率な有機薄膜太陽電池^{*6}にとって理想的な構造を実現したもので、基礎と応用の両面で大きなインパクトを与えるものです。

本研究成果は、米国の科学雑誌『*Science*』オンライン版（10月20日付け：日本時間10月21日）に掲載されます。

1. 背景

環境・エネルギー問題を解決する方法の1つとして、クリーンで無尽蔵の太陽エネルギーを電気エネルギーへと変換する太陽電池には大きな関心が寄せられています。なかでも、柔軟かつ軽量、さらに低コストで大面積化が可能な有機薄膜太陽電池の実用化には熱い視線が注がれており、世界中の研究者がその発電効率の向上にしのぎを削っています。高効率化には、電子を流す層（電子輸送層）とホールを流す層（ホール輸送層）が相分離した状態で、おのおのの接触面積を最大限に広くとることが必要です。これまでは、電子輸送性の分子とホール輸送性の分子の混合物を基板上へ塗布する手法が用いられてきましたが、それぞれの層の厚みや接触界面を精密に制御することは困難でした。そのため、せっかく光を照射して電荷（電子とホール）を発生させても、すぐに消滅してしまうという問題点を抱えていました。

研究グループは、「ヘキサベンゾコロネン」と呼ばれるグラファイトの一部を切り出したホール輸送性の平板状分子（HBC）と、この分子骨格にフッ素原子を導入して電子輸送性を付与したHBC分子（FHBC）に着目しました。2003年には、HBCに「水になじむ部分（親水性）」と「油になじむ部分（疎水性）」という相反する性質を導入した分子を合成して、それらが自発的に組織化し、それぞれナノチューブ状の構造体になることを既に見いだしています。そこで、これらナノチューブがナノレベルで精密な構造であることを利用して、理想的な相分離を実現し、発生させた電荷の長寿命化に挑みました。

2. 研究手法と成果

研究グループは、HBCとFHBCの2つの分子グラフェンを精度よく接合して、ナノサイズの筒状の新しい炭素ナノチューブを考案しました。このナノチューブに、親水性と疎水性を適切に導入し、さらに、HBCからできたナノチューブには、金属を補足する能力をもったピピリジンという部分を付加しました（図1）。面白いことに、通常HBCとFHBCのナノチューブは、凝集して大きな束になりますが、ここに銅イオンを加えると、ピピリジンが銅イオンを取り込み、銅イオン同士の反発で束がほどけ、1本1本の独立したナノチューブを得ることができました（図2）。大きな束では隠れていたナノチューブの断面部ですが、ばらばらになるとむき出しになるため、そこから接ぎ木をするように別のナノチューブを成長させることが可能になります。実際、HBCのナノチューブが分散している溶剤にFHBCの溶液を加えると、HBCの断面からFHBCのナノチューブがほぼ100%の確率で成長しました。電子顕微鏡で観察すると、この2種類のナノチューブが真っすぐに接合し、分子構造の規則性を保ったまま1つのナノチューブとなっていることが分かりました（図3）。このナノチューブに光を照射し電気特性を調べたところ、接合界面で発生した電子とホールはきれいに分離し、接合構造を持たないナノチューブの場合より4倍～6倍も長寿命化

することを見いだしました (図 4)。これはホールと電子がきれいな接合面を境に別々のナノチューブ上にいるため、電荷再結合による消滅が抑制されたためと考えられます。この炭素ナノチューブは高効率な光電変換機能にとって理想的な構造を実現したものであり、今後、有機薄膜太陽電池を作製する上で、非常に重要な知見を提供するものとなります。

3. 今後の期待

今回、分子の自己組織化を利用して構築した HBC と FHBC からなる炭素ナノチューブは、ホール輸送層と電子輸送層のそれぞれが高い秩序を持っているため、電子やホールは高い移動度を示すことが予想されます。また、分子レベルで完全に密着した接合界面は光による電荷の発生に有利であり、さらに、この界面で生成した電荷は完全に分離した別々のナノチューブへと運ばれるため、電荷の再結合による消滅を抑制することができます。この炭素ナノチューブに電極を接続する技術を開発すれば、飛躍的に高い光電変換効率を実現できるものと考えられます。

原論文情報

Wei Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Akinori Saeki, Shu Seki, and Takuzo Aida.” Supramolecular Linear Heterojunction Composed of Graphite-like Semiconducting Nanotubular Segments”
Science, 2011. doi/10.1126/science.1210369

<報道担当・問い合わせ先>

東京大学 大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 教授
独立行政法人理化学研究所
基幹研究所 機能性ソフトマテリアル研究グループ
グループディレクター 相田 卓三 (あいだ たくぞう)
TEL : 03-5841-7251 FAX : 03-5841-7310

尚、10月18日は相田教授は海外出張中のため、以下の連絡先にお問い合わせいたします。

独立行政法人理化学研究所
基幹研究所 機能性ソフトマテリアル研究グループ
石田 康博 TEL : 048-462-1111 (内線 6351)
梶谷 孝 TEL : 048-462-1111 (内線 6349)

(報道担当)

東京大学 大学院工学系研究科 広報室
TEL : 03-5841-1790 FAX : 03-5841-0529
独立行政法人理化学研究所 広報室 報道担当
TEL : 048-467-9272 FAX : 048-462-4715

<記者会見場所 アクセス> 本郷キャンパス：文京区本郷7-3-1



工学部列品館 http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam01_04_01_j.html

<補足説明>

※1 分子グラフェン

炭素原子が平面状に結合してできたシート（グラファイトの1枚面。グラフェンと呼ばれる）の一部を切り出してできる構造の分子

※2 ホール

正孔。半導体において価電子帯から電子が抜けることにより生じるプラスに帯電した抜け穴で、p型半導体における電気伝導の担い手。

※3 ナノチューブ

直径が数～数十ナノメートル程度のチューブ状構造体の総称。炭素のみからできたカーボンナノチューブが有名。

※4 電荷分離

光照射によって半導体中に生じた電子と正孔が空間的に分離すること。

※5 相分離

均一な混合物が、それぞれの（純）物質の相（同一の組成を持つ部分）に分かれていく現象。

※6 有機薄膜太陽電池

導電性高分子や色素などの有機半導体を積層もしくは混合してできる薄膜を用いた太陽電池。光起電力効果（光を物質に照射することで発生する電力）を利用し、光エネルギーを直接電力に変換するデバイス。

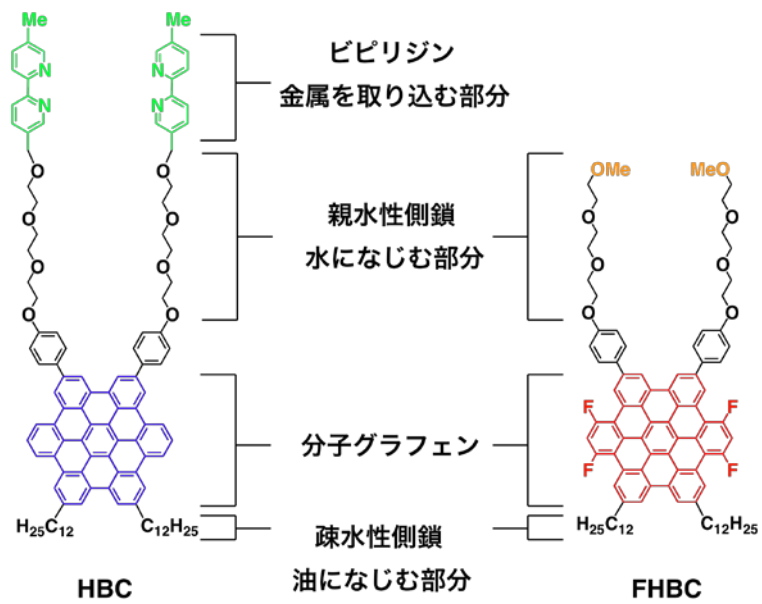


図 1 ホール輸送性の HBC と電子輸送性の FHBC の分子構造

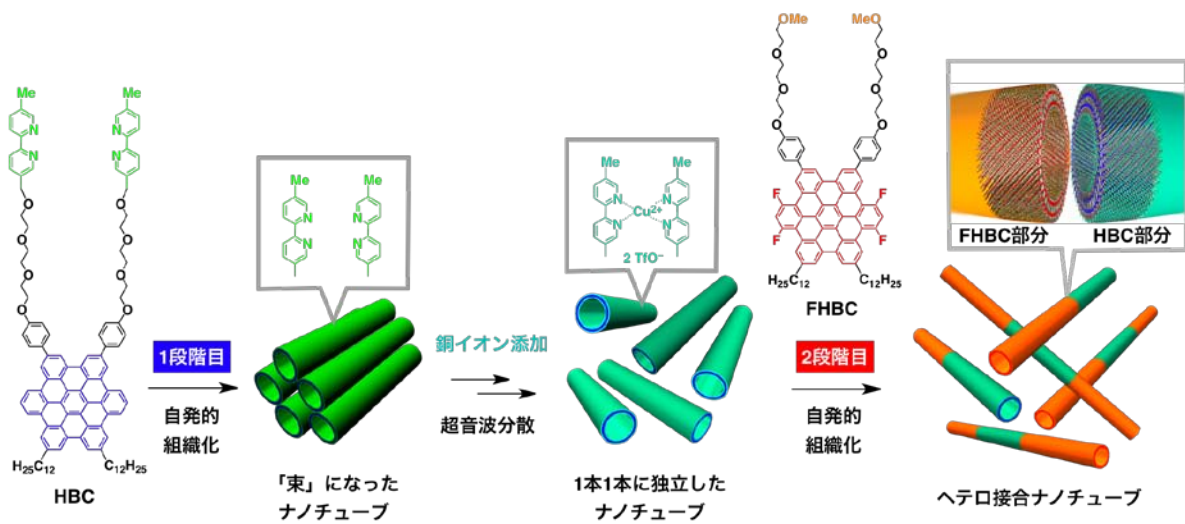


図 2 分子構造の規則性を保ったまま接合した炭素ナノチューブの作製法

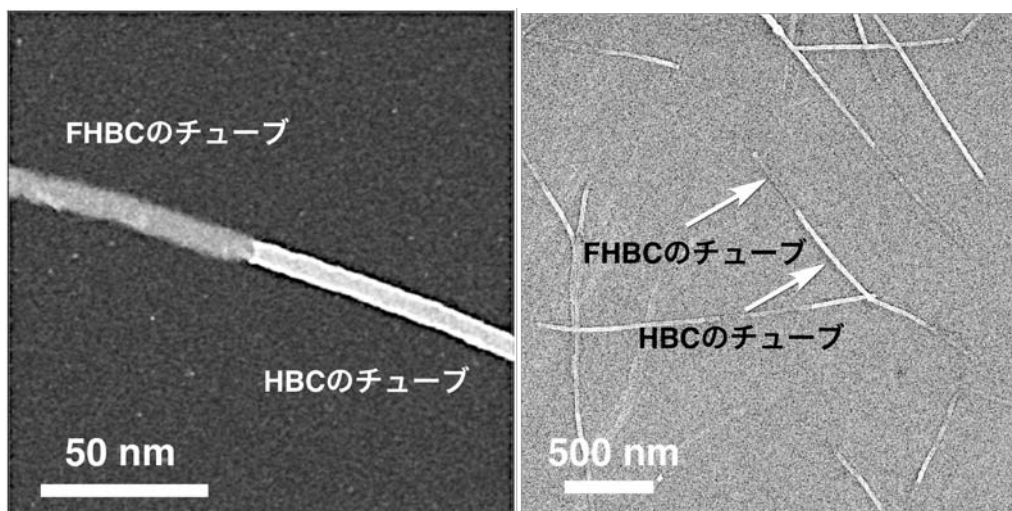


図3 HBCとFHBCが直結したヘテロ接合ナノチューブの顕微鏡写真
 (左)透過型電子顕微鏡写真、(右)走査型電子顕微鏡写真

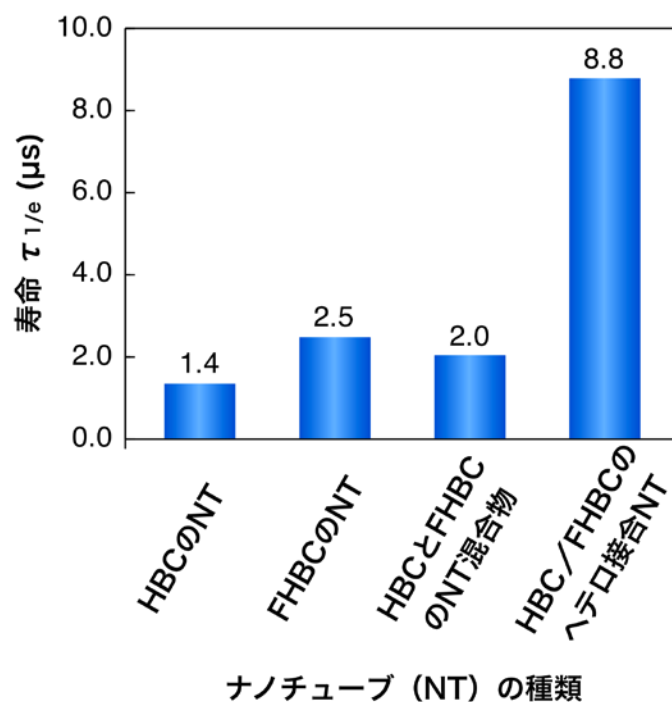


図4 光照射で発生した電荷の寿命 (Science より転載)
 ヘテロ接合構造を完璧に作り込むことで、光で発生した電荷の寿命が4~6倍も長くなる。