

平成 22 年 4 月 15 日

報道関係者各位

国立大学法人 千葉大学

有機半導体中の電子の動きを直接観測することに成功 —有機分子が電気を流す謎の解明に大きく前進—

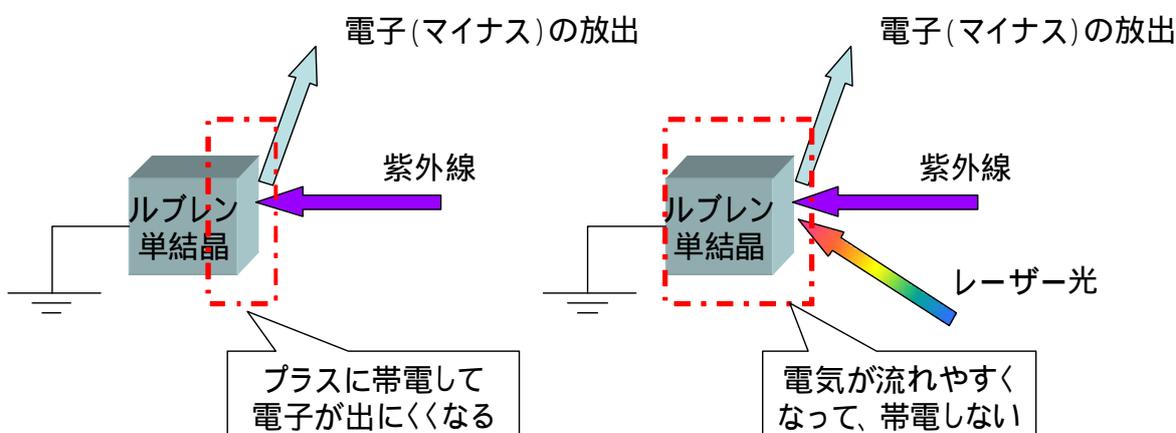
国立大学法人千葉大学のグローバル-COE プログラム“有機エレクトロニクス高度化スクール”の石井久夫教授、上野信雄教授らの研究グループは、従来困難だった有機半導体中のホール（電子の抜けた穴）の動きを直接観測することに成功し、その有効質量が室温で自由に運動する電子の質量より軽いことを突き止めました。これは、長年の課題であった有機分子が電気を流す謎の解明に向けた大きな前進であり、超省エネルギーなどの利点で今後ますます発展が期待される有機エレクトロニクス分野の学術と有機デバイス開発を加速する成果です。

シリコンなどの無機物の半導体ではなく、電気を流す有機分子、“有機半導体”をエレクトロニクスに応用する研究が 20 年来、世界的に盛んになっており、有機電界発光素子（有機 EL）、有機太陽電池、有機トランジスタなどの研究・実用化が進みつつあります。特に、既に実用化されている有機 EL には高い省エネルギー性、素子作成時の低環境負荷などの利点があり、市場規模は右肩上がりに成長しており、2016 年には 71 億米ドル（～7 千億円）（米 DisplaySearch 社 2009 年 7 月調べ）に達すると予測されています。このように成長している有機エレクトロニクスは、地球温暖化を克服し持続可能な社会を維持するために不可欠なエレクトロニクス技術といえます。

有機エレクトロニクスに用いられる“有機半導体”は、私たちの身近にあるプラスチック、色素などと同じ有機分子です。また、私たちの体自身も有機分子から構成されています。元来、有機分子は電気を流しにくく、絶縁体として利用されてきましたが、60 年前に我が国で電気を流す有機材料が見出されてから、長年にわたって有機半導体の研究が進められてきました。特に、「絶縁性である有機分子がなぜ電気を流すのか？」という問題は、電気を流れやすくしてエレクトロニクスの性能を高めるのに不可欠な課題ですが、決定的な理屈が解明されずに残されてきました。電気の流れ方を調べるには、有機半導体中での電子の速さ、移動方向、エネルギーや動きやすさ（有効質量）など電子の動きを調べるのが不可欠ですが、それを直接的に観測することはこれまで困難でした。

固体の中の電子の動きを調べるには、紫外線をあてて電子を取り出して調べる必要があります。角度分解光電子分光（※1）という手法がこれまで広く用いられてきました。しかし、有機半導体の測定では電子を取り出すことにより有機半導体自体がプラスの電気を帯びてしまうため電子をうまく取り出せなくなる“試料の帯電”がおきるため、光電子分光の測定がうまくいかず、通常、素子の状態とはことなる非常に薄い膜を代用して測定が行われていました。研究グループは、測定時にレーザー光を照射することで有機

半導体にたまるプラスの電気を逃がすことで、有機半導体の帯電効果を抑制して精密な光電子分光測定を行うことに成功しました。



具体的には、これまで知られている有機半導体の中で最も電気を流しやすいルブレン(※2)という材料の単結晶において、電子の速度とエネルギーの関係(バンド分散(※3))を光電子分光測定より観測することに成功し、ルブレン中で電気が流れる現象は、有効質量の軽いバンド伝導(※4)で生じていることを明らかにしました。

このような実験手法を用いると、多くの有機半導体での電子の動きを直接調べることができ、「有機半導体中で電気が流れるメカニズムの解明」、「素子開発における新規材料の電気伝導能力の評価」、また「有効に電気を流すための分子の設計・開発」、などが可能となり、成長する有機エレクトロニクス産業における素子開発研究を加速することが期待されます。

本研究は、文部科学省のグローバル COE プログラム (G-03)、科学研究費補助金 (21245042、20245039、20685014) の援助を受けて実施されました。

また、本研究成果は、平成 22 年 4 月 14 日に米国物理学誌「Physical Review Letters」にオンラインで掲載されました。

連絡先・担当者：

〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町 1-33

千葉大学大学院融合科学研究科

グローバル COE 拠点リーダー 上野信雄 (043-290-3447) /融合科学研究科・教授

副リーダー 石井久夫 (043-290-3524) /先進科学センター・教授

研究の重要性に関する問い合わせ先：

大阪大学産業科学研究所・竹谷純一教授 (06-6879-8400)

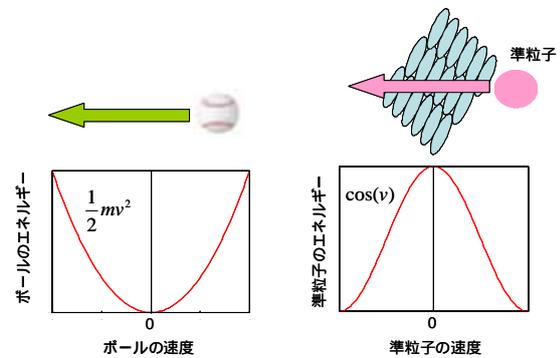
補足事項（語句の説明）

※ 1 角度分解光電子分光：高いエネルギーを持つ光（紫外線、X線など）を物質に照射すると、内部の電子が物質外に飛び出してくる。その際の電子の速さと方向を測定することで、物質内部の電子の状態を調べる手法。

※ 2 ルブレン：これまで報告されている有機半導体の中で最も電気を流しやすい有機トランジスタ材料として世界中の注目を集めている材料。なぜこの分子を用いると電気を流しやすいかが理解されていない。今回の研究成果は、ルブレンの単結晶の中を流れる「準粒子」としてのホール運動を直接捉えたものです。

準粒子：電荷を持つ電子やホールが有機半導体の中を移動するときその周りの分子を変化させながら運動するため、「衣」をまとった粒子の様に運動します。このような粒子を準粒子と呼んでいます。

※ 3 バンド分散：私たちの身近では、動く物体のもつエネルギーは速度の自乗に比例します。電子が単独で存在するときは同様の関係が成り立ちますが、物質の内部に電子がいるときは、個々の物質に依存して電子の速度とエネルギーの関係が変化します。このような電子の速度とエネルギーの関係はバンド分散関係とよばれ、物質中の電子の動きを支配する重要な要素となっています。



※ 4 バンド伝導：電気を流す能力の低い有機半導体では、電子は1つの分子の中に閉じこめられていて、隣り合う分子間を飛び移りながら移動して電気が流れます。それに対して、無機半導体と同様に、電子が広がりを持ち、波動性を持って伝導する場合をバンド伝導という。