

【ナノテクノロジー・材料分野】

仮訳

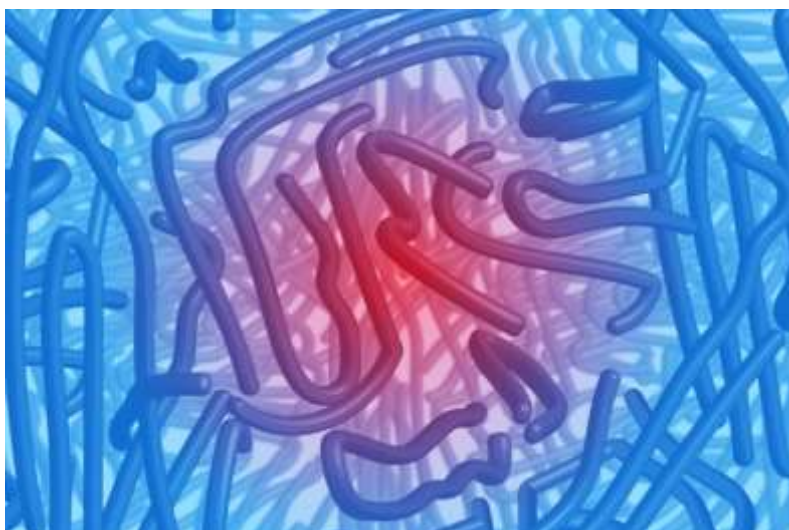
**Engineers turn plastic insulator into heat conductor**

Technique could prevent overheating of laptops, mobile phones, and other electronics.

[MIT News](#)

**プラスチック絶縁体を熱伝導体に転換（米国）**

2018年3月30日



MIT のエンジニアが熱伝導性ポリマーを開発。同ポリマーは、プラスチック材料でありながら、熱伝導体として機能し、熱を絶縁するのではなく拡散する。

画像：Chelsea Turner / MIT

**ラップトップ、携帯電話、その他エレクトロニクスの過熱防止を可能にする技術**

プラスチックは、効率的な熱を捕捉することができる優れた絶縁体であり、コーヒーカップのスリーブ等で強みを発揮する。しかし、この絶縁特性は、ラップトップや携帯電話のプラスチックケース等の製品においては、機器が発する熱をカバーが閉じ込めてしまうため、過熱を引き起こす可能性があり、望ましいとは言えない。

MIT のエンジニアのチームは今回、熱伝導性ポリマーを開発した。同ポリマーはプラスチック材料でありながら、熱伝導体として機能し、熱を絶縁するのではなく拡散する。この新しいポリマーは、軽量、フレキシブルで、最も一般的に商業利用されているポリマーの10倍もの伝熱性を備える。

MIT 機械工学部の博士研究員である Yanfei Xu 氏は、次のように述べている。「従来のポリマーは、電氣的にも熱的にも絶縁材料です。導電性ポリマーの発見と開発によって、フレキシブルディスプレイやウェアラブルバイオセンサー等の新たな電子アプリケーションが誕生しましたが、我々が今回開発したポリマーは、熱を伝導させ、より効率的に熱を除去することが可能です。我々はこのポリマーを、既存の自己冷却式電子機器の筐体等の高度な熱管理アプリケーション向けの次世代熱伝導体として利用することが可能であると確信しています。」

Xu 氏、博士研究員のチーム、大学院生、および学部職員は「Science Advances」誌に本研究結果を発表した。同チームのメンバーは、Xu 氏と共に本研究に貢献した Xiaoxue Wang 氏、Jiawei Zhou 氏、Bai Song 氏、Elizabeth Lee 氏、および Samuel Huberman 氏。Zhang Jiang 氏（アルゴンヌ国立研究所の物理学者）、Karen Gleason 氏（MIT の associate provost、Alexander I. Michael Kasser 化学エンジニアリング教授）、Gang Chen 氏（MIT 機械工学部長、および Carl Richard Soderberg 動力エンジニアリング教授）

### スパゲッティを引き伸ばす

平均的なポリマーの微細構造を拡大して見ると、同材料がなぜ容易に熱を閉じ込めることができるのかを理解することは困難ではないだろう。顕微鏡レベルで見ると、ポリマーは分子単位であるモノマーの長鎖から成り、両端がつながっている。これらの鎖は、スパゲッティの塊のように絡み合っていることが多い。熱媒体は、この無秩序で混乱とした中で移動を阻止され、ポリマーの絡まりや結び目の中に閉じ込められがちである。

研究者は、これらの天然の断熱材を熱伝導体に転換することを試みた。

ポリマーは、軽量、フレキシブルで、化学的に不活性であるといった複数の特性の組み合わせをエレクトロニクスにもたらす。さらに、電気を通さない絶縁材料として、ラップトップや携帯電話等のデバイスをユーザーが手で持った時にショートを起こさないようにするために利用することが可能である。

近年、複数のグループが、熱電性ポリマーを設計したが、その中の一つである Chen 氏のグループは、2010 年に「超延伸ナノファイバー」(ultradrawn nanofibers)をポリエチレンの標準的試料から作製する方法を開発した。この技術は、クリスマス・イルミネーションの絡まった電飾コードをほどくように、乱雑で不規則なポリマーを超薄で規則的な鎖状に引き伸ばすというものである。Chen 氏は、この方法で作製した鎖によって、熱がポリマーに沿ったり、中を通り抜けたったりするによって容易に移動できるようになり、通常のプラ

スティックの 300 倍もの伝導性を発揮することを発見した。

しかし、絶縁体に転換した導電体が熱を拡散するのが可能なのは、各々のポリマー鎖に沿った一方向のみにおいてだった。ファンデルワールス力（2 つ以上の分子を互いに近くに引き寄せる現象）が微弱なせいで、熱がポリマーの鎖と鎖の間を移動することが出来なかった。そこで Xu 氏は、ポリマー材料が全方向に熱を拡散させることができるようにならないかを考えた。

Xu 氏は本研究において、同時に分子内および分子間の力を操作することによって、ポリマー鎖沿いや、鎖と鎖の間での効率的な熱の輸送を可能にする方法を用いて、高い伝熱性を備えたポリマーの設計を試みた。

同チームは最終的に、多くの電子機器で一般的に使用されている共役ポリマーの一種であるポリチオフェンとして知られている熱伝導性ポリマーを作製した。

### あらゆる方向に熱の兆候がある

Xu 氏、Chen 氏、および Chen 氏の研究室のメンバーは、Gleason 氏、および同氏の研究室のメンバーと共同で、酸化 CVD 法（oxidative chemical vapor deposition=OCVD）により、熱伝導性ポリマーを設計するための新しい方法を開発した。酸化 CVD 法では、2 種類の蒸気が反応室内と基板上に供給され、相互作用を起こした蒸気が膜を形成する。Xu 氏は「我々が開発した方法により、通常のポリマーで作られるようなスパゲッティ状にねじれた鎖ではなく、堅いポリマー鎖を作製することに成功しました。」と述べた。

この方法において、Wang 氏は酸化剤をモノマーの蒸気と共に反応室に注ぎ入れた。モノマーは個々の分子単位であるが、酸化すると、ポリマー鎖を形成する。

Wang 氏は次のように述べた。「我々は、シリコン/ガラス基板上にポリマーを形成させました。この基板上に酸化剤とモノマーが吸着され、反応すると、CVD 法のユニークな自己テンプレート的成長メカニズムの機能が促進されます。」

Wang 氏は、約 2 cm<sup>2</sup>（親指の指紋の大きさ）の比較的大きなサンプルを作製した。

Xu 氏は次のように述べた。「このサンプルは、太陽電池、有機電界効果トランジスター、および有機発光ダイオード等、かなり広範囲の用途で使用されているため、もし同材料を熱伝導性に転換することができれば、すべての有機エレクトロニクスにおいて、熱の拡散

が可能になります。」

同チームは、時間領域サーモリフレクタンス法で各サンプルの熱伝導率を測定した。同測定方法は、材料にレーザーを照射し、表面を加熱した後に、熱が材料の中に拡散するときの材料の反射率を測定することにより、表面温度の低下をモニタリングするというものである。

Zhou 氏は「表面温度の減衰の時間的プロファイルは、熱拡散の速度に関係しており、そこから熱伝導率を計算することが可能です。」と述べた。

ポリマーのサンプルでは平均して約  $2\text{W/m}\cdot\text{K}$  と、従来ポリマーの約 10 倍の速さでの熱伝導が可能であることが確認された。アルゴンヌ国立研究所(ANL)では、Jiang 氏および Xu 氏が、同サンプルがほぼ等方的、すなわち均一であることを確認した。このことは、熱伝導性等の材料の特性もほぼ均一であることを示唆している。同チームはこの推論に基づき、同ポリマーが全方向に均等に熱伝導を行い、熱拡散のポテンシャルを向上させると予測した。

同チームは今後、ポリマーの伝導性の背景にある基礎物理学のみならず、エレクトロニクス、電池ケース、プリント回路基板の膜等のエレクトロニクスや他製品において、同材料を利用する方法について、研究を継続する方針である。

Xu 氏は次のように述べた。「我々は、この材料をシリコンウェハー上やさまざまな電子デバイス上に直接コーティングしたり、コンフォーマルにコーティングしたりすることが可能です。もし、これらの無秩序構造の中で熱輸送がどのように行われているのかが理解できれば、熱伝導率をさらに向上させることが可能かもしれません。そうすれば、広範囲にわたる過熱に係る問題の解決や、熱管理の改善に貢献できるでしょう。」

本研究の一部は、米国エネルギー省 基礎エネルギー科学、および MIT の Deshpande Center からの支援を受けて行われた。

著者：Jennifer Chu

翻訳：NEDO 技術戦略研究センター企画課 坂田 裕子

出典：本資料は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の以下の記事を翻訳したものである。

“Engineers turn plastic insulator into heat conductor”

(<http://news.mit.edu/2018/engineers-turn-plastic-insulator-heat-conductor-0330>)

(Reprinted with permission of [MIT News](#))