

大阪大学の研究グループが、小型・軽量で高効率フレキシブル熱電変換デバイスの開発に成功した。人々の安全で快適な「スマート社会」実現のため、欠くことのできない自律分散型計測通信機器に不可欠なデバイスとなる可能性が期待される。

企業名	大阪大学産業科学研究所 大阪大学クリエイティブユニット		
主力事業	—		
所在地	〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1		
TEL	06-6877-5111	URL	https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/
資本金	—	従業員数	—

【本技術の概要】

大阪大学産業科学研究所の菅原徹准教授（先端実装材料研究分野）と工学研究科の伊庭野健造助教らの研究グループは、精密な半導体チップ加工と実装プロセス、新規の実装材料を採用することで、超小型・軽量で、大面積・高効率・高機械的信頼性のフレキシブル熱電変換デバイス^(注1)を開発した。今回開発したデバイスは、超小型の熱電半導体チップ 1cm 角あたり約 200 個を高密度に搭載し、フレキシブル性を向上させた。湾曲した熱源から熱の回収効率がよくなるとともに、微細化と軽量化により機械的信頼性を向上させた。低コストで、未使用率の高い 100℃以下の廃熱を効率よく回収することができる。今後、拡大が見込まれている IoT センサーを支える熱電変換を利用した自律分散(オフグリッド)型電源システム^(注2) 社会での実装が期待される。また、この熱電変換デバイスは、小型・軽量かつフレキシブルなペルチェ素子として利用できるため、全く新しいエンターテインメントコンテンツや、メディアアートなどのエンターテインメント機器、視聴覚に障害をもつ人達の情報呈示機器への応用、パーソナルエアコンや局所冷却器などの各種医療機器としても期待されている。

(注1) フレキシブル熱電変換デバイス；熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換する（ゼーベック素子）と、電気エネルギーを温度勾配へ変換する（ペルチェ素子）熱電材料で構成され、小さな温度差でも、その温度差に見合って変換できるデバイス。エネルギーを効率よく回収する技術として注目されている。

(注2) 自律分散(オフグリッド)型電源システム：送電系統（電線を伝って電力を送る通信網）と繋がっていない状態（オフ）でも周辺の電源システム同士、または、親ユニットと送電線なしで、電源の消費電力を共有活用する次世代電源システム。

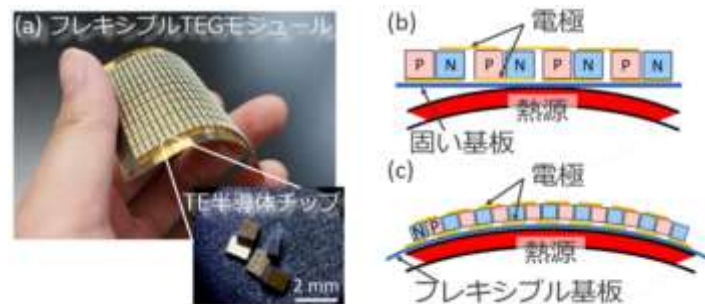


図 1. 熱電変換デバイスと熱源との接触状態

【本技術の背景】

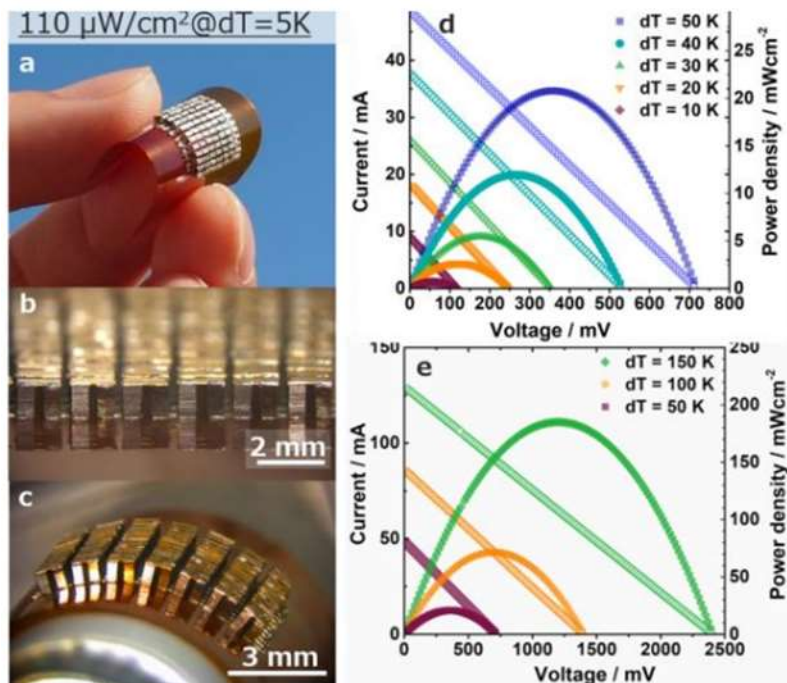
人々が安全で快適な生活を実現する超スマート社会では、各種IoT技術とすべてのセンシング(計測)技術の協働により収集された多くのデータ(ビックデータ)が、AIやICT技術により解析・最適化され、より付加価値の高い行動情報として、実社会へ還元され、その人々の行動は、再度サイバー空間へ情報収集される。この一連のサイクルにより、人々の健康で安全な生活・社会を提供する。

このような社会では、電力配線から切り離された数百億から数千億以上の自律分散型計測通信機器が使用されることから、低価格、軽量、小型、高性能、低消費電力かつ高信頼性(耐環境性・安定性)などの特性が求められる。一方、これらの機器の使用される環境は、電源の常時供給が困難な独立電源とセンサーがセットとなる場合が想定される。特に、動作が長期間になる場所や電源電池交換が困難な深海や高所などでは、自己発電が可能な自律電源が必要となる。さらに、データ収集のためのセンサー部分にも通信機能を持たせることが求められ、さらなる電力が必要となる。

センサー用の自律電源は、一般的には大きな電力は不要で、太陽光発電や振動発電、熱電発電(熱電変換)など、エネルギー・ハーベスティングの技術が必要となる。これらの電源は、設置場所の条件や気象変動などから発電量の変動要因が多くあり、安定的な電力を供給することができない等の問題がある。菅原准教授らの研究グループが開発した熱電変換デバイスは、固体半導体のゼーベック効果を利用した発電方法であるため、デバイスへ効率よく温度差を与えることができ、恒常的に発電する。発電量の変動要因も少なく、安定的な電力を供給することができ、デバイスの小型化・軽量化・高出力化も期待できる。

【基本原理】

今回開発された熱電変換デバイスは、ダイシングなど半導体加工技術を駆使して熱電半導体チップを超微細加工し、軽量でフレキシブルな基板へ高精度チップマウントにより、高密度に正確に実装することで、超小型・軽量化を実現した。また、上部電極を湾曲面と並行に配置するよう工夫し、1軸方向へ大きなフレキシブル性を持たせた。曲率半径1cm以下を実現し、かつ総重量が僅か約0.4gと軽量である。この小型・軽量フレキシブル熱電変換デバイスは、他のエネルギー・ハーベスティングデバイスと比較して、そんな色ない出力密度($630 \mu\text{W}/\text{cm}^2 @ dT=10^\circ\text{C}$)を達成した。非常にフレキシブル性に優れていることから、チップにかかる機械的ストレスが大幅に軽減され、機械的(物理的)信頼性が向上した。これらの熱電変換デ



- a 外観写真と側面からの拡大写真 (b:平面 c:折り曲げ時)。
- 各温度差(d: $dT=10\sim 50\text{K}$, e: $dT=50\sim 150\text{K}$)における熱電変換特性(電流-電圧、出力-電圧)。

図 2. 開発した小型フレキシブル熱電変換デバイス

【有望技術紹介 No.62】

バイス実装技術には、多くのノウハウがあるが、一般的な半導体技術におけるデバイス実装技術が基盤となっており、大量生産における製造コストの大幅な削減が期待できる。

【特徴】

- ① 上部電極を湾曲面と並行に配置するよう工夫し、1軸方向へ大きなフレキシブル性を持たせた。
- ② 曲率半径 1 cm以下を実現し、かつ総重量が僅か約 0.4g と軽量である。
- ③ 出力密度、 $630 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ @ $dT=10^\circ\text{C}$ を実現した。
- ④ 未使用率の高い 100°C 以下の廃熱を効率よく回収することができた。
- ⑤ 半導体デバイス実装技術が基盤で、大量生産における製造コストの大幅な削減が期待できる。
- ⑥ チップにかかる機械的ストレスが大幅に軽減され、機械的（物理的）信頼性が向上した。

【今後の課題・応用展開】

今回開発した熱電変換デバイスが活用されるためには、以下に掲げる課題がある。

- ① 電源として安定な電力をセンサー回路や通信機器に供給するためには、安定化電源回路の設計と電源回路に対応した熱電変換デバイスの設計が必要となること。
- ② 発電量が少量で不安定な熱電変換デバイスをセンサー用の電源とするために、センサー回路や通信回路などの周辺回路も省電力化する必要であること。
- ③ 熱電変換デバイスが発電するためには、常に温度差を確保する必要があり、デバイスを構成する材料やその配置を熱制御するための再設計が必要であること。

なお、これらの研究開発は、それぞれ①大阪大学工学研究科の廣瀬哲也教授らと、②神戸大学システム情報学研究科の和泉慎太郎准教授らと、③京都大学工学研究科の西脇眞二教授、古田幸三特定研究員らと、それぞれ共同研究を開始している。

今回開発した小型・軽量フレキシブル熱電変換デバイスは、柔らかいペルチェ素子として、利用することで、新産業を創出するエンターテインメントコンテンツや、情報呈示デバイスとしてメディアアートなどのエンターテインメント機器、視聴覚に障害をもつ人達への情報呈示機器に応用が期待されている。これらの柔らかい情報呈示・メディアデバイスの研究・開発には、大阪大学情報科学研究科の伊藤雄一招聘准教授らや、奈良女子大学生生活環境科学系の佐藤克成講師と共同研究を開始している。

専門家による目利きコメント

今回開発した熱電変換デバイスは自律分散型電源システム向け各種 IoT センサー用電源としての活用が期待される。また、エンターテインメントや、情報呈示デバイスとしてメディアアートなどの機器、視聴覚に障害を持つ人達への情報呈示機器にも応用が可能であり、多用途への展開が期待される。早期実現には材料、設計、加工技術など多領域の連携が求められる。

お問い合わせ

大阪大学産業科学研究所 クリエイティブユニット
大阪大学企画部広報課
TEL：06-6877-5111