



## 応用物理学会秋季学術講演会 注目講演プレスリリース

2022年 9月 14日

微細線セラミックサーミスタ  
Ultrafine-wire ceramic thermistors

# 細胞1個分の温度を高速測定可能な微細線セラミックサーミスタ、「光結晶化プロセス」で実現

産業技術総合研究所  
中島智彦、土屋哲男

### 【発表概要】

- ・ 15 $\mu\text{m}$ の極微細の樹脂ワイヤ上に膜厚1 $\mu\text{m}$ のスピネル型のマンガン酸化物サーミスタ膜を製膜した微細線セラミックサーミスタを実現。
- ・ 化学溶液法とレーザーなどの光エネルギーを用いた結晶化による独自の「光結晶化プロセス」を開発。
- ・ 同研究は、セラミックスの製膜における新たな可能性を開拓し、次世代の生体モニタリング用ウェアラブルデバイスや3Dエレクトロニクスデバイスへの応用が期待される。

産業技術総合研究所の中島智彦、土屋哲男による研究グループは、化学溶液法とレーザーなどの光エネルギーを用いた結晶化による独自のセラミックス製膜プロセスの開発を進めてきた。このプロセスにより、有機基材などの耐熱性が非常に低く、柔軟性がある基板上に、セラミックスの酸化物膜を製膜することを可能にした。その最新の成果として、15 $\mu\text{m}$ という極微細の樹脂ワイヤ上に膜厚1 $\mu\text{m}$ のスピネル型のマンガン酸化物サーミスタ膜の製膜に成功し、微細線セラミックサーミスタを実現した。同研究で用いられているプロセスは、セラミックスの製膜における新たな可能性を開拓するとともに、次世代の生体モニタリング用ウェアラブルデバイスや3Dエレクトロニクスデバイスへの応用が期待される。

【詳細】

## 低温プロセスで、セラミックスを次世代材料へ進化させる

セラミックス材料は有機材料や金属材料と比べ、温度や湿度などに対し非常に高い化学的安定性を持つ。その信頼性の高さから、スマートフォンをはじめとする、あらゆるデジタルデバイスに使われている。しかしセラミックス材料は、言ってみれば電子材料としての特徴を持ち合わせた陶器である。その高い安定性と引き換えに、高い形成温度が必要となり、樹脂などでできたフレキシブルな有機エレクトロニクスデバイスなどには適用できないという課題があった。

産業技術総合研究所の中島智彦、土屋哲男による研究グループは、これまでにセラミックス製膜の低温プロセスに特化した研究を進めてきた。それが化学溶液法にレーザーなどの光エネルギーを用いた結晶化を組み合わせた、独自の「光結晶化プロセス」だ。セラミックス材料を樹脂などでできた基板上に塗布し、光を照射して製膜する。「10~20ナノ秒のレーザーパルス光を照射し、局所的に昇温することでセラミックス膜を製膜する技術です。これまで高温でしかセラミックスは結晶化しないと思われてきましたが、本研究は光エネルギーによって、高温による焼成と同様の効果（結晶核の形成と成長）を与えることに成功しました」と同研究グループの中島は話す。

同プロセスでブレイクスルーとなったのは、10~1000パルスで結晶成長が可能となるナノ粒子インク材料の開発だ。樹脂などの基材は熱に弱い。レーザーなどを照射して製膜する際、高いエネルギーが長時間照射されれば、簡単に破壊されてしまう。基材へのダメージを軽減するには、光吸収係数が高い材料を用いる必要がある。研究グループは、粒子界面でセラミックスの結晶が成長することができる特殊なナノ粒子インクを開発。このインク中に分散させたナノ粒子の働きにより、短時間のレーザー照射でのセラミックスの結晶化が可能となり、基材へのダメージを軽減するとともに同プロセスの樹脂基材への適用を実現した。

同プロセスによるセラミックス膜は、高機能、高耐久、資源循環がしやすい機能性膜である。フレキシブル太陽電池向けの導電膜やフレキシブルOLEDとしての半導体膜、燃料電池用の電極など、幅広い応用が見いだせるという。

## いち細胞の温度計測が可能な温度センサを開発

同研究グループは、このセラミックス膜の低温製膜プロセスを3次元構造体へと適用し、微細線セラミックスサーミスタを開発（図1）。15 $\mu\text{m}$ の極微細の樹脂ワイヤ上に膜厚1 $\mu\text{m}$ のスピネル型のマンガン酸化物サーミスタ膜を製膜することに成功した。サーミスタは温度センサとして電子デバイスで幅広くつかわれているものである。微細線セラミックスサーミスタは、非常に微細なものの温度を正確に計測することができる。たとえば、私たち人間を構成している細胞ひとつの温度などを測定できるようになるという。

「非常に小さなセンサの利点は、測定対象物に影響を与えず、正確な測定ができるということです」と中島は話す。測定対象物が非常に微小であり、温度センサが相対的に大きいと、それが熱容量の差となり、センサから測定対象物側へ熱が流入することになる。これにより、温度を測定する際に測定対象物の温度変化を阻害してしまい、正確な測定ができなくなるのだ。また、センサが小さいほど応答が早くなるというのも利点であり、昇温、降温ともに100ms程度の高速な計測が可能だという（図2）。「微細線セラミックスサーミスタは、医療用の毛細血管用カテーテルの表面機能として、また細胞や生体局所部位のモニタリングなどに利用できるほか、3Dエレクトロニクスなど、幅広い応用が可能です」（中島）

またセラミックス膜の低温製膜プロセスによる3次元構造体の作成技術は、プリントドエレクトロニクスをはじめとした、新しいデバイス開発を実現すると中島は話す。「今後、ウェアラブルデバイスの開発などでは、3次元形状の表面に、デザイナーが直感的に必要な機能を付与し、プリント出力して使用するような開発が一般化していくでしょう。そうした次世代のデバイス開発においても、この低温プロセスであればセラミックス材料を幅広く活用することができます」（中島）

【図】

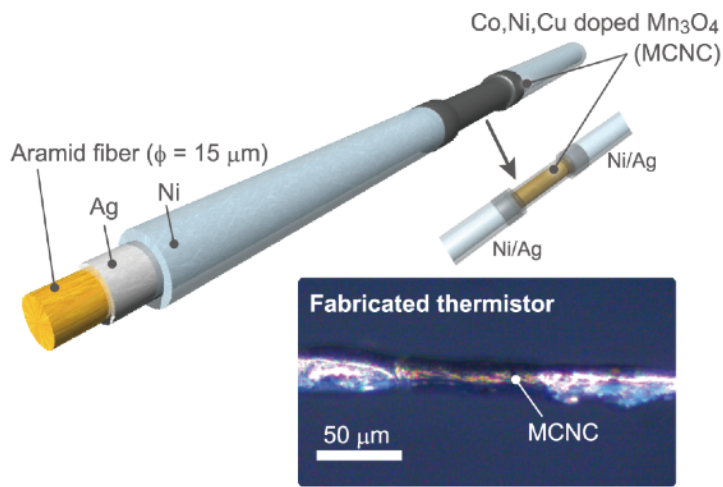


図1. 微細線セラミックスサーミスタの図（上）。15 μm径の樹脂細線上へ成膜した Co,Ni,Cu ドープ Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 薄膜（下）。

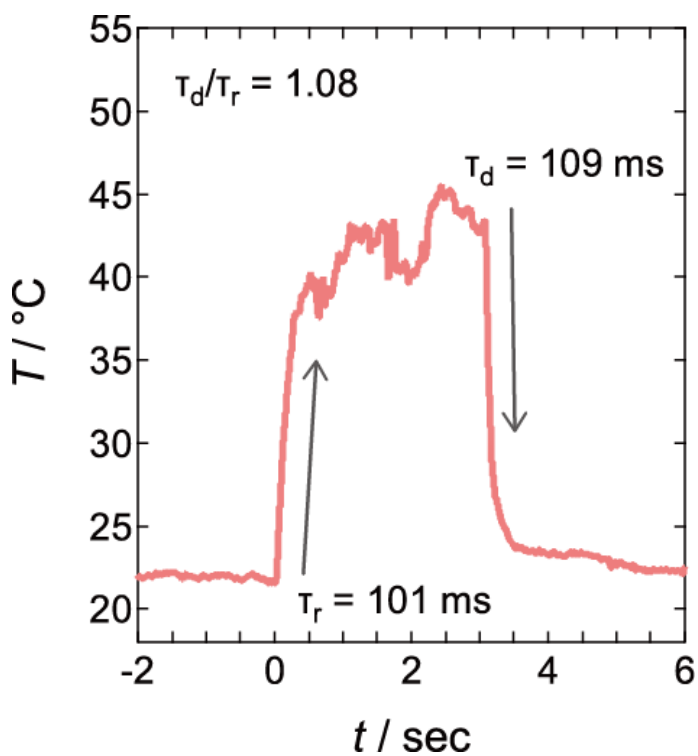


図2. 微細線セラミックスサーミスタの温度応答性。LEDの照射による昇温と降温が高速、かつ昇降温が同等の速度で変化することを示している。