

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K20961

研究課題名(和文) 生体医療デバイスのためのフレキシブル温度保護回路の開発

研究課題名(英文) Development of the flexible heat protection circuits for bio medical applications

研究代表者

横田 知之 (Yokota, Tomoyuki)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・講師

研究者番号：30723481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本プロジェクトでは、アクリル系コポリマーと導電粒子であるグラファイトを混ぜることにより、体温付近で急激に抵抗変化を示す温度センサの開発を行った。開発した温度センサは体温付近の4.5でおよそ6桁程度の非常に大きな抵抗変化を示した。作製した温度センサを有機トランジスタと集積化することで、温度保護回路としての特性を評価した。温度が上がるにつれて、有機トランジスタのON電流は6桁程度変化することが確認でき、温度保護回路として高い特性を有していることを確認できた。

研究成果の概要(英文)：In this project, we developed the flexible temperature sensor by mixing the acrylate co polymer and graphite as a conductive filler. A temperature sensor shows 6 orders of magnitude change in resistivity near the temperature of a human skin. And also, we evaluated the heat protection characteristics by integration the organic thin film transistors (OTFTs) and temperature sensor. The ON current of the OTFTs is decreased as temperature is higher. We confirmed the high performance of temperature sensor as heat protection circuits.

研究分野：フレキシブルエレクトロニクス

キーワード：フレキシブルエレクトロニクス 温度センサ

1. 研究開始当初の背景

フレキシブルエレクトロニクスは、低温かつ印刷法で作製可能であり、従来のエレクトロニクスでは実現困難な次世代のエレクトロニクスとして期待されている。特に、近年ではエレクトロニクスの柔らかさを生かして、生体・医療用デバイスへの応用が期待されている。これらの生体・医療用デバイスを実現するうえで欠かせない素子の1つとして、フレキシブル温度センサがあげられる。フレキシブル温度センサを生体・医療用デバイス応用していくためには、「体温付近での感度」と「フレキシブル性」が非常に重要であり、これらを兼ね備えた素子を開発することが必要不可欠である。

フレキシブル温度センサの性能は、測温抵抗体や熱電対においては高感度・高フレキシブル性を実現しデバイス応用段階を迎えつつある。イリノイ大学では薄膜金属をフレキシブル基板上に作製し、0.1 以下の非常に高感度のフレキシブル温度センサを実現している。しかし、この温度センサは1 あたりに抵抗の値が約 0.1%しか変化しない。また、熱電対をフレキシブル基板上に作製した研究報告もあるが、1 あたりの熱起電力が約 40 μV と非常に小さいという問題がある。そのため、これらの温度センサを熱保護回路として用いるには、非常に複雑な回路、もしくは高精度な測定機が必要となってしまう。一方で、サーミスタや有機 pn 接合を用いることで抵抗値が大きく変化させるフレキシブル温度センサの報告もなされているが、体温付近での感度は1 以下とあまりよくないといった問題がある。

2. 研究の目的

体温付近で抵抗値が急激に変化するフレキシブルな温度センサを作製し、フレキシブルエレクトロニクスと集積化することで、生体医療用デバイスのための熱保護回路とし

て用いることへの可能性を実証することを目的とする。

より具体的には、35 から 45 付近に融点を持つポリマー材料に導電フィラーを混合することで、フレキシブルな温度センサの作製を行う。融点付近での急激な抵抗率変化を実現することで、論理回路と組み合わせることで、熱保護回路として動作することを確認し、実際にフレキシブルエレクトロニクスに集積化することで、生体医療デバイスの応用への可能性を示す。

3. 研究の方法

体温付近で抵抗値が急激に変化するフレキシブルな温度センサを作製し、温度制御性、素子特性の向上を行う。その後、作製した温度センサをフレキシブルエレクトロニクスと集積化することで、熱保護回路として動作が可能であることを実証することを目指す。生体医療用デバイスのための熱保護回路として用いることへの可能性を実証することを目的とする。ポリマーを合成するために用いるモノマー材料、導電フィラーの選定、デバイス構造・作製手法を最適化することで、デバイス作製の最適な手法を決定する。さらに、デバイスの基礎物性を測定することで、材料選定の指針を確立する。研究の各段階ごとに得られた結果を前段階の部分へとフィードバックを行うことで、さらなる特性向上のための材料選択や作製手法の確立を加速させていく。

4. 研究成果

2 種類のアシル鎖長の異なるアクリル系のモノマー材料を光重合することで、体温付近に融点を有するポリマー材料を合成した。このポリマー材料に導電性フィラーとしてグラファイトを 25wt%混合することで、体温付近で抵抗変化を示す温度センサの開発に成功した(図 1)。この材料はペースト状になっており、印刷手法などを用いてフレキシブ

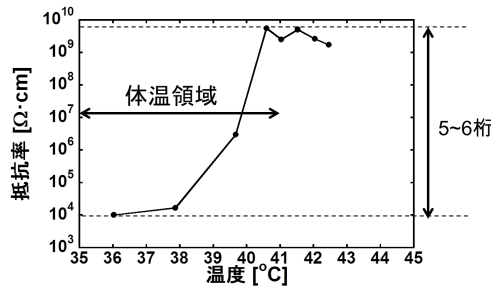


図 1：作製した温度センサの特性

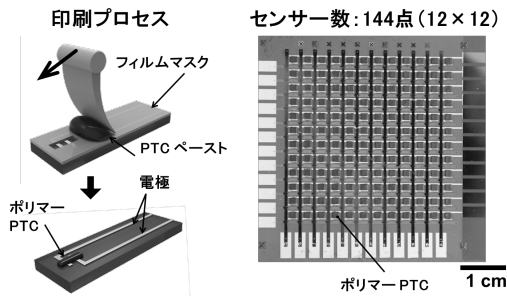


図 2：印刷プロセスを用いて作製した温度センサマトリックス

ル基板に直接印刷することが可能である。温度センサは、メタルマスクやフィルムマスクを用いてパターンニングすることが可能であり、厚さは最も薄くて 12 μm まで薄膜化することが可能である。さらに、有機トランジスタのアクティブマトリックスと集積化を行うことで、大面積の多点温度センサとして用いることも可能である。このように非常に温度センサ部分を薄膜化できているため、曲げても壊れない高いフレキシブル性を実現することに成功した (図 2)。

作製した温度センサは 36 付近では約 10^4 $\Omega\cdot\text{cm}$ と低い抵抗率を示している。一方で、温度を上げるにつれて抵抗率が徐々に増大する。40 付近では 10^{10} $\Omega\cdot\text{cm}$ まで上昇しており、体温付近の 4 でおおよそ 6 桁程度の非常に大きな抵抗変化を示した。また、今回作製した温度センサは、非常に高い繰り返し再現性を示しており、約 2000 回の温度変化履歴を加えても 5, 6 桁程度の大きな抵抗変化を示した。今回作製した温度センサは、基板と

合わせて 50 μm 以下まで薄膜化することができており、高いフレキシブル性も有しており、1 mm 以下の曲率半径まで曲げても壊れず、きちんと動作することが確認できた。

さらに作製した温度センサを用いてラットの肺の温度変化の測定に成功した (図 3)。ラットの肺の温度は、空気を吸い込むことにより 0.1 程度低減し、空気を吐き出すことにより元の温度に戻ることを確認することができた。作製した温度センサを 4x4 のマトリックス用に配置することにより、ラットの肺の温度のマッピングにも成功した。

以上のように、本プロジェクトは従来の温度センサでは検出が難しい生体組織の動的な温度変化の測定に成功した。さらに、作製した温度センサは非常に高いフレキシブル性を有しており、1 mm 以下の曲率半径に曲げても動作することを確認できた。

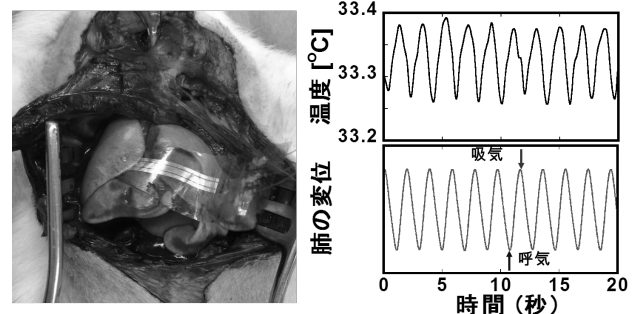


図 3：温度センサによるラットの肺の温度変化検出

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Tomoyuki Yokota, Yusuke Inoue, Yuki Terakawa, Jonathan Reeder, Martin Kaltenbrunner, Taylor Ware, Kejia yang, Kunihiro Mabuchi, Tomohiro Murakawa, Masaki Sekino, Walter Voit, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, "Ultraflexible, Large-area, Physiological Temperature Sensors for Multi-point Measurements", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 14533-14538 (2015). 査読あり

〔学会発表〕(計 3 件)

(1) Tomoyuki Yokota, "Printable

ultra-flexible temperature sensor for thermal mapping of bio-tissue” 2016 MRS spring meeting, 2016 March 30, Phenix (USA)

(2) 横田 知之, “Printable and ultra-flexible temperature sensor based on polymer” ICEP 2016, 2016 April 21, 札幌市教育文化会館 (札幌市)

(3) 横田知之, ” ポリマーを用いた高感度温度センサの生体・医療デバイス応用”, 2015 年春季応用物理学会, 東海大学 (平塚市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

横田 知之 (Tomoyuki Yokota)

東京大学 工学系研究科 講師

研究者番号 : 30723481