

補助事業番号 2022M-269
補助事業名 2022年度 ポリマーMEMSによるフレキシブルデバイスシートに関する
補助事業
補助事業者名 岩瀬 英治

1 研究の概要

曲面ディスプレイやヘッドマウントディスプレイなど平面基板がなじまない電子機器は多くある。また将来的には、自転車・バイクのタイヤやヒトの皮膚に貼付する電子デバイスなど変形を必要とする電子機器も考えられる。ポリマー基板を用いたMEMSデバイスはこれらの応用に利用可能であり、本研究によりポリマーMEMSのポテンシャルを深く掘り下げること、ポリマーMEMSという新たな市場を開拓することを目的とする。本研究により、ポリマー基板上で半導体・MEMS加工を行い、MEMSデバイスを構成する。そのため、ひずみゲージやMEMS熱線流速計を具体的なターゲットデバイスとして、これらを半導体・MEMS加工で、ポリマー基板上に製作することを目標とした。具体的には、ポリイミド基板上にスパッタリングで、配線や抵抗素子を構成するための薄膜を成膜しパターニングするとともに、UVレーザ加工機で基板上のパターンに位置合わせをした切れ込みを施すことで、折り紙型切り紙型のポリマーMEMSデバイスを製作する。一方で、折り紙構造を「どのように折るか」という課題がある。これまでの研究では、カッティングプロッタなどで折れ目を入れて、折り上げは手で行っている場合が多く、これが大変であるだけでなく、形状・特性の揃ったデバイスを製作する妨げとなっている。そのため、外力により自動で折り上げるself-folding(自己折り畳み)技術の開発を行う。最終的には、産業応用を見据えた、デバイス応用やデバイスを用いた実証研究を行う。実証研究としては例えば、曲面熱配管に伸縮熱発電シートを貼付しての発電、曲面に貼付可能な応力・せん断応力検出シートや繰り返し伸縮変形可能な応力・せん断応力検出シートをターゲットデバイスとして考えている。これらを用いて、投球時のボールやタイヤにかかる圧力やせん断応力分布の計測などデバイスの実証を行う。

2 研究の目的と背景

従来、MEMSデバイスはSi基板上で、半導体MEMS加工を用いて製作されることがスタンダードであり、スマートフォンなどのモバイル機器用や自動車などの車載用のデバイスとして100億USドル超と大きくかつ年7%程度の成長を続けている。一方で近年、Si基板上ではなく、ポリマー基板上に、半導体・MEMS加工を行う“ポリマーMEMS”が提案されているが、本研究で提案している切り紙構造や切れ込みの入った折り紙構造などへの応用はほとんど研究がなされていない。現在、曲面ディスプレイやヘッドマウントディスプレイなど平面基板がなじまない電子機器は多くある。また将来的には、自転車・バイクのタイヤやヒトの皮

膚に貼付する電子デバイスなど変形を必要とする電子機器も考えられる。ポリマー基板を用いたMEMSデバイスはこれらの応用に利用可能であり、本研究によりポリマーMEMSのポテンシャルを深く掘り下げることで、ポリマーMEMSという新たな市場を開拓する。

3 研究内容

(1) 成膜&カッティングによるポリマーMEMSデバイスの製造技術の確立

銅が成膜されたポリマー基板に折り線を有するカッティングを施し、全体を伸長変形させることによって折り上げる構造を考案した。これは、折り紙と切り紙を融合した構造とも言える。本研究項目では、ポリマーMEMS構造にLEDベアチップを実装し、折り上げ後にも問題なくLEDが発光していることからポリマーMEMSデバイスの製造方法を確立したと言える。

(2) 折り紙型デバイスのためのself-folding技術の確立

折り紙型デバイスのためのself-foldingにおける大きな課題は、self-foldingを行うために温度を上げた際に駆動層（熱収縮層）がポリマー基板から剥離してしまい、高い折り上げ角が実現できないことにある。そのため、熱収縮層をポリマー基板に化学的に接着するのではなく機械的に固定することを考案した。これにより、110℃の温度でも以上でも剥離が生じず、120°以上の高い折り上げ角を実現した。

(3) フレキシブルデバイスをターゲットとした応用研究

産業応用を見据えたデバイス応用、およびデバイスを用いた実証を目標として、ポリマー基板を用いたフレキシブルな熱電発電デバイスを製作した。作製したアレイ状の切り紙基板を面外変形させ、変形後の高さを評価したところ、一括で均一変形することを確認した。また、熱電素子（p型：Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te₃，n型：Bi₂Te₃+Ru、4×3×1 mm）を実装した切り紙型熱電発電デバイスを作製し、1ユニットでの発電量を計測した。室温22℃、および熱源温度100℃の場合において、開放端電圧および発電量は、それぞれ12.6 mV、1162 μWとなり発電機能を確認した。さらに、切り紙型熱電発電デバイスを立ち上げながら抵抗変化、および出力が最大となる立ち上がり高さを評価し、変形させることによる銅層の破断や素子実装部の剥離などが生じないことを示した。また、高さ方向に立体化する変形が、出力向上に対して大きく貢献することも示された。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

研究課題の達成によりポリマーMEMSという市場が開拓されと考えている。軽く薄く曲がることから、MEMSデバイスがこれまで設置されていなかったような靴や家具に埋め込んだり、配管や皮膚などの表面に貼ったり、非常に狭い隙間に配置することが可能である。また、印刷技術を利用したり、ロールtoロール方式の成膜により、大面積での製造が容易であるこ

とから、量産化・低コスト化に向いている。さらに、ポリマー基板であることから、切断が容易であり、矩形以外の基板形状が可能である。そのため、利用可能な応用先は非常に広い。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

2018年あたりより、フィルム基板を加工した折り紙や切り紙構造をした電子デバイスの研究を進めている中で、今回の研究は機能を持つデバイスシートにまで踏み込んだ成果が得られた。