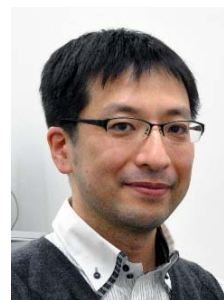


自己修復型伸縮配線を用いたフレキシブルデバイスシート



研究代表者

岩瀬英治 早稲田大学理工学術院基幹理工学部 准教授

1. 研究の背景と達成目標

本研究では、固体(金属)と金属ナノ粒子を含む液体のハイブリット構造を利用することにより、高伸縮耐性・高伝導率・自己修復機能を併せ持つ電気配線の実現を目的とする。また、この伸縮配線を用いた伸縮可能なデバイスへの応用を行う。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- 伸縮基板上の金属配線において、配線と基板の伸び剛性の比を設計することで、伸縮時に配線に生じるクラックの形状を制御することに成功した。この成果により、配線と基板の伸び剛性の比というマクロな量によって、クラックの形状(単一クラック成長形態、もしくは複数クラック発生形態)が決定されることを明らかにした。
- 金属ナノ粒子の誘電泳動を用いたクラックの自己修復において、大きなクラックを修復するための電圧・電流条件を明らかにすることで、幅が $10\ \mu\text{m}$ 以上のクラックの修復に成功した。これにより、これまでは不可能であったフレキシブルデバイス内の配線に生じるクラックの自己修復が可能となった。また、マイクロ工学分野において、従来金属ナノ粒子の誘電泳動は、マイクロワイヤの製作やナノ粒子の特性計測に用いられてきたが、本研究項目の成果を用いることで、より長いマイクロワイヤを製作したり、ナノ粒子を破壊せずともナノ粒子の特性を計測したりすることも可能になる。
- 伸縮基板上に自己修復型伸縮配線と表面実装型 LED を統合し、伸縮可能なフレキシブルデバイスシートを実現した。また、配線に生じたクラックが 50 回以上繰り返して修復可能であることを示した。この成果により、使用時に伸縮可能なデバイスだけでなく、例えば自由曲面に貼り付けることが可能なデバイスを実現することができる。

3. 研究成果

①伸縮配線の機能化

伸縮基板上の金属配線において、配線と基板の伸び剛性の比を設計することで、細かい形状のクラックが複数生じる形態(複数クラック発生形態、Fig. 1(a))と、ひとつの大きな形状のクラックが生じる形態(単一クラック成長形態、Fig. 1(b))に、クラックの形状を制御できることを明らかにした。これまでの研究において、硬いガラス基板上の金配線に加工した 1 つのクラックの自己修復に成功していたため、クラックの形状を単一クラック発生形態にすることができれば、これまでの成果を用いて、伸縮基板上の配線に生じたクラックを自己修復することができる。具体的には、配線の伸び剛性が基板の伸び剛性よりも 100 倍以上大きいシリコンゴム基板上の金配線を実際に製作することで、単一クラック発生形態に制御できることを示した。

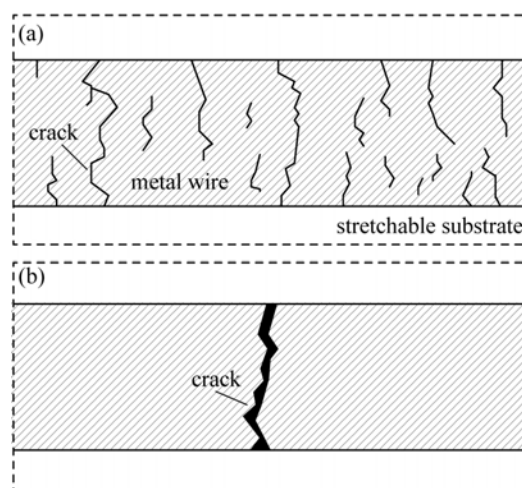


Fig. 1 クラック形状の概要図

(a) 複数クラック発生形態

(b) 単一クラック成長形態

②伸縮配線の実用化検討およびデバイス化

金属ナノ粒子の誘電泳動を用いたクラックの自己修復において、これまでの研究では幅が $4\ \mu\text{m}$ までクラックの自己修復に成功していた。しかしながら、実際にフレキシブルデバイス内の配線に生じるクラックは、幅が数十 μm 以上のクラックが想定されたため、これまでよりも大きなクラックを修復するための条件を明らかにすることとした。本項目では、修復時の印加電圧と修復直後の電流に着目し、直径 $400\ \text{nm}$ の金ナノ粒子分散水溶液を用いた場合、修復時の印加電圧を約 $30\ \text{V}_{\text{rms}}$ 、修復直後の電流を約 $5\ \text{mA}_{\text{rms}}$ にすることで、幅が $30\ \mu\text{m}$ までのクラックの修復を確認した。また、修復直後の電流を約 $15\ \text{mA}_{\text{rms}}$ 以上にした場合、クラックを架橋した粒子が破壊されることを明らかにした。

③伸縮配線およびフレキシブルデバイスの評価

研究項目②で得られた成果をもとに、自己修復型伸縮配線と表面実装型 LED で構成されたフレキシブルデバイスを製作し、デバイス内の配線に生じたクラックの修復の評価を行った (Fig. 2)。その結果、断線から約 3 秒で修復が生じることとともに、50 回以上の繰り返し修復が生じることを確認した。

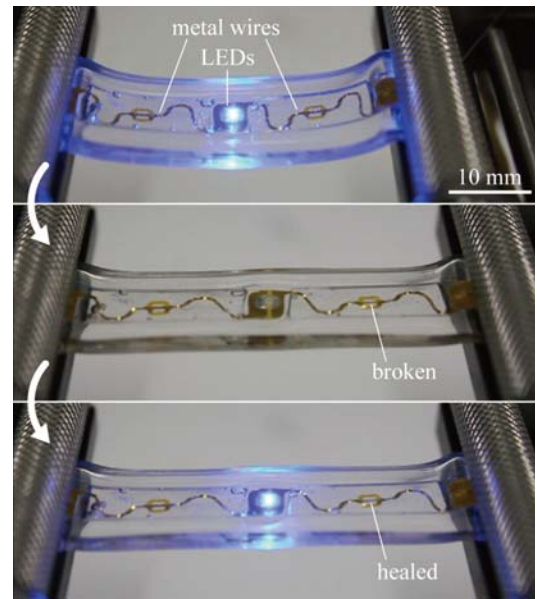


Fig. 2 伸縮可能なデバイスシート

4. 今後の展開

本研究で得られた伸縮可能な性質を用い、自由曲面に貼り付けることができるデバイスの実現を目指す。具体的な例としては、曲面にも貼れるフレキシブル太陽電池シート、絆創膏のようにヒトに貼り付け生体情報を取得する健康モニタリングシート、ロボットハンドの指先に貼り付ける触覚センサシートなどを考えており、産業上での波及効果が期待される。

5. 発表実績

【学術論文】

- [1] Tomoya Koshi, *et al.*, *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 54, no. 6S1, 06FP03 (6 pages), 2015.
- [2] 古志知也, *et al.*, *日本機械学会論文集*, vol. 82, no. 834, 15-00470, 2016.

【主な国内および国際学会】

- [1] 古志知也, *et al.*, *日本機械学会 第7回マイクロ・ナノ工学シンポジウム*, 29pm1-F-3, 2015.
- [2] 中島雄太, *et al.*, *日本機械学会 第7回マイクロ・ナノ工学シンポジウム*, 29pm1-E-1, 新潟, 新潟, 2015.
- [3] 古志知也, *et al.*, *化学とマイクロ・ナノシステム学会 第32回研究会*, 1P11, 2015.
- [4] Yuta Nakajima, *et al.*, *Proceedings of the International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016 (MNST2016)*, SaP-2, 2016.
- [5] Tomoya Koshi, *et al.*, *Proceedings of the International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016 (MNST2016)*, SuP2-B-3, 2016.
- [6] Tomoya Koshi, *et al.*, *Proceedings of the 30th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2017)*, pp. 262-265, 2017.

【主な招待講演】

- [1] Eiji Iwase, *Proceedings of the 6th International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structured Metallic and Inorganic Materials (AMDI-6)*, I-1, 2015.
- [2] Eiji Iwase, *2016 Japan-America Frontiers of Engineering (JAFOE) Symposium*, 2016.