

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02216

研究課題名（和文）弾性体/塑性材料構造の湾曲を用いた平面電子デバイスを糸状に変形させる基盤技術

研究課題名（英文）Fiber devices transformed from flat devices by using curling of plastic thin film/elastomer bilayer system

研究代表者

武居 淳 (TAKEI, ATSUSHI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・チーム長

研究者番号：70726794

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究を通じて弾性体と薄膜からなる二層構造を糸状構造へと変形させるために必要な材料特性および幾何形状を解明した。また真空プロセスや印刷技術を用いて製造された電子デバイスを糸状化させる基盤技術を構築した。本研究の成果として査読付き学会プロシーディングス1件、学会発表5件（うち招待講演1件）、産業財産権の出願1件を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間との調和性という観点から人間に違和感なく取り付けられる形状として長い歴史をもつ「衣服」に着目し、衣服の最小構成要素である糸の形状を持つ電子デバイスの実現を目指す「ファイバーエレクトロニクス」という分野が近年着目されてきている。ただし、糸のような曲面形状を持つデバイスを作成するには、従来のスピンコーティング、真空プロセス、リソグラフィ、印刷といった平面を対象とした積層・パターニングを使うことはできない。そのため、現状で糸状デバイスとして使うことのできる材料、積層・パターニング技術が限られており多機能化・高機能化が技術的な課題となっている。本研究の成果はその課題を解決するものである。

研究成果の概要（英文）：Through this research, we have elucidated the material properties and geometry required to transform a bilayer system composed of elastomer and a thin film into a fiber structure. We have also developed a manner of transforming electronic devices fabricated by vacuum processes and printing technique into fiber shape. As a result of this research, we published one conference proceedings, made five conference presentations (including one invited lecture), and submitted one industrial property rights.

研究分野：デバイス工学

キーワード：ストレッチャブル フレキシブル 薄膜 弾性体

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

少子高齢化に伴う労働人口の減少に伴う健康寿命の延伸の必要性の増大、低エネルギー社会の実現に向けた自己発電の要求などとともに、人間に取り付けることのできる高機能・多機能な電子デバイスの重要性が増してきている。既存の硬い平面基板に機能性材料を積層・パターンニングすることで得られる電子デバイスは人間のような複雑な三次元形状には取り付けることができない。この課題を解決するため電子デバイスの材料や構造を変えることでストレッチャビリティを持たせ複雑な三次元形状を持つ電子デバイスがすでに実現している。

しかし、人間に長時間取り付けることを考慮した場合、三次元形状に取り付けられる機能に加え、違和感や不快感なく取り付けられることが重要となってくる。装着時のデバイスと人体の間のムレを抑えるための通気性や、硬さ・重さに起因する着心地を考慮できるデバイス形状が求められている。近年、人間との調和性という観点から人間に違和感なく取り付けられる形状として長い歴史をもつ「衣服」に着目し、衣服の最小構成要素である糸の形状を持つ電子デバイスの実現を目指す「ファイバーエレクトロニクス」という分野が近年着目されてきている。細長い糸の可変系性、複数の糸でバンドル状にすることや編むことでマクロスケールでの硬さを調節できること、そして糸の間の空隙が通気性を確保することなど多くの利点を持つため次世代型電子デバイスの形状として着目されている。ただし、糸のような曲面形状を持つデバイスを作成するには、従来のスピニング、真空プロセス、リソグラフィ、印刷といった平面を対象とした積層・パターンニングを使うことはできない。そのため、現状で糸状デバイスとして使うことのできる材料、積層・パターンニング技術が限られており多機能化・高機能化が技術的な課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、リソグラフィや印刷技術のような平面形状に特化した製造プロセスにより作られた平面形状電子デバイスの材料間の応力・長さの差を制御することで、平面から糸状へと変形させる基盤技術を創出することである。具体的には平面状の弾性体基板上に導電性材料、絶縁膜、半導体などの機能性材料を積層・パターンニングすると同時に、その弾性体/機能性材料間に応力・長さの差を持たせることで構造の湾曲を促し、平面形状から自発的に円筒・糸状に変形させる手法を確立する。構造を糸状に湾曲させるための材料間の応力・長さの差を、弾性変形・塑性変形を利用することで既存の製造プロセスとの親和性を阻害することなく与える手法を確立する。これにより、センサ、バッテリー、アクチュエータ、太陽電池、発光素子など多岐にわたる機能性を時間的、金銭的に多大なコストをかけて個々に糸状化している現在の開発手法を根本的に革新し、次世代の衣服型電子デバイスの基盤技術の創出を目指す。

### 3. 研究の方法

材料の機械的特性と幾何形状と糸の径の関係を実験的および計算機を使い調べた。糸状構造を形成する弾性体の厚さをスピニングの回転数を変えることで制御するとともに、薄膜の厚さを化学気相成長法の蒸着時間を制御することで変え幅広いパラメータと構造の関係を調べた。また、薄膜を真空プロセスや印刷技術を用いることで薄膜状に電子デバイスを形成することで糸状電子デバイスを形成した。

### 4. 研究成果

本研究を通じて弾性体と薄膜からなる二層構造を糸状構造へと変形させるために必要な材料特性および幾何形状を解明した。また電子デバイスを糸状化させる基盤技術を構築した。本研究の成果として査読付き学会プロシーディングス 1 件、学会発表 5 件(うち招待講演 1 件)、産業財産権の出願 1 件を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 武居淳、栗原一徳、日下靖之、木村香理、吉田学
2. 発表標題 薄膜/弾性体を用いたストレッチャブルデバイスのための スクロール構造形成技術
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Takei, Kazunori Kuribara, Yasuyuki Kusaka, Manabu Yoshida
2. 発表標題 Stretchable electronics using thin-film/elastomer bilayer systems
3. 学会等名 13th International Conference on Organic Nonlinear Optics 2022 International Conference on Organic Photonics and Electronics (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Takei, Kazunori Kuribara, Yasuyuki Kusaka, Manabu Yoshida
2. 発表標題 Rolled Devices Formed by Using Thin Plastic Film/Elastomer Bilayer System for Wearable Electronics
3. 学会等名 2024 IEEE 37th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 武居 淳、栗原 一徳、日下 靖之、吉田 学
2. 発表標題 薄膜/弾性体の湾曲を利用したスクロール型電子デバイス
3. 学会等名 第84回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsushi Takei, Kazunori Kuribara, Yasuyuki Kusaka, Byungho Lee, Lihua Jin, Manabu Yoshida
2. 発表標題 Fiber structure using thin-film/elastomer bilayer systems
3. 学会等名 APS March Meeting 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ワイヤ状の回路基板、デバイス及びその製造方法	発明者 武居淳	権利者 国立研究開発法人産業技術総合研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2022-133692	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	野村 健一 (Nomura Ken-ichi) (00580078)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究チーム長  (82626)	
研究分担者	日下 靖之 (Kusaka Yasuyuki) (00738057)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員  (82626)	
研究分担者	延島 大樹 (Nobeshima Taiki) (20750110)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究員  (82626)	
研究分担者	グエン タン・ヴィン (Nguyen Thanh-Vinh) (20773427)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究員  (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	栗原 一徳  (Kuribara Kazunori)  (30757414)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究員    (82626)	
研究分担者	竹下 俊弘  (Takeshita Toshihiro)  (90784124)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員    (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関