

令和元年6月14日現在

機関番号：82626
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2016～2018
課題番号：16K18088
研究課題名(和文) 切り紙構造を利用したフレキシブルディスプレイ

研究課題名(英文) Flexible display using kirigami structure

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・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員

研究者番号：70726794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では切り紙構造を用いたフレキシブルな発光デバイス/ディスプレイを開発する。シート材料にあらかじめ切り込みを入れ、引伸ばすと切り込みが広がることで構造が伸びに耐えることができる。この切り紙構造と呼ばれる構造にあらかじめ電極をパターニングし、さらに発光流体を配置することでフレキシブルな発光デバイスを実現した。本研究は特許、国内学会、国際学会、プロシーディングスを通じて成果発表を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モノのインターネット(IoT)構想のように人を含む様々な三次元形状を持つ物体にデバイスを装着させたいという要望が高まっている。しかし既存のデバイスは固い基板上に配線、デバイス部を積層させて製作されるものが多く、三次元的な形状には取り付けることができない。本研究ではストレッチャビリティをもつ切り紙構造に着目し、デバイスを三次元形状に取り付ける基盤技術を開発した。本研究では特に三次元形状に取り付けられる発光デバイスを実現した。このデバイスを使えばモノ自体が情報を発信することが可能になる。

研究成果の概要(英文)：This project studies a flexible light emitting device and display. A sheet with cut patterns can resist to stretch by spreading its cut patterns. By patterning electrodes and placing light emitting liquid on such a sheet structure, so-called kirigami structure, we have achieved a flexible light emitting device. The results of this project were presented through a patent, a domestic conference, an international conference, and a proceedings paper.

研究分野：フレキシブルエレクトロニクス

キーワード：切り紙 発光デバイス フレキシブルエレクトロニクス

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

IT技術の発展とともにあらゆるモノの状態をセンシングし、そのデータをインターネット経由で収集するという“Internet of Things: IoT”の構想が現実味を帯びている。モノの位置情報から温度や湿度といった環境情報までもが構想の対象となっている。その構想を支えているのがセンサー、情報送受信デバイス、バッテリーおよび環境発電素子の小型化である。その一方で得られた情報をヒトに伝える手段としては Internet を介してのタブレットや携帯電話を想定している。仮にモノ自体がディスプレイなどの情報提示デバイスを持ち直接情報を発信できるようにになれば IoT の可能性が広がる。

一方、近年、電子材料にストレッチャビリティを持たせる方法として切り紙と呼ばれる手法が注目を集めている。切り紙とは日本の伝統工芸のひとつでシート材料に切れ込みを入れ、ひずみを加えることによりシート材料が面外変形をおこし様々な形状を得られる手法である。シート材料にストレッチャビリティを与えられること、また二次元的な構造から三次元形状を得られるという特徴がある。切り紙のストレッチャビリティを利用し、ストレッチャブルなひずみゲージ、バッテリー、太陽電池が提案されている。また、平坦な構造から三次元形状を得られるという特徴は、平面構造を加工するリソグラフィを基盤とする微細加工と親和性が高い。ミクロンスケールの三次元形状を切り紙構造を用いて製作し偏光を制御することにも成功している。様々なデバイスに利用されている切り紙だが引伸ばした際に切れ込みが広がるためデバイスの大半を空隙が占めることになる。ディスプレイのような情報提示デバイスへの使用を考えた場合、このデバイスの大半が空隙となる特徴は欠点となるため切り紙のストレッチャブルディスプレイ・情報提示デバイスへの応用はなされていなかった。

2. 研究の目的

三次元的な曲面に取り付けることができるストレッチャブルかつフレキシブルな情報提示デバイス・ディスプレイを実現する。シートに特定のパターンの切れ込みを入れると変形を加えた際に、切れ込みが広がることで破断を避けることができる。本研究では切れ込みを持つシートの変形過程と、そのシートに画像素子および配線を作りこんだディスプレイの製造技術に関して研究を行う。液体と切り紙構造を合わせた情報提示デバイスはこれまでに提唱されていない。フレキシブル・ストレッチャブルなディスプレイ、情報提示デバイスの新たな製作手法を示すと同時に、液体デバイスのストレッチャブル化の基盤技術を創製する。

3. 研究の方法

シート材料に切れ込みを入れ変形を加えると、シート材料が面外変形を起こし三次元的な形状を作る。あらかじめ配線をパターンニングしたシート材料を変形させ、得られた三次元形状に電氣的な信号で発色・発光する液体を配置することで情報提示デバイスができる。本研究ではカッティングプロッターやレーザーカッターを使い様々な切れ込み、厚さを持つシートを作り、変形を与えたときに得られる三次元形状との関係を調べる。特に、液体を配置した際にシート材料上に液滴として保持しやすい構造を実験的に求める。液体を保持する構造は実験的に調べるが、補完的に現象を支配するエネルギーに着目することで液体の表面張力により切り紙構造が変形しない領域を理論的に考察する。またリソグラフィやシャドウマスクを用いシート材料に電極をパターンニングすることで切り紙構造を持つシート材料の電子デバイス化を行う。そして、配置された液体の固定化方法、そして電氣的な信号に対して発色、発光をする流体の開発を行う。液体の発色、発光はイオン液体を用いた発色や、Enhanced Chemi Luminescence 反応など様々な手法が提唱されている。これらの発色・発光液体をはじめとし、切り紙構造との親和性が高い発色・発光方法を実験的に調べる。

4. 研究成果

シート材料にレーザーカッターで切れ込みを入れることで得られる三次元形状を mm スケールで調べた。一般的にレーザーカッターは材料を切断する用途で使われるが、レーザーの出力およびレーザースポットの移動速度を制御することによりシート材料を厚さ半分程度残し溝を切ること成功した。シート材料の一部に溝を作ることで面外変形する方向を制御できることを発見し、液体を保持しやすい三次元形状の製作方法を確立できた。得られた三次元形状はイオン液体、シリコンオイル、Polydimethylsiloxane (PDMS) などの液滴を保持することができ、液体表面の有機膜の成膜や硬化剤の添加を行うことで液滴の三次元構造上への固定にも成功した。表面自由エネルギーとシート材料の弾性エネルギーを比較することにより、液体の表面張力によりシート材料が変形しないシート材料の厚さを推定する手法を確立した。当初、イオン液体に pH インジケータを混ぜた液体が電圧により色を変えることを利用し、その液体を切り紙構造の切れ込みに配置した。しかし、電圧の印加時に色の変化が起こる部位は電極表面に限定され、電極がない切り紙構造の空隙部分の色は変化しなかった。その一方で、電界の印加に対し発光する無機 EL 粒子を PDMS にまぜ、電極をパターンニングした三次元構造に配置した場合は電界が生じる電極間、つまり切り紙構造の空隙においても発光が起こることを確認し空隙によるデバイス部の面積比率の低下という切り紙構造を利用したデバイスの欠点を克服する情報提示デバイスが実現できた。製作した情報提示デバイスは横 8 列、縦 17 列のピクセルを持つ。横方向に走る電極に 30kHz, 1200V の高周波高電圧の印加/非印加を行うことで横列の発光箇所を制御す

ることに成功した。切り紙構造およびPDMSともにストレッチャビリティを持つため三次元的な形状に追従し貼り付けることができる。得られた情報提示デバイスは直径20mmの円筒表面および直径75mmの半球に取り付けられることができた。この研究内容は国内学会、国際学会、特許出願を通じて成果の発信を行った。本手法の新規性が評価され国際学会IEEE MEMS2019では採択率11%の口頭発表に採択された。また国内学会応用物理学会春季学術講演会では全ポスター講演の2%以内に贈られる優秀ポスター賞を受賞した。本研究で製作したデバイスは情報提示デバイスであるが、液体デバイスのストレッチャブル化手法としての可能性も示した。近年、イオン液体を用いた温度センサやガスセンサが提唱されている。一般的に液体のデバイス化は基板上に親疎水のパターンニングをし機能性を持つ液体を所望の箇所に配置することで行われる。しかし、その場合、ストレッチャブル化するには基板をもストレッチャブル化しなくてはならずプロセスの制約が大きい。また、この方法で配置できる液滴の幅、高さの比は小さくなってしまふ。本研究で得られた切り紙を用いたストレッチャブル情報提示デバイスの手法は上記問題点を解決する手法であるため、今後の液体デバイスのストレッチャブル化につながると期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

1. Atsushi Takei, Shiho Tsukamoto, Yusuke Komazaki, Manabu Yoshida, "Kirigami-liquid structure for electroluminescent array attachable onto three-dimensional surfaces." IEEE MEMS2019, proceedings

〔学会発表〕(計2件)

国際学会(口頭発表)

1. Atsushi Takei, Shiho Tsukamoto, Yusuke Komazaki, Manabu Yoshida, "Kirigami-liquid structure for electroluminescent array attachable onto three-dimensional surfaces." IEEE MEMS2019, Seoul, South Korea, Jan 28-31, 2019

国内学会(ポスター発表)

2. 武居 淳、塚本 志帆、駒崎 友亮、吉田 学、"切り紙と弾性体を使った液滴アレイとその応用", 応用物理学会春季学術講演会、2019年3月11日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: フレキシブル機能性デバイス及びその製造方法

発明者: 武居 淳

権利者: 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 2019-009153

出願年: 2019年

国内外の別: 国内

○取得状況(計0件)

〔その他〕

受賞

1. 2019年度応用物理学会春季学術講演会 優秀ポスター賞

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 塚本 志帆

ローマ字氏名: Shiho Tsukamoto

研究協力者氏名: 駒崎 友亮

ローマ字氏名: Yusuke Tsukamoto

研究協力者氏名: 吉田 学

ローマ字氏名：Manabu Yoshida

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。