

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01402

研究課題名(和文) 臨場感を実現する高精細形状記憶厚膜型の装着式触覚ディスプレイ開発

研究課題名(英文) Development of wearable fine tactile display with shape memory thick film for tele-existence

研究代表者

峯田 貴 (Mineta, Takashi)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50374814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：臨場感ある触覚情報提示を目指し、高精細で高出力の超薄型MEMS触覚ディスプレイ素子開発に取り組んだ。形状記憶合金(SMA)厚膜アクチュエータを熱的および力学的に最適設計して作製した。リソグラフィにより形成した刺激用マイクロピン等と一体化して触覚ディスプレイ素子を形成し、皮膚が高感度をもつ周波数15-20 Hzで感知限界の2倍以上の大きな振幅と発生力を実現した。さらに、逆流防止用ダイオードと基板貫通電配線(TSV)を形成したSi基板とSMA層を接合する高密度実装のための素子形成法を開発した。触覚官能評価により、振動刺激の周波数依存性や面内での動作点の動きの提示など基本的な触覚情報提示も実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視覚によらず皮膚下の触覚受容器へ振動ピンによる刺激で記号等の配列や面内での動き等の情報提示手法が提案されてきた。本研究により、SMA厚膜マイクロアクチュエータを用いて高精細で大出力を得る超薄型MEMS構造の触覚ディスプレイ素子の実現見通しを得たことは、視覚障害者のみならず健常者へ皮膚を介して臨場感ある情報提示する皮膚装着型VRツールの実用化へ向け大きな意義を持つ。量産性に優れた基板単位で素子を一括形成法する実用性の高い技術である。また、今後の触覚受容器マイクサナー小体を対象とした高精細な触覚情報提示に関する体系的な評価研究への学術面での大きな寄与も期待される。

研究成果の概要(英文)：Thin MEMS tactile display device with high output shape memory alloy (SMA) actuator array was developed for realistic tactile presentation in wearable applications. The design of meandering SMA thick film actuator was thermally and mechanically optimized. Fabrication process of arrayed micro-pins was also established using lithography technology. By the fabricated tactile display device, the generated force and amplitude more than twice the detection thresholds of human skin were successfully obtained. Moreover, the substrate bonding of the SMA layer to a Si substrate with arrayed diode elements and through substrate via (TSV) electrodes was developed for high density assembling on a flexible printed circuit. As the results of tactile sensory evaluation, basic tactile presentation performances, for example, effect of vibrational frequency on stimulation, and effect of movement of vibration points were successfully demonstrated.

研究分野：MEMS

キーワード：触覚ディスプレイ 形状記憶合金 厚膜 MEMS 高出力 高精細 実装

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

視覚障害への情報提示のみならず健常者への情報提示ツールとして、アレイ状に分布配置した振動ピン等で皮膚下の触覚受容器へ振動刺激を与え、文字や記号等のパターン配列提示、振動点を移動させる面内での動きの提示、特定触感の擬似的再現などを旨とする触覚ディスプレイが提案されている。皮膚下には3~4種類の触覚受容器が分散しており、それぞれ異なる振動周波数に対する感度や感知可能な面内での分解能をもつ。周波数 15-40 Hz 近傍の振動(触覚受容器マイスナー小体への刺激)では 10 $\mu$ m 程度の振幅を感知でき、間隔 1~2mm の2点弁別が可能であり高精細な表面凹凸感も識別可能である。これまで、空気圧、圧電素子、電磁石、形状記憶合金(SMA)コイルなどの組立型の種々アクチュエータによる振動ピン機構が提案されてきたが、高解像の触覚提示に用いる狭ピッチのタイプでは数 cm 台の厚さの大型機構となり、装着型や携帯機器などへの適用が大きく制限されていた。

装着型に適した超薄型チップ状の触覚ディスプレイ実現には、ウエハ基板上へ薄膜形成プロセス等により素子を一括形成する MEMS(微小電気機械システム)デバイスが有効である。我々は大変位と発生量を両立できる SMA に着目し、ナノ薄膜を積層していくフラッシュ蒸着による SMA 厚膜形成、電気化学エッチングによる SMA 微細加工など、独自の SMA 厚膜 MEMS デバイス形成技術確立し、SMA 厚膜アクチュエータの触覚ディスプレイへの応用に取り組んできたが、触覚受容器が高感度で高分解能を有する 20 Hz 程度の周波数域では十分な振幅発生に至らず触覚刺激の提示には課題があった。

### 2. 研究の目的

本研究は、視覚によらず皮膚で触れる触覚による情報提示ツールとして、指先への装着に加え腕部等への複数の触覚ディスプレイ素子の装着なども想定し、分布配置したマイクロ振動ピンによる皮膚下の触覚受容器への振動刺激により高精細で臨場感ある記号や面内での動作などを表示する振動刺激型の触覚ディスプレイ素子開発が目標である。独自に開発してきた形状記憶合金(SMA)厚膜型アクチュエータと可動ピン構造等による超薄型触覚ディスプレイ形成の要素技術を発展させ、1~2 mm の狭ピッチ配列で触覚提示可能な高出力の触覚ディスプレイ素子を実現し、さらにフレキシブル回路シート上へ実装法を確立して実用的な装着型デバイスを目指すものである。人間の皮膚の感知限界に対する振幅と発生力を詳細に評価し、記号等の提示、表示面内での動きの提示等の基本的な性能を検証して実用デバイスとしての指針を得る。また、触感の擬似的な提示へ向け、皮膚で感じる触覚情報の取得も図る。

### 3. 研究の方法

臨場感ある触覚情報提示のための高出力 SMA 厚膜アクチュエータ型触覚ディスプレイ素子開発に以下のように取り組んだ。

#### (1) SMA 厚膜の特性向上

振動発生用マイクロアクチュエータに用いる SMA 膜の組成の制御性向上により柔軟性の向上を図り、素材の特性の面から発生力と発生振幅の増大に取り組む。

#### (2) SMA 厚膜アクチュエータの高出力化

皮膚が高感度を持つ駆動周波数 20-30 Hz 前後で高出力を得るために、SMA アクチュエータの設計を熱的および力学的に最適化し、構造面から出力増大に取り組む。また、それに伴い 3D 構造化が必要になるマイクロピン、キャップ構造、およびバイアス機構を構造設計し、厚膜レジストのリソグラフィによる形成手法を確立する。

#### (3) SMA 厚膜アクチュエータアレイ触覚ディスプレイ素子の実装法開発

触覚ディスプレイのアレイ状 SMA アクチュエータの各素子へ簡素な格子状(マトリクス)配列の外部配線から通電加熱駆動を可能にするために、SMA 素子間の逆流防止用にアレイ状のダイオードを搭載し、また、導通用電極パッドを皮膚で触れる素子チップ表面側を避けて裏面に配置する基板貫通配線(TSV)構造を実現し、フレキシブル配線シートへの高密度実装を可能にする。

#### (4) 触覚ディスプレイによるパターン提示の検証、触感および摩擦挙動の情報取得

形成した触覚ディスプレイによる触覚官能評価試験を行い、振動刺激の強さに対する周波数の効果、記号等のパターン提示、表示面内での動作点の動きの提示などの基本的な性能を評価し、触覚情報提示の特性を把握する。また、触感の擬似的な提示へ向け、様々な表面の凹凸パターンから得る触感と摩擦の振動パターン等の相関を評価し、皮膚で感じる触覚情報の知見を得る。

### 4. 研究成果

#### (1) SMA 厚膜の特性向上

触覚提示用の振動発生用マイクロアクチュエータに用いる SMA 膜は、本研究グループで開発してきたフラッシュ蒸着法で形成した。薄膜堆積の積層により 10  $\mu$ m 級の TiNiCu 合金の厚膜を形成する際に、既知のバルク材料(約 8 at. % Cu)と比べ膜中の Cu 量が低下することが先行する研

究で判明しており、膜中の Cu 量を増大して低温相の剛性を抑制することで、アクチュエータとして用いる際の動作変位(振幅)と発生力の出力増大を図った。まず、積層する各層を超薄膜化(~2nm)して極短時間での蒸着により膜中への Cu 取り込みを図った。自作開発したフラッシュ蒸着装置を改良して膜厚と組成の面内均一性を向上し、また、安定した厚膜積層のために新たに電子線加熱蒸着機構を付加した。さらに、柔軟な低温相が期待でき各成分の蒸気圧が近く蒸着が容易な TiNiCo 合金の成膜も検討した。いずれも狙った組成での成膜が可能になり、形状回復温度の制御に課題があるが、成膜後の 700°C 程度での溶体化処理により結晶化が促進され、形状回復特性が増大することを見出した。また、Ti、Ni、Cu の分割ターゲットを用いたスパッタ成膜法も検討し、基板を 400 に加熱しながら回転して基板内に均一な組成の TiNiCu 合金を成膜する基板ホルダー機構を開発し、所定の組成で結晶化した SMA 膜を形成する見通しも得た。

## (2) SMA 厚膜アクチュエータの高出力化

図 1 に本研究で作製した触覚ディスプレイ素子の構造を示す。指への装着に加え腕部への複数素子の装着も想定し、10 μm 厚の SMA 膜を用い、振動ピン間ピッチを 2 mm に拡大して発生振幅と発生力の増大を目指した平ばね形状の SMA アクチュエータとバイアスばね機構を設計した。Cu 基板上に TiNiCu 合金膜をフラッシュ蒸着して形状記憶処理し、感光性ポリイミド (PI) 層 (2 μm 厚)、Pt 薄膜ヒーター配線 (100 nm 厚)、Au 薄膜導通配線 (100 nm 厚) および保護層形成後に TiNiCu 膜をアクチュエータ形状に電解エッチングし、Cu 基板をエッチングして空洞化することで、図 2 に示すように、良好に SMA アクチュエータ層を形成することができた。

パルス通電加熱による発生力および発生振幅を評価し、低い駆動周波数では大きな出力が得られたが、図 3 に示すように、触覚受容器が高感度を有する 15 Hz 以上の周波数域では熱応答が遅いため出力が半減し、振幅は皮膚の感知限界近くまで低下することがわかった。これはパルス通電 OFF 時の冷却が追い付かないことによるものであり、パルス通電時の熱画像評価実験(図 4)および詳細な FEM 熱伝導解析の結果、冷却は大気中への放熱よりもジグザク形状の細長い SMA 可動部をからフレーム部への熱伝導が律速することを明らかにした。

次に、可動部の設計を熱的および力学的な面から最適化を図り、アクチュエータ長を短くすることで熱伝導の促進と熱容量の抑制を図った。可動部の剛性は厚さと幅により調整し、FEM 解析に基づき 7 μm 厚と

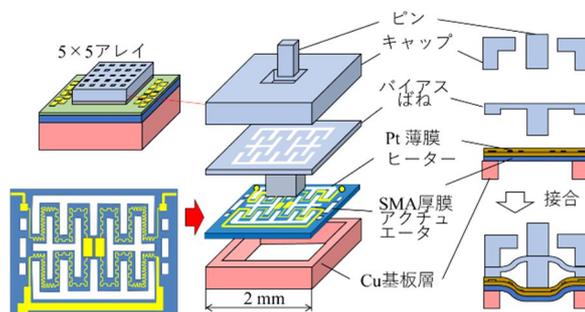


図 1 アレイ状の SMA 厚膜アクチュエータと SU-8 マイクロピン等による MEMS チップ型触覚ディスプレイ素子の構造

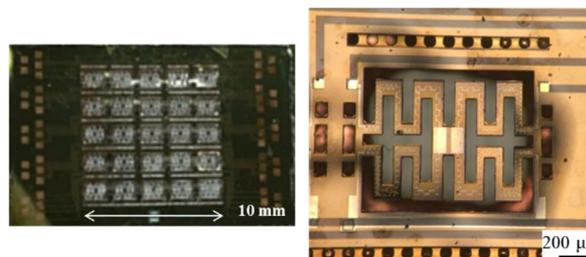


図 2 作製した SMA 厚膜アクチュエータ (拡大型・2mm ピッチ)

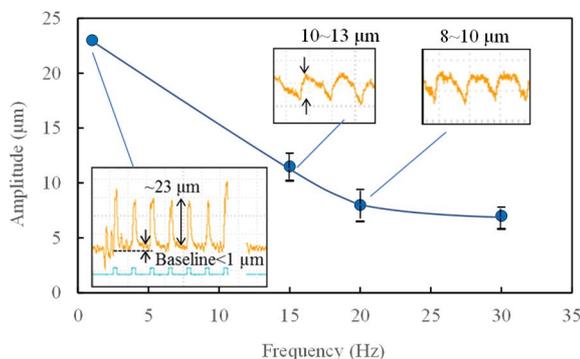


図 3 SMA 厚膜アクチュエータの発生力の駆動周波数応答 (拡大型・2mm ピッチ)

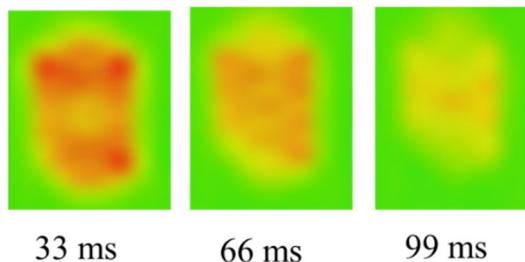


図 4 SMA 厚膜アクチュエータのパルス通電 OFF 後の冷却の様子 (拡大型・2mm ピッチ)

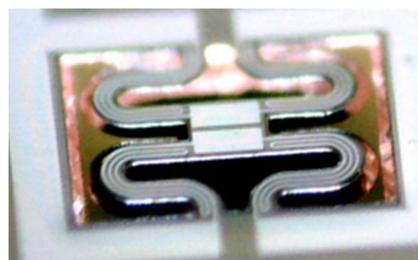


図 5 作製した SMA 厚膜アクチュエータ (最適設計型・1.5mm ピッチ)

70  $\mu\text{m}$  幅の詳細な構造を決定し、1.5mm ピッチに収まるようにレイアウト設計した。

図 5 は、この最適設計に基づき新たに作製した SMA 厚膜アクチュエータアレイである (5 $\times$ 5 アレイ、1.5mm ピッチ)。皮膚の剛性と同程度のばね定数をもつシンプルな板ばねを外部に取り付け、想定している初期変位を SMA アクチュエータに加えてパルス通電加熱した際の発生振幅を測定した。結果を図 6 に示す。冷却を促進して熱応答を向上したことにより、駆動周波数の増大に伴い振幅は低下するものの、15-20 Hz において感知限界の 2 倍以上の 25  $\mu\text{m}$  近い振幅が得られた。また、同様に発生力を評価した結果、周波数とともに低下するが、感知限界を大きく超える 3 mN 前後の振幅が得られ、この周波数域における高出力の振動発生を実現することができた。

また、SMA のパルス通電加熱に対応して振動させるために、Ni スパッタ膜によるバイアスばね形成に取り組んだ。FEM 解析に加え最終的には形状の異なる種々のばねを試作して実験的に最適形状を選定し、Ni 膜バイアスばねと SU-8 のマイクロピン、キャップおよびフレームの 3D 微細構造の一括形成手法を確立し、図 7 に示すマイクロピン等を一体化したバイアスばねを形成した (拡大型・2mm ピッチ、(レーム部 150 $\mu\text{m}$  厚、ピン突き出し 640 $\mu\text{m}$ )。変位 350  $\mu\text{m}$  程度でもヒステリシスのない線形に変形し、良好なばね特性が得られた。さらに、SMA 厚膜アクチュエータ基板と接着して振動可能な触覚ディスプレイ素子を実現した。

以上の検討に加え、出力向上をさらに図る基礎的な検討として、SMA 厚膜アクチュエータ可動部周辺への冷媒充填についても取り組み、パルス通電時の冷却効果の可能性と課題点を把握した。

### (3) SMA 厚膜アクチュエータアレイ触覚ディスプレイ素子の実装法開発

触覚ディスプレイ素子をフレキシブルプリント配線へ高密度実装するために、基板貫通配線 (TSV) を設けて通電用電極パットをチップ裏面に配置した Si 基板上を形成し、SMA 厚膜アクチュエータ層へ接合する手法を考案した。

また、外部からの配線接続を減少し、簡素なマトリクス配線からアレイ状の各 SMA 素子へ個別に通電するために、逆流防止用に Si の P/N 接合ダイオードを TSV 構造の Si 基板上に搭載した。ダイオード間の絶縁を考慮し、形成には SOI 基板を用いた。作製したダイオード (幅 300  $\mu\text{m}$ 、間隔 20  $\mu\text{m}$ ) の I-V 特性を図 8 に示す。順方向の抵抗は 25  $\Omega$  程度であり、逆バイアス方向は耐圧が 35 V 以上で、リーク電流は 30 V 印加時に 1.4  $\mu\text{A}$  程度であり、SMA 素子の駆動および他素子への逆流防止には十分な特性が得られた。

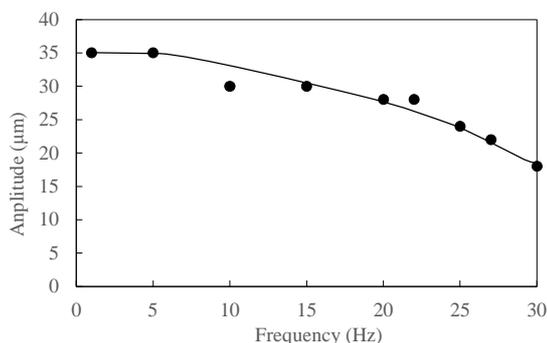


図 6 SMA 厚膜アクチュエータの発生力の駆動周波数応答 (最適設計型・1.5mm ピッチ)

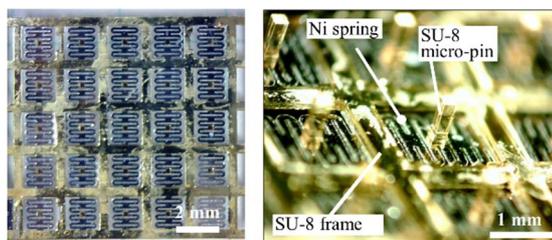


図 7 マイクロピンおよびバイアスばねの形成 (拡大型・2mm ピッチ)

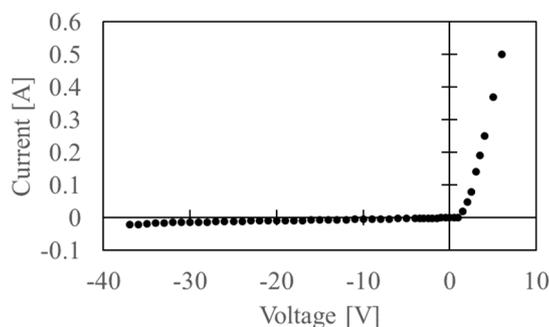


図 8 作製した P/N 接合型 Si ダイオードの特性

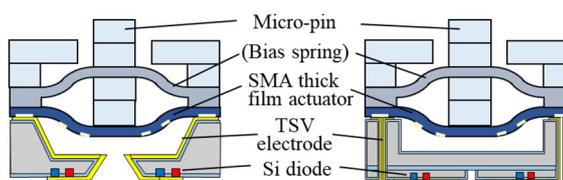


図 9 触覚ディスプレイ素子への Si ダイオードおよび TSV 電極構造の搭載  
(a) 大貫通孔と両面スパッタ成膜タイプ  
(b) DRIE 微細貫通孔とめっき埋込タイプ

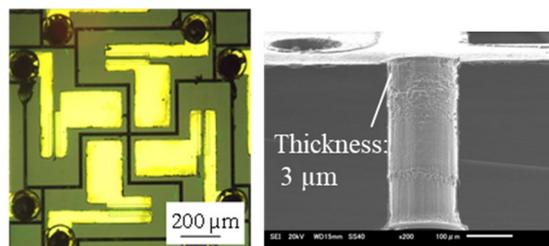


図 10 Si ダイオードと TSV 電極を形成した Si 基板層 (DRIE 貫通孔のめっき埋込タイプ)

TSV 構造については、Si 基板の両面から結晶異方性エッチングにより SMA アクチュエータ動作キャビティと貫通孔を形成した後に電極膜を両面からスパッタ成膜するタイプと(図 9 (a))、深掘り反応性イオンエッチング(DRIE)により微細な垂直貫通孔( $\phi 150 \mu\text{m}$ )およびキャビティ(300  $\mu\text{m}$  深さ)を形成し、貫通孔の側面へ無電解 Ni めっき層を成長させるタイプ(図 9 (b))の 2 種類を検討した。結晶異方性エッチングにより Si 基板の大きな貫通孔を設けたタイプでは、貫通孔およびキャビティのエッジ部と凹部のコーナーでの均一なリソグラフィが容易ではなく、また、エッチングで形成される斜面での僅かな逆テーパ形状の発生によって電極膜の断線状況が左右され、形成歩留まりに課題があった。一方の DRIE 貫通孔タイプは、孔径が微小であるため貫通孔形成後のリソグラフィが容易であり、図 10 に示すように、無電解めっきにより微細な貫通孔の内壁へほぼ均一に Ni 膜を成長させることができ、また、Si ダイオード側の電極膜(Pt/Ti/AlSi)のオーミック導通確保のための熱処理を高速アニール炉内で数 min 程度で行うことで Ni めっき膜への熱ダメージも回避でき、高い成功率で TSV 構造の形成を実現した。

TSV 電極を形成した基板を SMA アクチュエータに接合し、さらに基板間の導通を確保するために、300 $\mu\text{m}$  台の大きな段差と貫通孔を持つ TSV 電極基板および SMA 層の接合面に、ネガ型レジスト SU-8 (5-10  $\mu\text{m}$  厚)を均一に形成する条件を確立し、ステンシルマスクにより塗布した Ag ペーストで電極間を導通させつつ、SU-8 パターンを熱圧着(120 $^{\circ}\text{C}$ )し、良好な基板接合を可能にした。接合強度は 3.6 MPa 以上であり信頼性の高い基板接合である。以上のように SMA 基板と TSV 電極基板を良好に接合が可能になり、触覚ディスプレイ素子の機構部形成手法を確立することができた。

#### (4) 触覚ディスプレイによるパターン提示の検証、触感および摩擦挙動の情報取得

最適設計型の SMA アクチュエータアレイへ、バイアスばねのない SU-8 製のマイクロピンおよびキャップ構造を接合し、パルス通電加熱による SMA の形状回復力と皮膚の反力によって振動を発生する受動型の触覚ディスプレイ素子を試作し、触覚官能評価試験に用いた。アレイ状の SMA アクチュエータ素子を個別に振動する駆動システムを構築し、小規模の被験者による手指への触覚提示官能評価試験を実施した。

1 ピンだけの駆動の場合でも、15-20Hz の周波数では 100%の被験者が強い刺激を明確に認識できることがわかった。また動作ピンを増加することで感じる刺激の強さを可変できることを確認した。また、動作するピンの列を左右などに移動させることで、臨場感ある面内での動きを提示可能であることもわかった。試作した触覚ディスプレイ素子では、刺激用ピンの作製時における欠損が生じ、記号パターン等の提示については厳密な評価ではないが、単純な記号については識別できる可能性を見出し、高出力アクチュエータを用いることにより、狭ピッチの超薄型 MEMS チップ状触覚ディスプレイの実現可能性を示した。今後はさらに規模を拡大した官能評価試験を進め、触覚提示性能を統計的に検証していく。また、良好に試作した素子数に限りがあり、複数の触覚ディスプレイ素子を腕部等へ広域に配置する刺激提示については十分な評価に至らず今後の課題である。

触感の擬似的な提示へ向けた情報取得を目指し、皮膚で感じる様々な表面の凹凸パターンの触感と摩擦の振動等の相関を評価した。まず、様々な微細凹凸パターンを微細加工した Si 基板表面を用い、被験者による手指での粗さ感と抵抗感の触覚官能評価と、生体表面を模したモデルを用いた摩擦挙動の評価を行った。粗さ感への凹凸周期の効果を確認し、抵抗感には接触面積の効果に加えてスティックスリップ現象による数 10-100Hz の振動が影響することを把握した。また、粉体や人工皮革等の表面で感じる「しっとり感」を発現する典型的な摩擦パターンを明らかにし、触感提示のための指針を得た。

本研究での官能評価試験は、山形大学工学部倫理審査委員会の承認のもとで実施した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kana Kikegawa, Rieko Kuhara, Jinhwan Kwon, Maki Sakamoto, Reiichiro Tsuchiya, Noboru Nagatani, Yoshimune Nonomura	4. 巻 6 (7)
2. 論文標題 Physical origin of a complicated tactile sensation: 'shittori feel'4.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science.	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.190039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 徐 嘉樂, 野々村美宗, 峯田 貴	4. 巻 139 (12)
2. 論文標題 種々サイズの凸構造をもつ周期的なSi マイクロ凹凸表面による触感の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 393-399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.139.393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 木村 友翼, 辻 一樹, 梁取 大, 峯田 貴, 阿部 喜, 岩崎 健二	4. 巻 139 (9)
2. 論文標題 個別動作型の形状記憶合金厚膜アレイ触覚ディスプレイ素子の形成	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 329-334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.139.329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 J. Xu, Y. Kimura, K. Tsuji, K. Abe, T. Shimizu, H. Hasegawa, T. Mineta	4. 巻 227
2. 論文標題 Fabrication and characterization of SMA film actuator array with bias spring for high-power MEMS tactile display	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microelectronic Engineering	6. 最初と最後の頁 111304-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mee.2020.111307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Saito, Y. Kimura, J. Xu, T. Mineta	4. 巻 140
2. 論文標題 Fabrication of Tactile Display Mechanism Using Arrayed SMA Thick Film Actuator and Si TSV Layer with Individually Connecting Diode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Trans. IEEJ-E	6. 最初と最後の頁 260-265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.141.260	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Kato, Rieko Kuhara, Maki Sakamoto, Reiichiro Tsuchiya, Noboru Nagatani, Yoshimune Nonomura	4. 巻 70
2. 論文標題 Recognition Mechanism of the "Sara-sara Feel" of Cosmetic Powders	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Oleo Science	6. 最初と最後の頁 195-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/jos.ess20252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 徐 嘉樂, 野々村美宗, 峯田 貴	4. 巻 139
2. 論文標題 種々サイズの凸構造をもつ周期的なSi マイクロ凹凸表面による触感の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 393-399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.139.393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshimune Nonomura, Haruka Ouchi	4. 巻 69
2. 論文標題 Friction dynamics on human skin surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Oleo Science	6. 最初と最後の頁 461-465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/jos.ess20012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hina Okawara, Koki Shinomiya, Minoru Fujita, Tomonori Koda, Akihiro Nishioka, Yoshimune Nonomura	4. 巻 51
2. 論文標題 Nonlinear friction dynamics in the cognitive process of food textures: Thickness of polysaccharide solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Texture Studies	6. 最初と最後の頁 779-788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jtxs.12538	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計37件(うち招待講演 0件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 飯島陽太, 増田雄介, 田中勝, 峯田貴
2. 発表標題 金属薄膜の熱処理による塑性変形を用いたMEMSカンチレバーのたわみ調整法
3. 学会等名 電気学会センサ・シクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻一樹, 徐嘉樂, 阿部喜, 清水智巨, 長谷川博康, 峯田貴
2. 発表標題 触覚ディスプレイ用のNi薄膜バイアスばねおよびSU-8マイクロ機構の一括形成と剛性評価
3. 学会等名 電気学会センサ・シクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徐嘉樂, 木村友翼, 辻一樹, 阿部喜, 清水智巨, 長谷川博康, 峯田貴
2. 発表標題 高出力触覚ディスプレイのための形状記憶合厚膜アクチュエータアレイの形成
3. 学会等名 電気学会センサ・シクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 友翼, 辻 一樹, 梁取 大, 峯田 貴, 阿部 喜, 岩崎 健二
2. 発表標題 個別動作型の形状記憶合金厚膜アレイ触覚ディスプレイ素子の形成
3. 学会等名 電気学会センサ・シクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Xu, Y. Kimura, K. Tsuji, K. Abe, T. Shimizu, H. Hasegawa, T. Mineta
2. 発表標題 Fabrication and characterization of SMA thick film actuator array for high power tactile display
3. 学会等名 45th Int. Conf. on Micro Nano Eng. (MNE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Tanaka, Y. Iijima, Y. Masuda, T. Sato, T. Mineta
2. 発表標題 Adjustment method of MEMS dual-cantilever deflection using plastic deformation of metal thin film by thermal annealing
3. 学会等名 45th Int. Conf. on Micro Nano Eng. (MNE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Tsuji, J. Xu, K. Abe, T. Shimizu, H. Hasegawa, T. Mineta,
2. 発表標題 Fabrication and characterization of arrayed micro-structure with Ni film springs and photolithographed SU-8 micro-pins for Tactile Display Device
3. 学会等名 45th Int. Conf. on Micro Nano Eng. (MNE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Murakami, Takashi Mineta
2. 発表標題 Flash-Evaporation of High Cu Content TiNiCu and TiNiCo Shape Memory Alloy Films
3. 学会等名 SmaSys 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山 顕, 辻 一樹, 徐 嘉楽, 木村 友翼, 阿部 喜, 清水 智巨, 長谷川 博康, 峯田 貴,
2. 発表標題 SU-8マイクロピン搭載型Ni膜バイアスばねアレイとSMA厚膜アクチュエータ接合による触覚ディスプレイ素子の形成
3. 学会等名 精密工学会会東北支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 友翼, 丸山 顕, 徐 嘉楽, 峯田 貴
2. 発表標題 貫通電極Si基板型とSMA厚膜アクチュエータによる触覚ディスプレイの形成
3. 学会等名 第36回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島 陽太, 増田 雄介, 田中 勝, 峯田 貴
2. 発表標題 AlおよびNi薄膜の熱処理による塑性変形を用いた MEMSカンチレバーのたわみ調整法
3. 学会等名 第36回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻 一樹, 徐 嘉楽, 丸山 顕, 阿部 喜, 清水 智巨, 長谷川 博康, 峯田 貴
2. 発表標題 触覚ディスプレイ用のNi厚膜バイアスばね/SU-8マイクロ機構の一括形成および剛性評価
3. 学会等名 第36回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徐 嘉楽, 木村 友翼, 辻 一樹, 阿部 喜, 清水 智巨, 長谷川 博康, 峯田 貴
2. 発表標題 高出力触覚ディスプレイのための形状記憶合金厚膜アクチュエータアレイの形成および特性評価
3. 学会等名 第36回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 斎藤涼, 木村 友翼, 徐嘉楽, 峯田 貴
2. 発表標題 形状記憶合金厚膜アレイによる個別動作型触覚ディスプレイ素子の開発 ”
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第49回学生員卒業研究発表講演会, (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徐嘉楽、野々村美宗、峯田貴
2. 発表標題 種々サイズの凸構造をもつ周期的なSiマイクロ凹凸表面による触感の評価
3. 学会等名 電気学会センサ・シクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 J. Xu, J. Gong, H. Furukawa, Y. Nonomura, T. Mineta
2 . 発表標題 Characterization of tactile sensation of deformable surface with micro-bump structure
3 . 学会等名 44th Int. Conf. on Micro Nano Eng ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kimura, K. Tsuji, K. Abe, Y. Ono, T. Mineta
2 . 発表標題 Fabrication of tactile display with individual-driving shape memory alloy thick film actuator array
3 . 学会等名 44th Int. Conf. on Micro Nano Eng. ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kazuki Tsuji, Konomu Abe, Tomomi Shimizu, Hiroyasu Hasegawa and Takashi Mineta
2 . 発表標題 Fabrication and Characterization of Arrayed Ni Thin Film Bias Springs with SU-8 Micro-Pin structure for Tactile Display Device
3 . 学会等名 SmaSys 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kimura, K. Tsuji, K. Abe, Y. Ono, T. Mineta
2 . 発表標題 Fabrication and Characteristics of Shape Memory Alloy Arrayed Thick Film Actuators with Individual-Actuation-Type Tactile Display Device
3 . 学会等名 SmaSys 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 友翼, 辻 一樹, 梁取 大, 峯田 貴, 阿部 喜, 岩崎 健二
2. 発表標題 個別動作型の形状記憶合金厚膜アレィ触覚ディスプレイ素子の形成
3. 学会等名 第35回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 一樹, 阿部 喜, 清水 智巨, 長谷川 博康, 峯田 貴
2. 発表標題 マイクロピンとフレーム構造を一括形成した触覚ディスプレイ用Ni薄膜平型ばねの作製と剛性評価
3. 学会等名 日本機械学会 第26回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸山顕, 木村友翼, 徐嘉楽, 峯田貴
2. 発表標題 Si 基板貫通配線へ SMA 厚膜アクチュエータを接合した触覚ディスプレイ
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上誠幸, 峯田貴
2. 発表標題 形状記憶合金フラッシュ蒸着膜の膜厚方向の組成均一性の向上
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天野晏年, 齋藤涼, 山田将也, 松井弘之, 峯田貴
2. 発表標題 MEMS触覚ディスプレイのためのSMA厚膜アクチュエータアレイと個別駆動用有機ダイオード素子の形成
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤勇人, 丸山顕, 齋藤涼, 峯田貴
2. 発表標題 アレイ状のSMA厚膜アクチュエータとコイルばねを配置したせん断駆動型触覚ディスプレイ機構部の形成
3. 学会等名 第38回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤涼, 天野晏年, 峯田貴
2. 発表標題 触覚ディスプレイ素子のための熱応答を向上したSMAアクチュエータとDRIEとめっきによるTSV基板の形成
3. 学会等名 第38回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Saito, Haruto Amano, Takashi Mineta
2. 発表標題 Optimal design and fabrication of high output SMA film actuator array for MEMS tactile display
3. 学会等名 9th Int. Conf. on Smart System Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiale Xu, Yusuke Kimura, Kazuki Tsuji, Akira Maruyama, Ryo Saito, Takashi Mineta
2. 発表標題 Characterization of the cooling-fluid-filled SMA thick actuator array for high power tactile display
3. 学会等名 9th Int. Conf. on Smart System Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hayato Sato, Akira Maruyama, Ryo Saito, Takashi Mineta
2. 発表標題 Fabrication of shearing motion mechanism with SMA-thick-film actuator and coil spring array for tactile display device
3. 学会等名 9th Int. Conf. on Smart System Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤勇人, 丸山顕, 齋藤涼, 峯田貴
2. 発表標題 アレイ状のSMA 厚膜アクチュエータとコイルばねを配置したせん断駆動型触覚ディスプレイの形成
3. 学会等名 電気学会センサ・シクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤勇人, 丸山顕, 齋藤涼, 峯田貴
2. 発表標題 厚膜SMA アクチュエータとコイルばねによるせん断駆動型触覚ディスプレイの形成
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第50回学生会卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗城美咲, 佐藤翼, 峯田貴
2. 発表標題 高品質なTiNiCu 形状記憶合金の成膜手法の開発
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Saito, Yusuke Kimura, Jiale Xu, Takashi Mineta
2. 発表標題 Fabrication of Tactile Display Using Arrayed SMA Film Actuator on Silicon TSV Substrate with Individually Conducting Diode
3. 学会等名 34th IEEE Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE-MEMS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Saito, Yusuke Kimura, Jiale Xu, Takashi Mineta
2. 発表標題 Fabrication of tactile display using arrayed SMA actuator on Si TSV substrate with individually conducting diode
3. 学会等名 8th Int. Conf. on Smart System Engineering
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斎藤涼, 木村 友翼, 徐嘉樂, 峯田貴
2. 発表標題 個別通電用Si ダイオードを搭載したTSV基板とSMA厚膜アクチュエータを接合したアレイ型触覚ディスプレイの形成
3. 学会等名 第37回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤涼, 木村 友翼, 徐嘉楽, 峯田貴
2. 発表標題 個別通電用Siダイオードを搭載したTSV電極Si層とSMA厚膜アクチュエータアレイをもつ触覚ディスプレイの形成
3. 学会等名 日本機械学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤涼, 木村 友翼, 徐嘉楽, 峯田貴
2. 発表標題 SU-8基板接合を用いたSMA厚膜アクチュエータアレイ / 個別通電用TSV電極構造の触覚ディスプレイ素子の形成
3. 学会等名 電気学会センサ・シクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 峯田貴	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 7
3. 書名 VR / AR技術における感覚の提示、拡張技術と最新応用事例 (第4章9節 “MEMS技術による形状記憶合金型触覚ディスプレイの開発と応用”)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

山形大学 理工学研究科(工学系)マイクロ・ナノ・テクノロジー 峯田研究室 <a href="http://mineta-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/">http://mineta-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/</a> 山形大学 理工学研究科バイオ科学光学専攻 野々村研究室 <a href="http://nonomura.yz.yamagata-u.ac.jp/">http://nonomura.yz.yamagata-u.ac.jp/</a> 峯田研究室 (山形大学) Research/研究紹介 <a href="http://mineta-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/">http://mineta-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/</a>
--

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	野々村 美宗  (NoNomura Yoshimune)  (50451662)	山形大学・大学院理工学研究科・教授    (11501)	

	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 協力者	近藤 悟  (Satoru Kondo)	N H K 技術研究所	

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