

補助事業番号 2021M-201
補助事業名 2021年度 次世代フレキシブル力覚センサの開発 補助事業
補助事業者名 東北大学 Froemel Joerg

1 研究の概要

アモルファス磁性合金薄膜のSI (Stress Impedance) 特性を利用したフレキシブルな力覚センサ実現のための材料、センサ設計・シミュレーション、形成プロセスの検討を行うと共にセンサデバイスを試作してその特性を評価した。

2 研究の目的と背景

生産労働人口の減少や医療・介護/介助現場での担い手不足の解決のためロボットに高度な感覚を持たせることは、ロボットがする労働の多様化や高度化だけでなく、ロボットがよりヒトにやさしい振る舞いをするうえで重要である。本研究ではロボットの触覚として使用できる力覚センサを開発することを目的としている。

3 研究内容 <http://www.mu-sic.tohoku.ac.jp/news/img/20230518-img.jpg>

(1) アモルファス磁性合金薄膜の磁気特性

スパッタ成膜法で Cu および Nb と合金化された アモルファス FeSiB 薄膜を、1 μm の SiO₂ を含む厚さ 300 μm の Si ウェハ上に形成した。成膜時の Ar 分圧でサンプルの応力を制御した。異なる薄膜応力を持つサンプルの磁化測定の結果を図 1 に示した。

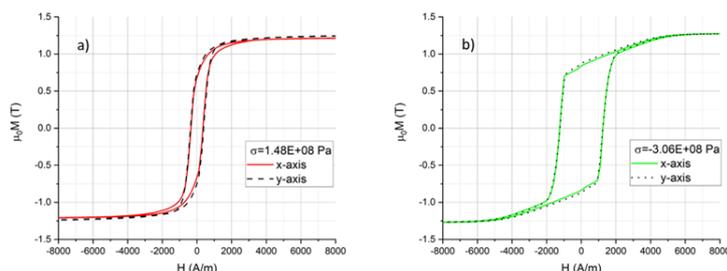


図 1. FeCuNbSiB 膜の応力下での 2 軸の磁化曲線 a) 引張応力、 b) 圧縮応力

引張応力のある膜 (図 1a) と圧縮応力のある膜 (図 1b) を比較すると、引張応力のある膜の磁化曲線は典型的な S 字曲線を示すが、圧縮応力のある膜の磁化曲線は異なる傾きを示す部分を持つ特徴的な形状となっている。さらに、圧縮応力のある膜では、保持力が引張応力を持つ膜の保持力に比べて大きくなっている。

(2) Si 基板センサデバイス

基板として Si ウェハを使用した。厚さ 20nm の Ti 接着層をスパッタリングにより堆積した後、Si の部分エッチングにより FeCuNbSiB のセンサ層を厚さ 1 μm で形成し、屈曲可能な梁構造を形成した。センサ設計は、ミアンダ形状の 4 つの構造からなっている (図 2)。センサのインピーダンス測定はネットワークアナライザ (E5071C, Agilent) を用いた。図 3 に 1 軸センサのインピーダンス測定の結果を示す。試作センサは加えられた力に対応してインピーダンスが変化し、力覚センサとして動作することが判る。力覚センサとし

でのゲージファクタは 750 以上であり、高感度センサ実現の可能性が高い。図 4 は試作 3 軸センサに X, Y, 及び Z 方向に力を加えて評価した結果の 1 例である。この結果は力の印可方向を 3 軸 (X, Y, Z) で判別可能なことを示している。

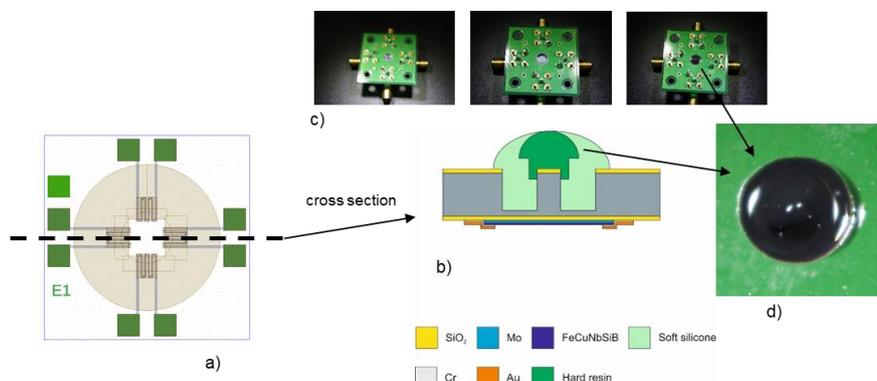


図 2. 3 軸力センサー : a) 概略上面図、b) 概略断面図、c) ドーム状 3 軸力センサーが取り付けられた測定ボード d) ドーム部の付いた拡大上面図 とシリコン樹脂。

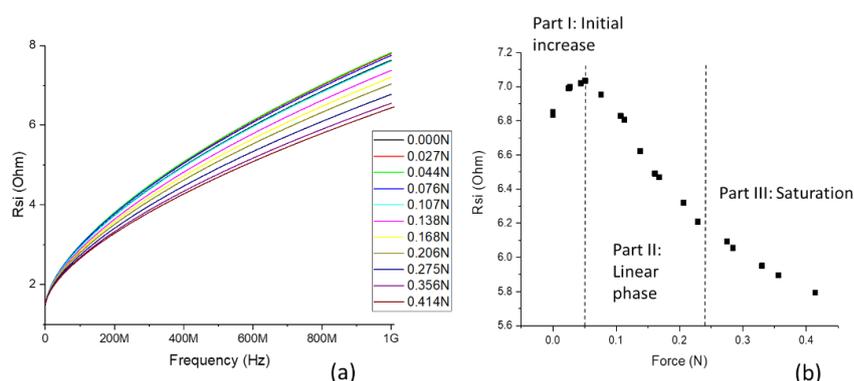


図 3. (a) 応力による抵抗値変化の周波数特性、(b) 測定周波数 800MHz の時の抵抗値変化と作用した力との関係

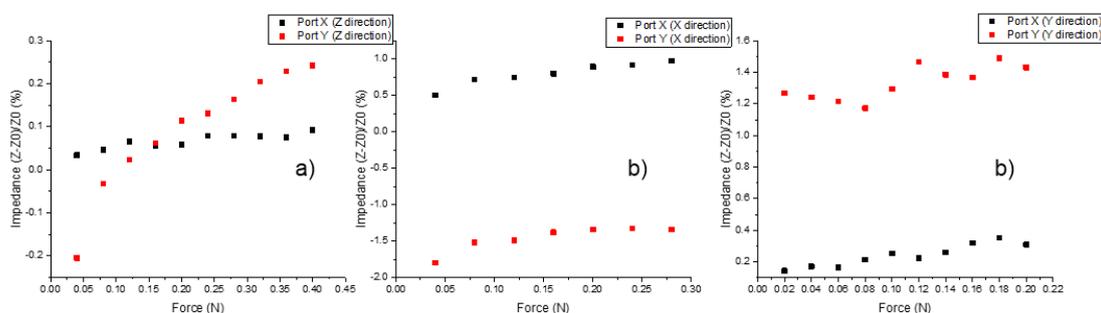


図 4. 3 軸センサの X および Y 方向での電氣的応答 : a) Z 方向に力を印可、b) 同 X 方向、c) 同 Y 方向

(3) フレキシブルセンサデバイス

様々な材料特性の調査を行いフレキシブルセンサの基板としては Polyimide (PI) が好適であることが判った

フレキシブル力覚センサデバイスのプロトタイプとして、カンチレバーの裏表にアモルファス磁性合金薄膜層を備えた構造で設計した。本プロトタイプ構造では、単純なデバイス構造としてブリッジ回路形成の代わりに下層メタルと上層メタルの直列接続を選択した。図 5. に示すようにメタル層は片面のみに形成した後で折り曲げることにより両面センシングメタル層として使用する。この構造にするとスパッタリングは片側のみで済み、電気ビアも必要ないため、デバイスは低コスト化に有利である。より高い感度を得るためにメタル層を長くする蛇行するミアンダ構造を選択した。

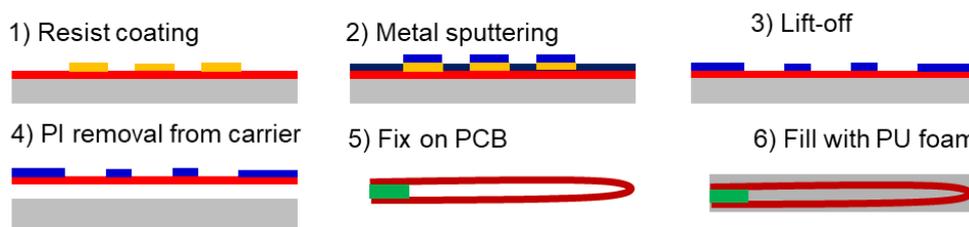


図 5. フレキシブル SI センサの形成プロセス (概略)

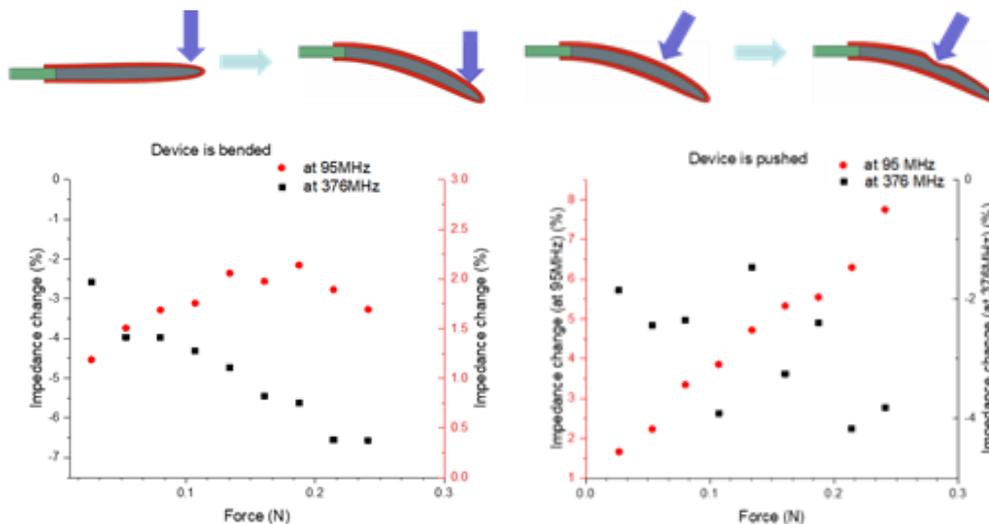


図 6 曲げモードでのセンサ評価

図 7 押し込みモードでのセンサ評価

引張/圧縮試験機を用い、プロトタイプデバイスに荷重を加えてセンサ特性を評価した。デバイスの端に荷重を加えてデバイスを曲げたときのインピーダンス変化を測定した結果を図 7 に示した。測定周波数 376 MHz では曲げ荷重が大きくなるとインピーダンスが減少することが確認された。次にセンサデバイスを曲げた状態でセンサ表面に押し込み荷重を印可した結果を図 8 に示した。この場合には測定周波数 95Mhz でのインピーダンスが印可荷重に従い変化することが確認された。これは異なる周波数でのインピーダンス信号を比較することでインピーダンス変化の原因を知ることができることを示している。さらに、曲がった状態でもセンサが力を感じることができることを示している。これらの結果によりフレキ

シブル基板を用いて曲げ可能な力覚センサの形成が可能であることが確認できた。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究のフレキシブル力覚センサの技術が実用化されると様々なロボットに躯体やハンドに取り付けられロボットが一層複雑な作業が可能になり、また人に優しい振舞いができるようになる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

センサ等のマイクロシステムの研究やその基礎となる材料・プロセス技術研究の一環である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

知財

無し

学会発表

Froemel; Stress Impedance Effect MEMS Sensors with Very High Gauge Factor, SSI 2022 (online)

Froemel; Bendable and Stretchable Sensor for Wearable Systems, SI 2023

論文

Froemel, J et al.; Micromechanical Force Sensor Using the Stress-Impedance Effect of Soft Magnetic FeCuNbSiB. Sensors 2021, 21, 7578. <https://doi.org/10.3390/s21227578>

Froemel, J. et al.; Magneto Elasticity Modeling for Stress Sensors. Magnetism 2022, 2, 288–305. <https://doi.org/10.3390/magnetism2030021>

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

無し

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

無し

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東北大学

住 所: 〒980-0845

宮城県仙台市青葉区荒巻青葉519-1176

担 当 者: 大高剛一(オオタカコウイチ)

担 当 部 署: マイクロシステム融合研究開発センター

(マイクロシステムユウゴウケンキュウカイハツセンター)

E - m a i l: koichi.ohata.e8@tohoku.ac.jp

U R L: <http://www.mu-sic.tohoku.ac.jp/>