



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                     |                                                                                                                                           |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | Study of Flexible Sensors Toward Internet of Things (IoT) Applications [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review] |
| Author(s)           | 宣, 妍                                                                                                                                      |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                                                     |
| Degree Name         | 博士(情報科学)                                                                                                                                  |
| Dissertation Number | 甲第16507号                                                                                                                                  |
| Issue Date          | 2025-03-25                                                                                                                                |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/95088">https://hdl.handle.net/2115/95088</a>                                                         |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>                                   |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                                           |
| File Information    | Yan_Xuan_review.pdf, 審査の要旨                                                                                                                |



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称    博士 (情報科学)                      氏名    宣   妍

審査担当者   主   査   教   授   植村   哲也

                  副   査   教   授   石川 史太郎

                  副   査   教   授   丸亀 孝生

## 学位論文題名

### Study of Flexible Sensors Toward Internet of Things (IoT) Applications

(モノのインターネット (IoT) 応用に向けたフレキシブルセンサに関する研究)

機械学習の著しい発展により Internet of Things (IoT) が大きく発展してきている。今後、更なる発展には人を含めた非平面や柔らかい対象物からの情報を取得する必要があると言われている。これら対象物からの信号計測では、違和感なく、どのような曲面においても適用できる機械的に柔軟なフレキシブルセンサが注目され、世界的な競争となりつつある。しかしそれらセンサ実現には、材料、構造、プロセスの最適化に加え、新規機能やマルチモーダルなセンサシステムの更なる発展が求められている。

本研究では、上記課題解決に向け、用途にあった様々な材料を用いたフレキシブルトランジスタやセンサを提案し、その集積化プロセス開発、トランジスタ・センサの基礎特性解析、そしてその応用のデモンストレーションを実施している。この論文は、以下の5章で構成されている。

第1章では、これまで報告されているフレキシブルセンサを例にあげて、材料、構造、集積化技術、高性能システム、そしてそれらを実用化するのに必要となる課題について述べている。

第2章では、高精度なフレキシブルイメージセンサの実現へ向け、半導体材料としてスパッタ法で堆積する InGaZnO を薄膜トランジスタとして、そのトランジスタの基礎特性に加え、機械的曲げ特性について述べている。その後、イメージセンサ材料として  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  (ZIS) ナノシートの多層構造を提案し、その光特性などを解析している。最後にアクティブマトリックス回路として InGaZnO 薄膜トランジスタをスイッチング素子として ZIS 光センサを集積化させ、 $13 \times 7$  ピクセルアレイのフレキシブルイメージャーを作製し、その平坦及び曲げ時における光の分布計測について述べている。

第3章では、伸縮可能且つ通気性を確保したウェアラブル心電図センサ開発に向け、切り紙構造を適用したセンサシートについて議論している。実際に切り紙構造の有無における伸縮性、通気性、粘着性などの装着感に起因する特性を定量的に解析している。また心電図センサの小型化に向け、心電図センサゲルの面積及び間隔距離について信号-ノイズ比を用いて調査している。最後にこの心電図センサに無線システムを搭載させ、それを実際に被験者に適用し、さまざまな活動時における心電図の無線計測について述べている。

第4章では、陽圧と陰圧の両方を計測可能なフレキシブル圧力センサについて、新たな構造を提案している。空気層を有したポリマー構造に歪みセンサ材料としてレーザー誘起グラフェン (LIG) を形成し、それを歪みセンサとしている。陽圧及び陰圧時に空気層があるポリマー構造の撓み方向が変化する現象を利用することで、その引張歪みと圧縮歪みを LIG の抵抗変化を用いて計測して

いる。最後に本センサを複数個集積することで、航空機の翼を模倣したモデル上での離陸時の翼に加わる空気圧変化の分布計測を実施し、その結果について議論している。

第5章では、学位論文を総括している。

これを要するに、著者は、用途にあったさまざまな無機材料をうまくフレキシブルフィルム上に適用し、新たな構造や材料を提案することでIoT 応用として必要となる多機能で機械的に柔軟な新規フレキシブルセンサシステムを提案及び実証することに成功している。これらの技術やコンセプトは今後のIoT の発展に大きく貢献できるものである。よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格があるものと認める。