



Title	Ultraflexible Organic Thin-Film Transistors: Photopatternable Tuning and Bio-Signal Sensing
Author(s)	田口, 剛輝
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/91916
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (田 口 剛 輝)	
論文題名	Ultraflexible Organic Thin-Film Transistors: Photopatternable Tuning and Bio-Signal Sensing (超柔軟有機薄膜トランジスタ：光パターン可能な性能変調方法の開発と生体信号計測への応用)
論文内容の要旨 本論文は生体信号を低侵襲で装着感少なく計測するために有機エレクトロニクスデバイスの重要素子となる超柔軟有機薄膜トランジスタ (Organic Thin-Film Transistors: OTFTs) の特性を変調する手法の提案からOTFTs材料の解析、解析手法の開発、さらにはOTFTsの生体信号計測応用に関する成果をまとめた。 エレクトロニクスはコンピュータに代表されるように我々の生活必需品を支える不可欠な技術になっている。現在実用化されている無機半導体に対して、有機半導体を用いた電子デバイス開発の研究、特にデバイスに必須素子であるOTFTsの研究と、センシングデバイスへの応用に関する研究が盛んに行われている。OTFTsは低温での作製や印刷技術への適用が可能であるため、柔軟性の高い基板上に大面積でかつ低コストでの作製が期待されている。 しかしながら、OTFTsの開発において、特に信号処理回路を作製する際に重要となる課題の一つが特性（閾値電圧）の変調技術である。様々な種類の信号を処理することを考慮すると、測定する信号の種類に応じて異なる閾値電圧を有するOTFTsを同一基板内に作製することが好ましい。そこで本論文では、同一基板内の任意のOTFTsの閾値電圧を制御する方法の確立に取り組んだ。感光性のポリマーをOTFTsの絶縁層に導入し、光照射による絶縁ポリマーの光反応を利用した、同一基板内のOTFTsの閾値電圧の変調手法（光パターン法）を提案した。光パターン法はフォトリソを利用することで照射パターンを得られるため、デバイス上に作製した同一基板内の任意のOTFTsの閾値電圧を変調できる。第一章では本論文の内容を理解するために重要となるOTFTsの基礎について記した。 第二章では光照射によりOTFTsの閾値電圧が照射量に応じて変調できることを確認した。閾値電圧が変化することについて、OTFTsの温度特性依存性の測定により実験的に考察した。さらにOTFTsの閾値電圧を光パターン法により空間的に任意に変調できる有用性を示すために、p型OTFTsからなる有機増幅回路を作製し、任意のOTFTsの閾値電圧を変調することで回路の重要な指標となる増幅率、動作速度、ノイズマージンを変調できることを実証した。 第三章では、光パターン法によって同一基板内の任意箇所のOTFTsの閾値電圧の変調をn型動作するOTFTsにも適応可能であることを示した。p/n型のOTFTsの閾値電圧を同一基板内で任意に制御することで、消費電力と動作速度を調整できることを示した。これらの性能を調整する重要性を強調するために生体信号である筋電の計測を実証した。 第四章では、光パターン法による閾値電圧の変調を実現するために使用した絶縁ポリマーの照射パターンの解像度と深さ方向分析の詳細な評価結果について述べた。フォトリソによる光照射のパターンの解像度を、フーリエ変換赤外顕微鏡、および赤外吸収イメージを数百ナノメートル程度の空間分解能で測定できる中赤外フォトリソ顕微鏡によって評価し、超柔軟有機回路の作製において十分であることを示した。さらに二次イオン質量分析法により絶縁ポリマーの光反応の深さ方向分解能を調査し、ポリマー表面の光化学反応と閾値電圧の変化を関連付けた。 第五章では有機材料の分析手法の確立に着目して、ナノスケールレベルで材料を分析するための光学測定技術の開発に取り組んだ。テーパー型マイクロ金属構造のプラズモン伝搬を利用することで、テーパー構造先端に可視領域から近赤外領域まで広帯域なナノスケールの局在光を生成できる。そこで、ナノスケール光の広帯域特性の金属種依存性およびテーパー構造依存性をシミュレーションと実験の両面から調査し、金属種や構造を変化させることでナノスケール光の広帯域特性が変化することを示した。さらに、広帯域ナノスケール光を用いることで異なる吸収特性を示す3種類の有機材料の検出を実証した。 第六章は生体モーションを計測するためのセンサーシステムについて述べた。柔軟性を有する有機回路を磁気歪み抵抗素子と統合して、手の動きを歪みとして読み取るセンサーシステムに関する内容を記載した。歪みを読み取るために有機マトリクス回路と有機定電流源回路を設計・作製し、磁気歪み抵抗素子と統合した際の電気特性を評価した。さらに、統合したセンサーシステムによって歪みを電圧レベルの変化として測定可能であることを示した。 本研究で得られた成果は有機デバイス研究の科学的知見を深めるのみならず、学術界における有機デバイス分野のさらなる発展や産業界における様々なデジタル技術の向上に寄与すると期待する。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (田 口 剛 輝)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	関谷 毅
	副 査	教 授	小林 慶裕
	副 査	教 授	高原 淳一
	副 査	教 授	北村 雅季 (神戸大学大学院工学研究科)
論文審査の結果の要旨			
本論文はデジタル社会において求められる多種多様な電子機器の構成要素の一つとして期待されている薄く、柔軟な有機薄膜トランジスタの特性を変調する手法の提案とその解析、さらには解析手法の開発についての一連の成果をまとめたものである。論文は序論と結論の他に第一章から第六章で構成されている。 序論では、柔軟な有機回路を開発する重要性について述べている。これまでのエレクトロニクス技術の発展によって人々は実空間にある様々な情報を共有・享受できる社会が実現しつつある。申請者は有機デバイスの開発は生体信号に代表される、実空間で得られる情報の数を増加させる一つの方法であるとし、多くの注目を集める有機薄膜トランジスタの特性変調技術の開発と材料の分析が科学的に意義のあるものとして研究成果をまとめている。 第一章では有機薄膜トランジスタの動作原理や先行研究の現状に関する内容が包括的に述べられている。本章は論文に記載されている成果の意義を説明し、その理解を深めるための重要な位置付けになっている。 第二章は本論文の主題である有機薄膜トランジスタの特性 (閾値電圧) を変調するための手法について記述している。本論文は感光性の絶縁ポリマーを有機薄膜トランジスタに導入し、光照射による絶縁ポリマーの光反応を利用した閾値電圧の変調手法 (光パターン法) を提案している。光パターン法はフォトマスクを利用することで照射パターンを得られるため、デバイス上に作製した同一基板内の任意の有機薄膜トランジスタの閾値電圧を変調できる利点がある。したがって、有機薄膜トランジスタで構成された信号処理回路を作製した際に、任意の回路の性能を変調・向上できる。第二章は光照射により有機薄膜トランジスタの閾値電圧が照射量に応じて変調できることを記している。また、閾値電圧が変化する原因を実験的に考察した結果を記載している。さらに、有機薄膜トランジスタの閾値電圧を光パターン法により空間的に任意に変調できる有用性を示すために、p 型動作するトランジスタからなる有機増幅回路を作製し、増幅回路の性能を向上できることを実証している。 第三章は光パターン法による任意箇所の有機薄膜トランジスタの閾値電圧の変調を n 型動作するトランジスタにも適応可能であることを示している。p 型と n 型の両方の有機薄膜トランジスタの閾値電圧を同一基板内で任意に制御することで、生体計測の長期間モニタリングの際に重要となる消費電力と動作速度を調整できることを示している。さらに、光パターン法を利用して作製した有機回路が筋電の計測に適用可能であることを示している。 第四章では、光パターン法による閾値電圧の変調を実現するために使用した絶縁ポリマーの照射パターンの解像度評価と深さ方向分析の結果について記載している。赤外吸収イメージを数百ナノメートル程度の空間分解能で測定できる中赤外フォトサーマル顕微鏡利用することで、高い精度で照射パターンの解像度を評価している。さらに、飛行時間型二次イオン質量分析法により絶縁ポリマーの光反応の深さ方向分解能を調査し、ポリマー表面の光化学反応と閾値電圧の変化を関連付けている。 第五章では有機材料の分析手法の確立に着目して、ナノスケールレベルで材料を分析するための光学測定技術の開発に取り組んでいる。テーパー型マイクロ金属構造のプラズモン伝搬を利用することで、テーパー構造先端に可視領域から近赤外領域まで広帯域なナノスケールの局在光を生成できる。そこで、ナノスケール光の広帯域特性の金属種依存性およびテーパー構造依存性をシミュレーションと実験の両面から調査し、金属種や構造を変化させることでナノスケール光の広帯域特性が変化することを示している。さらに、広帯域ナノスケール光を用いることで異なる吸収特性を示す 3 種類の有機材料の検出を実証している。			

第六章は柔軟性を有する有機回路を磁気歪み抵抗素子と統合して、生体モーションを計測するためのセンサーシステムについて述べている。本章では IoT 社会の需要の増加を考慮して手の動きを歪みとして読み取るためのセンサーシステム開発に関する内容を記載している。歪みを読み取るために有機マトリクス回路と有機定電流源回路を設計・作製し、磁気歪み抵抗素子と統合した際の電気特性の評価結果について記載している。統合したセンサーシステムによって歪みを電圧レベルの変化として測定可能であることを示している。

以上のように、本論文は超柔軟有機薄膜トランジスタの閾値電圧を同一基板内で変調する手法を提案している。また、閾値電圧が変化する要因を物性物理の観点から様々な分析によって考察している。材料の分析技術にも着目してナノスケールでの光学分析手法の開発と有機薄膜トランジスタ材料の分析に取り組むことで、分析技術と材料の科学的知見を与えている。さらにセンサーシステムの開発によって有機薄膜トランジスタの生体信号計測の応用可能性を示唆している。これらの成果は応用物理学、特に有機デバイスに関する科学的知見を深め、本分野の発展と期待に寄与していると言える。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。