

Title	弱酸ポリマーの合成と電界効果トランジスタに対する電氣的性質の研究
Author(s)	SUWANSOONTORN, Athchaya
Citation	
Issue Date	2021-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/17534
Rights	
Description	Supervisor:長尾 祐樹, 先端科学技術研究科, 博士

氏名	SUWANSOONTORN, Athchaya		
学位の種類	博士 (マテリアルサイエンス)		
学位記番号	博材第 521 号		
学位授与年月日	令和 3 年 9 月 24 日		
論文題目	Synthesis of weak acid polymers and investigation of electrical properties toward field-effect transistors (FETs)		
論文審査委員	主査	長尾祐樹	北陸先端科学技術大学院大学 准教授
		松見紀佳	同 教授
		松村和明	同 教授
		都英次郎	同 准教授
		松本和彦	大阪大学 名誉教授、特任教授

論文の内容の要旨

The investigation of proton transport is essential to explain the various biological systems, including interfacial proton transport. However, as commonly found in biomaterials, it is still unknown how carboxylic acid concentration affects interfacial proton conduction. A series of styrene-based polymers comprising of the carboxylic acid group were prepared to explore the effects of carboxylic acid group concentration on polymer thin films' electrical properties. The carboxylic acid group concentration influences the proton transport pathway of polymer thin film. The high concentration of carboxylic acid group polymer thin film provides an internal proton transport, while the low concentration of carboxylic acid group polymer thin film allows an interfacial proton transport. The studying of proton transport properties in field-effect transistors (FETs) is a promising candidate for bridging biological and electronic systems. The electrical properties' investigation in FETs without the effect of palladium (Pd) electrode reaction using an alternative (AC)-current is challenging. The FETs with parallel-shaped electrodes (PFETs) were successfully fabricated. The fabricated polymer with weak-acid functionalized and low water uptake ability was applied to the PFETs to examine the electrical properties of polymer thin film. However, the electrical response of polymer thin film was dominated by the electrode/ polymer thin film interfacial response due to the relatively low proton conductivity and high resistance of the fabricated polymer thin film. Therefore, the comb-shaped electrode FETs (CFETs) were developed with an extra-long channel width and short channel length. Without the dominated double layer capacitance response, the impedance response of polymer thin films on CFETs was successfully observed. This study overcomes the drawbacks of dominated double-layer capacitance response and the short circuit between two electrodes through the thin dielectric layer in the AC-impedance measurement method.

Keywords: Carboxylic acid; FETs; Interfacial proton transport; Internal proton transport; Impedance measurement

論文審査の結果の要旨

本論文では、生体内の外場刺激に応答するプロトン輸送機構の理解を深めるために、モデル物質として酸濃度が制御された四種の弱酸系高分子を新規に合成し、得られた高分子構造の詳細な評価と共に、プロトン輸送の電界効果トランジスタによる電界応答への応用を見据え、プロトン輸送を薄膜状の楕形金電極とインピーダンス測定を用いて評価する基盤技術を新たに開発した。電極の形状や基板表面がプロトン輸送に影響を与えることを新たに見出し、当該分野に重要な知見を与えるとともに、電界によってプロトンを制御する基盤技術の構築に前進した。

高分子中のプロトンを電界で制御する関連研究は増加傾向にあるが、評価法の課題が見過ごされている。従来では、高分子中に水素吸蔵されたパラジウム電極からプロトンが供給されるため、高分子中のプロトン濃度が一定に保たれていないことに加え、電極反応と電界の関係が検討されていない。本論文では、カルボン酸基が濃度制御された弱酸性高分子を合成するとともに、交流法を用いることで上記課題を解決し、電界効果トランジスタの電極配置を有するプロトン輸送の評価法を開発した。

第2章では、モデル物質としてカルボン酸基の濃度のみを変調した四種の弱酸系高分子を新規に合成し、得られた高分子構造とプロトン輸送の詳細な評価を行った。カルボン酸基はフリーとダイマー状態の少なくとも二種類が観測され、酸濃度が高い高分子の方がフリーなカルボン酸が相対的に多いことがわかった。また、カルボン酸は薄膜中に均一に存在しておらず、膜界面にフリーなカルボン酸がより多く存在することがわかった。酸濃度が低い高分子薄膜では、膜界面のフリーなカルボン酸基を用いてプロトンが膜内部ではなく膜界面に沿って輸送されることも見出された。

第3章では、電界効果トランジスタの電極構造を用いて、弱酸系高分子薄膜のプロトン輸送を評価するための評価法を検討した。並行電極では、インピーダンスは電気二重層の成分が支配的となり、プロトン輸送が正しく評価できないことを明らかにした。

第4章では、リソグラフィ技術を用いて楕形電極を作成し、チャンネル長や幅を系統的に変えることで、電界効果トランジスタの電極構造を有する、弱酸系高分子薄膜のプロトン輸送の評価法を確立した。また、石英とシリコンウエハの酸化膜上ではプロトン伝導度が一桁も異なることを見出し、基板表面がプロトン輸送に影響を与えることも見出し、考察を行った。以上、本論文は、弱酸系高分子薄膜のプロトン輸送について新しい知見と有望な将来展望を与えたものであり、学術的に貢献するところが大きい。よって博士（マテリアルサイエンス）の学位論文として十分価値あるものと認めた。