



Title	Development of Efficient Fabrication Processes for Nanocellulose Films and Their Applications via Electrophoretic Deposition
Author(s)	李, 晨陽
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/101951">https://doi.org/10.18910/101951</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (LI CHENYANG)	
Title	Development of Efficient Fabrication Processes for Nanocellulose Films and Their Applications via Electrophoretic Deposition (ナノセルロースの電気泳動堆積現象を用いたフィルム調製手法の開発および応用)
<b>Abstract of Thesis</b> <p>Nanocellulose, derived from abundant natural resources, has attracted significant attention as a sustainable nanomaterial due to its excellent properties, including mechanical strength, transparency, thermal resistance, high surface area, and biodegradability. In recent years, various applications of nanocellulose materials, such as cellulose nanofibers (CNFs), have been reported, including films, filters, hydrogels, aerogels, electronic substrates, and composites. As a sustainable functional nanomaterial, nanocellulose is expected to replace petroleum-derived materials. Among its forms, TEMPO (2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl radical)-oxidized cellulose nanofibers (TOCNs) exhibit high anionic surface charges and complete water dispersibility, making them promising for electronic applications. However, the efficient fabrication of nanocellulose films and their integration into electronic devices remain challenging due to the need for effective dehydration and fabrication methods while maintaining desirable film properties, such as transparency.</p> <p>This thesis explores innovative approaches to overcoming these challenges, focusing on developing efficient fabrication processes for nanocellulose films and their potential electronic applications. The research is divided into three key chapters, each addressing a critical aspect of nanocellulose film production and utilization. In Chapter 1, electrodeposition is evaluated as a potential dehydration method. TOCNs dispersed in water are negatively charged. When a DC voltage is applied, the TOCNs are deposited on the anode through electrodeposition. This method proved more efficient than evaporation and showed potential for structural control of the concentrated hydrogels. In Chapter 2, the drying behavior of nanocellulose films is thoroughly discussed. When the dispersion was dried using an environmental chamber, drying time and haze were found to be more sensitive to relative humidity (RH) than temperature. The proposed humidity-controlled multi-stage drying process demonstrates the possibility of reducing drying time while maintaining the good optical properties of the resulting nanocellulose films. In Chapter 3, based on the understanding of nanocellulose dehydration and film fabrication processes, the application of nanocellulose films as electronic seals is investigated. Ion-exchanged TOCNs were coated on copper electrodes to prevent water-induced short-circuit failure.</p> <p>Overall, this thesis presents innovative methods for fabricating nanocellulose films and explores their potential applications in electronics, paving the way for the use of sustainable nanomaterials in advanced technologies.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( LI CHENYANG )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	能木 雅也
	副 査	教授	宇山 浩
	副 査	教授	中山 健一
	副 査	教授	藤内 謙光
	副 査	教授	櫻井 英博
	副 査	教授	林 高史
	副 査	教授	南方 聖司
	副 査	教授	佐伯 昭紀
	副 査	教授	古川 森也
	副 査	教授	古澤 孝弘
論文審査の結果の要旨			
<p>ナノセルロースは、豊富な天然資源から得られる持続可能なナノ材料として、その優れた特性（高い機械的強度、透明性、耐熱性、大きな比表面積、生分解性）により、近年注目を集めている。セルロースナノファイバー（CNF）をはじめとするナノセルロース材料は、フィルム、フィルター、ハイドロゲル、エアロゲル、電子基板、複合材料など、さまざまな用途で利用が検討されている。持続可能な機能性ナノ材料として、ナノセルロースは石油由来材料の代替としての可能性を有する。その中でも、TEMPO（2,2,6,6-テトラメチルピペリジン-1-オキシラジカル）酸化セルロースナノファイバー（TOCN）は、高い陰イオン性表面電荷を持ち、水に完全に分散する特性を有するため、特に電子分野での応用が期待されている。しかし、ナノセルロースフィルムの効率的な作製および電子デバイスへの統合には、効果的な脱水技術の確立と、透明性などの重要なフィルム特性の維持が求められ、依然として課題が残る。</p> <p>本論文では、これらの課題を解決するため、ナノセルロースフィルムの革新的な作製プロセスを開発し、その電子分野への応用可能性を探求する。本研究は、ナノセルロースフィルムの製造および利用における重要な要素をそれぞれ取り上げた三つの章で構成されている。</p> <p>第1章では、電着法を脱水技術として検討する。水分散状態の TOCN は陰イオン性を示し、直流（DC）電圧の印加によって陽極に堆積し、濃縮ハイドロゲルを形成する。この手法は、脱水効率を向上させるだけでなく、得られるハイドロゲルの構造制御も可能にする。</p> <p>第2章では、ナノセルロースフィルムの乾燥挙動について検討する。分散液の乾燥過程において、相対湿度（RH）は温度よりも乾燥時間およびヘイズの形成に大きな影響を与えることが明らかとなった。これに基づき、光学および機械的特性を維持しながら作製速度を向上させるため、湿度制御による多段階乾燥法を提案する。本手法は、高速で透明なナノセルロースフィルムを作製するための大きな進展となる。</p> <p>第3章では、ナノセルロースの脱水およびフィルム作製プロセスの知見を基に、電子デバイスのシール材としての応用可能性を検討する。イオン交換処理を施した TOCN を銅電極にコーティングすることで、水分による短絡故障の防止を図る。その結果、TOCN フィルムは短絡故障を効果的に抑制し、さらに優れた耐炎性を示すことが確認された。これにより、従来のシール材料の代替としての有望性が示された。</p> <p>以上のように、本論文はナノセルロースフィルムの効率的な作製技術を開発し、その電子デバイス保護への応用可能性を探求することで、持続可能なナノ材料の実用化に貢献するものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>			