

氏名	JEONG CHANYANG
授与学位	博士(工学)
学位記番号	博甲第197号
学位授与年月日	令和4年3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
学位論文題目	Fabrication and Evaluation of Functional Thin Films and Electrochemical Devices and Application of Machine Learning (機能性薄膜と電気化学デバイスの作製と評価及び機械学習の応用)
論文審査委員	主査 教授 阿部 良夫 教授 川村 みどり 教授 金 敬 鎬 教授 松田 剛 教授 大津 直史 主任研究員 田 嶋 一 樹 (産業技術総合研究所)

学位論文内容の要旨

エレクトロクロミック (Electrochromic:EC) 材料とは電気化学的な酸化還元反応によって色調など光学特性が変化する材料である。この材料をスマートウィンドウと呼ばれる光学特性を可変できる窓に応用することで冷暖房負荷を低減できる。一般的なスマートウィンドウは基材/透明電極/酸化着色型 EC 材料/電解質/還元着色型 EC 材料/透明電極/基材の構造を呈しているが、幅広い普及効果を期待するためには様々な技術開発が必要である。

第1章では、本研究の目的について述べる。EC材料の作製には真空蒸着やスパッタ等の真空プロセスが使われるが、生産時間が長く、コストが高くなる問題がある。そのため、高効率、高クオリティな成膜が可能であるナノ粒子分散インク (W03 インク) 開発を行い、工業的な塗布装置であるスリットコータを用いた実証試験、およびスマートウィンドウへの応用を目的とした EC 調光デバイス化試験を実施した。さらに、最適な EC 材料の作製条件を決定するために、機械学習を応用した。

第2章では、本研究で用いた実験方法について述べる。

第3章では、W03 インクの調整方法と塗布法で作製した W03 薄膜の EC 特性について述べる。W03 インクの密着性・接着性及び電気化学特性向上のため、ポリビニルアルコール (PVA) の添加量を検討した。その結果、PVA を 1 wt.% 添加したインクを用いて成膜した W03 薄膜は基材と優れた密着性を示し、90%⇔13%の大きな可視光透過率変化を示すことを見出した。

第4章では、第3章で作製した W03 インクを用いた工業的な塗布装置であるスリットコータによる実証試験による性能把握、ならびに、次世代 EC 調光デバイスへの応用を目指して、柔軟性がある PET 基材を用いたフレキシブル ECD の作製について検討した。作製したフレキシブル ECD は無色透明から濃紺色に色変化を示した。さらに、繰り返し耐久性として 100 サイクルまで劣化がない安定性を示した。

第5章では、EC 材料開発に機械学習を適用することを述べる。例として W03 インクの開発には、成分、添加量、作製方法、成膜プロセスなど、多くの項目について検討する必要がある。そのため、適切な条件を見出すことに多くの実験が必要となる。そこで、機械学習を用いて、短時間で最適な W03 インクの作製条件を見出すアルゴリズムモデルを構築した。また、EC 調光デバイスの作製条件にも拡張し、検証を行った。

以上の結果を第6章にまとめ、EC 材料および EC 調光デバイスの新しい作製方法、及び機械学習による性能予測について述べた。

論文審査結果の要旨

電気化学的な酸化還元反応によって色変化するエレクトロクロミック (EC) 材料は、スマートウィンドウへの応用が期待されている。本論文は、代表的なEC材料である酸化タングステン (WO_3) 薄膜を高効率、高クオリティ、かつ安価に作製するための塗布・印刷プロセスに適用できるインク開発とそのECデバイスへの応用について検討した結果をまとめたものである。

まず、大面積に均一な薄膜を形成するための WO_3 ナノ粒子分散インクの組成について検討した結果、1 wt%程度のポリビニルアルコールを添加することで、電気化学および機械的性質の優れた WO_3 薄膜を作製できることを示した。また、スリットコート法を用いて、ガラス基板だけでなくフレキシブルなPET基板にも WO_3 薄膜を形成し、そのEC特性を確認した。さらに、機械学習を用いて最適化な WO_3 ナノ粒子分散インク組成について検討した結果、従来よりも着色効率が10%程度高いインク組成を見出し、実際に作製することで予測結果の確からしさを証明した。

以上の結果は、大面積な EC デバイスを安価に大量生産するための工学上重要な知見であり、薄膜材料工学分野における学術的貢献も大きい。よって、申請者は北見工業大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認められる。