

原子層堆積技術を用いた新しい応用技術の開発

イン ジェ・小野浩幸・広瀬文彦（山形大学）

1. はじめに

大学等の研究成果をマネジメントし、イノベーション創出につながるように事業化戦略を立案・決定・実行することが求められている。

山形大学が取り組む室温での精密な薄膜形成技術である原子層堆積技術（ALD）は、半導体産業等への応用が期待されるほか、環境にやさしいサステナブルな未来技術として実用化が期待されている。

特許調査及び論文調査では、半導体、ディスプレイ、エネルギー変換、防食コーティング等への応用が多く研究されて、論文化や特許化がなされていて多くの競合が想定される。そのため、これらとは異なる新しい用途での応用が求められている。

2. 研究目的

新しい薄膜堆積法である室温原子層堆積法（RT-ALD）について技術の可能性を明らかにし新しい応用を提案することを目的とする。本研究では、材料指紋として検出可能な新しい偽造防止マーカを提案し、従来技術と比較し優位性を検証して実用性を明らかにする。

2. 研究結果概要

(1) 想定する実用化

本研究では、日本の伝統素材である和紙に応用し、不可視かつ再現不可能な「材料指紋」をもつ新しい防偽マーカを提案する。近年、紙幣・証書・美術品など、真正性を保証する必要がある物品の偽造問題が深刻化している。既存の防偽技術（ホログラム、QRコード、RFIDなど）には、情報漏洩や複製、剥離のリスクが残っており、物理的に改ざんが不可能な防偽技術の開発が求められている。XPS および SEM を用いて、材料レベルで真贋判定可能な「材料指紋」の生成を検証した。

(2) 実験概要

- ・ 基材：和紙、シリコン基板・成膜材料： Al_2O_3 、 TiO_2
- ・ プロセス条件：室温 ALD（RT-ALD）100 サイクル
- ・ 評価手法：XPS（元素分析）、SEM（表面観察）

結果として、和紙上に形成された膜は肉眼では認識されず、XPS において Al および O のピーク強度増加が確認された。SEM では薄膜が繊維構造に密着し、剥離困難であることが観察された。

(3) 技術的優位性

- ・ 不可視性：外観を損なわずに防偽機能を付与できる。
- ・ 模倣困難性：ALD 特有の原子制御により、他手法では再現不可能。

- ・耐久性：繊維と化学結合しており、物理的に除去できない。
- ・識別性：XPS/SEM によるスペクトルが固有の「材料指紋」として機能。

(4) 事業化・社会実装の展望

応用分野	社会的課題	ALD 防偽技術による解決	期待される波及効果
公文書・証書	改ざん・偽造リスク	原子層膜による真正性保証	行政信頼性の向上
文化財・美術品	贋作・流出	作品固有の材料指紋付与	文化資産の保護
高級ブランド包装	偽物流通	不可視防偽層による識別	ブランド価値の維持
医薬品・化粧品	偽薬問題	材料レベル認証とトレーサビリティ	医療安全性の向上

さらに、ALD による材料指紋をデジタルデータ化し、ブロックチェーン等の認証技術と連携することで、物理情報とデジタル ID を統合した次世代防偽プラットフォームの構築が可能である。研究成果は産学連携を通じて、実証・事業化フェーズへ展開していく予定である。

【謝辞】

本研究は、科学研究費補助金の交付を受けて行われた。また、山形大学小野研究室、廣瀬研究室および共同研究者各位のご協力に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) R. L. Puurunen: "Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminum/water process", J. Appl. Phys., 97(12), 121301 (2005).
- 2) E. Langereis, M. Bouman, J. Keijmel, S. B. S. Heil, M. C. M. van de Sanden, and W. M. M. Kessels: "Plasma-Assisted ALD of Al₂O₃ at Low Temperatures: Reaction Mechanism and Material Properties", ECS Transactions, 16(4), 247-255 (2008).
- 3) E. Langereis, M. Bouman, J. Keijmel, S. B. S. Heil, M. C. M. van de Sanden, and W. M. M. Kessels: "Plasma-Assisted ALD of Al₂O₃ at Low Temperatures: Reaction Mechanism and Material Properties", ECS Trans., 16(4), 247-255 (2008).
- 4) S. Kamiyama, T. Miura, and Y. Nara: "Impact of O₃ Concentration on Ultrathin HfO₂ Films Deposited on HF-Cleaned Silicon Using Atomic Layer Deposition with Hf[N(CH₃)(C₂H₅)]₄", Electrochem. Solid-State Lett., 9(9), G285-G288 (2006).
- 5) 山形大学 RT-ALD 研究グループ：「ALD（原子層堆積法）の基礎と高品質化および最新動向」, 研究報告, 2023.