

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	電気めっきにおける数値計算のための添加剤のモデル同定手法の開発
Title(English)	
著者(和文)	石井翼
Author(English)	Tsubasa Ishii
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11416号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:天谷 賢治,小酒 英範,中尾 裕也,原 精一郎,宮崎 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11416号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	石井 翼	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	天谷 賢治	教授	審査員	原 精一郎	准教授
	審査員	小酒 英範	教授		宮崎 祐介	准教授
中尾 裕也		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「電気めっきにおける数値計算のための添加剤のモデル同定手法の開発」と題し、全6章から構成されている。

第1章「緒論」では、まず、集積回路などで用いられる高度めっき技術においてCAEをめっき工程の設計や開発に適用することが重要であると述べている。次に、材料試験から計算まで一連のCAEフレームワークを構築するアプローチが有効であることに着目している。以上を踏まえて、本論文では電気めっきにおける数値計算のための添加剤のモデル同定手法を開発することを目的とすると述べている。

第2章「本研究の基礎事項」では、本研究についての基礎事項として電気化学測定、ビアフィリングめっき、添加剤の働きについて基礎事項をまとめている。添加剤には大きくわけてサプレッサー、レベラーおよびアクセレーターの3つのタイプが用いられていることを述べ、特にスーパーフィリングと呼ばれる高アスペクト比の埋め込みめっきにおいて重要な役割を担うサプレッサーについて解説している。

第3章「電気化学フローセルの開発」では、印加電位、溶液濃度、表面流速およびめっき電流の関係を動的に計測できるプログラマブルな電気化学フローセルシステムを新しく開発している。本システムの独創性の一つとして安定で均一な電気化学場を形成するための同軸円管流路をフローセルに採用していることがあげられる。本システムは印加電位、流路内の試料濃度および流量を任意に制御することができ、その値を同時かつ連続的に変化させながらめっき電流を測定することができる。様々な条件における銅イオン還元反応の拡散限界電流を効率的に計測し、理論値と比較する検証実験を実施し、開発した電気化学フローセルシステムが要求性能を満足していることを確認している。

第4章「めっき析出の分極特性の同定」では、まず、第3章で開発したプログラマブル電気化学フローセルを用いて様々な濃度の硫酸銅溶液における銅電極のサイクリックボルタメトリーを実施し、めっき電流を動的に計測している。つぎに、濃度依存の分極特性を精度よく表現するために区分線形関数によるブラックボックスモデルを採用することを提案している。さらに、電気化学フローセルのデジタルツインを構築し、実際の計測データと数値シミュレーション結果を同化させることにより分極特性モデルのパラメータを同定する手法を開発している。最後に従来からめっき析出の分極特性モデルとしてよく用いられるButler-Volmer式に対しても同定を行い、両者の同定結果を比較する検証実験を行い本手法の有効性を確認している。

第5章「ポリエチレングリコールの反応モデルの同定およびシリコン貫通電極の数値計算」では、代表的なサプレッサーであるポリエチレングリコール(PEG)を対象としてその表面反応のダイナミクスを同定する手法を開発している。第3章で開発したプログラマブル電気化学フローセルを用いて様々な濃度のPEGで調整した硫酸銅溶液のサイクリックボルタメトリーを実施し、めっき電流を動的に計測している。つぎに、PEGの表面反応のダイナミクスを吸着および脱離の2項からなる常微分方程式でモデル化している。特に脱離における添加剤の被覆率と電流密度の関係を多項式によるブラックボックスモデルで表現していることを特徴としている。さらに、トレーニングデータと異なるPEG濃度に対するサイクリックボルタメトリーのテストデータを用いて同定したPEGの反応モデルの精度を検証し、本手法の有効性を確認している。最後に、同定した分極特性およびPEGの反応モデルを用いてシリコンビアのめっき過程の数値計算を実施している。解析結果からビア内の被覆率の大きな変化を可視化することに成功している。

第6章「結論」では、本論文では電気めっきにおける数値計算のための添加剤のモデル同定手法を開発し、その有効性を検証したことをまとめ、今後の展望を示している。

以上を要するに、本論文では、電気めっきにおいて添加剤の電気化学試験から数値解析まで一連のCAEフレームワークを構築し、その有効性を検証しており、工学上、工業上貢献するところ大である。従って、本論文は博士(工学)の学位論文として十分に価値があるものと認められる。