

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

### **Fabrication of Ferromagnetic Nanostructures via Analysis and Control of Electrochemical Nucleation Process**

電析初期過程の解析および微細構造制御  
による強磁性ナノ構造体の形成

申請者

Siggi	WODARZ
ヴォダルツ	ジギー

応用化学専攻 界面電気化学研究

2017年2月

本論文は、テラビット/平方インチオーダーの超高記録密度を達成する次世代型磁気記録媒体の実現のために、電気化学的手法を用いて強磁性ナノドットの規則配列からなるビットパターン媒体 (BPM) を精密に形成するための方法論を検討した結果について述べている。BPM の形成手法として、従来より乾式法による薄膜のエッチング加工や磁性ナノ粒子の自己組織化的な配列形成などの手法が提案されているが、加工ダメージや粒子配列制御の困難さに起因する特性の不均一性などが指摘されている。一方、ナノレベルの均一形成性や制御性に優位性を持つとされる電気化学的手法の適用も試みられており、テラビット/平方インチオーダーの高密度での形成を示した例も報告されているが、均一形成性や結晶配向制御に基づく特性制御などは未解決の課題であった。これらに対し本論文では、結晶成長のごく初期すなわち核発段階からの詳細な解析およびこれに基づく精密な制御手法の検討により、高い磁気特性を示すシングルグレイン、すなわち単結晶構造からなるナノドットの均一形成が可能となることを提案している。

第 1 章では、磁気記録媒体の超高記録密度化に向けて検討されている技術およびそのための磁性材料についてまとめており、BPM 形成プロセスの現状および解決すべき課題を総合的に示すものとして評価できる。第 2 章では、電析法による BPM 形成の基礎検討として、ナノパターン基板の設計・形成プロセスおよび電析条件の最適化を行った結果についてまとめ、CoPt を対象に 1.0 テラビット/平方インチに相当する 25 nm 周期の強磁性ナノドットの均一形成を実現した手法を示している。さらにこの系において保磁力の向上も確認し、基板設計から微細構造制御による精密形成および特性向上を実現する一連のプロセス手法を提示していることは、電気化学的手法によるナノ材料形成全体にも有益な知見を与えるものである。第 3 章では、10nm レベルの微細孔内部の CoPt 核発生および成長を精密に解析し、核発生密度や粒径の分布、さらに最隣接核距離などの因子の関与する理論解析モデルとの比較から、本プロセスにおける核発生・成長機構を詳細に解析した結果を述べている。電析法においてナノスケールの実観察データを示しながらこのような詳細かつ系統的な解析を行った事例は初めてであり、今後種々の微細構造形成プロセスに設計指針を与える成果として高く評価できる。第 4 章では、より高い一軸磁気異方性を有し、さらなる高記録密度化が期待される L10 規則合金構造型 FePt に着目してそのナノドット配列形成を試み、析出および熱処理条件の最適化から均一形成条件を見出した結果が述べられている。さらに第 5 章では、熱処理による規則合金構造形成を促進するための方法論を検討し、これに基づきパルス電析法による多層積層構造の形成および Cu 添加による三元合金化を提案して系統的な検討を行い、いずれも均一かつ高い磁気特性のナノドットをテラビット/平方インチオーダーで形成できることを示している。FePt 系材料は熱処理過程が特性発現を大きく左右することが知られている。規則合金形成の促進とそれ以外の弊害を抑制するために熱拡散過

程を考慮した制御手法として多層膜構造の形成や第三元素の添加に着目した点にも本研究の価値がある。加えてそれらを実際に適用するためのプロセスの設計から検討を進めてその有効性を実証した一連の成果は、機能金属材料形成の基礎および応用双方の見地からも高く評価できる。第 6 章では、第 2 章から第 5 章の検討で得られた成果を総括し、強磁性ナノ構造体の形成プロセスに対する本研究の有用性がまとめて述べられている。

以上の成果は BPM の実用化に向けた研究開発の方向性に重要な知見を与えるとともに、電気化学的手法によるナノスケールの微細構造形成プロセスの設計にも有益な指針を与えるものとして高く評価できる。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2017 年 2 月

審査員

（主査） 早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 本間 敬之

早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 黒田 一幸

早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 菅原 義之

早稲田大学教授 博士（工学）早稲田大学 門間 聰之