

審査の結果の要旨

氏名 松井 功

「プラズマ場を用いたナノ粒子の合成と機能化」と題した本論文は、プラズマ-CVD を用いて、シングルナノメートルサイズのナノ粒子（シングルナノ粒子）合成とその機能化に関する研究であり、5章から構成されている。

第1章において、ナノ粒子の必要性とナノ粒子の既往の研究例が示され、論文の目的が述べられている。ナノ粒子研究において、合成から機能化に至る一貫した研究が必要であることが述べられている。さらに、合成法として、放電プラズマ場を利用した気相法の有用性が示されている。ナノ粒子合成と分散には、粒子生成メカニズムの理解と分散の制御技術の確立が必要であると述べている。そのために、放電プラズマ場での粒子成長を観察すること、放電プラズマ場の理論解析や粒子挙動解析を行うことの必要性を述べている。さらに、気相合成された磁性ナノ粒子を薄膜化し、機能評価を行なうことにより、ナノ粒子のデバイス化プロセスとしての確立を図ると述べている。

第2章においては、FePt（鉄白金）磁性ナノ粒子をモデル材料として、放電プラズマ場を用いたCVDによるナノ粒子の合成結果が述べられている。粒子生成過程においてシングルナノ粒子発生と、それらの凝集粒子が生成することを明らかにしている。合成したナノ粒子は1nmから数nmであり、非晶質と単結晶が混在しており、クラスター形成と核生成が同時に観察されると結論付けている。シングルナノ粒子と凝集体の生成に伴い、プラズマの発光状態は時間的に変化し、プラズマシースとバルク境界で観察された発光が時間とともにバルク中心部に移動しバルク領域全体の発光に移行すること、を明らかにしている。これらの知見はプラズマ場を用いたナノ粒子合成において、新規性の高い重要な知見といえる。

第3章においては、グロー放電プラズマおよびエアロゾルの物理モデルを用いて、放電プラズマ中でのナノ粒子と凝集粒子の生成に関する数理モデルを確立している。放電プラズマ場中でのナノ粒子は電子付着により帯電しやすく、放電プラズマを変化させると述べている。この数理モデルを数値的に解いて、放電プラズマ中での粒子の生成と運動挙動を明らかにしている。また、負に帯電したナノ粒子同士は反発系であり、凝集体の生成を抑制することを示している。このように、放電プラズマ電界の時空間変化により、ナノ粒子の帯電と電界輸送が起き、ナノ粒子はその凝集粒子と全く異なる挙動を示すことを明らかにしている。本モデリングの結果は、放電プラズマ場における粒子生成と粒子凝集に関して意義があると述べている。

第4章においては、放電プラズマ場を用いて合成した粒子から、シングルナノ粒子を選

択的に反応器の中で分離し、基板上にナノ粒子薄膜を作製している。さらに、磁気特性に着目し、機能評価（保磁力、軸配向性）の結果を述べている。磁性ナノ粒子薄膜の加熱処理による、保磁力や軸配向性の向上を検討し、大きな保磁力を得たこと、さらに基板との相互作用を利用して軸配向性を向上できる可能性を示している。このように、ナノ粒子の合成から薄膜化を経て、高機能を実現するための一貫した研究の重要性が示されている。

第 5 章においては、各章で得た結果をまとめている。放電プラズマ場を用いたナノ粒子の合成と薄膜化、さらに高機能化を実現するプロセス研究を展開し、シングルナノ粒子機能性デバイスを作製する方法を確立した、という結論を得ている。また、ナノ粒子デバイスの実用化に関する今後の展望として、ナノ粒子と基板との界面の制御が重要であることが述べられている。

製造プロセスとナノ材料構造の関係、さらにナノ構造と機能の関係を磁性ナノ粒子に関して明らかにした点は化学システム工学への貢献が大きいものと言える。以上のように、機能を実現するための有効な製造プロセスを明らかにしている点は工学への貢献が大きいものと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。