

審査の結果の要旨

氏名 神子公男

薄膜作製技術の著しい進歩に伴い、物質を単原子層レベルで薄膜化し、あるいは積層することで多くの新しい物性が発見され、機能材料として用いられるようになった。金属多層膜の分野においては、巨大磁気抵抗効果（GMR）や垂直磁気異方性等の特異な性質が発見されて以来、世界中でこれら物性の解明、特性の向上、機能材料への応用に関する研究が続けられている。

近年、薄膜の配向面を制御する手法である Seeded Epitaxy (SEE) 法と、成長様式を島状成長から層状成長に変える手法である Surfactant Mediated Epitaxy (SME) 法が注目を集めている。本研究は、これら SEE 法、SME 法のメカニズムを解明するとともに、これら手法を用いて金属多層膜の異種物質界面の構造を制御し磁気特性の向上をはかることを目的としたものであり、8章よりなる。

第1章は、緒論であり、金属薄膜・多層膜に関するこれまでの研究を主に物性研究の観点から概観し、本研究の目的と論文の構成について述べている。

第2章は、金属多層膜の垂直磁気異方性や GMR 効果に関するこれまでの研究成果、及びその理論について詳細に述べている。

第3章は、SME 法について、実験及び理論的結果を詳細にまとめている。

第4章は、本研究で用いた金属薄膜の作製手法と構造ならびに物性の解析手法について説明している。

第5章は、Co シード層を用いた SEE 法による Co/Au(111) 多層膜の構造制御と垂直磁気異方性に関する結果である。Al₂O₃(0001) 基板上に Co シード層を用いた結果、Au バッファ層の構造規則度は向上し、その表面はより平坦になった。シード層による構造制御のためには、基板と金属層との格子定数の差が小さいということよりも、Al₂O₃ 基板との結合力の大きい金属シード層を選択して挿入した方が良いということを明らかにした。また、本研究結果を基に、単結晶酸化物基板上に金属薄膜をエピタキシャル成長させる場合の金属シード層選択の指針を提示し実証している。即ち、酸化物基板の酸素イオンとの結合を強めるため、シード層を構成する金属元素の最外殻電子軌道の *d* 軌道が開殻構造になっていること、そして酸化物基板とシード層との間の格子のミスマッチ

が小さいものがシード層として効果があると述べている。Co シード層を用いて得られた Co/Au 多層膜の方が、通常が多層膜と比較してより大きな垂直磁気異方性エネルギーが得られることを示した。これは多層膜の結晶構造や界面構造が改善された結果、磁気弾性異方性エネルギーが大きくなったためであると説明している。

第6章は、SME法を用いた金属薄膜の成長制御について詳細に述べている。サーファクタント元素として Bi、Pb、Ag を用い、Fe(100)面上の Fe 薄膜、Fe(100)面上の Cr 薄膜、Au(111)面上の Au 薄膜、Au(111)面上の Co 薄膜等、多数の系について主として RHEED (反射高速電子線回折法) 強度の時間的振動の測定により系統的に薄膜成長を研究している。その結果、層状成長を促進するサーファクタントの量には最適値が存在すること、またその最適値も基板の種類や、蒸着温度等の条件によって変化すること、サーファクタントとして最も効果的に働くのは、これらの元素の中で表面エネルギーの一番小さい Bi であることを見出した。層状成長を長く持続させるサーファクタントの量の最適値は、Fe(100)面上の Fe 薄膜成長の場合は約 0.1ML (表面被覆率 0.1) であった。SME法の主要なメカニズムは、サーファクタント原子により蒸着原子が層状成長するのに必要なステップでの付加的エネルギー障壁が減少するためであると結論している。

第7章は、最適なサーファクタント元素である Bi による Fe/Cr(100)多層膜界面の制御を行い、多層膜の構造と磁気物性との相関関係について記述している。サーファクタント法を用いて作製した Fe/Cr 多層膜の界面は予想通り急峻であり、磁気抵抗比も 7.8%から 10.1%に増加したことを確認している。この GMR 効果増大の要因は、膜厚の均一性による反強磁性結合の増大と、界面でのスピン依存散乱の割合が減少したことによるものと説明している。

第8章は、本研究の総括である。

以上を要するに、本研究は SEE 法、SME 法による金属薄膜ならびに多層膜の成長制御を行い、磁気抵抗や垂直磁気異方性といった磁気物性の向上を図ったものである。その結果、酸化物基板上の金属シード層選択の指針を提示すると共に、サーファクタント原子を系統的に変化させて、SME 法のメカニズムを明らかにし、これら手法が金属多層膜の界面構造制御、並びに物性制御に有効であることを示したものであり、金属材料物性工学の発展に寄与している。

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。