

氏名	城山泰祐
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第 9387 号
学位授与年月日	令和2年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理工学科学研究科
学位論文題目	FePt 系磁気記録媒体とホイスラー合金磁気抵抗素子開発を目指したナノ構造制御

主査	筑波大学教授(連係大学院)	Ph.D.	宝野和博
副査	筑波大学教授(連係大学院)	博士(工学)	三谷誠司
副査	筑波大学教授	理学博士	黒田眞司
副査	筑波大学教授	博士(工学)	柳原英人

論文の要旨

審査対象論文は、ハードディスクドライブ(HDD)の高密度化に関する問題に、磁性薄膜の微細構造制御の観点から、検討を加えたものである。目標とする磁気記録密度を次世代の 2T bit/in^2 とさらにその先の 4Tbit/in^2 と設定し、HDD を構成する2つの主要部材である磁気記録媒体と再生用磁気センサーに着目したものである。第1章では、本研究の背景にある HDD 記録密度向上への要求と、現在までの改善や研究の状況、さらにそれらの問題点が述べられている。第2章では、使用した装置、試料作製方法等の実験方法が述べられている。第3章では高密度 HDD の新方式としてもっとも有望な FePt 系熱アシスト磁気記録媒体の磁性粒子微小化法の検討、第4章で再生用磁気センサーの高感度化と微細化を対象とした検討に関して、コンセプト、結果と考察、結果が述べられている。第5章で研究全体が総括されている。

第3章では、熱アシスト磁気記録方式に対応できる次世代磁気媒体として最も有望である FePt-C 系グラニューラー媒体の磁性粒子サイズ低減と配向性の改善を目的として、MgO 下地上に成長する FePt-C 系グラニューラー構造の成長過程を電子顕微鏡により詳細に調べた。バッファー層や成膜条件を変化させることにより MgO 下地層の粒子サイズを制御し、それと FePt-C 磁性層中の磁性粒子サイズとその配向性との関係を解析している。そこから、MgO 薄膜の粒界が、FePt 粒子の膜面方向への成長を抑制することによって微細化すること、MgO 粒界部において FePt 磁性粒子がランダム成長することによって FePt 磁性粒子の配向性が悪化することを明らかにした。

さらに、FePt-C グラニューラー媒体の FePt 磁性粒子成長過程を詳細な電子顕微鏡観察により調査し、FePt 磁性粒子成長過程が、核形成・核成長・粒子合体粗粒化の3段階であることを明らかにしている。また、磁性層厚さと粒子サイズ、粒子数密度の関係を解析し、スパッタリングによる FePt-C グラニューラー膜作成初期段階における粒子数密度が 13Tbit/in^2 であり、次世代の記録密度要求 (2Tbit/in^2) に必要な bit/in^2 をすでに満足しているが、磁性粒子の合体粗粒化を防ぐ手法の開発が必要であることを明らかにしている。

FePt-C 系の微細化限界を超える可能性のある媒体探索のため、FePt-X グラニューラー層に使用する非磁性材料 X として5種の金属酸化物を検討し、それらの微細構造と磁気特性の解析を行

った。金属酸化物由来の金属元素が FePt 粒子中に固溶することで FePt 磁性粒子の磁気特性劣化を招くことを明らかにし、Fe と非磁性層材料の生成エンタルピーを指標とすることで、FePt 粒子中に固溶しない Cr₂O₃ を選定することに成功している。さらに、その特性が C を非磁性層材料に使用した FePt グラニューラー膜の特性に及ばないことを明らかにし、非磁性層材料として C を主成分とすることを提案している。また、5 種の微細構造の差を、粒子数密度を用いることで数値化し、非磁性層材料中金属のイオン半径との相関関係を示すことで、MgO 下地と非磁性層酸化物のスパッタ製膜初期におけるぬれ性の程度が微細構造決定の主要因であると考察している。

第4章では、再生用磁気センサーの高感度化と微細化を実現するために、センサーとして用いられる磁性多層薄膜の成長と界面を緻密に制御することで、これまで実現されてこなかった手法、「ホイスラー合金／非磁性層材料の繰り返し数増 + 反強磁性層間交換結合の利用」による高感度化と微細化の両立手法が有効であることを実証した結果を報告している。Co₂Fe(Al_{0.5}Si_{0.5})ホイスラー合金を電極として使用することにより、目標である磁気記録密度 4Tbit/in² に対応できる可能性があることを提案している。

〔批評〕

審査対象論文は、データストレージの基幹デバイスであるハードディスクドライブで、次世代の 2Tbit/in² と、次次世代に 4Tbit/in² を実現するために必要な磁気記録媒体と磁気センサーの 2 つの薄膜デバイスを高性能化するための材料工学上の問題に取り組んだ結果を報告している。先ず、熱アシスト磁気記録媒体として先行研究で提案されていた FePt-C グラニューラー媒体のナノグラニューラー構造の粒径と粒子密度を決定する因子を検討し、FePt ナノ柱状粒子サイズの最適化方法を提案した。さらに FePt-C 系よりもさらに微細な FePt-X 系ナノグラニューラー構造の実現を目指し、様々な酸化物系非磁性相 X を検討した。その結果、Cr₂O₃ を非磁性相とした場合に FePt-C 系よりも微細な柱状構造を実現できることを示したが、磁気特性は FePt-C 系を超えることができなかった。その原因は FePt 中に Cr が固溶するためであることを明らかにした。また、ホイスラー合金/非磁性層多層膜で従来の CPP-GMR スピンバルブ素子では実現できなかった高い磁気抵抗を低い抵抗・面積値で実現できることも示した。これらの結果はさらなる高密度化がもためられているハードディスク産業界から高く評価される成果であり、その工学的価値は高いと判断される。

〔最終試験結果〕

令和2年2月7日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。