

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	3d磁性遷移金属ヘースハイエントロヒー合金薄膜の相形成と磁気特性
Title(English)	Phase formation and magnetic properties of 3d transition metal based high entropy alloy films
著者(和文)	LIBoya
Author(English)	Boya Li
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12925号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:史 蹟,春本 高志,林 幸,村石 信二,LEI XIAOWEN
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12925号, Conferred date:2024/9/20, 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

(博士課程)

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	Li Boya	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	史 蹟	教授	雷 霄雯	准教授
	審査員	春本 高志	准教授		
		林 幸	教授		
	村石 信二	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「**Phase formation and magnetic properties of 3d transition metal based high entropy alloy films**」と題し、英文の7章から成っている。

Chapter 1 「Introduction」では、ハイエントロピー合金の特徴を紹介する上で、磁性元素をベースとした薄膜形態のハイエントロピー合金がソフト磁性材料としての優位性および問題点を論じている。磁性元素Fe, Co, Niを主成分としてのハイエントロピー合金は強磁性を示し、非磁性元素の添加によるハイエントロピー効果で、高い抵抗率、優れた化学・熱的安定性および力学特性が期待でき、総合的物性の優れたソフト磁性材料として期待できると説明している。一方、問題点としては、磁気特性の向上、非磁性元素の合金の磁気特性への影響の解明などが課題として残っていると指摘している。そこで、本研究は薄膜の組成を精密に制御できる成膜法を確立し、非磁性元素の薄膜構造、磁気・電気特性への影響を解明することを主な目的であると述べている。

Chapter 2 「Preparation and characterization of FeCoNi-based high entropy alloy films」では、マグネトロンスパッタ法を用い、純金属のターゲットから磁性金属元素ベースハイエントロピー合金薄膜を作製する条件を検討し、最適化された条件下で作製したハイエントロピー合金薄膜は組成の分布が均一であり、比較的ソフトな磁性を示す結果を示している。また、ハイエントロピー合金の構造に関連する混合エントロピー、価電子濃度、原子半径ミスマッチなどの計算方法についても説明している。

Chapter 3 「Microstructure and magnetic properties of Pt-containing FeCoNiCu_xPt_x high entropy alloy films」では、金属の多層膜プリカーサーを作製し、その後の真空熱処理で均一なハイエントロピー合金薄膜を作製する方法を提案している。薄膜の組成は、多層膜プリカーサーの各層の厚さ調整によって精密に制御できると説明している。実際、Fe, Co, Niを主成分として、Pt, Cuを添加した場合、600° C以上の真空熱処理で組成均一なFCC構造のハイエントロピー合金薄膜の作製に成功したと述べている。磁気特性については、PtとCuの濃度の増加とともに飽和磁化が減少し、保磁力が増大する傾向があり、FeCoNiCu_{0.2}Pt_{0.2}(PtとCuの濃度がそれぞれ6.25 at%である)の薄膜では比較的の高い飽和磁化(802 emu/cm³)、小さい保磁力(52.0 Oe)、強い面内磁気異方性を示し、良い磁気特性を示すと結論している。

Chapter 4 「Effect of Al and Mn on the magnetic properties of FeCoNiCu_xM_x (M = Al/Mn) high entropy alloy films」では、前章と同じ方法でFeCoNiCu_xM_x (M = Al/Mn)ハイエントロピー合金薄膜を作製し、AlとMnの薄膜構造および磁気特性に及ぼす影響についての結果を報告している。AlとMnとともに濃度が増加とともに膜全体の飽和磁化が減少するが、

DFT 計算の結果では、合金薄膜中の Al 原子は磁気モーメントを持たなく、Mn 原子は磁性元素の原子と平行の磁気モーメントを持つことを明らかにしている。つまり、Al 原子の存在は磁性元素の原子の希薄効果で飽和磁化を減少させ、一方、Mn 原子の場合、その磁気モーメントは磁性元素の原子磁気モーメントと反強磁性的配列することで、膜の飽和磁化を減少させると説明している。

Chapter 5 「Effect of Si on microstructure and magnetic properties of FeCoNiCu_{0.5}Si_x high entropy alloy films」では、同時スパッタ法を用い、FeCoNiCu_{0.5}Si_x ハイエントロピー合金薄膜を作製し、Si ターゲットの投入電力により Si の濃度を制御し、異なる Si 濃度の薄膜の構造と磁気特性の評価結果を報告している。薄膜の構造について、基板温度が 300° C 以下では、均一な FCC 構造の薄膜が生成し、400° C から BCC 相の形成が始まり、さらに基板温度が高くなると BCC 相が主要な相になると説明している。一方、磁気特性については、Si の添加で保磁力を減少させる効果を明らかに示している。室温で作製した薄膜について、Si 濃度が 10 at% まで、濃度の増加とともに保磁力が単調に減少し、さらに、基板加熱の場合でも、600° C まで保磁力が 20 Oe 以下に維持できることを明らかにしている。Si の薄膜の保磁力を抑える効果は磁歪の低減によるものと考察している。

Chapter 6 「Amorphization of FeCoNiCu_{0.5}Zr_x high entropy alloy films」では、同時スパッタ法を用い、FeCoNiCu_{0.5}Zr_x ハイエントロピー合金薄膜を作製し、Zr ターゲットの投入電力により Zr の濃度を制御し、異なる Zr 濃度の薄膜の構造と磁気特性の評価結果を報告している。Zr を添加によって、薄膜がアモルファス化することを明らかにしている。このアモルファス化は Zr の添加による原子半径ミスマッチの増大によるものと結論している。さらに、アモルファス化の効果で、膜の保磁力は、Zr 濃度が 7 at% まで、Zr 濃度の増加とともに減少することを明らかにしている。また、真空熱処理した試料についても、温度が 500° C まで、小さい保磁力 (10 Oe 以下) 維持できることも明らかにしている。

Chapter 7 「Conclusions」では、本論文で得られた結果を総括している。

以上を要するに本論文は、Fe, Co, Ni の磁性元素ベースのハイエントロピー合金薄膜について、組成を精密に制御できる作製法を確立し、また、組成、構造と薄膜の磁気特性との関係を明らかにした上、良いソフト磁性を持つ薄膜の作製条件を確立している。作製した各系のハイエントロピー合金薄膜は、保磁力、飽和磁化、抵抗率、熱安定性の観点から実用化できるレベルの高性能を示すと結論している。さらに、DFT 計算によって、非磁性添加元素と磁性元素との相互作用メカニズムも明らかに解明し、工学ならびに工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (学術) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。