

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	マンガン窒化物薄膜の成長と磁気特性に関する研究
Title(English)	Study on the Growth and Magnetism of Manganese Nitride Films
著者(和文)	LIWenchang
Author(English)	Wenchang Li
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11769号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:史 蹟,中村 吉男,木村 好里,林 幸,村石 信二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11769号, Conferred date:2022/3/26, 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 WENCHANG	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	史 蹟	教授	村石 信二	准教授
	審査員	中村 吉男	教授		
		木村 好里	教授		
林 幸		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「**Study on the growth and magnetism of manganese nitride films**」と題し、英文の6章から成っている。

**Chapter 1 「Introduction」**では、室温で安定なマンガン窒化物の種類、物性について紹介し、特に $Mn_4N$ はフェリ磁性を示し、スピン偏極電流で磁壁の高速移動を駆動でき、電流駆動型スピンメモリ用材料として注目されていると紹介している。また、 $MnN$ は反強磁性を示すと同時に、良い熱安定性、強磁性体との強い交換カップリングおよび作製しやすい等の特性があるので、磁気トンネル接合(MTJ)への応用が期待されていると説明している。その上、本研究の目的は各種のマンガン窒化物の生成条件を明らかにし、ガラス基板上に強い垂直磁気異方性を持つ $Mn_4N$ 薄膜を作製し、また、 $MnN$ と強磁性層の交換カップリングのメカニズムを研究・解明することであると述べている。

**Chapter 2 「Structure of manganese nitrides films and perpendicular magnetic anisotropy of  $Mn_4N$  films on glass substrate**」では、反応スパッタリング法によるマンガン窒化物薄膜作製する際、窒素流量と基板温度と生成する窒化物相の関係を明らかにしている。比較的低い基板温度、高い窒素流量の条件下では窒素richの窒化物が生成しやすく、逆に比較的高い基板温度、低い窒素流量の条件下では窒素poorの窒化物相が生成しやすいことが明らかにしている。作製したままの状態では、 $Mn_3N_2$ 相だけが良い結晶性と配向性を示し、また、ガラス基板上c軸配向の $Mn_4N$ 薄膜が垂直磁気異方性を示すことを見出している。

**Chapter 3 「Enhancement of perpendicular magnetic anisotropy of  $Mn_4N$  films on glass substrate by  $Mn_3N_2$  seed layer**」では、 $Mn_4N$ 薄膜の結晶性を改善するために、ガラス基板上に $Mn_3N_2$ をシード層として作製し、さらに、その上に $Mn_4N$ 薄膜を作製することを試み、その結果 $Mn_4N$ 薄膜の結晶性を明らかに改善されていると述べている。 $Mn_3N_2$ 層の役割として、まず核生成のサイトを提供し、さらに成長界面に窒素を提供すると考察している。また、 $Mn_3N_2$ シード層の最適な厚さは16ないし24nmだと結論している。

**Chapter 4 「Epitaxial growth of  $Mn_4N$  film on  $MnO$  seed layer**」では、3章で作製した $Mn_3N_2$ 層を0.2 Paのアルゴンと窒素の雰囲気中250°Cで等温保持することによって、雰囲気中の残留酸素によって酸化され、(001)配向の $MnO$ に変態すると説明している。さらに、 $MnO$ の表面に $Mn_4N$ 薄膜を作製する場合 $MnO [100](001) \parallel Mn_4N [100](001)$ の結晶方位関係で、 $Mn_4N$ が $MnO$ 表面上にエピタキシャル成長することと説明している。また、この条件下では、本研究で一番良い結晶性の $Mn_4N$ 薄膜が作製でき、垂直磁気異方性も明らかに改善されていると述べている。

**Chapter 5 「Primitive exchange coupling in  $CoPt/MnN$  layered structures**」では、 $MnN$ と強磁性

CoPtの層状構造を作製し、界面での交換カップリングについて系統的に研究している。すなわち、CoPt層の上にMnNを作製した場合、作製ままの状態でも交換バイアスを示し、一般的な磁場中冷却のプロセスがなくても界面での強い交換カップリングが起こることを見出している。一般的な磁場中冷却で引き起こる交換カップリングと区別するため、本研究では初めて「Primitive exchange coupling」という概念を提唱している。交換カップリングを引き起こす理由は強磁性のCoPtを作製した際に、マグネトロンスパッタの弱い磁場でもCoPt層が磁化され、さらに、その上に反強磁性のMnNを作成する場合、界面でのスピンの相互作用があり、交換カップリングが形成されると考察している。

**Chapter 6 「General 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、ガラス基板上に強い磁気異方性を示すMn<sub>4</sub>Nを作製する簡便な方法が開発され、薄膜の結晶性、垂直磁気異方性の改善のメカニズムを明らかにするとともに、Mn<sub>4</sub>Nの物性値が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、反強磁性のMnNと強磁性のCoPtの層状構造で、作製したままの状態でも界面での交換バイアスを引き起こすことに成功し、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（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。