



Title	Studies on van der Waals ferromagnetic metal Fe ₅ GeTe ₂ for spintronic devices
Author(s)	太田, 智陽
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/96382
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (太 田 智 陽)

論文題名

Studies on van der Waals ferromagnetic metal Fe_5GeTe_2
for spintronic devices
(スピントロニクスデバイスへ向けた原子層強磁性金属 Fe_5GeTe_2 の研究)

論文内容の要旨

2010年代以降、原子層磁性体に関する研究が急進展している。その中でも Fe_nGeTe_2 の組成比を持つ物質群は、比較的高いキュリー温度($T_C > 200 \text{ K}$)や垂直磁気異方性、金属的な伝導特性を示し、応用の観点から魅力的な物性を有する。特に、 Fe_5GeTe_2 (FGT)は室温を超える高い T_C ($\sim 310 \text{ K}$)を有することから、磁気デバイスへの応用が期待されている。一方で、結晶内の高い磁性元素の充填率に起因した複雑な磁気特性の詳細や、スピントロニクス材料としての性能は未解明であった。

そこで本研究では、FGTをスピントロニクスデバイスに応用するという観点から、FGT薄膜デバイスの研究を遂行した。まず着目した点が、FGT母結晶を合成する方法である。FGT中には、3つの異なるFeサイトが存在し、そのうち2つは310 K近傍で秩序化するが、Fe1サイトと呼ばれるFe原子のみ120 K付近で秩序化する。本研究では、Fe1サイトの特性に大きな影響を与えることが知られている、①結晶合成法と②他原子置換に着目した。結晶合成後に急冷を行ったFGTは、徐冷を行ったものと比べて、Fe1秩序化温度以下で薄膜デバイスの保磁力に大きな違いが生じた。また、FGTのFeの一部をCoで置換すると、磁気相の変調やFe1サイトの優先的置換の影響が薄膜においても明瞭に表れることが分かった。さらに置換率46%である反強磁性相では、薄膜デバイスにおいてスピントロニクス転移にヒステリシスを観測した。

次にスピントロニクスデバイスへの展開の観点から、FGT/Cu/Ni-Feの3層構造デバイスを作製し、スピントロニクス強磁性共鳴法を用いて、③FGTにおけるスピントロニクス効果を測定した。その結果、強磁性転移温度付近でスピントロニクス効果が急激に増大することを明らかにした。さらに、典型的なスピントロニクス材料であるPtやWに匹敵する有効スピントロニクス伝導度を示し、その値は磁性の発現と共に1桁ほど変調できることが分かった。

本研究では、結晶合成法や他元素置換がFGTの薄膜磁性に大きな影響を与えることを示しただけでなく、FGTのスピントロニクス伝導特性の評価にも成功した。これらの結果は、FGT薄膜の磁気特性に関して新たな知見を与えただけでなく、FGTをはじめとする原子層強磁性金属の磁気デバイスへの応用可能性を大きく広げるものである。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (太 田 智 陽)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査	教授 新見 康洋
	副 査	教授 松野 丈夫
	副 査	准教授 酒井 英明
	副 査	准教授 高田 真太郎
	副 査	准教授 小山 知弘 (産業科学研究所)

論文審査の結果の要旨

2010 年代以降、原子層磁性体に関する研究が急進展している。その中でも Fe_nGeTe_2 ($n = 3, 4, 5$) の組成比を持つ物質群は、比較的高いキュリー温度($T_c > 200 \text{ K}$)、垂直磁気異方性、さらに金属的な伝導特性を示し、スピントロニクスデバイスへの応用の観点から魅力的な物性を有する。特に Fe_5GeTe_2 (以後、FGT)は、一連の原子層強磁性体の中で初めて室温を超える高い T_c ($\approx 310 \text{ K}$)をもつことが 2019 年に報告されたが、その一方で、結晶内の高い磁性元素の充填率に起因した複雑な磁気特性の詳細や、スピントロニクス材料としての性能は未解明であった。

そこで太田氏は、FGT をスピントロニクスデバイスに応用するという観点から、FGT 薄膜素子の研究を遂行した。まず着目した点が FGT 母結晶を合成する方法である。FGT 中には、3 つの異なる Fe サイトが存在し、そのうち 2 つのサイトの磁気モーメントは 310 K で秩序化するが、Fe1 サイトと呼ばれる Fe 原子の磁気モーメントは約 120 K で秩序化する。本研究では、Fe1 サイトの特性に大きな影響を与えることが知られている、①結晶合成法と②他元素置換に着目した。機械的剥離法を用いて、FGT を薄膜化し、微細加工技術を用いて、輸送測定が行える素子を作製した。

まず①の結晶合成方法に関しては、結晶合成後に急冷、及び徐冷を行った 2 種類の FGT に対して、厚さが数層から 20 層程度の素子を作製し、縦抵抗とホール抵抗を測定した。急冷した FGT は、徐冷したものと比べて保磁力に大きな違いが生じ、特に数原子層程度まで薄くすることで、保磁力が 0.5 T 程度まで増強することを明らかにした。次に②の他元素置換に関して、FGT の Fe の一部を Co で置換した $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_5\text{GeTe}_2$ では、Co の置換率に応じて、垂直磁気異方性から面内磁気異方性をもつ強磁性相、さらに Co 置換すると反強磁性相を示すことが、バルク結晶で報告されていた。太田氏はこれらのバルク結晶に関しても、数原子層の薄膜素子を作製し、Co 置換率が 19% で面内磁気異方性が強くなること、さらに Co 置換率が 46% の反強磁性相では、バルク結晶には現れないスピントロニクス転移におけるヒステリシスを原子層薄膜素子で初めて観測した。

さらにスピントロニクスデバイスへの応用を目指して、FGT/Cu/Ni-Fe の 3 層構造素子を作製し、スピントルク強磁性共鳴法を用いて、③FGT におけるスピントルク効果を測定した。その結果、強磁性転移温度付近でスピントルク効果が急激に増大することを明らかにした。さらに、典型的なスピントルク材料である Pt や W に匹敵するスピントルク伝導度を示し、その値は磁性の発現と共に 1 桁ほど変調できることが分かった。

本研究では、結晶合成法や他元素置換が、FGT の薄膜磁性に大きな影響を与えることを示しただけでなく、FGT のスピントルク特性の評価にも成功した。これらの結果は、FGT 薄膜の磁気特性に関して新たな知見を与えただけでなく、FGT をはじめとする原子層強磁性金属の磁気デバイスへの応用可能性を大きく広げるものである。以上の理由から、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。