



Title	エピタキシャルホイスラー合金を用いた高効率な純スピニ流生成とその応用に関する研究
Author(s)	沖, 宗一郎
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/55899">https://hdl.handle.net/11094/55899</a>
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、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*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 ( 沖 宗一郎 )	
論文題名	エピタキシャルホイスラー合金を用いた高効率な純スピン流生成とその応用に関する研究
論文内容の要旨	
<p>純スピン流をスピンデバイスに応用するには、強磁性体から非磁性体へのスピン注入において、純スピン流の生成効率を大幅に改善する必要がある。本研究では、純スピン流生成効率の大幅な向上とそれを利用した磁化制御技術を確立するため、①純スピン流生成効率が高いと期待されるCo系ホイスラー合金薄膜の高規則度作製技術の確立、②それを用いた純スピン流生成検出技術の確立と性能実証、③純スピン流注入によるナノ磁性体の磁化ダイナミクス制御を行った。</p>	
<p>① 高規則度エピタキシャルホイスラー合金薄膜作製</p> <p>低温分子線エピタキシー法を用いてSi基板上に各種Co系ホイスラー合金(<math>Co_2FeAl</math>, <math>Co_2FeSi</math>)の形成を行った。<math>Co_2FeAl</math>においては、従来と同様の手法では成長過程におけるSi基板からのSi原子の取り込みを抑制できなかったため、新たに非化学量論組成の同時蒸着手法を開発した。その結果、Si原子の拡散を強制的に抑制することに成功し、組成制御された高規則度<math>Co_2FeAl</math>薄膜を得た。<math>Co_2FeSi</math>においては、Fe-Co置換による<math>Co_{3-x}Fe_xSi</math>薄膜の作製に成功し、組成を系統的に変化させた場合でも結晶規則度を維持した状態で、磁気特性が段階的に変化することを明らかにした。その結果、基板温度60°Cという非常に低温成長であっても、最も高い規則度である<math>L2_1</math>構造を含む薄膜を実証した。</p>	
<p>②エピタキシャルホイスラー合金薄膜を用いた純スピン流の高効率生成</p> <p>上記の各種ホイスラー合金薄膜(<math>Co_2FeAl</math>, <math>Co_{3-x}Fe_xSi</math>)を横型スピンバルブ素子に加工し、純スピン流の生成・検出を行った。<math>Co_{3-x}Fe_xSi</math>薄膜では組成比に応じてスピン信号とスピン偏極率が系統的に変化することを実験的に明らかにした。また<math>B2</math>-<math>Co_2FeAl</math>及び<math>L2_1</math>-<math>Co_2FeSi</math>では従来用いられてきた<math>CoFe</math>, <math>Fe_3Si</math>と比較し、スピン偏極率と純スピン流生成効率が格段に向上することを実験的に明らかにした。特に、<math>Co_2FeSi</math>では最大のスピン偏極率(~0.8)を得ることに成功し、純スピン流の生成効率は従来材料(Py)の約8倍まで増大した。</p>	
<p>③巨大純スピン流による合金ナノ磁石の磁化ダイナミクス制御</p> <p>巨大純スピン流の生成源として<math>Co_2FeSi</math>を用い、磁化ダイナミクス制御に適した材料と期待される<math>Fe_3Si</math>への純スピン注入を行うため、従来にない<math>Co_2FeSi/Fe_3Si</math>ホイスラー2層膜の作製技術を確立した。さらに<math>Co_2FeSi</math>から<math>Fe_3Si</math>への純スピン流注入を行うため、<math>Co_2FeSi-Cu-Fe_3Si</math>横型素子を作製し、<math>Co_2FeSi</math>によって生成された純スピン流を<math>Fe_3Si</math>へ注入し、磁化ダイナミクスを変調することに成功した。制御の効率はPyを用いた場合の3倍以上になることを明らかにした。</p>	
<p>以上の成果は、高規則度エピタキシャルホイスラー合金の作製技術および、それによる高効率純スピン流生成と磁化ダイナミクス制御の先駆的研究であり、純スピン流を利用した次世代スピンデバイスの実現に向けた応用への道を開拓する指針となるものである。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 沖 宗一郎 )		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主査 教授	浜屋宏平
	副査 教授	酒井朗
	副査 教授	鈴木義茂
	副査 准教授	能崎幸雄 (慶應義塾大学 理工学部物理学科)

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、次世代の低消費電力技術として期待されているスピントロニクスという研究分野において、近年注目を集めている「純スピニン流」を高効率に生成するための要素技術(材料から微細素子まで)を独自に開発し、純スピニン流という概念を次世代デバイスへ応用できる可能性を示したものである。

純スピニン流は、電荷の流れを伴わないスピニン角運動量のみの流れであり、これを効率よく生成することができれば、配線や素子中のジュール発熱を抑制することができ、大幅な低消費電力化につながると期待されている。しかし、これまでの研究では、この純スピニン流を生成するために強磁性体に大電流を印加する必要があったため、応用への道は険しいとされていた。これに対して、沖氏は、ハーフメタル特性が予想されているCo系ホイスラー合金という規則合金材料に注目し、これをSi基板上に高品質に作製することで純スピニン流の生成効率を飛躍的に向上させ、独自の微細素子構造を利用したナノ磁石の磁化ダイナミクス制御の高効率化を実証した。これにより、純スピニン流のデバイス応用への道が開拓されたものと考えられる。

本論文は5章から校正されている。第1章では序論及び高性能スピントロニクス素子実証のためのCo系ホイスラー合金材料の重要性、および、応用を指向した純スピニン流に関する先行研究の紹介がなされている。ここでは、純スピニン流を応用するための課題として、低消費電力で純スピニン流を生成することの必要性を述べている。第2章では、次世代半導体素子上への純スピニン流の応用の可能性を考慮し、Si基板上へのCo系ホイスラー合金薄膜の高品質実証に関する取り組みが述べられている。ここでは、これまで高温アニール処理でしか実証することのできなかったCo系ホイスラー合金の規則構造化という課題に対して、分子線エピタキシー(MBE)法を利用した独自の組成制御技術を開発し、200°C以下の結晶成長温度で70%以上の規則構造化を実証していることが述べられている。第3章では、これらのCo系ホイスラー合金を微細加工する技術を開発し、横型スピニンバルブ素子を利用した純スピニン流の生成・検出手法を利用した材料性能の評価と高性能化への指針が明らかにされている。ここでは、室温におけるスピニン偏極率が0.8に達する高性能Co系ホイスラー合金を実証しており、純スピニン流の生成効率に換算して、従来材料の約8倍にも達する高性能化を実現していることが述べられている。第4章では、これまで開発してきた技術を実際の素子構造へと応用する取り組みが示されており、純スピニン流注入技術を用いてナノ磁石の磁化ダイナミクスを制御する実験が行なわれている。Co系ホイスラー合金から生成された巨大純スピニン流を、低ダンピング定数材料であるFe系ホイスラー合金材料へ注入するための独自技術を新しく開発し、世界的にも非常に珍しい異種ホイスラー材料間での純スピニン流注入・検出素子を用いた手法が用いられている。この手法によるダンピング定数の変調効率から、ナノ磁石の磁化ダイナミクスを高効率に制御可能であることが述べられている。第5章では、研究の総括と今後の展望が述べられており、これまでの成果を基にスピニン注入磁化反転技術や高周波磁化発振技術に対する印加電流密度を算出した結果、従来技術に対して2桁の電流密度の低減が見込まれることが述べられている。

平成28年2月24日に審査担当者と沖氏で審査委員会を開催し、沖氏に博士論文の内容に関する説明を行わせた後、質疑・討論及び口頭試問を行った。論文の内容は世界的にも極めて優れた内容と先進性を有していること、実験技術やその性能向上への取り組みは極めて優れており新規性に富んでいることを確認した。また、沖氏は質疑においても本分野における十分な物理的知見を有しており、広範な知識と深い理解を有していることが確認できた。

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るに至った。