

Title	Voltage-controlled interfacial magnetism in Fe/MgO-based structure: interface engineering approach
Author(s)	Suwardy, Joko
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/73592">https://doi.org/10.18910/73592</a>
DOI	10.18910/73592
rights	
Note	

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

## Abstract of Thesis

Name (Joko Suwardy)	
Title	Voltage-controlled interfacial magnetism in Fe/MgO-based structure: interface engineering approach (Fe/MgO構造における界面磁性の電圧制御：界面工学的アプローチ)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>Spintronics research has been triggered due to the rich physics beneath it and the tremendous novel applications. One of the most promising applications of spintronic devices is magnetoresistive-random access memory (MRAM) because it promises to be universal memory owing to non-volatility, high-endurance and fast operation speed. However, the manipulation of spin in MRAM is still dominated by an electric-current application, which possesses a Joule heating that too large to be ignored. To achieve a greater impact, energy consumption in MRAM have to be reduced and thus novel scenario of magnetization switching in MRAM is necessary. One of the candidates is voltage-driven switching based on voltage-controlled magnetic anisotropy (VCMA) effect. However, some challenges remain for voltage-driven switching MRAM, such as thermal stability and deterministic switching. These two obstacles can be solved by large VCMA effect, so-called VCMA coefficient, and large voltage-controlled interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction (VCDMI). Therefore, the research for material which possesses a large coefficient of the both effects are necessary.</p> <p>I focused on material research for large VCMA, as well as VCDMI. These two effects are interfacial phenomena and therefore, the manipulation of material and interface is the key. In this study, several materials, 3<i>d</i>-metal (Fe, Co, Ni), 4<i>d</i>-metals (Pd) and 5<i>d</i>-metal (Ir), are utilized to manipulate the interface of Fe/MgO. The characterization was conducted by using propagating spin-wave spectroscopy. The modulation of resonance frequency of the spin-wave due to voltage application is analyzed and the changes in interfacial perpendicular magnetic anisotropy (i-PMA) and i-DMI are estimated. I demonstrated the enhancement of VCMA and VCDMI via interface manipulation.</p> <p>Chapter 2 describes the theoretical method and experimental method. The “theoretical method” explains the magnetization dynamics and dispersion relation of magnetostatic surface spin wave from which the VCMA and VCDMI are estimated. The “experimental method” session explains the procedure of sample fabrication and spin-wave spectroscopy measurement through antenna method.</p> <p>Chapter 3 presents the result and discussion on VCMA and VCDMI. Different materials insertion enhances VCMA in different ways. For Pd, insertion to the top layer are effective to enhance VCMA and the ferromagnetic layer underneath it, through ferromagnetic proximity effect, determines the magnitude. For Ir, the most effective structural to enhance VCMA is when the Ir atoms are located in the second layer from MgO. Furthermore, I demonstrate that the increase in Ni concentration in CoNi-alloy decreases VCMA. We found that pure-Co as the 3<i>d</i> ferromagnetic layer has the maximum VCMA. The VCDMI is demonstrated to be simultaneously tuned and having a magnitude in the same order with VCMA. These results are important for voltage-driven MRAM development.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Joko Suwardy)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教授 鈴木 義茂
	副 査 教授 小口 多美夫
	副 査 教授 石渡 晋太郎
	副 査 准教授 三輪 真嗣 (東京大学物性研究所)

## 論文審査の結果の要旨

提出された論文はスピントロニクスと呼ばれる学問・技術分野に関するものである。スピントロニクスにおいては、高効率な磁化方向制御を可能にする物理機構の発見と解明が重要な課題の一つとなっている。従来、磁化方向の制御には電流が作る磁界やスピン偏極した電流の直接的な注入が用いられてきた。しかし、どちらの方法も電流を必要とするためにジュール熱が発生し、電力を無駄に消費する。同様な問題を避けるために、半導体物理においては電流駆動型のバイポーラトランジスタから電圧駆動型の電界効果トランジスタへの転換が図られた。そこで、スピントロニクスの分野でも電圧駆動型の磁化制御機構を見出しその物理機構を解明することが求められている。本論文では、超薄膜強磁性金属/絶縁体接合素子を作製し、その界面に発生する磁気異方性とジャロシンスキー守谷相互作用を界面への電圧の印加により制御する方法が提案されその効果が報告された。本論文では金属と絶縁体の界面の精密な制御の方法として以下の3つの方法を試みている。1. 界面へのCo/Pd原子層の挿入、2. 原子制御されたIr人工合金の形成、3. CoとNiの合金原子層の挿入による電子数の制御。その結果、それぞれの手法において電圧誘起界面磁気異方性および電圧誘起ジャロシンスキー守谷相互作用の制御が可能であることが示された。

本論文の研究において全ての試料は分子線エピタキシー法により自ら作製された。第一の試料はFe/MgO界面にCo/Pdの原子層を挿入したものである。FeとPdは容易に合金化するが、Coを間に挿入することによりPdとFeの合金化を避けて原子層を成長することが可能となる。実験の結果、Co/Pd層の挿入により電圧誘起界面磁気異方性および電圧誘起ジャロシンスキー守谷相互作用が大きくなることを見いだされた。また、アニールにより原子層構造を壊すと効果が小さくなることから、この系では制御された原子層の形成が電圧効果を得るために重要であることが示された。第二の試料はFe/MgO界面付近のFe層内部にIrを少量添加して人工的に合金を作製したものである。Irを添加する原子層のFe/MgO界面からの距離を原子層の単位で変化させた結果、界面から2原子層目にIrを添加した場合に電圧誘起界面磁気異方性および電圧誘起ジャロシンスキー守谷相互作用が大きくなることを見いだされた。この結果は、理論的な予想とも一致し、電圧誘起界面磁気異方性および電圧誘起ジャロシンスキー守谷相互作用を制御するためには合金の場合においても配位する原子の位置を原子層単位で制御することが重要であることを証明する興味ある結果である。第三の試料はFe/MgO界面にCoNi合金原子層を挿入したものである。合金組成を連続的に変化させることにより、dバンドの電子数を変化させることができる。その結果、d電子数の最も少ない純粋なCo層の挿入が最も効果的であるとの結果が得られた。この結果は電圧誘起界面磁気異方性および電圧誘起ジャロシンスキー守谷相互作用がd電子数に敏感であることを示すものである。

これらの成果は国際的な英文学術誌に原著論文として発表されている。また、国外・国内の会議においてもいくつかの講演を行っており、その成果は国際的に高く評価されている。発表は明解であり、質問にも的確に答えており基礎物性をよく理解しているといえる。以上より本論文は博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認めらる。