

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－英国研究交流）

1. 研究課題名：「強磁性体/半導体接合からなる面内スピバルブにおける効率的なスピン電圧/電流の生成」
2. 研究期間：平成21年4月～平成24年3月
3. 支援額： 総額 19,122,000円（うち直接経費 17,384,000円）
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	大野 裕三	東北大学電気通信研究所	准教授
研究者	大野 英男	東北大学電気通信研究所	教授
研究者	松倉 文礼	東北大学電気通信研究所	准教授
研究者	小林 裕臣	東北大学電気通信研究所	大学院学生
研究者	金子 雄基	東北大学電気通信研究所	大学院学生
参加研究者 のべ 5 名			

英国側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Atsufumi Hirohata	ヨーク大学電気学科	講師
研究者	Kevin O'Grady	ヨーク大学物理学科	教授
研究者	Luke Fleet	ヨーク大学電気学科	大学院学生
参加研究者 のべ 3 名			

5. 研究・交流の目的

・研究の目的：面内スピバルブ構造を用いて、電子の流れを伴わないスピン電流及び電圧の効率的な生成を目指す。非局所手法を用いた面内素子では、高効率なスピン注入がトンネル障壁を介して強磁性細線から非磁性細線に実現される。この蓄積された電子スピンは、トンネル障壁を介して強磁性細線と非磁性細線間の電位差として効率よく検出される。また、トンネル障壁を取り除けば強磁性細線へのスピン流として高効率に取り出すことが可能である。このようなスピン電圧・電流源の実現は、将来のスピン트로ニクス応用において不可欠な基幹技術であるが、現在まで非磁性金属のスピン拡散長の長さ(室温において数100 nm)に起因する微細加工の困難から実現していない。そこで、スピン拡散長が1桁以上長いGaAsなどの半導体を用いることで、このようなスピン電圧・電流源の実現を目指す。

・交流の目的：スピン트로ニクスの研究は、金属、半導体両方の分野で進展してきたが、新しいハイブリッド面内構造を開発し、スピンデバイスを現在のSi-ベースの極微細ナノ電子デバイスに組み込むためには、両分野の融合が必要不可欠である。歴史的に、英国の研究者は磁性の基礎物性と磁性体の研究を先導してきた。一方、日本ではSi-ベースの半導体

と磁気応用技術の開発を先導してきた。特に、York 大学は非常に精確な磁気測定ツールを有している一方、東北大学は高品質の薄膜成長とナノ微細加工施設を有している。両者が相補的に研究を行うことによって、面内スピントランジスタや縦型ナノピラーなどの強磁性体/半導体ハイブリッド構造の実現に向けたスピントロニクス共同研究が強められると期待される。

## 6. 研究・交流の成果

### 6-1 研究の成果

表面をヒ素膜で保護した n-GaAs を日本側チームで作製し、これを英国側チームに送ってヨーク大学の金属分子線エピタキシャル装置によって Cu/Fe 膜を成膜しエピタキシャル強磁性金属/半導体接合の試作を行った。英国チームでは透過電子顕微鏡を用いてこの接合断面近傍の原子像を観察し、金属薄膜成膜直後と 200°Cアニール後の界面の結晶構造に差異が生じることが見出された。同時に日本側チームで研究を進めている CoFe/MgO/n-GaAs トンネル磁気接合について、日本側チームで作製した構造をヨーク大学に送り、高分解断面TEM像観察を行った結果、ほぼ規則的な原子配列を有する MgO/n-GaAs 界面が形成されていることを確認した。この結果は日本側チームより Conference on Magnetism and Magnetic Materials で成果発表を行った。東北大学電気通信研究所大野研究室における顕微鏡一回転測定法を用いることにより、東北大と York 大共同で作製した Fe/n-GaAs<sub>3</sub> 端子素子および東北大で作製された CoFe/MgO/n-GaAs<sub>3</sub> 端子素子におけるスピン注入・スピン蓄積およびスピン輸送を光学的に評価することにより、スピン拡散長、スピン分極率など定量的な評価に成功した。また、電流と平行方向にスピン注入・蓄積を可能にする垂直磁化を有する CoFeB/MgO/n-GaAs 積層構造の作製に取り組み、磁化特性測定では良好な垂直磁化強磁性薄膜が GaAs 上に形成できることを確認した。

### 6-2 人的交流の成果

本研究課題に従事している英国ヨーク大学の博士課程学生が研究担当者とともに日本側研究室に3年間、毎年約2カ月滞在し、最先端のプロセス・評価設備を用いてデバイス作製・電氣的・光学的評価等の研究を行った。また、日本側研究室所属で本研究課題に従事している修士課程学生が1週間相手国(英国・ヨーク大学)に滞在し、世界最高性能の走査トンネル電子顕微鏡を用いた半導体/磁気トンネル接合界面の観察を行うなど、互いに相手国の若手研究者を受け入れそれぞれのチームの有する最先端研究設備を用いた実験を行うことにより研究交流を深めた。本研究に従事した修士課程学生は、修了後、専門分野は違うがグローバルな製造メーカーに就職した。本プログラムを通じて、外国の研究者・博士課程学生と共同で研究や討論の経験を積めたことが大きく作用していると考えられる。

## 7. 主な論文発表・特許等(5件以内)

相手国側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	<ul style="list-style-type: none"> <li>・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年</li> <li>・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等</li> </ul>	備考
論文	L. R. Fleet, Kobayashi, Y. Ohno, J.-Y. Kim, C. H. W. Barnes and A. Hirohata, Interfacial structure and transport properties of Fe/GaAs(001), J. Appl. Phys., 07C504	相手国と共著
論文	L.R. Fleet, K. Yoshida, H. Kobayashi, Y. Ohno, H. Kurebayashi, J.-Y. Kim, C.H.W. Barnes, and A. Hirohata, 112. Schottky Barrier Height in Fe/GaAs Films, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS 46 (2010) 1737-1740	相手国と共著
論文	L.R. Fleet, K. Yoshida, H. Kobayashi, Y. Kaneko, S. Matsuzaka, Y. Ohno, H. Ohno, S. Honda, J. Inoue and A. Hirohata, Transport and Structural Properties of The Abrupt Fe/GaAs(001) Interface, Phys. Rev. Lett. (accepted)	相手国と共著