

課題番号	GR099
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	スピントロニクス技術を用いた超省電力不揮発性トランジスタ技術の開拓
研究機関・ 部局・職名	独立行政法人産業技術総合研究所・ ナノスピントロニクス研究センター・研究チーム長
氏名	齋藤 秀和

1. 当該年度の研究目的

本年度は主にゲルマニウム(Ge)へ強磁性トンネル接合からの電氣的スピン注入実験に取り組む。Ge はシリコン(Si)を超えるキャリア移動度を有することから次世代半導体として注目されている材料である。スピントランジスタのチャネル材料としても期待されるが、これまで、スピンに依存したトランジスタ動作に必要な強磁性体からのスピン偏極電子注入の報告例はない。本研究ではトンネル障壁層として Ge 上へ単結晶成長可能である酸化マグネシウム(MgO)を用いる。これまでの研究で培った金属/絶縁体/半導体接合技術を駆使し、膜を超高真空中で一貫して作製することにより、室温でのスピン注入・検出を可能にする高品位接合を実現する。その後、実際にスピン注入実験に挑む。

2. 研究の実施状況

次世代半導体材料の p 型ゲルマニウムの中へ、世界で初めて磁性体のスピン情報を入力することに成功した(H. Saito *et al.*, Solid State Communications **151**, (2011) 1159.)。さらに、室温でのスピン情報の入力にも成功した(S. Iba *et al.*, Applied Physics Express (2012) 掲載決定)。

グリーン IT は、クリーンで持続可能な生活環境を守る上での柱となる技術であり、現在、IT 機器の省エネルギー化が求められている。このため、スピントロニクスと呼ばれる新技術の導入により、電子デバイスの消費エネルギーの劇的な削減を目指す研究が現在盛んに行われている。この技術を用いれば、磁性体を持つ電子スピン情報(電気を切っても情報は失われない)を半導体中に入力して演算に利用できることが見込まれるため、超省電力のスピントランジスタの実現が期待されている。p 型ゲルマニウムは現行の半導体材料であるシリコンの数倍ものキャリア移動度をもち、高速動作できる次世代トランジスタ材料として注目されている。したがって、p 型ゲルマニウムに磁性体からのスピン情報を効率良く入力することができれば、グリーン IT 化に向けての大きな推進力となることが期待される。しかし、これまでスピン情報の入力は実現されていなかった。

我々は、これまでの研究で培った強磁性トンネル電極作製技術を駆使し、スピン入力用電極として鉄と酸化マグネシウム(約 2 ナノメートル)からなる高品位単結晶電極を作製したことより、室温までのスピン情報の入力に成功した。今回の成果は、ゲルマニウムを用いたスピントランジスタの実現に道を拓くものであり、グリーン IT の発展へ大きく貢献できると期待される。

様式19 別紙1

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 4 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 3 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S. Watanabe, H. Saito, Y. Mineno, S. Yuasa, and K. Ando, "Origin of very low effective barrier height in magnetic tunnel junctions with a semiconductor GaO_x tunnel barrier", Japanese Journal of Applied Physics, 50, (2011) 113002-1. 2. H. Saito, S. Watanabe, Y. Mineno, S. Sharma, R. Jansen, S. Yuasa, and K. Ando, "Electrical creation of spin accumulation in p-type germanium", Solid State Communications 151, (2011) 1159. 3. S. Iba, H. Saito, A. Spiesser, S. Watanabe, R. Jansen, S. Yuasa, and K. Ando, "Spin accumulation in nondegenerate and heavily doped p-type germanium", Applied Physics Express 5, (2012) 023003. <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件 (未掲載) 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S. Iba, H. Saito, A. Spiesser, S. Watanabe, R. Jansen, S. Yuasa, and K. Ando, "Spin accumulation and heavily doped p-type germanium", Applied Physics Express (2012) 掲載予定.
<p>会議発表 計 5 件</p>	<p>専門家向け 計 4 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. H. Saito, S. Watanabe, Y. Mineno, S. Sharma, R. Jansen, S. Yuasa, and K. Ando, "Electrical creation of spin accumulation in p-type Ge with an epitaxial Fe/MgO tunnel contact", 2011 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov. 14-18, 2011, Atranta, USA. 2. H. Saito, S. Watanabe, Y. Mineno, S. Sharma, R. Jansen, S. Yuasa, and K. Ando, "Electrical creation of spin accumulation in p-type Ge", 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sep. 28-30, 2011, Nagoya, Japan. 3. 齋藤秀和、渡邊克、揖場聡、S. Sandeep、R. Jansen、湯浅新治、安藤功兒、"半導体 Ge へのスピン蓄積に及ぼすショットキー障壁の影響"、日本応用物理学会秋季大会、平成 23 年 8 月 29 日～9 月 2 日、山形大学、山形市 4. 揖場聡、齋藤秀和、A. Spiesser、渡邊克、湯浅新治、安藤功兒、"縮退および非縮退 p 型 Ge におけるスピン蓄積"、日本応用物理学会春季大会、平成 24 年 3 月 15 日～18 日、早稲田大学、東京 <p>一般向け 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 齋藤秀和、"半導体スピントロニクス素子のためのトンネル障壁層の開発"、GCOE シンポジウム、平成 23 年 11 月 18 日、北海道大学、札幌市。
<p>図書 計 0 件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状 況 計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件 (出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>"磁石の不思議な世界～聞いて、さわって、体験しよう～"、平成 24 年 2 月 4 日、日本科学未来館(東京)、小学生対象、参加人数80名、磁石の性質や役割について講演や体験コーナーを通して理解を深める</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計 0 件</p>	
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	126,000,000	93,400,000	0	32,600,000	0
間接経費	37,800,000	28,020,000	0	9,780,000	0
合計	163,800,000	121,420,000	0	42,380,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	93,300,000	0	0	93,300,000	90,512,382	2,787,618	0
間接経費	27,990,000	0	0	27,990,000	27,990,000	0	0
合計	121,290,000	0	0	121,290,000	118,502,382	2,787,618	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	81,417,293	分子線エピタキシー装置、超電導マグネット等
旅費	1,210,150	研究成果発表(応用物理学会)等
謝金・人件費等	6,336,252	博士研究員人件費
その他	1,548,687	電子顕微鏡観察、学会参加費等
直接経費計	90,512,382	
間接経費計	27,990,000	
合計	118,502,382	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
精密手動スクライバー	ムサシノ電子株式会社	1	997,500	997,500	2011/6/28	産業技術総合研究所
ベリリウム塊	アサヒメタル商事株式会社	1	907,200	907,200	2011/9/8	産業技術総合研究所
四重極型質量分析計	株式会社アールデック	1	1,243,200	1,243,200	2011/11/22	産業技術総合研究所
アルカリ金属エバポレータ	株式会社アールデック	1	997,500	997,500	2011/11/28	産業技術総合研究所
III-V族半導体成長用分子線エ ピタキシー装置	株式会社エイコー	1	58,800,000	58,800,000	2011/12/26	産業技術総合研究所
III-V族半導体成長用分子線エ ピタキシー装置改造	株式会社エイコー	1	2,947,350	2,947,350	2011/12/26	産業技術総合研究所
光学特性測定用超伝導マグ ネット	オックスフォード・インストウ ルメンツ株式会社	1	12,761,700	12,761,700	2012/1/10	産業技術総合研究所
高性能データレコーダー	株式会社キーエンス	1	577,500	577,500	2012/3/13	産業技術総合研究所