

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25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

強磁性体から半導体へのスピン偏極電子注入(スピン注入)は不揮発性トランジスタ(スピントランジスタ)実現のための基盤技術である。これまでの研究により、強磁性トンネル接合を実用半導体である Ge や Si 上へ作製し、それを用いたスピン注入の実証実験に室温で成功している。デバイス化に向けては半導体中へ注入された電子スピンの偏極率を求めることが必要である。そこで本年度は Ge へ注入されたスピン偏極率を得るために、Ge を用いた発光素子の作製に挑んだ。また、III-V 族半導体ベースのスピン検出用発光素子の作製も行った。更に、電流に代わるスピン注入技術の開発を目的として、熱を利用した Si へのスピン注入に関する詳細な実験を同分野の第1人者である R. Jansen 氏との共同研究の下で行った。

2. 研究の実施状況

近年、Si 基板上に作製された Ge 発光素子は光・電子デバイスの集積化の観点より盛んに研究されている。しかし、従来は Ge の光スピン素子の観点からは研究がなく、強磁性体(金属)電極を有する Ge 基発光素子は報告されていない。そこで、これまでの研究で確立した Ge 上の高品位強磁性トンネル電極作製技術を生かして、強磁性/トンネル層/n 型 Ge/p 型 Si から構成される発光素子を作製し、東京大学深津研究室と共同で発光実験を行ったところ、Ge 層からの発光観測に室温で成功した。

GaAs 等の III-V 族半導体による発光素子の作製は、本プロジェクトにて購入した III-V 族半導体成膜装置のトラブルのため実験が遅延していた。昨年度中に装置の修理を終え、半導体膜の作製を本格的に開始することができた。これまで、GaAs/AlGaAs 多重量子井戸の成膜条件およびそれを発光層に用いた発光素子の作製を行った。作製した素子の発光実験を行い、スピン偏極率測定に十分な光量が室温で得られることを確認した。また、無磁場中にてスピン偏極測定を行うために必要である垂直磁気異方性を有する強磁性電極の開発も並行して行った。具体的には Tb/Fe 多層膜を分子線エピタキシー法にて作製し、室温にて高品位の垂直磁化膜を得ることができた。

一方で、熱による Si へのスピン注入技術に関して当初の予想を超える成果を得ることができた。既に R. Jansen 氏との共同研究において、強磁性電極と Si 間に熱勾配を設けることにより電流を流すことなく Si へのスピン注入が可能であることを見出ししていたが、今回、同時に強磁性/Si 間に電界を印加することにより熱誘起のスピン信号強度を変調することに成功するとともに、同現象が強磁性体のバンド構造に由来することを明らかにした。この成果は大きな反響を呼び、Nature Materials 誌に掲載された。

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 1) A. Spiesser, Y. Sato, H. Saito, S. Yuasa and K. Ando, "Epitaxial growth of ferromagnetic semiconductor GaMnAs film on Ge(001) substrate", <i>Thin Solid Films</i> 536, 323 (2013). 2) S. Sharma, A. Spiesser, S. P. Dash, S. Iba, S. Watanabe, B. J. van Wees, H. Saito, S. Yuasa, and R. Jansen, "Anomalous scaling of spin accumulation in ferromagnetic tunnel devices with silicon and germanium", <i>Physical Review B</i> 89, 075301 (2014). 3) K. R. Jeon, B. C. Min, A. Spiesser, H. Saito, S. C. Shin, S. Yuasa, and R. Jansen, "Voltage tuning of thermal spin current in ferromagnetic tunnel contacts to semiconductors", <i>Nature Materials</i> 13, 360 (2014). (掲載済み一査読無し) 計 1 件 1) 齋藤秀和, "強磁性トンネル接合を用いた Ge への電氣的スピンの偏極電子生成", <i>Magnetics Japan</i> 8, 237 (2013). (未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 7 件</p>	<p>専門家向け 計 7 件 1) (招待講演) H. Saito, "Electrical spin injection into semiconductors", <i>Energy Materials Nanotechnology Fall meeting</i>, Dec. 7-10 2013, Orlando, USA 2) (招待講演) 齋藤秀和, "半導体スピントロニクス最前線", 日本学術振興会将来加工技術第136委員会, 2013年5月10日, 東京 3) 揖場 聡, 齋藤 秀和, A. Spiesser, 渡邊 克, R. Jansen, 湯浅 新治, 安藤 功兒, "Spin Accumulation and Spin Lifetime in p-Type Germanium at Room Temperature", 応用物理学会秋季学術講演会, 2013年9月16-20日, 京田辺市, 京都 4) A. Spiesser, S. Sharma, H. Saito, S. Yuasa, K. Ando, B. J. van Wees, R. Jansen, "Origin of Anisotropy of Spin Accumulation Induced by Tunneling in Si and Ge", <i>International Conference on Solid State devices and Materials</i>, Sep. 24-27 2013, Fukuoka, Japan. 5) Y. Sato, A. Spiesser, H. Saito, K. Ando, S. Yuasa and N. Miura, "Epitaxial Growth of Ferromagnetic Semiconductor Ga_{1-x}Mn_xAs Film on Ge(001) Substrate", <i>International Conference on Solid State devices and Materials</i>, Sep. 24-27, 2013 Fukuoka, Japan. 6) A. Spiesser, H. Saito, R. Jansen, S. Yuasa, and K. Ando, "Spin Accumulation induced in Ge using an Epitaxial Mn₅Ge₃ Schottky Contact", <i>Conference on Magnetism and Magnetic Materials</i>, Nov. 4-8 2013, Denver, USA. 7) H. Saito, Y. Sato, T. Takada, R. Jansen, S. Yuasa, and K. Ando, "Reduction of Schottky Barrier Height for Fe/<i>n</i>-type Ge Junction by Inserting a Thin GeO₂ Layer", 応用物理学会春季学術講演会, 2014年3月17-20日, 相模原市, 神奈川 一般向け 計 0 件</p>
<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 26 年 3 月 9 日、日本大学(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25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

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	109,700,000	16,300,000	0	0
間接経費	37,800,000	32,910,000	4,890,000	0	0
合計	163,800,000	142,610,000	21,190,000	0	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	32,078	16,300,000	0	16,332,078	16,332,078	0	0
間接経費	0	4,890,000	0	4,890,000	4,890,000	0	0
合計	32,078	21,190,000	0	21,222,078	21,222,078	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	12,769,031	低温磁場中物理特性評価装置、除振台、半導体基板
旅費	1,155,940	研究成果発表旅費(応用磁気学会)等
謝金・人件費等	0	
その他	2,407,107	成膜装置改造、電子顕微鏡写真、学会参加費等
直接経費計	16,332,078	
間接経費計	4,890,000	
合計	21,222,078	

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
電子スピン検出用除 振台ユニット	明立精機株式会 社	1	1,452,938	1,452,938	2013/10/18	産業技術総合研 究所
半導体(ゲルマニウ ムonシリコン)単結晶	有限会社デンザ イ	1	651,000	651,000	2013/10/8	産業技術総合研 究所
AVC社製アルカリ金 属エバポレーター	AVC	1	558,600	558,600	2014/2/19	産業技術総合研 究所
低温磁場中物理特 性評価装置	株式会社パスカ ル	1	7,854,000	7,854,000	2014/3/20	産業技術総合研 究所