

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760025

研究課題名（和文） 走査プローブ顕微鏡によるスピン流分布計測

研究課題名（英文）

spin current distribution measurement by scanning probe microscopy

研究代表者

浜田 雅之（HAMADA MASAYUKI）

東京大学・物性研究所・技術専門職員

研究者番号：00396920

研究成果の概要（和文）：

スピントロニクスでは、スピン流の生成・検出技術の開発が極めて重要な課題である。近年の微細加工技術の発達によって、面内スピンバルブ構造の作成が実現されるようになり、実際にスピン流検出の報告がなされている。本研究では、走査プローブ顕微鏡（SPM）の探針を面内スピンバルブ構造における一電極とすることにより、スピン偏極トンネル電流を局所的に検出して、スピン流の空間分布を2次元的にマッピングすることを最終目標とした。我々は、その測定に必要となる走査トンネルポテンシオメトリーの開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

In spintronics, development of the generation and detection methods of spin current is a very important issue. By the progress of microfabrication techniques in recent years, the lateral spin-valve devices have come to be realized and several reports on spin current detection have been reported. In this study, by detecting spin-polarized tunnel current locally with using a tip of scanning probe microscopy as one electrode of the lateral spin-valve devices, we aimed at two-dimensional mapping of the spin current distribution. We have developed scanning tunneling potentiometry (STP) which was essential for the spin detection.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、薄膜・表面界面物性

キーワード：走査プローブ顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

近年、半導体デバイスの微細化が進み、素子の描画線幅がナノスケールのオーダーに縮小されてきた。しかし、更なる微細化に伴い量子力学的効果が支配的になり、素子がこれまでのように機能しないことが予想され

る。

そこで、電子の電荷自由度のみを利用してきたこれまでのエレクトロニクスに変わって、電子スピンの自由度を積極的に活用したスピントロニクスが注目を浴びており、全く新規の機能・特性を持つデバイスの開発が期

待されている。この分野の土台となる物理概念の一つとして、電子スピン角運動量の流れであるスピン流がある。これは、同量のアップスピンとダウンスピンが互いに逆向きに運動し、スピン角運動量は流れているが、正味電流はゼロの状態である。この流れは時間反転対称性があるためエネルギーの散逸なしに伝送できる可能性があり、新規の高効率デバイスの駆動源として注目を浴びている。実際に、スピン流によるデバイスを開発するには、この流れの生成・検出技術を確立することが重要である。

2. 研究の目的

スピン流を生成・検出する例として、図1のような面内スピンバルブ構造がある。強磁性金属A（注入端子）から常磁性金属Cに電流を流すと、界面付近のスピン蓄積によってスピン圧が生じる。このスピン圧は物質中のスピン緩和によって指数関数的に減衰し、界面からのスピン拡散長程度の距離で消失する。つまり、常磁性体金属C内の強磁性金属Aより右側には電流が流れていないが、スピン圧の勾配が存在するために、スピン拡散長程度の距離の範囲にスピン流が流れることが実験的に報告されている。そこで、本研究では、図1の強磁性金属Bの代わりに、走査プローブ顕微鏡（SPM）の探針を検出端子として用いて（図2）、スピン流の拡散の様子をスピン偏極トンネル電流の分布として2次元的にマッピングすることを目的とした。

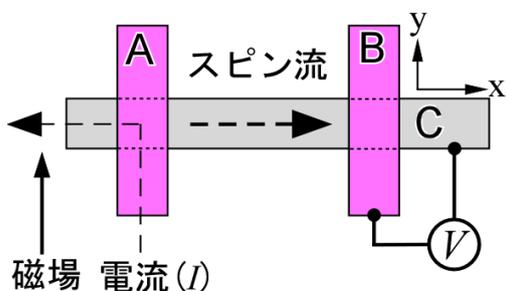


図1

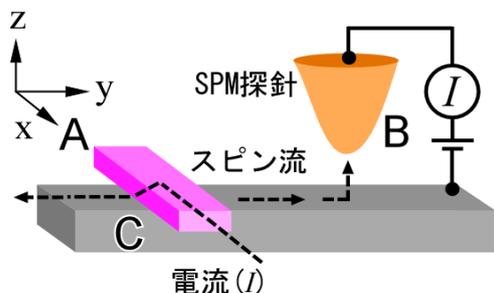


図2

3. 研究の方法

本研究では、スピン流が作り出す極めて微弱なスピン分圧を測定する必要がある。そこで、我々は、以前の研究で既に立ち上げた水晶振動子をセンサーとしたSPMに新たに自作した回路を追加することで、走査トンネルポテンシオメトリー（STP：scanning tunneling potentiometry）と呼ばれる機能を導入した。この機能は、試料表面に平行に電流が流れている領域の電位分布を、走査トンネル顕微鏡（STM：scanning tunneling microscopy）を用いて検出したトンネル電流から描き出す手法で、ナノスケールの高い空間分解能と μV レベルという極めて高感度な電位分解能を有していることが知られている。検出したスピン偏極トンネル電流を、このSTPで処理することによって、スピン電流に起因するポテンシャル変化を高感度で測定できることが期待される。

また、測定する試料が非金属的な電圧・電流特性を持つ場合でも、測定を行えるように、通常のSTPに独自の改良を施した。このようにすることで、面内スピンバルブ構造の予期せぬ電圧電流特性があっても対応できると期待される。

4. 研究成果

STPは交流法、直流法、ノイズ法などのいくつかの手法があるが、それらの回路系は、基本的には、ゼロバイアス付近で、トンネル電流がゼロになるように探針-試料間のバイアス電圧をフィードバック制御することにより、電位を決定している。そのため、ゼロバイアス付近でも有限のコンダクタンスを有する金属的な試料に対しては測定し易いが、フェルミ準位付近にバンドギャップを持つ半導体のような非金属試料の電位分布を測定するのは非常に困難である。

そこで、我々はそのようなギャップを持つ非金属試料の電位分布も測定できるように、従来の交流法を改良して、任意のトンネル電流をセットポイントとして設定可能で、かつ、バイアス電圧のフィードバック制御の範囲をそれに順応できる新しいSTP法（図3）の

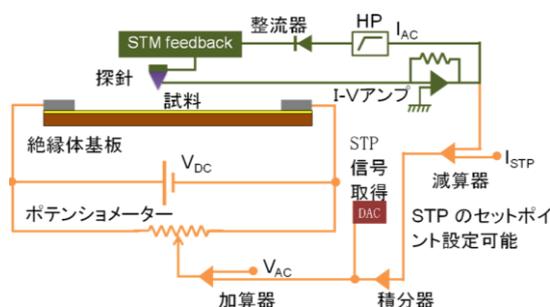


図3

開発を行った。

新 STP の主な特徴は、任意のトンネル電流設定に対応するために、探針制御用のトンネル電流の交流成分を AC カップリングで検出してから整流することによってオフセット成分を除去することにある。Si 酸化膜基板（絶縁体）上に蒸着した金薄膜（金属試料）を試料として、この回路系の動作テストを行った。最初は、通常金属試料に対する STP の動作条件、つまり、STP のセットポイント I_{stp} をゼロにして、測定を試みたところ、図 4 のように、金のナノスケールの表面構造とそれに対する電位分布像（図 5）を同時に描き出すことに成功した。図 4 と図 5 を比較

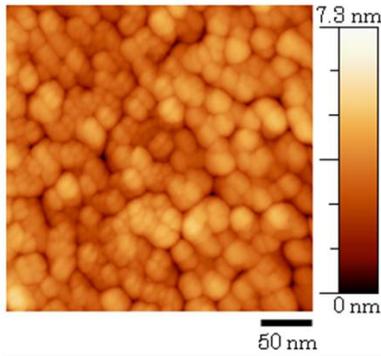


図 4 STM 像（表面構造）

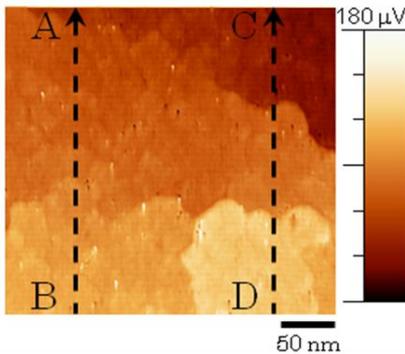


図 5 STP 像（電位分布像）

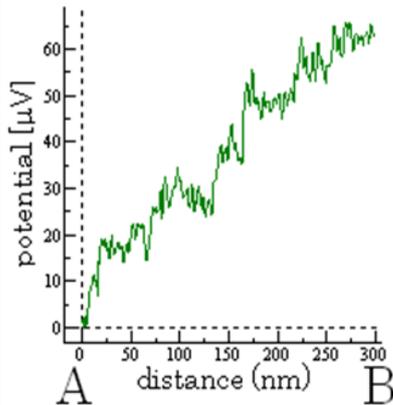


図 6 A-B 断面

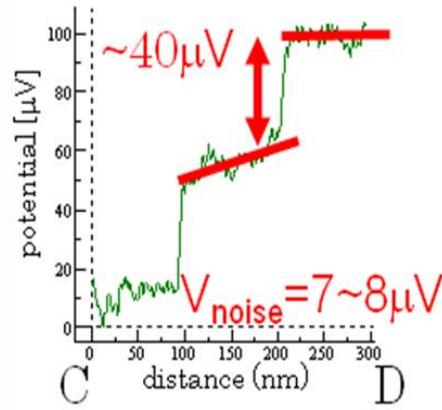


図 7 C-D 断面

してみると、詳細は不明であるが表面構造と電位分布の境界が一致しているところが確認された。

図 5 の電位分布像において、断面 AB（図 6）のように、小刻みに階段状に電位が変化している領域と、断面 CD（図 7）のように比較的大きな段差で階段状に変化している領域が観察された。図 7 から分かるように、我々が開発した STP の電位分解能は $7\sim 8\ \mu\text{V}$ 程度であり、 $40\ \mu\text{V}$ の変化があれば確実に電位差が測定できることを示している。

次に、非金属試料に対する STP の動作条件つまり、STP のセットポイント I_{stp} をゼロでない有限値に設定して、同じ金薄膜試料で測定を試みたところ、図 8-図 10 のように同様に測定することに成功した。

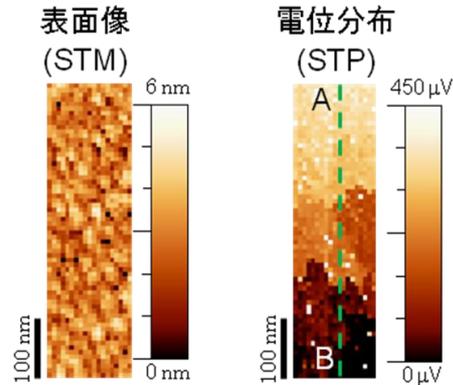


図 8

図 9

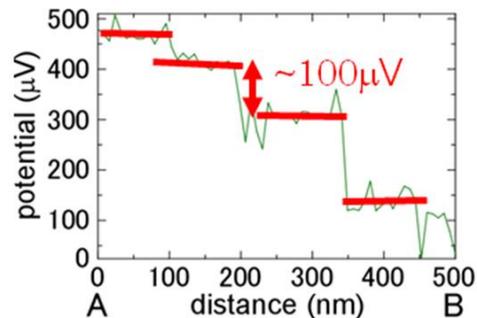


図 10 A-B 断面

これらの結果から、当初、目的としていたスピン流検出に必要な基礎技術を整備し、十分な感度で検出できることを確認することができたと言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

①浜田雅之、長谷川幸雄、「大気中動作型FM-AFMによるエネルギー散逸測定」、第71回応用物理学会学術講演会、2010年9月17日、長崎大学

②浜田雅之、長谷川幸雄、「非金属試料に対する走査トンネルポテンシオメトリー法の開発」、第59回応用物理学関係連合講演会、2012年3月15日、早稲田大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浜田 雅之 (HAMADA MASAYUKI)
東京大学・物性研究所・技術専門職員
研究者番号：00396920

(2) 研究分担者

該当なし

研究者番号：

(3) 連携研究者

長谷川 幸雄 (HASEGAWA YUKIO)
東京大学・物性研究所・准教授
研究者番号：80252493