

課題番号 : F-17-KT-0077  
利用形態 : 機器利用  
利用課題名(日本語) : 固体中におけるスピントロニクス現象の解明  
Program Title(English) : Investigation of spin transport properties in condensed matters  
利用者名(日本語) : 山田暉馨, 大島諒, 安藤裕一郎, 白石誠司  
Username(English) : A. Yamada, R. Oshima, Y. Ando, M. Shiraiishi  
所属名(日本語) : 京都大学大学院工学研究科・電子工学専攻  
Affiliation(English) : Department of Electronic Science and Engineering, Kyoto University  
キーワード/Keyword : 高速高精度電子ビーム描画装置, スピントロニクス, 銅酸化物, 銀硫化物

## 1. 概要(Summary)

半導体大規模集積回路は構成素子の微細化を指導原理として高性能化を実現してきた。しかし、微細化による素子の性能向上は物理的限界に直面しつつあり、これに代わる新しい技術が求められている。我々はこの問題に対し、電子の内部自由度である“スピン”を情報処理に用いるスピントロニクスに注目して研究を行っている。スピントロニクスではスピンの流れであるスピン流を演算や情報輸送に用いることが検討されている。しかしスピン流は観測不可能であるため、観測可能な物理量である電流等への変換が必須となる。スピン流-電流相互変換を実現する物理現象の代表的なものに、電流からスピン流へと変換するスピンホール効果、スピン流から電流へと変換する逆スピンホール効果がある。当該効果は電子が電荷を有した不純物によって散乱される際、スピンの向きに依存した異方的な散乱が生じることを起源とする。異方的散乱の大きさはスピン軌道相互作用と深い関わりがあり、スピン軌道相互作用が大きい物質が高い変換効率を示す傾向にある。従来の研究では白金やビスマス等のスピン軌道相互作用の大きな物質が主な研究対象であった。しかし、2016年に比較的軽元素であり、スピン軌道相互作用が小さい銅を大気中に放置して表面に自然酸化膜を形成するだけで、重金属であるPtに匹敵するほどの高い変換効率を実現することが報告された[1]。全く新しいアプローチによる変換効率の向上が期待される重要な結果と言える。しかし、その起源についての詳細な検討はなく、変換効率向上の設計指針は得られていないのが現状である。これらを背景とし、本研究室では銅の酸化物の変換効率増大の起源の解明に取り組んでいる。またさらに体系的な理解をすることを目的として、銅以外の物質を大気中保管した場合のスピン流-電流変換現象についても調査した。

本報告では後者の成果として、銀を大気中保管した場合の結果について報告する。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

高速高精度電子ビーム描画装置, 大面積超高速電子線描画装置

### 【実験方法】

本研究では強磁性電極(スピン注入電極)から銅スピン輸送チャンネル内にスピン流を注入し、もう一つの強磁性電極(スピン検出電極)で検出する形状のデバイスを作製する。銅はスピンの輸送距離が比較的長い金属であるが、それでも室温で500 nm程度である。すなわち、500 nm以内にスピン注入電極および検出電極を形成する必要がある。サブミクロンスケールのデバイス加工を必要とする。そこで高速高精度電子ビーム描画装置, 大面積超高速電子線描画装置を用いて、熱酸化シリコン基板上に所望の微細パターンを作製し、当研究室所有の電子線蒸着装置

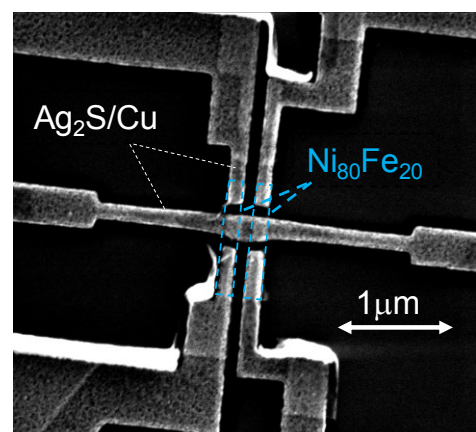


Fig. 1 SEM image of fabricated Ag<sub>2</sub>S/Cu lateral spin valves.

を用いたリフトオフ法によりデバイス作製を行った。作製したデバイスの電子顕微鏡像を Fig. 1 に示す。スピン輸送の評価は当研究室所有の磁気抵抗測定装置を用いた。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

室温で行った測定の結果を Fig. 2 に示す。通常のデバイスは銅のみでスピン輸送チャンネルを形成するが、今回の研究対象では表面に 10 nm の銀を堆積した。銀の表面は大気解放の直後から黒ずんでおり、大気中の何らかのガスと反応していることがわかる。先行研究から大気中放置によって形成されるのは硫化銀であることがわかっている。今回硫化銀の接合によってスピン信号が著しく減少していることがわかる。これは銅/硫化銀 2 層膜が銅の単層と比較してスピンの輸送長が短いすなわちスピン寿命が短い可能性を示唆している。一般的にスピン軌道相互作用の大きさとスピン拡散長には負の相関があるため、本結果から硫化銀によるスピン流電流変換効率の向上が期待できることが判明した。今後、スピン流から変換された電流を直接測定することにより、硫化銀中のスピン流-電流変換現象について定量的な評価を行う予定である。

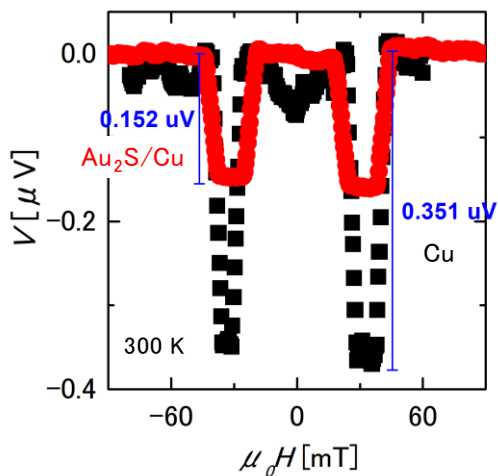


Fig. 2 Comparison of spin signals between Ag<sub>2</sub>S/Cu and Cu devices.

### 4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

[1] Hongyu An et al., Nature Comm. 7, (2016) 13069.

### 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) A. Yamada, T. Arika, K. Ohnishi, Y. Ando,

T. Kimura and M. Shiraishi,

“Inverse spin Hall effect in surface oxidized Cu layer in Cu-based lateral spin valves” 日本応用物理学会 夏季学術講演会 2017年9月7日

### 6. 関連特許(Patent)

該当なし。