

課題番号 : F-21-TT-0002  
利用形態 : 機器利用  
利用課題名(日本語) : ホイスラー合金薄膜から半導体へのスピン偏極電子の注入に関する研究  
Program Title (English) : Study of spin injection into semiconductor using Heusler alloy film  
利用者名(日本語) : 田中 雅章  
Username (English) : Masaaki Tanaka  
所属名(日本語) : 名古屋工業大学物理工学科  
Affiliation (English) : Nagoya Institute of Technology  
キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング, スピントロニクス, 半導体

## 1. 概要(Summary)

電子がもつ電荷とともにスピンを利用するスピントロニクス・デバイスでは、強磁性金属から非磁性体にスピンが片寄った電子を注入(スピン注入)する効率が、デバイスの性能に影響する。そのためスピントロニクス技術を半導体分野に応用するには、効率的にスピン注入可能な強磁性/半導体構造を作製する必要がある。申請者は理論的に伝導電子のスピンが完全に分極するホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  と半導体のシリコン(Si)との接合界面での伝導電子スピンの散乱を抑えるために、原子の拡散が小さく、結晶性が良い  $\text{Co}_2\text{FeGe}/\text{Si}$  接合構造の作製条件の探索を行っている。本研究では、リンをドーブした N 型シリコン基板として電気抵抗率が小さな基板(0.006~0.008  $\Omega\text{cm}$ ) と大きな基板(0.5~1.5  $\Omega\text{cm}$ ) の 2 種類の基版を用いて、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  からシリコンへ注入されるスピンの様子を調べた。本研究から  $\text{Co}_2\text{FeGe}/\text{Si}$  接合界面の原子散乱がシリコンへ注入される電子のスピン偏極率の低下に大きく影響することがわかった。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

イオンミリング装置(日立 IM-4-1)

### 【実験方法】

抵抗値が異なる 2 種類の Si 基板上に成膜温度を  $100^\circ\text{C}$ ~ $300^\circ\text{C}$  まで変えて電子ビーム蒸着による原子層交互蒸着法で  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  薄膜を作製した。電子線描画装置で細線形状のパターンを形成したのち、イオンミリング装置を用いてレジストがない部分の  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  を削り、線幅が数  $\mu\text{m}$  の 2 本の  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  細線を  $1 \mu\text{m}$  離して形成した。その後 2 本の  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  細線に Cu 電極を蒸着して、配線後に細線長手方向の外部磁場の大きさを変えたときの抵抗変化を測定した。外部磁場の変化により、2 本

の  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  細線の磁化は平行および反平行の状態に変わる。その際の抵抗値の変化から半導体へのスピン注入の大きさを調査した。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

$100 \text{ K}$  で行った磁気抵抗測定の結果から、 $\text{Co}_2\text{FeGe}$  層を  $100^\circ\text{C}$ 、 $200^\circ\text{C}$  では成膜した低抵抗基板を用いた試料でそれぞれ 0.09%、0.05% の抵抗変化が見られ、 $300^\circ\text{C}$  で成膜した試料では抵抗変化が見られなかった。基板温度を変えて作製した試料に対するメスバウアー分光測定で得られた接合界面の原子散乱の分析結果から、基板温度の上昇とともに  $\text{Co}_2\text{FeGe}/\text{Si}$  接合界面の原子散乱が増加することがわかっている。この結果と本研究の磁気抵抗測定の結果から、界面の原子散乱がシリコンへのスピン注入効率の低下に大きく影響することがわかった。

また、高抵抗基板を用いた試料に対しても同様の実験を実施した。この基板を用いた場合、2 本の  $\text{Co}_2\text{FeGe}$  細線の間を流れた電子よりも他の経路を流れた電流のほうが電気抵抗への寄与が大きく、スピン注入による明確な電気抵抗の変化が見られなかった。このことから高抵抗基板を用いる場合は Cu 電極の形状を変える必要があることがわかった。

## 4. その他・特記事項(Others)

なし。

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

1. 田中雅章, 藤井元太, 高橋芳仁, 山中綾菜, 壬生 攻, ナノ学会第 19 回大会, 2021 年 5 月 22 日。

## 6. 関連特許(Patent)

なし。