

研究種目：個人研究

研究期間：平成 28 年 10 月～平成 29 年 3 月

研究課題名：スピギャップレス系ホイスラー合金薄膜の MBE 成長とスピンデバイスへの応用

ラボ長

所属：システム創成専攻・電子光科学領域

氏名：山田晋也

研究成果

従来のエレクトロニクスに磁石の性質(不揮発メモリ機能)を取り入れたスピントロニクスは、次世代のエレクトロニクス技術として近年注目を集めており、「強磁性/非磁性/強磁性」薄膜三層構造からなる磁気抵抗素子は、スピンデバイスの基本構造として、多くの研究者が高性能化を追求している。しかし、従来の薄膜作製プロセスで作製されるこの三層構造の性能は、基板面内で同一となる制約があり、その応用範囲は汎用メモリに限られているのが現状である。

ホイスラー合金と呼ばれる多元規則合金の一種に「スピギャップレス半導体(図 1)」[Phys. Rev. Lett. **100**, 156404 (2008)]という物質が理論的に予言され、室温で高いスピン機能と高いキャリア移動度を併せ持つだけでなく、電界などの外場制御によりキャリア濃度やスピン偏極状態を制御できるという可能性が提唱された。しかし、相安定性の問題からアーク溶解法などの高温で作製されたバルク材料のみで実証されているものであり[Phys. Rev. Lett. **110**, 100401 (2013)]、デバイス機能を実証するための低温プロセスでの薄膜化は未達成であり、それを利用したデバイス実証などの研究は存在しない。

そこで本研究では、スピントロニクス素子への応用上重要な『強磁性/非磁性/強磁性』という基本構造と高性能を維持しながら、同一基板内での素子性能の多値化を実現する新技術を開発する。具体的には、スピギャップレス半導体と理論予測されているホイスラー合金の薄膜化に挑戦し、電界を利用した電気・磁気伝導特性の制御の実証を目指す。

分子線エピタキシー(MBE)法を用いて、MgO(100)基板の上に Co, Fe, X(X=Mn or V), Si を同時蒸着して薄膜形成を行ったところ、いずれも比較的低温(~300 °C)でエピタキシャル成長することが確認された。スピギャップレス半導体に特徴的な電気・磁気伝導特性として、①半導体的な電気伝導特性、②正の磁気抵抗効果、③両極性伝導の 3 点がある。そこで、作製した薄膜をフォトリソグラフィと Ar イオンミリングを用いてホールバーへ微細加工し、電気・磁気伝導特性を評価した。その結果を表 1 にまとめている。CoFeVSi においては、上記の②と③が観測されたのに対し、

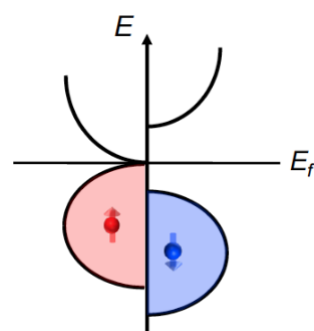


図 1. スピギャップレス半導体のバンド構造.

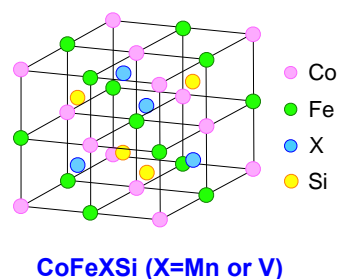


図 2. ホイスラー合金 CoFeXSi の結晶構造(X=Mn or V).

CoFeMnSi はいずれも観測されなかった。以上から、CoFeVSi はスピングャップレス半導体を実証する上で有望な材料と判断し、作製条件を詳細に検討することにした。図 3 には結果の一例として、基板温度 400°C で作製した CoFeVSi 薄膜の電気・磁気伝導特性を示している。半導体的な電気伝導度の温度依存性、低温領域における正の線形磁気抵抗、両極性伝導が観測されており、これはスピングャップレス半導体に特徴的な電気・磁気伝導特性を全て観測した初めての成果である。しかし、薄膜の組成分析を行った結果、この薄膜の組成比は Co:Fe:V:Si=1.4:1:0.6:1 で、目標としている(理想的な)Co:Fe:V:Si=1:1:1:1 から大きくズレていることが判明した。また、電気伝導度の温度依存性は半導体的な振る舞いを示したものの、キャリア濃度は $\sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ と非常に高く、薄膜の品質改善が必要である。次年度においては、組成制御された CoFeVSi 薄膜の実現とその電気・磁気伝導特性を明らかにした後、電界印加による電気・磁気伝導特性の制御の実証を目指して研究を進める予定である。

表 1. 基板温度 300°C で作製した CoFeXSi(X=Mn, V)薄膜の電気・磁気伝導特性

材料	①半導体的な電気伝導	②正の線形磁気抵抗	③両極性伝導
CoFeVSi (X = V)	×	○	○
CoFeMnSi (X = Mn)	×	×	×

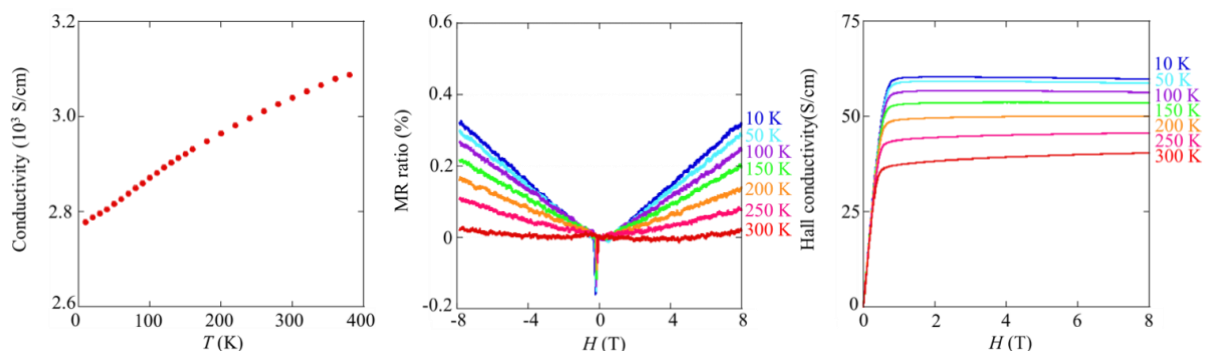


図 3. 基板温度 400°C で作製した CoFeVSi 薄膜の電気・磁気伝導特性. スピングャップレス半導体に特徴的な電気・磁気伝導特性を全て観測した初めての成果.

キーワード：

スピングャップレス半導体、ホイスラー合金、分子線エピタキシー

研究経費 (H29 年度) の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
0 円	550,000 円	0 円	0 円	0 円	550,000 円

共同研究者等

(1) 共同研究者（氏名・所属）

(2) 研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））

浜屋宏平・基礎工学研究科システム創成専攻・教授

有馬圭亮・基礎工学研究科システム創成専攻・修士2年

小林慎也・基礎工学研究科システム創成専攻・修士1年

発表論文等（平成30年3月31日現在）

研究代表者および主な共同研究者の研究業績のうち、本研究課題に関連するもののみを、現在から順に発表年次を過去に遡って記入してください。

〔学会発表〕

小林慎也、山田晋也、有馬圭亮、浜屋宏平、“CoFeVSi エピタキシャル薄膜の磁気伝導特性”，第22回半導体におけるスピン工学の基礎と応用(PASPS-22), P-5, 大阪大学 豊中キャンパス、2017年12月4日 (ポスター発表).

〔その他〕

S. Kobayashi, S. Yamada, K. Arima and K. Hamaya, “Spin-gapless semiconductor-like magnetotransport in CoFeVSi films”, 平成29年度スピン変換年次報告会、京都大学 桂キャンパス、2018年3月11日 (ポスター発表).

外部資金獲得状況・申請状況（本研究課題に関連して、科研費、JST等の競争的資金、受託研究、奨学寄付金を受給された場合、また、申請された場合はその状況を記入ください）

該当なし

参考となるHP等

<http://www.semi.ee.es.osaka-u.ac.jp/hamayalab/>