

研究種目：個人研究

研究期間：平成 29 年 10 月～平成 30 年 9 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

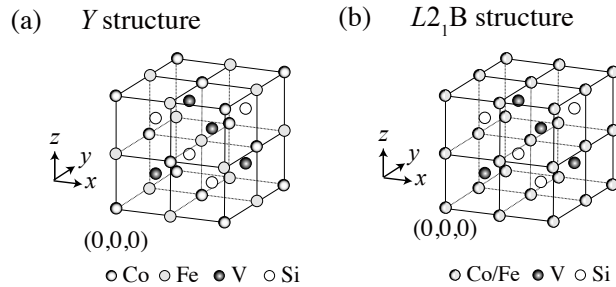
ラボ長

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

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(SGS)」[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。SGS と理論予測されている 3 元および 4 元ホイスラー合金のこれまでの研究では、SGS 材料に特有の物性と議論されている「温度にほぼ依存しない電気伝導特性」・「両極性伝導」・「正の線形磁気抵抗効果」の 3 つを全て観測した報告はなく、観測された物性にはばらつきがあるのが現状である。本研究では、SGS と物性の関係についての知見を得ることを目的に、未だ合成例のない CoFeVSi(CFVS, 図 1) 図 1. CoFeVSi の結晶構造(Y 構造および L2₁B 構造). に注目し、以下の課題に取り組んだ。



高品質な CFVS 薄膜を作製するために、MBE 法を用いて蒸着元素の供給比や成長温度などの条件探索を行った。化学量論組成 MBE 法においては、成長温度が 200 °C 以上でエピタキシャル成長し、成長温度を上昇させると結晶性が向上する傾向が観測されたが、EDX 測定の結果から Co-rich かつ V-poor になることが明らかになった。そこで、非化学量論組成 MBE 法による等組成比 CFVS の実現を試みたところ、V の供給比を増加させるにつれ飽和磁化が減少し、キュリー温度が減少していく傾向をつかむことができた。これらの結果を考慮し、成長温度を 400 °C、蒸着元素の供給比を Co : Fe : V : Si = 1 : 1 : 1.27 : 1 とした際、等組成比の CFVS 薄膜を合成することに成功した(図 2)。また、この薄膜の 10 K における飽和磁化は~2.1 μB/f.u.、キュリー温度は~260 K であり、理論値に近い値を示した。一方、異常分散 X 線回折(AXRD)法による構造解析から、作製した CFVS 薄膜は、Co と Fe がほとんどランダムに配置しており、ほぼ L2₁B 構造[図 1(b)]であることが判明した。

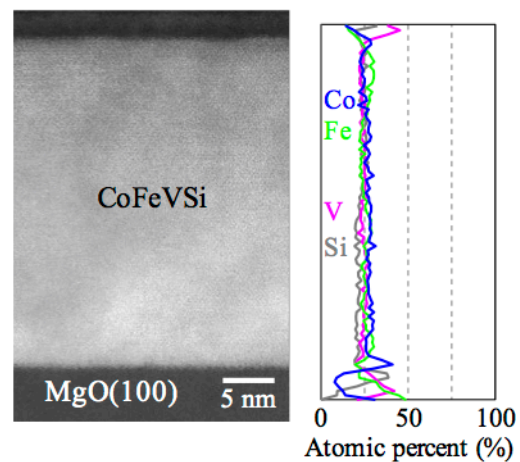


図 2. 非化学量論組成 MBE 法を用いることで等組成比の CFVS 薄膜の合成に成功。

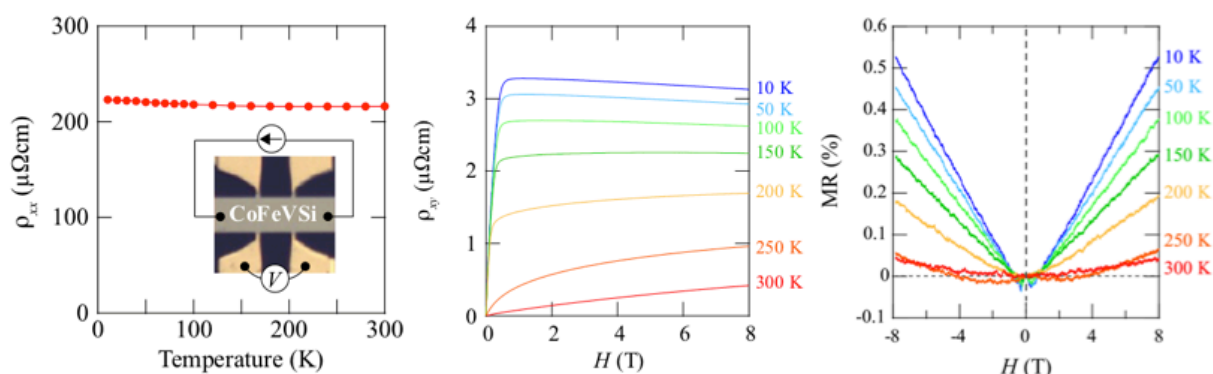


図 3. CoFeVSi 薄膜の(左)電気抵抗率の温度依存性, (中央)ホール効果測定, (右)磁気抵抗効果測定.

作製した CFVS 薄膜の物性の検証を行っていくと、 $L2_1B$ 構造であるにもかかわらず、SGS 特有の物性であると議論されている「温度にほぼ依存しない電気抵抗率」、「両極性伝導」、「正の線形磁気抵抗効果」の全てが観測された(図 3)。150~200 K でキャリアの反転が起こり、その温度近傍で正の線形磁気抵抗効果が出現することから、正の線形磁気抵抗効果は電子に関する現象であると考察できる。理論計算から、CFVS における電子の伝導は Y 構造、 $L2_1B$ 構造ともに V の d 軌道に大きく寄与していることが分かった。この結果と実験結果を合わせて「正の線形磁気抵抗効果」の起源を考察し、CFVS においては SGS でなくても「正の線形磁気抵抗効果」が発現する可能性を議論した。今後、SGS 実証の際には、上記 3 つの物性の提示だけではなく、ゲート電圧による電気・磁気特性の制御やより詳細な構造解析による Y 構造[図 1(a)]の実証が必要であるということを示した。

これらの研究成果は SGS の物性に関して重要な知見を与えるものであり、SGS 実証とデバイス応用に向けた今後の研究の指標となるものである。

キーワード：

スピギャップレス半導体、ホイスラー合金、分子線エピタキシー

研究経費 (H30 年度) の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
0 円	0 円	213430 円	0 円	63570 円	277000 円

共同研究者等

研究協力者

浜屋宏平・基礎工学研究科システム創成専攻・教授

工藤康平・基礎工学研究科システム創成専攻・博士後期課程 1 年

小林慎也・基礎工学研究科システム創成専攻・修士 2 年

発表論文等（平成 31 年 3 月 31 日現在）

〔雑誌論文〕

1. **S. Yamada**, S. Kobayashi, K. Arima and K. Hamaya
“Magnetic and transport properties of $\text{Co}_{1+x}\text{FeV}_{1-x}\text{Si}$ epitaxial films grown by molecular beam epitaxy”
IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 55(2), pp. 2400304 (2019).
2. **S. Yamada**, S. Kobayashi, F. Kuroda, K. Kudo, S. Abo, T. Fukushima, T. Oguchi, and K. Hamaya:
“Magnetic and transport properties of equiatomic quaternary Heusler CoFeVSi epitaxial films”
Physical Review Materials, Vol. 2, pp. 124403 (2018).

〔学会発表〕

1. **山田晋也**, 小林慎也, 黒田文彬, 工藤康平, 阿保智, 福島鉄也, 小口多美夫, 浜屋宏平:
Magnetotransport properties in epitaxial thin films of Heusler-type spin-gapless systems
第 12 回物性科学領域横断研究会, 2018 年 11 月 30-12 月 1 日.
2. **山田晋也**, 小林慎也, 工藤康平, 浜屋宏平:
Magnetotransport properties of Heusler-type spin-gapless systems
第 79 回応用物理学会秋季学術講演大会, 2018 年 9 月 18~21 日.
3. 小林慎也, **山田晋也**, 浜屋宏平:
非化学量論組成 MBE 法で成長した CoFeVSi エピタキシャル薄膜の磁性および磁気伝導特性
第 42 回日本磁気学会学術講演大会, 2018 年 9 月 11-14 日.
4. **S. Yamada**, S. Kobayashi, K. Arima and K. Hamaya:
Observation of spin-gapless semiconductor-like magnetotransport in CoFeVSi epitaxial films
International Conference on Magnetism 2018 (ICM 2018), July 15-20, 2018.

〔その他〕

1. K. Kudo, **S. Yamada**, S. Kobayashi, F. Kuroda, S. Abo, T. Fukushima, T. Oguchi, and K. Hamaya:
Positive and linear magnetoresistance effect in CoFeVSi epitaxial films
平成 30 年度スピン変換年次報告会, 2019 年 3 月 18~19 日.
2. 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, 2018 年 3 月 12~13 日.

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/>