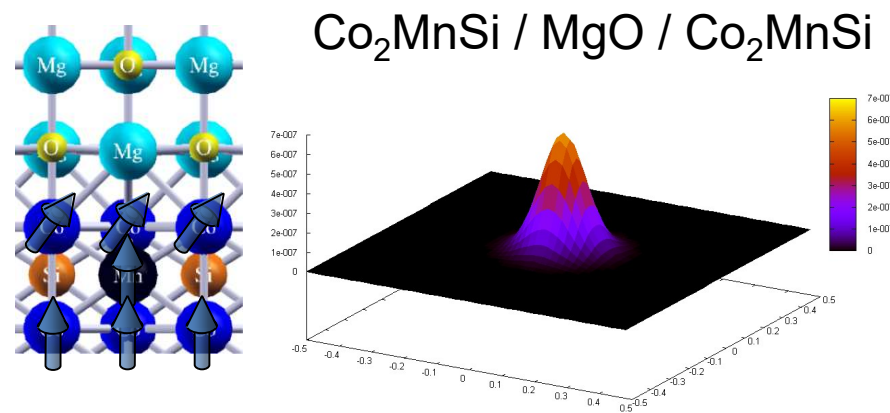


研究プロジェクト名: 高スピン偏極磁性体を用いたトンネル磁気抵抗素子の理論設計と実証

概要: ホイスラー合金をはじめとする高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的とする。接合界面近傍での磁気モーメントの熱ゆらぎを抑制するために、界面において強い磁気結合または高磁気異方性を有するトンネル接合を第一原理計算と機械学習に基づいて探索すると共に、トンネル磁気抵抗素子を作製して検証する。

コアメンバー: 白井グループ, 水上グループ, 角田グループ, 梅津グループ(以上, 東北大), 植村グループ(北大), 土井グループ(東北学院大), 谷林グループ(一関高専), 三谷グループ, 三浦グループ(以上, NIMS), 廣畑グループ(英国York大)

期待される研究成果: ホイスラー合金電極トンネル磁気抵抗素子の温度上昇に伴う磁気抵抗比の低下は実用化の障害であった。これを抑制するための方策が得ることにより、CoFeB/MgO/CoFeB接合に替わる高出力トンネル磁気抵抗素子の実現が可能となり、高集積スピンメモリ等の開発に新たな展開をもたらすことが期待される。



界面での磁気モーメントの熱ゆらぎを考慮したトンネル伝導の計算例

研究プロジェクト名: 高スピン偏極磁性体を用いた磁気抵抗素子の理論設計と実証

概要: ホイスラー合金をはじめとする高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的とする。接合界面近傍での磁気モーメントの熱ゆらぎを抑制するために、界面において強い磁気結合または高磁気異方性を有するトンネル接合を第一原理計算に基づいて探索すると共に、トンネル磁気抵抗素子を作製して検証する。

研究成果(実施状況): ホイスラー合金 $\text{Co}_2(\text{Mn,Fe})\text{Si}$ におけるスピン偏極率低下の原因となるアンチサイトCo欠陥の生成を抑制するために、この合金のMn,Fe組成を過剰にすることで高トンネル磁気抵抗比が得られることを検証した。この合金の磁気モーメントの組成依存性は第一原理計算の結果とよく対応している[1]。

ホイスラー合金 Co_2MnSi を電極に用いたトンネル磁気抵抗素子におけるトンネル伝導の温度変化を解析することにより、温度上昇に伴う磁気抵抗比の低下は、熱励起スピン波によるトンネル電子の非弾性散乱過程の影響に加えて、温度上昇に伴ったスピン偏極率の低下を併せて考慮することにより再現できることを明らかにした[2]。

主要発表論文等: [1] Kidist Moges *et al.*, Phys. Rev. B 93, 134403 (2016).

[2] Bing Hu *et al.*, Phys. Rev. B 94, 094428 (2016).

研究プロジェクト名: 高スピン偏極磁性体を用いた磁気抵抗素子の理論設計と実証

概要: ホイスラー合金をはじめとする高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的とする。接合界面近傍での磁気モーメントの熱ゆらぎを抑制するために、界面において強い磁気結合または高磁気異方性を有するトンネル接合を第一原理計算に基づいて探索すると共に、トンネル磁気抵抗素子を作製して検証する。

研究成果(実施状況): 四元ホイスラー合金 CoFeMnSi (CMFS) を電極に用いた CMFS/MgO/CoFe 接合を作製した。測定されたトンネル磁気抵抗 (TMR) 比は、低温では約 520% と高い値を示したが、室温では約 100% まで低下した (Fig. 1)。規則化した CMFS の Δ_1 バンドはフェルミ準位を横切らないので、不規則化の影響を考慮する必要があると思われる[1]。

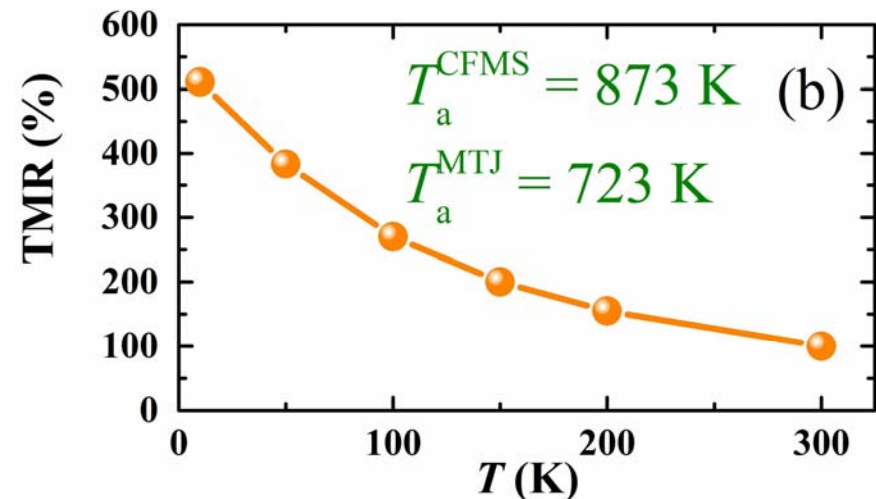


Fig. 1. Observed T -dependence of TMR ratio.

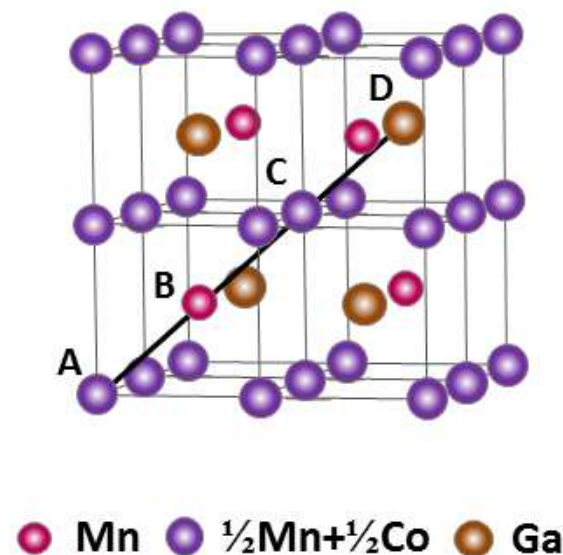
主要発表論文等: [1] Lakhan Bainsla *et al.*, Appl. Phys. Lett. 112, 052403 (2018).

研究プロジェクト名: 高スピン偏極磁性体を用いたトンネル磁気抵抗素子の理論設計と実証

概要: ホイスラー合金をはじめとする高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的とする。接合界面近傍での磁気モーメントの熱ゆらぎを抑制するために、界面において強い磁気結合または高磁気異方性を有するトンネル接合を第一原理計算に基づいて探索すると共に、トンネル磁気抵抗素子を作製して検証する。

研究成果(実施状況): 四元ホイスラー合金 CoFeMnSi 薄膜の磁気緩和定数を測定した結果、 2.7×10^{-3} と比較的小さな値であった。原子配列規則度を改善することにより、フェルミ準位での状態密度が減少し、さらに小さな磁気緩和定数が期待できることを明らかにした[1]。

ホイスラー合金 Mn_2CoGa の結晶構造を中性子回折により調べた結果、MnとCoが一部不規則化した構造(右図)であった。この構造においても高スピン偏極電子構造が期待できる[2]。



主要発表論文等: [1] L. Bainsla *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **51**, 495001 (2018).
[2] R. Y. Umetsu *et al.*, J. Phys.: Condens. Matter **31**, 065801 (2019).

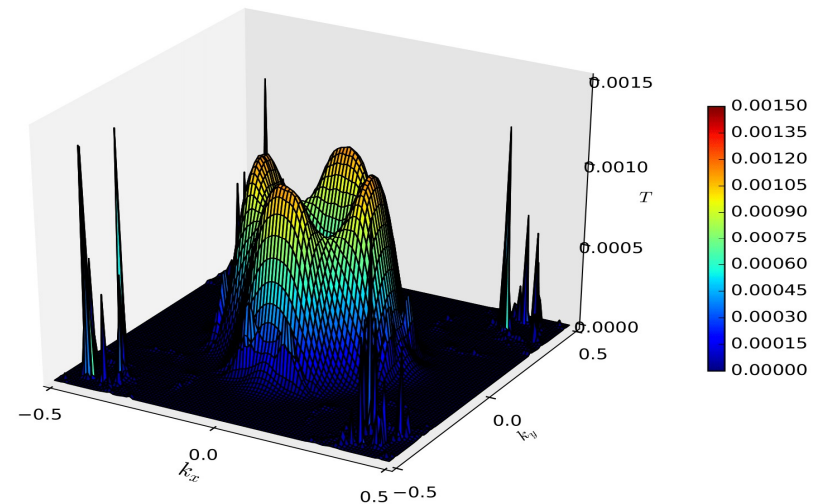
研究プロジェクト名: 高スピン偏極磁性体を用いたトンネル磁気抵抗素子の理論設計と実証

概要: ホイスラー合金をはじめとする高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的とする。接合界面近傍での磁気モーメントの熱ゆらぎを抑制するために、界面において強い磁気結合または高磁気異方性を有するトンネル接合を第一原理計算に基づいて探索すると共に、トンネル磁気抵抗素子を作製して検証する。

研究成果(実施状況):

X線磁気円二色性 (XMCD) 実験により観測されたCoCrFeAlの強磁性秩序は、Cr-Fe原子配列の不規則化で説明でき、高スピン偏極率は保持される [1]。

第一原理計算に基づいて新しい高いキュリー温度をもつ高スピン偏極合金を探索し、CoIrMnZ (Z = Al, Si, Ga, Ge) がトンネル磁気抵抗素子の電極材料として有望であることを見出した [2]。



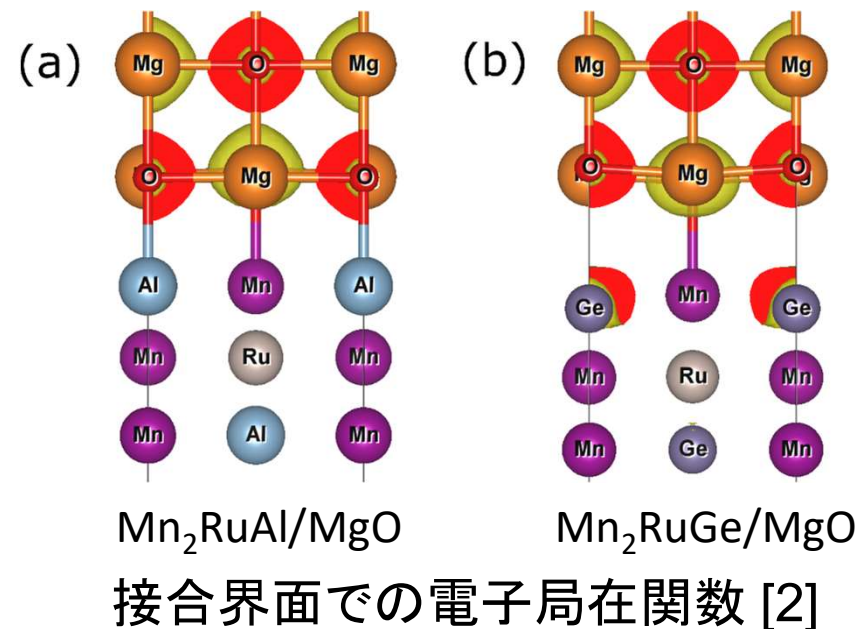
CoIrMnSi/MgO/CoIrMnSi (001) トンネル接合の透過率の面内波数依存性(平行磁化配置、多数スピン電子) [2]

主要発表論文等: [1] T. Tsuchiya et al., Phys. Rev. Mater., 3, 084403 (2019).
[2] T. Roy et al., J. Magn. Magn. Mater., 498, 166092 (2020).

研究プロジェクト名: 高スピン偏極磁性体を用いたトンネル磁気抵抗素子の理論設計と実証

概要: ホイスラー合金をはじめとする高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的とする。接合界面近傍での磁気モーメントの熱ゆらぎを抑制するために、界面において強い磁気結合または高磁気異方性を有するトンネル接合を第一原理計算に基づいて探索すると共に、トンネル磁気抵抗素子を作製して検証する。

研究成果(実施状況): MgOとの界面でも高スピン偏極率が保持されることが第一原理計算により予測されているCoIrMnAl薄膜を作製した。実験で観測された飽和磁化やキュリー温度と理論予測値との不一致は、B2不規則化に起因していることを明らかにした[1]。また、 $\text{Mn}_2\text{RuAl}/\text{MgO}$ 界面で高スピン偏極率が保持される起源を、界面での構造と化学結合に基づいて解明した[2]。



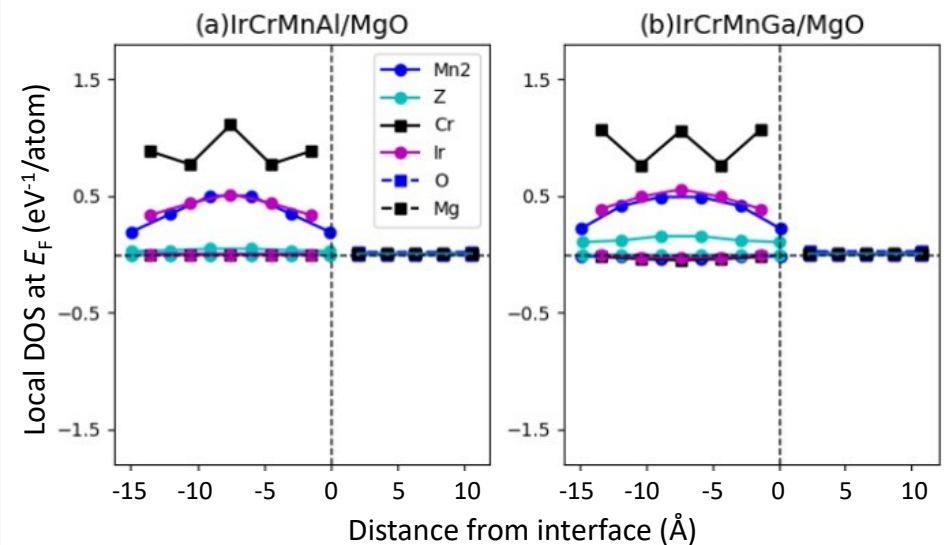
主要発表論文等: [1] R. Monma *et al.*, J. Alloy Compd., **868**, 159175 (2021).
[2] T. Roy *et al.*, J. Phys.: Condens. Matter **33**, 145505 (2021).

研究プロジェクト名: 高スピン偏極磁性体を用いたトンネル磁気抵抗素子の理論設計と実証

概要: ホイスラー合金をはじめとする高スピン偏極磁性体を電極に用いた磁気トンネル接合の室温における磁気抵抗比の向上を目的とする。接合界面近傍での磁気モーメントの熱ゆらぎを抑制するために、界面において強い磁気結合または高磁気異方性を有するトンネル接合を第一原理計算に基づいて探索すると共に、トンネル磁気抵抗素子を作製して検証する。

研究成果:

ホイスラー合金IrCrMnAl,とIrCrMnGaが、MgO障壁磁気トンネル接合の電極材料の有力な候補であることを、第一原理計算に基づいて理論提案した[1]。
また、準安定bcc構造をもつCoMn合金を電極に用いたCoMn/MgO/CoMn磁気トンネル接合において、室温で約230%のトンネル磁気抵抗比を観測した[2]。



主要発表論文等: [1] T. Roy *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. 55, 125303 (2022).
[2] K. Elphick *et al.*, Phys. Rev. Appl. 16, 054052 (2021).