

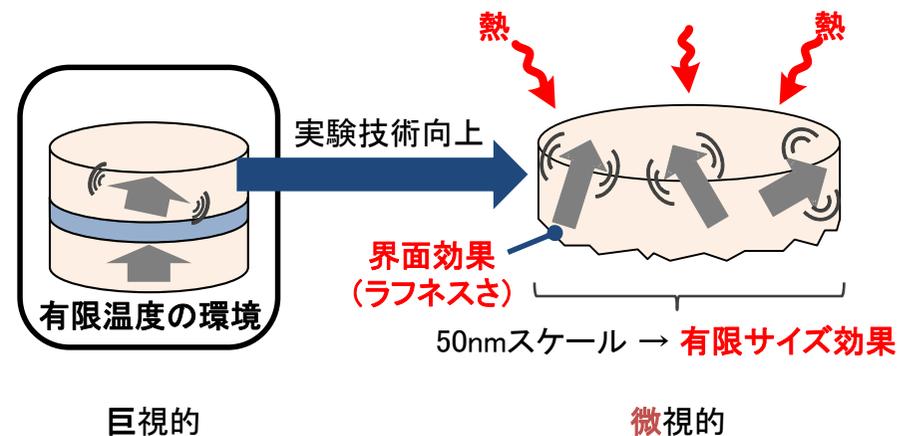
研究プロジェクト名: 磁気緩和に関する理論研究

概要: 磁化の動力学を記述するLandau-Lifshitz-Gilbert方程式において、磁気緩和を表すギルバート緩和定数(α)の起源とその定量評価に関する理論研究を行う。内容は以下の2点である。

1. 磁性多層膜などの磁氣的不均一系や磁性体内に非一様な磁化運動(例: スピン波)がある場合の α の第一原理計算
2. α の温度依存性についての(物質の個別性を含めた)定量レベルでの検討

コアメンバー: 佐久間G(東北大): 佐久間昭正, 三浦大介, 尾崎太飛, 平松諒也, 矢作裕太, 小田洋平(福島高専)

期待される研究成果: 磁気記録媒体やMRAMなどのナノスケールの磁気デバイスにおける緩和定数 α は素子サイズや構造に依存するなど、バルクにない付加的な効果が存在する。これら磁気緩和現象の機構解明はスピンドYNAMIKSの制御やデバイス設計にとっての有効な指針提供に繋がることが期待される。更に、温度依存性についても理論研究を進めることで、より現実に近い状況での知見が得られることが期待される。



MRAMにおける不均一スピンドYNAMIKSの重要性

研究プロジェクト名: 磁気緩和に関する理論研究

概要: 磁化の動力学を記述するLandau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式において、磁気緩和を表すギルバート緩和定数(α)の起源とその定量評価に関する理論研究であり、内容は以下の2点である。

1. 磁性多層膜などの磁氣的不均一系や磁性体内に非一様な磁化運動(スピン波など)がある場合の α の第一原理計算
2. α と結晶磁気異方性定数、および異常ホール伝導度の関係についての(物質の個別性を含めた)定量レベルでの検討

研究成果(実施状況):

1. 第一原理計算により、強磁性(FM)/非磁性(NM)接合系におけるギルバート緩和定数 α が、FM層数の低下と共に増大することを明らかにした(図1)。
2. スピン揺らぎを考慮した第一原理計算により、L10合金の磁気緩和定数 λ ($=\alpha\gamma M$)温度の低下と共に増大することを明らかにした(図2)(論文掲載予定[1])。

図1 NM/Co/NM接合系の α のCo層数依存性

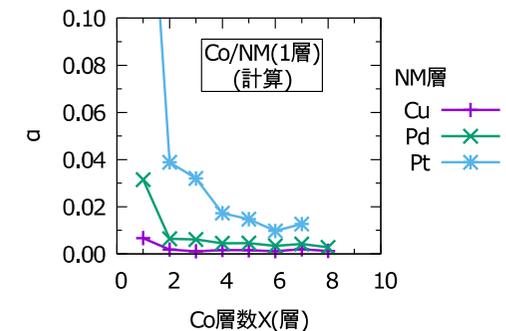
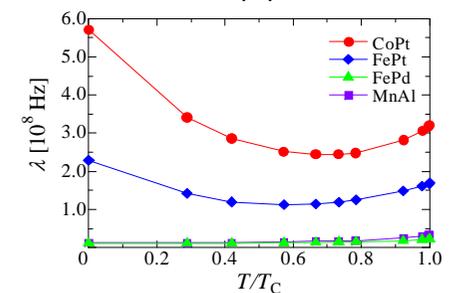


図2 CoPt, FePt, FePdおよびMnAlの緩和定数 λ ($=\alpha\gamma M$)の温度依存性



主要発表論文等: [1] D. Ozaki et al., to be published in IEEE, 2017.

研究プロジェクト名: 磁気緩和に関する理論研究

概要: 磁化の動力学を記述するLandau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式において、磁気緩和を表すギルバート緩和定数(α)の起源とその定量評価に関する理論研究であり、内容は以下の2点である。

1. 磁性多層膜などの磁氣的不均一系や磁性体内に非一様な磁化運動(スピン波など)がある場合の α の第一原理計算
2. α と結晶磁気異方性定数、および異常ホール伝導度の関係についての(物質の個別性を含めた)定量レベルでの検討

研究成果(実施状況):

1. 第一原理計算により、強磁性(FM)/非磁性(NM)接合系におけるギルバート緩和定数 α が、FM層数の低下と共に増大することを明らかにした(図1)[1]。
2. 強結合モデルの下でFM/NM接合系におけるギルバート緩和定数 α の一般的表式を導出し、スピン流の相関関数でスピンポンピングによる α が記述されることを示した(図2)。

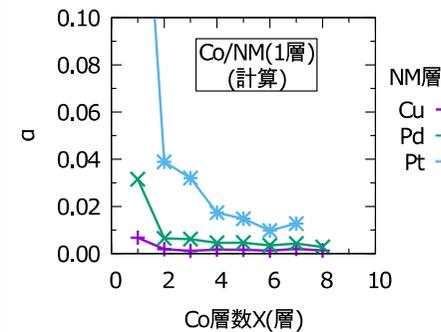


図1 NM/Co/NM接合系の α のCo層数依存性

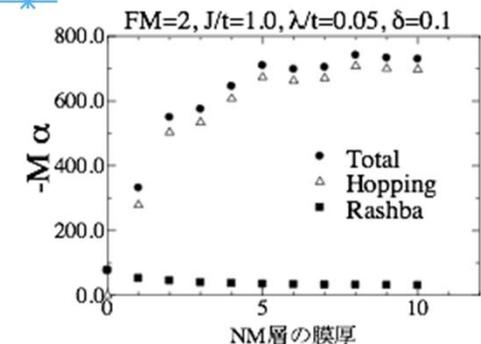


図2 FM/NM積層膜における緩和定数 αM のNM層厚依存性

主要発表論文等: [1] R. Hiramatsu, D. Miura, and A. Sakuma, AIP Advances, 8, 056016, (2018).

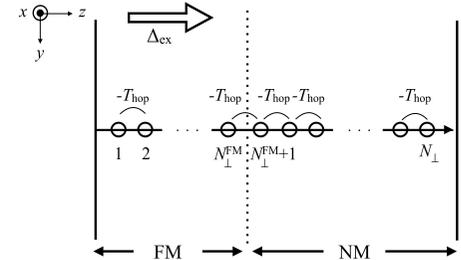
研究プロジェクト名: 磁気緩和に関する理論研究

概要: 磁化の動力学を記述するLandau-Lifshitz-Gilbert方程式において, 磁気緩和を表すギルバート緩和定数(α)の起源とその定量評価に関する理論研究であり, 内容は以下の2点である.

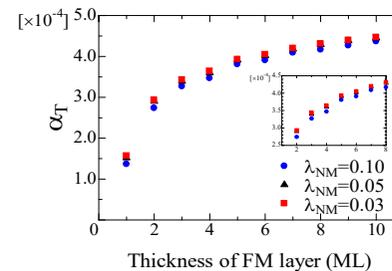
1. 磁性多層膜などの磁氣的不均一系や磁性体内に非一様な磁化運動(例: スピン波)がある場合の α の第一原理計算
2. α と結晶磁気異方性定数, および異常ホール伝導度の関係についての(物質の個別性を含めた)定量レベルでの検討

H30年度は, 前年度までの研究成果を踏まえ, 上記検討を有限温度で行うことを試みる. また, 接合界面におけるラフネス依存性についても検討を行う.

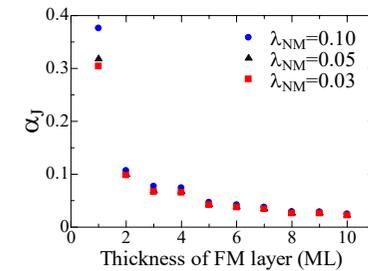
研究成果(実施状況): 強磁性/非磁性積層膜のギルバート緩和定数が、強磁性層内のスピン軌道相互作用に起因する内因的部分(α_T)と、界面におけるスピンの流に起因する部分(α_I)の和で表されることを示した[1]。後者はスピンプリングと呼ばれる項に対応する。本研究では両者を一つのハミルトニアンで同じ理論の枠組みで記述することにより両者の本質を明確にすることが出来た。



強磁性(FM)/非磁性(NM)積層膜構造のモデル
FM層内にスピン軌道相互作用(SOI)を導入し、久保公式によりFM層内の磁化の α を求めた



FM層内のSOIに起因する α のFM総数依存性



界面におけるスピンの流に起因する α のFM総数依存性

主要発表論文等: [1] D. Ozaki et al., to appear in IEEE Trans. Magn. 2019. (多層膜)
[2] F. Saito et al., to appear in IEEE Trans. Magn. 2019. (有限温度)

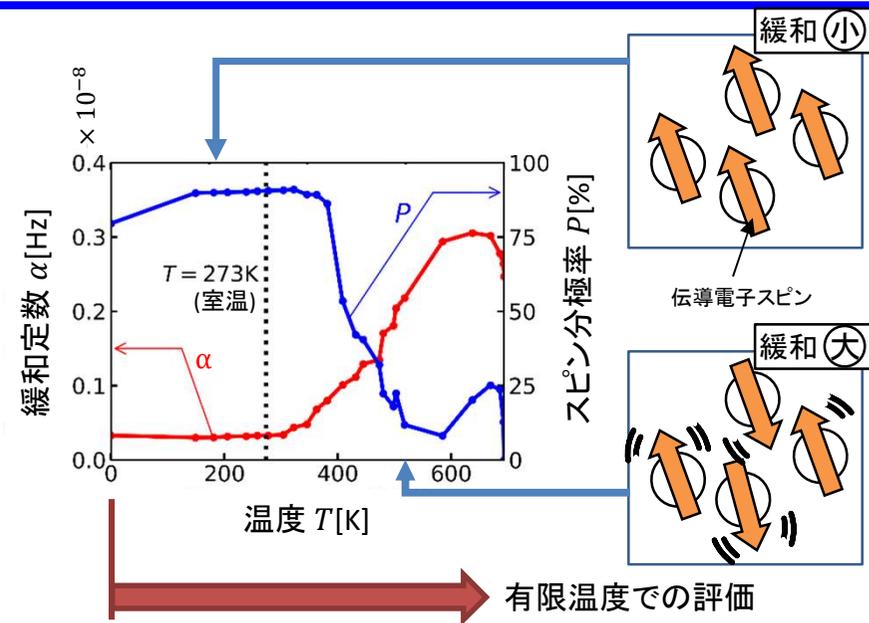
研究プロジェクト名: 磁気緩和に関する理論研究

概要: 磁化の動力学を記述するLandau-Lifshitz-Gilbert方程式において, 磁気緩和を表すギルバート緩和定数(α)の起源とその定量評価に関する理論研究であり, 内容は以下の2点である。

1. 磁性多層膜などの磁氣的不均一系や磁性体内に非一様な磁化運動(例: スピン波)がある場合の α の第一原理計算
2. α と結晶磁気異方性定数, および異常ホール伝導度の関係についての(物質の個別性を含めた)定量レベルでの検討

R初年度は, 昨年度までの研究成果を踏まえ, 上記検討を有限温度で行うことを試みる。

研究成果(実施状況): 磁気デバイスの動作環境に近い状況での磁気緩和を研究することを目的とした。研究内容として, ホイスラー合金の磁気緩和定数 α に関して定量レベルでの評価を有限温度で行った。右図は Co_2MnAl ($L2_1$ 構造)における α の温度依存性である。温度上昇に伴い, 室温より高温で α が急激に増大することが分かった。また, 伝導電子のスピンの分極率との比較から, 有限温度でのスピンゆらぎが, ホイスラー合金における磁気緩和 α を大きくすることを明らかにした。



Co_2MnAl ($L2_1$ 構造)における α の温度依存性

主要発表論文等: 上記内容については今後投稿予定

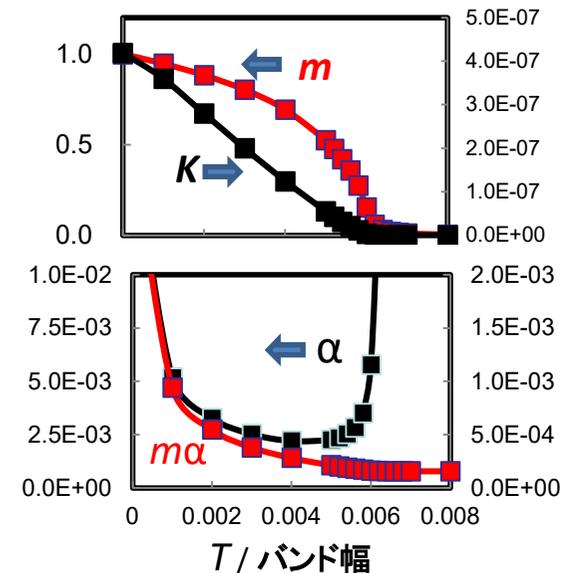
研究プロジェクト名: 磁気緩和に関する理論研究

概要: 磁化の動力学を記述するLandau-Lifshitz-Gilbert方程式において, 磁気緩和を表すギルバート緩和定数(α)の起源とその定量評価に関する理論研究であり, 内容は以下の2点である。

1. 磁性多層膜などの磁氣的不均一系や磁性体内に非一様な磁化運動(例: スピン波)がある場合の α の第一原理計算
2. α と結晶磁気異方性定数, および異常ホール伝導度の関係についての(物質の個別性を含めた)定量レベルでの検討

2020年度は, 昨年度までの研究成果を踏まえ, 上記検討を有限温度で行うことを試みた。

研究成果(実施状況): Rashba型のスピン軌道相互作用を有する強結合ハミルトニアンを用いて有限温度における磁気異方性定数と磁気緩和定数の計算を行った。スピンの揺らぎをコヒーレントポテンシャル近似(CPA)を用いて考慮した。右図は(規格化された)磁化(m)、磁気異方性定数(K)およびギルバート緩和定数(α)の温度(バンド幅で規格化)依存性の計算結果である。 K は温度(T)上昇によりほぼ直線的に低下し、 $K \propto m^3$ のように振舞うことがわかった。一方、 α は低温領域では温度上昇とともに $1/T$ 的に減少し、キュリー温度に近づくにつれ $1/m$ に従って発散的に増大することが分かった。実際、 $m\alpha$ はキュリー温度近傍でほぼ一定である。



(規格化された)磁化(m)、磁気異方性定数(K) およびギルバート緩和定数(α)の温度依存性の計算結果(温度はバンド幅で規格化)

主要発表論文等: 上記内容については今後投稿予定