

## Study on interplay between heat and spin dynamics in ferromagnetic metal thin films

山野井, 一人

<https://doi.org/10.15017/1806812>

---

出版情報：九州大学, 2016, 博士（理学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 山野井 一人

論 文 名 : Study on interplay between heat and spin dynamics in  
ferromagnetic metal thin films  
(強磁性金属薄膜における熱スピンドイナミクスに関する研究)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

電子が有する2つの自由度である電荷とスピンの双方を活用して物性を操るスピントロニクス分野の発展に伴い、強磁性金属薄膜中のスピンの動的挙動の理解が急務となっている。一方で、スピンと熱の相互作用に関しても、近年、様々な新現象が発見され、スピнкаロリトロニクスという名のもとに活発な研究が展開されている。ここで2つの分野の現象においては、電気と磁気、そして熱が、スピン角運動量の流れであるスピン流を介して融合されるため、基礎物理学的に興味深いだけでなく、応用的にも極めて魅力的な物性を示す。しかしながら、各種物性パラメータの微視的な役割が十分明らかになっているとは言い難く、類似の現象も複数存在するため、どのメカニズムが観測された現象を支配しているのか等も十分明確になっていない。そこで、本研究では、スピンドイナミクスに関する物質や励起法依存性などの系統的な実験を行い、物性値との相関を明確にすることで、各現象の微視的起源を定量的に解明することを目的とした。

最初に、スピンドイナミクスにおける各種共鳴モードの励起磁場依存性に関して調べた。その結果、スピンが一斉回転する強磁性共鳴モードにおいては、スピン波モードに比べて共鳴特性の励起磁場依存性が大きくなることを見出した。この原因として、スピン歳差運動による磁性体の発熱に着目した。強磁性共鳴モードでは、スピン波モードに比べて、広い領域で大きな振幅を有する歳差運動が発生するため、高い発熱効果が生じる。その結果、磁化特性が大きく変調されたと考えられる。

上記の共鳴歳差運動による発熱効果をより定量的に評価するため、銅と強磁性 CoFe 系合金薄膜からなる二層膜を作製し、マイクロ波印加時の電気抵抗の磁場依存性を測定することで、強磁性共鳴時の温度上昇を見積もった。強磁性共鳴時の温度上昇は励起磁場強度の増大とともに増加し、3 mT の励起磁場下では 15 K 近くもの温度上昇が生じていることが判明した。また、同実験を複数の強磁性薄膜に対して行うことで、ダンピング定数と強磁性発熱効果の相関を調べた。その結果、ダンピング定数の低下とともに、歳差角が増大するため、温度変化の最大値は増大することを見出した。

これらの実験を踏まえて、強磁性薄膜/非磁性遷移金属薄膜二層構造における強磁性共鳴発熱効果に着目した。二層膜において、強磁性体を加熱すると界面に温度勾配が形成され、強磁性体から非磁性体に熱流が注入される。ここで、強磁性体のゼーベック係数はスピン偏極しているため、熱流の注入と同時にスピン流も注入される。したがって、ゼーベック係数のスピン偏極率が大きい CoFe 系合金を強磁性共鳴発熱効果により選択的に加熱することで、上記の熱スピン注入を誘起することができる。熱勾配により常磁性体に注入されたスピン流は、逆スピンホール効果を介した起電力測

定により評価した。ここで、同様の二層膜構造では、強磁性体から非磁性体へのスピン緩和の増大により生じるスピンプンピングと呼ばれる現象が知られており、本実験では、スピンプンピングとの差別化を明確にするべく実験を行った。強磁性共鳴の励起により、**0.7 V/m** 程度の比較的大きな起電力の生成に成功した。この値は、これまでのスピンプンピングの実験で報告されている値に比べて、極めて大きな値であり、今回の系では、熱スピン注入が支配的であることを示唆している。

以上、本研究では強い交流磁場により励起された強磁性薄膜のスピンダイナミクスを調べ、歳差運動による発熱が生じることを見出し、その定量化に成功した。さらに、同現象を二層膜に適用することで、熱スピン注入が生じることを明らかにした。スピンダイナミクスによる発熱効果は、これまで殆ど無視されていたが、本研究により非常に大きな信号を誘起することが判明し、ある種の系では支配的となることを示した。