

京都大学	博士 (工学)	氏名	青木 基
論文題目	Study on spin-orbit torque effects in metallic bi-layer and single-layer systems (金属二層及び単層構造におけるスピントルク効果に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>スピントルク相互作用を活用した物性研究が近年大きな関心を集めている。中でもスピントルクオービトロニクスと呼ばれる、スピントルク相互作用によって純スピントルクを効率よく生成する機構を基軸とした研究分野は、スピントルク物性の豊かさとスピントルクメモリ素子への応用が視野に入っていることから、極めて注目されている分野である。本研究では、このスピントルクを中心的な研究課題に据え、磁性金属/非磁性金属二層構造および磁性金属単層構造を持つスピントルク素子を用いて、その磁化反転機構やスピントルクの高効率化を実現する学理を明らかにした。以下に主要成果をまとめる。</p> <p>第一章では、本論文で記述される研究内容として重要なスピントルク効果・スピントルク相互作用・スピントルク・スピントルク変換に関する重要な理論や先行研究がまとめられており、本研究の立ち位置が客観的に示されている。</p> <p>第二章以降が研究成果のまとめとなる。</p> <p>第二章では自らが開発した新しい磁化反転検出技術を軸に、スピントルク信号を投入交流電流周波数に依存する成分と依存しない成分に分解し、特に周波数に依存しない成分の起源が一方スピントルク磁気抵抗効果であることを明らかにしている。更にこの物理理解をベースに磁化反転効率のより定量的で正確な見積もりが可能となったことを詳細に報告している。</p> <p>第三章では第二章で述べた成果を基に、十字形のスピントルク素子を試作してスピントルクのスピントルク偏極ベクトルを自在に制御する機構を見出したことが報告されている。さらにスピントルクベクトルの向きと磁化反転効率の相関を系統的に検討し、磁化方向に対してスピントルクベクトルが45°傾いた時に磁化反転速度が30倍向上すると同時に磁化反転に必要な電流量が大幅に抑制できることを発見したことが述べられている。</p> <p>第四章では強磁性体自らが出す自己誘起スピントルク効果の発見についてまとめられている。特に、強磁性体/非磁性体2層構造においてその材料の組み合わせによって磁化反転効率の増強・抑制が生じることを見出したことが中心的に述べられている。この発見は、従来研究のうち、特に伝導度の低い非磁性体、例えば従来は非常に高い磁化反転効率が報告されているトポロジカル絶縁体のような材料を用いた場合に見積もられた磁化反転効率に無視できない程大きい overestimation があることを意味しており、その観点から当該研究領域に重要な知見を提供し過去の研究結果の再検討を求めるとして大きなインパクトを与えている。</p> <p>第五章では、第四章の述べられた結果を基に、ワイル強磁性体を対象物質として自己誘起スピントルクの大きさを見積もった結果が報告されている。更にトルクの大きさや符号が結晶軸と電流の相対角度に大きく依存するという発見と、その起源が結晶歪にあることについて述べられている。この成果はスピントルク物性における strain engineering の重要性を示唆するものであり、特筆すべき成果である。</p> <p>第六章は本研究のまとめとなる。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、現代の物性物理学において大きな関心を集めているスピン軌道相互作用と、それが生み出すスピン軌道トルク物性に関して、磁化反転機構や高効率化を実現する学理を明らかにしている。以下が主要な成果となる。

1. 出願者自らが開発した新しい磁化反転検出技術を軸に、スピントルク信号を投入交流電流周波数に依存する成分と依存しない成分に分解し、特に周波数に依存しない成分の起源が一方向スピンホール磁気抵抗効果であることを明らかにした。この物理解をベースに磁化反転効率のより定量的で正確な見積もりが可能となった。
2. 1.で述べた成果を基に、十字形のスピン軌道トルク素子を試作してスピン流のスピン偏極ベクトルを自在に制御する機構を見出した。さらにスピンベクトルの向きと磁化反転効率の相関を系統的に検討し、磁化方向に対してスピンベクトルが 45° 傾いた時に磁化反転速度が 30 倍向上すると同時に磁化反転に必要な電流量が大幅に抑制できることを発見した。
3. 強磁性体自らが出す自己誘起スピン軌道トルク効果を発見し、強磁性体/非磁性体 2 層構造においてその材料の組み合わせによって磁化反転効率の増強・抑制が生じることを見出した。この発見は、従来研究のうち、特に伝導度の低い非磁性体を用いた場合に見積もられた磁化反転効率に無視できない程大きい **overestimation** があることを意味しており、その観点から当該研究領域に重要な知見を提供し過去の研究結果の再検討を求める結果として大きなインパクトを与えた。
4. 3.で述べた結果をもとに、ワイル強磁性体を対象物質として自己誘起スピン軌道トルクの大きさを見積もった。更に重要な点として、トルクの大きさや符号が結晶軸と電流の相対角度に大きく依存することを発見し、その起源が結晶歪にあることを見出した。この成果はスピン軌道トルク物性における **strain engineering** の重要性を示唆するものである。

以上のように、本論文では物性物理学研究で強い関心を集めるスピンオービトロニクス分野における多くの先駆的発見がまとめられており、本論文は学術的価値の高い内容であるものと認められる。

本論文について、令和 5 年 7 月 21 日に、博士学位論文調査委員の 4 名（白石誠司・掛谷一弘・小野輝男・森山貴広）の前で、申請者である青木基氏による論文内容の説明、及び論文内容とそれに関連した物性物理学に関する事項について試問を行い、申請者の研究が世界的に当該研究分野において優れた内容と先進性を有しており、また申請者が本研究に関する十分な物理的知見を深い理解を有していることを確認できたことから、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。