

学位論文の要約

題目 スピンポンピングを用いたスピン流生成効率およびスピン流伝送現象の結晶配向依存性の評価

氏名 池淵 徹也

序論

電子には「電荷」と「スピン」の2つの自由度が存在する。「電荷」は電流や電圧といった形態に変換され情報技術に適用されることで、半導体工学として発展してきた。これはトランジスタ、ダイオード、集積回路などの半導体素子の開発といった現代社会に不可欠な成果を挙げている。一方、「スピン」は永久磁石やハードディスクなどへ、その磁氣的性質を利用し、磁気工学として発展してきた。このように、元来「電荷」と「スピン」は独立した性質のものとして考えられ、それぞれがエレクトロニクスの発展を担っていた。しかし、1988年 Fert らのグループによって金属人工格子中の巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見を発端として、スピントロニクスと呼ばれる電子の「電荷」と「スピン」の双方を積極的に利用し新しい物理現象や機能を開発することを目指す物性物理学の研究分野が注目を浴びるようになった。

スピントロニクスの分野ではスピン偏極電流(スピン流)が重要な役割を担っている。例えば、強磁性体での電子の伝導度は電子のもつスピンの向きに依存するため、強磁性体中を伝導する電子は有限のスピン偏極をもつ。このようなスピンの流れスピン流と呼ぶ。このスピン流は保存せずスピン拡散長のスケールで情報を喪失するため、長いスピン拡散長をもつ材料および機構が求められる。また、スピン流を利用するためにはそもそもスピン流を発生させなければならない。このスピン流を発生させる手段として、空間変化している磁化ダイナミクスからスピン流を生成するスピンポンピングという現象を考える。この現象は、強磁性体/非磁性体が接合した素子において強磁性体の磁化が運動しているとき、隣接した非磁性層に強磁性体の角運動量が受け渡された結果、非磁性層内でスピン流が発生するという現象である。スピンポンピングの利点は隣接層で生じたスピン流の拡散や伝搬といった現象を強磁性体の歳差運動の Gilbert damping 定数を用いて評価できる点にある。本研究の目的はスピンポンピングによって受け渡されたスピン流が非磁性層や反強磁性層においてどのような振る舞いを示すかを調査することである。

エピタキシャル Pt/FeNi 系におけるスピントルクの結晶配向依存性

本研究では、強磁性共鳴法によるスピントルクを用いて、Pt/FeNi 系のエピタキシャル Pt 薄膜のスピントルクの結晶方位依存性を報告した。Pt/FeNi 二層膜におけるスピントルク効果を正確に評価するためには、有効的なスピントルクとされるダンピングトルク効率だけでなく、Pt/FeNi 界面の寄与も考慮する必要がある。そこで、スピントルクの理論を用いて Pt/FeNi 界面におけるミキシングコンダクタンスと Pt 層におけるスピントルクを見積もった。その結果、ミキシングコンダクタンスは単結晶試料表面の結晶方位に依存することがわかり、一方でスピントルクは電流方向に依存することが明らかになった。

続いて、2種類のスピントルク強磁性共鳴法を用いてダンピングトルク効率を推定した。2種類の実験を行った理由は、先行研究にてどちらの測定法も各々にデメリット(試料の不均一性に鋭敏である・直流電流印加に起因する温度上昇)が存在し正確なダンピングトルク効率に疑問が生じるため、2種の測定法に共通して現れる関係性を見出したかったからである。その結果、ダンピングトルク効率は大きく結晶配向依存性を示さないことが明らかになった。

これら一連の測定によって Pt におけるスピントルク効果の大きさは電流の方向ではなく、スピントルクの方向に強く依存すると考えられる。この結果は今までスピントルクは結晶配向に依存しないという予測に対し、一石を投じるものとなっている。

単結晶 NiO 薄膜における長距離スピントルク伝送

反強磁性体におけるスピントルクの伝達は、スピントルク超流動の発現が期待されるなど反強磁性スピントロニクスにおける最も興味深いテーマの一つである。本研究では、単結晶 NiO(111)および NiO(001)の NiO/FeNi および Pt/NiO/FeNi エピタキシャル膜において、スピントルクによる FeNi 層のダンピング増大を評価して NiO 中のスピントルク伝送を調べた。まず、NiO/FeNi における強磁性共鳴測定によりスピントルクは、NiO(111)面試料については 50 nm であることが見積もることができた。一方、NiO(001)面試料に関しては具体的な値を得ることができなかった。この NiO(001)面試料に関する結果の解釈は2通りある。1つ目は NiO/FeNi 界面においてスピントルク伝達が全く行われない。2つ目は NiO におけるスピントルクが以上に長く作製試料のオーダーでは変化が見られない。

この解釈のどちらが正しいのかを実証するために、続いて Pt/NiO/FeNi についてスピントルク伝送を調べた。1つ目の解釈が正しいと仮定すると、NiO にてスピントルクは伝搬しないので Pt の有無で結果に相違がないはずである。2つ目の解釈が正しいとすると、NiO 中を伝搬するスピントルクが Pt 層で拡散するため、Pt の有無で大きく影響が出るはずである。その結果、Pt 層の追加によって FeNi のダンピング増大が確認された。これは、2つ目の解釈に合致しておりスピントルクが Pt 層まで到達したことを意味している。すなわち、NiO(001)面試料のスピントルク拡散長が ~ 1000 nm という長さを有しておりスピントルク超流動の可能性を示唆している。