

論文題目要旨

学位申請者：中村 瞭弥

論文題目：Spin transport properties in van der Waals materials measured with lateral spin valves (横型スピバルブで評価するファンデルワールス物質のスピ輸送特性)

論文要旨：

スピントロニクス分野では、Pt や Ta といった重金属が長年利用されてきたが、近年、単結晶特有の性質を示すファンデルワールス (vdW) 物質が注目を集めている。将来的な応用には、スピンドiffusion長やスピホール伝導度といったスピ輸送特性を定量的に評価することが不可欠である。しかし、vdW 物質を用いた既存の研究には問題点がある。第一に、vdW 物質は面内方向と面直方向の間に大きな異方性を有するが、スピントロニクス分野では、これまで異方的なスピ流拡散プロセスが検討されていない。第二に、スピ流を注入するために必要な vdW 物質と電極間の界面にも問題がある。界面抵抗が大きな場合は、内因的なスピ輸送特性の評価が極めて困難になる

そこで本研究では、これらの課題に対処するために、vdW ディラック半金属 PtTe_2 と vdW 強磁性体 Fe_3GeTe_2 (FGT) に着目した。これらの vdW 物質を横型スピバルブ素子に組み込み、スピ吸収量や逆スピホール効果を測定することで、スピ輸送特性を詳細に評価した。

まず、 PtTe_2 におけるスピ吸収量と逆スピホール効果を測定した。その解析にあたり、これまで等方的な系で用いられてきたスピ拡散方程式を、異方的な系へと拡張した理論モデルを構築した。このモデルと 3 次元有限要素法を組み合わせることにより、面内および面直方向のスピ拡散長、およびスピホール伝導度を正確に抽出した。解析の結果、従来の等方性を仮定したモデルでは、面直方向のスピ拡散長およびスピホール伝導度を過大評価する傾向があることが明らかになった。また、スピホール伝導度の伝導率依存性を解析した結果、伝導率の増加に伴い、内因性機構から外因性機構へとクロスオーバーする振る舞いが観測された。

次に、vdW 強磁性体 FGT のスピ輸送特性を測定した。Ar イオンミリングを行うことで、FGT と Cu の間に清浄な界面を実現したが、FGT のバルクのキュリー温度 (230 K) よりも高い室温において、予期せず面内スピ偏極が観測された。室温において自発磁化は観測されなかったため、この面内スピ偏極は Ar イオンミリングによって変性した表面磁化に起因すると結論づけた。この結果は、従来の表面処理が vdW 物質の表面に対して重大な影響を与えうることを示唆している。

本研究で明らかになった異方性の寄与や表面処理のリスクは、今後の vdW スピントロニクスデバイスを設計、評価する上で重要な指針を与えるものである。