

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 (横型スピントロニクス物質のスピン輸送特性)

論文要旨：

スピントロニクスの分野では、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、スピン拡散長やスピンホール伝導度といったスピン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ン流拡散プロセスが検討されていない。第二に、スピン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、内因的なスピン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 PtTe₂ と vdW 強磁性体 Fe₃GeTe₂ (FGT) に着目した。これらの vdW 物質を横型スピントロニクス素子に組み込み、スピン吸収量や逆スピンホール効果を測定することで、スピン輸送特性を詳細に評価した。

まず、PtTe₂ におけるスピン吸収量と逆スピン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ン拡散方程式を、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pin拡散長、およびスピン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pin拡散長およびスピン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、スピン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 のスピン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、予期せず面内スピン偏極が観測された。室温において自発磁化は観測されなかったため、この面内スピン偏極は 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。