

審査の結果の要旨

氏名 蔡 瀚陞

本論文では、強磁性パーマロイ ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) /非磁性金属/酸化物の三層膜構造を用いてスピン流・電流相互変換現象の非磁性金属材料依存性、酸化物材料依存性、温度依存性など系統的な実験研究を行い、発現機構に関して得られた知見を纏めたものである。

全 7 章からなり、第 1 章の序章においては、スピントロニクスとスピン流・電流相互変換に関するこれまでの研究の概説、背景、研究目的および論文の構成について、第 2 章においては、空間反転対称性の破れた界面において特徴的に生じるラシュバ効果、同効果によって発現するスピン流・電流相互変換現象に関わる基礎理論、第 3 章では、測定に用いた素子の作製手法と測定法、第 4 章では、パーマロイ/非磁性金属/ビスマス酸化物 3 層構造のスピン流・電流変換現象の非磁性金属材料依存性、第 5 章では、酸化物層に焦点を当てパーマロイ/銅 (銀) /酸化物 3 層構造に重金属を含まない種々の酸化物層を導入してスピン流・電流変換の酸化物材料依存性、第 6 章では、銅/ビスマス酸化物界面に着目し、パーマロイ/銅/ビスマス酸化物 3 層構造を用いたスピン流・電流変換の温度依存性、最終章の第 7 章では、全体の総括と今後の展望が述べられている。

本博士論文において、蔡瀚陞氏は非磁性金属と酸化物界面で生じるスピン流・電流相互変換現象の物質依存性および関連現象の詳細な実験解析から、今後の界面スピントロニクスに資する以下に述べる 3 つの重要な成果を得ている。

1. 金属/酸化物ラシュバ界面の設計指針を得るために、酸化物層をビスマス酸化物 (Bi_2O_3) に固定して、金属層物質 (Cu, Ag, Au, Al) 依存性を系統的に調べることによって、スピン流・電流変換効率であるエデルシュタイン長が符号も含めて大きく変化することを見出した。これらの結果を第一原理計算の結果と比較することにより、接合金属と酸化物の仕事関数の差に依存して変化する界面近傍の電子分布が変化すること、これによりエデルシュタイン長の変化が生じていることを突き止めた。具体的には、Cu の場合は、電子分布が原子位置に強く局在しており、その結果エデルシュタイン長と比例関係にあるラシュバ係数が増大する。また、符号については、仕事関数の差で与えられる界面電場の符号によりラシュバ係数の符号が決まることを明らかにした。
2. 上述した非磁性金属/ビスマス酸化物界面には大きなスピン軌道相互作用の起源となる重金属元素ビスマスが含まれている。酸化物材料の選択範囲を広げる観点から、 SnO_2 、 HfO_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、および ITO (In_2O_3 と Sn_2O_3 の混合物) などの酸化物を用いて実験を行った。スピンポンピング法によるスピン注入を行い、スピン流・電

流変換を測定したところ、ITOのみが他の酸化物と比べて5倍以上大きなスピン流・電流変換効果を示すこと、InとSnのスピン軌道相互作用はBiに比べ1/5程度にもかわらず、得られたラシュバ係数がCu/Bi₂O₃に匹敵することを発見した。更に、この接合構造をバルクとした場合の実効的なスピンホール伝導度が、スピンホール物質として知られているPtやβ-Taに勝る値を示すことを見出した。

3. スピン流・電流変換効率であるエデルシュタイン長が、界面近傍の伝導電子の運動量緩和時間とスピン流・電流変換信号の相関を温度変化を測定することにより明らかにした。特に室温から低温10Kに冷却することにより金属層の伝導度を増大させるとスピン変換信号およびエデルシュタイン長が40パーセント以上も増大することを実験的に確認した。このことから変換効率を改善する手段として、高伝導度を示す金属層やグラフェンなどの2次元物質を選択することが提案された。更に、この実験から、ラシュバ2次元界面伝導層と3次元非磁性金属層の間で生じている軌道混成を媒介してスピン緩和が生じていることを明らかにした。

なお、上述した研究成果は理化学研究所創発物性科学研究センター量子ナノ磁性研究チームの近藤浩太上級研究員、金沢大学石井史之准教授、山口直也氏、東北大学軽部修太郎助教との共同研究として得られたものであるが、論文提出者の蔡瀚陞氏が主体となつて行った実験研究から得られたもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上、本博士論文は、今後の2次元電子系を用いたスピン変換現象の更なる研究を促し、スピントロニクス発展に十分寄与するとみなせる。よって、蔡瀚陞氏の学位論文の論文審査の結果、博士(科学)の学位を授与できると認める。

以上 1879 字