

動的格子変形によるスピン流および軌道流生成の微視的理論

名古屋大学大学院理学研究科 物質理学専攻（物理系）

物性理論研究室 量子輸送グループ（St 研）

小川 祐巨

スピントロニクス分野では、スピン角運動量の流れであるスピン流を利用したデバイスや物理現象の開拓を目指して研究が行なわれている。スピン流の生成方法としては電氣的、磁氣的、熱的な方法が確立されている。一方、最近では、軌道角運動量の流れである軌道流に着目した研究も盛んになりつつある。スピン流を生成するには主に物質のスピン軌道相互作用が利用されてきたのに対し、軌道流にはそれが不要なため対象物質群が広がる可能性を持ち、スピントロニクスへの応用が期待されている。

近年、従来のスピン流生成法に加えて液体金属のせん断流や固体の表面弾性波など物体の力学的な運動を用いたスピン流生成が実現されている。力学的スピン流生成機構としてスピン-渦度結合、不純物による外因性およびラシュバ型の内因性スピン軌道相互作用を介した機構が提案されている。しかし、これらの理論とは異なるスピン軌道相互作用を介したスピン流生成機構の存在も実験的に示唆されている。スピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成機構の解明は、現在の重要な課題である。また軌道流については、最近では軌道ホール効果の観測に至ったが、他の軌道流生成法の開拓も期待される。そこでスピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成の解析に加え、軌道流の力学的生成について解析を行なった。

まず、物質界面など空間反転対称性の破れた系に現れるラシュバ型スピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成を調べた。先行研究では、軌道自由度を考慮しない自由電子モデルに基づいて、歪みの効果は局所座標変換により扱われていた。本研究では、格子歪みの効果をより微視的に調べるために、3次元正方格子上の sp 電子系の強束縛モデルから出発した。格子歪みの効果は、電子の飛び移り積分の変調と空間反転対称性の破れを表す結晶軸の回転を通して取り入れた。低エネルギー有効ラシュバモデルを導くことによりラシュバ系における格子歪みの効果を定式化した。線形応答理論を用いて動的格子歪みに対するスピン流の応答を計算した結果、先行研究では現れなかった型を含む多様なスピン流が生成されることが分かった。また空間反転対称性のある系においても、 p_x , p_y 軌道の強束縛モデルを用いて力学的スピン流生成を理論的に調べ、動的格子歪みの空間微分に比例してスピン流が生成されることを明らかにした。

また、軌道流の力学的生成について解析した。空間反転対称性のある系におけるスピン流生成の解析と同じモデルを用いると、スピン軌道相互作用が無い場合は軌道流が生成されないことが分かった。これは軌道混成が存在しないことが原因である。そこで最近接サイト間の飛び移り積分のみで軌道混成を実現するモデルとして、三角格子を積層した格子構造において p_x , p_y 軌道の強束縛モデルを解析した。その結果、動的格子歪みの空間微分に比例して軌道流が生成されることを明らかにした。