



Title	局所的に空間反転対称性が破れた系において電流および熱流が誘起する反平行スピン偏極とスピン流の理論的研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	鈴木, 雄太
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第15835号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/92139">http://hdl.handle.net/2115/92139</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Yuta_Suzuki_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 鈴木 雄太

審査担当者 主査教授 明楽 浩史  
副査教授 足立 智  
副査准教授 土家 琢磨

### 学位論文題名

局所的に空間反転対称性が破れた系において電流および熱流が誘起する反平行スピン偏極とスピン流の理論的研究

(Theoretical Study on Spin Current and Antiparallel Spin Polarization Induced by Electric and Thermal Current in a System with Locally-Broken Inversion Symmetry)

スピントロニクスにおいて重要な役割を担っているスピン流は、電流誘起スピン偏極 (CISP) の拡散により生成することができる。CISP は空間反転対称性が破れた系で電流により時間反転対称性を破ることで生じるスピン偏極である。

最近、空間反転対称性が系全体では保たれているが局所的には破れている系が注目されている。この系は一般に副格子 A と B をもち空間反転操作で副格子が交換することにより全体で空間反転対称性を保っている。一方この副格子の格子点を中心とする空間反転操作に対しては不変ではないので局所的には空間反転対称性が破れている。同様の対称性が 2 層構造でも存在する。2 層構造の各層では空間反転対称性が破れているため CISP を生じるが、2 層のスピン偏極が反平行であるため 2 層合わせたスピン偏極はゼロである。

この局所的な空間反転対称性の破れを活用する一つの方向は、反平行 CISP からスピン流を生成することである。CISP からのスピン流生成はこれまで空間反転対称性が破れた系に限られていたが、局所的に空間反転対称性が破れた系からもスピン流を生成できれば物質や構造の選択肢が増大する。このスピン流生成が有用であるためには、局所的な破れでも系全体の破れと同程度のスピン流を取り出せることが必要である。

そこで本研究では、まず局所的に空間反転対称性が破れた系における反平行 CISP からスピン流を取り出す方法を提案し、そのスピン流の大きさを量子井戸 2 層の系すなわち二重量子井戸において見積もり、系全体で空間反転対称性が破れた単一量子井戸と比較している。

まず局所的に空間反転対称性が破れた系からスピン流を取り出す方法として、反平行 CISP をもつ副格子の一つの近傍に電極を配置してその副格子のスピン偏極を選択的に抽出することを提案している。この選択的抽出が可能な系としては原子層で副格子 A と B が互いに面直方向にずれたシリセンやゲルマネンが挙げられる。反平行 CISP をもつ原子層に別の原子層を電極として積層することで、電極に近い一方の副格子から選択的にスピン偏極を取り出すことができる。

次に、局所的に空間反転対称性が破れた系の中で最も簡単な二重量子井戸に着目し、二重量子井戸における反平行 CISP からのスピン流が単一量子井戸からのスピン流と同程度の大きさをもつことを示している。この二重量子井戸は系全体で空間反転対称性をもつが、各層では局所的に空間反転対称性が破れており反平行 CISP が生じる。この二重量子井戸の上に電極を置くことで、一方の

層のスピンの偏極が選択的に電極に拡散しスピン流を生成できる。

本研究では、緩和時間近似のボルツマン方程式を用いて二重量子井戸で生じる局所的 CISP が第一励起サブバンド下端の化学ポテンシャルで最大となり、その最大値が層間結合強度とともに増大し単一量子井戸の値の 2 倍に達することを明らかにしている。層間結合がない単一量子井戸は空間反転対称性が破れた系であるので、この結果は局所的に空間反転対称性が破れた系の局所的 CISP が空間反転対称性が破れた系の CISP を上回ることがあるということを示している。電極への電子のトンネル確率が二重量子井戸のすべての占有状態で等しいと近似すると、スピン流は電極側の井戸で生じる局所的 CISP に比例するため、局所的 CISP の層間結合依存性はスピン流にもそのまま反映される。したがって、空間反転対称性が局所的に破れた系はスピン流生成に有用であることが期待できる。

次に電流の代わりに熱流が誘起する局所的な熱流誘起スピン偏極 (TISP) を二重量子井戸構造において電流ゼロ・電子密度一定の条件のもとで計算し、層間結合強度がゼロでないときに局所的 TISP が最大となること、すなわち空間反転対称性が破れた単一量子井戸の TISP より大きい値を取ることを明らかにしている。また TISP は CISP に比べて化学ポテンシャルに強く依存し、電流ゼロの条件では単一量子井戸の TISP も二重量子井戸の局所的 TISP も第一励起サブバンド下端近傍の化学ポテンシャルで最大となることを明らかにしている。この化学ポテンシャル依存性は多くの物質や構造において共通に現れると考えられ、熱を活用して効率的にスピン偏極とスピン流を生成するための指針となる。

これを要するに本論文は、局所的に空間反転対称性が破れた系において電流と熱流が誘起する局所的スピン偏極をスピン流として抽出する方法を提案し、そのスピン流の大きさが空間反転対称性が破れた系からのスピン流と同程度であることを計算により明らかにすることにより、局所的に空間反転対称性が破れた物質群がスピン流源として有用であることを示しており、スピントロニクスひいては応用物理学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。