

(続紙 1)

京都大学	博士 (工学)	氏名	西嶋 泰樹
論文題目	Study on nonlinear transport and optical phenomena under inversion symmetry breaking (反転対称性の破れた系における非線形輸送と光学現象に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>物性物理学において反転対称性の破れは非相反伝導、非線形ホール効果、光電流の生成など様々な新奇物性現象を生み出す。これらの現象は反転対称性の破れに伴う整流効果として枢軸的に理解でき、メモリ効果や整流効果などのデバイス応用可能な物理現象として認識されている。本研究ではトポロジカル絶縁体や層状物質、金属ナノワイヤーなどの低次元かつ対称性の破れた物質系を対象として、非線形輸送現象の視点から特にスピントロニクスへの応用を視座に入れてメモリ効果及び整流効果について詳細な検討を行い、その学理を明らかとしている。以下の主要な成果をまとめる。</p> <p>第一章では、本論文で記述される研究内容として重要な、輸送特性をはじめとする非線形現象の背景学理が先行研究の紹介と共にまとめられている。同時にスピントロニクスにおけるスピン電荷変換物性がまとめられており、本研究の立ち位置が客観的に示されている。</p> <p>第二章以降が研究成果のまとめとなる。</p> <p>第二章ではトポロジカル結晶絶縁体(TCI)におけるベリー位相双極子(BCD)に起因する非線形ホール効果に関する研究成果がまとめられている。TCIは系の時間反転対称性がトポロジカル状態を保護するトポロジカル絶縁体のファミリー物質であり系の構造的な反転対称性がトポロジカル状態を保護する。しかしながら典型的TCIであるPbSnTeは強誘電性を有するために電界印加による原子変位により系の反転対称性が破れ、それに伴ってトポロジカル物性を誘起するベリー曲率双極子が発生する。本研究では反転対称性の破れによる非線形ホール効果を観測することでこの系のBCDがメモリ効果を有すること、電界方向によってBCDの極性が制御できること、さらにBCDの大きさが極めて大きいことを室温で初めて発見したが、その詳細な結果が現象を説明する物理機構とともにまとめられている。</p> <p>第三章では反転対称性の破れた原子層物質を対象とした光誘起非線形効果に関する研究成果が記述されている。原子層物質は現在極めて高い関心を集める物質群であり、グラフェンは原子層物質研究が爆発的に流行した嚆矢となる物質であるが、ポストグラフェン物質と呼ばれる物質群の中でIV族半導体原子層物質もまた重要な物質系である。本章ではGeで構成される原子層物質であるゲルマネンに着目し、そのスタック方向の反転対称性の破れによるRashba効果が生み出すスピン構造を円偏光ガルバノ効果によって観測した結果がまとめられている。</p> <p>第四章では反転対称性の破れが広範な物質系で生じうる点に着目して、従来観測可能なRashba効果が誘起されると期待されていなかった非磁性金属ナノワイヤーにおいても、そのエッジ部分の反転対称性の破れと電流注入によって、電流方向と直交方向にスピンが輸送・蓄積されるスピンホール効果との協奏による新奇な直線偏光誘起光電流が計測された結果が述べられている。</p> <p>第五章は本研究のまとめとなる。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、現代の物性物理学において大きな関心を集めているトポロジックな状態や対称性の破れが生み出す新奇物性現象に着目し、トポロジカル絶縁体や層状物質、金属ナノワイヤーなどの低次元かつ対称性の破れた物質系を対象として、非線形輸送現象の視点から特にスピントロニクスへの応用を視座に入れてメモリ効果及び整流効果について詳細な検討を行い、その学理を明らかとしている。以下の主要な成果をまとめる。

1. トポロジカル結晶絶縁体(TCI)は、系の時間反転対称性がトポロジカル状態を保護するトポロジカル絶縁体のファミリー物質であり系の構造的な反転対称性がトポロジカル状態を保護する。しかしながら典型的 TCI である PbSnTe は強誘電性を有するために電界印加による原子変位により系の反転対称性が破れ、それに伴ってトポロジカル物性を誘起するベリー曲率双極子(BCD)が発生する。本研究では反転対称性の破れによる非線形ホール効果を観測することでこの系の BCD がメモリ効果を有すること、電界方向によって BCD の極性が制御できること、さらに BCD の大きさが極めて大きいことを室温で初めて発見した。
2. 原子層物質は現在極めて高い関心を集める物質群である。グラフェンは原子層物質研究が爆発的に流行した嚆矢となる物質であるが、ポストグラフェン物質と呼ばれる物質群の中で IV 族半導体原子層物質もまた重要な物質系である。本研究では Ge で構成される原子層物質であるゲルマネンに着目し、そのスタック方向の反転対称性の破れによる Rashba 効果が生み出すスピン構造を円偏光ガルバノ効果によって観測した結果を報告した。
3. 反転対称性の破れは広範な物質系で生じるため、その破れによる Rashba 効果、及び Rashba 効果が生み出す特徴的なスピン構造もまた広範な物質系で誘起される。本研究では従来観測可能な Rashba 効果が誘起されると期待されていなかった非磁性金属ナノワイヤーにおいて、そのエッジ部分の反転対称性の破れと電流注入によって電流方向と直交方向にスピンが輸送・蓄積されるスピンホール効果の協奏による新奇な直線偏光誘起光電流の計測に成功した。

以上のように、本論文では物性物理学研究で強い関心を集めるトポロジカル物質科学・スピントロニクスの両分野における多くの先駆的発見がまとめられており、本論文は学術的価値の高い内容であるものと認められる。

本論文について、令和 6 年 1 月 18 日に、博士学位論文調査委員の 3 名（白石誠司・柳瀬陽一・掛谷一弘）の前で、申請者である西嶋泰樹氏による論文内容の説明、及び論文内容とそれに関連した物性物理学・トポロジカル物質科学に関する事項について試問を行い、申請者の研究が世界的に当該研究分野において優れた内容と先進性を有しており、また申請者が本研究に関する十分な物理的知見を深い理解を有していることを確認できたことから、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 令和 6 年 6 月 24 日以降