

異常ホール効果を利用する 高感度磁気センサーの材料設計への研究

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

磁気センサー(磁場を検知、計測することのできるセンサー)は様々な場面で利用されているが、その原理によって種類も多くあり、それぞれ適した用途も異なる。身近なところではスマートフォンに搭載され地磁気測定により方角を特定している。産業においては地磁気、鉱物や、生体の磁気、紙幣に使われている磁性インクの検知など幅広く、重要な場面でも多く使用されている。また同じ磁気センサーと呼ばれるものでも、磁場の変化による誘導起電力を用いるコイル(コイルも磁気センサーの一種である)や、磁場によって抵抗値が変化する磁気抵抗素子、電流が流れている物質が磁場中で電流と磁場の両方に垂直な方向に電圧を生じるホール効果を利用したホールセンサーなど、異なる原理によるものがある。磁気センサーの能力としても、磁場の有無を判別するようなシンプルなものから、磁場の变化、磁場の大きさ・向きまで測定できるものまで種々ある。種類豊富な磁気センサーのうち、本研究では内因性異常ホール効果を原理として利用した高感度磁気センサーの実現に向けて、物性理論研究を行なった。

■ 活動内容

1. 文献調査

本研究では、ホールセンサーの材料となりうる物質の物理的性質を理解するために、基礎理論として固体物理学、バンド理論^[1]、そしてホール効果について^[2]、文献調査により理論の確認をした。ホール効果は、同様の現象を起こす原理の異なる効果が数多く存在する。例として通常のホール効果とは図1に示すように、物質中の電流の電荷の担い手(キャリア)が外部磁場から受けるローレンツ力が原因となり、電流・磁場の両方に垂直な方向の側面にキャリアが蓄積していき、結果的に電圧(ホール電圧 V_H)が生じるような効果である。なおこの時キャリアの正負に関わらず電流と磁場に関して同じ側面にキャリアが蓄積されるため、ホール電圧の測定によりキャリアの判別も可能である。このほか異常ホール効果、量子ホール効果、スピンホール効果...などがあるが、本研究では通常のホール効果と異常ホール効果(特に内因性の)について文献調査により理論を確認した。

2. 大型計算機による第一原理計算の手法を習得

高感度磁気センサーの材料設計に向けた、大きな異常ホール効果を生ずる材料の探索に使用するコンピュー

タによる物性値計算の手法を習得した。本研究では、量子力学を原理として物質の電子状態を計算する第一原理計算と呼ばれる計算を行う。密度汎関数理論(DFT: Density Functional Theory)に基づく計算を行うソフトウェアであるQuantum ESPRESSO^[3]を用いて一通りの計算手法を確認したのち、さらに計算精度を高めるために、FLAPW (Full-potential Linearized Augmented Plane Wave method)^[4]の習得に取り組んだ。同じ電子状態を計算するソフトウェアでも、計算や近似の方法によって異なるものが存在する。本研究では、電荷密度を計算するSCF(Self consistent Field)計算、エネルギーバンドの計算、状態密度(DOS: density of state)などの計算について、計算に必要な物質の情報の入力方法から、計算オプションや最適化、そして結果を視覚的に確認するための出力方法(グラフへのプロット)も習得した。

3. 今後の研究活動

ここまでの研究で、内因性異常ホール効果と、また材料探索のための物性値計算(第一原理計算)の手法習得などの準備を進めてきた。今後は、高感度磁気センサーの材料となりうるような大きな異常ホール効果を持つ材料の探索を行っていく。

■ 関連情報等(参考文献、使用ソフトウェア)

[1]越野幹人, グラフェンの物理学, 2023

[2]近藤憲治, まてりあ, 48(2), 55-60, 2009

[3]Quantum Espresso(<https://www.quantum-espresso.org>)

[4]FLAPW

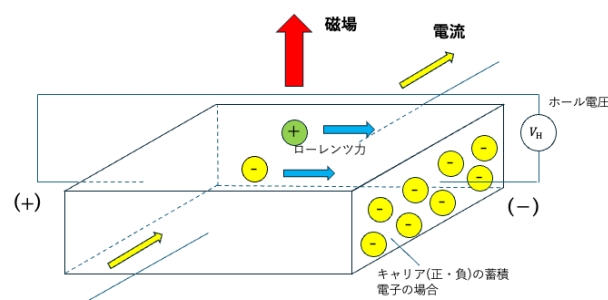


図.ホール効果(キャリアが電子の場合)

代表発表者 櫻井 幹久(さくらい もとひさ)
所 属 筑波大学大学院理工情報生命学術院
数理工学科学研究群
応用理工学学位プログラム

産業技術総合研究所
新原理コンピューティング研究センター

問合せ先 〒305-0003 茨城県つくば市桜 2-26

TEL: 080-6739-0885

E-mail: sakurai-m@aist.go.jp

■キーワード: (1) 異常ホール効果
(2) 第一原理計算
(3) 磁気センサー

■共同研究者: 今村裕志(産業技術総合研究所)
北岡幸恵(産業技術総合研究所)