HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	メゾスコピックリング配列構造におけるスピン回転を伴う弱反局在の実空間シミュレーション手法の開発 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	澤田, 淳
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12852号
Issue Date	2017-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67452
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Atsushi_Sawada_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　澤田　淳

学　位　論　文　題　名

メゾスコピックリング配列構造におけるスピン回転を伴う弱反局在の実空間シミュレーション手法の開発

（Real space simulation of weak antilocalization with the spin precession in mesoscopic ring array）

電子が持つスピン自由度を利用した新しい動作原理に基づくデバイスの実現を目指す研究分野であるスピントロニクスにおいて、ゼロ磁場スピン分離効果の一つである Rashba 効果は重要な研究対象となっている。1990 年に Datta らは Rashba 効果によるスピン回転とそのゲート制御を基本原理とするスピントランジスタを提案した。当時この Rashba 効果はよく理解されていなかったが、この提案を契機に多くの研究が行われるようになり、現在電子スピンの輸送現象を理解・制御する上で重要な位置を占めている。また、近年、薄膜成長技術の発展に伴い、様々な新規二次元材料における Rashba 効果の研究が活発になってきており、あらゆる材料において Rashba 効果の大きさを定量的に決定する手法が求められている。

InGaAs 系のダブルヘテロ量子井戸構造 (InGaAs QW) では、2011 年に Faniel らがバルク二次元電子系 (2DES: Two-dimensional electron system) における弱反局在による磁気伝導率のゲート依存性の解析によって Rashba 効果によるスピン分離の大きさを表す Rashba 係数 α の高いゲート制御性を定量的に解明しているため、Rashba 効果の大きさを決定する手法を評価する上で InGaAs QW は非常に優れた試料といえる。本論文では、バルク 2DES ではなく、メゾスコピックリング配列構造を有する 2DES で生じる複雑な電気伝導率の磁気振動に着目する。この電気伝導率の大きさはメゾスコピックリング配列構造中の干渉効果によって決まり、Rashba 効果によるスピン回転角の大きさによって干渉強度が変化する。そのため、複雑な電気伝導率の磁気振動を定量的に解明すれば、フィッティング解析により Rashba 効果によるスピン回転の大きさなどの多くの物性値の決定が期待できる。そこで、本論文ではメゾスコピックリング配列構造におけるスピン回転を伴う弱反局在の実空間シミュレーション手法を開発し、複雑な電気伝導率の磁気振動の解析を行い、物性値の決定が可能であることを示す。

以下に本論文の構成を示す。

第 1 章では、Rashba 効果に関する先行研究を示し、研究背景を整理し、本論文の目的および論文構成を示す。第 2 章では、本論文で提案する解析手法の説明に必要となる 2DES における輸送現象とスピン物性の基礎について解説を行い、バルク 2DES およびメゾスコピック構造における弱反局在の原理についてその歴史と共に解説を行う。

第 3 章では、本論文で提案する解析手法の根本となる再帰と弱反局在に関して説明を行う。2DES 中の再帰経路は干渉効果に寄与するため、様々な再帰経路の干渉強度をカウントすることで、弱反局在による電気伝導率の変化を予測することが可能である。本論文で提案する解析手法では、電子の実空間での動きをシミュレーションすることで、様々な再帰経路の干渉強度をカウントする。そのため、本章では再帰の理論的な定義を明確に示し、実空間シミュレーションにおける再帰の扱い方を示す。また、スピン回転によって生じるスピン位相差による干渉強度の変化について

も詳細に示す。

第 4 章では、本論文で提案する解析手法の有用性を示すために、バルク 2DES のような不純物散乱のみを考慮した実空間シミュレーションによって計算された再帰経路の干渉強度を用いて弱局在/弱反局在による電気伝導率の磁場依存性を計算し、既存のバルク 2DES における弱局在/弱反局在モデルを再現することを示す。本論文で提案する手法は既存のモデルを再現するだけでなく、シミュレーション手法の最適化をおこなうことで、既存モデルの計算に比べ、容易かつ高速な計算を可能としている。また、一つひとつの再帰経路の干渉強度をそれぞれ計算するため、様々なスピン回転の影響を導入することができるなどの高い汎用性を持つ。

第 5 章では、メゾスコピックリング配列構造を有する InGaAs QW における電気伝導率の磁気振動のゲート電圧依存性の測定結果に本論文で提案する解析手法を適用することで、Rashba 効果によるスピン回転の大きさのゲート電圧依存性の決定を行う。また、メゾスコピックリング配列構造中の不純物散乱を考慮した本解析手法を適用することで、広い磁場範囲のフィッティング解析が可能となり、Rashba 効果によるスピン回転の大きさ以外の物性値を決定することが可能であることを示す。特に、電気伝導率の磁気振動の温度依存性の測定結果に本解析手法を適用することで、位相緩和時間の温度依存性を決定することが可能であることを示す。

最後に、第 6 章にて、総括について述べる。