



Title	Anomalous Transport Phenomena on Various Types of Electronic States in Semiconductors
Author(s)	藤元, 章
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3183822
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	藤元 章
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15952 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Anomalous Transport Phenomena on Various Types of Electronic States in Semiconductors (半導体におけるいろいろな電子系の異常な輸送現象)
論文審査委員	(主査) 教授 大山 忠司
	(副査) 教授 大貫 慎陸 教授 竹田 精治 助教授 摂待 力生 助教授 中田 博保

論文内容の要旨

半導体における金属-絶縁体転移の問題は長い歴史を持つが、次から次へと新たな問題が生まれ、それだけに興味が尽きない研究課題である。特に、転移濃度近傍の不純物を含む系においては、結晶中の電子の分布状態や有効質量の違いなどにより挙動が大きく変化する。この研究では Si を舞台とした典型的な 3 次元電子系、試料の一部にだけ不純物を含むデルタドープされた系、および有効質量が非常に小さい InSb の系に注目して、それぞれの特徴的な振る舞いとそれらの違いおよび類似点を明らかにすることを目的とした。

[1] 3 次元系不純物半導体における金属-絶縁体転移とアンダーソン局在：金属-絶縁体転移の臨界濃度近傍の不純物を含む Si : Sb の試料を用いて、温度、電場（電流）、磁場、濃度依存性などいろいろな条件下で電流磁気効果の測定を行い、様々な角度から多面的に輸送特性の解析を試みた。特に、低温の電気抵抗、磁気抵抗効果、Hall 効果の測定を非オーム性が現れる高電場領域にまで拡張して行い、臨界濃度以下の試料で、低電場領域の正の磁気抵抗が非オーム領域では負に反転することを見出した。この現象を D⁻ 状態に関係する Hubbard モデルに基づき、高電場の下では移動度端付近に弱局在状態を仮定した上部 Hubbard バンドへの電子の励起により説明した。この結果は、不純物半導体の金属-絶縁体転移が不純物バンド内で起こり、Si の many-valley 効果により Hubbard ギャップが開くのは不純物濃度が臨界濃度以下の時であり、転移が Anderson 型であるとする考えを支持する。

Si における典型的なドナーは Sb のほかに P や As がある。Sb は P や As に比べて原子番号が大きく、そのため、Si に Sb をドープしたときの抵抗率の低温領域における温度変化はスピン-軌道相互作用効果により P や As をドープしたときと大きく異なることが期待される。しかし、金属領域のバルクの Si : Sb は、低温で弱局在効果による負の磁気抵抗のみが観測された。

[2] デルタドープした 2 次元系半導体の反局在効果：Sb をデルタドープした Si は特殊な 2 次元電子系を形成するが、変調ドープされた GaAs / AlGaAs のような系と異なり、2 次元面内に Sb 原子があるため不純物散乱確率が大きく、このような系では弱磁場で反局在効果による正の磁気抵抗効果が観測されるなど、スピン-軌道相互作用効果による反局在効果が顕著に現れることを明確にした。

[3] InSb 薄膜における局在効果と異常な電気伝導：MBE 法で作製された GaAs 基板上の InSb 薄膜試料は、GaAs と InSb の界面にキャリアの蓄積層が存在する可能性がある。この試料について Hall 係数の温度依存性を調べると、140K 付近で Hall 係数のピークが現れ、これは InSb 薄膜と GaAs / InSb 界面とにそれぞれ異なる移動度を持

つキャリアが存在するというモデルによって理解することができる。その場合、低温域では、GaAs/InSb 界面のキャリアが伝導に主に寄与すると考えられる。また弱磁場で異常な正の磁気抵抗が観測された。その正の磁気抵抗は薄膜の面に対し角度依存性を持つことから、GaAs/InSb 界面の電子系は 2 次元的な性質を持ち、それらがこの効果に寄与しているものとして理解される。弱磁場での異常な正の磁気抵抗効果は、デルタドープした試料と同じく反局在効果によるものとして解析することができる。これは界面の 2 次元電子系において強調されるスピン-軌道相互作用に基づく反局在効果が生じている。

このようにして、いろいろな状態を持つ電子系において、それぞれ特徴的な局在効果や相互作用効果が輸送特性に関与することを明確にすくことができた。

論文審査の結果の要旨

藤元君は Si を舞台とした典型的な 3 次元電子系、試料の一部にだけ不純物が添加されたデルタドープされた系、および有効質量が非常に小さく磁場などの外的影響を受け易い InSb の系に注目して、それぞれの系における不純物伝導と金属-非金属転移の特徴的な振る舞いを明らかにし、これらの問題に対する新たな発展に寄与することができた。

- (1) 3 次元系不純物半導体における金属-非金属転移とアンダーソン局在の問題では、金属-非金属転移の臨界濃度近傍の不純物を含む系において低温の電気抵抗、磁気抵抗効果、Hall 効果の測定を非オーム性が現れる高電場領域にまで拡張して行い、不純物半導体の金属-非金属転移が不純物バンド内で起こることを明確にした。
- (2) Sb を 1 原子層内にデルタドープした Si は特殊な 2 次元電子系を形成するが、2 次元面内に Sb 原子があるため不純物散乱確率が大きく、このような系では弱磁場で反局在効果による正の磁気抵抗効果が観測されることを見い出し、これはスピン-軌道相互作用効果による反局在効果に起因することを明確にした。
- (3) InSb 薄膜における系では観測された正の磁気抵抗効果が薄膜の面に対し角度依存性を持つことから、基板との間に蓄積 2 次元電子系が形成されることを見い出し、この 2 次元電子系において強調されるスpin-軌道相互作用に基づく反局在効果を解明した。

このようにして、いろいろな状態を持つ電子系において、それぞれ特徴的な局在効果や相互作用効果が輸送特性に関与することを明確にした。

よって藤元君の研究は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。