

論文審査の結果の要旨

氏名 金 善宇

半導体素子におけるスピン流の生成と検出は、そのスピン物性の物理的理解とスピントロニクスへの応用のふたつの観点からたいへん重要である。本論文では、スピン軌道相互作用が強い二次元電子系の量子ポイントコンタクトにおけるスピン偏極伝導電子の生成とその検出について述べられている。このような系の量子ポイントコンタクトにおいて、コンダクタンス量子化が観察されている状況では、伝導電子の大きなスピン偏極が理論的研究によって予想されている。しかしながら、これまで微細な量子構造におけるスピン偏極測定が困難であったために、実際にスピン偏極が観測されることはなかった。本研究では、側面結合量子ドットを実現する微細構造を用いることにより、InGaAs/AlGaAs 界面二次元電子ガス量子ポイントコンタクト近傍において伝導電子のスピン偏極を検出する方法を開発した。これを用いることにより、コンダクタンスの量子化が観察されている場合のみに、伝導電子に高いスピン偏極度があることを明らかにした。この成果は、強いスピン軌道相互作用起因のスピン偏極現象の重要な発見のひとつとして、物性物理学の進展に大いに寄与するものである。

本論文は6つの章から構成されている。第1章は序論であり、本研究の背景として、これまでの量子ポイントコンタクトの電気伝導研究を概観している。特に、 $G_q=2e^2/h$ を伝導度量子化の単位とする非整数量子化コンダクタンスを解釈する上で重要な、スピン偏極現象の理論を紹介している。そして、スピン軌道相互作用が強い系を用いた本研究の目的が述べられている。続く第2章においては、本研究で取り扱う InGaAs/AlGaAs 二次元電子ガスの作製およびそれを含む基板の微細加工について述べた後、極低温での電気伝導測定方法を詳述している。

第3章では、InGaAs/AlGaAs 量子ドット構造における新しいブロッケード現象の観察結果を示した。これは、“スピンペア”である二つの隣り合うクーロン振動ピークの片方だけが、バイアス電圧に依存してブロッケードされるものである。量子ドットを形成する二つの量子ポイントコンタクトのうちの一つの伝導度を $G_q/2$ としたときに、これが現れた。この結果から、 $G_q/2$ プラトーにおける量子ポイントコンタクトが、スピンスピンフィルターの役割をしていると結論した。

第 4 章では、側面結合量子ドットを用いたスピン検出器の開発と実証について記述されている。これは、5つの微細電極から構成される構造をもち、測定対象とする量子ポイントコンタクトからの電子移動を最小限にして、その近傍のスピン偏極度を測定できる理想的なものである。その結果、 $G_q/2$ プラトーでは、量子ポイントコンタクト近傍の伝導電子がスピン偏極度 0.7 程度をもつことを明らかにした。

第 5 章では、さらに、このスピン検出器に改良を加え、いくつかの測定パラメータを変化させ、量子ポイントコンタクト近傍の伝導電子のスピン偏極度を測定した。その結果、量子ポイントコンタクト伝導度が G_q の場合にも、スピン偏極度が 0.6 程度であることを明らかにした。一方、伝導度が $1.3 G_q$ あるいは $0.02 G_q$ の場合は、スピン偏極は観察されなかった。さらに、量子ポイントコンタクトにおけるスピン偏極度のバイアス電圧依存性も測定した。バイアス電圧を高くすると、 G_q プラトーにおいてはスピン偏極度が増大し、 $G_q/2$ プラトーでは減少することをみいだした。観測されたスピン偏極度のパラメータ依存性は、スピン偏極の起源を解明するために極めて重要な実験結果である。第 6 章では、本論文で明らかにされた研究成果とその意義がまとめられている。

以上のように、論文提出者は、InGaAs/AlGaAs 二次元電子ガスの量子ポイントコンタクトにおいて、スピン軌道相互作用に起因する伝導電子のスピン偏極を研究した。本研究において、量子ドット構造を用いてスピフィルター効果を明確に観察したこと、 $G_q/2$ および G_q プラトーにおいてスピン偏極度が高いこと、およびそのバイアス電圧依存性を明らかにしたことは、特筆すべき成果である。これらにより、高いスピン偏極度の起源を解明し応用するための重要な新しい知見を与え、今後のスピン物性研究に極めて有用な情報をもたらした。したがって、本研究の物性物理学としての価値と独創性は十分であると認められた。なお、本論文の第 4 および 5 章は共同研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、結果の解析、考察を行ったものであり、本論文が示す研究成果に関して論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の理由により、博士（理学）の学位を授与できると認める。