

機関番号：12601

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007 ～ 2011

課題番号：19048016

研究課題名（和文） 単電子スピン制御

研究課題名（英文） Single-Electron Spintronics

研究代表者

勝本 信吾 (KATSUMOTO SHINGO )

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：10185829

研究成果の概要（和文）：スピン軌道相互作用を用いた非磁性体におけるスピン偏極，およびその単電子効果を用いた検出に成功した．希薄磁性半導体磁気トンネル接合において，スピン注入磁化反転に伴い，整流特性が反転することを見出した．

研究成果の概要（英文）：Spin polarization due to spin-orbit interaction in a non-magnetic semiconductor has been detected through the single-electron effect in a quantum dot. Magnetization dependent rectification effect and its reversal with spin injection has been found in magnetic tunnel junctions of diluted magnetic semiconductors.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,400,000	0	7,400,000
2008 年度	9,300,000	0	9,300,000
2009 年度	9,300,000	0	9,300,000
2010 年度	7,400,000	0	7,400,000
総計	33,400,000	0	33,400,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・機能材料

キーワード：単電子素子，磁性半導体，スピン制御，量子情報，量子ドット

## 1. 研究開始当初の背景

電子スピンを用いた量子情報操作のためには，非磁性体においてスピン偏極を発生させることが必要条件であった．スピン軌道相互作用を用いる量子構造が最も有望なものと考えられ，多くの理論的な提案がなされていたが，発生はもとより，発生したとされるスピン偏極を検出するのが実験的には大変難しく，明瞭な実験結果がない状態であった．

## 2. 研究の目的

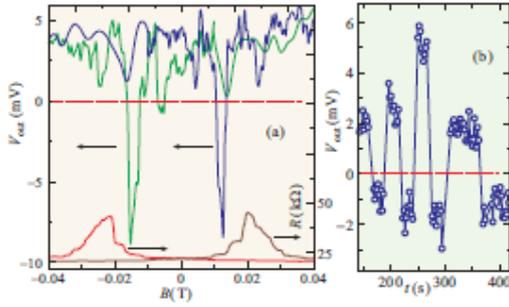
量子ドットで生じる単電子効果を用い，場合によっては強磁性半導体を併用しながら，半導体ナノ構造中でスピンを用いた論理操作，量子情報操作を可能にする技術を追求めた．具体的目標として，非磁性半導体中にスピン注入その他の方法を用いてスピン流を生成すること，それを単電子効果を用いて鋭敏に検出することを目的とした．

## 3. 研究の方法

強磁性半導体デバイス，量子ドットデバイスの 2 本立てで研究を進めた．強磁性半導体では縦方向の超構造を作り，単電子効果による磁性依存特性の強化を狙った．量子ドットデバイスでは，スピン軌道相互作用が強い一方，スプリットゲートで量子構造が作成可能な擬格子整合系を中心として，量子細線で生じたスピン偏極を量子ドットで検出することを狙った．

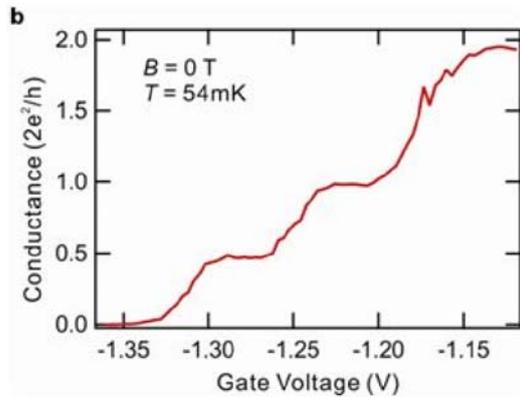
## 4. 研究成果

(1) 強磁性半導体 (Ga, Mn)As 素子においては，薄膜に垂直・水平方向のいずれの方向の電流注入においても磁化方向の制御が可能であることを示した．更に，2 重量子井戸構造において，電流注入によって整流特性を反転させる新しい機能を見出した．



(a) 高周波(図は1kHzだが、8GHzでも同様)に対する出力電圧. (b) 電流注入に対する整流電圧出力のスイッチング.

(2) 量子ドットを用いたスピン流生成法として、ゲート電圧によって閉じ込めにポテンシャルを変化させることで電子数を固定したまま多体効果により高スピン状態へ遷移させ、これをポンプアウトするものを提案し実証した. より効率が高く、偏極方向制御が可能な方法として、スピン軌道相互作用を用いた量子細線とドットのダイヤモンド構造を理論的に提案した. 以上のようなスピン偏極源は外部擾乱に大変弱いため擾乱の少ない偏極検出器が必要であるが、これが量子ドットを用いて実現可能であることを理論的に提案し、強磁場下の量子細線において実験的に実証した.



スピン偏極のために生じた 1/2 量子化.

スピン軌道相互作用の強い2次元電子系を作製して量子ポイントコンタクト(QPC)構造とし、伝導を調べたところ伝導度量子の半分での量子化を観測し、スピン流の生成を示唆する結果を得た. このQPCを直列化して量子ドットを形成し、単電子効果を測定したところ、有限バイアスで極めて特徴的な電流ブロック現象を観測し、スピン偏極(スピン流生成)を確認することができた. 以上により、非磁性半導体中において外部磁場を用いずにスピン流を生成し、それを検出することが

できた.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

- (1) Y. Hashimoto, H. Amano, Y. Iye, S. Katsumoto, Appl. Phys. Express 4, 063004 (1-3) (2011). (査読有)
- (2) T. Otsuka, E. Abe, Y. Iye and S. Katsumoto, "Detection of spin polarization with a side-coupled quantum dot", Phys. Rev. B 79, 195313(1-4) (2009). (査読有)

[学会発表] (計 27 件)

- (1) S.W. Kim, Y. Hashimoto, Y. Iye, S. Katsumoto, 38th International Symposium on Compound Semiconductors, Berlin, Germany 5/24 (2011).
- (2) Y. Hashimoto, H. Amano, Y. Iye, S. Katsumoto, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology, Atsugi, Japan 1/14 (2011).

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝本 信吾 (KATSUMOTO SHINGO)  
 東京大学・物性研究所・教授  
 研究者番号: 10185829