

課題番号 : F-15-HK-0037
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : p-i-n 接合型バックゲート構造を用いたスピン信号のゲート制御に関する研究
 Program Title (English) : Gate control of spin signals through a p-i-n junction-type backgate structure
 利用者名(日本語) : 宮川拓望, 山本眞史, 植村哲也
 Username (English) : T. Miyakawa, M. Yamamoto, T. Uemura
 所属名(日本語) : 北海道大学大学院情報科学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

1. 概要(Summary)

スピントランジスタをはじめとする半導体スピン機能デバイスの実現には、スピン偏極した電子を半導体チャネル中に電氣的に注入する”スピン注入”と、注入されたスピンをゲート電圧によって制御する”スピン信号のゲート制御”の技術確立が課題である。スピン注入に関してはこれまで盛んに研究がなされ、Si や GaAs, Ge などさまざまな半導体チャネルにて実証がなされている。一方、ゲート制御に関しては実証例が極めて少なく、チャネル材料としては InAs 量子井戸^[1]、グラフェン^[2]と Si^[3]にのみ限られている。また、チャネル材料によりゲート電界の効果の発現の仕方が大きく異なるため、様々なチャネル材料においてスピン信号のゲート制御機構を系統的に調べる事が重要な課題である。また、いずれの報告例もスピンのゲート制御効率は非常に小さく、高効率化が求められている。

本研究の目的は、(1) GaAs チャネルにおけるスピン信号の高効率ゲート制御の実証、および、(2) GaAs チャネルにおけるスピン信号のゲート制御機構を明らかにすることである。

2. 実験(Experimental)

● 利用した主な装置

超高精細高精度電子ビーム描画装置 100 kV

ELS-7000HM

反応性イオンエッチング装置 RIE-10NRV

● 実験方法

Fig. 1 に、作製したデバイス構造の模式図と端子配置を示す。電極-2,3 の接合はそれぞれ $1.0 \times 10 \mu\text{m}^2$, $0.5 \times 10 \mu\text{m}^2$ であり、接合間距離は 0.7, 1.0, 2 μm である。フォトリソ、EB レジストからなる 2 層レジスト

法を用いた EB 描画, RIE により、上記の接合パターンを作製した。

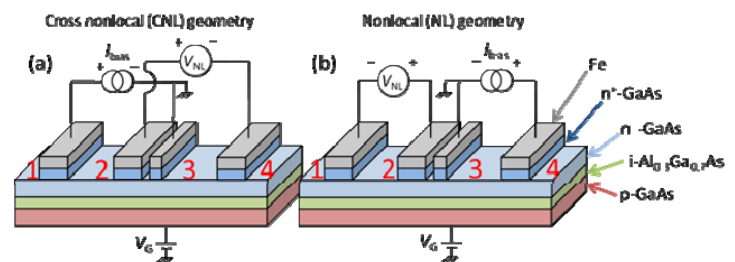


Fig. 1. Device structure. (a) CNL geometry (b) NL geometry

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 2 に、 $I_{\text{bias}} = 20 \mu\text{A}$, $V_G = 1.4, 0, -1.6, -2.4 \text{ V}$ の Cross nonlocal(CNL)配置と nonlocal(NL)配置におけるスピンバルブ信号と Hanle 信号を示す。縦軸は $V_{\text{NL}}/I_{\text{bias}}$ で定義されるスピン抵抗の大きさを表す。ここに、 I_{bias} は注入電流量、 V_{NL} は測定電圧である(Fig. 1)。

Fig. 2 (a), (b) に示すように、CNL 配置におけるスピンバルブ信号および Hanle 信号の大きさは比較的低い V_G 下で明瞭に変化した。スピン抵抗 ($\Delta V_{\text{NL}}/I_{\text{bias}}$) の V_G による変化分を、ゲート電圧変化分と単位面積当たりのゲート容量の積で規格化した値をスピン信号のゲート制御効率と定義すると、CNL 配置における制御効率は従来^[2,3]の約 50 倍であった。このことから、GaAs チャネルを流れるスピン偏極電流の高効率ゲート制御が実証された。

一方、Fig. 2(c), (d)に示すように NL 配置におけるスピン信号は V_G に対して僅かに変調された。その結果、NL 配置におけるスピン信号のゲート制御効率は CNL 配置に比較して小さかった。今回の結果より、NL 配置に比べ、CNL 配置の方がスピン信号のゲート制御に関して有利であることがわかった。

次に、各 V_G 下におけるスピンパラメータを算出するために、スピン輸送理論を用いて Hanle 信号のフィッティングを行った。Fig. 2 (b)に、Hanle 信号のフィッティング結果を示す。フィッティングカーブは Hanle 信号とよい一致を示している。また、フィッティングから得られた各スピンパラメータのゲート電圧依存性から、チャンネルが空乏化するにつれ、スピンライフタイム(τ)とスピン拡散長(λ_N)が増大する可能性があることを明らかにした。さらにスピン偏極率がゲート電圧により大きく変調されることがわかった。

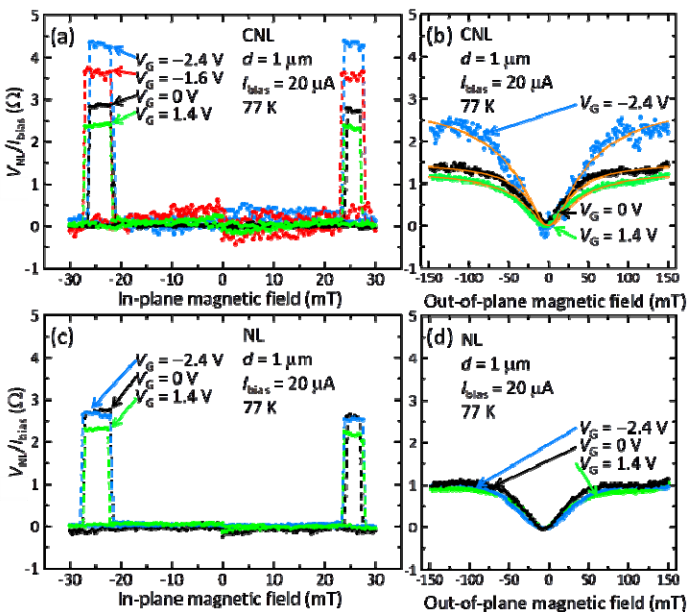


Fig. 2. (a) Spin-valve signals and (b) Hanle signals in cross nonlocal (CNL) geometry, (c) Spin-valve signals and (d) Hanle signals in NL geometry.

4. その他・特記事項 (Others)

【参考文献】

- [1] J. Kim et al., *JMMM* **403**, 77(2016).
- [2] H. Goto et al., *APL* **92**, 212110 (2008).
- [3] T. Sasaki et al., *PRAP* **2**, 034005(2014).

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 25286039,15K13960 の助成を受けて行われた。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

【論文】

- (1) T. Miyakawa et al., *APEX* **9**, 023103 (2016). (Selected for Spotlights of APEX)

【学会発表】

- (1) T. Miyakawa et al., 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures, July 26-31, 2015.
- (2) 宮川拓望 他, 第 20 回半導体スピン工学の基礎と応用, 平成 27 年 12 月 4 日.
- (3) 宮川拓望 他, 第 51 回応用物理学会北海道支部学術講演会, 平成 28 年 1 月 10 日.

6. 関連特許 (Patent)

なし