

スピントロニクスを用いた室温動作量子磁気センサー感度の向上

Improvement of sensitivity in room temperature operating

quantum magnetic sensors using spin blockades

理研¹, 産総研², 東電院工³ ○(PC)伴 芳祐¹, 加藤 公彦², 飯塚 将太², 村上 重則²,

石橋 幸治¹, 森山 悟士³, 森 貴洋², 大野 圭司¹

RIKEN¹, AIST², Tokyo Denki Univ.³, ○(PC)Yoshisuke Ban¹, Kimihiko Kato², Shota Iizuka²,

Shigenori Murakami², Koji Ishibashi¹, Satoshi Moriyama³, Takahiro Mori², Keiji Ono¹

E-mail: yoshisuke.ban@riken.jp

室温動作固体量子磁気センサーは超高感度でナノスケールからマクロな対象まで計測可能な低消費電力センサーとして応用が期待され、産学官連携で研究開発が行われている。代表的なダイヤモンド NV センターでは光照射および発光の測定により半導体欠陥の深い準位にトラップされた電子スピンの状態を読み出している。本研究では、Si(シリコン)素子に導入した深い不純物準位に捕獲された電子スピン状態をデバイスの微小電流として読み出す。シリコン技術により、さらに小型・安価で大量生産可能な超低消費電力の室温量子磁気センサーの実現が可能となる。

我々は室温で熱励起されない量子ビット・量子センサーとして、Si のバンドギャップ中へ深い不純物準位を導入し、Si デバイスの作製・評価を含む研究を行っている。深い不純物準位を介した電子伝導を実現させるため、トンネル FET (TFET) 構造[1]を用いている。TFET はゲート付きの p-i-n 素子であり、意図的に導入した二つの深い不純物準位による二重量子ドット構造を形成することができる(Fig. 1 (a) (b))。Al-N 不純物を導入した TFET において 10K までスピントロニクス[2]を介した電子スピン共鳴の観測やスピン量子ビット動作を報告した [3]。より高温での動作を実現するためには、他に深い準位を作る元素を探索する必要がある。我々は Si 中に深いダブルドナー・ダブルアクセプター準位を形成する II 族および VI 族元素として Zn および S, Se に着目した。これらの深い不純物準位をシリコン素子へ導入するため、Si 中への不純物導入実験を実施し、複数の分析により、Si 基板へのイオン注入での最適な導入条件を見出した[4]。そして、これらの実験で見出した不純物の導入条件において Si TFET 素子を作製した。前回の応用物理学会では、Se・Zn 導入 TFET において電流信号比 9%を実現したことを報告した。強いスピン軌道相互作用の下でのスピン閉鎖の理論[5]によるとローレンツ型関数の電流の磁場依存性となり実験結果はこれと整合する。

しかしながら磁気センサーとしての感度は、S・Zn 導入素子においては 10mT 程度、Se・Zn 導入素子においても 2mT にとどまっていた。上記理論[5]によると電極とのトンネル結合が小さいスピントロニクス下では急峻なゼロ磁場ディップ構造(磁場感度の向上)が期待できる。そこで今回、新たに S・Zn 導入素子において室温での低ソースドレイン電流領域に着目して評価を行い 20 μ T までの感度が得られた(Fig. 1 (c))。これは前回報告した S・Zn 導入素子における結果よりも 2 桁程度感度が向上したことになる。この磁場感度は地磁気 (46 μ T 程度) よりも小さいため方位センサー素子への応用が期待できる。

本研究は、科学技術振興機構 CREST JPMJCR1871 および文部科学省 光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP) JPMXS 0118069228 の助成を受けたものである。

[1] T. Mori *et al.*, IEDM Tech. Dig. (2016) p. 512.

[2] K. Ono, D.G. Austing, Y. Tokura, and S. Tarucha, Science **297**, 1313 (2002).

[3] K. Ono, T. Mori, and S. Moriyama, Sci. Rep. **9**, 469 (2019).

[4] Y. Ban *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. (2022).; (in press). DOI 10.35848/1347-4065/acae60

[5] J. Danon and Y. V. Nazarov, Phys. Rev. B **80**, 041301(R). (2009).

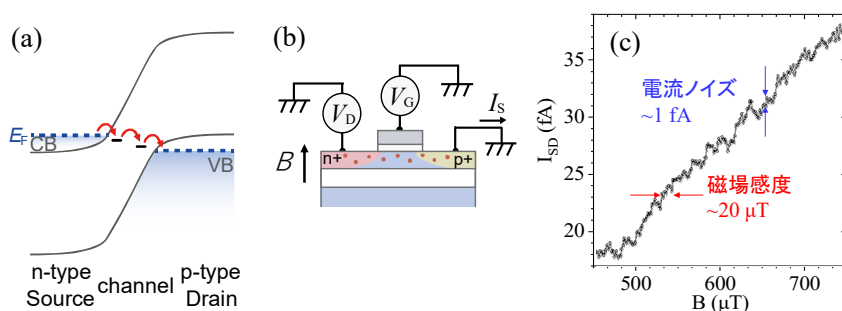


Fig. 1 (a) Double-dot-like transport with two deep impurity levels. (b) Schematic of the tunnel FET device and measurement setup. (c) Magnetic field dependence of source-drain current in S and Zn implanted tunnel FET at room temperature.