

超伝導量子回路によるスピンセンシング Spin sensing using superconducting quantum circuits

NTT 物性基礎研, [○]樋田 啓, Rangga P. Budoyo, 松崎 雄一郎,

角柳 孝輔, William J. Munro, 山口 浩司, 齊藤 志郎

NTT Basic Research Labs., [○]Hiraku Toida, Rangga P. Budoyo, Yuichiro Matsuzaki,

Kosuke Kakuyanagi, William J. Munro, Hiroshi Yamaguchi, Shiro Saito

E-mail: toida.hiraku@lab.ntt.co.jp

我々は超伝導量子回路を用いたスピンセンシングの研究を行っている。センサとして用いるデバイスは超伝導量子干渉素子 (SQUID) や超伝導磁束量子ビット等であり、これらデバイスの超伝導ループを貫く磁束を検出することでスピン検出を行う [Fig. 1(a)]。これまでに SQUID[1], ジョセフソン分岐増幅器 [2], 超伝導磁束量子ビット [3] を用いてスピン検出・電子スピン共鳴 (EPR) の実験を行った。これらの実験では、それぞれ 10^6 , 1.5×10^4 , $400 \text{ spins}/\sqrt{\text{Hz}}$ の感度が得られ、超伝導磁束量子ビットを用いることで SQUID による実験から 1000 倍以上の感度向上を達成した。また、これらのデバイスはマイクロメートルスケールのループ構造を用いているため高い空間分解能が得られることも特徴であり、典型的な検出体積は 0.1 ピコリットル程度である。

我々の行う電子スピン共鳴は共振器を使わない磁化検出型であるため、スピン偏極磁場とスピン励起マイクロ波周波数の 2 軸掃引が可能である。この特徴を生かすことで、より精度の高い材料パラメータの見積りも可能となる。たとえば、 $\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ においては、ホスト結晶の低い対称性により g 因子・超微細相互作用定数・核四重極相互作用定数が非等方的になるが、これらのパラメータの推定精度を上げるにはその効果が支配的になる低磁場・低周波領域での測定が重要になる。我々の実験 [2] では、非共鳴型の分光という特徴を生かして磁場・マイクロ波周波数の 2 軸掃引を行い、複雑な構造を示す電子スピン共鳴スペクトルを取得した [Fig. 1(b)]。その他にも、フォノンボトルネック効果による 10 時間を超える長いエネルギー緩和時間を観測する [4] など、共振器を使わない磁化検出型の電子スピン共鳴で特に顕著な効果が確認できている。

講演では、超伝導量子回路を用いたスピンセンシングの手法について詳細に述べ、その感度や空間分解能について議論する。また、材料パラメータの精緻化への応用例、ならびにスピニメージングや更なる感度向上による単一スピン検出といった将来展望について述べる。

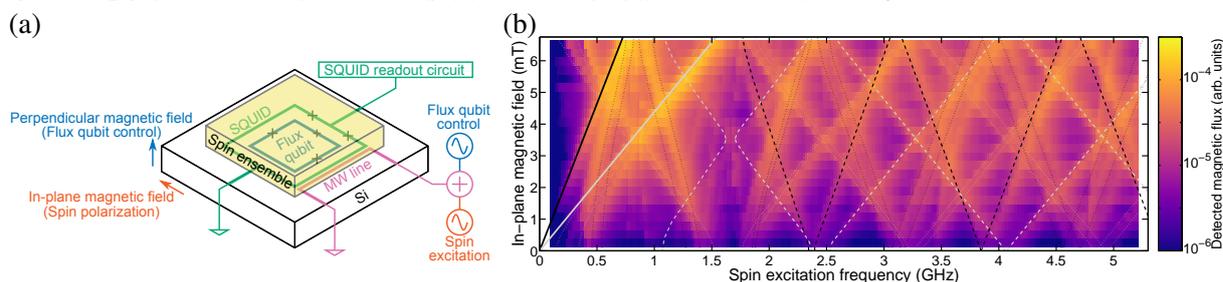


Fig. 1 (a) Typical experimental setup. (b) EPR spectrum of $\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$.

[1] H. Toida *et al.*, Appl. Phys. Lett. **108**, 052601 (2016).

[2] R. P. Budoyo *et al.*, Phys. Rev. Materials **2**, 011403 (2018).

[3] H. Toida *et al.*, arXiv:1711.10148 (2017).

[4] R. P. Budoyo *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 043002 (2018).