

ODMR 上 4 動作点を用いたダイヤモンド量子センサ

Diamond quantum sensor using four operation points on the ODMR

東工大 °岩塚 春樹, 波多野 雄治, 荒井 慧悟, 岩崎 孝之, 波多野 睦子

Tokyo Inst. Tech. °Haruki Iwatsuka, Yuji Hatano, Keigo Arai, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano

【背景】ダイヤモンド基板中の NV センタを用いた磁気センサの高感度化には、温度・光量のドリフトを磁気信号から分離する必要がある。そのために我々は、NV センタの光検出磁気共鳴 (ODMR; Optically Detected Magnetic Resonance) スペクトル上で一対の共鳴点を挟む等蛍光量の動作点 4 点を用いて温度ドリフトの影響を除き磁気イメージングの感度を向上する方法を開発してきた[1]。そして 4 動作点を $f1 \rightarrow f2 \rightarrow f3 \rightarrow f4 \rightarrow f1$ (Fig.1 参照) のように 4 kHz で一周した場合に $21 \text{ nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ の感度を確認した[2]。ここで計測される磁気信号のフラットな帯域を 1 kHz 以上とるためには、実効帯域幅を 2 kHz 以上とる必要がある。さらに、測定される信号レベルが微弱なため、50 Hz の電源雑音及びその高調波やその他の低周波雑音と十分な周波数距離をとる必要がある。そのため 4 動作点を一周する周波数 (F_{mod} とする) を 20 kHz 程度にまで上げる必要がある。しかし、4 動作点の切り替えを $f1 \rightarrow f2 \rightarrow f3 \rightarrow f4 \rightarrow f1$ の順序のまま行くと、 $f1 \rightarrow f2$ と $f2 \rightarrow f1$ ($=f2 \rightarrow f3 \rightarrow f4 \rightarrow f1$) にかかる時間が異なるため、周波数のずれと光量変化の関係が線形でなくなり、 F_{mod} を上げた場合に感度が急速に劣化する問題があった。本報告では動作点切り替えの順序を変更し、 F_{mod} を 20 kHz まで高速化した結果を述べる。

【実験方法及び結果】4 台のマイクロ波発振器出力はダイオードスイッチにより順次切り替えダイヤモンドセンサに照射した。同じタイミングでフォトダイオード出力をサンプルホールドした。励起光としてレーザー 100 mW は端面を密着させたファイバから入出力し、ファイバから戻ってくる蛍光をフォトダイオードで検出した。4 つの動作点のうち、 $f1$ と $f2$ 、 $f3$ と $f4$ でのサンプルホールド出力の各差分が 0 になるようにマイクロ波発振器の FM 変調入力にフィードバックを行い、各動作点をロックした。その状態で磁場 B は、磁気回転比 (28 Hz/nT) を γ とおくと $B=(f1+f2-f3-f4)/4\gamma$ となる。一般に F_{mod} を上げるとフォトダイオード出力が減少し感度が低下するが、 $F_{\text{mod}}=20 \text{ kHz}$ でも $19 \text{ nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ の感度が得られた。この時の B の FFT スペクトルを Fig.2 に示す。数 Hz から 2 kHz までの広い帯域で $20 \text{ nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度以下のフラットな感度を得られている。

【考察】4 動作点の切り替え順序を $f1 \rightarrow f2 \rightarrow f3 \rightarrow f4 \rightarrow f1$ から $f1 \rightarrow f3 \rightarrow f2 \rightarrow f4 \rightarrow f1$ としたことにより、周波数のずれと光量変化を線形にすることができた。これにより高い $F_{\text{mod}}(20 \text{ kHz})$ でも $20 \text{ nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度以下の磁気感度を得ることができ、かつ数 Hz ~ 2 kHz の広い帯域幅を得ることができた。

【謝辞】本研究は、MEXT,Q-LEAP(JPMXS0118067395)の支援を受けております。

【参考文献】 [1] Y. Hatano, Phys. Status Solidi A, 1800254 (2018)

[2] 岩塚, 第 67 回応用物理学会講演会, 2020/3

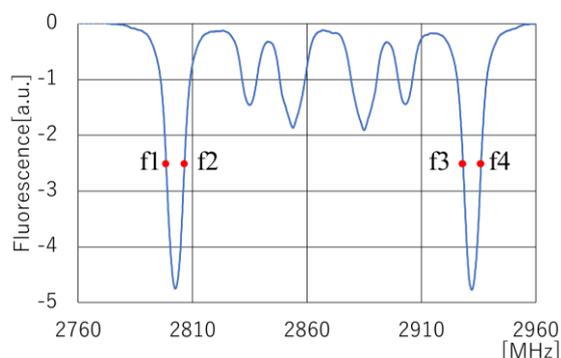


Fig.1 Four operation points ($f1 \sim f4$) on the ODMR spectrum of the diamond sensor

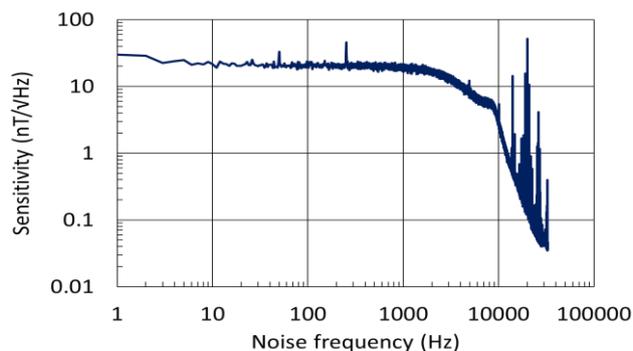


Fig.2 FFT spectrum of B measured as $(f1+f2-f3-f4)/4\gamma$