

マイクロ波とラジオ波による二重ドレスト状態を利用した 連続波による広帯域交流磁場センサの開発

Development of a Broadband AC Magnetic Field Sensor Using Continuous Waves Based on Double-Dressed States with Microwave and Radio Wave

慶大理工¹, 慶大 CSRN², 中大理工³, 金大ナノマリ⁴

○(D)岡庭 龍聖^{1,2}, 松崎 雄一郎³, (D)鈴木 琉生^{1,2}, 徳田 規夫⁴, 早瀬 潤子^{1,2}

Keio Univ.¹, Keio CSRN², Chuo Univ.³, Kanazawa Univ.⁴

○Ryusei Okaniwa^{1,2}, Yuichiro Matsuzaki³, Rui Suzuki^{1,2}, Norio Tokuda⁴, Junko Ishi-Hayase^{1,2}

E-mail: oknw-20000207_ryu@keio.jp

【背景・目的】ダイヤモンド中窒素空孔中心(NV センター)は室温下で磁場を高感度に測定できる固体量子センサである^[1]。NV センターは、電子スピン状態をマイクロ波(MW)で制御、レーザーで初期化・読み出しを行って磁場を検出し^[2]、MW やレーザーは連続波(CW-ODMR)またはパルス状に照射する 2 方式がある。ここで、我々は NV センターと 2 周波のラジオ波(RF 波)がコヒーレントに結合した RF-RF 二重ドレスト状態を用いることで、CW-ODMR による簡便かつ周波数可変な MHz 帯磁場センサを実証した^[3]。しかし、検出可能周波数は従来比で約 2 倍増大したが、その範囲は十数 MHz 程度に留まる。これは回転波近似で決定され^[4]、かつダイヤモンドの歪みが数 MHz であることに起因する^[5]。そこで、我々は連続波の MW と RF を NV センターとコヒーレントに相互作用させた MW-RF 二重ドレスト状態を用いて上記課題の解決を試みる。文献[3]と異なりドレスト状態生成に利用する準位のエネルギー差が~GHz のため、原理上サブ GHz までセンシングが可能と期待される。

【原理・方法】NV センターの基底状態は $S=1$ の三準位からなり、通常の NV 磁場センサは平行な静磁場下で発現するエネルギー固有状態のうち二準位のみ使用する。しかし、本研究では Fig. 1 に示すような垂直な静磁場下における固有状態 $\{|B\rangle, |D\rangle, |0\rangle\}$ を利用する。本研究に使用する外場は MW と RF の 2 つである。RF は本研究における検出対象の磁場である。はじめにマイクロ波を $|D\rangle$ - $|0\rangle$ 間に印加し Fig. 1 右側に示すように MW ドレスト状態を生成する。ここで、生成されたドレスト状態に対して共鳴する RF を印加して MW-RF 二重ドレスト状態を生成させる。RF により $|B\rangle$ への駆動が発生し $|0\rangle$ の占有率が下がるため、発光量が低下する。これを定量的に評価して RF を検出できる。実験では CW-ODMR を採用する。

【結果】NV センターに MW と RF を印加した際のハミルトニアンを考え、Lindblad 方程式を用いて定常状態における $|0\rangle$ の占有率を解析した結果を Fig. 2(a)に示す。 $|0\rangle$ 状態にいる確率の低下(dip)、発光量の低下が共鳴 RF 周波数で確認される。さらに、Fig. 2(b)の通り MW の強度(λ_d)に応じて dip の位置が変化するため、 λ_d によってターゲット磁場である RF 周波数を制御できることがわかった。これらは理論的解析と整合する。今後はこのシミュレーション結果を基に、実験による実証やアンチクロス構造の影響などを吟味する予定である。

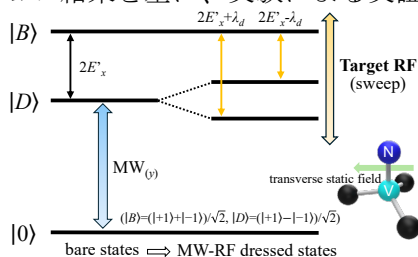


Fig. 1 Energy levels in NV center at different conditions

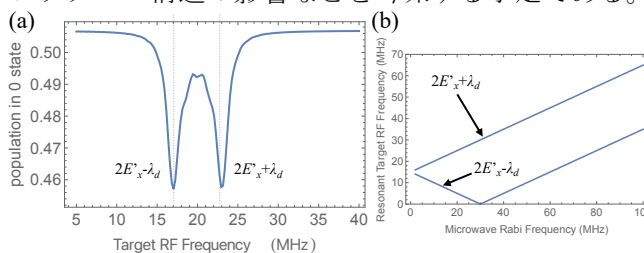


Fig. 2 (a) Population change of the $|0\rangle$ at each target frequency
(b) Microwave power dependence of the resonance frequency

Acknowledgement

This work was supported by MEXT Q-LEAP (Grant No. JPMXS0118067395), JSPS KAKENHI (Grant No. JP25K01292), JSPS Grant-in-Aid for JSPS Fellows (Grant No. JP24KJ1964), SIP Program and CSRN, Keio University. This work was also supported by Leading Initiative for Excellent Young Researchers, JST, PRESTO (Grant No. JPMJPR245B), CREST (Grant No. JPMJCR24A5, JPMJCR2315), Moonshot R&D (Grant No. JPMJMS226C), Japan and Program for Forming Japan's Peak Research Universities (J-PEAKS).

References

- [1] J. F. Barry, *et al.*, Rev. Mod. Phys. **106**, 063111 (2020). [2] C. L. Degen, *et al.*, Rev. Mod. Phys. **89**, 035002 (2017). [3] R. Okaniwa, *et al.*, J. Appl. Phys. **135**, 044401 (2024). [4] T. Mikawa, *et al.*, Phys. Rev. A **108**, 012610 (2023). [5] R. Londin, *et al.*, Rep. Prog. Phys. **77**, 056503 (2014).