

# ダイヤモンド中電子スピンの二重共鳴現象を用いた 温度・交流電流の広範囲同時イメージング

## Wide-field simultaneous imaging of temperature and AC current using double resonance phenomenon of electron spins in diamond

慶大理工<sup>1</sup>, 慶大 CSRN<sup>2</sup>, 中大理工<sup>3</sup>, 金大ナノマリ<sup>4</sup>

○(M2)板橋 佑真<sup>1,2</sup>, 大坪 楓季<sup>1,2</sup>, 田中 貴久<sup>1</sup>, 松崎 雄一郎<sup>3</sup>, 徳田 規夫<sup>4</sup>, 早瀬 潤子<sup>1,2</sup>

Keio Univ.<sup>1</sup>, Keio CSRN.<sup>2</sup>, Chuo Univ.<sup>3</sup>, Kanazawa Univ.<sup>4</sup>,

○(M2) Yuma Itabashi<sup>1,2</sup>, Fuki Otsubo<sup>1,2</sup>, Takahisa Tanaka<sup>1</sup>,

Yuichiro Matsuzaki<sup>3</sup>, Norio Tokuda<sup>4</sup>, and Junko Ishi-Hayase<sup>1,2</sup>

E-mail: yuma.basel@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、室温大気圧下で高感度量子センサとして利用でき、磁場イメージングから微小領域における電流分布の再構成が可能であること、磁場・温度を同時に測定できることから、マイクロデバイスの解析・故障検査への応用が期待されている<sup>[1]</sup>。しかし MHz 帯交流磁場と温度の複合測定やバルクダイヤモンドでの温度イメージングが困難であった。それに対し我々は、電子スピン二重共鳴下で観測される RF-dressed 状態を利用することで、連続波による交流電流と温度の同時イメージングやバルクダイヤモンドによる高感度な温度イメージングの実証を行った<sup>[2-4]</sup>。本発表においては、 $\mu\text{m}$ スケールの微小回路における温度と交流電流の同時イメージング測定結果とシミュレーションとの比較等により、より定量的な交流電流・温度分布の評価を行う。また直流電流印加時との比較も併せて行う予定である。

【方法】NV 配向軸に対して垂直なバイアス磁場下での NV 電子スピンの固有状態は  $|0\rangle, |B\rangle, |D\rangle = (|+1\rangle \pm |-1\rangle)/\sqrt{2}$  と表される。 $|B\rangle - |D\rangle$ 間を MHz 帯のラジオ波で共鳴励起すると、RF-dressed 状態が生成される(Fig. 1(a))。RF-dressed 状態の分裂幅( $\Delta\omega$ )はラジオ波の振幅に比例し、レーザー・マイクロ波・ラジオ波同時照射時に得られる CW-ODMR スペクトル上に 4 つの dip が観測される。ゼロ磁場分裂のシフト( $\Delta D$ )は温度依存性があるため、CW-ODMR スペクトルから  $\Delta\omega$  と  $\Delta D$  を分離して見積もることにより、MHz 磁場振幅と温度を同時に測定できる。位相測定は、外部から参照となるラジオ波を印加し、測定対象との合成波の観測により行う。位相情報を利用して、交流磁場振幅を直流磁場のように扱うことで交流電流再構築が可能となる。

【結果】 $\mu\text{m}$ スケールの微小回路に交流電流 (9.1 MHz) を流した時に得られた交流磁場分布を Fig. 1(b)、温度分布を Fig. 1(c)、交流磁場振幅・位相分布からアンペールの法則・チコノフ正則化を用いて再構成した交流電流密度分布を Fig. 1(d)に示す。Fig. 1(b)では回路から発生するアンペール磁場が、Fig. 1(c)では回路のジュール熱による温度上昇が観測された。この結果は  $\mu\text{m}$  スケールの高空間分解能で sub-K オーダーの熱分布の測定が可能であることを示している。また、Fig. 1(d)では交流電流が回路中のみを通っているという結果が得られ、交流電流密度の再構築ができたといえる。これらの結果と有限要素法によるシミュレーション結果を比較することにより、ダイヤモンドが測定対象の温度に与える影響や NV 層の厚さによる測定の平均化などを評価し、より定量的なイメージング測定を実現する。

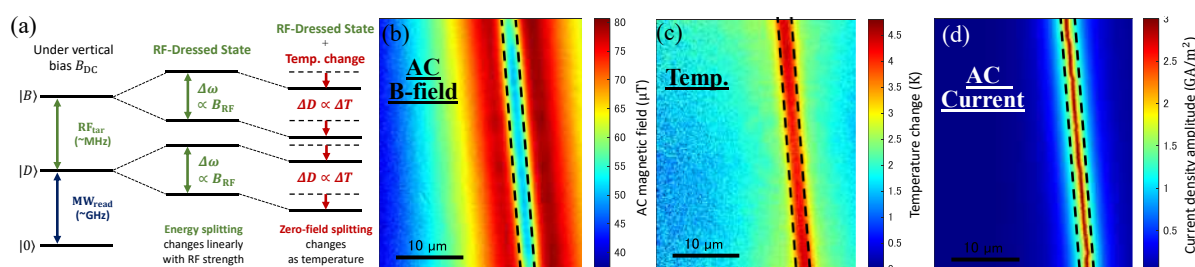


Fig. 1(a)エネルギー準位図 (b-d) 微細回路の(b)交流磁場分布 (c)温度分布 (d)交流電流密度分布

【謝辞】本研究の一部は、科研費 (Nos. JP22H01558, JP23K22828, JP23H04390, JP25K01292), 文科省 Q-LEAP (No. JPMXS0118067395), JST CREST (Nos. JPMJCR24A5, JPMJCR23I5), JST Moonshot R&D(No. JPMJMS226C), JST Presto(No. JPMJPR245B), 文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ事業 (No. JPMXP1225NM0062), 慶大次世代研究プロジェクト推進プログラム, 慶大 CSRN, J-PEAKS, NICT Quantum Camp 探索型人材育成プロジェクトの支援を受けて行われた。

[1] M. Garsi, *et al.*, Phys. Rev. Appl. **21**, 14055 (2024). [2] S. Saijo, *et al.*, Appl. Phys. Lett., **113**, 082405 (2018).

[3] H. Tabuchi, *et al.*, J. Appl. Phys. **133**, 024401 (2023). [4] Y. Itabashi, *et al.*, NDNC 2025, II-08-6 (May, 2025).