

# 不均一広がり・ $^{14}\text{N}$ 核スピンの影響に着目した アンサンブル NV センターにおける CW-ODMR 信号の解析

Analysis of CW-ODMR signals of ensemble NV centers  
focusing on effect of inhomogeneous broadening and  $^{14}\text{N}$  nuclear spin

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

○(M2)鈴木 琉生<sup>1,2</sup>, 見川 巧弥<sup>1,2</sup>, 岡庭 龍聖<sup>1,2</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 CERN<sup>2</sup>, Chuo Univ.<sup>3</sup>, Kanazawa Univ.<sup>4</sup>

○Rui Suzuki<sup>1,2</sup>, Takumi Mikawa<sup>1,2</sup>, Ryusei Okaniwa<sup>1,2</sup>,

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

E-mail: rui.0322@keio.jp

## 1. 背景・目的

ダイヤモンド中の窒素空孔中心 (NV センター) に局在する電子スピンは、室温・大気圧下で長いコヒーレンス時間を有し、外場に対して敏感に応答するスピン状態を光学的に読み出せることから、基礎、応用問わず研究が行われている。代表的なスピン状態の読み出し手法として、連続波光検出磁気共鳴 (CW-ODMR) 法がある。この手法は、実験操作の簡便さや、イメージング応用への適性といった利点を有するが、典型的な平行バイアス磁場下では、交流磁場 (MHz 帯; RF) による上 2 準位 ( $|m_s = \pm 1\rangle$ ) 間の駆動が起こらず、3 準位を活かした量子系設計を制限したり、RF 磁場の測定を困難にするという問題があった。そこで、我々のグループでは、通常とは異なる垂直バイアス磁場を印加することで、MW、RF の両者による (3 準位間での) 駆動が起こる量子系を設計し、電子スピン二重共鳴励起下の CW-ODMR 信号の観測 (ESDR) に成功した<sup>[1]</sup>。しかし、既存の ESDR 解析モデル<sup>[2]</sup>は、弱 (MW) 励起の極限で成り立つモデルであり、実験条件との乖離や、説明できない現象の存在が問題となっていた。そこで、本研究ではこれまで、励起 (MW) 強度に実用上の制限を課さない ESDR 解析モデルを構築し、隣接  $^{14}\text{N}$  核スピンの影響も取り込むことで、ESDR 信号の定量的な説明を行ってきた。本発表では、更なる定量性向上のため、アンサンブル系の不均一分布について調査を行ったため、報告する。

## 2. 原理・方法

### 2-1. ESDR 信号の測定手法、及び解析モデル

解析対象となる ESDR 信号は、NV センターの配向軸に垂直にバイアス磁場を印加し、実現した固有状態の上 2 準位の間に共鳴する RF 磁場を照射しながら MW を照射し、NV センターからの発光強度を測定すると得られる (Fig. 1 (a))。

励起 (MW) 強度に実用上の制限を課さないモデルを構築するため、(均一)緩和を理論的に取り扱える Lindblad 型のマスター方程式<sup>[3]</sup>を基礎方程式として用い、LASER による初期化をモデル化した縦緩和、及び状態間の純位相緩和を取り入れた。また、隣接  $^{14}\text{N}$  核スピンの相互作用 (HF) に関しては、電子スピン系の大きなゼロ磁場分裂によりその影響が抑制される面内成分を無視し、軸方向成分の影響を磁場摂動として考慮した。加えて、ESDR 信号の不均一広がりを再現するため、歪電場等のパラメータの不均一性も考慮した。

本研究の一部は、Q-LEAP (JP-MXS0118067395)、科研費 (20H05661, 22H01558, 23K22828)、JST CREST (JPMJCR24A5)、卓越研究員事業 (JR-MJPR1919)、金沢大超然プロジェクト 2022、慶大次世代研究プロジェクト推進プログラムの支援を受けて行われた。

### 2-2. 歪電場の不均一分布

歪電場の分布は、ある分布形状を仮定し、CW-ODMR 信号をフィッティングすることで抽出できるが、零磁場下での CW-ODMR 信号 (Fig. 1(b)) は、その分布が異方的/等方的である可能性の両方を示唆している。これらを実験的に見分けるため、零磁場下での直線偏光 MW 励起による CW-ODMR 信号を活用する。零磁場下では直線偏光 MW の特定の射影成分、及びその直交成分が各々  $|B\rangle$ ,  $|D\rangle$  準位を駆動するが、その射影方向は歪電場の方向により定まるため、歪電場が異方的か等方的かにより駆動力 (dip 振幅) に偏りが生ずるか否かが決まることが予想される。この原理に基づき分布形状を推定し、CW-ODMR 信号をフィッティングすることで歪電場分布を抽出する。

## 3. 結果

歪電場分布が (a) 異方的、(b) 等方的 であると仮定した場合の CW-ODMR 信号 (零磁場下、直線偏光 MW 励起) の MW 偏光方向依存性をモデル計算した結果、確かに分布が異方的な場合には偏光方向に依存した偏りを持つ信号が得られ、分布が等方的な場合には、常に偏りのない信号が得られることが確認できた (Fig. 2)。当日の発表では、分布抽出に関する実験結果、及びその結果を踏まえた ESDR 信号の解析結果について報告する。

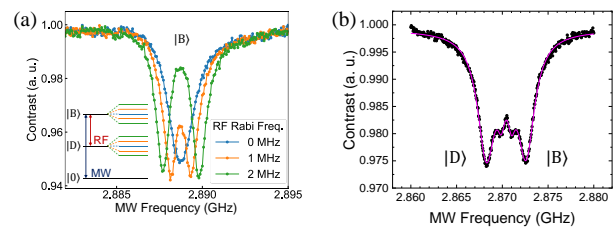


Fig. 1 (a) Energy diagram and spectra of ESDR  
(b) Experimental CW-ODMR spectrum under zero magnetic field

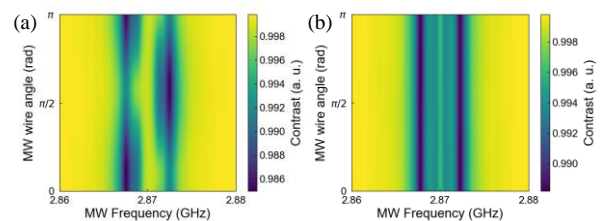


Fig. 2 Calculated CW-ODMR spectra with  
(a) anisotropic (b) isotropic strain / electric field distribution

- [1] S. Saijo, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **113**, 082405 (2018).  
[2] T. Yamaguchi, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, 100901 (2019).  
[3] G. Lindblad, Commun. Math. Phys., **48**, 119-130 (1976).