

ダイヤモンド中 NV 中心電子スピン三準位系の全遷移における外部磁場制御ラビ振動およびスピネコー測定

Rabi oscillation and spin echo between ground state manifolds of nitrogen vacancy centers in diamond by external magnetic driving fields

1. 慶大理工, 2. 産総研, 3. 京大

○山口 達万¹, 松崎 雄一郎², 渡邊 幸志², 水落 憲和³, 早瀬 潤子¹

1. Keio Univ., 2. AIST, 3. Kyoto Univ.

○Tatsuma Yamaguchi¹, Yuichiro Matsuzaki², Hideyuki Watanabe², Norikazu Mizuochi³, and Junko Ishi-Hayase¹

E-mail: tatsuma317@keio.jp

【背景・目的】ダイヤモンド中 NV 中心(NV センター)は、室温大気圧下で動作する高感度・高空間分解能な量子センサーとして注目されている。NV センター電子スピンの基底状態はスピン-1 システムであり、三つの準位が存在する。従来のセンシング法では、三つの準位のうち二準位のみが用いられてきたが、近年三準位全てを利用した高感度センシング^[1,2]やパルスを用いない交流磁場センシング^[3,4]が実現されている。三準位をフルに利用するためには、三準位間を容易に遷移・量子制御できることが重要である。これまでの手法では、三準位間を全て遷移させるために磁場と機械振動の両方を利用する必要があったが、機械振動を利用するためには複雑な構造が必要となる。それに対し我々は、三準位間の全遷移を外部磁場のみで量子制御する新たな手法を提案・実証した^[3-5]。本発表では、我々の提案した手法を用いて、外部磁場による電子スピン三準位間の全遷移のパルス制御を行ない、ラビ振動とスピネコーを観測したので報告する。

【方法】歪や外部電場の影響を考慮すると、外部磁場が存在しない場合の NV 電子スピンのエネルギー固有状態は、磁気量子数が 0, +1, -1 の電子スピン三重項状態を表す $|0\rangle, |1\rangle, |-1\rangle$ を用いて、 $|0\rangle, |B\rangle = (|1\rangle + |-1\rangle)/\sqrt{2}$, $|D\rangle = (|1\rangle - |-1\rangle)/\sqrt{2}$ と表される。 $|1\rangle - |-1\rangle$ 間遷移は外部磁場により直接制御することはできないが、 $|B\rangle - |D\rangle$ 間遷移は直接制御可能である。本研究では NV 軸に垂直な直流磁場を印加し、特定の配向軸に関する状態 ($|D\rangle|B\rangle$) を変えず、かつ他の配向軸に対する状態と区別し選択励起できるようにした(Fig. 1(a))。実験は、バルクダイヤモンド中の集合体 NV センターを対象として、垂直な直流磁場下で、グリーンレーザー(532 nm), マイクロ波 (MW) (2.875-2.895 GHz)ラジオ波(RF)(10 kHz-10 MHz)を印加し、 $|0\rangle, |B\rangle, |D\rangle$ 間の全遷移に対するラビ振動およびスピネコー測定を行なった。

【結果】RF のパルス幅と強度を掃引しながら $|B\rangle \leftrightarrow |D\rangle$ 間のラビ振動を測定した結果を Fig. 1(b)に示す。RF の強度によるラビ周波数の変化は理論とよく一致しており、 $|B\rangle \leftrightarrow |D\rangle$ 間の遷移がパルス RF によって制御できることを実証している。さらにパルスシーケンスを変えることにより、 $|B\rangle \leftrightarrow |D\rangle$ 間のスピネコーを観察することにも成功した(Fig. 1(c))。 $|0\rangle \leftrightarrow |B\rangle, |0\rangle \leftrightarrow |D\rangle$ 間遷移のラビ振動およびスピネコーに関しては、MW パルス印加により観測することができた。以上の結果から、 $|0\rangle, |B\rangle, |D\rangle$ 間の全遷移外部磁場パルスによって量子制御することが可能であることを示した。本研究成果は三準位を使った新たなセンシング手法の開発に寄与する成果であると言える。

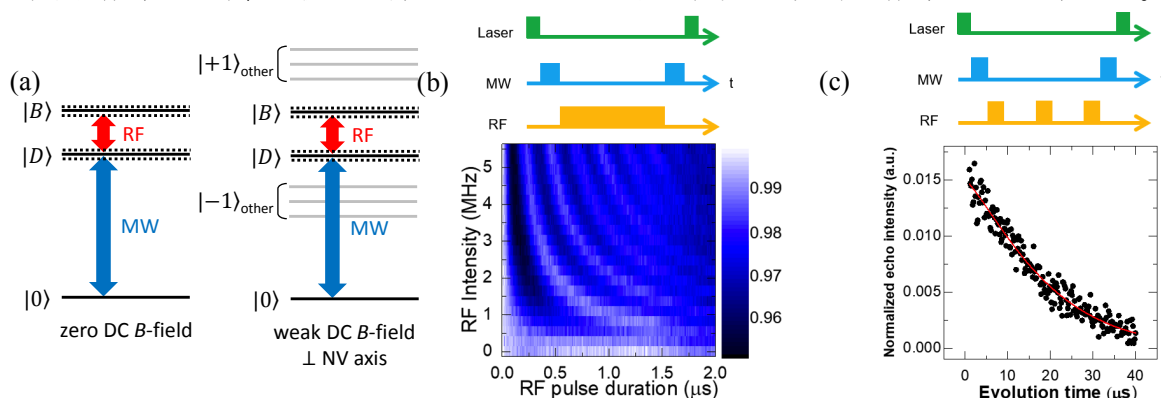


Fig. 1 (a) Energy level of NV centers with and without DC B-field. (b) Sequence for Rabi and Rabi oscillation applying radio-frequency pulses resonant between $|B\rangle$ and $|D\rangle$ with various intensities. (c) Sequence for spin echo and spin echo between $|B\rangle$ and $|D\rangle$

Acknowledgments :This work was supported by MEXT KAKENHI (18H01502,15H05868), Q-LEAP(No. JPMXS0118067395), and CSRN, Keio University.

[1] K. Fang, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **110**, 13082 (2013). [2] P. Neumann, *et al.*, Nano Lett. **13**, 2738-42 (2013). [3] S. Saijo, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **113**, 082405 (2018). [4] T. Yamaguchi, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, 100901 (2019). [5] T. Yamaguchi, *et al.*, arXiv: 2005.00040 (2020).