17a-E7-43

## 微細加工基板上で作製したダイヤモンド中窒素空孔中心集合体の スピン特性と磁場測定感度の評価

Evaluation of spin property and magnetic field measurement sensitivity of nitrogen-vacancy centers in diamond fabricated on micropatterned substrate 慶大理工<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup> <sup>0</sup>金子和樹<sup>1</sup>, 五味朋寬<sup>1</sup>, 藤澤康二<sup>1</sup>, 渡邊幸志<sup>2</sup>, 梅澤仁<sup>2</sup>, 鹿田真一<sup>2</sup>, 伊藤公平<sup>1</sup>, 早瀬潤子<sup>1</sup>

Keio Univ.<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>, <sup>°</sup>Kazuki Kaneko<sup>1</sup>, Tomohiro Gomi<sup>1</sup>, Koji Fujisawa<sup>1</sup>, Hideyuki Watanabe<sup>2</sup>, Hitoshi Umezawa<sup>2</sup>, Shinichi Shikata<sup>2</sup>, Kohei M. Itoh<sup>1</sup>, Junko Ishi-Hayase<sup>1</sup> E-mail: k.kazuki@a3.keio.jp

ダイヤモンド中窒素空孔中心とは、(NV 中 心)ダイヤモンド結晶中に作製された不純物欠 陥の一種である。NV 中心はレーザー励起によ って室温で安定に発光する。発光強度が基底準 位における電子スピン状態によって変化する ため、光による電子スピン状態の読み出しが可 能である。また光励起し続けることで、電子ス ピン状態を初期化することができる。さらに電 子スピンに共鳴するマイクロ波を併用するこ とで、NV 中心の電子スピンを比較的自由に操 作することができる。

上記のような特徴から、NV 中心は量子情報 技術や量子測定の分野で盛んに研究されてい る。近年特に注目されているのが、NV 中心の 電子スピンをプローブとして使う微小磁場測 定の研究である。初期化された NV 中心電子ス ピンは、周囲の磁場強度に応じた速さで歳差運 動する。初期化から一定時間のちの電子スピン 状態を読み出すことで、歳差運動の速さを測定 することができる。測定された歳差運動の速さ から、NV 中心の周囲の磁場強度を求めること ができる。磁場感度は、NV 中心の密度や配向 率が高いほど、また電子スピンのコヒーレンス 時間(T<sub>2</sub>)が長いほど高くなると考えられる。特 に NV 中心集合体を使った磁場センサーは、室 温環境で sub-nT・Hz<sup>-1/2</sup> に及ぶ微小な磁場の測 定が可能にすると期待されている[1]。

我々はこれまでに、基板の微細加工と化学気 相成長を組み合わせた方法によって、位置と深 さが制御された密度の高い NV 中心集合体を 作製することに成功した(Fig. 1)。作製したサン プルの磁場測定に対する有効性を確かめるた めに、スピン特性の測定を行い、さらにシミュ レーションによって磁場感度の推定を行った。

NV 中心集合体サンプルは、凹凸の微細加工 を施した基板上への窒素ドープ同位体制御化 学気相成長によって作製された。この方法では 溝部分に 10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup>程度の高い密度の NV 中心 集合体が溝部分に生成する。また配向が同じ NV 中心構造の割合が 70.9% という高い配向率 をもつ NV 中心集合体を作製できる[2]。

同サンプルの  $T_2$ を Spin-echo 法によって測定 した。Spin-echo 法とは、マイクロ波パルス列 を使って電子スピン状態を操作することで、歳 差運動に対する磁場の影響を打ち消す手法で ある。測定した結果、 $T_2$ は最長でおよそ 150  $\mu$ s であった(Fig. 2)。

実験結果から、磁場測定を行った時の感度を 計算機シミュレーションによって推定した。磁 場測定の手法としては Spin-echo 法を使用した。 Spin-echo 法では、電子スピンはマイクロ波パ ルス列の周期に一致した振動磁場からの影響 を強く受ける。このため NV 中心の発光強度か ら対応した周波数の振動磁場の振幅を求める ことができる。測定する周波数は、感度が最も 高くなる 1/T<sub>2</sub>の周波数に設定した[2]。 Spin-echo 法では磁場が十分弱い場合、NV 中心 の発光強度は磁場振幅に線形な関係を持つ。こ の時の読み出し可能な最少磁場は、傾きの大き さと実験装置の読み出し揺らぎから決定され る。T2は傾きの大きさに、密度や配向率は実験 装置の読み出し揺らぎに影響する。シミュレー ションでは NV 中心集合体が磁場源から 5 nm の位置にあると仮定し、実際の実験系の検出揺 らぎを使用した。計算の結果、検出可能最小磁 場は 3.0 nT・Hz<sup>-1/2</sup> であることがわかった。

本研究の一部は、NEXT、FIRST、キャノン 財団、文科省 project for developing innovation system の援助のもと行われた。



Fig.1 Sample structure fabricated on micropatterned substrate



Fig.2 Spin-echo measurement result

- [1] L. M. Pham, et al., New J. Phys. 13,045021 (2011).
- [2] T. Gomi, et al., CLEO-PR, WI1-3(2013)

[3] J. M. Taylor, et al., Nat. Phys. 4, 810(2008).