

(様式第5号)

量子センサ応用に向けたダイヤモンド高密度
NV アンサンブルの形成と表面微細構造解析 (I)
Surface fine structure analysis of diamond high-density NV ensemble
for quantum sensor applications (I)

大曲新矢, 蔭浦泰資, Sreenath Mylo Valappil, 中原大哉
Shinya Ohmagari, Taisuke Kageura, Sreenath Mylo Valappil, Hiroya Nakahara

産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

- ※1 先端創生利用(長期タイプ)課題は、実施課題名の末尾に期を表す(I)、(II)、(III)を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開(論文(査読付)の発表又は研究センターの研究成果公報で公表)が必要です(トライアル利用を除く)。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください(各実験参加機関より1人以上)。

1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

ダイヤモンド中の結晶欠陥のひとつである窒素-空孔中心(以下、NVセンター)がもつ電子スピンは、室温で動作するスピン量子ビットとして注目を集めており、その応用として超高感度量子センシングの実現が期待されている。その実現に向けた課題点のひとつとして、NVセンター含有結晶および結晶表面の高品質化が挙げられる。本研究では、NVセンター含有ダイヤモンドの表面近傍の構造評価し、表面構造とスピン特性との相関解明することを長期目標とした。その初段として本年度は、独自の窒素プラズマ処理によりダイヤモンド表面へ窒素終端構造が形成できていることをXPS, XAFSにより明らかにした。今後は、その窒素終端表面下に形成されたNVセンターのスピン特性を評価することで、量子センサの高感度化を目指す。

(English)

Nitrogen-vacancy centers (NV centers), one of the crystal defects in diamond, have attracted much attention as spin qubits that can operate at room temperature, and it is expected that high-sensitive quantum sensing will be realized. One of the issues for realizing such quantum sensing is to improve the quality of NV-center-containing crystals and the surfaces structure such as surface termination. In this study, our long-term goal is to determine the correlation between the surface structure and the spin properties of near-surface NV-center by evaluating the surface structure. As the first step of this study, we investigated the formation of nitrogen-terminated structures on the diamond surface by our unique nitrogen plasma treatment using XPS and XAFS this year. In the future, we will evaluate the spin properties of NV centers formed under the nitrogen-terminated surface to improve the sensitivity of quantum sensors.

2. 背景と目的

ダイヤモンドNVセンターの電子スピンは、室温で動作するスピン量子ビットとして注目を集めており、超高感度量子センシングへの応用が期待されている。これは、NVセンターの電子スピンの、光照射によるスピン状態の初期化、マイクロ波照射によるスピン状態の制御、蛍光強度の観測による

スピン状態の読み出しが可能であり、かつ室温で長いスピンコヒーレンス時間を有するためである。センサの高感度化に向けた課題のひとつは、NV センター含有結晶および結晶表面の高品質化である。特に、表面近傍に配置された NV センターのスピン・電荷状態は、表面近傍の構造の影響を大きく受けることが知られている[1,2]。

そこで我々は、ダイヤモンド NV 量子センサの高感度に向けて適切な表面構造形成手法を開発すべく、ダイヤモンド表面近傍の構造評価し、表面構造とスピン特性との相関解明することを長期目標とした。その初段として本年度は、独自の窒素プラズマ処理によりダイヤモンド表面へ窒素終端構造が形成できていることを X 線光電子分光法 (XPS) および X 線吸収微細構造解析 (NEXAFS) により観測することを目的とした。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

本実験では、人工合成ダイヤモンドを試料とし、プラズマ処理によって窒素終端を形成した。

窒素終端ダイヤモンドの表面近傍の構造は、BL12においてX線光電子分光法 (XPS) およびX線吸収微細構造解析 (NEXAFS) により評価した。

NEXAFS(TEY 法):

C-Kedge (275~345 eV)

N-Kedge(390~420 eV)

B-Kedge (185~220 eV)

XPS:

C1s, B1s ($h\nu = 350\text{eV}$)

N1s ($h\nu = 500\text{eV}$)

4. 実験結果と考察

図1に窒素終端ダイヤモンドの N1s XPS 結果を示す。明朗な C-N 結合由来のピークを観測することができ、C1s との強度比から、10%以上の表面被覆率であることが推定された。一方で、金属メッシュを用いても表面のチャージアップが低減されず、スペクトル全体のシフトやピークブロードニングが懸念された。また、NEXAFS の C K 端の計測結果から、表面処理がダイヤモンド表面へ与える損傷は極めて小さいことが明らかとなった。

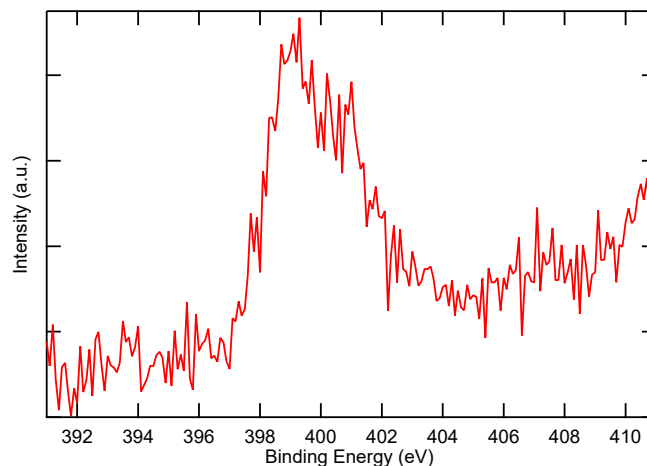


Fig.1. XPS Spectra of the nitrogen-terminated diamond surface

5. 今後の課題

計測面では、ダイヤモンドのチャージアップ対策を検討する必要がある。実験面では、本実験で用いた窒素終端処理を浅い NV センターが形成されている結晶表面へ施しスピン特性を評価するこ

とで、表面構造とスピン特性の相関を明らかにするとともに、表面処理条件へのフィードバックをかけることで、NV センサの高感度を目指す。

6. 参考文献

1. “Effect of a radical exposure nitridation surface on the charge stability of shallow nitrogen-vacancy centers in diamond”, T. Kageura, K. Kato, H. Yamano, E. Suaebah, M. Kajiya, S. Kawai, M. Inaba, T. Tanii, M. Haruyama, K. Yamada, S. Onoda, W. Kada, O. Hanaizumi, T. Teraji, J. Isoya, S. Kono and H. Kawarada, Applied Physics Express, vol.10, 5, 055503 pp.1-4 (2017)
2. “Charge state stabilization of shallow nitrogen vacancy centers in diamond by oxygen surface modification”, H. Yamano, S. Kawai, K. Kato, T. Kageura, M. Inaba, T. Okada, I. Higashimata, M. Haruyama, T. Tanii, K. Yamada, S. Onoda, W. Kada, O. Hanaizumi, T. Teraji, J. Isoya and H. Kawarada, Japanese Journal of Applied Physics, vol.56, 4S, 04CK08 (2017)

7. 論文発表・特許 (注：本課題に関連するこれまでの代表的な成果)
なし

8. キーワード (注：試料及び実験方法を特定する用語を2～3)
ダイヤモンド, X線吸収微細構造解析 (XAFS), X線光電子分光法 (XPS)

9. 研究成果公開について (注：※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください。提出期限は利用年度終了後2年以内です。例えば2018年度実施課題であれば、2020年度末(2021年3月31日)となります。)

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

- | | |
|----------------|-------------------|
| ① 論文(査読付)発表の報告 | (報告時期：未定) |
| ② 研究成果公報の原稿提出 | (提出時期：2024年3月31日) |