

無機フォトニクス材料研究領域の研究紹介

無機フォトニクス材料

ダイヤモンドには多くの種類の不純物や欠陥が混入できることが知られている。その不純物として炭素が抜けてできた空孔(V)と窒素(N)の対からなる NV 中心(窒素-空孔複合欠陥)と呼ばれるものがあり、我々はこれに注目して研究を行っている。NV 中心は優れた特性を有しているが、特筆すべき点は、室温で一つ一つの NV 中心を観測でき、更にその NV 中心が持つ一つ一つのスピンを操作し、観測できるという点である。実験としては共焦点レーザー顕微鏡という自作装置で観測できる。NV 中心が存在するダイヤモンドに、ある波長のレーザー光を照射すると NV 中心が発光する。この発光をモニターすることにより NV 中心を観測できる。実験としては手に取るように NV 中心を一つ一つ手に取るように室温で観測できる。この一つ一つを観測できる性質を用いて、一つ一つの光の粒(単一光子)を制御良く、放出する素子への応用が期待されている。また、NV 中心はハードディスクなどでも使われている“スピン”の性質も持っていて、その状態を光検出できる。室温で一つ一つのスピンを検出することは他の材料ではなかなかできない特筆すべき点である。一つ一つを扱うことにより、古典力学が支配する我々の日常の世界には無い、量子力学が支配する世界の現象を新たに利用することができるようになる。その特性を活かし、NV 中心は量子情報、センサ(磁場、電場、温度)、バイオマーカー等の幅広い分野において学術および応用の両面から注目される。量子情報分野では、盗聴者がいると必ず分かる絶対に安全な通信や、ある種の計算においてスーパーコンピュータを遥かに凌ぐ、量子コンピュータ・量子シミュレータへの将来の応用が期待されている。センサ(磁場、電場、温度)では、これまでのものよりも桁違いに高感度で高空間分解能を持つセンサ素子が期待されている。また、応用を考えた際には電子デバイスとして動作することが求められるが、その基盤技術として、スピンを電氣的に操作したり検出することが求められる。

発表では、最近の成果である、室温で感度を維持しつつ計測範囲を低温従来値の 100 倍にした成果[1]、n 型ダイヤモンドにイオン注入法により作製した NV 中心の電子スピンコヒーレンス時間の長時間化を実現した成果[2]、NV 中心の電子スピンコヒーレンス時間を電氣的な制御で長時間化を実現した成果[3]について報告する。[1]の成果では、これは量子センサの応用環境や測定空間を広げる成果としても重要で、[2]の成果では、n 型ダイヤモンドにより最長の T_2 を実現した点は意義深く、さらなる高感度化に加え、n 型半導体特性を活かした量子デバイスへの幅広い応用へ道を拓くものと期待される。

[1] "Ultra-high dynamic range quantum measurements retaining its sensitivity",

E. D. Herbschleb, H. Kato, T. Makino, S. Yamasaki, N. Mizuochi,
Nature Communications, **12**, 306 (2021).

[2] "Shallow NV centers augmented by exploiting n-type diamond",

A. Watanabe, T. Nishikawa, H. Kato, M. Fujie, M. Fujiwara, T. Makino, S. Yamasaki, E. D. Herbschleb, N. Mizuochi,
Carbon, **178**, 294-300 (2021).

[3] "Electrical control for extending of Ramsey spin coherence time of ion-implanted NV centers in diamond",

S. Kobayashi, Y. Matsuzaki, H. Morishita, S. Miwa, Y. Suzuki, M. Fujiwara, N. Mizuochi,
Physical Review Applied, **14**, 044033 (2020).