

－ 2022年 春季学術講演会 シンポジウム開催報告 －

「6. 薄膜・表面」分科企画シンポジウム， 番号：T8

「ダイヤモンドNVセンタを用いた固体量子センサの最新研究動向」

Latest Research Trends on Solid-State Quantum Sensors using Diamond NV Centers

日時：2022年 3月 23日(水) 13:30~18:05 (ハイブリッド開催)

企画：薄膜・表面物理分科会 & 固体量子センサ研究会 共催

世話人：酒井 忠司 (東京工業大学)， 林 司 (日新電機)

固体量子センサは、量子科学技術の中でも比較的早期に社会実装が期待できる技術として、世界各国の大学、国研、及び民間企業で研究開発が進められている。我国においても、国プロ(文科省 Q-LEAP 2018~)や研究会(応用物理学会 固体量子センサ研究会 2020~)の発足もあり、研究が活発化している。本シンポジウムでは、同日午前開催のチュートリアルと連携し、ダイヤモンドNVセンタを用いた固体量子センサの最近の研究の進展を、共通基盤となる材料側からと、センサ応用側から探った。特に、最近活発化してきた企業の取り組みを取り上げ、その研究背景などを含めて発表・議論いただいた。

冒頭、基調講演として京大の水落先生より最近の研究動向を概観して頂き、NIMS 寺地様、住友電工 寺本様より材料側面、特に量子センサ用ダイヤモンド結晶成長技術について最新の成果を紹介いただいた。後半は、QST 五十嵐様、東大 関野先生、企業よりデンスー 西谷様、矢崎総業 申様より応用側面、特にバイオ・医療応用や車載センサ応用について先進的な取り組みの紹介をいただいた。その間、一般公演として2件、東工大 永田様、慶應大 五十川様より新たな応用用途の可能性について提案があり大いに議論いただいた。

参加者は講演会場に20~30名程度、オンラインでの参加者を合わせると最大で150名程度と多くの方々に参加いただいた。ハイブリッド開催の為、会場でのスライド操作等の機器の不具合もあったが、活発な議論を頂き予定時間を大幅に超過し、大変有意義なシンポジウムとなった。

以下各公演の概要；(敬称略)

[1] ダイヤモンド NV 量子センサ研究の進展 水落 憲和 (京大)

【基調講演】として最近の研究動向を概観頂き、センシング手法の基本原理解や、当日の一連の講演の位置づけ等について紹介いただいた。また、ダイヤモンド中のNV中心の電子スピンの、固体系電子スピンの中でも室温では一番長いスピンコヒーレンス時間を有し、単一スピンを室温でも観測できることから、高感度、高空間分解能を有する量子センサとして期待される事、磁場のみならず、電場、温度、圧力、pHなども計測でき、幅広い分野での応用が

期待される事等について紹介いただいた。

[2] 量子磁気センサのためのダイヤモンド結晶成長技術 寺地 徳之 (NIMS)

【招待講演】として共通基盤となる材料側面から、物質・材料研究機構 (NIMS) で実施している化学気相成長法 (CVD) と高温高压 (HPHT) 合成法による量子センサ用ダイヤモンド結晶成長技術の最新の成果を紹介いただいた。特に、NV センタを用いた量子磁気センサのデバイス性能はダイヤモンド結晶の特性に大きく左右されるため、量子センサに適したダイヤモンド結晶の成長は重要な研究課題であり、高感度化に有効な電荷状態等について平行方程式等を用いて議論いただいた。

[3] NV センサ用ダイヤモンド素子とその応用の可能性 寺本 三紀 (住友電工)

【招待講演】材料側面・企業の取組として、独自の超高压合成技術を通して、世界最高レベルの高純度・低欠陥ダイヤモンドを製作し、日新電機にて電子線照射やイオン注入処理を行い、高感度の NV センサを製作。特に、高品質ダイヤモンドの合成方法や、それを利用した NV センサの応用可能性について紹介いただいた。

[4] 磁歪材料を用いたダイヤモンド量子センサの応力感度の向上 永田 俊典 (東工大)

【一般講演】としてダイヤモンド NV 量子センサの新たな応用用途の可能性について紹介いただいた。細胞の重量測定を目的に NV センタの応力感度を向上する手法として、応力に敏感な磁歪材料を NV センタに組み合わせるハイブリッドセンシングに着目、印加した応力と計測された ODMR 共鳴周波数から応力-磁場変換係数、最大 290nT/kPa を得た。細胞重量イメージングに適用する為には 2 桁の改善が必要との事。新たな取組みに活発な議論が行われた。

[5] 参照マイクロ波によるダイヤモンド中単一 NV 中心を用いたベクトル直流磁場センシング 五十川 拓哉 (慶應大)

【一般公演】として磁場ベクトルを求める新たな手法について紹介いただいた。量子化軸は測定対象磁場の垂直成分によって NV 軸から傾くので、直線偏光の共鳴周波数マイクロ波を印加すると、量子化軸に垂直なマイクロ波の成分に比例した周波数でラビ振動が起こる為、ラビ周波数から量子化軸の傾きがわかり、測定対象直流磁場の方向を推定できること、即ち、マイクロ波の偏向を 3 次元的に操作する量子センシングの有効性を示した。

[6] 生体ナノ量子センサによる高感度バイオセンシング技術 五十嵐 龍治 (QST)

【招待講演】として応用側面から、ナノサイズの量子センサを用いた高感度のバイオセンシング技術と、その研究開発の展望について紹介いただいた。生命は細胞や分子などバラエティに富む微小構成要素の複雑な集合体であり、「微小・微量の試料をいかにして計測するか」、

微小・微量の計測技術として、ナノダイヤモンド中の NV センタを用いた量子センサ技術が注目を集めている。ナノダイヤモンド NV 量子センサは、蛍光が褪色せず、温度や pH 等様々な物理量の定量が可能になることを示し、背景光の除去手法についても紹介いただいた。

[7] ダイヤモンド NV 量子センサのバイオ・医療応用へ向けて 関野 正樹 (東大)

【招待講演】として応用側面から、生体磁気計測における、ダイヤモンド NV 量子センサのポテンシャル、特に、体内へ投与した微量の磁性ナノ粒子の検出や、ラットの心磁図の測定について紹介いただいた。ダイヤモンド NV 量子センサは、室温で動作し、ナノスケールまで小型化が可能であり、ダイナミックレンジが高く、固体であるため集積化に適するなど、多くの利点を有する等、他の生体磁気計測用センサ SQUID や OPM 等との比較を通してその可能性と適用事例についてビデオ等を交えて紹介いただいた。

[8] 生体磁気計測に向けたダイヤモンド量子磁気センサの高感度化

西谷 大祐 (デンソー/東工大)

【招待講演】応用側面・企業の取組として、ラットの心磁計測系での感度向上への取組みについて解説頂き、さらなる高感度化を目指した最近の取組みについても紹介いただいた。高感度化を阻む電気雑音やレーザ雑音はロックイン検出をベースとし差動検出する事で対策可能であり、温度ドリフト等も共鳴周波数追従で対応可能とし、ラットの心磁計測に成功した。脳磁計測等さらなる高感度化には、NV 数の増加と量子コヒーレンスの利用が必要であり、Ramsey の適用を検討されている等紹介された。

[9] ダイヤモンド NV 量子センサを用いた車載用広ダイナミックレンジの電流センサの開発

申 在原 (矢崎総業)

【招待講演】応用側面・企業の取組として、ダイヤモンド NV センタを用いて現行品より広い 6 桁のダイナミックレンジ(10mA~1000A の電流範囲)の電流センサかつ使用中におけるバッテリーの温度変化を正確に計測する温度センサの検討について紹介いただいた。バスバーの上下に 2 つのセンサを配置することで光源強度の揺らぎや電源ノイズなどの同相ノイズを除去し、外部磁場ノイズがある環境で、10mA の電流計測を実現、複数の計測点をロックし、フィードバック制御することで、1000A の大電流計測、及び電流と温度の同時計測を実現したことを紹介いただいた。

