

ダイヤモンド NV 中心の交流電流比標準応用の可能性

産業技術総合研究所
量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル研究センター
天谷康孝，金子晋久
産業技術総合研究所
物理計測標準研究部門
村松秀和

1. はじめに

量子状態を制御する新しい技術は「量子技術 2.0」¹⁾と呼ばれる。その先には、量子コンピュータ、量子マテリアル、量子センシングなど幅広い可能性が広がっている。量子センシングとは、量子力学の原理に基づくセンシング技術である。従来の技術を凌駕する高感度・高精度なセンシングを可能とし、量子技術の中で早期の社会実装が期待されている。

拙稿で取り上げるダイヤモンド窒素-空孔中心 (NV 中心: Nitrogen-Vacancy center) は、窒素不純物と空孔で構成されるダイヤモンド中複合欠陥の電子スピンを用いた高感度な磁気センサである²⁻⁸⁾。NV 中心は、レーザーによりスピンを室温で初期化できることに加え、赤色蛍光の検出によりスピン状態を光学的に検出できる。また、磁場以外に、温度、電場、歪⁹⁻¹²⁾の物理量を同時に検出できることも重要な特徴である(図 1)。

実用化にあたってはまだ発展途上にあると考えられる NV 中心であるが、有望なユースケースの探索や産業界との連携が開始され、ブレイクスルーを目指して研究開発競争が激しくなっている。例えば、極低温まで冷却する必要がある超伝導量子干渉計の感度に室温でも到達することが期待されていることから、日本を含め、心磁計、脳磁計などの医療機器などの極めて高い感度が要求される分野への応用が始まっている¹³⁾。また、広い範囲の磁場を検出できることから、微小電流から大電流まで計測する必要がある蓄電池評価への応用も始まっている¹⁴⁾。最近では、Qnami や QZabre のようなバーゼル大学やスイス連邦工科大学のスピンオフ企業が登場し、NV 中心を利用した磁場イメージング装置が上市した^{15,16)}。

このような研究背景のもと、拙稿では、NV 中心の電気標準への応用の取り組みを紹介する。まず、電気標準を俯瞰的に眺め、交流電流比標準の現状と課題について説明する。次に、NV 中心の磁気センサの利点を述べ、交流電流比計測のキーデバイスとなる「電流比較器」のゼロ点検出部への NV 中心磁気センサの適用可能性を議論する。

2. 電気標準と交流電流比標準

計量標準は、科学計測での客観性や信頼性を表す基準として必要不可欠であるばかりでなく、経済活動を広く且つ円滑に実施する上でも重要な社会基盤として広く認識されている。国境を越えたヒト・モノの交流が活発になる一方で、国際的に統一された基準を採用することが、産業界の国際競争力を高める上で重要な意味を持つ¹⁷⁾。例えば、国際品質システム規格の中では、製品の製造・試験・検査に使用される各種計測器は、国家計量標準への計量トレーサビリティ(測定器が校正の連鎖によって国家標準に辿り着けることが確かめられていること)が必須の要件として定められている¹⁸⁾。

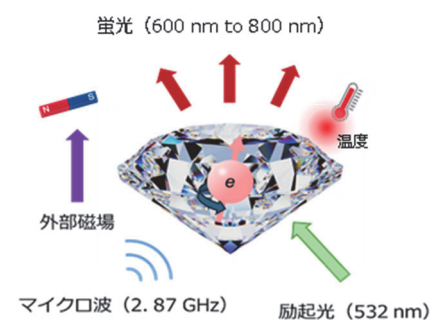


図 1 ダイヤモンド NV 中心とそのセンシング機能のイメージ図