

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： コンポジット量子センサーの創成 -1 細胞から 1 個体まで-

2. 個人研究者名

五十嵐 龍治（量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門 グループリーダー）

3. 事後評価結果

本研究では、ワイドバンドギャップ半導体中のある種の格子欠陥が持つ量子センサーとしての性質に着目し、1. 細胞や生体の多種多様な局所パラメータを分別・一括定量する量子計測技術を開発、2. ナノハイブリッド技術により、量子センサーで計測可能な物理化学パラメータの種類を拡張したコンポジット量子センサーを創成、3. 哺乳動物個体への適用を試み、発生やがん化の定量的モニタリング、自由行動下での脳計測への応用を目指した。

[どのような量子性をどのように扱ったのか]

- ・室温で安定した光学特性とスピン特性を有して発光とスピン状態が共軛する、複合型格子欠陥中（特に NV センター）の三重項電子の量子性。
- ・三重項電子を物理化学定量に活用したナノダイヤモンドを極小量子センサーとし、生命計測を実施。

[達成状況とインパクト]

五十嵐研究者は、ワイドバンドギャップ半導体中のある種の格子欠陥が持つ量子センサーとしての性質に着目し、温度と粘性、温度とラジカル、温度と pH、温度と磁場など、物理化学パラメータの時空間計測技術の開発に成功した。この成果は、粒子径 5nm のナノ量子センサーの製法、生体親和性向上のための表面化学修飾法など、量子センサーに関わる基盤技術を地道に検討した結果によるものである。具体的にはナノダイヤモンドの粒子径の制御、表面電荷制御、生体適合性の向上、NV センターの光検出磁気共鳴（Optically detected magnetic resonance; ODMR）計測感度の向上について、本さきがけ研究で解決すべき課題と設定の上、粒子径制御については爆轟法によるナノダイヤモンドの化学的単分散化法を確立し、ナノダイヤモンドのステルス性と分子標的性を最適化する表面官能基の精密制御などのノウハウを確立するに至っている。特にナノダイヤモンド表面を機能性ポリマーとハイブリッド化することで特定パラメータの影響を増強し、従来の量子計測技術では排除できないクロストークを回避するアイデアに基づき、新しいコンポジット量子センサーの開発を行ったことは評価できる点である。

さらに五十嵐研究者は本センサーを用いて生命現象への適用を試み、生体内の微小環境における様々なパラメータが測定可能であることを示している。例えば、タンパク質の 3 次元回転運動を計測する 3 次元トラッキング手法を考案し、培養細胞系で薬剤応答に関わるタンパク質の 1 分子計測を実証した。その成果は、論文発表とともにプレスリリース*がなされている。また、pH 依存的な表面電荷の変化を検出する pH センサー、磁場検出に基づく微小環境の粘性の計測法に本技術を展開するなど、当初の目的を高いレベルで達成できたと言えるであろう。

本技術がどのような生命活動・分子挙動への計測に応用できるかの方向性について、五十嵐研究者は、RT-PCR やデジタルイムノアッセイなど、既存技術では困難であった超高感度で迅速なウイルス/疾患バイオマーカー検出のための量子診断プラットフォームの構築を目指している。今後、それらの実験データについてより化学的考察を深め、生命現象への応用とした量子センサーならではの観測からの実験デザインと展開に期待したい。 ※ <https://www.qst.go.jp/site/press/40761.html>