

平成26年度(基盤研究(S))研究概要(採択時)

【基盤研究(S)】

理工系(総合理工)

研究課題名 ダイヤモンド量子センシング



慶應義塾大学・理工学部・教授

いとう こうへい
伊藤 公平

研究課題番号: 26220602 研究者番号: 30276414

研究分野: 量子情報、固体物理学、計測技術

キーワード: 量子センサー、ナノテクノロジー、磁気共鳴

【研究の背景・目的】

材料・ナノテク技術の劇的な進歩により、固体中で単一の量子状態(人工原子状態)を創製することが可能になり、それを量子計算のビット(量子ビット)として応用する研究が世界中で実施されている。有用な量子計算の実現には大規模な量子ビット集積化が必要のため、量子計算の概念実証(proof of concept)が様々な固体系で実施された現在は、高集積化につなげる工学的工夫に重心が移行している。一方、数個と数百万個のギャップを埋めるべく、一個または数個の量子ビットの応用が摸索され、その結果として確立されたのが量子センサーという新概念である。

そこで本研究では、ダイヤモンド中の個々の量子ビットをセンサーとして、単一の分子や細胞の核磁気共鳴(NMR)イメージング測定や電位分布測定を室温で実現する実験手法を確立する。同位体ダイヤモンド表面近傍(数nm)に100マイクロ秒以上の量子コヒーレンス時間を有する窒素-空孔(NV)ペアを配置し、個々のNVペアに束縛された電子スピンを制御する手法を開発し、単一NV電子スピンをセンサーとしてダイヤモンド外部に置かれた単一原子の核磁気共鳴(NMR)検知を目指す。また2次元NVアレイを用いて空間分解能50nmでの磁場・電位・温度分布イメージングを実現することも目指す。並行してニューロン等の単一細胞への刺激に対する電位分布の時間発展バイオセンシングをNVアレイを用いて実現する。最終的には、量子センサーとしての最大の利点(古典限界を破る高感度)を保ちながら、空間分解能を10nm以下の実現を目標とし、単一分子・細胞の磁場・電場・温度イメージングを目指す。

【研究の方法】

図1にダイヤモンド表面付近の単一のNV電子スピン(矢印)をセンサーとして、その上に置かれた分子中の個々の原子の核磁気共鳴を測定し(化学種の同定)、空間分布を決定するチップの例を示す。また図2にダイヤモンド表面付近に配置されたNV電子スピンアレイ中の個々のNV(矢印)をセンサーピクセルとして、

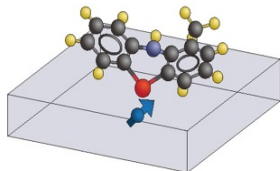


図1

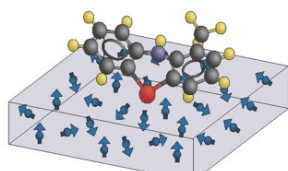


図2

その上に置かれた分子中の原子の核磁気共鳴・電位・温度の空間分布を決定するチップの例を示す。個々のNVセンサーのスピンの状態は光学顕微鏡下におかれたチップに緑色の励起光を照射し、スピン状態に応じて得られる赤色の発光を検知することで容易に実施する。すべての測定は室温で行う。

【期待される成果と意義】

ダイヤモンド中のNVを用いた量子センシングでは、ダイヤモンド中の単一電子スピンとダイヤモンド外の核スピンをエンタングルさせる。ここで必要となるのは、センサーと測定対象の間の相互作用の詳細を明らかにするという基礎研究である。すなわち、様々な量子操作(磁気共鳴)技術を駆使して感度を向上させることは、固体物理学・量子物理学・原子物理学の分野に対する横断的かつ先駆的な研究であり、固体中の量子および光物性に対する最先端の知見が得られ、その成果をインパクトの強い論文として世界に送り出せる。

応用面においては、本研究の成果に基づき、例えばLab on Chip(マイクロTAS)といったガラス基板上のマイクロチップ工場においても局所的なNMR分析が実現できるようになることが期待される。本研究の出口の一つがデスクトップ型の単一(または少数)分子NMR装置開発であり、グリーンや創薬といった重点分野を含む産業の発展を担う計測技術基盤に発展させたい。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・K. Ohashi, T. Rosskopf, H. Watanabe, M. Loretz, Y. Tao, R. Hauert, S. Tomizawa, T. Ishikawa, J. Ishi-Hayase, S. Shikata, C. L. Degen, and K. M. Itoh, "Negatively Charged Nitrogen-Vacancy Centers in a 5 nm Thin ^{12}C Diamond Films," Nano Letters, vol. 13, 4733-4738 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度
165,200千円

【ホームページ等】

http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/jp/kitoh@appi.keio.ac.jp