

【目的】 日本を含め世界中で高齢化社会に移行しつつあり、超高齢化社会が抱える問題の解決が早急に求められている。特に認知症の予防や早期発見による医療負担の軽減は重要課題となってくる。そこで、脳細胞の軸索から発生する脳磁場を高空間分解能で測定し、脳細胞の状態の変化をとらえて認知症などの疾病の早期発見を目的として、高空間分解能微小磁場測定素子の開発を行う。測定素子の材料には脳磁図と同等の感度を持つダイヤモンド窒素-空孔センター（以下：NV センター）を用いることで、その特性によって常温での磁場測定が可能となるため、ウェアラブルでのその場観測が実現できる。脳磁場をウェアラブルで測定するためには、1. ピコテスラの微弱磁場を常温で測定できること、2. 空間分解能が細胞の大きさよりも高いこと、3. その場観測が可能であること、4. 非侵襲であること、5. 常温で測定できることの 5 つの要件を満たす素子の開発が必須である。本研究においては基礎となるダイヤモンド NV センターからの赤色発光の強度を上昇させるとともに、空間分解能を大幅に上昇できるユニークな縦型導波路構造を実現し、ダイヤモンド NV センターの高空間分解能・高感度化を目指した。

【方法】 ダイヤモンド NV センターの感度を上げるために以下の方法を新たに開発、実行した。1. ダイヤモンド NV センターの高感度化：フェムトレーザーの照射強度と照射時間をコントロールし、熱処理を行わずにダイヤモンドの任意の領域に NV センターの数を増加させる方法を開発した。2. 縦型導波路構造の作製：ダイヤモンド基板の厚みを導波路の長さとして、ダイヤモンドの表面からレーザー照射を行い、表面から裏面まで一度に改質する方法を開発し、ダイヤモンド内に縦型導波路を作製した。3. 神経や細胞と同程度の大きさの導波路を形成しその大きさの空間分解能を達成する。上記 1 および 2 を駆使して高空間分解能高品質 NV センターを作製し、波長 532 nm の励起光を照射して NV センターから赤色を発光させ、その赤色光を導波路内に閉じ込めることに成功した。

【結果】 フェムト秒レーザーを用いて、ダイヤモンド内の任意の領域に NV センターの数を増加させることに成功した。また、レーザーを用いてダイヤモンドの表面から裏面まで貫通した改質を行うことにより、微小磁場測定のための縦型導波路の作製に成功した。導波路のサイズは $10\ \mu\text{m}$ 四方以上の任意の大きさが作製可能で、アレー状に配列することができる。下図 a は $15\ \mu\text{m}$ 四方の導波路内に閉じ込められる赤色発光を示す。同じ励起光で導波路外を照射した場合、b のように広がるのが分かる。赤色の中心に白く見えているのは NV センターからの発光が飽和している状態である。細胞の軸索からの磁場をとらえる際に a のほうが、空間分解能が高くなり有効である。

15 μm の導波路内に閉じ込められる NV センターからの赤色発光

