NV センター形成のためのナノダイヤモンドへの欠陥導入

Defects Introduction to a nano-diamond for the NV center formation

量研高崎研[1]，量研放医研[2]，○阿部 浩之[1]，長田 健介[2]，武山 昭憲[1]，小野田 忍[1]，大島 武[1]
QST-QuBS[1], QST-NIRS[2], ○Hiroshi Abe[1], Kensuke Osada[2], Akinori Takeyama[1], Shinobu Onoda[1], Takeshi Ohshima[1]
E-mail: abe.hiroshi2@qst.go.jp

【はじめに】ナノダイヤモンド中の NV（窒素―空孔）センターは、単一細胞レベルから動物レベルまでの幅広い生体に導入することができ、それらの生命現象により誘起される微小温度変化、細胞活性に伴う磁気・電気的変化の検出や MRI（磁気共鳴画像）法を活用した体内のイメージング材料として期待されている。NV センターの量子性を利用した量子センシング・イメージングのためには、より効率的に NV センターを導入することに加え、量子性の優れたナノダイヤ中 NV センター形成技術が求められている。我々は今までにナノダイヤモンドに電子線照射と熱処理により高発光強度の NV センター形成技術の最適化を図ってきた[1]。そのようにして作製したナノダイヤモンドの表面に対して、生体導入に適した化学処理を施す必要がある。本研究では、電子線照射量と熱処理条件をさらに突き詰め、それら種々の条件や表面化学処理と NV センター形成への影響を調べた。

【実験】平均粒径が 45 nm のダイヤモンド試料を用いた。NV センター形成には 2 MeV 電子線照射（量研高崎研電線照射施設）を実施し、ナノダイヤモンド中に原子空孔を導入し、その後の熱処理を施すことで NV センターを多量に形成させることが可能である。電子線照射は室温照射にて、トータルフルエンスは 2E18～7E18 [e^-/cm^2]まで照射した。照射後 Ar ガスフローにて熱処理を実施した。アニール温度は 800, 900, 1100, 1200°C の温度において、それぞれ 2 時間の熱処理を行なった。既に 3E18 の照射量の段階で最適温度が 900℃とわかったので、それ以降の大線量照射については、900℃を 2 時間の熱処理のみを実施した。多量に形成させた NV センターについては、フォトルミネッセンス(PL: Photo Luminescence)法によるスペクトルおよび発光強度の測定を実施し（レーザー励起光 : 532 nm を使用）、発光強度測定を通じて種々条件における NV 形成条件との相関を調べた。更に発光強度の強いナノダイヤについて、表面化学修飾（-COOH 化）させ、その後 PEG 化させ、生体導入のためのサンプルを作製した。PEG 評価は熱重量分析を用いて測定し、TEM により PEG 化させたナノダイヤの観察も行った。

【結果と考察】ナノダイヤモンドの発光強度と熱処理の関係について、照射量において熱処理温度が 900ºC 付近で最大を示すことがわかり、次に照射量の最適化について調べた結果、4E18 [/cm2] の照射量が最適であることがわかった。また照射量が多いほどナノダイヤモンド中に原子空孔が多量に形成され、熱処理によって NV センターが多く形成されたためと考えられる。これら発光強度の強いナノダイヤモンドについて、表面化学修飾を施しさらに PEG 化させてみた結果、図のような PEG 化させたナノダイヤモンドを作製することに成功した。このサンプルを用い、生体系への導入を試す。これら NV センター形成条件やその後の PEG 化などについての結果について報告する。

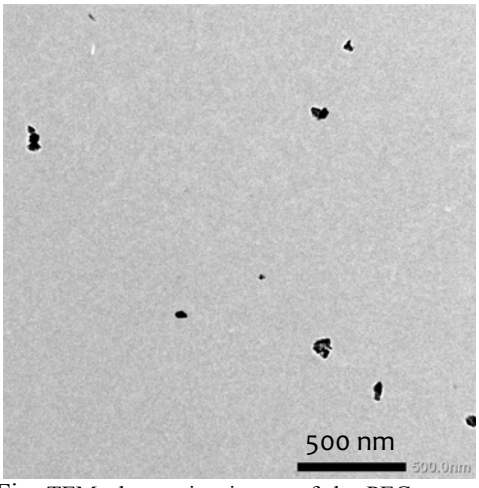


Fig. TEM observation image of the PEG nano-diamond

【参考文献】
[1] 阿部浩之 他、ナノダイヤモンド中の NV センター形成のための欠陥エンジニアリング、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、2019 年 3 月 9～12 日、東京工業大学（大岡山・東京）.

© 2019年 応用物理学会