

基板表面微細加工による窒素ドーブ化学気相成長 ダイヤモンド薄膜における窒素空孔中心のドーピング制御

Controlled doping of nitrogen-vacancy centers in a diamond thin film fabricated using nitrogen-doped chemical vapor deposition on micro-patterned substrate

慶應義塾大学¹, 産業技術総合研究所 ダイヤモンドラボ²
 ○富澤周平¹, 大橋康平¹, 伊藤公平¹, 早瀬潤子¹, 渡邊幸志², 梅澤仁², 鹿田真一²

Keio Univ.¹, Diamond Research Laboratory, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)²,
 ○Shuhei Tomizawa¹, Kohei Ohashi¹, Kohei M. Itoh¹, Junko Ishi-Hayase¹, Hideyuki Watanabe², Hitoshi Umezawa², Shinichi Shikata²
 E-mail: tomi-anagosan@z8.keio.jp

[背景・目的] ダイヤモンド中の窒素空孔中心(NV センター)は、室温で光を用いた単一電子スピン状態の読み出し・初期化が可能な唯一の系であり、量子情報デバイスや超高感度磁場センサーへの応用が期待されている[1, 2]。我々のグループは、マイクロ波プラズマ化学気相成長(CVD)法によるダイヤモンド薄膜成長中に窒素ガスを混入することで、薄膜中への NV センター導入を試みている。既に先行研究により、 ^{12}C =99.99%に同位体制御した膜厚 100 nm のダイヤモンド薄膜中に、 T_2 が 1.7 ms と非常に長い NV センターの導入に成功している[3]。しかし、同手法によるさらなる超薄膜化や、NV センター生成効率・位置制御の為には、CVD 条件の他、ダイヤモンド基板のもつオフ角の最適化が必要となる。本研究では、表面微細加工によりオフ角を局所的に変化させたダイヤモンド基板上に窒素ドーブ CVD ダイヤモンド薄膜成長した試料を作製した。この試料を評価することで、基板オフ角と NV センターの生成効率や生成位置の関係を調べたので報告する。

[実験] IIa ダイヤモンド基板(001)面上に、フォトリソグラフィとドライエッチングにより Line & Space 構造を作製した(Fig. 1)。L/S 構造の設計は溝深さ 2 μm 、L/S=10/5, 4/2, 2/1, 1/0.5 μm である。溝(Space)構造の端では(001)面のステップ端密度が増加し、実効的なオフ角が大きくなると期待される。この基板上に、窒素ドーブを行いながら 500 nm のダイヤモンド薄膜を CVD 成長した。成長後、単一光子検出共焦点顕微鏡を用いて薄膜からの Photoluminescence(PL)のマッピング像を取得し、NV センターの生成有無を調べた。また、レーザー顕微鏡によって試料の表面形状測定を行った。

[結果・考察] Fig. 2 は、(a)試料表面の PL マッピング像と(b)レーザー顕微鏡像である。溝部分に対応した位置に強い PL が分布しており、そこから Fig. 2 (c)に示すような NV⁻を特徴づける PL スペクトルを観測した。これは、CVD 成長と基板条件のみで NV センターのドーピング位置の制御に成功したことを意味し、過去に例のない結果である。また成長後の表面形状を測定したところ、設定した成長量が 500 nm であるにも関わらず、基板に掘った深さ 2 μm の溝が埋まり数百 nm 以内の凹凸になっていることが分かった(Fig. 2(d))。この結果は、溝部分の成長速度が平面部分よりも数倍大きいことを示唆し、成長速度

の増加が窒素や空孔の取り込みの局所的増加を引き起こしたと考えられる。講演では、生成した NV センターアンサンブルの光学特性についても述べる。本研究の一部は、科学研究費補助金と FIRST、NEXT の支援により行われた。

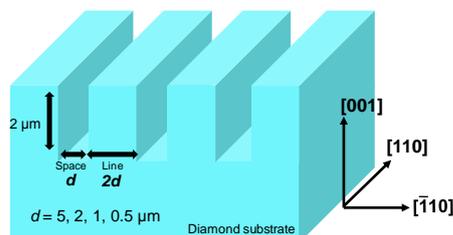


Fig. 1 Schematic figure of a diamond substrate with Line&Space structure. 4 designs of space width d are fabricated on the same substrate.

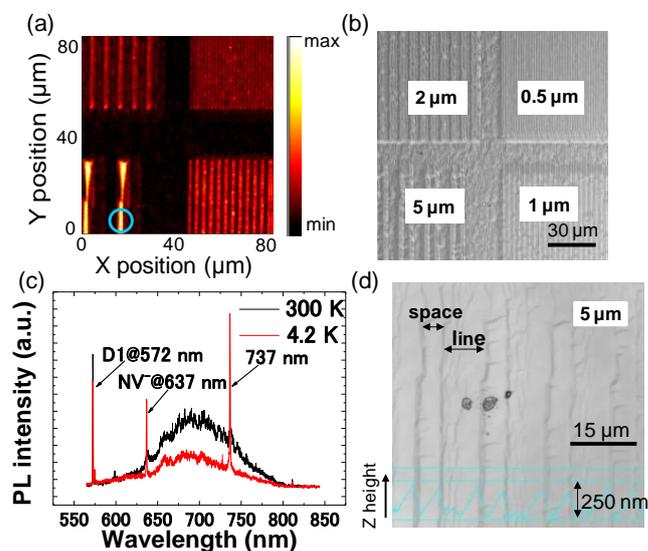


Fig.2 (a)PL mapping and (b)laser microscopic image of the sample surface after CVD growth. (c)PL spectrum from 5 μm space (Blue circle in (a)). Black and red curves correspond to the spectra at room and low temperatures. (d)Magnified image of 5 μm space area. Blue curve is a profile of surface roughness that shows 2 μm depth groove has been filled at all.

[Reference]

- [1] G. D. Fuchs, *et al.*, *Nature Phys.* **7**, 789 (2011).
- [2] J. M. Taylor, *et al.*, *Nature Phys.* **4**, 810 (2008).
- [3] T. Ishikawa, *et al.*, *Nano Lett.* **12**, 2083 (2012).