

# 二次元核形成を抑制した高濃度窒素ドーパダイヤモンド成長技術の開発

## Development of heavily nitrogen-doped diamond growth

### with suppression of 2D nucleation

金沢大学<sup>1</sup>, Diamond and Carbon Applications<sup>2, ○</sup> (M2) 中野 裕太<sup>1</sup>, (M2) 稲垣 秀<sup>1</sup>,  
(M2) 小林 和樹<sup>1</sup>, 張 旭芳<sup>1</sup>, 松本 翼<sup>1</sup>, 猪熊 孝夫<sup>1</sup>, 山崎 聡<sup>1</sup>, Christoph E. Nebel<sup>1,2</sup>, 徳田 規夫<sup>1</sup>  
Kanazawa Univ.<sup>1</sup>, Diamond and Carbon Applications<sup>2</sup>,  
○Yuta Nakano<sup>1</sup>, Shu Inagaki<sup>1</sup>, Kazuki Kobayashi<sup>1</sup>, Xufang Zhang<sup>1</sup>, Tsubasa Matsumoto<sup>1</sup>,  
Takao Inokuma<sup>1</sup>, Satoshi Yamasaki<sup>1</sup>, Christoph E. Nebel<sup>1,2</sup> and Norio Tokuda<sup>1</sup>  
E-mail: sl521fe@stu.kanazawa-u.ac.jp

#### 【はじめに】

ダイヤモンドを用いたパワーデバイスや量子デバイスの性能向上のためには、高品質な高濃度窒素ドーピング技術が必要である。しかし、高濃度窒素ドーピングによりダイヤモンドの膜質が低下することが一般的に知られている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、高品質化可能なラテラル成長モードを利用し、テラス上での二次元核形成（以下「二次元核形成」と称する）を抑制した高濃度窒素ドーパダイヤモンド成長技術の開発に取り組んだ<sup>2)</sup>。

#### 【実験方法】

オフ角  $8^\circ \pm 1^\circ$  を有する HPHT Ib 型ダイヤモンド(111)基板にマイクロ波プラズマ CVD 装置（アリオス株式会社製）を用いて、二次元核形成を抑制したラテラル成長条件( $\text{CH}_4/\text{H}_2=0.05\%$ )をベースに窒素ドーパ成長( $\text{N}_2/\text{CH}_4=0\sim2000\%$ )を行った。ダイヤモンド膜の成長レートと膜中窒素濃度([N])はマイクロメーターによる試料厚の差分と二次イオン質量分析により見積もられた。また、HPHT Ib 型ダイヤモンド(111)メサ基板を用いてラテラル成長条件でメサ表面上にステップフリー表面を形成した後、(111)基板と同条件の成長を 10 分行った。成長後のメサ上の表面形態を原子間力顕微鏡(AFM)で観察した。

#### 【結果と考察】

Figure 1 には、[N] の  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  依存性を示す。 $\text{N}_2/\text{CH}_4=200\%$  で最高  $[\text{N}] = 2 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  を達成し、20 乗を超える高濃度窒素ドーピングに成功した。Figure 2 には、二次元核形成密度と成長レートの  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  依存性と二次元核形成の様子を表した AFM 像( $\text{N}_2/\text{CH}_4=2\%$ )を示す。成長レートは  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  に依存して 20 % までは増加したがその後減少し、 $\text{N}_2/\text{CH}_4=2000\%$  ではエッチングした。二次元核形成密度についても同様の傾向が見られたことから、窒素ドーパによる成長レートの増減は二次元核形成が大きく関係していることを示している。今回得られた最高濃度  $2 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  の窒素ドーパダイヤモンド成長において、二次元核形成のない  $15 \times 15 \mu\text{m}^2$  のステップフリー表面があった。これは、高濃度窒素ドーパダイヤモンド成長においても極限まで二次元核形成を抑制し、高品質化が可能であることを示している。発表では窒素-炭素原子間の吸着に関するシミュレーション結果を踏まえ窒素ドーパダイヤモンド成長機構についても議論する。

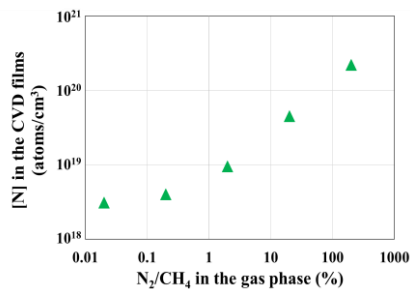


Fig. 1  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  ratio dependence of [N] in the CVD films.

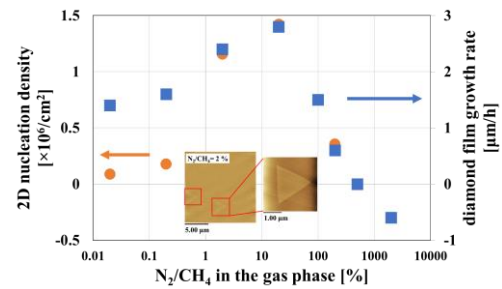


Fig. 2  $\text{N}_2/\text{CH}_4$  ratio dependence of 2D nucleation density and diamond film growth rate; AFM images at  $\text{N}_2/\text{CH}_4=2\%$  ( $[\text{N}] = 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ ).

#### 【まとめ】

窒素ドーパラテラル成長を行い、[N]、成長レート、二次元核形成密度を調査した。成長レート増減には二次元核形成との関係があることを明らかにし、 $[\text{N}] = 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$  以上の高濃度においても二次元核形成の少ない高品質な窒素ドーパダイヤモンド成長に成功した。今後は、高品質な高濃度窒素ドーパダイヤモンド成長技術を窒素-空孔中心へと応用することを目指す<sup>3)</sup>。

#### 【謝辞】

本研究は金沢大学先魁プロジェクト 2020、光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) の助成を受けたものです。

#### 【参考文献】

- 1) E. Boettger *et al.*, J. Appl. Phys. **77**, 6332 (1995).
- 2) N. Tokuda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **51**, 090107 (2012).
- 3) H. Ozawa *et al.*, Appl. Phys. Express **10**, 045501 (2017).