

電力変調および原料ガス間歇供給を伴う 単結晶ダイヤモンド成長プロセス用誘導熱プラズマの電磁熱流体解析

Numerical thermofluid simulation on induction thermal plasma
with modulations of power and feedstock gas feeding for single crystal diamond growth

東泰造*, 細井大和, 田中康規, 中野裕介, 石島達夫,
Taizo Higashi*, Yamato Hosoi¹, Yasunori Tanaka, Yusuke Nakano, Tatsuo Ishijima
金沢大学

Kanazawa University,

1. まえがき

筆者らは、独自開発した変調型誘導熱プラズマ (MITP) 照射による単結晶ダイヤモンド高速成長を検討している。MITPでは、入力電流の振幅を任意波形に変調することで基板に照射する熱流束・ラジカル粒子束を詳細に制御できる⁽¹⁾。本報告では、電力変調に加えて原料ガス間歇供給時の Ar/CH₄/H₂ MITPの電磁熱流体解析を行った。

2. 解析条件

Fig. 1 に、計算空間を示す。MITP トーチは、石英管と 8 ターンの誘導コイルからなる。このコイルに周波数 450 kHz の高周波電流を流すことで、トーチ内に誘導熱プラズマを発生させる。コイル電流の変調波形には鋸波を使用し、変調周期 $T_{\text{cyc}}=15$ ms とした。コイル電流の電流振幅の最高値を HPCL, 最低値を LPCL と定義し、LPCL/HPCL=40% とした。シースガスとして Ar を流量 40 slpm で流した。原料 CH₄/H₂ ガスは水冷導入管を通じて直接 Ar 熱プラズマに供給し、その流量を CH₄/H₂=0.02/2 slpm とした。導入管の先端挿入位置は、誘導コイル 5-6 ターン目とし、コイル下端から 200 mm 下に単結晶ダイヤモンド基板 (2.6 mm 角) を設置した。チャンバ内圧力は 20 torr まで低下させた。Fig. 2 に原料ガス on-time と電力変調のタイミング図を示す。原料ガス間歇導入を模擬するために、原料供給プローブ口での原料ガス流速を矩形波的に変調した。このとき、原料ガスの平均流速を 16.5 m/s, 変調周期を 15ms, ガス on-time を 7.5 ms とし、コイル電力変調に対する原料ガスの供給時間遅れ t_d を 0ms, 3ms, 6 ms, 9 ms および 12 ms に設定した。

3. 数値解析結果

Fig. 3 に、 $t_d = 0$ ms と設定した場合における z 軸上での温度、流速および Ar/CH₄/H₂ に対する CH₄/H₂ の質量分率の分布の時間変化を示す。同図から温度・流速の時間変化は比較的小さく、原料ガス質量分率が時間的に大きく変動することがわかる。同様に様々な t_d に対し計算した結果、特に CH₄/H₂ 質量分率分布が原料ガス供給時間遅れに対し大きく依存することがわかった。これは原料ガスを導入するタイミングにより、その対流輸送が大きく依存するためと考えられる。

Fig. 4 に基板上 4 mm での C₂, CH₃ および H の粒子束の原料供給時間遅れ t_d 依存性を示す。遅れが $t_d=3$ ms の条件で各種粒子束は最大となった。この条件は、投入電力が高いタイミングで原料ガスを供給した条件であり、原料ガスの解離が促進されたことでラジカル量が増加したと考えられる。基板に照射されるラジカル量が増加することで、単結晶ダイヤモンド膜成長レートの向上が期待できる。

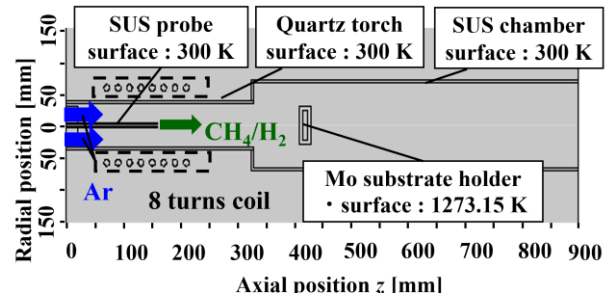


Fig. 1 Computational space

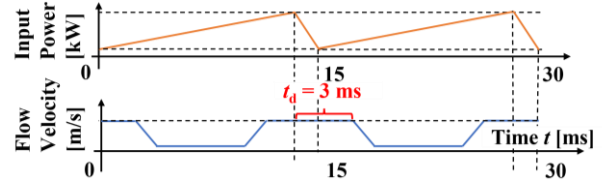


Fig. 2 Timing diagram of power modulation and intermittent gas feeding

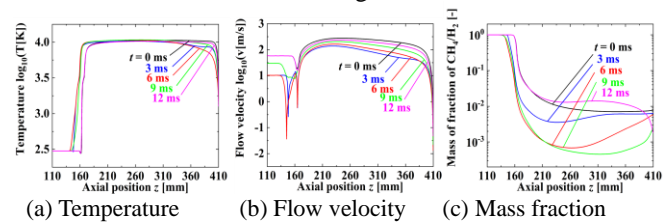


Fig. 3 Axial distributions on z -axis at $t_d = 0$ ms.

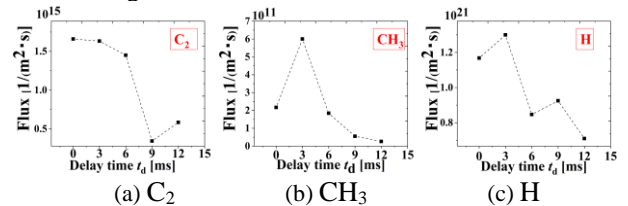


Fig. 4 Particle fluxes at 4mm above substrates

4. 文献

(1) T. Betsuin, et al.: J. Phys. D: Appl. Phys., 51, 095601 (2018)