

変調-無変調誘導熱プラズマの時間的直列照射法を用いた  
CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>ガス大量供給による多結晶ダイヤモンド膜高速生成

**High-speed production of polycrystalline diamond film by supplying large amounts of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> gas using time-series exposure of modulated and non-modulated induction thermal plasmas**

畑 和史<sup>1</sup>, 加納 直樹<sup>1</sup>, 田中 康規<sup>1</sup>, 中野 裕介<sup>1</sup>, 石島 達夫<sup>1</sup>

K. Hata<sup>1</sup>, N. Kano<sup>1</sup>, Y. Tanaka<sup>1</sup>, Y. Nakano<sup>1</sup>, T. Ishijima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>金沢大学自然科学研究科 <sup>1</sup>Kanazawa Univ.

### 1. まえがき

筆者らは、変調誘導熱プラズマ(M-ITP)と無変調誘導熱プラズマ(NM-ITP)の連続的照射による多結晶ダイヤモンド膜生成手法を開発している[1]。M-ITPはコイル電流の振幅変調により、熱プラズマの温度および生成・輸送ラジカル量の制御を行い、基板上でのダイヤモンド核生成を促進し、その後生成した核をNM-ITPにより成長させる。本稿では、M-ITPおよびNM-ITPの時間的直列照射による多結晶ダイヤモンド膜生成に対する原料ガス流量依存性を検討した。

### 2. 実験条件および計算条件

Fig.1に、Ar/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>誘導熱プラズマトーチ系を示す。石英管周囲の8ターンのRFコイルに周波数450 kHzの高周波電流を流し、トーチ内に熱プラズマを発生させる。コイル電流の変調波形は変調周期15 msの鋸波である。この波形でC<sub>2</sub>およびHの基板への平均照射量が多くなる[2]。コイル電流の電流振幅の最高値をHPCL、最低値をLPCLと定義する。この電流振幅の比LPCL/HPCLを36-37%に調節し、Si基板温度が1000℃となるようにした。シースガスArの流量を40 slpmとし、原料ガスCH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>流量を0.03/3、0.05/5および0.1/10 slpmの3通りとし、トーチ中央の水冷プローブから供給した。トーチ内の圧力は30 torrとし、コイルの下端から200 mmの位置のSi基板に対し、鋸波M-ITPを30 min照射後、NM-ITPを30 minの計60 min照射した。

計算ではM-ITPに対し、電力波形を疑似鋸波変調させた。疑似鋸波は鋸波のフーリエ級数展開の第3項まで考慮した波形である。原料ガスCH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>の流量を0.03/3および0.05/5 slpmの2通りとした。他条件は実験と同条件である。

### 3. 熱プラズマ照射後の実験結果および計算結果

SEMによる表面構造観察から、いずれの流量条件でも、ダイヤモンド結晶を反映した形態の粒子が密に堆積した。さらに、M-ITPのみ照射した後と比して、粒子が成長し粒径が大きくなった。Fig.2にM-ITPおよびNM-ITP直列照射

後のSi基板断面のSEM画像を示す。同図から各流量における膜厚は5.44 μm, 6.92 μmおよび11.47 μmで、流量の増加に伴い膜厚が増加した。

Fig.3(b)に、基板に照射されるC<sub>2</sub>の粒子束の時間変化の流量毎の計算結果を示す。電力変調により、基板上的粒子束が時間変動する。さらに、原料ガス流量を増加させることで、基板に照射される粒子束が増加することが示唆された。これは原料ガス流量を増やすとガス流速が大きくなり、原料ガスCH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>がより下流部で熱解離するためと考えられる。以上から、原料ガス流量を増加させることで多結晶ダイヤモンド膜生成率を向上できることが示唆された。

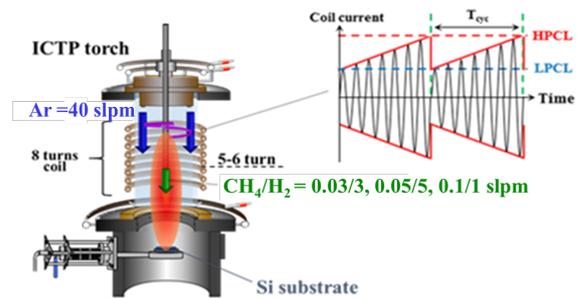
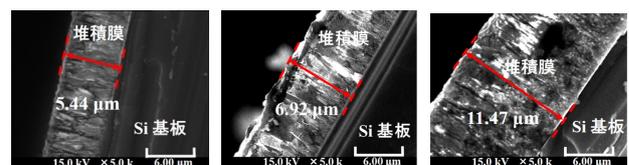
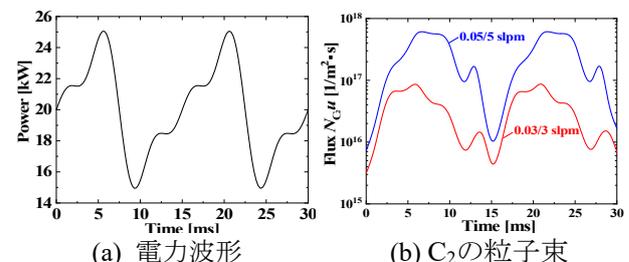


Fig.1 Ar/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>変調誘導熱プラズマ発生装置



(a) 0.03/3 slpm (b) 0.05/5 slpm (c) 0.1/10 slpm

Fig.2 熱プラズマ照射後のSi基板断面SEM画像



(a) 電力波形

(b) C<sub>2</sub>の粒子束

Fig.3 電力変調波形とC<sub>2</sub>粒子束の時間変化の計算結果

### 参考文献

- [1] T. Betsuin, et al. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 51, 095601 (2018)  
[2] S. Horita, et al.: *APCPST-12 / SPSM-27* (2014)