変調-無変調 Ar/CH4/H2 誘導熱プラズマの時間直列照射法を用いた 多結晶ダイヤモンド膜生成の圧力依存性

Pressure dependence of polycrystalline diamond film deposition using

time-series exposure of modulated and non-modulated Ar/CH₄/H₂ induction thermal plasmas.

```
<sup>0</sup>畑和史<sup>1</sup>,加納直樹<sup>1</sup>,中野裕介<sup>1</sup>,田中康規<sup>1</sup>,上杉喜彦<sup>1</sup>,石島達夫<sup>1</sup> (金沢大学<sup>1</sup>)
```

^oK. Hata¹, N. Kano¹, Y. Nakano¹, Y. Tanaka¹, Y. Uesugi¹, T. Ishijima¹ (Kanazawa Univ.¹)

E-mail: hachi-kun@stu.kanazawa-u.ac.jp, tanaka@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

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)とを時間的に直列に 基板に照射することで多結晶ダイヤモンド膜を 生成する手法を開発している[1]。MITP は熱プラ ズマを維持するコイル電流をミリ秒オーダ周期 で振幅変調させ、熱プラズマの平均温度および 生成・輸送されるラジカル量を制御し、基板上で のダイヤモンド核生成を促進する。この生成した 核を NM-ITP 照射により成長させる。本報告では、 この M-ITP および NM-ITP の時間直列照射での 多結晶ダイヤモンド膜生成に対する熱プラズマ トーチ内圧力依存性を検討した。

Fig.1 に, Ar/CH₄/H₂誘導熱プラズマトーチ系を 示す。熱プラズマトーチは、石英管と8ターンの RF コイルとからなる。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_{cyc}を 15 ms とした。 鋸 波変調は、ダイヤモンド膜生成に関係する C₂ お よび H の一周期あたりの基板への照射量が多い [2]。コイル電流の電流振幅の最高値を HPCL, 電 流振幅の最低値をLPCLと定義し、電流振幅の比 すなわち LPCL/HPCL の割合は, Si 基板温度が 1000℃となるように 37.0, 36.5 および 37.0%と調 節した。シースガス Ar の流量を 65 slpm とした。 原料ガス CH4/H2を、水冷プローブを通じて誘導 コイルの5-6ターン目から直接高温部に供給した。 その流量を CH₄/H₂=0.03/3 slpm とした。熱プラズ マトーチ内の圧力は 30 torr, 60 torr および 180 torr の3通りとした。誘導コイルの下端から200mm の位置に Si 基板を設置した。この Si 基板に対し て, 鋸波 M-ITP を 30 min 照射後, NM-ITP を 30 min, 計 60 min 照射した。

Fig.2 に, M-ITP と NM-ITP とを計 60 min 照射 後の Si 基板表面の SEM 画像を示す。同図(a)が圧 力 30 torr, (b)が圧力 60 torr, (c)が圧力 180 torr の FE-SEM 画像である。いずれの圧力条件でも, 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。圧力を低くすることで、粒子がより成長し粒径が大きくなった。これらの基板を割断しその断面を FE-SEM 観察することで、生成ダイヤモンド膜の膜厚を測定した。Fig.3 に、膜厚測定結果を示す。同図(a)から膜厚は、圧力 30 torr の場合5.63 µm, (b)から60 torr の場合4.40 µm, (c)から180 torr の場合2.67 µm であった。圧力を低くするとガス流速が大きくなり、原料ガス CH4/H2 がより下流部で熱解離する。これにより基板に照射される中性の炭化水素の粒子束が多くなる。このため、より低い圧力条件下で多結晶ダイヤモンド膜生成レートが向上することが示唆された。



Fig.1 Ar/CH₄/H₂誘導熱プラズマ発生装置および 鋸波変調コイル電流



(a) 30 torr(b) 60 torr(c) 180 torrFig.2 熱プラズマ照射後の Si 基板表面 SEM 画像



(a) 30 torr(b) 60 torr(c) 180 torrFig.3 熱プラズマ照射後の Si 基板断面 SEM 画像

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)