高品質ダイヤモンド膜合成用廉価マイクロ波プラズマ CVD 装置の開発

Development of Inexpensive Microwave Plasma CVD Apparatus with Metal Reaction Chamber for High-Quality Diamond Synthesis

阪大院エ¹,ニッシン² [°]宮田 昌和¹,毎田 修¹,南光 正平²、伊藤 利道¹

Graduate School of Engineering, Osaka Univ.¹, Nisshin Inc.² ^oM. Miyata¹, O. Maida¹, S. Nankou², T. Ito¹

E-mail: m.miyata@daiyan.eei.eng.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

物性的に優れた性質を多く有するダイヤモンドは、 次(々)世代半導体デバイスとしての実用化に向けて 様々な研究が行われている。高品質ダイヤモンド膜の 形成にはしばしばマイクロ波プラズマ化学気相合成

(MWPCVD) 法が用いられ、様々な型式の MWPCVD 装置が開発されている。各 MWPCVD 反応容器のマイ クロ波キャビティに様々な特徴があり、その設計は装 置の性能を左右する最も重要な要素の一つである。現 在、一般的によく用いられている MWPCVD 装置はス テンレス反応容器を有する ASTeX 型と石英管型(無機 材研型)である。ASTeX型 MWPCVD 装置は反応容器が 特許化されており、相対的にかなり高価である。一方、 石英管型 MWPCVD 装置は安価で、反応石英管の交換 により容易に異なるドーピングプロセス間の干渉を防 ぐことができるが、商用マイクロ波(@2.45 GHz)で使用 できる径の石英管では、特に不純物ドープ CVD ダイヤ モンド成長の場合、石英管内壁からの Si 不純物の混入 を無視できるレベルに抑制するのは困難であり、高品 質 CVD ダイヤモンド合成プロセスの障害になってい る。このような状況下、CVD ダイヤモンドの研究開発 を一層推進するには、CVD プロセスで生じる励起種と の反応が無視できる金属反応容器を有し、比較的安価 な MWPCVD 装置の開発が強く求められている。

そこで本研究では、ASTeX型とは異なるプラズマ安定化法に基づいた、相対的に安価な金属反応容器を有する MWPCVD 装置の開発を行うことを目的とした。

2. 実験

MWPCVD 装置における新規のプラズマ安定化法を 見出すため、反応容器の形状や構造を検討した。この ため、まず、電磁界シミュレーションによりマイクロ 波で生じる電界強度分布の形状依存性を調べた。本研 究で使用した電磁界シミュレータは ANSYS 社製

「HFSS」である。調査の結果、特殊形状を有する金属 反応容器にその可能性を見出した。当該シミュレーシ ョンにより、反応容器の詳細な構造を適正化するとと もに、得られた形状の金属反応容器を実際に試作し、 マイクロ波を投入し水素プラズマを点灯することによ り、当該容器における水素プラズマの安定化に及ぼす 要因を調査した。プラズマ点灯時に対する電磁界シミ ュレーションでは、プラズマをドルーデの式¹⁾から算 出した比誘電率・導電率を有する電磁波吸収体として 仮定し、近似的に取り扱った。これらのシミュレーシ ョンの結果に基づき、試作反応容器の形状や構造の適 正化し、水素プラズマが再現性良く点灯し安定に維持 できる反応容器の形状や構造を見出した。

3. 結果および考察

まず、金属容器内に点灯するプラズマを考慮しない シミュレーションで見出された特殊形状の金属反応容 器を有する MWPCVD 装置に対して、水素プラズマ点 灯実験を行った結果、投入マイクロ波電力を増加させ ると、反射波パワーが増大しマイクロ波導入石英窓下 部に表面波モードプラズマが生成されやすくなること が判明した。これらの問題を低減または解決するため、 点灯したプラズマを電磁波吸収体に置き換えたシミュ レーションを行った。その結果の一例を図1に示す。 当該石英窓設置用フランジの厚み X を変更し(同図 (a))、当該石英窓をプラズマ点灯領域から遠ざけるこ とにより、当該石英窓の反応容器側表面近傍におけ る最大瞬間電界強度を低減できる可能性(同図(b))が 見出された。また、反応容器内に設置される試料ホ ルダー保持用の材料や形状に関する適正化について もシミュレーションと実測により行った。

以上の適正化の結果、図2に示すように、100 Torr の水素ガスに対し、1100 Wのマイクロ波電力を入射 しても安定したプラズマ点灯が持続し、表面波モード プラズマの発生は生じなくなること、及び反射波電力 が10 W程度以下に抑制でき、高効率のマイクロ波電 力投入が行えることが実証できた。



Fig. 1. (a) Partial cross section (schematic) of quartz window for incident microwave and (b) maximum electric fields on the reactor axis simulated for various flange thicknesses (X in (a)) as a function of distance from the bottom of the quartz window. Values in parenthesis in (b) are corresponding microwave absorption ratios.



Fig. 2. Absorbed microwave power vs pressure (experiment)

参考文献

1) J.J. Su, Y.F. Li, X.L. Li, et al., Diam. Relat. Mater. 42(2014)28.