

ダイヤモンド合成用のマイクロ波プラズマのパルス化効果 Effects of pulse modes on the diamond growth with MWPCVD

山田英明、茶谷原昭義、杵野由明
Hideaki Yamada, Akiyoshi Chayahara, and Yoshiaki Mokuno
産総研 先進パワエレC
ADPARC, AIST

様々な物質中最高水準の物性を有するダイヤモンドは、原理的に従来の半導体デバイスよりも高いパフォーマンスの実現が期待されるワイドバンドギャップ半導体材料である[1]。将来のパワーマネージメントにおける省エネルギー技術の根幹を担う材料として、国内外で精力的に研究・開発が進められている[2]。この様な、電気的特性以外にも、機械的・熱的・光学的特性にもすぐれているため、工具[3]や、高周波電磁波用窓[4]、センサー[5]などへの応用も期待されている。

以上の様な広範な応用へ期待される一方で、人工的な合成や加工が容易ではない点が、実用化を妨げる一つの要因となっている。1950年代に、高温高压合成法によって人工合成が可能であることが報告[6]されて以後、今や、工具として用いられるダイヤモンドの大半が人工合成によるものとなったが、本手法を用いて合成される単結晶は数 mm 角程度に留まる。

一方、プラズマCVDを用いてもダイヤモンドが合成可能であることが後に示され[7]、今では、半導体用途を指向した殆どのエピタキシャル成長に用いられる。特に、基板成長面近傍に電極の設置を原理的に必要としない、マイクロ波プラズマCVDが用いられる。近年では、原料ガス圧を上昇して放電領域を局所化することで合成速度上昇を試みるアプローチがしばしば採用される[8]。しかしながら、その様な合成環境では、①成長面内の一様性が期待できず、インチサイズの大面積基板上の合成が困難である。また、②ガス温度の上昇に伴って、結晶成長方向の温度勾配が急瞬となり、結晶内部に大きな熱歪みを生ずる。言い換えると、上記した様なアプローチでは、

基板となる単結晶中の3次元的な一様性を確保することが容易ではない。ガス圧力を下げることで放電領域を拡大し、ガス温度の抑制と合成面積の大面積化が可能だが、合成速度が著しく低下する。一方、使用するマイクロ波の波長拡大により合成面積拡大が可能だが、その分、投入パワーを増大せざるを得ない。

以上の背景から、より効率よく高品質な大型の単結晶ダイヤモンドを合成するには、原料ガス温度を抑制しつつ、合成速度を維持・向上する技術が必要である。

我々は、導入するマイクロ波をパルス化した合成に取り組んだ。プラズマ発光分光の結果や合成速度の大幅な上昇から、ラジカル生成量の増加が示唆される。一方、パルス化により基板温度の低下が認められ、ガス温度が抑制されたと思われる。

[1] S. Koizumi, C. Nebel, and M. Nesladek, *Physics and Applications of CVD Diamond* (Wiley-VCH, Weinheim, 2008) Chap.3.

[2] 国内では、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)、欧米では、Green Diamond PJ (EU) や、ARPA-E PJ (US)などが実施されている。

[3] K. Tanigaki, H. Ogi, H. Sumiya, K. Kusakabe, N. Nakamura, M. Hirao, and H. Ledbetter, *Nat. Commun.* 4, 2343 (2013).

[4] H. Yamada, A. Meier, F. Mazzocchi, S. Schreck, and T. Scherer, *Diamond Relat. Mater.* 58, 1 (2015).

[5] A. Balducci, Marco Marinelli, E. Milani, M. E. Morgada, A. Tucciarone, G. Verona-Rinati, M. Angelone, and M. Pillon, *Appl. Phys. Lett.* 86, 193509 (2005).

[6] F. P. Bundy, H. T. Hall, H. M. Straong, and R. H. Wentorf Jun., *Nature* 4471, 51(1955).

[7] M. Kamo, Y. Sato, S. Matsumoto, and N. Setaka, *J. Cryst. Growth* 62, 642 (1983).

[8] H. Yamada, A. Chayahara, and Y. Mokuno, *Diamond Relat. Mater.*, online available (2015).