

プラズマ CVD を用いた単結晶ダイヤモンド合成における合成速度の予測

Prediction of growth rate of single-crystal diamond by using plasma CVD

産総研ダイヤモンド研究ラボ [○]山田 英明, 茶谷原 昭義, 奎野 由明, 坪内 信輝, 鹿田 真一

Diamond Research Lab., AIST, [○]H. Yamada, A. Chayahara, Y. Mokuno, N. Tsubouchi, and S. Shikata

E-mail: yamada-diamond@aist.go.jp

様々な物性値が物質中最高水準である単結晶ダイヤモンドは、機械的・光学的・熱的・電氣的特性に優れ、取り分け、パワー半導体材料として従来の材料を超える特性を発揮できるとして期待されている。しかしながら、他の半導体材料と比較してウェハ作製技術が未熟である点が、実用化のネックの一つとして指摘されていた。一般的には数 mm 角程度の基板が供給されているが、近年、単結晶同士を高品質に接合することにより、効率よくウェハ面積を拡大可能な技術が提案され、これを用いて実際に 1 インチ以上のサイズを持つ自立ウェハが作製実証された[1]。

半導体応用を目指した単結晶ダイヤモンドは、通常、単結晶ダイヤモンド基板上にマイクロ波プラズマを用いてホモエピタキシャル成長する方法が採用される。上記した通り、従来はラジカルの平均自由工程程度以下の基板を用いた実験が実施されてきた。バルクの結晶を作製する際も同様の手法が採用されるが、1 インチ径を超えると合成速度やモフォロジなどの非一様性が顕著に現れることが明らかとなってきた。このような非一様性は、バルク結晶作製プロセスを困難にするのみならず、基板上に作製されるデバイス特性の一様性にも直接影響すると考えられる。非一様性の起源を理解し、一様性の向上を達成するに当たっては、合成に用いるプラズマのダイナミクスに関する情報が有用と思われるが、プラズマ CVD としては比較的高い原料ガス圧下で合成を実施するため[1]、プローブ等を用いた手法で実験的に調べるのが容易ではない。そこで、対象とするプラズマを定式化し、これに基づく数値計算を実施した[2]。

対象とする条件に対応した定式化の下、実際の合成装置形状を反映させた構造に対して数値計算を実施した。基板近傍のラジカルの生成量を見積もり、Goodwin 等によって提案された合成速度とラジカル密度との関係[3]に当てはめると、実際に実験的に得られる合成速度と良く対応していることが判った。また、気相でのラジカル分布も、1 インチ径を超える領域で非一様性が顕著に現れていることが判った。一方、成長のプリカーサとして広く考えられている CH_3 の、基板近傍での分布を調べたところ、この分布だけでは、実験的に得られる合成速度を説明できないことが判った。プラズマと基板成長面との距離や、投入したマイクロ波のパワー（密度）、基板温度などへの依存性を調べたところ、現状では基板温度の分布が一様性を左右する最も支配的なパラメータであることを示唆する結果が得られた。

[1] H. Yamada, et al., Appl. Phys. Exp. 3 (2010), 051301; Diamond Relat. Mater. 24 (2012) 29.

[2] H. Yamada, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012), 090105.

[3] D. G. Goodwin, J. Appl. Phys. 74 (1993), 6888.