

ダイヤモンド高速気相合成法 「ダイヤモンドジェット」法

(株)富士通研究所 基盤技術研究所
無機・高分子材料研究部

栗原和明

High rate synthesis of diamond films "DIA-JET" process

Kazuaki Kurihara

Inorganic Materials & Polymers Lab.
FUJITSU LABORATORIES LTD.

「メタンガスからダイヤモンドが合成できる」。ある雑誌でこのニュースを知ったのは1983年のことでした。当時は、ガラスセラミックスを用いた多層配線基板やSiC、AlNなどの高熱伝導性基板の研究に携わっており、ダイヤモンドのたぐい稀なる高い熱伝導率に羨望の念を感じていました。さらに応用物理学会の特別講演会で無機材質研究所の瀬高先生（現、昭和電工株式会社顧問）の講演を拝聴し、正真正銘のダイヤモンドが膜状に合成できることを知り、強い感銘を受けました。そして正規のテーマとは別に、アンダーグラウンドのテーマとして、高熱伝導性回路基板への応用を目指したダイヤモンドの気相合成の研究を開始しました。その後、ダイヤモンド膜は正式なテーマとして認められ、私もダイヤモンドの研究に専任するようになりました。

無機材質研究所が開発した方法は、水素で希釈したメタンを原料とし、これをプラズマ化して基板に供給し、ダイヤモンドを成長させるプラズマCVD法です。プラズマ中の原子状水素

が、ダイヤモンドの生成に重要な役割を演じていると言われています。ダイヤモンドを基板として利用するためには、少なくとも0.5mm以上の厚さが必要ですが、当時のダイヤモンド膜の成長速度は1μm/h程度と遅く、この為、成膜速度の向上が大きな課題でした。

成膜速度を高めるには、水素原子濃度の高い活性なプラズマを発生させなくてはなりません。その方法として熱プラズマの利用を思いつきました。熱プラズマはガス温度が数万℃と高く、ガス分子のほとんどすべてがラジカル化している極めて活性なプラズマです。しかし熱プラズマは、その高温が故に直接利用することはできません。そこで考えついたのは、熱プラズマを急冷することで、低温でも高いラジカル濃度が保存された非平衡組成のプラズマを生成し、基板に供給するというアイデアです。プラズマ溶射などに使用されている直流プラズマトーチを用い、直流アーク放電により発生させた熱プラズマをノズルから超音速のプラズマジェットとして噴出させ、これを水冷基板に照射させてダイヤモンドを成長させようとした。

まずプラズマトーチを購入しようと、トーチ

メーカーに問い合わせたのですが、どれも高価であり、しかも水素では使えないとのこと。そこで、少しでも早くアイデアを実証したかったため、トーチを自作することにしました。棒状と筒状の電極からなる冷却なしのトーチと溶接機用の電源を真空チャンバにセットした簡単な装置で成膜実験を開始しました。電極材には当初、驚くべきことに炭素を使用していました。当然のごとく、水素中、炭素電極でのアーク放電ですから、電極はすぐに消耗してしまいました。放電も不安定で何回もシリコン基板を溶かしてしまいました。それでも何回かの実験後、基板表面にキラキラ黒光りする領域を見つけました。光学顕微鏡やSEMの観察ではダイヤモンドのように見えるのですが、成膜速度は $100\mu\text{m}/\text{h}$ 程度と信じがたい値でした。さらにX線回折、ラマン分光で分析したところ、まちがいなくダイヤモンドであることがわかりました。電極材

はその後すぐにタンクステンに変え、成膜の安定性の向上とともに、成膜速度も $200\mu\text{m}/\text{h}$ となりました。我々はこの方法を「ダイヤジェット」法と名付け、1987年に発表しました。

プラズマジェットを利用したダイヤモンドの合成方法はその後も発展し、現在、米国のノートン社では直径 100mm のダイヤモンド放熱基板がすでに販売されています。また富士通オーディション株式会社では、最高成膜速度 $300\mu\text{m}/\text{h}$ の「ダイヤジェット」法による成膜装置を販売しています。

ダイヤモンド放熱基板の熱伝導率は $1000\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ を越えており、低熱膨張係数、機械強度、化学的安定性とともに、特性としては素晴らしいものです。しかし、まだ高価であり、応用分野はごく限られています。ダイヤモンド放熱基板の市場の拡大は、今後の低コスト化にかかります。