

第二十五回 ダイヤモンド MOSFET の最近の進展 ～次世代パワーデバイスへの道を拓く～

嘉数 誠 佐賀大学

2023年10月14日(土) 9:00～

モデレータ 堀 勝

概要

次世代パワー半導体デバイスとして期待されるダイヤモンドは、広いワイドギャップ 5.47 eV, 高い電子移動度 $4500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ とホール移動度 $3800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 低い誘電率 5.7, 高い熱伝導率 22 W/cmK と優れた物性値を有している. Si と比較しても電力効率である Baliga 性能指数は 5 万倍, 高周波性能である Johnson 性能指数は 1000 倍と圧倒的な物性値を有している. これまでのダイヤモンド MOSFET の研究開発の状況や現場ならではのブレークスルーが生まれた貴重なお話を赤裸々にご講演いただいた.

現在, パワー半導体デバイスとして SiC や GaN の研究は盛んに行われており, 携帯基地局には GaN のパワーデバイスが導入されつつある. しかしながら, SiC や GaN ではより高い出力電圧が要求される放送地上局や通信衛星, 高速動作が要求される Beyond 5G といった領域に応用するには少なからず制限がある. そこで, 究極のパワー半導体物性を有するダイヤモンド半導体の実用化を目指し, 2001 年頃 NTT 研究所で研究がスタートされた.

単結晶ダイヤモンドの大面積の成膜が難しく, パワーデバイスとして実用化するには大面積プロセスが課題である. 講演者らは, ヘテロエピタキシャル成長を用いたダイヤモンドの大面積プロセスの研究に取り組んだ. 多くの研究者が MgO など様々な材料の基板を用いていた中, 最初, 基板とダイヤモンドの熱膨張係数の違いから, ダイヤモンドにクラッキングが起こってしまう問題があった. しかしダイヤモンドの熱膨張係数に近いサファイア基板を用いることで, クラッキングなしにダイヤモンド膜を取り出すことに成功した. M. Kasu et al., *Dia. Rel. Mater.* 126, 109086 (2022). さらに最近では, 微傾斜させた基板表面を用いた成長方法を発明し, 歪がほとんどない世界最高峰の高品質ダイヤモンド成長の 2 インチ量産プロセス開発に成功している.

ダイヤモンド MOSFET 実用化のもう 1 つの課題にドーピングがある. 一般的にドーピングされるリンやボロンではドナー準位やアクセプタ準位が深すぎるため, 電流が全く流れないため実用的ではない. この課題の解決のヒントとなったのが, 水素終端ダイヤが大気に晒すことでホール濃度が上昇するといった結果である. 実験を繰り返すことで, 水素終端された表面が NO_2 に曝露することでホール濃度が上がることを見出した. ただし, 真空下や高温下のプロセスでは吸着した NO_2 が脱離してしまうことが問題となった. これも, 原子層堆積プロセスにより Al_2O_3 を成膜することで, ホール濃度の安定化を達成された.

これまでのいくつかのブレークスルーを経て研究レベルで作製されたダイヤモンド MOSFET の有能出力電力である Baliga 性能指数は 875 MW/cm^2 , ダイヤモンドでは世界一の値を達成した. 2 インチの大面積成膜も実現しており, 性能も急激に向上しており, 今後パワー半導体として航空・宇宙産業だけでなく 6G や量子コンピュータへの実用や, 過酷な環境下である宇宙空間下での使用にも期待できる. これからのダイヤモンド半導体の展開に参加者全員が期待に胸を膨らませ, 本講座は終了した. (記: 堤 隆嘉)