

六方晶窒化ホウ素のダイヤモンド電界効果トランジスタへの応用

Application of hexagonal boron nitride for diamond field-effect transistors

物材機構¹, 筑波大² ◯山口 尚秀^{1,2}

National Institute for Materials Science¹, University of Tsukuba², ◯Yamaguchi Takahide^{1,2}

E-mail: yamaguchi.takahide@nims.go.jp

ダイヤモンドは、ワイドバンドギャップ半導体として優れた特性を有し、パワーエレクトロニクスや情報通信での利用が期待されている[1]。特に、トランスファードーピングによって p 型電気伝導が容易に得られる水素終端ダイヤモンドを使った電界効果トランジスタ(FET)の研究開発が活発に行われてきた。トランスファードーピングとは、大気由来の弱酸性の吸着水層や、意図的に吸着させた NO₂ ガス、あるいは、酸化物ゲート絶縁体中の欠陥などがアクセプタとして働き、水素終端ダイヤモンド中に正孔が生じるというものである[1]。これにより 10¹² から 10¹⁴ cm⁻² 程度の比較的高い正孔密度が得られるが、負に帯電したアクセプタが正孔の散乱要因となりチャネル移動度の低下を招くという問題があった[2]。また、多くの場合、パワーエレクトロニクス応用に不向きなノーマリオン動作となるという問題もあった。

われわれは最近、六方晶窒化ホウ素 (h-BN) をゲート絶縁体として使うとともに、水素終端ダイヤモンドを大気に晒さない手法によって、トランスファードーピングに依らずに優れた特性の FET を作製できることを示した[3]。単結晶 h-BN を劈開して薄片とし、水素終端ダイヤモンドに転写してゲート絶縁体として使うことで、アクセプタとして働くゲート絶縁体中の欠陥を低減した [4] (これによって低温で量子振動の観測にも成功した[5])。さらに、水素終端したダイヤモンド表面を大気に晒すことなくグローブボックスに搬送し h-BN の転写を行うことで、大気由来のアクセプタ密度を低減した。このようにして作製した水素終端ダイヤモンド FET は、室温移動度 680 cm²V⁻¹s⁻¹ やシート抵抗 1.4 kΩ など優れたオン状態における特性を示した。これらは、ダイヤモンドのみならずワイドバンドギャップ半導体の p チャネル FET の中で最高レベルの値である。これに加えて、ノーマリオフ動作や 10⁸ に達する高いオンオフ比も示した。

この結果は、これまで水素終端ダイヤモンド表面の p 型電気伝導を生じさせるのに必要だと考えられてきた表面アクセプタおよびトランスファードーピングが必須ではなく、むしろアクセプタ密度を低減することで性能を向上できることを示している。本成果は、今後のダイヤモンド FET 開発の新しい指針となり、省電力パワーデバイスや高出力高周波増幅器などの実現につながると期待される。

本研究は、笹間陽介をはじめとする多くの方々との共同研究です。ここに感謝の意を表します。

[1] M. W. Geis et al. *physica status solidi (a)* **215**, 1800681 (2018). [2] Y. Sasama et al. *Journal of Applied Physics* **127**, 185707 (2020). [3] Y. Sasama et al. *Nature Electronics* **5**, 37 (2021). [4] Y. Sasama et al. *APL Materials* **6**, 111105 (2018). [5] Y. Sasama et al. *Physical Review Materials* **3**, 121601(R) (2019).