# h-BN ゲート絶縁体を用いたノーマリーオフ型高移動度ダイヤモンド FET

## Normally-Off High-Mobility Diamond FET with a h-BN Gate Insulator

物材機構 [1]，筑波大数理 [2]　○笹間 陽介 [1]，蔭浦 泰資 [1]，井村 将隆 [1]，
渡邊 賢司 [1]，谷口 尚 [1]，内橋 隆 [1]，山口 尚秀 [1,2]
NIMS [1], Univ. of Tsukuba [2], ◦Yosuke Sasama[1], Taisuke Kageura[1], Masataka Imura[1],
Kenji Watanabe[1], Takashi Taniguchi[1], Takashi Uchihashi[1], Yamaguchi Takahide[1,2]
E-mail: SASAMA.Yosuke@nims.go.jp

ダイヤモンドは，SiC や GaN を凌駕する高絶縁破壊電界，高熱伝導率，高移動度を有するワイドバンドギャップ半導体である. そのため, 特にパワーデバイス用途で有望な半導体材料である. 高い移動度は電界効果トランジスタ(FET)の高周波動作や低損失化のために重要であるが，これまでに報告されたダイヤモンド FET の移動度は，正孔密度が高い場合(>5×$10^{12}$ $cm^{-2}$)，150 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ 以下に留まっている．この低い移動度の原因は，これまで水素終端ダイヤモンドに正孔を誘起し導電性を生じさせるのに必須と考えられていた負に帯電した表面アクセプタが，正孔の散乱源となっていたためであると考えられる[1]．また，アクセプタによって誘起された正孔のために，パワーデバイスにおいて安全上望ましくないノーマリーオン動作になることも問題であった.

本研究では, これまで必須であると考えられていたアクセプタの密度を低減することによって, 水素終端ダイヤモンド FET を高性能化できることを見出した．大気由来の表面アクセプタ密度を低減させるため，水素終端ダイヤモンド表面を大気暴露することなく，ゲート絶縁体となる単結晶六方晶窒化ホウ素(h-BN)薄片[2,3]を貼り合わせた．このようにして作製した FET のオン状態の移動度は最高で 680 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ であり(Fig. 1), 他のグループの報告よりも 5 倍程度向上した. また, FET はノーマリーオフ動作を示し，ゲート電圧の印加により最高で 6.6×$10^{12}$ $cm^{-2}$ の正孔が誘起された．このことは，水素終端ダイヤモンドに導電性を生じさせるのにアクセプタは必須ではないことを示している．高い移動度やノーマリーオフ動作のみならず，低オン面抵抗 (1.4 kΩ)，高オンオフ比 ($10^8$)，高ドレイン電流密度 (200 $mAmm^{-1}$，ゲート長 ≈ 8 μm)も同時に実現した．このように世界最高水準の特性を示すダイヤモンド FET の実現に成功した．本研究はアクセプタ密度の低減がダイヤモンド FET の高性能化の新たな指針となることを示しており, 高周波動作や低損失動作が可能なダイヤモンド FET の実現につながることが期待される[4].

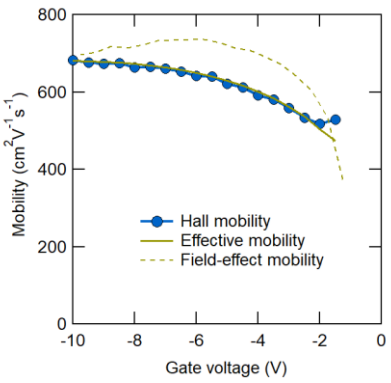


Figure 1. The gate voltage dependence of mobility in our diamond FET.

[1] Y. Sasama et al., J. Appl. Phys. **127**, 185707 (2020).
[2] Y. Sasama et al., APL Mater. **6**, 111105 (2018).
[3] Y. Sasama et al., Phys. Rev. Mater. **3**, 121601(R) (2019).
[4] Y. Sasama et al., Nature Electronics (2021). https://doi.org/10.1038/s41928-021-00689-4

© 2022年 応用物理学会