

成長・ドーピング・表面・界面制御を駆使した ステップフリーダイヤモンド MOSFET の作製

Step-free diamond MOSFET fabrication

by utilizing growth, doping, and surface/interface control

金沢大学¹, 産総研², Diamond and Carbon Applications³ ○(D)小林 和樹¹, 佐藤 解¹,
加藤 宙光², 小倉 政彦², 牧野 俊晴², 松本 翼¹, 市川 公善¹, 林 寛¹, 猪熊 孝夫¹, 山崎 聡¹,
C.E. Nebel^{1,3}, 徳田 規夫¹

Kanazawa Univ.¹, AIST.², Diamond and Carbon Applications³ ○K. Kobayashi¹, K. Sato¹, H. Kato²,
M. Ogura², T. Makino², T. Matsumoto¹, K. Ichikawa¹, K. Hayashi¹, T. Inokuma¹, S. Yamasaki¹,
C.E. Nebel^{1,3}, and N. Tokuda¹

E-mail: kzkz_baseman@stu.kanazawa-u.ac.jp

【はじめに】

ダイヤモンドは、優れた物性を有しており、次世代半導体材料として期待されている。我々の研究グループでは、2016年に最も代表的なデバイス構造である反転層チャネルダイヤモンド MOSFET の動作実証に成功した¹⁾。しかしながら、これまでに作製された MOSFET の電界効果移動度(μ_{FE})は、リンボディを使用したデバイスで $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ²⁾、窒素ボディを使用したデバイスで $6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ³⁾と理論値の $3,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ⁴⁾よりも低い。低移動度の主な原因の一つに、 Al_2O_3 /ダイヤモンド界面で発生する $10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ の高い界面準位密度(D_{it})が挙げられる。準位は主にステップ端に形成されると示唆されているため⁵⁾、本研究では、原子的に平坦な酸化膜/ダイヤモンド界面を形成可能な MOSFET 作製プロセス⁶⁾を用いた、原子的平坦 Al_2O_3 /ダイヤモンド(111)界面を有する p 型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET を作製した。

【実験方法】

はじめに、メサ構造を有する IIa ダイヤモンド (111) 基板上に形成された原子的平坦面に ICP エッチングで穴を形成した。次に、高濃度ホウ素ドープラテラル成長技術で穴の埋込成長を行い、原子的平坦表面を持つ p 型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET 構造を作製した⁶⁾。そして、本試料に熱混酸洗浄とウェットアニールプロセス⁷⁾を施し、ダイヤモンド表面の終端構造を H 終端から O 終端、OH 終端と変化させた。その後、OH 終端化されたダイヤモンド表面に対して ALD 法を用いて Al_2O_3 を堆積した。最後にフォトリソグラフィプロセスを用いてソース、ゲート、ドレイン電極を形成した。作製した MOSFET の概略断面図と Al_2O_3 /ダイヤモンド界面の HAADF-STEM 像を Figure 1 に示す。電気的特性は半導体パラメータアナライザを用いて、室温大気中で測定した。

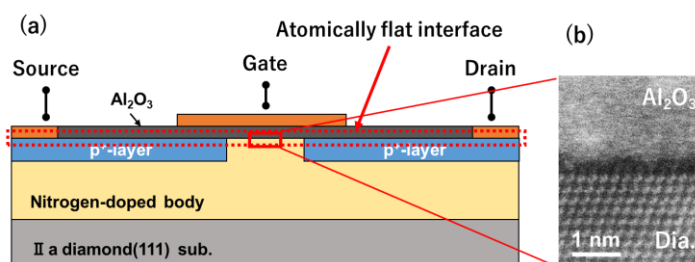


Fig. 1. (a) Schematic cross-sectional view of MOSFET and (b) HAADF-STEM image of Al_2O_3 /diamond interface

【結果と考察】

最も良好な特性を示した MOSFET の μ_{FE} 、 D_{it} はそれぞれ $30.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、 $2.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ であった。この D_{it} は、これまで報告のあった Al_2O_3 /ダイヤモンド界面を用いた反転層チャネルダイヤモンド MOSFET において、最も低い値である¹⁻³⁾。この値を、本デバイスと同様のドナー不純物を n ボディに使用した結果³⁾と比較すると、 D_{it} 値が 1 桁減少し μ_{FE} は 5 倍増加した。しかしながら、今回の μ_{FE} の値も理論値には及ばない。本デバイスの詳細と更なる μ_{FE} の向上に関するアイデアについては、当日議論する。

【謝辞】

本研究は、金沢大学超然プロジェクト 2022、地域中核・特色ある研究大学強化促進事業 (J-PEAKS)、日本学術振興会科研費 (科研費番号 18KK0383)、JST 創発的研究支援事業 (助成番号 JPMJFR2035307)、文部科学省の金沢大学卓越大学院プログラムの支援を受けたものです。

【参考文献】

- 1) T. Matsumoto et al., Sci. Rep. 6 (2016) 31585.
- 2) T. Matsumoto et al., Appl. Phys. Lett. 114, 242101 (2019).
- 3) T. Matsumoto et al., Appl. Phys. Lett. 119, 242105 (2021).
- 4) G. Daligou, J. Pernot, Appl. Phys. Lett., 116, 162105 (2020).
- 5) Y. Ogata et al., Mater. Sci. Forum 1062, 298 (2022).
- 6) K. Kobayashi et al., Appl. Surf. Sci. 593 (2022) 153340.
- 7) R. Yoshida et al., Appl. Surf. Sci. 458(2018) 222-225.