

原子的に平坦な Al_2O_3 /ダイヤモンド (111) 界面を持つ p 型反転層 MOSFET の作製

Fabrication of p-type inversion channel MOSFETs with atomically flat Al_2O_3 /diamond (111) interface

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】

我々の研究グループでは、2016年に初めてノーマリーオフ動作をする p 型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET を作製し、その改良を行ってきた。しかしながら、作製した MOSFET の電界効果移動度は $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ¹⁾と低く、理論値の $3,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ²⁾よりもはるかに低い値にとどまった。低移動度の主な原因の一つに、ダイヤモンド表面のバンチングステップで発生した界面準位密度 (D_{it}) が高いことが挙げられる。³⁾近年、Daligou と Pernot は、原子レベルで平坦な MOS 界面かつ D_{it} を 10^{10} cm^{-2} 以下にすることで $3,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を持つ p-ch ダイヤモンド MOSFET を達成できることを示唆している。²⁾ 本研究では、我々のグループで開発した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⁴⁾を使用し、原子 1 層の段差もない 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、開発したプロセス⁴⁾を使用し、2a ダイヤモンド (111) 基板に対して原子的に平坦なダイヤモンド (111) 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。次に、試料を熱混酸洗浄にて O 終端化させた後、ウェットアニールプロセスで OH 終端化させた。そして、作製した構造の平坦面上に ALD 法で Al_2O_3 を堆積した。⁵⁾ 最後に、ソース・ドレインと金属を接触させる場所の Al_2O_3 をエッチングした後、ソース、ゲート、ドレイン電極として Ti/Pt/Au をそれぞれ堆積させた。作製した MOSFET の概略断面図と Al_2O_3 /ダイヤモンド界面の断面 TEM 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。

【結果と考察】

作製した MOSFET の最大ドレイン電流密度、電界効果移動度、 D_{it} 値は、それぞれ 20.0 mA/mm 、 $30.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、 $1.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ であった。 Al_2O_3 /ダイヤモンド界面を使用した反転層チャネル MOSFET において、最大ドレイン電流密度は 10 倍超であり、 D_{it} 値はこれまでに報告された反転層ダイヤモンド MOSFET 中で最低値である。^{1), 6), 7)}しかしながら、 D_{it} 値が 1 桁減少したにもかかわらず、電界効果移動度は 1.5 倍の増加にとどまった。¹⁾ 今回得られた移動度が、原子的平坦界面を使用することで期待される理論値より大きく下回った原因については、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、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., Appl. Phys. Lett. 114, 242101 (2019).
- 2) G. Daligou, J. Pernot, Appl. Phys. Lett., 116, 162105 (2020).
- 3) Y. Ogata et al., Mater. Sci. Forum 1062, 298 (2022).
- 4) K. Kobayashi et al., Appl. Surf. Sci. 593 (2022) 153340.
- 5) R. Yoshida et al., Appl. Surf. Sci. 458(2018) 222-225.
- 6) T. Matsumoto et al., Appl. Phys. Lett. 119, 242105 (2021).
- 7) X. Zhang et al., Carbon 1755(2021)615-619.

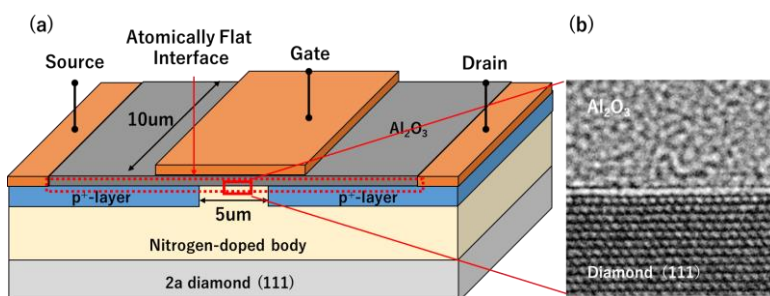


Fig. 1. (a) Schematic cross-sectional view of MOSFET and (b) TEM image of Al_2O_3 /diamond interface