

Al₂O₃ パッシベーションにより熱的安定化した NO₂ 吸着・水素終端ダイヤモンド FET の動作機構

Operation mechanism of heat-resistive

NO₂-adsorbed H-terminated diamond FETs stabilized by Al₂O₃ passivation

日本電信電話(株) NTT 物性基礎研¹, 佐賀大院工²

○平間 一行¹, 佐藤 寿志¹, 原田 裕一¹, 山本 秀樹¹, 嘉数 誠^{1,2}

NTT Corp. NTT Basic Research Lab.¹, Saga Univ.²

○Kazuyuki Hirama¹, Sato Hisashi¹, Yuichi Harada¹, Hideki Yamamoto¹, Makoto Kasu^{1,2}

E-mail: hirama.kazuyuki@lab.ntt.co.jp

【序】水素終端ダイヤモンド FET は 1 GHz で 2 W/mm 以上の大電力動作が可能であり、高周波電力増幅器への応用が期待されている[1]。我々は、ダイヤモンド FET の正孔チャネルが水素終端表面への二酸化窒素(NO₂)等の分子吸着に由来することを明らかにし、高濃度 NO₂ を意図的に吸着させた水素終端表面を Al₂O₃ でパッシベーションすることで、正孔チャネルを 400°C まで熱的安定化することに成功した。熱的安定化した NO₂ 吸着・水素終端ダイヤモンド FET は 1.35 A/mm の実用水準の高ドレイン電流動作、 f_T : 35 GHz, f_{MAX} : 75GHz の遮断周波数の良好な高周波小信号動作を示した[2]。本研究では、この熱的安定化した NO₂ 吸着・水素終端ダイヤモンド FET を従来の自然形成した Al 酸化膜の絶縁膜をもつ水素終端ダイヤモンド FET と比較し、動作機構を明らかにする。

【実験】ダイヤモンド FET はマイクロ波プラズマで水素終端した IIa (110) 高配向ダイヤモンド基板上に作製した。ソース・ドレイン電極間の水素終端表面を高濃度 NO₂ (N₂ 希釈, 2%) で 30 分間吸着処理した後、原子層堆積法(ALD 法)で膜厚 17 nm の Al₂O₃ をパッシベーション膜として形成した。その後、ゲート金属(Al)を Al₂O₃ パッシベーション膜上にリフトオフ法で形成した。Al₂O₃ パッシベーション膜の組成はほぼストイキオメトリであり、そのバンドギャップエネルギーは約 6.5 eV であった。Al ゲート金属直下の Al₂O₃ パッシベーション膜はゲート絶縁膜としても機能する。

【結果】Figure 1 に、Al ゲート金属直下の構造が異なる二種類のダイヤモンド FET の電流遮断周波数(f_T)のゲート電圧(V_{GS})依存性を示す。ゲート長は 0.4 μm である。Al ゲート金属直下に ALD 法で形成した Al₂O₃ パッシベーション膜がある FET の場合、 f_T の V_{GS} 依存性は小さく、10 GHz 以上の高い f_T が 10 V 以上の広い V_{GS} 範囲で得られた。一方、ゲート金属直下に自然形成 Al 酸化膜がある従来構造の FET の場合、 f_T の V_{GS} 依存性が大きく、約 2 V の狭い V_{GS} 範囲においてのみ 10 GHz 以上の f_T が得られた。以上のように、ゲート金属直下の構造によって f_T の V_{GS} 依存性は大きく異なる。 f_T は主に相互コンダクタンス(g_m)とゲート容量(C_G)によって次のように決まる: $f_T = g_m / 2\pi C_G$ 。そこで、FET の特性の違いを g_m と C_G の V_{GS} 依存性から考察した。ALD 法で形成した Al₂O₃ パッシベーション膜の場合、10 V 以上の広い V_{GS} 範囲において、 g_m は 100 mS/mm 以上と高く(Fig. 2)、 C_G はほぼ一定であった(Fig. 3)。キャリア速度は g_m に比例し、 C_G に反比例することから、ゲート金属直下に Al₂O₃ パッシベーション膜がある場合、高いキャリア速度が広い V_{GS} 範囲で得られていると言える。一方、自然形成 Al 酸化膜の場合、順方向の高い V_{GS} 印可時に g_m は急激に減少し、キャリア速度の急激な低下が見られた[3]。これは自然形成 Al 酸化膜の正孔に対するエネルギー障壁が低く、キャリア飽和速度の低い Al 酸化膜内に正孔の波動関数が浸入するためである。Al₂O₃ パッシベーション膜の場合、エネルギー障壁が高く、閉じ込めが強いことより、正孔は広い V_{GS} の範囲でキャリア飽和速度が高いダイヤモンド内を伝導する。その結果、広い V_{GS} 範囲において安定で高い g_m と f_T が得られたと考えられる。[1] M. Kasu et al., Electron. Lett. 41 (2005) No. 22. [2] K. Hirama et al., Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 090112. [3] M. Kasu et al., IEICE Trans. Electron. E91-C (2008) 1042.

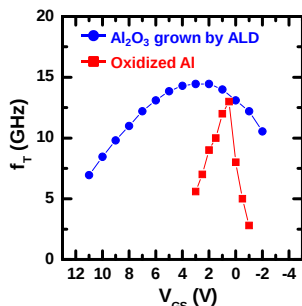


Fig. 1. V_{GS} dependence of f_T .

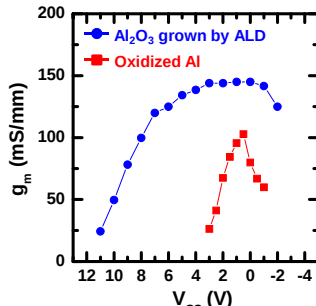


Fig. 2. V_{GS} dependence of g_m .

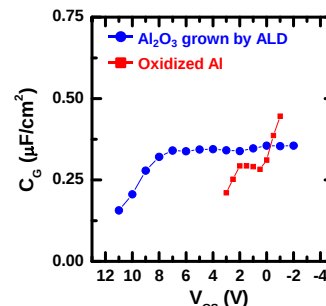


Fig. 3. V_{GS} dependence of C_G .