

選択再成長高濃度ボロンドープ層の導入による ALD-Al₂O₃ダイヤモンドMOSFETsの接触抵抗低減; ドレイン電流密度 $|I_{DS}| > 1$ A/mm

Reduction of contact resistance of ALD-Al₂O₃ diamond MOSFETs
by selective regrowth high concentration boron doped layer;
Drain current density $|I_{DS}| > 1$ A/mm

早大理工¹, 早大材研², ○(B)鈴木 優紀子¹, 今西 祥一朗¹, 久樂 顕¹, 堀川 清貴¹,
天野 勝太郎¹, 岩瀧 雅幸¹, 森下 葵¹, 平岩 篤¹, 川原田 洋^{1,2}

Waseda Univ.¹, Kagami Memorial Research Institute for Materials Science and Technology.²

○(B)Yukiko Suzuki¹, Shoichiro Imanishi¹, Ken Kudara¹, Kiyotaka Horikawa¹,

Shotaro Amano¹, Masayuki Iwataki¹, Aoi Morishita¹, Atsushi Hiraiwa¹, Hiroshi Kawarada^{1,2}

E-mail: yuki1129-ast@moegi.waseda.jp

水素終端ダイヤモンドは高周波・高出力 p-FET として期待されている。高周波増幅器の出力電力は $P_{out} = \{ I_{DSmax} \times (V_{max} - V_{knee}) \} / 8$ で表され、この式は高出力 FET の設計基本である。近年我々は V_{max} の向上を目指し、厚いゲート絶縁膜・保護膜として Al₂O₃ 100 nm を堆積させた高耐压 ALD-Al₂O₃ ダイヤモンド MOSFETs を作製することで、動作電圧 $V_{DS,Q} = -50$ V にて p-FET で最高の高周波出力電力密度 $P_{out} = 3.8$ W/mm^[1] を報告した。しかし、高いオン抵抗 $R_{on} = 30$ Ω mm^[1] が高いニー電圧 V_{knee} や最大ドレイン電流密度 I_{DSmax} を制限する要因となっていた。ソース・ドレイン電極間が微細な高周波デバイスの場合、オン抵抗に対する接触抵抗の割合が大きい。実際に従来構造でソース・ドレイン電極として用いていた TiC の接触抵抗は 9 Ω mm^[2] 程度であり、オン抵抗に対する接触抵抗の割合は半分以上である。そのため接触抵抗を低減することで大幅なデバイス特性の向上が見込める。本研究では接触抵抗の低減を目指し、Fig.1 のような超高濃度ボロンドープ成長層を導入した ALD-Al₂O₃ ダイヤモンド MOSFETs を作製し、接触抵抗及び FET の直流特性と高周波特性を評価した。

Ib(111)単結晶基板上にアンドープ層 500 nm を形成し、反応性イオンエッチングによりソース・ドレイン領域を選択的に 30 nm エッチングした。その後、超高濃度ボロンドープ層 (B 濃度 10^{22} cm⁻³, 以下 p⁺層) を追加エピタキシャル成長させた。エッチングによって p⁺層と 2DHG の接触面積が十分確保され、低抵抗化が期待できる。デバイスサイズは $L_{SD} = L_{ch} = 1$ μm の全面オーバーラップ構造であり、Al₂O₃ 膜厚は 100 nm である。続いて、TLM 法を用いて接触抵抗 R_c を評価した。Fig. 2 にボロンドープ電極間の距離を関数とした抵抗値を示す。Fig. 2 より $R_c = 1.1$ Ω mm が得られた。この値は従来の TiC を有する構造 ($R_c = 9$ Ω mm^[2]) の 1/8 程度であり、ダイヤモンド FET 構造の中で最も低い。電極直下へのボロンドープ層の導入により、接触抵抗の改善を確認した。Fig. 3 にパルス幅 2 ms, duty 比 5 % にて測定した $I_{DS} - V_{DS}$ 特性を示す。 $I_{DSmax} = -1170$ mA/mm ($V_{DS} = -20$ V)、オン抵抗 $R_{on} = 8.9$ Ω mm が得られた。 R_c の低減により $L_{SD} = L_{ch} = 1$ μm で 1 A/mm を超える高いドレイン電流密度が再現性よく得られた。Fig.4 に $V_{DS,Q} = -15$ V、 $V_{GS,Q} = -4$ V の A 級動作、周波数 1GHz における大信号特性を示す。出力電力密度 $P_{out} = 1.1$ W/mm、Gain = 6.0 dB が得られた。従来の大信号特性評価より低い $V_{DS,Q} = -15$ V にて $P_{out} > 1$ W/mm が得られたことから、ドリフト層を有する高耐压構造のデバイスを作製することで、さらなる高出力化が期待できる。

[謝辞]本研究は、学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル双製共同研究プロジェクト(文科省)の支援を得た。

[1] S. Imanishi, H. Kawarada et al: IEEE Electron Device Lett. **40** (2019) 279.

[2] Y. Jingu, H. Kawarada et al: IEEE Transactions on Electron Devices, **3** (2010) 44001.

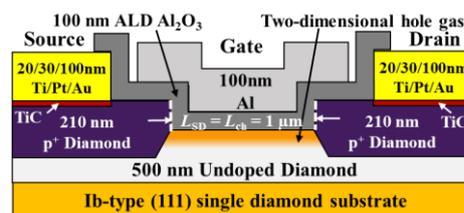


Fig. 1 The cross-sectional view of ALD-Al₂O₃ diamond MOSFETs with boron-doped electrode

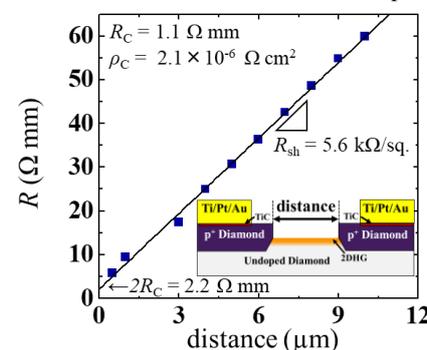


Fig. 2 The on-resistance of two boron-doped electrodes as a function of their distance

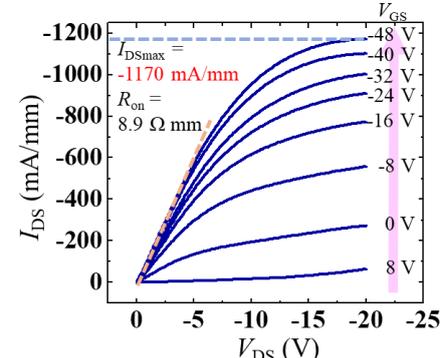


Fig. 3 $I_{DS} - V_{DS}$ characteristics

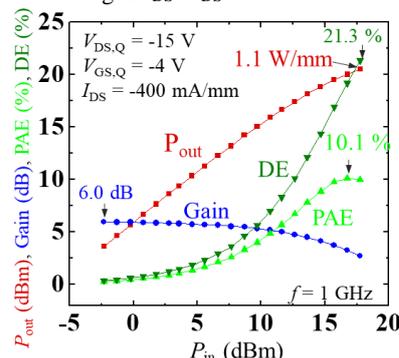


Fig. 4 Large signal performance at $V_{DS,Q} = -15$ V