

高濃度ボロンドープ層を有するダイヤモンド MOSFETs : 電流密度-1 A/mm 及び出力電力密度 3.6 W/mm の達成

°(B)浅井 風雅¹, 久樂 颯¹, 荒井 雅一¹,
鈴木 優紀子¹, 平岩 篤¹, 川原田 洋^{1,2}
¹早稲田大学, ²早大材研

Diamond MOSFETs with a high concentration boron dope layer:

Achievement of $I_{DS\ max} = -1\ A/mm$ and $P_{out} = 3.6\ W/mm$

°(B)Fuga Asai¹, Ken Kudara¹, Masakazu Arai¹,
Yukiko Suzuki¹, Atsushi Hiraiwa¹, Hiroshi Kwarada^{1,2}
Waseda Univ.¹ Kagami Memorial Research Institute
for Materials Science and Technology.²

FET を高出力電力増幅器へ応用するためには、出力電力の向上が必要不可欠である。出力電力を向上させる手段として、電流値、耐圧の向上やオン抵抗の低減が有効である。我々は、ソース・ドレイン領域に高濃度ボロンドープ層($1 \times 10^{22}\ cm^{-3}$)を堆積させることで、接触抵抗の低減及び電流密度の向上[1]を報告している。また、実電力を向上させる上でゲート幅を拡大は必須となる。本実験では、IIa(111)単結晶ダイヤモンド基板上に高濃度ボロンドープ層を有する ALD- Al_2O_3 ダイヤモンド MOSFET を作製した(Fig.1)。その際、ゲート幅 $W_G = 100\ \mu m$ から最大 $W_G = 1\ mm$ とした。 W_G を拡張した場合、自己発熱による電流値の劣化やゲート抵抗の増加がデバイスの特性に影響を及ぼす事が懸念される。直流及びパルス波での I-V 測定及び高周波測定を行い、 W_G の拡張及び高濃度ボロンドープ層が特性に与える影響を評価した。

Fig.2 に $W_G = 200\ \mu m$ における直流での $I_{DS}-V_{DS}$ 特性を示す。最大ドレイン電流密度 $I_{DS\ max} = -1.03\ A/mm$ 、オン抵抗 $R_{on} = 23\ \Omega mm$ 、相互コンダクタンス $g_m = 13\ mS/mm$ が得られた。また、Fig.2 では V_{GS} を正に 40 V 印加しても I_{DS} がオフしていないが、更に正に印加し続ければオフする事が見込まれる。しかし、例えば V_{GS} に 60 V 印加すると V_{GD} に 100 V 印加される事となり、デバイスの絶縁破壊の可能性があるため、本実験では 40 V まで印加する事とした。また、Fig.3 に $W_G = 1\ mm$ のデバイスにおいて、直流及び $V_{DS,Q} = 0\ V$ としたパルスでの $V_{GS} = -28\ V$ における $I_{DS}-V_{DS}$ 特性を示す。パルス条件は周期を 50 ms で固定し、Duty 比をそれぞれ 2%、10%、20% とした。パルス波において、オフの際に電流が流れず放熱するため、直流に比べ自己発熱の影響は小さくとなると考えられる。Fig.3 より、直流と Duty 比 2% での電流値はそれぞれ -613 mA、-642 mA であり、その減少率はわずか 4.5 % 程度である。これらは実測で 12 W ($600\ mA \times 20\ V$) を超える電力が発生しているが、この減少率の小ささは GaN デバイスと比較しても非常に小さい。これはダイヤモンドの固体物質中最大の熱伝導率($22\ W \cdot cm^{-1} \cdot K^{-1}$)によるものであり、大電力用途での優位性が示唆される。Fig.4 に $W_G = 200\ \mu m$ のデバイスの大信号特性を示す。出力電力密度 $P_{out} = 3.6\ W/mm$ が得られた。この値はダイヤモンド最高密度の $3.8\ W/mm$ ($W_G = 100\ \mu m$) [2] に迫る非常に高い値であり、ゲート幅は 2 倍のため実電力は最高値に比べ約 2 倍の出力である。さらに、この 5 倍の $W_G = 1\ mm$ で 1.7 W の実電力が観測され、本デバイス構造にて動作安定性が向上した。

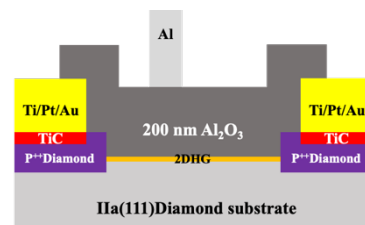


Fig.1 作製デバイスの断面図

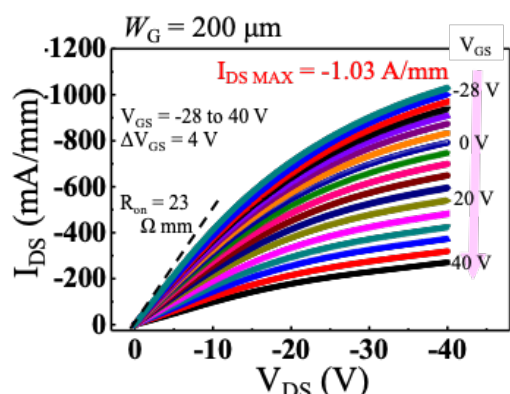


Fig.2 $W_G = 200\ \mu m$ の直流特性

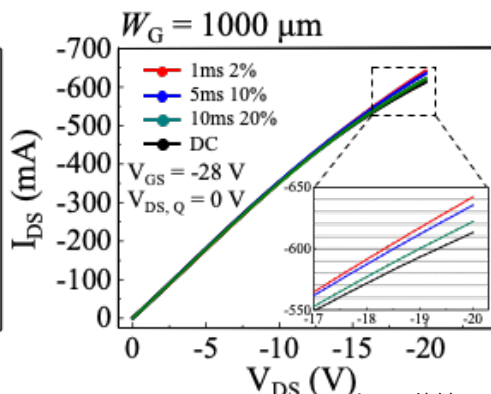


Fig.3 $W_G = 1\ mm$ のパルス特性

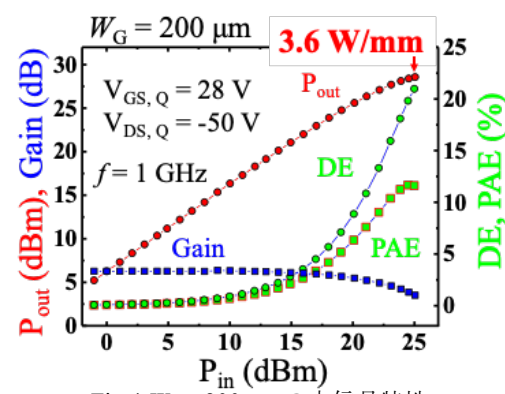


Fig.4 $W_G = 200\ \mu m$ の大信号特性

[1] S. Imanishi, H. Kwarada et al: IEEE EDL (2020) 1

[2] S. Imanishi, H. Kwarada et al: IEEE EDL.40 (2019) 279