反転型ダイヤモンド MOSFET のデバイスシミュレーション

Device Simulation on Inversion-Type Diamond MOSFET

東芝研究開発センター[1]，金沢大[2]，産総研[3] ○宮崎 久生[1]，酒井 忠司[1]，松本 翼[2,3]，
加藤 宙光[3]，牧野 俊晴[3]，小倉 政彦[3]，徳田 規夫[2,3]，山崎 聡[3]

Toshiba R&D Center, Kanazawa Univ., AIST °H. Miyazaki[1], T. Sakai[1], T. Matsumoto[2,3],
H. Kato[3], T. Makino[3], M. Ogura[3], N. Tokuda[2,3], S. Yamasaki[3]

E-mail: hisao2.miyazaki@toshiba.co.jp

ダイヤモンドは、移動度、絶縁破壊電界、熱伝導率が大きいことにより、高耐圧・低損失の大電力パワーデバイス用半導体として期待される。一方で、ドナー・アクセプタ準位が深いために、室温でもイオン化が不完全であり、キャリア密度の温度依存性が大きい。デバイスの抵抗が温度の上昇とともに低下した場合、電流と温度の間で正帰還が生じ、熱暴走の原因となる。また、電荷密度の温度変化により、内部電界が変化し、接合部の空乏層の厚さに大きな温度依存性が生じると、デバイス設計が難しくなる。そこで我々は、TCAD を用いたデバイスシミュレーションによってこれらの懸念に関する評価を行った。

デバイス構造としては、松本ら[1]によって報告された反転 MOSFET の構造を模したモデルを作成した(図 1)。FET の on 状態におけるソース-ドレイン間電流は、400 K 程度までは温度の上昇とともに増加するが、それ以上では減少に転じた(図 2)。これは、低温側ではアクセス抵抗(p^{++}領域)、高温側では反転層の抵抗が支配的であることによる。前者の温度依存性はアクセプタ準位の深さによるキャリア凍結効果に由来する。一方で、反転層ではキャリアの熱活性化エネルギーが小さいために、キャリア密度の温度依存性が小さく、温度上昇による移動度低下による抵抗上昇の効果の方が大きくなる。このことから、反転型 MOSFET であれば、適切な設計により、電流と温度の間での正帰還による熱暴走は防止できることがわかった。また、接合部の空乏層の厚さは温度に依らないことが確認できた。これは、空乏層内ではバンドの曲りにより、ドナー(アクセプタ)準位がフェルミ準位の上(下)に出るために、温度に依らず完全にイオン化し、イオン化不純物による電荷密度に温度依存がないことによると理解できる。よって、デバイス設計に当たって空乏層の厚さの温度依存性を懸念する必要がないことが確認できた。

[1] T. Matsumoto et al., Sci. Rep. 6, 31585 (2016).

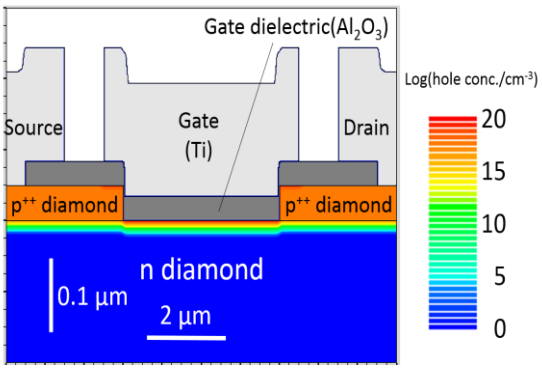

Figure 1. Structure of simulated MOSFET. Color represents hole concentration with a gate voltage (V_g) of -12 V at 300 K.

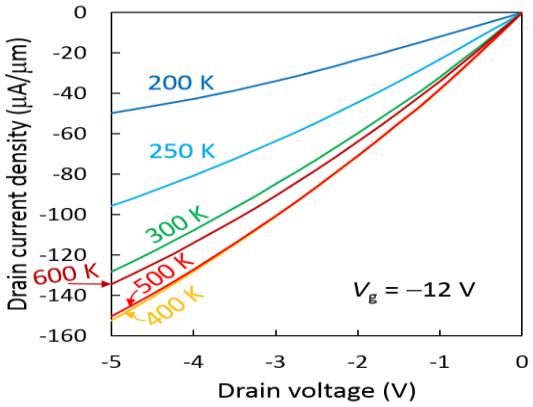

Figure 2. Simulated DC source-drain current-voltage characteristics at V_g = -12 V at various temperatures.