放熱バンプ構造を有する AlGaN/GaN 高電子移動度トランジスタの 擬セルフコンシステント電子・フォノン輸送モンテカルロ解析

Quasi Self-consistent Monte Carlo Simulations of Electron and phonon transport in AlGaN/GaN High Electron Mobility Transistors with a thermal bump structure

_ 慶大理工 ○澤部 亮介、 粟野 祐二 ◇

Keio Univ. ^OR. Sawabe and Y. Awano E-mail: awano@elec.keio.ac.jp

【はじめに】パワーエレクトロニクスの進展に伴い、低損失でエネルギー特性に優れた次世代パ ワー半導体デバイスが求められている。GaN はワイドバンドギャップで高い絶縁破壊電界を持ち、 大きな飽和電子速度を持つことから、次世代高周波・高出力デバイス材料として期待されている。 一方、パワーデバイスでは、大電流・高電圧動作のための発熱問題が易く、熱マネジメントが重 要課題の一つである。ナノスケールで発生する非定常的な電子輸送、フォノン輸送を正確に解析 できる Self-consistent なシミュレーション技術として、我々は擬 Self-consistent Monte Carlo (MC) 法を提案し、現実的な計算時間での解析の可能性を示し[1],[2]、MC 解析で得られた局所的なフ オノン数の増加分を直接用いるモデルに高度化し、その電気的・熱的定量性を評価してきた[3], [4]。さらに局所過熱が高周波特性に及ぼす影響についても考察してきた[5]。パワーデバイスの 熱マネジメント技術の一つとして Fig.1 に示すような Thermal Interface Materials(TIM)や Thermal bump といった実装技術があるが、その配置やデザインルールについては未解明な部分が多い。 そこで今回、HEMT を例にデバイス表面でのフォノン輸送の境界条件を変えた場合のチャネル温 度への影響について、擬 Self-consistent MC 法を用いて解析したので報告する。

【シミュレーションモデル】 AlGaN/GaN- HEMT に 2 次元デバイスモデルと擬 Self- consistent MC 法に ついては、参考文献[5]で報告したものを踏襲した。 今回はさらにデバイス表面のフォノンの反射条件 として、(i)従来と同じくフォノンが全反射するモ デル(total reflection)、(ii)デバイス表面でフォノンは 反射せずに全透過するモデル(full transmission)、(iii) フォノンが全透過する"Heatsink"を Gate-Drain 間の デバイス表面の一部に設定したモデル(local thermal bump)の3種類を仮定した。

【結果と考察】Fig. 2は、HEMT のチャネル深さ での温度上昇分布を示す。モデル(i)から(ii)への 変更で温度上昇が約 1/2 に抑制されることが分 かる。モデル(ii)はデバイス全体表面からフォノ ンが理想的に抜ける場合に相当する。一方。モ デル(iii)では Heatsink 直下から Drain にかけての 温度上昇抑制が見られ、局所設置でも十分な効 果があることが示唆された。今後は表面・界面 でのフォノン透過モデルの高度化と、素子性能 への影響について解析を進める。

【参考文献】

- [1] S. Oki et al., Proc. IWCE, pp. 62-3 (2013)
- [2] T. Misawa et al., Proc. SISPAD, pp. 308-311, (2013)
- [3] 伊藤直人、他:第77 回応物秋 15a-B12-1 (2016)
- [4] N. Ito et al., IEEE SISPAD, O18.1 (2016)
- [5] 伊藤直人、他:第64回応物春15a-F206-6(2017)
- [6] T. Iwai et al., IEEE IEDM, 2005, pp. 257-260
- [7] H. Shioya et al., JJAP, vol. 46, 5A, 2007, pp. 3139-43
- [8] D. Kondo et al., APEX, vol. 1, no. 7, 2008, 1.074003-1-3
- [9] T. Kawanabe et al., Proc. of IEEE IITC 2013, pp. 1-3



Fig. 1 Schematic image of a flip-chip HEMT HPA with nanocarbon bumps and thermal interface materials (TIMs) [6-9].



Fig. 2 Channel temperature profiles in 100-nm-gate-AlGaN/GaN HEMT under different conditions of phonon reflection and transmission at the device surface.