

MOSFETにおける音響および光学フォノン輸送のTCADシミュレーション

TCAD simulation of acoustic and optical phonon transport in MOSFETs

○服部 淳一, 池上 努, 福田 浩一 (産総研)

○Junichi Hattori, Tsutomu Ikegami, and Koichi Fukuda (AIST)

E-mail: j.hattori@aist.go.jp

背景 半導体集積回路の熱設計において、発熱源となるスイッチング素子の金属—半導体—酸化物電界効果トランジスタ(MOSFET)の熱的挙動を把握しておくことは有用であり、シミュレーションはその一助となる。半導体素子の標準的なシミュレータであるTCADに対し熱的挙動シミュレーションの正確度を高めるため、半導体における熱の主要な運び手であるフォノンの挙動をシミュレーションする方法についてわれわれは研究している[1–4]。MOSFETでは電界で加速された電子または正孔からフォノンが放出されることによって熱が発生する。このとき放出されるフォノンの多くは群速度の小さな光学フォノンであり、これが群速度の大きい音響フォノンへと崩壊することによって周囲に熱が伝わっていく。このようなフォノン物理の再現がMOSFETの熱的挙動の正確なシミュレーションには必要であると考えられる。そこで、本稿ではその方法を検討する。

方法 まず、半導体におけるフォノンは有限個のモードに分類でき、モードに応じたボルツマン方程式に従って振る舞いと仮定した。また、電子または正孔による光学フォノン放出はジュール熱相当のエネルギーを光学フォノンに渡すことによって表現した。そして、光学フォノンから音響フォノンへの崩壊はある時定数をもって起こると仮定した。以上をわれわれが開発を進めるTCAD, Impulse TCAD [5] に実装し、MOSFETにおけるフォノン輸送をシミュレーションした。

結果 Fig. 1 に厚さ 10 nm の Silicon-on-insulator (SOI) 膜をチャンネル材料とするゲート長 50 nm の n 型 MOSFET のオン状態における温度分布を示す。Fig. 1(a) は音響フォノンの、Fig. 1(b) は光学フォノンの、Fig. 1(c) は両者併せての平均温度である。なお、SOI 膜でのみフォノン輸送を考慮し、フォノンは単結晶におけるもので近似した上で 178 個のモードで代表した。また、光学フォノンが音響フォノンに崩壊する際の時定数は 10 ps とした。ジュール熱が多く発生する SOI 膜のドレイン領域入り口に注目すると、ジュール熱を直接受け取る光学フォノンの方が、その崩壊を経由してエネルギーを得る音響フォノンよりも温度が高くなっている。また、高温領域の広がりを見ると、群速度の違いを反映して光学フォノンの方が小さくなっている。これらのことから、背景の項で述べたフォノン物理の再現に成功していると言える。

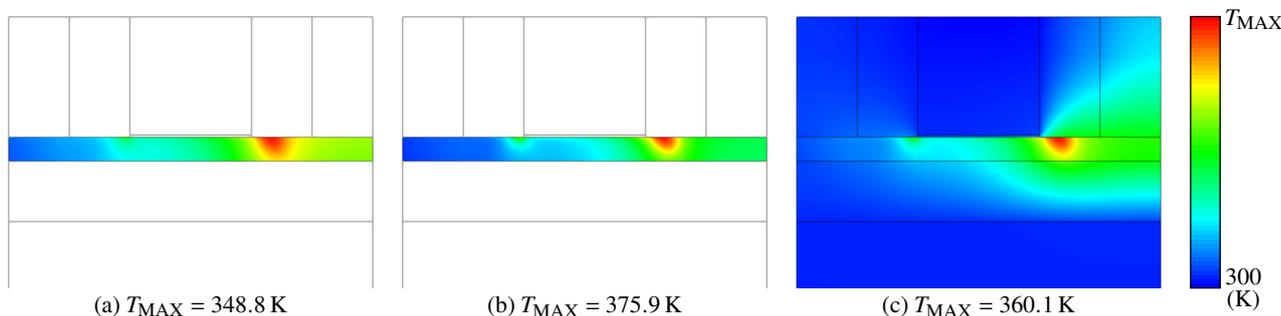


Fig. 1. Average temperature distributions of (a) acoustic, (b) optical, and (c) both phonons in a MOSFET with a 10-nm-thick silicon-on-insulator body and a 50-nm-long gate at drain-to-source and gate-to-source voltages of 1 V.

謝辞 本研究は日本学術振興会の科学研究費助成事業の支援を受けたものである(20K04611)。

- 参考文献**
- [1] J. Hattori *et al.*, Ext. Abstr. JSAP Autumn Meet., 2019, 18p-E303-10 [in Japanese].
 - [2] J. Hattori *et al.*, Ext. Abstr. JSAP Spring Meet., 2020, 12p-A202-13 [in Japanese].
 - [3] J. Hattori *et al.*, Ext. Abstr. JSAP Autumn Meet., 2020, 10p-Z09-20 [in Japanese].
 - [4] J. Hattori *et al.*, Ext. Abstr. SSDM, 2020, p. 49; submitted to Jpn. J. Appl. Phys.
 - [5] T. Ikegami *et al.*, J. Comput. Electron. **18**, 534 (2019).