3次元スケーリングによるスーパージャンクション IGBT の性能向上 Performance Improvement of Superjunction IGBT by Three-Dimensional Scaling ¹ 東大生研,² 東大 d.lab, (M2)柏嶋 始¹, 福井 宗利¹, 竹内 潔¹, 小林 正治^{1,2}, 平本 俊郎¹ ¹IIS, The Univ. of Tokyo, ²d.lab, The Univ. of Tokyo, Hajime Kayashima¹, Munetoshi Hukui¹, Kiyoshi Takeuchi¹,

Masaharu Kobayashi^{1, 2}, and Toshiro Hiramoto¹

E-mail: hajime.k@nano.iis.u-tokyo.ac.jp

【序】代表的なシリコンパワーデバイスデバイスである IGBT の性能向上において、ターンオフ損失とオン電圧の トレードオフは非常に重要な要素である。これまでのところ、IEGT (Injection Enhanced IGBT) [1]に代表されるよ うなエミッタ構造の改良を通じて電子注入促進効果を高め、性能向上が実現されてきた。近年では、CMOS で行 われるようなスケーリング則をエミッタ構造(MOS 部を含む)に適用することによって、さらなるトレードオフ の改善や、低電圧駆動を実現できることが明らかになっている[2-5]。一方、IGBTのドリフト層にスーパージャン クション構造を導入した、スーパージャンクション IGBT (SJ-IGBT) というデバイスも提案されている[6]。SJ-IGBT を用いることで大幅なターンオフ損失の低減が可能であり、エミッタ構造に IEGT 構造を採用することで、さらな る性能向上が実現できることも明らかとなっている[7]。本研究では、SJ-IGBT のエミッタに IEGT 構造を採用する だけでなく、スケーリング則を適用することで、さらなる性能向上が可能であることを、シミュレーションによ って示すことに成功したので報告する。【シミュレーション】Fig.1 にシミュレーションで用いたデバイス構造を示 す。シミュレータには Synopsys 社の Sentaurus (2014 年版) を使用した。耐圧は 1200 V クラス、SJ 構造の深さは 73 μ m、ピラーの幅は 4 μ m、ドーピング濃度は 4×10¹⁵ cm⁻³ とした。Table1 に示すようにスケーリングはチャネル長・ エミッタ深さ・トレンチ深さ・メサ幅・ゲート酸化膜厚・ゲート電圧に対して行った。ここで k はスケーリング 係数であり、基本構造を k=1 とした。1/2 および 1/3 にスケーリングしたデバイスをそれぞれ k=2, k=3 とした。Fig.2 は P 型コレクタの濃度を変化させターンオフ損失とオン電圧のトレードオフ曲線をプロットしたシミュレーショ ン結果である。スケーリングによってターンオフ損失はほとんど変化せず、オン電圧が最大 166mV 低下した。こ れは、メサが狭くなったことによりオン状態でエミッタ付近のキャリア密度が増加した(Fig.3)一方、SJ-IGBT 特有 のスイッチングメカニズムによりターンオフ動作の前に蓄積キャリアが排出され、ターンオフ損失が増加しなか った(Fig.4)ためであると考えられる。一方、耐圧は大きくは変化しない(Fig.5)。また、耐圧の電荷不釣り合い依 存性もほとんど変化しない(図示していない)。【結論】エミッタ構造のスケーリングにより、SJ-IGBTにおいても、 ターンオフ損失とオン電圧のトレードオフの改善が実現可能であることが分かった。

【文献】[1] M. Kitagawa et al., IEDM, p.679, 1993. [2] M. Tanaka et al., Solid-state electronics, 80, p.118, 2013. [3] K. Kakushima et al., IEDM, p.268, 2016. [4] T. Saraya et al., IEDM, p.189, 2018. [5] T. Saraya et al., ISPSD, p.43, 2019. [6] F. D. Bauer et al., Solid-state electronics, 48, p.705, 2004. [7] M. Antoniou et al., ISPSD, p.168, 2009.



Fig.1 Device Structure. Table1 Structure Parameters.

	k=1	k=2	k=3
$D_{P}(\mu m)$	0.50	0.25	0.17
$D_{ch}(\mu m)$	2.0	1.0	0.67
$D_{T}(\mu m)$	3.0	1.5	1.0
D_{Pillar} (µm)	73.0	73.0	73.0
Mesa (µm)	3.0	1.5	1.0
T _{ox} (nm)	100	50	33
Vg (V)	15	7.5	5.0



Fig.2 Trade-off between forward voltage drop and turn-off energy loss.







Fig.3 Hole density in n-pillar.



Fig.5 Influence of collector doping on breakdown voltage.