

1200V SiC MOSFET (Infineon ,Wolfspeed,Rohm) 技術の現状とベンチマークについてのレポート

エルテックではInfineon、Wolfspeed、Rohmの最新世代の1200V SiC MOSFETを比較検証し、高温で信頼性の高い動作を実現するための技術の特定や、構造解析結果パラメーターや電気特性評価結果から性能指数を評価し、さらにチップコストやウエハーコスト等のコスト分析などを含めたベンチマークレポートをリリースしました。

概要

SiCパワートランジスタのデータシートには以下のデータが不足しており、本レポートは物理的解析と電気的特性との相関を使用して、これらの一部を補足したものである。

1. オフ・ドレイン漏れ電流電圧と温度依存性
2. しきい値電圧DIBL(Drain Induced Barrier Lowering)、ドレイン電圧依存性
3. 短絡(ショートサーキット、、SC)耐量
4. 短パルス時間の熱インピーダンス(1us~100us)

レポート調査内容

※次頁目次参照

主な解析・調査結果

- ・ SiC MOSFETは、リファレンスに使用したSi-IGBTに対して、スイッチングエネルギーにおいて約1/20を実現。これは、高いスイッチング周波数の可能性を示唆。シミュレーションされた最大スイッチング周波数は、Si-IGBTの場合は16kHz、SiC MOSFETの場合は200-400kHzとなる。
- ・ C社のMOSFETは、高いしきい値 V_{th} にもかかわらず、高温では最も低い $RON \times A$ ($644m\Omega \cdot mm^2$)を実現する。(A社は $1168m\Omega \cdot mm^2$ と2倍近い)。
- ・ 単位面積当たりのオン抵抗($RON \times A$)のトレンドは、 $\sim 0.7x/3$ 年の削減率を継続すると予測する。
- ・ ROHM、WOLFSPEED、INFINEONの場合、ウエハーコストは、ウエハー当たり\$・・・～・・・である。
- ・ 平均販売価格(ASP)について、大量生産下においては、1200V SiC MOSFETの価格/アンペアは\$・・・～・・・/Aである。 ※Si-IGBTは約\$・・・/Aと推定

Table of Contents

目次	ページ	
1	1.1 エグゼクティブサマリー	2
	1.2 はじめに:背景,目的 & 範囲	5
2	SiCトランジスタの展望	6
	2.1 Si、GaNとSiCパワートランジスタの競合関係	6
	2.2 パワーエレクトロニクスデバイス用の半導体材料の関連する特性	7
	2.3 高温時でのパワーデバイスに関する考察	8
	2.4 SiCおよびGaNパワートランジスタの現状と展望	9
	2.5 Table4:SiCデバイスおよびモジュールメーカーの現状(2018年4月時点)★	10
3	SiC MOSFETの技術動向と進化	11-16
4	SiC MOSFETの製造コストと価格について	17
	4.1 製造コスト	18-22
	4.2 平均販売価格(ASP)について	23-27
5	SiC MOSFETのベンチマーク	28
	5.1 SiC MOSFETの信頼性に対する懸念	29
	5.2 Table6: 1200V Si-IGBT vs. SiCトランジスタベンチマーク	30
	5.3 Table7: 評価された1200V SiC MOSFETの構造	32
	5.4 評価された性能指数FOM	33-36
	5.5 SiC MOSFETのベンチマーク結果	37-39
	5.5.1 比較結果:パフォーマンス & FOM	40-42
	5.5.2 電気特性評価 Analysis and comparison of main electrical and structural characteristics ・ Electrical characteristics (data sheet + measured value)	43
	真性の電気特性の比較	44
	Id-Vds	45
	RON成分析	46-50
	オフ状態のドレイン電流温度依存性とブレイクダウン電圧	51-55
	5.5.3 短絡耐量と熱インピーダンス解析	56-73
6	まとめと結論	74
7	参考文献	75-76
8	Appendix	77-81

※ レポートデータ抜粋

2.5 Table4: SiCデバイスおよびモジュールメーカーの現状（2018年4月時点）

No.	Company	LTEC Report?	Epi Wafer	Device Chip	Module	Comments
1	WOLFSPEED (CREE)	Yes				
2	ROHM	Yes	S (su)			latively 8).
3	MITSUBISHI Electric	Yes				
4	Fuji Electric	Yes				
5	Hitachi					
6	Infineon	Yes				
7	STMicro	Yes				power card.
8	MicroSemi	Yes				
9	IXYS→LITTELFUSE	Yes				
10	General Electric (GE)					odule,
11	United SiC Corp	Yes				
12	X-Fab					
13	Denso					
14	Toyota					
15	Monolith (US)			✓		Using SiC Foundry (X-Fab)

Table.1 FOMの概要と評価されたデバイスのコスト/価格

	Units	SiC			Si	
		A	B	C	D IGBTs	
Summary of Performance FOMs						
FOM	Specific Effective ON Resistance, RONxA @ Tj=Tjmax	mΩ·mm ²	1168	670	644	2600
	Specific Intrinsic ON Resistance, RONxAA @ Tj=Tjmax	mΩ·mm ²				
	Qg x RON @ Tj=Tjmax	nC·Ω				
	Ciss x RON @ Tj=Tjmax	pF·Ω				
	Crss x RON @ Tj=Tjmax	pF·Ω				
	Coss x RON @ Tj=Tjmax	pF·Ω				
	Turn-off Switching Energy, Eoff x RON @ Tj=Tjmax	mJ·mΩ				
	Turn-on Switching Energy, Eon x RON @ Tj=Tjmax	mJ·mΩ				
Maximum Switching Frequency, fmax	kHz					
Cost & Price	Average Selling Price, ASP (Retailer)	\$/unit				
	ASP per Ampere (@ 100°C)	\$/A				
	ASPxRON	\$/Ω				
	Estimated Manufacturing Die Cost	\$/unit				
	Processed Wafer Cost (Estimated)	\$/wafer				

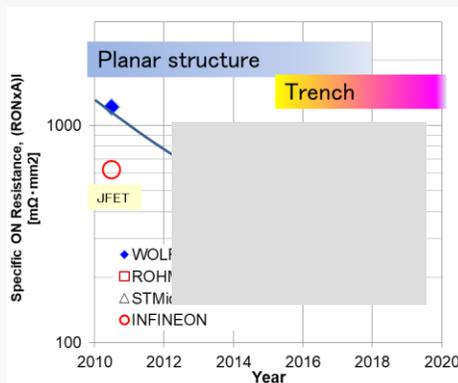


Fig. 3.4: 1200V SiC MOSFET面積当たりオン抵抗 (RONxA) 性能指数 (FOM)の動向

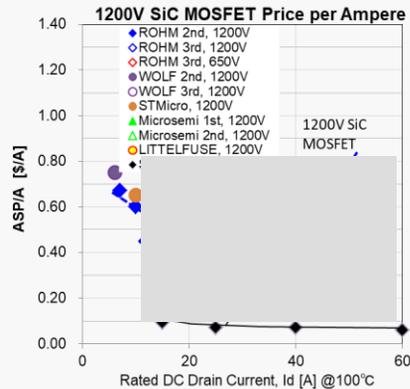


Fig. 4.3: いくつかのメーカーおよびプロセス世代の 1200V SiC MOSFETのアンペア価格 (ASP/A)

※ レポートデータ抜粋

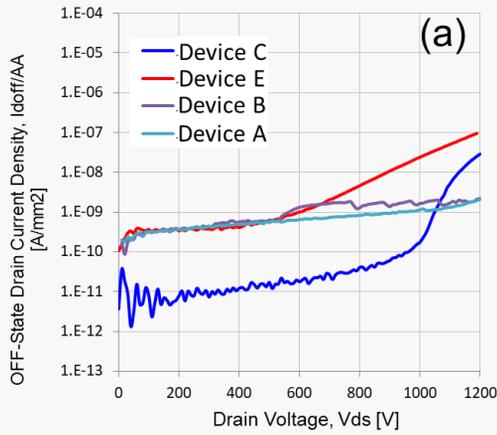


Fig. 5.14: 異なるメーカーのSiC MOSFETのドレインリーク電流の比較

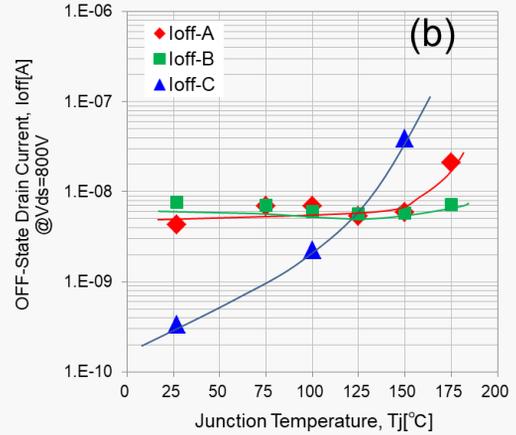
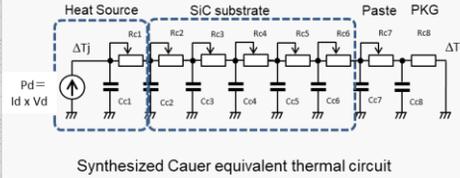
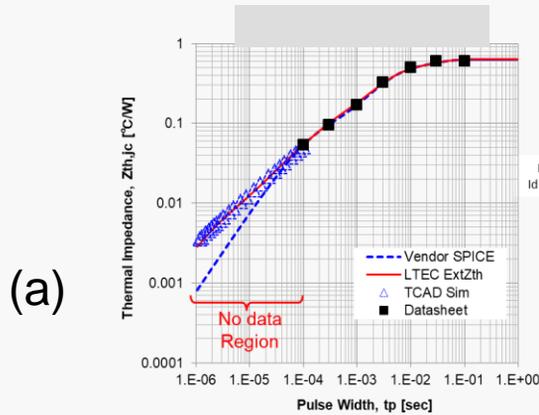


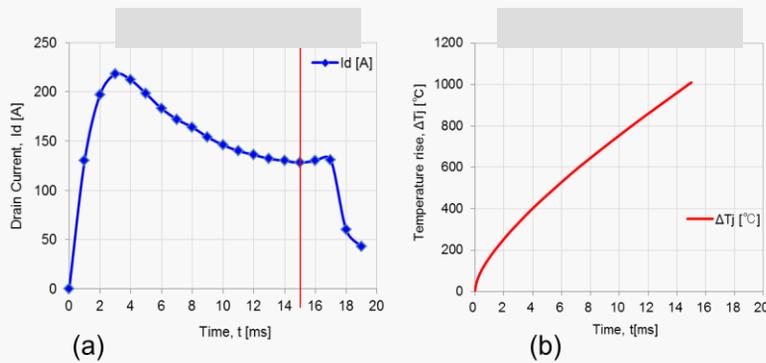
Fig.5.15: SiC MOSFETのオフ状態ドレイン電流Ioff (Vgs = 0VおよびVds = 800V)の温度依存性



(a)

(b)

Fig.5.30: (a) 熱インピーダンスZth対オン時間パルス幅と(b)抽出された等価熱回路



(a)

(b)

Table 3: Summary of the estimated device temperature ΔT_j

		Datasheet Graph	Manufacturer Zth model	1D Model	Simulated
Pd	W		8.43 x 10 ⁴		
t	μs		15		
Zth	°C/W	0.006※	0.003	0.0106	
ΔT_j	°C	506	253	894	1033

※ Extrapolated from graph

Fig.5.31: (a) XXXXトランジスタのVds = 580VおよびVgs = 19Vでの短絡ドレイン電流波形、および(b)シミュレートされたデバイスの温度上昇 ΔT_j 。表3は、製造業者のデータおよびこの分析(黄色)から計算されたデバイス温度をまとめたものである。