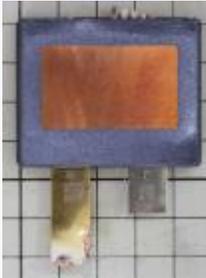


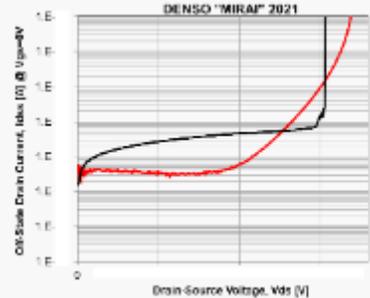
2021 デンソー製パワーカードモジュール, SiC-MOSFETチップ 構造解析レポート(世界初の解析レポート)



パッケージ写真



チップ写真



SiC MOSFET 耐圧測定

製品、解析概要

- ・本製品は2021年型トヨタMIRAI水素燃料電池(FC)昇圧コンバーターパワーモジュールに採用されているSiC-MOSFET搭載のパワーカードです。
昇圧コンバータは、出力電圧 $V_o = 650V$ および入力電流 $I_{in} = 570A$ 。
- ・搭載チップは電流センサーと温度センサーを内蔵する自動車用に量産した1200V級のSiC-MOSFETとなります。
- ・SiC-MOSFETチップは200Aクラスの駆動電流で低ON抵抗(LTECで測定)
チップサイズは自動車用途としては最大。

レポート内容

1. パワーカードモジュール解析レポート 40万円(税別)

両面冷却(DSC)パワーカードモジュールの構造/材料分析、および熱抵抗(R_{th} , j_w)を推定するための冷却器を含む熱解析を実施しています。

2. SiC-MOSFET・FWDチップ構造解析レポート 60万円(税別)

SiC-MOSFETチップ断面、平面解析(セル部分、外周部)、およびEDXによる材料分析が含まれます。また、同パワーカードに搭載されているFWDチップについても断面・平面解析を行っています。

3. プロセスおよびデバイスの基本的な電気的特性解析レポート 60万円(税別)

SiC-MOSFETと組み込み温度センサーの製造プロセスフローの推定、N-epi層(ドリフト層)のドーピング濃度の抽出と、オン抵抗およびブレイクダウン電圧の測定と解析が含まれます。他社のSiC-MOSFETとの比較も含まれています。

パワーカードモジュール解析レポート

目次

	Page
1. デバイスサマリー	3
1-1. エグゼクティブサマリー	4
1-2. 解析概要	5
2. モジュール・パワーカード外観観察	
2-1. モジュール外観観察	8
2-2. パワーカード外観観察	12
3. パワーカード構成	
3-1. パワーカード内部レイアウト	19
3-2. 搭載チップ写真(MOSFET側パワーカード)	26
4. 冷却法、構成	
4-1. 冷却器観察	28
4-2. 冷却構成	32
5. パワーカード断面解析	
5-1. パワーカード断面観察	35
5-2. 冷却器・絶縁シートEDX分析	56
6. 熱解析	60
6-1. 熱抵抗解析モデル	62
6-2. 両面冷却パワーカード 熱抵抗解析結果	64
6-3. 液冷ヒートシンク 熱抵抗解析結果	65
6-4. モジュール熱抵抗解析結果	66

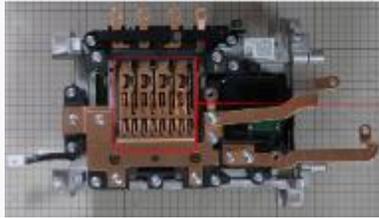
パワーカードモジュール解析レポートからの抜粋



表側



FC
Boost Converter



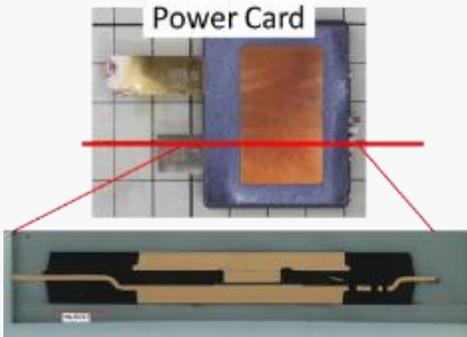
Boost Converter
Power Card (SiC)



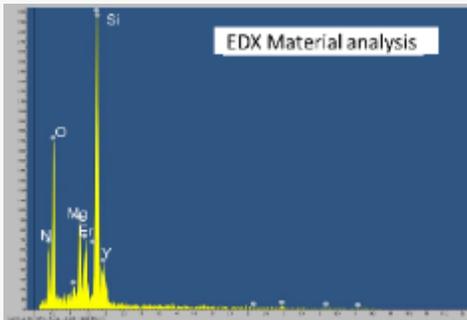
冷却器



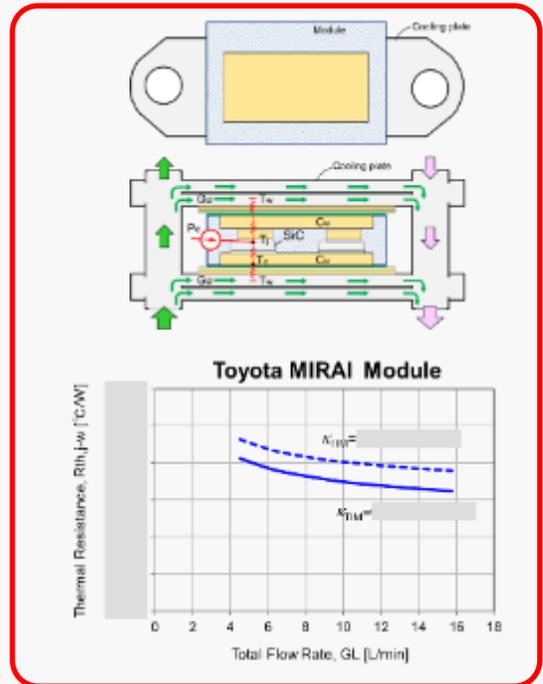
冷却器断面写真



Double-Side Cooled (DSC) power card



パワーカード 熱解析



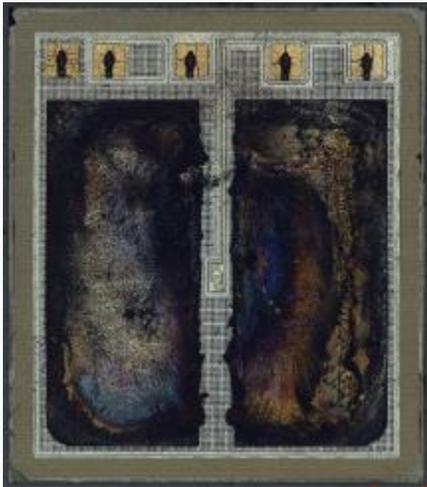
SiC-MOSFET・FWDチップ構造解析レポート

目次

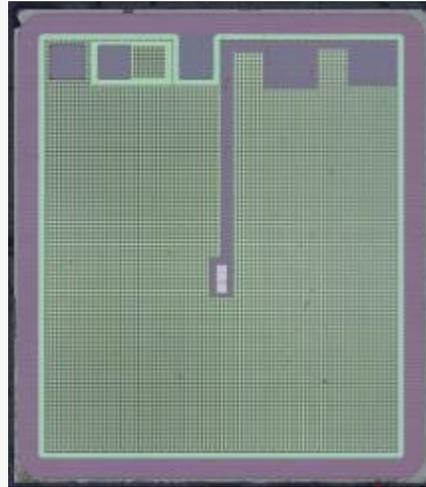
		Page
1. デバイスサマリー	...	3
2. SiC-MOSFET構造解析		
2-1.平面構造解析(OM)	...	5
2-2.平面構造解析(SEM)	...	30
2-3.セル領域 断面構造解析	...	46
2-4. チップ外周部 断面構造解析	...	53
3. Si-FWD構造解析		
3-1.平面構造解析(OM)	...	62
3-2.平面構造解析(SEM)	...	68
3-3. Si-FWD 断面構造解析	...	69



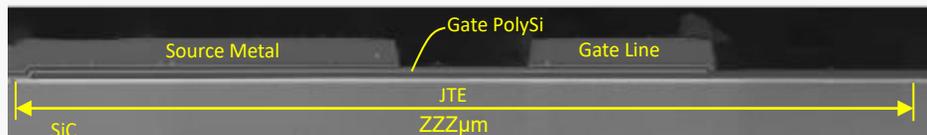
SiC-MOSFET・FWDチップ構造解析レポートからの抜粋



チップ全体写真
(Top Metal Layer)



チップ全体写真
(Poly-Si Layer)



トランジスタ周辺JTE (Junction Termination Extension)

層の記述	膜厚	材料	プロパティ
ウエハータップ構成 (Bulk, Epi)			
N+ エピ層 ドリフト領域			
N Buffer層			
P-well拡散深さ			
N+ 拡散深さ			
ゲート電極構造・材料			
ゲート酸化膜			
フィールド酸化膜(FOX)			
シリサイド膜			
ソースバリアメタル			
ソースメタル			
ILD (ゲート・メタル間)			
パシベーション膜			
ポリイミド膜			
チップ裏面メタル			

プロセスおよび電気特性評価解析レポート

目次

1	DENSO社製のSiC系MOSFET 解析結果のまとめ	3
1.1	DENSO社製品と他社のSiC MOSFETの特性比較	4
1.2	SiC MOSFETチップ全体	5
1.3	チップ端部	6-
1.4	トデバイス構造: SiC MOSFET ランジスタエピ層 トランジスタの模式的な断面図	8-12 7
2	SiC MOSFET観察	13
	トランジスタの構造・プロセスの特徴(1) - (4)	8-11
2.2	チャンネル長Lchを決定するためのN+およびPウェル拡散のセルフアライ ン形成プロセスの詳細(推定)	15
2.3	温度センサーダイオード	16-17
3	DENSO社製のSiC系MOSFET 解析結果まとめ	18
	表2 デバイス構造 : SiC MOSFET	18
	表3 SiC MOSFET構造 : レイヤー材料・膜厚	19
4	プロセスフロー	20
4.1	SiC MOSFETのフロントエンドウェーハプロセスフロー(推定)	20
4.2	SiC MOSFETのプロセス・シーケンス断面図	21-25
5	電気特性評価	26
5.1	DENSO製SiC MOSFET のId-Vds特性	27
5.2	デバイス温度をパラメータとしてオフ状態のドレイン電流対ドレイン電圧 (Vds)および活性化エネルギー(Ea)	28
5.3	オフ状態破壊電圧BVdss特性	29
5.4	メーカー間のリーク電流の比較	30
5.5	容量(Ciss, Coss, Crss)-Vds特性	31
5.6	デバイス構造と電気特性解析: ON抵抗	32-33
5.7	N-エピ層不純物濃度解析	34
5.8	デバイス構造と電気特性解析: ブレークダウン電圧	35
6	関連文献目録	36
7	関連特許目録	36-42

プロセスおよび電気特性評価解析レポートからの抜粋

Table 1: 他社1200V-SiC MOSFET製品との比較

Maker	Part no.	Process Gen	Prod.	Die Size		Vdss [V]	RON [mΩ]	Intrinsic RONxA [mΩ・mm ²]
				mmxmm	mm ²			
ROHM	SCT2080KE	Gen 2	2012	4.37 x 2.95	12.9	1200	80	810
ROHM	SCT3080KL	Gen 3	2016	3.01 x 2.41	7.25	1200	80	408
CREE	C2M0080120D	Gen 2	2013	3.07 x 3.34	10.3	1200	80	501
WOLFSPEED (GREE)	C3M0075120K	Gen 3	2017	2.44 x 2.75	6.7	1200	75	346
INFINEON	FF11MR12W1M1_B1	Gen 1	2017	3.76 x 3.08	11.6	1200	44	361
Microsemi	APT80SM120B	Gen 1		5.60 x 5.60	31.4	1200	40	1076
Microsemi	MSC040SMA120B	Gen 2	2018	4.38 x 4.39	19.2	1200	40	580
LITTELFUSE	LSIC1MO120E0080	-	2017	2.03 x 4.50	10.4	1200	80	562
ON-Semi	NVHL080N120SC1	Gen 1	2019	2.95 x 2.95	8.7	1200	80	464
TOSHIBA	TW070J120B	Gen 2	2020	4.16 x 3.06	12.8	1200	36	571
DENSO	-	Gen 1	2020	8.1 x 9.2	74.5		9	408

プロセスフロー

