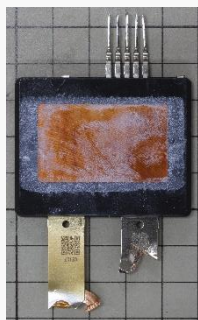


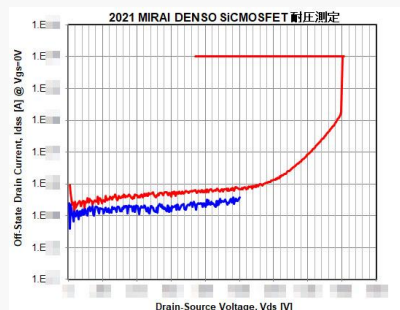
### デンソー製 SiC-MOSFETの構造・プロセス解析レポート(世界初)



パッケージ写真



チップ写真(SiC-MOSFET)



SiC MOSFET 耐圧測定

#### 製品、解析概要

- ・2021年型トヨタMIRAI水素燃料電池(FC)昇圧コンバーターに、デンソー内製としては初のSiC-MOSFETが採用、搭載されており、本レポートは、世界初の解析レポートとなります。
- ・搭載チップは、トレンチゲートを採用、電流センサーと温度センサー内蔵の1200V級のSiC-MOSFET。低転. 位密度の基板RAF(Repeated A-Face)技術 採用の製品(Web情報)
- ・SiC-MOSFETチップは200Aクラスの駆動電流で低ON抵抗(LTECで測定)となっておりチップサイズは自動車用途としては最大クラス。(当社解析他社チップサイズ比より)

#### レポート内容

##### 1. TOYOTA MIRAI搭載デンソー製SiC-MOSFET 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)の詳細構造、サイズ、材料分析がレポート内容に含まれます。(FWDチップについても断面・平面解析データあり)
- ・電流センス比、温度センサーの断面・平面解析を行い、解析結果を基に等価回路を推定実施。

##### 2. TOYOTA MIRAI搭載デンソー製SiC-MOSFET プロセスフロー・電気特性解析レポート

⇒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  
オン抵抗およびブレークダウン電圧の測定

単位面積あたりのオン抵抗は、他メーカーに比べて約10~20%低くなっています。

※当社解析の他社SiCトランジスタとの比較より。

# SiC-MOSFET・FWDチップ構造解析レポート

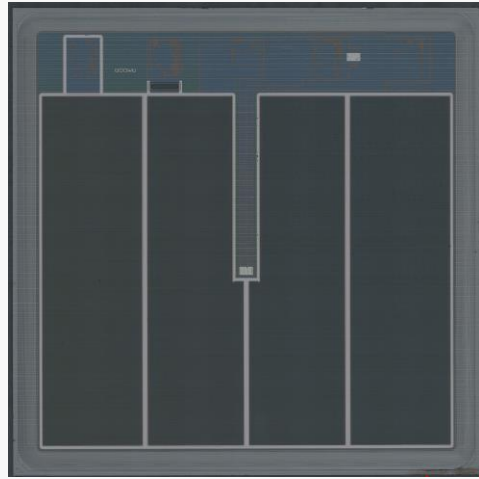
## 目次

|                    |     | Page |
|--------------------|-----|------|
| 1. デバイスサマリー        | ... | 3    |
| 1-1. 解析結果まとめ       | ... | 4    |
| 2. パワーカード外観観察      |     |      |
| 2-1. パワーカード外観観察    | ... | 9    |
| 3. パワーカード構成        |     |      |
| 3-1. パワーカード内部レイアウト | ... | 12   |
| 4. SiC-MOSFET構造解析  |     |      |
| 4-1. チップレイアウト      | ... | 16   |
| 4-2. 平面構造解析(OM)    | ... | 17   |
| 4-3. 平面構造解析(SEM)   | ... | 52   |
| 4-4. セル領域 断面構造解析   | ... | 81   |
| 4-5. チップ外周部 断面構造解析 | ... | 87   |
| 5. Si-FWD構造解析      |     |      |
| 5-1. 平面構造解析(OM)    | ... | 98   |
| 5-2. 平面構造解析(SEM)   | ... | 107  |
| 5-3. Si-FWD 断面構造解析 | ... | 111  |

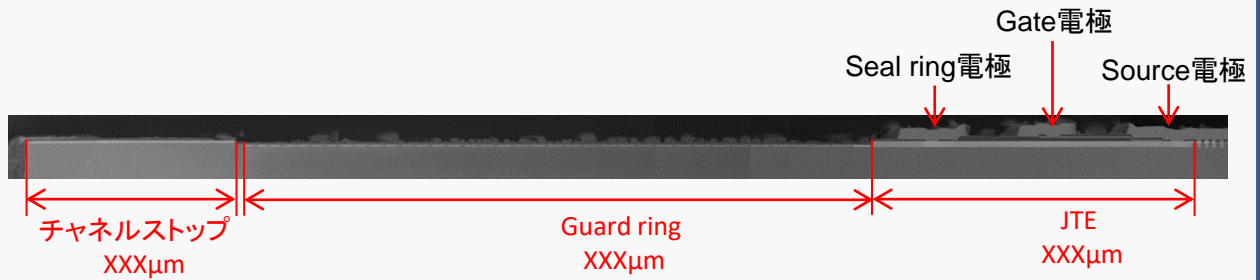
# SiC-MOSFET・FWDチップ構造解析レポートからの抜粋



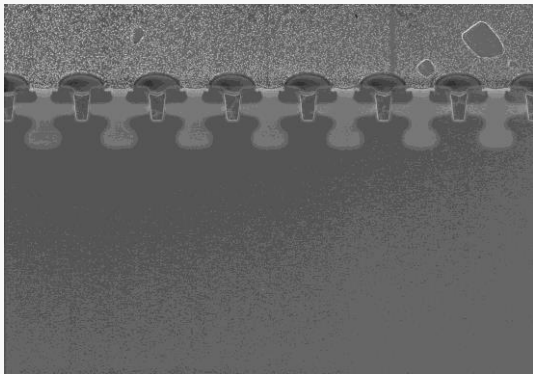
チップ全体写真  
(Top Metal Layer)



チップ全体写真  
(Poly-Si Layer)



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



セル領域

| 層の記述                  | 膜厚 | 材料 | プロパティ |
|-----------------------|----|----|-------|
| ウエハータップ・構成 (Bulk, Ep) |    |    |       |
| 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)        |    |    |       |
| パッシベーション膜             |    |    |       |
| 有機保護膜                 |    |    |       |
| チップ表面メタル              |    |    |       |

# プロセスおよび電気特性評価解析レポート

## 目次

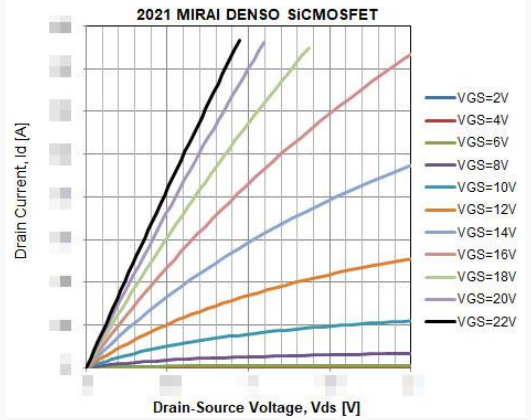
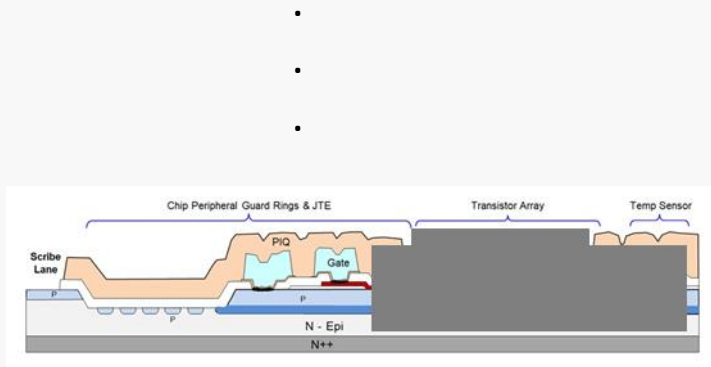
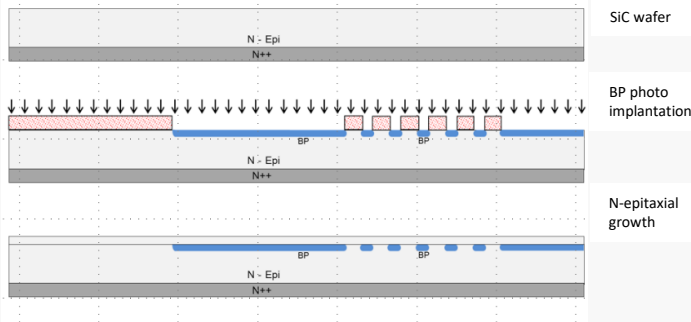
|     |  |           |
|-----|--|-----------|
| 1   | DENSO社製のSiC-MOSFET<br>解析結果のまとめ .....                 | 3         |
| 1-1 | DENSO社製品と他社のSiC-MOSFETの特性比較                          | 4         |
| 1-2 | SiC-MOSFETチップ全体 .....                                | 5         |
| 1-3 | チップ端部 .....  | 6-7       |
| 1-4 | デバイス構造: SiC-MOSFET トランジスタエピ層<br>トランジスタの模式的な断面図 ..... | 8-10<br>9 |
| 2   | SiC-MOSFET観察 .....                                   | 11        |
| 2-1 | トランジスタの構造・プロセスの特徴(1) - (2) .....                     | 11-12     |
| 2-2 | トレンチゲート形成プロセスの詳細(推定)                                 | 13        |
| 2-3 | 温度センサーダイオード  | 14-17     |
| 3   | DENSO社製のSiC-MOSFET 解析結果まとめ                           | 18        |
|     | 表1 デバイス構造: SiC-MOSFET .....                          | 18        |
|     | 表2 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 .....                      | 21-28     |
| 5   | 電気特性評価 .....   | 29        |
| 5-1 | DENSO製SiC-MOSFET のId-Vds特性                           | 30        |
| 5-2 | デバイス温度をパラメータとしたオフ状態のIdss-Vds特性<br>および活性化エネルギー(Ea)    | 31        |
| 5-3 | メーカー間のリーク電流の比較 .....                                 | 32        |
| 5-4 | オフ状態破壊電圧BVdss特性.....                                 | 33        |
| 5-5 | 容量(Ciss, Coss, Crss)-Vds特性 .....                     | 34        |
| 5-6 | 温度センスダイオード I-V特性.....                                | 35        |
| 5-7 | デバイス構造と電気特性解析: ON抵抗 .....                            | 36-37     |
| 5-8 | N-エピ層不純物濃度解析 .....                                   | 38        |
| 5-9 | デバイス構造と電気特性解析:ブレークダウン電圧 .....                        | 39        |
| 6   | 関連文献目録 .....   | 40        |
| 7   | 関連特許目録 .....   | 41-43     |

# プロセスおよび電気特性評価解析レポートからの抜粋

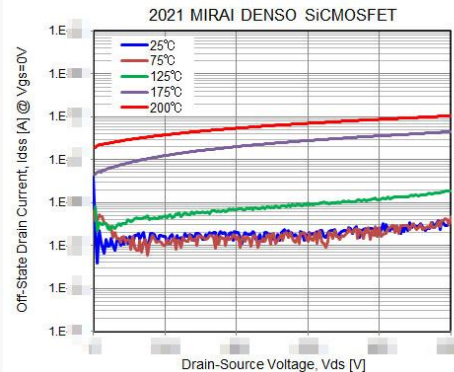
Table 1: 他社1200V-SiC MOSFET製品との比較

| Maker            | Part no.                        | プロセス世代 | 生産   | V <sub>dss</sub> [V] | RON [mΩ] | チップサイズ [mm x mm] | チップ面積 [mm <sup>2</sup> ] | Intrinsic RON <sub>N/A</sub> [mΩ・mm <sup>2</sup> ] |
|------------------|---------------------------------|--------|------|----------------------|----------|------------------|--------------------------|--|
| ROHM             | SCH2080KE                       | 第2     | 2012 | 1200                 | 80       |                  |                          |  |
| ROHM             | SCT3080KL/HR                    | 第3     | 2016 | 1200                 | 80       |                  |                          |  |
| CREE             | C2M0080120D                     | 第2     | 2013 | 1200                 | 80       |                  |                          |  |
| WOLFSPEED (GREE) | C3M0075120K                     | 第3     | 2017 | 1200                 | 75       |                  |                          |  |
| ON-SEMI          | NVHL080N120SC1                  | 第1     | 2018 | 1200                 | 80       |                  |                          |  |
| INFINEON         | FF11MR12W1M1_B1<br>IMW120R045M1 | 第1     | 2017 | 1200                 | 44       |                  |                          |  |
| MICROSEMI        | APT80SM120B                     | 第1     |      | 1200                 | 40       |                  |                          |  |
| MICROSEMI        | MSC040SMA120B                   | 第2     | 2018 | 1200                 | 40       |                  |                          |  |
| LITTELFUSE       | LSICM0120E0080                  | -      | 2017 | 1200                 | 80       |                  |                          |  |
| TOSHIBA          | TW070J120B                      | 第1*    | 2020 | 1200                 | 70       |                  |                          |  |
| NN               | MIRAI用 昇圧コンバータ                  |        | 2020 |                      | 9        |                  |                          |  |
| DENSO            | MIRAI用 昇圧コンバータ                  | 第1     | 2021 |                      |          |                  |                          |  |

## プロセスフロー



Id-V<sub>ds</sub>特性



オフ状態の $I_{dss}$ - $V_{ds}$ 特性

