

48V 車載用 MOSFET Module SAM4L10M30Z1 の開発

Development of MOSFET Module SAM4L10M30Z1 for 48V Automotive

鈴木 誠 司*

Seiji Suzuki

概要 近年自動車の電動化に伴いさまざまなパワートレインが開発されている中、主に欧州での需要が高い48V系マイルドハイブリッド車（48V MHEV）がある。サンケン電気（以降当社）ではその48V MHEVに搭載される電動コンプレッサに対応した100V低圧三相MOSFET Module SAM4L10M30Z1を開発した。求められる性能とパッケージ小型化の両立を実現するためにMOSFETの低オン抵抗化とモジュールパッケージ形状が重要となる。本稿では現在開発中である本製品の性能の紹介と開発状況について述べる。

1. まえがき

自動車の電動化に伴い中長期的な見通しでは電気自動車（EV）シフトのトレンドには大きな変化はないとの見方がある。一方で、短期的な見通しでは環境意識から従来の内燃機関車（ICE）への抵抗はあるが、バッテリ式電気自動車（BEV）の高価格、航続距離等の不満で購入を控える一定ユーザニーズを捉えたハイブリッド車（HEV）への需要が高まってきている。中でも主に欧州で需要が高いのが48V電源を使用したマイルドハイブリッド車（48V MHEV）である。世界的にDC60V以上は人体への危険があるため厳格な安全基準が適用されているケースが多く、その分コストもかかる。そこでコストを抑えつつもCO₂排出量の削減を実現できるコンセプトのもと開発されたのが48V電源を使用したマイルドハイブリッド車である。当社は将来的なBEVへの需要変動リスクにも対応できるこのMHEV市場に参入すべく100V低圧三相MOSFET Module SAM4L10M30Z1を開発した。本製品を開発するにあたり、顧客からはモジュールパッケージの小型化が求められる。これに対応するためには、大電流に対応可能でチップサイズの小型化を実現するMOSFETの低オン抵抗化と、高い放熱性を発揮するパッケージ構造が必要である。

本稿では本製品においての課題であるMOSFETの低

オン抵抗化、高放熱パッケージ設計の背景を述べる。また、本製品の性能や機能、開発状況についても合わせて述べていく。

2. 市場背景

2025年現在の自動車市場の生産比率（図1）を見るにICEの生産比率が全体の約6割を占め、BEV、レンジエクステンダーEV（BEVx）と燃料電池式自動車（FCEV）の合算割合は2割弱となっている。残りの2割強をその他パワートレインが占める形となり、いまだICEの生産比率が大半を占める結果となっている。今後の予想では2033年まで緩やかに電動化が進む予測となっており、本製品のターゲットであるMHEVの市場も一定の成長が予想できる。また、2027年をめどにICEをその他電動化車両のシェアが上回る予想となっているのがわかる。

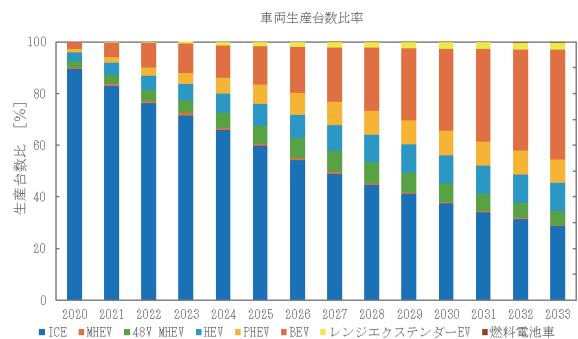


図1 2023年-2033年車両生産台数比率予測

出典：マーカーラインズ作成データ「世界ライトビークル販売に占める各パワートレインの構成比予測」（2025年10月閲覧）¹⁾

*技術開発本部 ワークショップ開発統括部
IPM開発部 開発2課

表1 絶対最大定格

TA = 25°C

記号	項目	SAM4L10M30Z1	単位
V_{DS}	ドレイン-ソース間電圧	100	V
V_{GS}	ゲート-ソース間電圧	± 20	V
E_{AS}	単一パルスアバランシェエネルギー ($I_{AS} = 50A$)	T.B.D.	mJ
$T_j(\max)$	動作時最大ジャンクション温度	175	°C
T_{STG}	保存温度	-45 ~ +175	°C
$V_{ISO}(\text{RMS})$	絶縁耐圧	2500	V

表2 電気的特性

TA = 25°C

記号	項目	条件	SAM4L10M30Z1			単位
			Min	Typ	Max	
BV_{DSS}	ドレイン-ソース間降伏電圧	$I_D = 1\text{mA}, V_{GS} = 0\text{V}$	(100)	—	—	V
I_{DSS}	ドレイン-ソース間漏れ電流	$V_{DS} = 100\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}$	—	—	(5)	μA
I_{GSS}	ゲート-ソース間漏れ電流	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	—	—	(± 100)	nA
$V_{GS(TH)}$	ゲートしきい電圧	$V_{DS} = 10\text{V}, I_D = 1\text{mA}$	(2.0)	(3.0)	(4.0)	V
$R_{DS(ON)}\text{ HV}$	ドレイン-ソース完オン抵抗 ハイサイドV相	$I_D = 150\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}$	—	(2.05)	(2.75)	$\text{m}\Omega$
V_{DS}	ドレイン-ソース間ダイオード 順方向下降電圧	$V_{GS} = 0\text{V}, I_S = 100\text{A}$	—	(0.85)	(1.3)	V
$R\theta_{JC}$	ジャンクション-ケース間熱抵抗	—	—	(0.26)	(0.36)	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

3. 製品紹介

本製品の開発コンセプトは48V系電源を使用した車載への展開で当社の製品ポートフォリオを強化し、将来的なBEVへの需要変動リスクに対応するためである。ターゲットは48V系車載コンプレッサとなり、低圧パワーMOSFETが6素子入った低圧三相MOSFET Moduleとなる。本製品の仕様を表1、表2、表3、図2、図3で示す。

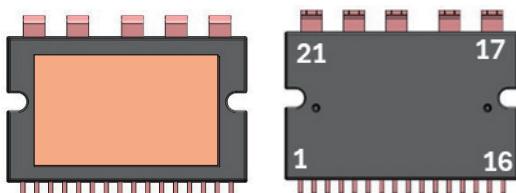


図2 外形イメージ図

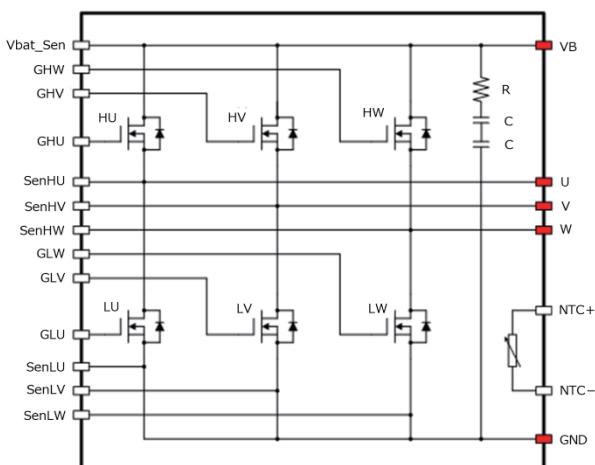


図3 内部ブロック図

表3 ピンアサイン

端子番号	端子名	機能
1	NTC+	NTC サーミスタ端子 1
2	NTC-	NTC サーミスタ端子 2
3	SenLW	ローサイド W 相 Sense 端子
4	GHW	ハイサイド W 相 Gate 端子
5	SenHW	ハイサイド W 相 Sense 端子
6	GLW	ローサイド W 相 Gate 端子
7	SenLV	ローサイド V 相 Sense 端子
8	GHV	ハイサイド V 相 Gate 端子
9	SenHV	ハイサイド V 相 Sense 端子
10	GLV	ローサイド V 相 Gate 端子
11	GLU	ローサイド U 相 Gate 端子
12	SunLU	ローサイド U 相 Sense 端子
13	SenHU	ハイサイド U 相 Sense 端子
14	GHU	ハイサイド U 相 Gate 端子
15	Vbat Sen	Vbat Sense 端子
16	Vbat Sen	Vbat Sense 端子 (15,16 共通端子)
17	VB	バッテリー電圧端子
18	GND	グランド端子
19	U	U 相出力端子
20	V	V 相出力端子
21	W	W 相出力端子

4. 製品の特長

本製品の特長であるMOSFETの低オン抵抗や機能、パッケージの設計について次に述べる。

4.1. MOSFETの低オン抵抗化

当社が開発したZeroMosはRepI (エピ抵抗) と耐圧のトレードオフを改善し、低オン抵抗への要求に対応することができる。図4にZeroMosの構造²⁾を示す。特徴はGate電極の下にSource電位を持つVFP (Vertical Field Plate) : 縦型フィールドプレートを形成する事である。これによりエピ層の電界を緩和でき、大幅なオン抵抗低減を実現している。また、VFP構造でのオン抵抗の低減と合わせ、セルピッチの最適化やウエハ薄厚化技術導入し、従来のMOSFET構造に対してさらにオン抵抗の低減を実現した。大幅なオン抵抗が低減できた事に

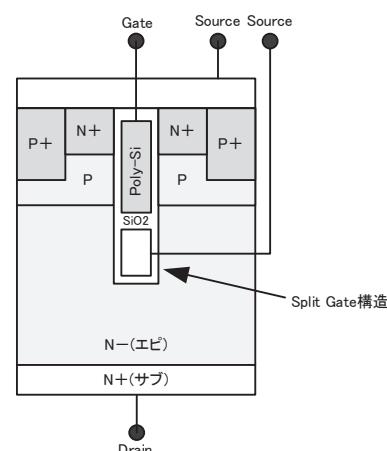


図4 ZeroMos のセル部イメージ図

よりMOSFETチップサイズの小型化、それに伴うパッケージの小型化に貢献している。

4.2. RCフィルター回路内蔵

本製品にはVB-GND間に抵抗、コンデンサーで構成されたフィルター回路が内蔵されている。(図3参照)これによりサージ電圧、スイッチングノイズ、リングイング低減に効果が期待できる。このパッケージ内部にフィルター回路を搭載することにより顧客側での外部フィルター回路の追加が抑えられるためコストの低減も期待できる。

4.3. サーミスタ機能内蔵

本製品にはサーミスタ機能を搭載している。(1番端子-2番端子間)顧客ニーズとして、よりチップに近い位置での温度モニターがある。それを実現するために、パッケージ内部にサーミスタを搭載することで異常発熱の早期検知、システムの熱破壊防止を可能とする。

4.4. 高放熱DBC (Direct Bonding Copper) 採用

本製品のパッケージは高放熱DBC構造を採用した放熱性に優れたパッケージとなっており、低熱抵抗化を実現している。(表2参照)

4.5. 従来パッケージからの形状変更

本製品は従来製品である車載向け高圧三相ブラシレス用モータードライバーSAM470××シリーズ(DIP27)のパッケージが元となり設計されている。しかし、DIP27パッケージ形状ではZeroMosのチップサイズが大きく搭載できない。ここではDIP27の長所である小型パッケージを生かしつつ形状を変更し、チップを搭載できるパッケージを設計できた背景を以下に述べる。

一つ目に高い入力電圧に対応するためパッケージに千鳥形状を設け沿面距離を確保している点がある。低圧製品である本製品は千鳥形状で沿面距離を確保する必要がないため廃止した。(図5)

二つ目にパッケージ内部にドライブ回路を有するコントロールチップ(MIC)を搭載するためのステージが構

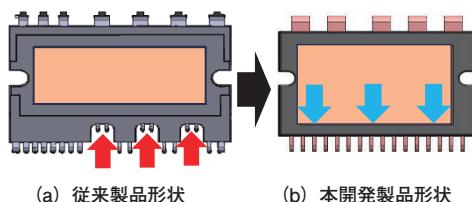


図5 SAM470××パッケージからの変更イメージ

成されている点がある。本製品はコントロールチップを搭載しないMOSFET ModuleのためMICステージを廃止した。

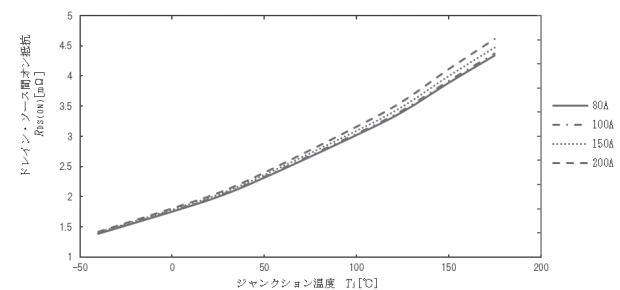
千鳥形状の廃止と内部MICステージの廃止により、パッケージ形状が変更された。その結果、チップを搭載するDBC基板部の拡張が可能となり、ZeroMosチップの搭載を達成した。

5. 評価結果

現在開発中である本製品の評価実施結果の一部を次に示す。

5.1. $R_{DS(ON)}$ 温度特性確認

前項4.1で述べた低オン抵抗MOSFET ZeroMosの実力を確認するため $R_{DS(ON)}$ の温度特性データをグラフ化した。その結果を図6に示す。



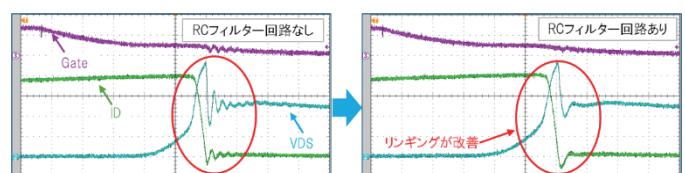
条件: 測定相 = HiSideV相, $V_{GS} = 10V$, $I_D = 80A \sim 200A$, $T_j = -40^\circ C \sim 175^\circ C$

図6 $R_{DS(ON)}$ 温度特性グラフ

結果として25℃の $R_{DS(ON)}$ 値が仕様を満足している。(表2参照)

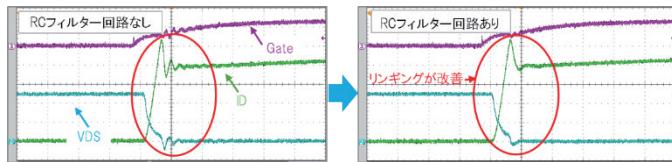
5.2. RCフィルターの有効性確認

前項目4.2で述べた内蔵RCフィルターの有効性を確認するためRCフィルターあり、なしでスイッチング特性の変化を調査した。結果を次に示す。(図7), (図8)



条件: 確認相 = Lo SideV, $V_B = 48V$, $V_{GS} = 15V$, $L_p = 14\mu F$, $T_a = 25^\circ C$, フィルタ定数 = $2.2\Omega + 0.047\mu F + 0.047\mu F$ あり、なし

図7 ターンオフ時のスイッチング波形



条件: 確認相 = Lo SideV, $V_B = 48V$, $V_{GS} = 15V$, $L_p = 14\mu F$, $T_a = 25^{\circ}C$, フィルター定数 = $2.2\Omega + 0.047\mu F + 0.047\mu F$ あり, なし

図8 ターンオン時のスイッチング波形

結果としてターンオフ、ターンオン共にリングングの改善が認められRCフィルターの機能が有効であることが確認できた。

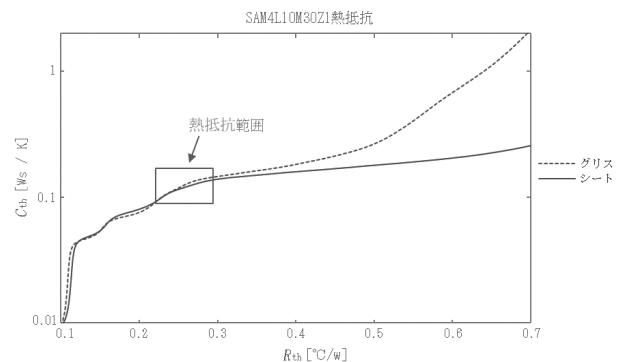
5.3. 热抵抗評価

前項目4.4及び4.5で述べた高放熱DBC基板を使用したパッケージの実力を確認するため熱抵抗評価を行った。結果を図9に示す。

結果は評価後の構造関数の確認でグリス、シートの境界線がグラフ上で囲った範囲であるため、仕様（表2参照）を満足している。

6. むすび

本稿では現在開発中であるSAM4L10M30Z1の製品紹介及び評価内容を掲載した。評価試験により、仕様を満足することが確認できた。今後の開発、評価スケジュー



条件: 測定相 = HiSideW相, サンプル取付け = グリス, 絶縁シートの2条件

図9 構造関数グラフ

ルは、AQG324、AEC101等信頼性試験の実施を予定している。

今回実施した評価結果及び今後の評価結果を製品開発に反映させ、より良い製品を顧客に提供できるよう進めていく所存である。

参考文献

- (1) マークライズ「世界ライトビークル販売に占める各パートトレインの構成比予測」、マークライズ社公式サイト, https://www.marklines.com/portal_top_ja.html
- (2) 近藤、田中:サンケン技報, vol.53, P47, (2021.11)