

Technical Explanation SEMIPACK®

Revision:	03
Issue date:	2018-02-07
Prepared by:	Rastislav Kosiba
Approved by:	Martin Hansmann

Keyword: SEMIPACK, technical, explanation, mounting, instruction, heat, sink, surface, thermal, paste, thickness, screen, printing, unevenness, roughness, assembly, torque, screw, speed, plug, sleeve, washer, kit, mechanical, sample, datasheet, parameter, application, hardware, thermal, material, data, laser, marking, data, matrix, code, label

1. まえがき	3
1.1 特長	3
1.2 回路構成	3
1.3 形名付与法	4
1.4 用途	4
2. SEMIPACK 製品詳細	5
2.1 SEMIPACK ケース	5
2.2 沿面距離および空間距離	6
2.3 内部構造	6
2.4 外観サンプル	8
3. パラメータ説明	9
3.1 熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ および $R_{th(c-s)}$ の測定	9
3.2 過渡熱インピーダンス	11
3.3 電気的特性	12
3.3.1 絶縁耐圧 V_{isol}	12
3.3.2 ピーク非繰り返し逆電圧 V_{RSM} ; [ピーク非繰り返しオフ電圧 V_{DSM}]	12
3.3.3 ピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM} および [ピーク繰り返しオフ電圧 V_{DRM}]	12
3.3.4 直流逆電圧 V_R	13
3.3.5 平均順[オン]電流 I_{FAV} , $[I_{TAV}]$	13
3.3.6 RMS 順[オン]電流 I_{FRMS} , $[I_{TRMS}]$	13
3.3.7 サージ順[オン]電流 I_{FSM} , $[I_{TSM}]$	13
3.3.8 サージ電流特性 $I_F(OV)$, $[I_T(OV)]$	13
3.3.9 i^2t	13
3.3.10 [臨界オン電流上昇率 $(di/dt)_{cr}$]	13
3.3.11 [臨界オフ電圧上昇率 $(dv/dt)_{cr}$]	13
3.3.12 直流逆[オフ]電流 I_{RD} $[I_{DD}]$	13
3.3.13 直流順[オン]電圧 V_F $[V_T]$	14
3.3.14 閾値電圧 $V_{(TO)}$ $[V_{T(TO)}]$ および順[オン]特性傾斜抵抗 r_T	14
3.3.15 [ラッチング電流 I_L]	14
3.3.16 [保持電流 I_H]	14
3.3.17 逆回復電荷 Q_{rr}	14
3.3.18 [転流ターンオフ時間 t_q]	15
3.3.19 [ゲートトリガ電圧 V_{GT} およびゲートトリガ電流 I_{GT}]	15
3.3.20 [ゲート非トリガ電圧 V_{GD} およびゲート非トリガ電流 I_{GD}]	15
3.3.21 [トリガ時間]	16
3.3.22 [ゲート制御遅れ時間 t_{gd}]	16
3.3.23 [ゲート制御立上り時間 t_{gr}]	16
3.3.24 [ゲート制御ターンオン時間 t_{gt}]	16
3.3.25 熱抵抗 $R_{th(x-y)}$ および熱インピーダンス $Z_{th(x-y)}$	16
3.3.26 温度	17
3.3.27 機械的特性	17
4. 認証	18

4.1	サージ過電流	18
4.2	絶縁耐圧試験	18
4.3	温度依存試験	18
4.4	パルス負荷、一定の冷却条件に於ける熱サイクル負荷試験	18
4.5	標準認証試験	19
4.6	寿命計算	20
5.	アプリケーション	23
5.1	電圧クラスの選択	23
5.2	過電圧保護	23
5.3	過電流および短絡保護	24
5.4	許容過電流	24
5.5	応用上、よくある質問	24
5.5.1	SKKT... と SKKT...B の違い	24
5.5.2	高周波動作に於ける電流ディレーティング	25
5.5.3	MTBF	25
5.5.4	他メーカーでは、データシートに max. V_{GT} および I_{GT} を規定していますが、セмикロンは何故 min. V_{GT} および I_{GT} を規定しているのですか	26
5.5.5	半導体の抵抗値	26
6.	組付け方法	27
6.1	ヒートシンクおよび表面仕様、前作業	27
6.2	サーマルペースト塗布	27
6.3	組付け工程	28
6.3.1	ヒートシンクへの組付けトルク M_S	28
6.4	SEMIPACK®モジュール組付け部品	29
6.4.1	組付け部品	29
6.4.2	ヒートシンク	30
7.	レーザーマーキング	31
8.	データマトリクスコード	31
9.	包装仕様	32
9.1	包装箱	32
9.2	包装箱ラベル内容	33
10.	データシートの特性グラフ	34
10.1	SEMIPACK® サイリスタモジュール	34
10.2	SEMIPACK® ダイオードモジュール	35
11.	図一覧	36
12.	記号と用語	37
13.	参考文献	40
14.	履歴	40
15.	免責事項	40

1. まえがき

SEMIPACK 1 は世界初の絶縁型パワーモジュールとして、1975 年にセмикロンにより開発されました。現在、SEMIPACK は様々なケースサイズおよび回路構成を有するファミリー製品になっています。SEMIPACK 製品の定格電流は最大 1360A まで、定格電圧は 600V～2200V です。現在、SEMIPACK は 2 拠点で製造されています。SKSK（スロバキア）は、はんだ/ボンディングおよび圧接モジュールに注力し、SKI（イタリア）は、高速ダイオードモジュールおよび特別タイプを製造しています。

1.1 特長

金属ベースプレートと絶縁されたセラミック上に、半導体チップをはんだ付けしたベースプレート型モジュール (SEMIPACK 0、1、2 および SEMIPACK 3 の数タイプ)、または高負荷サイクル耐量を有する圧接型モジュール (SEMIPACK 3、4、5、6)。

SEMIPACK モジュール製品には、サイリスタモジュール (シングルおよびデュアル)、整流ダイオードモジュール (シングルおよびデュアル) および高速ダイオードモジュール (シングルおよびデュアル) があります。定格電流および定格電圧は以下の通りです。

- サイリスタモジュール: 定格電流 15A ～ 800A、定格電圧 600V ～ 2200V
- 整流ダイオードモジュール: 定格電流 15A ～ 1200A、定格電圧 800V ～ 2200V
- 高速ダイオードモジュール: 定格電流 40A ～ 308A、定格電圧 600V ～ 1700V

Al₃O₂ (SEMIPACK 0、1、2 と SEMIPACK 3 の一部) または AlN (SEMIPACK 3 - 6) 絶縁基板と金属ベースプレートとの組合せによるセラミックを使用して、ヒートシンクへの最適な熱伝導を保証します。

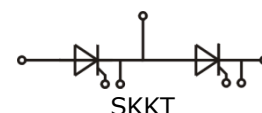
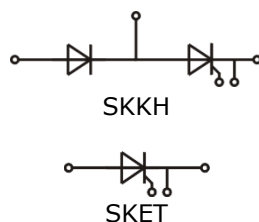
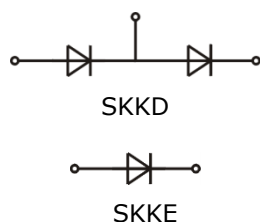
SEMIPACK 1 および 2 では、内外レイアウトが異なるいくつかのチップ世代の製品が生産されています。

SEMIPACK モジュールは全て UL 認証済です (file no. E 63 532)。

1.2 回路構成

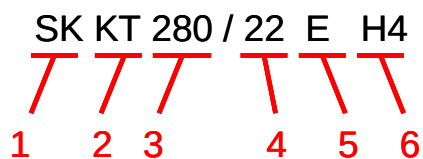
SEMIPACK には以下に示す様に、1 素子または 2 素子が内部接続された以下の様な回路構成があります。

図 1: SEMIPACK 標準回路構成



他の回路構成については、お問い合わせ下さい。

1.3 形名付与法



- 1: セミクロン製品
- 2: 回路構成、図 1 参照
- 3: 定格電流 (I_{TAV} [A])
- 4: 定格電圧 (V_{RRM} [V])
- 5: dv/dt クラス
 - D: 500 V/ μ s
 - E: 1000 V/ μ s
 - G: 2000 V/ μ s
- 6: オプション、適用例 H4= 絶縁耐圧 V_{isol} 4.8 kV

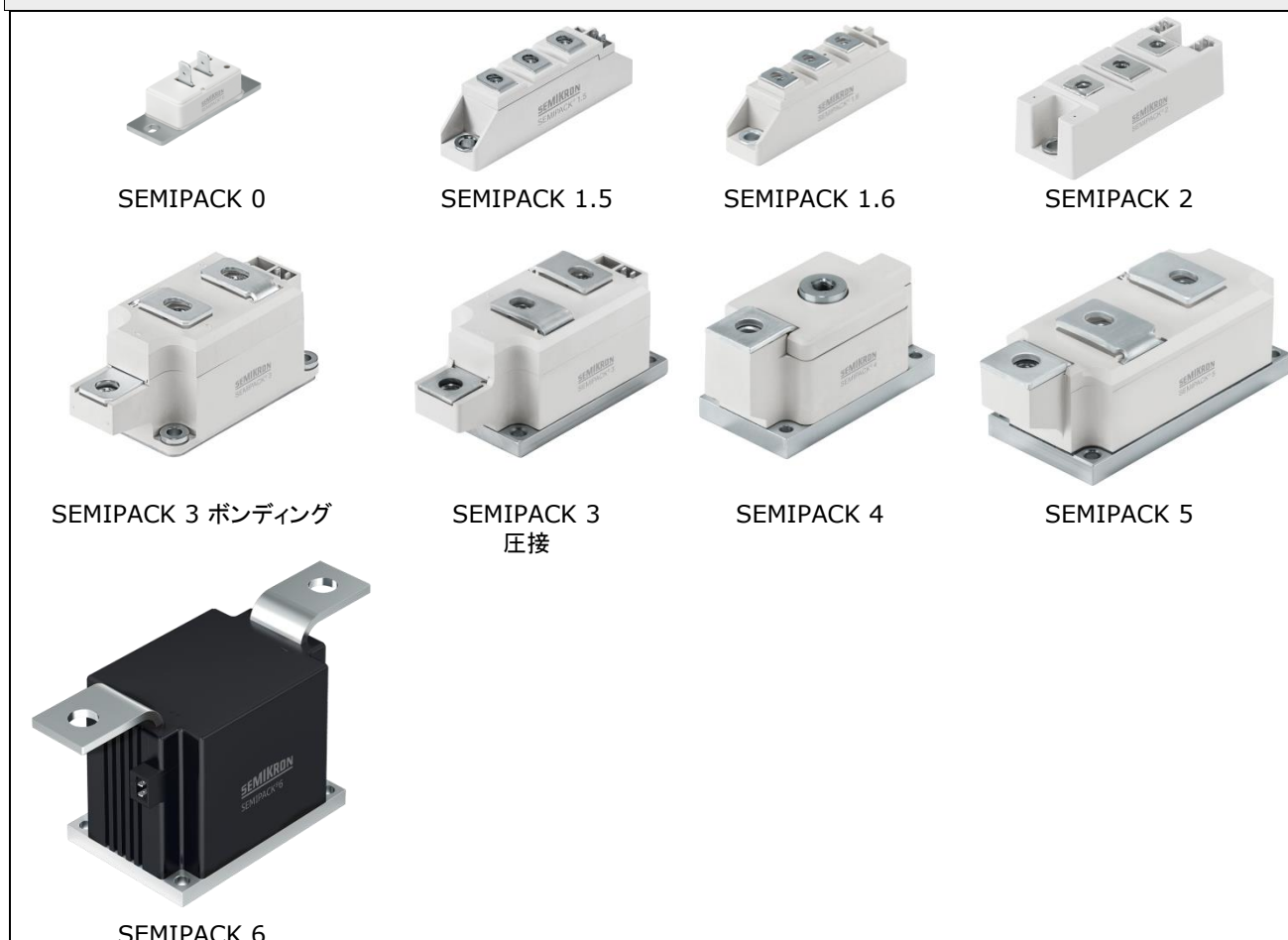
1.4 用途

- 誘導モータ スターター
- AC モータ制御装置用整流器
- DC モータ制御 (例: 工作機械)
- DC モータ界磁電源
- 温度制御 (例: オープン、化学プロセス)
- 調光システム (スタジオ、劇場)
- UPS

2. SEMIPACK 製品詳細

2.1 SEMIPACK ケース

図 2: SEMIPACK ケース



SEMIPACK には 7 タイプのパッケージ、SEMIPACK 0 ～ SEMIPACK 6 があります。主要寸法は以下の通りです。

表 1: SEMIPACK ケースの主要寸法

	長さ [mm]	幅 [mm]	高さ [mm]
SEMIPACK 0	61	21	25
SEMIPACK 1	93	20	30 (29.5*)
SEMIPACK 2	94	34	30
SEMIPACK 3	115	51	54
SEMIPACK 4	101	50	52
SEMIPACK 5	150	60	52
SEMIPACK 6	176	70	90

*SEMIPACK1 第 3 世代

SEMIPACK 製品カタログに記載の外形図の標準寸法公差は、特に指定がない限り $\pm 0.5\text{mm}$ です。

2.2 沿面距離および空間距離

全ての SEMIPACK サイリスタ/ダイオードモジュールの沿面距離および空間距離は DIN EN 50178 の基準に適合しています。

表 2: SEMIPACK の沿面距離および空間距離

端子	空間距離 [mm]		沿面距離 [mm]	
	1-2	2-3	1-2	2-3
SEMIPACK 1.5	10	10	14	14
SEMIPACK 1.6	10	10	15	15
SEMIPACK 2	9	9	14	14
SEMIPACK 3 ボンディング	37	17	37	17
SEMIPACK 圧接	37	17	37	17
SEMIPACK 4	19	--	19	--
SEMIPACK 5	19	25	23	28
SEMIPACK 6	84	--	84	--

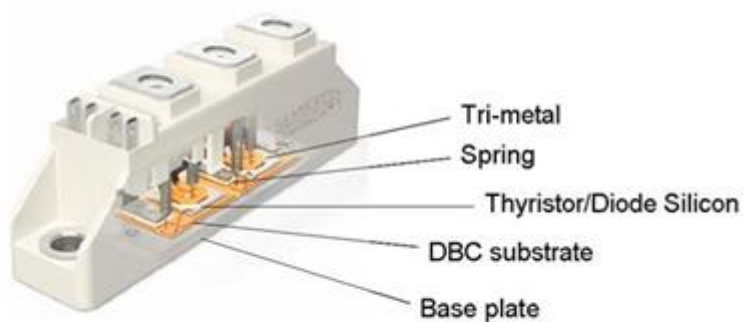
2.3 内部構造

多様な市場要求に対応し、内部構造が異なる 3 タイプの SEMIPACK ファミリーがあります。

- はんだ構造 (SEMIPACK 1)
- ボンディング構造 (SEMIPACK 0, 2, 3)
- 圧接構造 (SEMIPACK 3, 4, 5, 6)

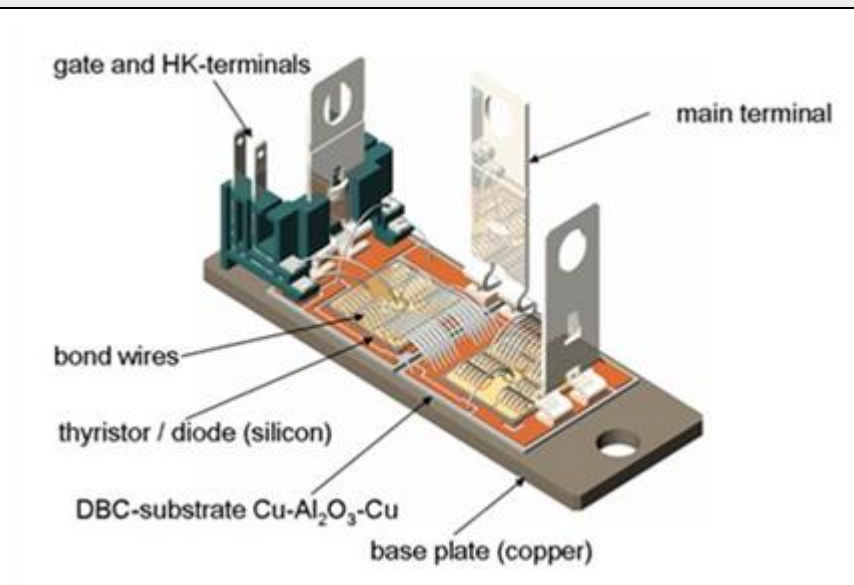
はんだ構造 – はんだ層により接続

図 3: SEMIPACK 1 はんだ構造



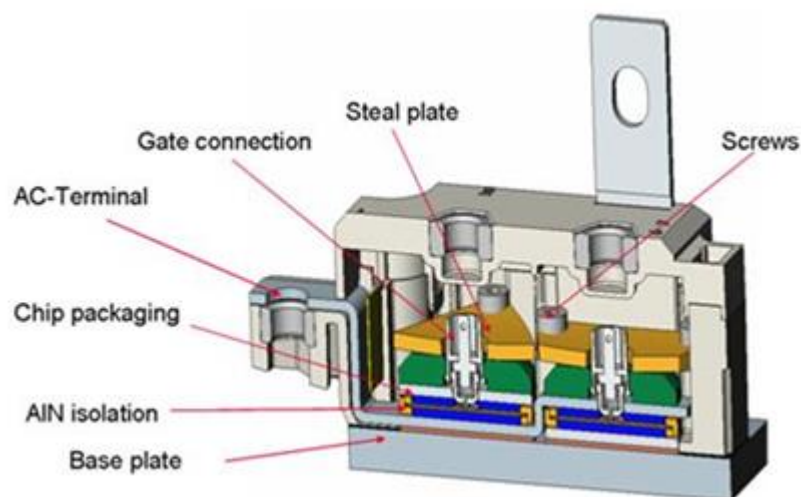
ボンディング構造 – チップの上側電極と DBC 間をボンディングワイヤーで接続

図 4: SEMIPACK 2 ボンディング構造



圧接構造 – 圧接によりはんだフリーで接続

図 5: SEMIPACK 3 圧接構造



2.4 外観サンプル

以下の SEMIPACK 外観サンプルの注文が可能です。製品コード番号を以下に示します。

表 3: SEMIPACK 外観サンプル製品コード番号

製品コード番号	タイプ	内部構造	C ケース(縮尺は異なる)
07891011	SEMIPACK 1.5	はんだ	
07890100	SEMIPACK 1.6	はんだ	
07890098	SEMIPACK 2	はんだ	
07890096	SEMIPACK 3	ボンディング	
07898690	SEMIPACK 3	圧接	
07890094	SEMIPACK 4	圧接	
07898785	SEMIPACK 5	圧接	
07290040	SEMIPACK 6	圧接	

3. パラメータ説明

3.1 熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ および $R_{th(c-s)}$ の測定

熱抵抗 R_{th} は規定の 2 点間の温度差を定常状態に於いて、温度差を生じさせる損失 P で割った値として定義されます。

$$R_{th(1-2)} = \frac{\Delta T}{P_V} = \frac{T_1 - T_2}{P_V} \quad (3-1)$$

2 点の温度の選択により、以下の熱抵抗が規定されます。

- 接合－ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$,
- ケース－ヒートシンク間熱抵抗 $R_{th(c-s)}$,
- ヒートシンク－周囲間熱抵抗 $R_{th(s-a)}$,
- 接合－周囲間熱抵抗 $R_{th(j-a)}$

データシートの熱抵抗値は測定値に基づいています。式(1)に示す通り、 R_{th} は温度差 ΔT に大きく影響を受けます。従って、基準点および測定法の影響も受けます。

セмикロンは図 6 に示す測定法 A を使用して $R_{th(j-c)}$ および $R_{th(c-s)}$ を測定します。SEMIPACK に適用の測定法 A に於ける R_{th} 測定基準点の位置をご参照ください。基準点は以下の通りです。

$R_{th(j-c)}$ の基準点はチップの見かけの接合(T_j)とヒートシンクのドリル穴を通して、直接測定するチップ直下のモジュール底面(T_c)。図 6、基準点 1: SEMIPACK に適用の測定法 A に於ける R_{th} 測定基準点の位置をご参照ください。

$R_{th(c-s)}$ の基準点は 上述のモジュールの底面(T_c)、ヒートシンク温度 T_s はチップに最も近いヒートシンクの上面を測定します。

図 6: SEMIPACK に適用の測定法 A に於ける R_{th} 測定基準点

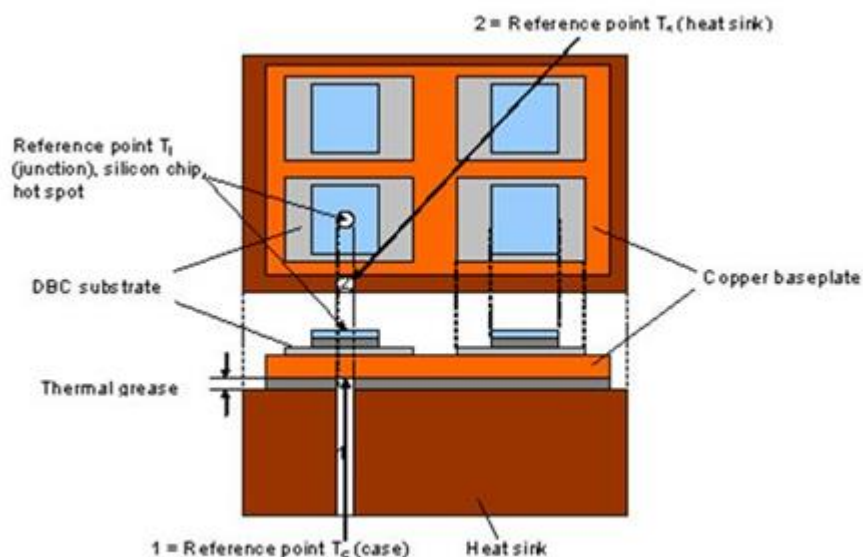
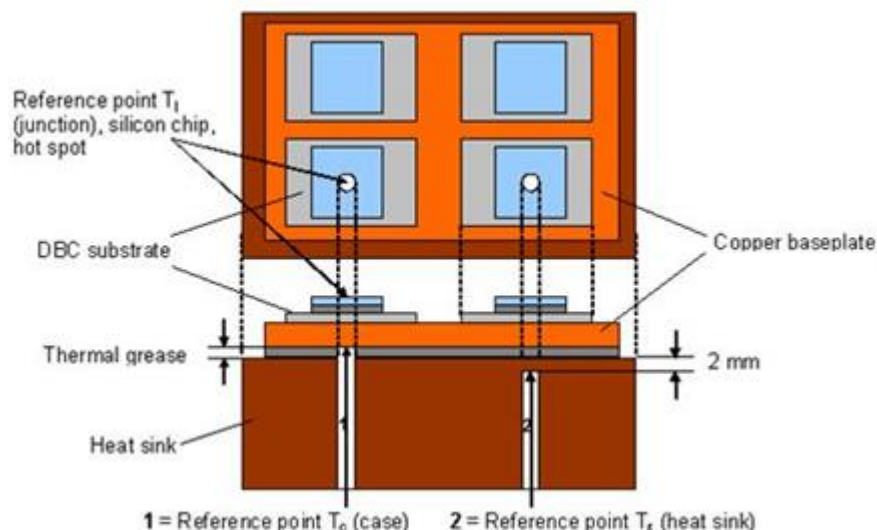


図 7: 測定法 B に於ける R_{th} 測定基準点



上述の様に、測定法および基準点は R_{th} の値に大きな影響を与えます。図 7 に示す測定法 B を使用している他メーカーもあります。測定法 B に於ける R_{th} 測定基準点の位置をご参照ください。 $R_{th(c-s)}$ 測定の主な違いは第 2 基準点です。図 7、基準点 2 参照。測定法 B に於ける R_{th} 測定基準点の位置をご参照ください。この基準点はヒートシンク内部のドリル穴のモジュール底面に極めて近い位置にあります。ヒートシンク内部の温度分布(図 8: 測定法 A、B に於ける熱分布と各基準点 T_j 、 T_c 、 T_s および T_a の位置)では、温度差 $\Delta T (=T_c - T_s)$ は極めて小さいので $R_{th(c-s)}$ も同様に小さくなります。

図 8: 測定法 A、B に於ける熱分布と各基準点 T_j 、 T_c 、 T_s および T_a の位置は温度分布および各測定法に於ける基準点の位置を示しています。式(3-1)を考慮に入れると、測定法 B に於ける $R_{th(c-s)}$ は小さくなる事は明らかです。これにより、 $R_{th(c-s)}$ の減少は最終的に $R_{th(s-a)}$ (図 9: 各測定法に対する熱抵抗値 R_{th} の比較参照)に加算される事になり、接合一周間熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ は測定法に関わらず同じ値になります。

図 8: 測定法 A、B に於ける熱分布と各基準点 T_j 、 T_c 、 T_s および T_a の位置

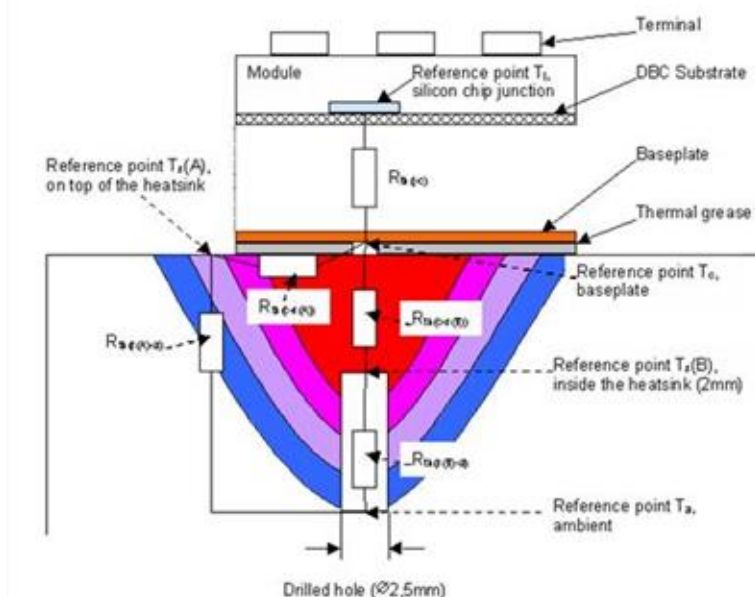
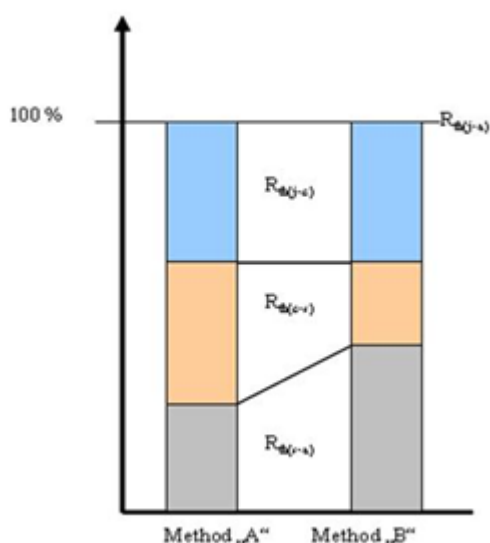


図 9: 各測定法に対する熱抵抗値 R_{th} の比較



熱抵抗測定およびデータシートの理解に関するその他の情報については、以下を参照して下さい。

- M. Freyberg, U. Scheuermann, "Measuring Thermal Resistance of Power Modules"; PCIM Europe, May, 2003
- Dr. Arendt Wintrich, "Comparing the Incomparable"; Bodo's Power Systems® March 2011

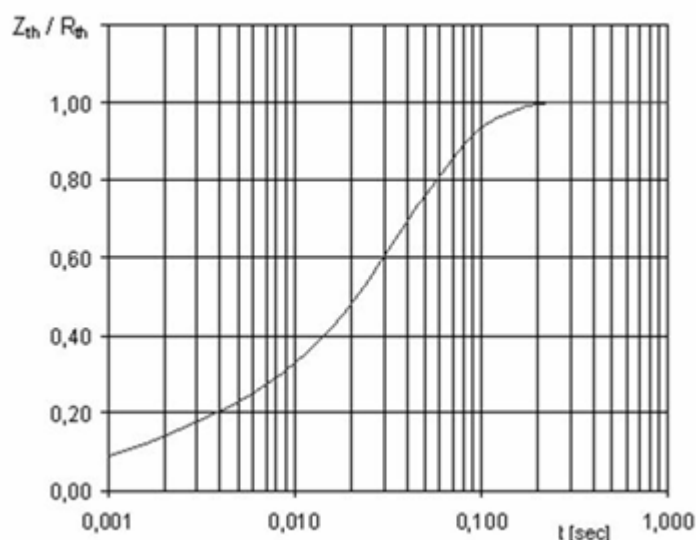
3.2 過渡熱インピーダンス

低温状態のモジュールをスイッチングオン時、熱抵抗 R_{th} はデータシートの定常値よりも低い値を示します。この現象はパッケージ内部の熱容量により生じます。

動作中の損失による熱エネルギーにより熱容量は飽和し、この過程で熱抵抗は上昇します。それは過渡熱抵抗インピーダンス Z_{th} と呼ばれます。熱容量全体が飽和し、熱エネルギーが周囲に放出されると過渡熱抵抗 Z_{th} はデータシートの定常値 R_{th} に到達します。

この動作の利点はパワーモジュールの短時間過電流耐量です。

図 10: 接合-ケース間過渡熱インピーダンス例



セмикロンはモジュールの認証プロセスに於いて、過渡熱抵抗特性を測定します。この測定に基づいて数値モデルが導かれ、次の様な式(3-2)になります。

$$Z_{th}(t) = R_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) + R_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) + \dots + R_n \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}} \right) \quad (3-2)$$

SEMIPACK モジュールの係数 R_n 、 τ_n については、お問い合わせ下さい。

3.3 電気的特性

[] 内の項目はサイリスタのみに適用。

3.3.1 絶縁耐圧 V_{isol}

SEMIPACK®モジュールの絶縁耐圧は、端子-ベースプレート間の絶縁に関する保証値です。データシートに規定された V_{rms} の限界値 1 秒印加試験を 100%実施しています。

絶縁耐圧試験中、ゲートを含む全ての端子を相互に接続して下さい。絶縁耐圧試験電圧の規格は IEC publications IEC 60146-1-1、EN 60146-1-1 (VDE 0558-11)、EN 50 178 (VDE 0160)および UL 1557 に規定されています。電鉄車両用途向けの場合、IEC 61287-1 標準をご参照下さい。

3.3.2 ピーク非繰り返し逆電圧 V_{RSM} ; [ピーク非繰り返しオフ電圧 V_{DSM}]

非繰り返し、頻度が低いピーク過渡電圧の最大許容値。

3.3.3 ピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM} および[ピーク繰り返しオフ電圧 V_{DRM}]

繰り返し過渡逆電圧およびオフ電圧の最大許容値。

3.3.4 直流逆電圧 V_R

ダイオード(V_R)[またはサイリスタ(V_D , V_R)]の定常的な直流逆電圧の最大許容値です。この値は $0.7 V_{RRM}$ [$0.7 V_{DRM}$]となります。

3.3.5 平均順[オン]電流 I_{FAV} 、 $[I_{TAV}]$

記号 I_{FAV} 、 $[I_{TAV}]$ は通常平均電流および限界電流に対して用いられます。限界値は規定の電流波形および冷却条件(例: ケース温度 T_C)に於けるダイオード[サイリスタ]のオン電流の絶対最大連続値です。この電流値に於いて、接合温度は最大許容値であり、過負荷やワーストケースに対するマージンはありません。従って、推奨最大連続電流は約 $0.8 I_{TAV}$ です。動作周波数 40 Hz ~ 200 Hz に対する最大平均オン電流は、データシートの Fig. 1 より読み取る事ができます。一般整流用ダイオードおよびサイリスタが動作周波数 200 Hz ~ 500 Hz で使用される場合、スイッチング損失は無視できなくなり、それを補うさらなる電流のデレーティングが必要です。

3.3.6 RMS 順[オン]電流 I_{FRMS} 、 $[I_{TRMS}]$

記号 I_{FRMS} 、 $[I_{TRMS}]$ は平均電流および電流限界に対し用いられます。限界値は全ての電流波形および冷却条件に於ける連続オン電流の絶対最大値です。

3.3.7 サージ順[オン]電流 I_{FSM} 、 $[I_{TSM}]$

単相正弦半波幅 10 ms サージ電流のピーク値です。規定のサージ電流以下の非繰り返し電流サージが流れた直後、ダイオード[サイリスタ]はデータシートの図 8 または図 16 に規定した逆電圧に耐える事ができます。

3.3.8 サージ電流特性 $I_{F(ov)}$ 、 $[I_{T(ov)}]$

正弦半波電流幅 1 ms ~ 10 ms または最大幅 10 ms の複数正弦半波電流のピーク値で、非繰り返しの条件に於いてのみ許容され、ダイオード[サイリスタ]には、この電流がしばしば流れます。サイリスタは過負荷電流が流れている間、制御不可能になります。過負荷電流は素子に印加される逆電圧に依存します(データシートの図 8 または図 16 参照)。

3.3.9 i^2t

この値は回路を短絡による損傷から保護する為の、適切なヒューズの選定に役立ちます。接合温度 25 °C および 125 °C に対し、規定されます。対象となる入力電圧および予想される素子の短絡に対するヒューズの i^2t は、ダイオード[サイリスタ]の 10 ms に於ける i^2t より低くなければなりません。動作温度が上昇すると、ヒューズの i^2t はダイオード[サイリスタ]の i^2t に比べ急激に低下します。一般的に 25 °C に於けるダイオード[サイリスタ]の i^2t と、(無負荷状態の)ヒューズの i^2t との比較で十分です。

i^2t はサージオン電流 I_{TSM} より、次の式を用いて計算で求められます。

$$\int_0^{t_{hw}} i_{TS}^2 dt = I_{TSM}^2 \cdot \frac{t_{hw}}{2} \quad (3-3)$$

t_{hw} は規定の正弦半波 I_{TSM} の幅です。50 Hz では $t_{hw}/2 = 0,005$ s となります。10%高い I_{TSM} は t_{hw} が小さい分相殺され、60 Hz、50 Hz の i^2t は実質的に同じ値になります。

$$t_{hw} : 1.1^2 \cdot 8.3 \approx 10$$

3.3.10 臨界オン電流上昇率 $(di/dt)_{cr}$

サイリスタのターンオン直後はチップの一部分に電流が集中する為、オン電流上昇率が制限されます。臨界値は次の条件に於いて規定されます。50 Hz ~ 60 Hz の繰り返し負荷、許容正弦半波オン電流の波高値に対するピーク電流、1 A/ μ s 以上の上昇率を有するゲートトリガ電流の 5 倍のピークゲート電流の 3 つです。臨界オン電流上昇率は周波数の増加とともに低下し、ピークオン電流が下がると上昇します。従って、周波数が 60 Hz 以上で電流上昇率が高い場合、ピークオン電流はデータシートの規定値以下にする必要があります。

3.3.11 臨界オフ電圧上昇率 $(dv/dt)_{cr}$

オフ電圧が $0.66 V_{DRM}$ に於ける指数関数上昇率として規定されます。この値を超えると、サイリスタはブレイクオーバーして自己点弧に至ります。

3.3.12 直流逆[オフ]電流 I_{RD} $[I_{DD}]$

規定の温度および電圧に於ける最大逆電流[オフ]電流です。この値は指数関数的に温度に依存します。

3.3.13 直流順[オン]電圧 V_F [V_T]

25 °C に於ける規定の電流に対する主端子間の最大順電圧です。

3.3.14 閾値電圧 $V_{T(To)}$ [$V_{T(To)}$]および順[オン]特性傾斜抵抗 r_T

この 2 つの値は順特性(上限値)を規定し、これを使用して順損失 $P_F[P_T]$ または平均順損失 $P_{FAV}[P_{TAV}]$ を計算します。

$$P_{F[T]} = V_{T(To)} * I_{F[T]} + r_T * i_{F[T]}^2$$

$$P_{F[T]AV} = V_{T(To)} * I_{F[T]AV} + r_T * I_{F[T]RMS}^2$$

$$I_{F[T]RMS}^2 / I_{F[T]AV}^2 = 360^\circ / \Theta$$

方形波パルス

$$I_{F[T]RMS}^2 / I_{F[T]AV}^2 = 2.5 \text{ or}$$

$$I_{F[T]RMS}^2 / I_{F[T]AV}^2 = (\pi/2)^2 * 180^\circ / \Theta$$

正弦半波[一部]

Θ : 通電角

$i_{F[T]}$: 瞬時順電流

$I_{F[T]RMS}$: RMS 順[オン]電流

$I_{F[T]AV}$: 平均順[オン]電流

3.3.15 [ラッチング電流 I_L]

ゲートトリガパルス 10 μ s の終端で、サイリスタがオン状態を維持する為のオン電流の最小値です。この値は“オン電流上昇率”で規定されたトリガ条件に適合します。

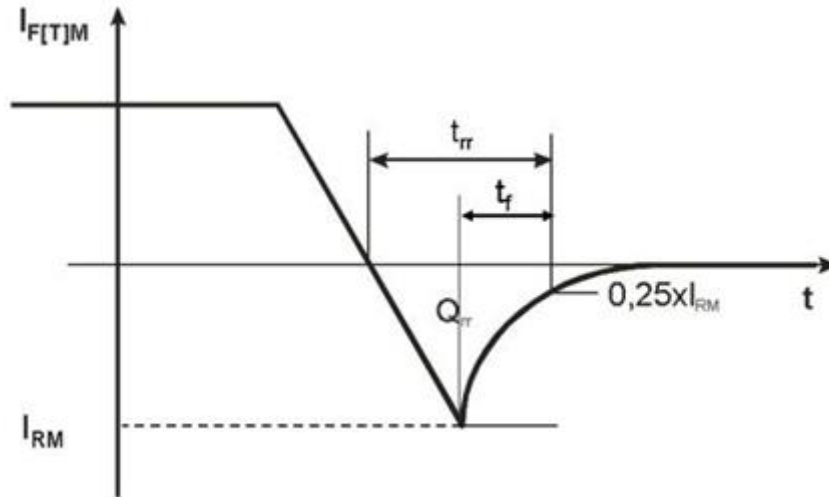
3.3.16 [保持電流 I_H]

25 °C に於いてサイリスタがオン状態を維持する為のオン電流の最小値です。25 °C 以下でサイリスタがオンした場合、この値は大きくなります。

3.3.17 逆回復電荷 Q_{rr}

Q_{rr} は逆回復時間 t_{rr} に於ける転流時に主回路に流れる電荷(電流一時間面積)の総量です。データシートの関連特性は、この値の転流前の順電流 I_{FM} [I_{TM}] および順電流下降率 di/dt (図 11 参照)に対する依存性を示しています。

図 11: ダイオード/サイリスタのターンオフ期間に於ける電流波形



t_{rr} 、 Q_{rr} 、下降時間 t_f およびピーク逆回復電流 I_{RM} (図 11 参照)間に於いて、以下の様な関係が存在します。

$$\begin{aligned} t_{rr} &= I_{RM} / (- di_F[T]/dt) + t_f \\ t_{rr} &= \text{SQR} (2 * Q_{rr} / (- di_F[T]/dt) + t_f^2 / 4) + t_f / 2 \\ I_{RM} &= 2 * Q_{rr} / t_{rr} \\ I_{RM} &= \text{SQR} (2 * Q_{rr} * (- di_F[T]/dt) + t_f^2 / 4 * (- di_F[T]/dt)^2) - t_f / 2 * (- di_F[T]/dt) \end{aligned}$$

順電流 $I_F [I_T]$ の下降時間が遅い場合、 t_f は t_{rr} に比べ小さくなるので、式は以下の様に簡単になります。

$$\begin{aligned} t_{rr} &= \text{SQR} (2 * Q_{rr} / (- di_F[T]/dt)) \\ I_{RM} &= \text{SQR} (2 * Q_{rr} * (- di_F[T]/dt)) \end{aligned}$$

3.3.18 [転流ターンオフ時間 t_q]

転流ターンオフ時間の範囲は数 100 μs で、サイリスタに再びオフ電圧を印加する為に必要な時間です。この値は転流電圧が 0 を横切る時点より、オフ電圧を印加できるまでの最短時間と定義されます。AC コンバータ用のサイリスタでは、転流ターンオフ時間は通常、重要ではありません。従って、データシートでは標準値のみの提示で、保証値はありません。

3.3.19 [ゲートトリガ電圧 V_{GT} およびゲートトリガ電流 I_{GT}]

方形波トリガパルス幅 100 μs または DC で、主端子間に 6 V を印加した場合の最小値です。トリガパルス幅が 100 μs 以下の場合、これらの値は大きくなり、例えば 10 μs では、ゲートトリガ電流 I_{GT} は 1.4~2 倍に増加します。従って、 I_{GT} の 4~5 倍のゲートトリガ電流が流れる様に、ゲート点弧回路を設定する必要があります。サイリスタに逆電圧が印加されている期間中、オフ状態損失の許容以上の増加やサイリスタチップのホットスポットを避ける為、ゲートに電圧が印加されない様にします。

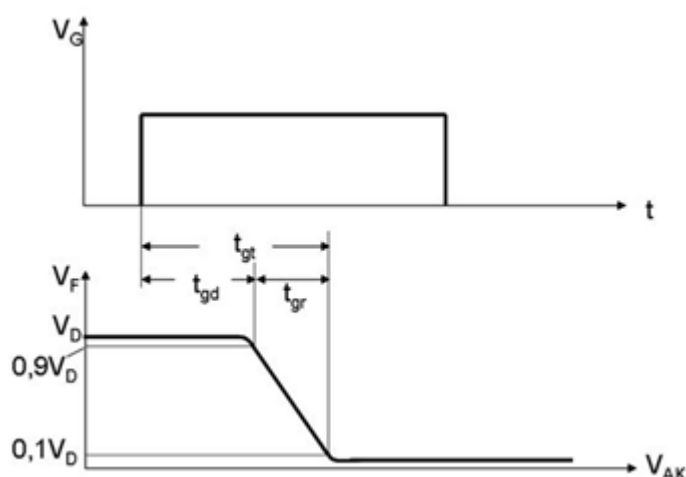
3.3.20 [ゲート非トリガ電圧 V_{GD} およびゲート非トリガ電流 I_{GD}]

このトリガ電圧および電流は許容動作温度の範囲に於いて、サイリスタを点弧しません。トリガ回路に於いて誘導または容量によるノイズは、この値以下にする必要があります。

3.3.21 [トリガ時間]

図 12 は、ゲートトリガ過程のゲートトリガ信号 V_G とアノード-カソード電圧 V_{AK} との時間の定義を示しています。

図 12: サイリスタのトリガ時間



3.3.22 [ゲート制御遅れ時間 t_{gd}]

トリガパルスの立上りとアノード-カソード間電圧が初期値の 90 %に下降するまでの時間です。データシートでは、以下の条件に於ける標準値が規定されています。

- 方形波ゲートパルス 幅 100 μ s
- アノード-カソード間電圧 0.5 V_{DRM}
- ターンオン後のオン電流 約 0.1 I_{TAV} @ 85 °C
- ターンオン中の接合温度 約 25 °C

3.3.23 [ゲート制御立上り時間 t_{gr}]

ターンオン中、アノード-カソード電圧が初期値の 90 %から 10 %に下降するまでの時間です。

3.3.24 [ゲート制御ターンオン時間 t_{gt}]

ゲート制御遅れ時間 t_{gd} とゲート制御立上り時間 t_{gr} の和です。

3.3.25 熱抵抗 $R_{th(x-y)}$ および熱インピーダンス $Z_{th(x-y)}$

SEMIPACK モジュールでは、熱抵抗/インピーダンスは位置"x"と"y"間の熱流に対し規定されます。使用される添字は以下の通りです。

- j - 接合
- c - ケース/ベースプレート
- s - ヒートシンク
- r - 基準点
- a - 周囲

ケース-ヒートシンク間の接触熱抵抗 $R_{th(c-s)}$ は組付け方法の条件に従って適用します。この場合、接合-ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ の電流波形および通電角の依存性は、計算による平均接合温度に対する最大瞬時値を考慮しなければなりません。データシート

の規定値は正弦波のみに適用します。他の電流波形に対してはデータシートの図より得られます。

データシートの図 1 および図 11 に使用されている接合一周間熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ は以下の式が成立します。

$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + R_{th(c-s)} + N * R_{th(s-a)}$$

N は 1 個のヒートシンク上で、同時に動作するサイリスタまたはダイオードの数量です。

ヒートシンクの熱抵抗 $R_{th(h-a)}$ は次の項目が増加すると減少します。損失、冷却風量、SEMIPACK®モジュールの数量およびモジュール間の距離。

SEMIPACK®モジュールの過渡熱抵抗 $Z_{th(j-c)}$ および $Z_{th(j-s)}$ はデータシートの図 6 および図 14 に時間関数として示されています。1 秒以上では熱抵抗全体を計算する為に、ヒートシンクの過渡熱抵抗を加える必要があります。この為、セミクロンのヒートシンクのデータシートは、時間 t の関数として過渡熱抵抗 $Z_{th(s-a)}$ または $Z_{th(c-a)}$ の特性図を含んでいます。1 個のヒートシンクに複数のモジュールを組付け、1 モジュールの過渡熱抵抗を計算する場合、ヒートシンクの熱抵抗はモジュールの個数 N を乗じなければなりません。

3.3.26 温度

限界値の計算で最も重要な基準は最大許容接合温度 T_j です。回路故障時に(例、ヒューズの動作時)、これを短時間超過する事が多くあります(参照、“サージオン電流”)。許容電流に対する他の重要な基準点はケース温度 T_c です。SEMIPACK®モジュールでは、 T_c (基準点/基準点温度 T_{cref})の測定箇所は高温チップ直下のベースプレートの最も温度が高い所で、ヒートシンクの穴を通して測定します。ヒートシンク温度 T_s は損失およびヒートシンクの規定に密接な関係があります。SEMIPACK®モジュールでは、 T_s (基準点/基準点温度 T_{sref})の測定箇所はベースプレートに近いヒートシンクの最も温度が高い所で、モジュールの側面上方より測定します(IEC 60747-1 および IEC 60747-15 参照)。電流または電圧ストレスの印加がない場合の許容周囲条件として、特に最大許容保存温度 T_{stg} が記載されています。パラメータ T_{stg} は最大許容ケース温度にも適用され、モジュール内部または外部の温度上昇はこれを超えてはなりません。

3.3.27 機械的特性

機械的特性項目はデータシートに規定されています。

M_s : ヒートシンクの最大締付けトルク

M_t : 端子の最大締付けトルク

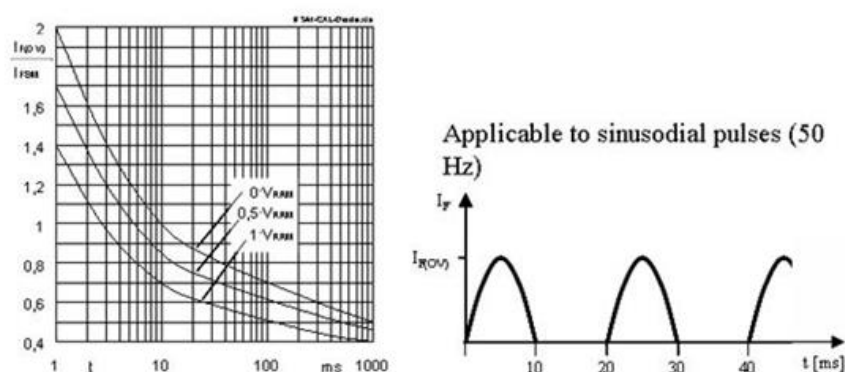
a : x、y および z 軸方向の振動または衝撃加速度の最大許容値

ハードモールドなしの SEMIPACK®モジュールが回転機に使用されると、ソフトモールドが分離、漏洩する可能性がありますので、この用途についてはセミクロンにお問合せ下さい。

4. 認証

4.1 サージ過電流

図 13: サージ過電流－時間



故障条件に於いて、時間 t の関数としてサージオン電流 I_{TSM} に対し、正規化した許容過電流 $I_{T(OV)}$ 。パラメータはサージ電流が流れ終わった直後に印加されるピーク逆電圧です。グラフで 10 ms より長い時間については、16.6 または 20 ms 毎に 8.3 または 10 ms の連続する正弦半波電流を示します。

0 $\cdot V_{RRM}$: 逆電圧 0

$1/2 \cdot V_{RRM}$: ピーク繰り返し逆電圧定格の 1/2 の電圧を印加

1 $\cdot V_{RRM}$: ピーク繰り返し逆電圧定格の 100% の電圧を印加

4.2 絶縁耐圧試験

SEMIPACK モジュールの絶縁耐圧は端子－ベースプレート間絶縁耐圧の保証値です。定格 4.8 kV_{rms} 1 秒間の試験を 100% 実施しています。

試験中、ゲートを含む全ての端子を相互に接続して下さい。最終製品の絶縁耐圧試験の電圧規格は IEC publications IEC 60146-1-1 に記載されています。

4.3 温度依存試験

外部接触はシリコンチップに比べかなり高い熱膨張係数を有しているので、温度サイクル試験がこの外部接触にストレスを与える事は明かです。同様に、内部接触の負荷サイクルに対する耐性を確認するには適切な試験となります。熱サイクルによるエンキャップ中のリークを試験する場合、上述と同じ方法を使用します。試験後、接触がストレスに耐えたかどうかの判定は熱抵抗を測定して行います。さらに、順方向および逆方向の特性を測定します。

4.4 パルス負荷、一定の冷却条件に於ける熱サイクル負荷試験

供試素子が均一に加熱冷却される限り、素子を外部から加熱冷却する試験は実動条件とは異なります。一方で、実際にはチップと外部の間に様々な温度勾配が生じます。従って、特に開発された新製品の型式試験に対しては、追加試験が推奨されます。それは実際の動作環境で発生するストレスに近いストレスを印加し、多くのサイクル数を短時間で実現する試験です。これを実現する為、供試素子を水冷ヒートシンクに密接させ、ケース温度を一定に保ち、短い大電流パルスを通し、チップが周期的に最大許容接合温度になる様に加熱します。パルス間隙で接合温度は急速に低下します。この試験方法に於いて、チップ－組付け面間に高い温度勾配が生じます。

4.5 標準認証試験

試験項目の目的

1. 一般的な製品品質および信頼性の確認
2. ストレス試験に於ける、条件変更による設計限界の評価
3. 製造プロセスの整合性および予測可能性の確認
4. プロセスおよび設計変更による信頼性に対する影響評価

以下の表は標準認証試験項目です。

図 14: セмикロン標準製品認証試験

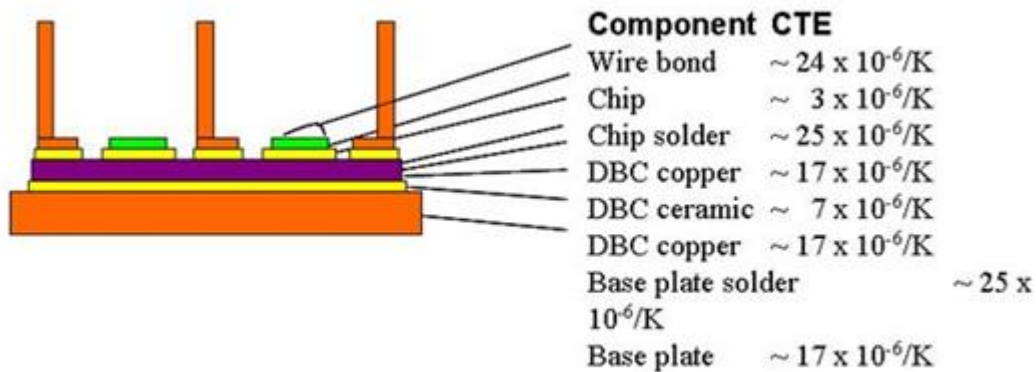
	Standard Test Conditions for	
Reliability Test	MOS / IGBT Products:	Diode / Thyristor Products:
High Temperature Reverse Bias (HTRB) <i>IEC 60747</i>	1000 h, 95% V_{DSmax}/V_{CEmax} , $125^{\circ}C \leq T_c \leq 145^{\circ}C$	1000 h, DC, 66% of voltage class, $105^{\circ}C \leq T_c \leq 120^{\circ}C$
High Temperature Gate Bias (HTGB) <i>IEC 60747</i>	1000 h, $\pm V_{GSmax}/V_{GEmax}$, T_{vjmax}	not applicable
High Humidity High Temperature Reverse Bias (THB) <i>IEC 60068-2-67</i>	1000 h, 85°C, 85% RH, $V_{DS}/V_{CE} = 80\%$ V_{DSmax}/V_{CEmax} , max. 80V, $V_{GE} = 0V$	1000 h, 85°C, 85% RH, $V_D/V_R = 80\%$ V_{Dmax}/V_{Rmax} , max. 80V
High Temperature Storage (HTS) <i>IEC 60068-2-2</i>	1000 h, T_{stgmax}	1000 h, T_{stgmax}
Low Temperature Storage (LTS) <i>IEC 60068-2-1</i>	1000 h, T_{stgmin}	1000 h, T_{stgmin}
Thermal Cycling (TC) <i>IEC 60068-2-14 Test Na</i>	100 cycles, $T_{stgmax} - T_{stgmin}$	25 cycles, 100 cycles (capsule) $T_{stgmax} - T_{stgmin}$
Power Cycling (PC) <i>IEC 60749-34</i>	20.000 load cycles, $\Delta T_j = 100K$	10.000 load cycles, 20.000 load cycles (capsule) $\Delta T_j = 100K$
Vibration <i>IEC 60068-2-6 Test Fc</i>	Sinusoidal sweep, 5g, 2 h per axis (x, y, z)	Sinusoidal sweep, 5g, 2 h per axis (x, y, z)
Mechanical Shock <i>IEC 60068-2-27 Test Ea</i>	Half sine puls, 30g, 3 times each direction ($\pm x, \pm y, \pm z$)	Half sine puls, 30g, 3 times each direction ($\pm x, \pm y, \pm z$)

上記の品質試験や特定試験結果の詳細についてはお問合せ下さい。全体説明はお客様向けのプレゼンテーションがございます。SEMIKRON SEMIPACK® Product Management にお問い合わせ下さい。

4.6 寿命計算

パワーモジュールの寿命はパッケージの機械的疲労により制限されます。この疲労は熱膨張率 (CTE) の差で生じる機械的ストレスが要因です。これは、加熱 (パワーオン) および冷却 (パワーオフ) の温度変化 (パワーサイクル) に於いて、各材料は CTE が異なる為、別々に膨張する事を意味します。しかし、各材料は結合している為に、自由に膨張する事はできず、前述の熱による機械的ストレスに繋がります。

図 15: SEMIPACK パッケージ断面図と 20 °C に於ける熱膨張率



温度が変化すると、異なる材料層の内部に生じる機械的ストレスは材料の疲労に繋がります。温度差 (ΔT) が大きい程、ストレスは増大し、温度サイクル毎に経年変化します。特にワイヤーボンドおよびはんだ層がこの影響を受けます。経年変化により、エッジ部で微小クラックが生じ、パワーサイクル毎に材料の中心方向に増大します。中間温度 T_{jm} が高い程、活性エネルギーが高い為、クラックの成長は速くなります。

市場から戻入された代表的な不具合品は、ボンディングワイヤーの剥離です。これはクラックが中心部に達し、接続部をオープンにし、ワイヤーボンドが緩んだ状態です。

寿命はモジュールが耐えられる温度サイクル数で決まります。1990 年代、“LESIT study”として知られている調査プロジェクトを含む研究が集中的に行われました。この調査の主な成果は以下の(4-1)式で、サイクル数 N_f 、接合温度差 ΔT_j と中間温度 T_{jm} の関係を示しています。

SEMIPACK モジュールは LESIT study に於いて調査されたモジュールと同じ設計に基づいています。これにより、LESIT の結果は寿命推定に適用可能です。パワーモジュールの信頼性は LESIT study が完了した以降、改善されました。その為、式(4-1)の結果は最悪の状態を想定しています。

$$N_f = A \times \Delta T_j^\alpha \times \exp\left(\frac{E_a}{k_B \times T_{jm}}\right) \quad (4-1)$$

図 17: 試験結果に基づいた、はんだ接続モジュールの“LESIT”曲線に対応する補正パラメータ

$A = 3.025 \times 10^5$

$\alpha = -5.039$

$E_a = 9.891 \times 10^{-20} \text{ [J]}$

k_B = ボルツマン定数; ΔT_j and T_{jm} in [K]

図 17: 試験結果に基づいた、はんだ接続モジュールの“LESIT”曲線は、LESIT study の試験結果(点)と(4-1)式を直線で示しています。

図 16: T_{jm} および ΔT_j の例

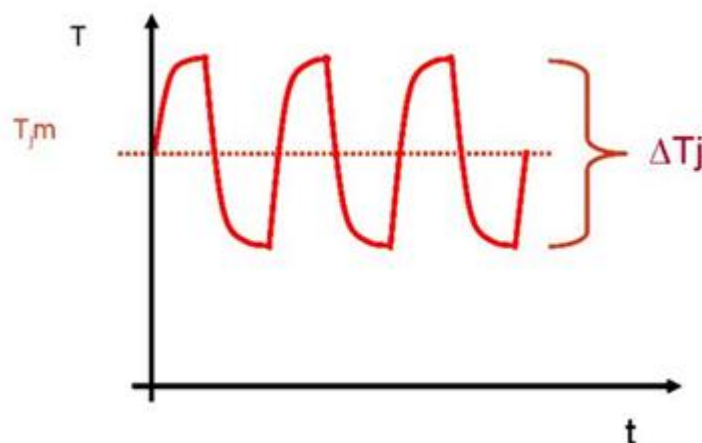


図 17: 試験結果に基づいた、はんだ接続モジュールの“LESIT”曲線

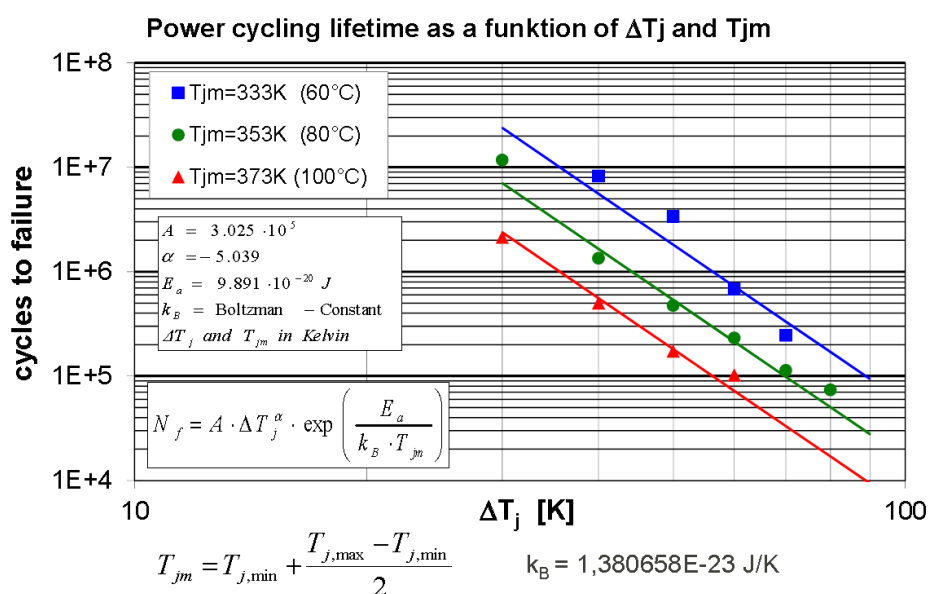
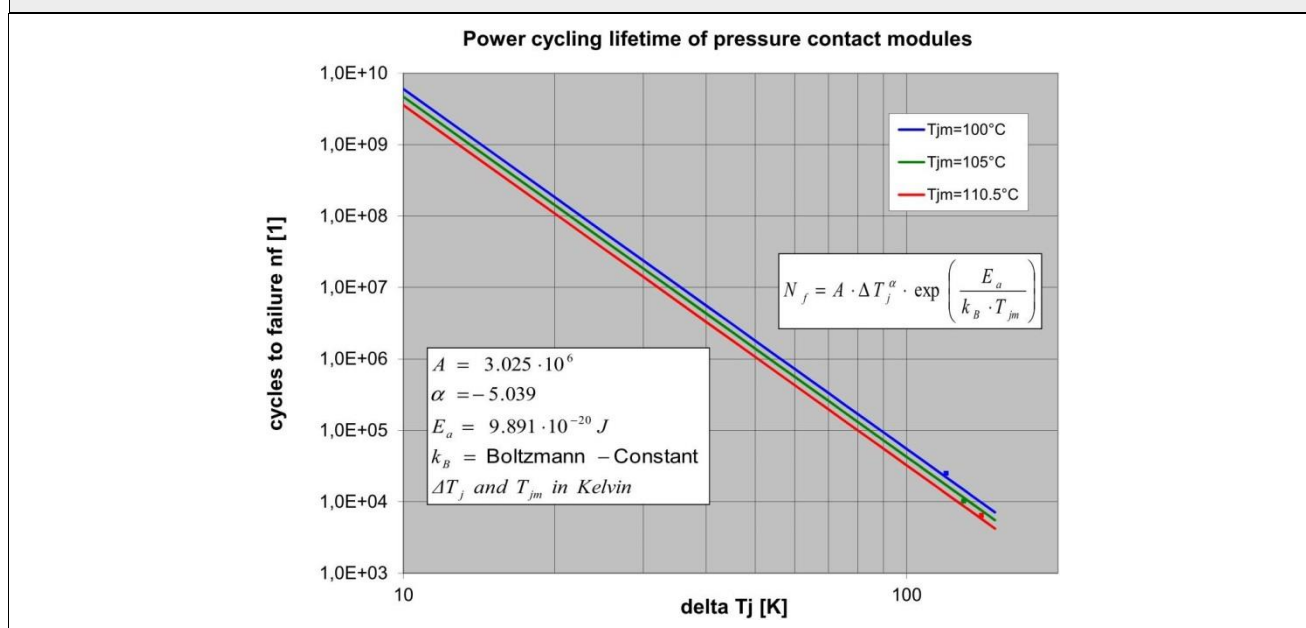


図 18: 試験結果に基づいた、圧接モジュールの“LESIT”曲線*



* 寿命曲線の基本データは限界があります。

パワーモジュールの寿命計算の詳細については、M. Held et.al., “Fast Power Cycling Tests for IGBT Modules in Traction Application”; Proceedings PEDS, pp 425 – 430, 1997 [4]を参照して下さい。

5. アプリケーション

[]の項目はサイリスタのみに適用されます。

5.1 電圧クラスの選択

下表は SEMIPACK®モジュールのピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM} [V_{DRM}]に対する推奨電圧クラス分けおよび定格 AC 入力電圧 V_{VN} を示しています。

図 19: ピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM} [V_{DRM}]に対する推奨電圧クラス分け

Rated AC voltage L-L	Recommended peakreverse voltage
V_{DRM}	$V_{RRM}, [V_{DRM}] / V$
60	200
125	400
250	800
380	1200
400	1400
440	1400
460	1600
500	1600
575	1800
660	2200
690	2200

技術説明に詳述されている通り、ダイオード(V_R) [またはサイリスタの(V_D , V_R)]の定常動作に於ける DC 逆電圧(連続印加)の最大許容値は $0.7 V_{RRM}$ [$0.7 V_{DRM}$]です。

5.2 過電圧保護

単結晶の半導体デバイスは過電圧に対し、影響を受けやすい事はよく知られています。規定の逆電圧を超えると、破壊に繋がる可能性があります。従って、ダイオードおよびサイリスタを過電圧から保護する必要があります。過渡電圧は半導体デバイスの最大定格値以下に減少させなければなりません。

上記の電圧の抑制に対し、十分に試作、評価された様々な適合部品があります。

最重要部品:

- 抵抗およびコンデンサ(RC スナバー回路)
- バリスタ
- アバランシェダイオード

RC 回路は現存するインダクタンスと直列共振回路を形成し、立ち上りが鋭い過渡電圧を低振幅の減衰正弦波に変えます。過渡電圧は幅が短くピーク値が高い波形から、幅が長くピーク値が低い波形に変換されます。

上記の全ての部品は非線形の特性を活用します。その内部抵抗は印加電圧が増加すると減少する為、他の抵抗およびインダクタンスと共に非線形分圧器を形成します。これは低電圧を減衰させずに通しますが、規定のレベル以上の高電圧をカットします。過渡電圧エネルギーは再び長期間に拡がり、電圧抑制部品により、ほとんど完全に吸収されます。

電圧抑制部品はダイオードまたはサイリスタスタックの AC 側、DC 側または回路中の半導体デバイスの両端に配置されます。これらの様々な配置の有利および不利は、電圧抑制部品のタイプ毎に考慮されます。

RC スナバー回路はダイオード(サイリスタ)に並列に接続されますが、バリスタが使用される場合もあります。RC 回路により転流期間中、電圧上昇率は制限され、回路のインダクタンスによるピーク電圧は低減されます。

高度の回路要求に対し、RC 回路はまず実験的に試験されなければなりません。下表は標準ライン電圧に対するセミクロンの推奨抵抗およびコンデンサの例を示しています。

表 4: 推奨抵抗およびコンデンサの例				
	$V_{VN} \leq 250V$	$V_{VN} \leq 400V$	$V_{VN} \leq 500V$	$V_{VN} \leq 660V$
SKKx15 ... 27	0.22 μ F 68 Ω / 6W	0.22 μ F 68 Ω / 6W	0.1 μ F 100 Ω / 10W	- -
SKKx42 ... 107	0.22 μ F 33 Ω / 10W	0.22 μ F 47 Ω / 10W	0.1 μ F 68 Ω / 10W	0.1 μ F 100 Ω / 10W
SKKx122 ... 260 (ヒートシンク P3)	0.22 μ F 33 Ω / 10W	0.22 μ F 47 Ω / 10W	0.1 μ F 68 Ω / 10W	0.1 μ F 100 Ω / 10W
SKKx122 ... 260 (大電流)	0.47 μ F 33 Ω / 25W	0.47 μ F 33 Ω / 25W	0.22 μ F 47 Ω / 25W	0.22 μ F 68 Ω / 50W

5.3 過電流および短絡保護

ダイオード、[サイリスタ]を短絡から保護する場合、(超高速)半導体ヒューズが使用されます。これらは順電流および i^2t を基に選定されます。

大電流回路に於ける他の保護手段は、並列接続の損傷ダイオード[サイリスタ]を切り離す為にヒューズを使用します。非許容大電流から素子を保護する為に、ヒートシンク上の温度センサーによる電磁または熱開閉器の使用が可能です。これらは回路の過電流は検出しません。この為、ファンの故障時、ダイオード[サイリスタ]の損傷から保護する為に、温度センサーが主に強制空冷に使用されます。

5.4 許容過電流

短時間または間欠動作や周波数 40 Hz 以下の許容電流は過渡熱抵抗、またはパルス条件に対する熱抵抗を基に計算されるので、接合温度 T_j はいかなる条件に於いても最大許容値を超える事はありません。

5.5 応用上、よくある質問

5.5.1 SKKT... と SKKT...B の違い

質問: SEMIPACK サイリスタモジュールで追加記号 B の有無の違いは(例 SKKT57 と SKKT57B)。

回答: 違いは SEMIPACK1 の 4 個の補助端子、ゲート(G)および補助カソード端子(K)の配置です。

SKKT20 ... SKKT107 : G1/K1 G2/K2
SKKT20B ... SKKT107B : G1/K1 K2/G2

5.5.2 高周波動作に於ける電流ディレーティング

質問：高周波動作時、電流のディレーティングは必要ですか。

回答：周波数 16.66Hz ~ 400Hz では、ディレーティングなしでダイオード、サイリスタを整流用として使用可能です。この周波数以上では、通常、無視できるスイッチング損失を考慮して、ディレーティングが必要です。

5.5.3 MTBF

故障率はシステムや部品が故障する頻度で、例えば時間当たりの故障数で示されます。それは、しばしばギリシャ文字 λ で示され、信頼性理論では重要です。

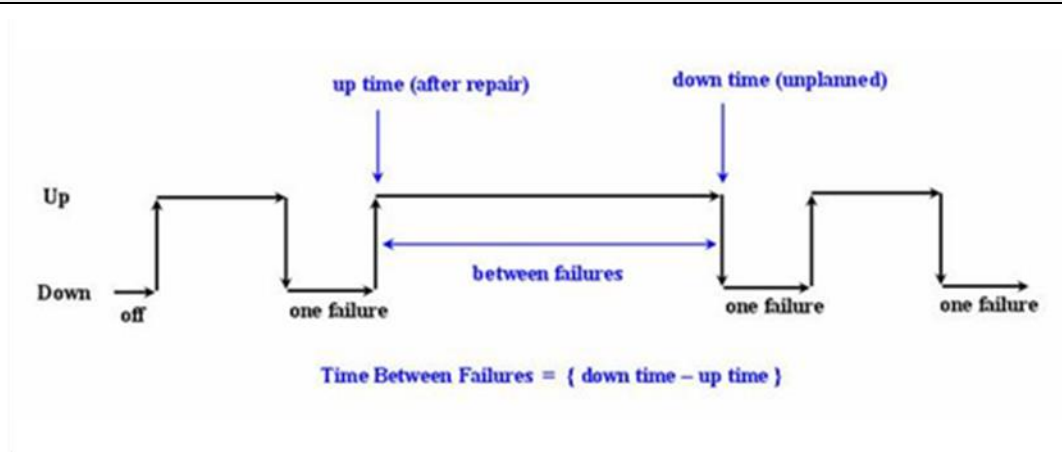
$$\lambda = \text{FIT} = \frac{n_f}{N \cdot t}$$

n_f - 実際の故障数

N - 実際の部品数

t - 観測時間

図 20: 信頼性を計算する為の条件



通常、高品質部品やシステムについては MTBF の逆数がよく示され、使用されます。

MTBF (Mean time between failures)はシステムの故障間平均時間で、素子が修理不能の場合、初期の故障や寿命を含まない有効寿命として、しばしば扱われます。MTBF の計算は、故障の度に置き換え、直ちに復帰する事を想定しています。故障後、復帰するまでの平均時間は平均停止時間(MDT)または平均修復時間(MTTR)と称されます。

詳細: http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_Time_Between_Failures

以下の MTBF 数値は顧客よりの返却数に従って評価され、それについての計測は実施しません。従って、数値は単に参考値で保証する事はできません。

図 21: SEMIPACK 製品の推定 FIT および MTBF 数

Product	Fit	MTBF (x 10 ⁸ h)
Semipack 1	70	0,14
Semipack 2	50	0,2
Semipack 3	50	0,2
Semipack 4	50	0,2
Semipack 5	50	0,2

5.5.4 他メーカーでは、データシートに max. V_{GT} および I_{GT} を規定していますが、セмикロンは何故 min. V_{GT} および I_{GT} を規定しているのですか

以下の理由によりセмикロンはデータシートに I_{GT} および V_{GT} を規定しています。

"Modules-Explanations-SEMIPACK"の記述では、データシートに規定の I_{GT} および V_{GT} は 100 μ s 以上の方波トリガパルスまたは DC の最小値です。これは $T_{vj}=25^{\circ}\text{C}$ に於いてサイリスタを点弧する為に必要な値です。この為、当社は min. I_{GT} および V_{GT} をデータシートに規定しています。

他社のデータシートの max. I_{GT} および V_{GT} は最大ゲート電流/電圧と称される事があります。これはサイリスタの非点弧状態を維持する為に超えてはならない、即ちユーザーがサイリスタを点弧させない場合に於ける max. I_{GT} および V_{GT} です。

両方の定義は同じ意味で表現が異なるだけです。

5.5.5 半導体の抵抗値

抵抗計を用いて半導体の抵抗値を測定する事は不可能です。

その理由は、半導体の漏れ電流の存在と非線形特性で、これらは数 10 年に亘り変化する為です。

ゲート-カソード端子間はマルチメーターの“ダイオード”機能でチェックできますが、抵抗器機能は使用できません。

6. 組付け方法

6.1 ヒートシンクおよび表面仕様、前作業

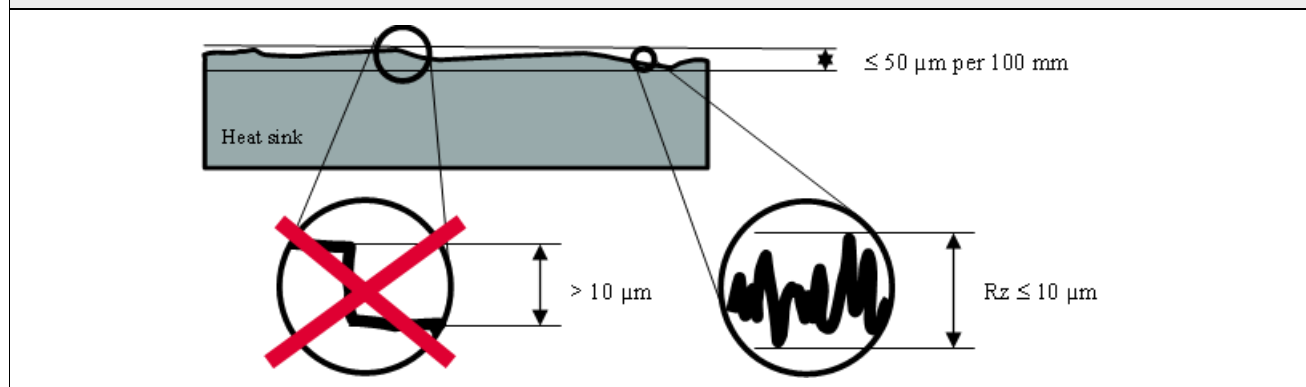
良好な熱的接続を確実にし、データシートの規定値を実現する為に、ヒートシンクの接触面の汚れやゴミを除去し、以下の仕様を満たす必要があります。組付け直前にヒートシンクの組付け表面をアルコール、例えばイソプロパノールで拭いてきれいにする事は有効です。以下の仕様を満たす必要があります。

ヒートシンク組付け面の平面度: $\leq 100 \text{ mm}$ に対し、 $50\mu\text{m}$ (DIN EN ISO 1101)

粗さ R_z : $< 10 \mu\text{m}$ (DIN EN ISO 4287)

$10 \mu\text{m}$ 以上の段差がない事 (DIN EN ISO 4287)

図 22: ヒートシンク表面仕様



6.2 サーマルペースト塗布

セмикロンは刷り込み印刷による熱伝導材料の使用を推奨します。SEMIPACK に対しては、厚さ $50 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ のサーマルペーストを推奨します。熱伝導材料の適用に関するさらに詳しい情報は、[Thermal Paste Application \(AN 18-001\)](#) [2]を参照して下さい。

ローラーの使用によるサーマルペースの塗布は、サーマルペーストの最適厚の再現性が保証できない為、推奨できません。

6.3 組付け工程

6.3.1 ヒートシンクへの組付けトルク M_S

SEMIPACKモジュールの締付けには、スチールネジ(DIN 7984-8.8)とワッシャー、バネ止めワッシャー、または組合せネジの使用を強く推奨します。規定のトルクを順守して下さい。

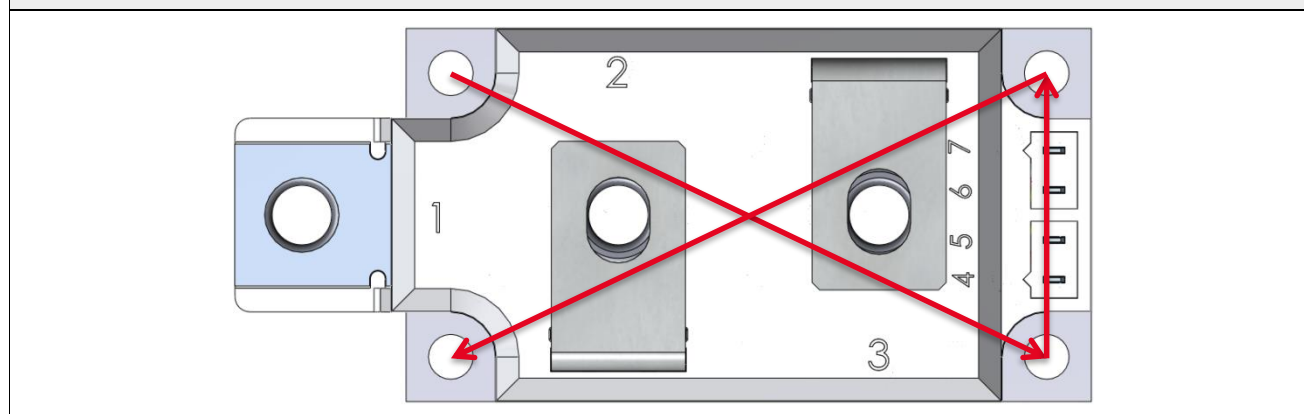
表 5: 組付け詳細

	SEMIPACK 0 はんだモジュール	SEMIPACK 1, 2 はんだモジュール	SEMIPACK 3 はんだ/ボンディング モジュール	SEMIPACK 3, 4, 5 圧接モジュール	SEMIPACK 6 圧接モジュール
組付けネジ	2 pcs M4	2 pcs M5 x 18 (DIN 7984-8.8)	4 pcs M5 x 18 (DIN 7984-8.8)	4 pcs M5 x 20 (DIN 7984-8.8)	4 pcs M6 x 20 (DIN 7984-8.8)
組付け速度	-	max. 300 rpm	max. 300 rpm	max. 300 rpm	max. 300 rpm
仮締めトルク	-	0.6 Nm	0.6 Nm	0.6 Nm	0.6 Nm
本締めトルク M_S	1.275–1.725 Nm	4.25–5.75 Nm	4.25–5.75 Nm	4.25–5.75 Nm	5.1–6.9 Nm

規定のトルクで仮締めおよび本締めを行って下さい。ネジを締める際、空気動力ドライバーで生じるトルクのピーク値を避ける為、速度を制限しソフトトルク制限を行って下さい。目盛り付のドライバー(手動ドライバーまたは電動ドライバー)を使用して下さい。

ネジは均一なトルクで規定のトルク M_S に到達するまで、数ステップで対角線上に締付けて下さい。対角線上の締付け順序例を図 23 に示します。

図 23: 締付け順序例



6.4 SEMIPACK®モジュール組付け部品

6.4.1 組付け部品

SEMIPACK® 1、2、3(ボンディングまたは圧接)および 4 用の部品キットがあります。SEMIPACK 0、5 および 6 用はありません。

表 6: SEMIPACK モジュール組付け部品

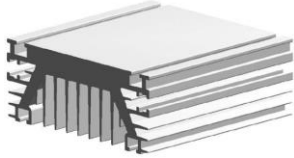
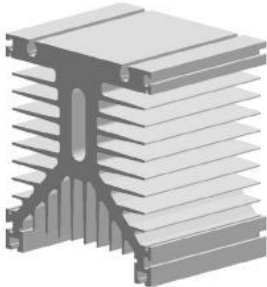
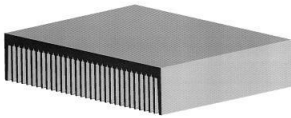
SEMIPACK®用部品	SEMIPACK® 1 a:SKKD/E b:SKKT/H/L	SEMIPACK® 2	SEMIPACK® 3 ボンディングおよび圧接 モジュール	SEMIPACK® 4
ゲート雌プラグ	b: 2 個 2.8 x 0.8	4 個 2.8 x 0.8	a: 4 個 2.8 x 0.8	2 個 2.8 x 0.8
絶縁スリーブ	b: 4 個	-	-	-
ダブルプラグキャップ	-	2 個 (右 + 左)	a: 2 個 (右 + 左)	1 個 (右)
ベースプレートネジ	2 個 M5 x 18 ソケットヘッド	2 個 M5 x 18 ソケットヘッド	a: ボンディングモジュール : 4 個 M5 x 18 ソケットヘッド b: 圧接モジュール: 4 個 M5 x 20 ソケットヘッド	4 個 M5 x 18 ソケットヘッド ヒートシンク P3 上の モジュール: 4 個 M5 x 20 ソケットヘッ ド
端子ネジ	3 個 M5 x 10 +ネジヘッド	3 個 M6 x 12 +ネジヘッド	a: 3 個 M8 x 16 六角ヘッド	2 個 M10 x 50 M10 ナット 2 個付
ワッシャー	-	(3 個 Ø6.4mm)	-	(2 個 Ø10.5mm)
バネワッシャー	-	(3 個 Ø6.4mm)	-	2 個 Ø10.5mm
キット部品 No.	モジュール 12 個 用 a: 33704200 b: 33403900	モジュール 8 個用 33404000	モジュール 3 個用 a: 33404100	モジュール 3 個用 33404500

2 つのダブルプラグキャップがあります。右側に突起があるダブルプラグキャップは、SEMIPACK 2、3、4 および 5 の端子 4、5 用で、左側に突起があるダブルプラグキャップは、SEMIPACK 2、3、5 および 6 の端子 6、7 用です。

キットは注文したモジュールのタイプにより、ベースプレート/端子用ネジ、ゲートプラグ、絶縁スリーブおよびダブルプラグキャップを含んでいます。

6.4.2 ヒートシンク

表 7: ヒートシンクタイプ

	R4A	P3	P21
			
SEMIPACK® 1	X	X	X
SEMIPACK® 2		X	X
SEMIPACK® 3		X	X
SEMIPACK® 4		X	X
SEMIPACK® 5			X
SEMIPACK® 6			X

簡単にモジュールを組付け可能なレールです。ヒートシンクには様々な長さがあります。詳細についてはウェブサイト www.semikron.com [1]のヒートシンクデータシートを参照して下さい。

7. レーザーマーキング

図 24: モジュールのレーザーマーキング

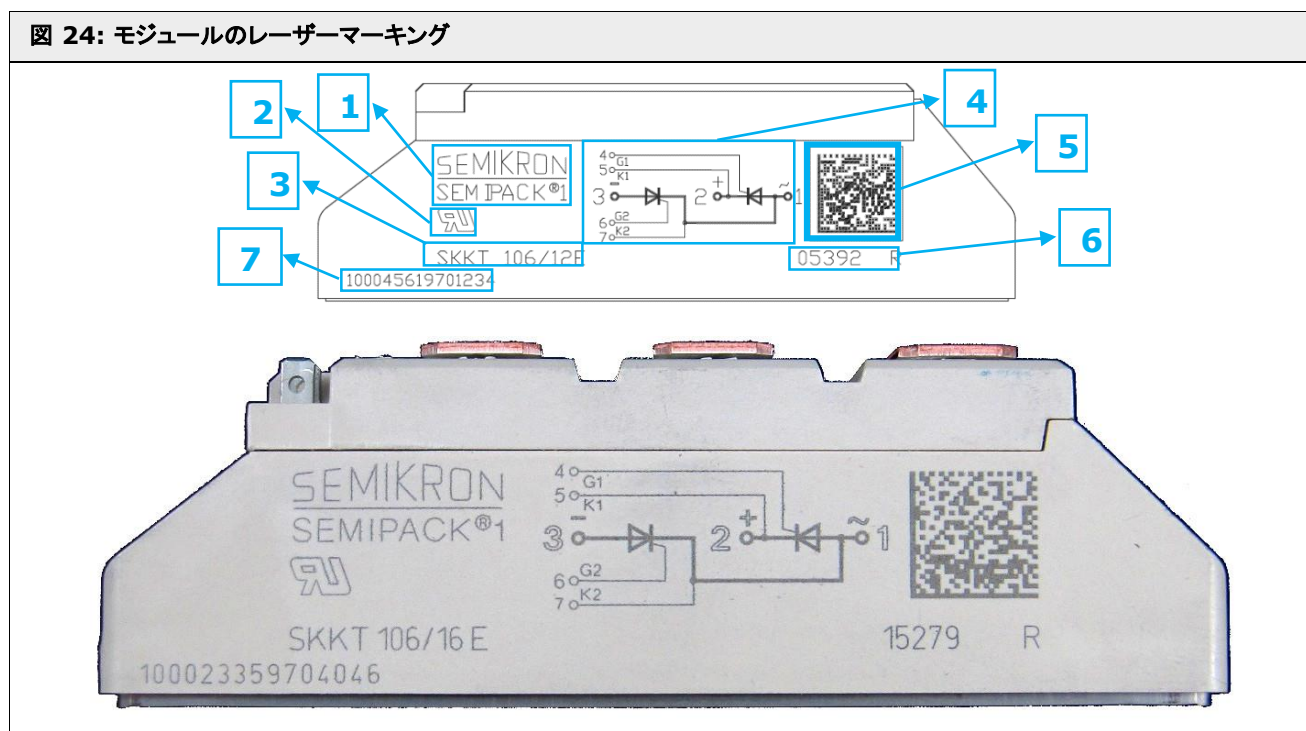


表 8: SEMIPACK 1 モジュール レーザーマーキング

1	セмикロンロゴ、製品表示 "SEMIPACK®"
2	UL ロゴ、SEMIPACK は UL 認定品です。ファイル番号: E63532
3	形名
4	回路図
5	データマトリクスデータ
6	日付 - 5 桁: YYWWL (L = 週別ロット)
7	社内コード、各モジュールには不要

8. データマトリクスコード

データマトリクスコードは以下の情報を含んでいます。

- 形名
- 製品コード番号
- ロット番号
- 試験番号
- 測定ライン番号
- 製造トラッキング番号
- 日付
- 連続ロット番号(週別ロット)

9. 包装仕様

9.1 包装箱

図 25: SEMIPACK 1 モジュール用標準包装箱 (12 個)



12 個詰め

9 個詰め

ラベル付包装箱

図 26: SEMIPACK 2 モジュール用標準包装箱 (8 個)



8 個詰め

ラベル付包装箱

図 27: SEMIPACK 3、4 モジュール用標準包装箱 (3 個)



3 個詰め

ラベル付包装箱

図 28: SEMIPACK 5 モジュール用標準包装箱 (2 個)



2 個詰め

1 個詰め

ラベル付包装箱

図 29: SEMIPACK 6 モジュール用標準包装箱 (1 個)



1 個詰め

ラベル付包装箱

9.2 包装箱ラベル内容

図 30: SEMIPACK 包装箱ラベル



- 1 - セмикロンロゴ
- 2 - 形名
- 3 - 日付
- 4 - セмикロン製品コード番号、バーコードでも表示
- 5 - 数量、バーコードでも表示

10. データシートの特性グラフ

10.1 SEMIPACK® サイリスタモジュール

Fig. 1

左: 単一サイリスタの DC(cont.), 正弦半波(sin. 180)および矩形波(rec. 15...180)の平均オン電流 I_{TAV} に対する平均オン損失 P_{TAV} (標準値)

右: 様々な全体熱抵抗(接合-周囲間) $R_{th(j-a)}$ に於ける、周囲温度 T_a (冷却気流温度)に対する最大許容損失 P_{TAV} (標準値)

Fig. 2

左: AC 制御用途(W1C AC コンバータ)の SEMIPACK®モジュールの全導通角通電に於ける、最大定格実効電流 I_{RMS} に対する全体損失 P_{TOT} (標準値)

右: 周囲温度 T_a に対する最大許容損失 P_{TOT} と、それによるケース温度 T_c 、パラメータ: ケース-周囲間ヒートシンク熱抵抗 $R_{th(c-a)}$ (SEMIPACK®モジュール-ヒートシンク間の接触熱抵抗 $1/2 R_{th(c-s)}$ を含む)、左側の縦軸の損失に対し、右側の縦軸に許容ケース温度を表示

Fig. 3

左: 2 パルスブリッジ回路(B2C)の SEMIPACK®モジュール 2 個の、抵抗負荷(R)および誘導負荷(L)に於ける全導通角通電の直流出力電流 I_D に対する全損失 P_{TOT} (標準値)

右: 周囲温度 T_a に対する最大許容損失 P_{TOT} と、それによるケース温度 T_c 、パラメータ: ケース-周囲間ヒートシンク熱抵抗 $R_{th(c-a)}$ (SEMIPACK®モジュール-ヒートシンク間の接触熱抵抗 $1/4 R_{th(c-s)}$ を含む)、左側の縦軸の損失に対し、右側の縦軸に許容ケース温度を表示

Fig. 4

左: 6 パルスブリッジ回路(B6C)または AC 制御用途(W3C)の SEMIPACK®モジュール 3 個の、抵抗負荷(R)および誘導負荷(L)に於ける全導通角通電の直流出力電流 I_D に対する全損失 P_{TOT} (標準値)

右: 周囲温度 T_a に対する最大許容損失 P_{TOT} と、それによるケース温度 T_c 、パラメータ: ケース-周囲間ヒートシンク熱抵抗 $R_{th(c-a)}$ (SEMIPACK®モジュール-ヒートシンク間の接触熱抵抗 $1/6 R_{th(c-s)}$ を含む)、左側の縦軸の損失に対し、右側の縦軸に許容ケース温度を表示

Fig. 5

最大許容接合温度に於ける、ターンオフ時の順電流下降率- di_T/dt に対する標準逆回復電荷 Q_{rr} 、パラメータ: 転流前のピークオン電流 I_{TM}

Fig. 6

単一サイリスタの損失発生後、経過時間 t に対する直流の接合-ケース間過渡熱インピーダンス $Z_{th(j-c)}$ および接合-ヒートシンク間過渡熱インピーダンス $Z_{th(j-s)}$

Fig. 7

順特性: オン電流 I_T に対するオン電圧 V_T 、 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ および T_{jmax} に於ける標準値および最大値

Fig. 8

サージ電流特性: 時間 t にわたる許容過電流 $I_{T(OV)}$ の 10 ms のサージオン電流 I_{TSM} に対する比率、パラメータ: 規定の正弦半波電流通電後に印加される逆電圧 V_R とピーク逆電圧 V_{RRM} の比率

Fig. 9

接合温度 T_j に於けるトリガが可能(BMZ)な、およびトリガが確実(BSZ)な領域を示すゲート電流 I_G に対するゲート電圧 V_G 、トリガパルスの電流、電圧はトリガが確実な領域内になければなりません。ピークパルス損失 P_G はパルス幅 t_p を超えてはなりません。曲線 20 V、20 Ω は適切なトリガ装置の出力特性です。

10.2 SEMIPACK® ダイオードモジュール

Fig. 11

左: 単ーダイオードの DC(cont.)、正弦半波(sin. 180)および矩形波(rec. 15...180)の平均順電流 I_{FAV} に対する平均順損失 P_{FAV} (標準値)

右: 様々な全体熱抵抗(接合ー周囲間) $R_{th(j-a)}$ に於ける、周囲温度 T_a (冷却気流温度)に対する最大許容損失 P_{FAV} (標準値)

Fig. 12

左: 2 パルスブリッジ回路(B2C)の SEMIPACK®モジュール 2 個の直流出力電流 I_D に対する全損失 P_{TOT} (標準値)

右: 周囲温度 T_a に対する最大許容損失 P_{TOT} およびそれによるケース温度 T_c 、パラメータ: ケースー周囲間熱抵抗 $R_{th(c-a)}$ (SEMIPACK®モジュールーヒートシンク間の接触熱抵抗 $1/4 R_{th(c-s)}$ を含む)、左側の縦軸の損失に対し、右側の縦軸に許容ケース温度を表示

Fig. 13

左: 6 パルスブリッジ回路(B6C)の SEMIPACK®モジュール 3 個の直流出力電流 I_D に対する全損失 P_{TOT} (標準値)

右: 周囲温度 T_a に対する最大許容損失 P_{TOT} とそれによるケース温度 T_c 、パラメータ: ケースー周囲間熱抵抗 $R_{th(c-a)}$ (SEMIPACK®モジュールーヒートシンク間の接触熱抵抗 $1/6 R_{th(c-s)}$ を含む)、左側の縦軸の損失に対し、右側の縦軸に許容ケース温度を表示

Fig. 14

単ーダイオードの損失発生後、経過時間 t に対する直流の接合ーケース間過渡熱インピーダンス $Z_{th(j-c)}$ および接合ーヒートシンク間過渡熱インピーダンス $Z_{th(j-s)}$

Fig. 15

順特性: 順電流 I_F に対する順電圧 V_F 、 $T_j = 25\text{ °C}$ および T_{jmax} に於ける標準値および最大値

Fig. 16

サージ電流特性: 時間 t にわたる許容過電流 $I_{F(OV)}$ の 10 ms のサージ順電流 I_{FSM} に対する比率、パラメータ: 規定の正弦半波電流通電後に印加される逆電圧 V_R とピーク逆電圧 V_{RRM} の比

特別タイプの特性グラフについては、お問い合わせ下さい。

あらゆるご要望、ご質問はセмикロンの SEMIPACK® Product Management にお問い合わせ下さい。

11. 図一覧

図 1: SEMIPACK 標準回路構成	3
図 2: SEMIPACK ケース	5
図 3: SEMIPACK 1 はんだ構造	6
図 4: SEMIPACK 2 ボンディング構造	7
図 5: SEMIPACK 3 圧接構造	7
図 6: SEMIPACK に適用の測定法 A に於ける R_{th} 測定基準点	9
図 7: 測定法 B に於ける R_{th} 測定基準点	10
図 8: 測定法 A、B に於ける熱分布と各基準点 T_j 、 T_c 、 T_s および T_a の位置	11
図 9: 各測定法に対する熱抵抗値 R_{th} の比較	11
図 10: 接合-ケース間過渡熱インピーダンス例	12
図 11: ダイオード/サイリスタのターンオフ期間に於ける電流波形	15
図 12: サイリスタのトリガ時間	16
図 13: サージ過電流-時間	18
図 14: セミクロン標準製品認証試験	19
図 15: SEMIPACK パッケージ断面図と 20 °C に於ける熱膨張率	200
図 16: T_{jm} および ΔT_j の例	211
図 17: 試験結果に基づいた、はんだ接続モジュールの“LESIT”曲線	211
図 18: 試験結果に基づいた、圧接モジュールの“LESIT”曲線	222
図 19: ピーク繰り返し逆電圧 $V_{RRM}[V_{DRM}]$ に対する推奨電圧クラス分け	233
図 20: 信頼性を計算する為の条件	255
図 21: SEMIPACK 製品の推定 FIT および MTBF 数	266
図 22: ヒートシンク表面仕様	277
図 23: 締付け順序例	288
図 24: モジュールのレーザーマーキング	31
図 25: SEMIPACK 1 モジュール用標準包装箱 (12 個)	32
図 26: SEMIPACK 2 モジュール用標準包装箱 (8 個)	32
図 27: SEMIPACK 3、4 モジュール用標準包装箱 (3 個)	32
図 28: SEMIPACK 5 モジュール用標準包装箱 (2 個)	33
図 29: SEMIPACK 6 モジュール用標準包装箱 (1 個)	33
図 30: SEMIPACK 包装箱ラベル	33
表 1: SEMIPACK ケースの主要寸法	5
表 2: SEMIPACK の沿面距離および空間距離	6
表 3: SEMIPACK 外観サンプル製品コード番号	8
表 4: 推奨抵抗およびコンデンサの例	24
表 5: 締付け詳細	28
表 6: SEMIPACK モジュール組付け部品	29
表 7: ヒートシンクタイプ	30
表 8: SEMIPACK 1 モジュール レーザーマーキング	31

12. 記号と用語

記号	用語
$(di/dt)_{cr}$	臨界オン電流上昇率
$(dv/dt)_{cr}$	臨界オフ電圧上昇率
a.c., AC	交流
Al_2O_3	酸化アルミニウム
AlN	窒化アルミニウム
BMZ	トリガが可能な領域
BSZ	トリガが確実な領域
CTE	熱膨張率
d.c., DC	直流
DCB, DBC	基板のタイプ Direct Copper Bonding、Direct Bonding Copper
di/dt	電流変化率
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN; 英語: the German Institute for Standardization)
dv/dt	電圧変化率
EN	ヨーロッパ標準
FIT	百万(10^9)動作時間・素子当たりに故障が発生する素子数の期待値
i^2t	電流二乗時間積
I_{DD}	オフ電流(サイリスタ)
IEC	国際電気標準会議 (標準)
$I_{F(OV)}$	過負荷順電流
I_{FAV}	平均順電流
I_{FRMS}	実効順電流
I_{FSM}	サージ順電流
I_{GD}	ゲート非トリガ電流
I_{GT}	最小ゲートトリガ電流
I_H	保持電流
I_L	ラッチング電流
I_{RD}	直流逆電流
I_{RMS}	AC 制御最大実効電流

ISO	国際標準化機構
$I_{T(OV)}$	過負荷オン電流
I_{TAV}	平均オン電流
I_{TRMS}	実効オン電流
I_{TSM}	サージオン電流
k_B	ボルツマン定数
l.h.s.	左側
MDT	平均故障時間
MTBF	平均故障間隔
MTTR	平均修復時間
N	直列接続シリコン素子最大数
P_F	順損失
P_{FAV}	平均順損失
P_T	オン損失
P_{TAV}	平均オン損失
P_{tot}	全損失
Q_{rr}	逆回復電荷
r.h.s.	右側
r_T	オン状態傾斜抵抗、順特性傾斜抵抗
$R_{th(c-a)}$	ケース－周囲間熱抵抗
$R_{th(c-s)}$	接合－ケース間熱抵抗
$R_{th(j-a)}$	接合－周囲間熱抵抗
$R_{th(j-c)}$	接合－ケース間熱抵抗
$R_{th(j-r)}$	接合－基準点間熱抵抗(温度センサー)
$R_{th(j-s)}$	接合－ヒートシンク間熱抵抗
$R_{th(s-a)}$	ヒートシンク－周囲間熱抵抗
R_z	粗さ
T	温度
t	時間
T_a	周囲温度
T_c	ケース温度
t_f	下降時間

t_{gd}	ゲート制御遅れ時間
t_{gr}	ゲート制御立上り時間
t_{gt}	ゲート制御ターンオン時間
t_{hw}	正弦半波の幅
T_j	接合温度
T_{jm}	中間温度
t_q	転流ターンオフ時間(サイリスタ)
T_s	ヒートシンク温度
T_{stgmax}	最大保存温度
T_{stgmin}	最小保存温度
UL	Underwriters Laboratories、安全性コンサルタントおよび認証企業
UPS	無停電電源
$V_{(TO)}$	閾値電圧
V_{DRM}	ピーク繰り返しオフ電圧
V_F	順電圧
V_G	ゲート電圧
V_{GE}	ゲート・エミッタ間電圧
V_{isol}	絶縁試験電圧
V_R	(直流)逆電圧
V_{RRM}	ピーク繰り返し逆電圧
V_T	オン電圧(サイリスタ)
$V_{T(TO)}$	閾値電圧(サイリスタ)
$Z_{th()}$	過渡熱インピーダンス
ΔT	温度差
θ	通電角
λ	故障率

記号と用語の詳細な説明は、"Application Manual Power Semiconductors" [3]に記載されています。

13. 参考文献

- [1] M. Held et.al., "Fast Power Cycling Tests for IGBT Modules in Traction Application "; Proceedings PEDS, pp 425 – 430, 1997
- [2] <https://www.semikron.com/dl/service-support/downloads/download/00581004-0/>
- [3] A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky, T. Reimann, "Application Manual Power Semiconductors", ISLE Verlag 2015, ISBN 978-3-938843-83-3

14. 履歴

セмикロンは予告なしに変更する権利を有します。

15. 免責事項

セмикロンは上記の技術情報中の誤字については責任を負いません。情報内容は現在の標準および知識に準拠し、注意深く記述されています。有用性および正確さに対する責任を負いません。適用法令により規制されない限り、この情報の使用により生じる直接的または間接的な損害に対する責任を負いません。保証するものではなく、第三者の知的所有権に抵触せず、制限がない事の保証など、情報の正確さや使用に関し責任を負いません。事例は個々のケースについて検討されていない為、責任を負いません。当社の素子の仕様は、素子の特性を保証するものではありません。素子は個々のアプリケーションに対し、試験されなければなりません。調整が必要です。セмикロン製品の生命維持装置およびシステムへの使用は、セミックロンの事前の仕様および承認文書が必要です。従って、個別の事前協議を強く推奨します。本資料の内容は予告なしに変更する事があります。また、セミックロンの取引条件は www.semikron.com に掲載の有効なバージョンのみが適用されます。

SEMIKRON INTERNATIONAL GmbH
P.O. Box 820251 • 90253 Nuremberg • Germany
Tel: +49 911-65 59-234 • Fax: +49 911-65 59-262
sales.skd@semikron.com • www.semikron.com