

富士パワートランジスタの信頼性

白井 祺一郎(しらい きいちろう)

角 幸雄(すみ さちお)

① まえがき

パワーエレクトロニクスの発展に伴い、その主要パワースイッチング素子としてのパワートランジスタの信頼性に対する要求はますます高まっている。

パワートランジスタの高耐圧化、大容量化は1,400V、400A級までの量産の段階に入り、パッケージもキャン構造、樹脂モールド構造に加えてパワーモジュール構造の比率が高くなりつつある。

このようなパワートランジスタの機種及び適用分野の拡大、使用条件、環境の多様化の動きの中において、信頼性に対しても一層多角的でかつ綿密な取り組みが必要となる。

以下、富士パワートランジスタの信頼性に対する設計、管理の概要を紹介する。

② 信頼性に関する基本的な考え方

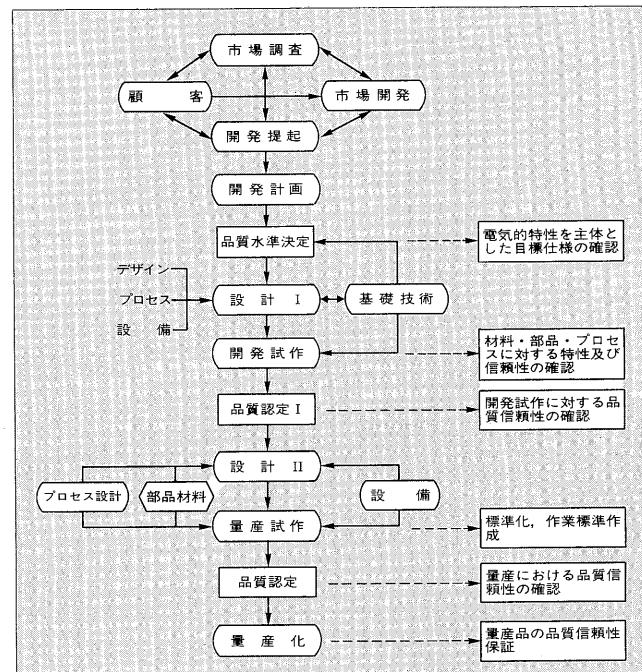
富士パワートランジスタの信頼性に関する基本的な考え方を挙げると次のとおりである。

- (1) 新製品開発段階での顧客要求品質の把握と設計への反映
- (2) 外注及び購入部品の品質の確保
- (3) 製造工程管理の充実
- (4) 完成品検査の徹底
- (5) 信頼性確認方法の充実と確認の実施
- (6) 市場データの収集・解析とその設計・製造工程へのフィードバック

特にこの中で、新製品開発段階での顧客の要求水準の把握と製品の中に具体的に織り込む設計段階の過程が最も重要なである。

図1は、富士パワートランジスタの開発から量産に至るまでの管理のフローを示したものである。

図1 新製品の品質保証体系



③ パワートランジスタの故障メカニズムと故障解析法

パワートランジスタの信頼性設計、管理及び信頼性評価を行う上で故障メカニズムの解明は重要である。

表1はパワートランジスタの故障モードとその要因を示したものであり、代表的な故障モードの写真を図2から図5に示す。

故障解析は信頼性試験及び市場で発生した故障品を解析することにより故障メカニズムを明らかにし、そのデータを設計あるいは製造工程にフィードバックして信頼性の向上を図るという重要な機能を有している。特に最近の高密度化、モジュール化による構造の複雑さなどのため、設計段階では予測できないような故障が発生する場合もある。

このため、故障解析により迅速かつ的確な対策をたて故障



白井 祺一郎

昭和35年入社。電力用半導体素子の開発、静止電力変換装置の開発設計、電力用半導体素子の品質保証に従事。現在、松本工場パワーデバイス部課長。



角 幸雄

昭和45年入社。半導体デバイスの品質保証に従事。現在、松本工場パワーデバイス部課長補佐。

表1 パワートランジスタの故障モードとその要因

故障の部位	影響を与える工程	故障原因	故障モード	例
接合内部	・ウェーハ	・結晶欠陥、不純物析出 ・マイクロクラック ・拡散プロファイルのコントロール不適当	・短絡(接合破壊) ・耐圧劣化	
接合表面	・パッシベーション	・ピンホール ・クラック、きず、欠け ・不純物による汚染	・短絡(表面破壊) ・耐圧劣化、機能劣化 ・リーク電流増大、ふらつき ・ h_{FE} 劣化、雑音増大	
電極	・メタライゼーション	・きず、汚れ(取扱い時の損傷) ・段差切れ(膜厚不適当) ・パターン位置ずれ ・接着強度不足 ・エレクトロマイグレーション ・腐食	・短絡 ・開放、半断線 ・接触抵抗の増大 ・配線抵抗の増大	図2 図3
ダイ(チップ)-パッケージ間接続部	・ダイポンディング ・チップはんだ付け	・ダイポンディングはく離 ・チップクラック ・はんだボンド ・はんだ熱疲労	・開放、半断線 ・耐圧劣化 ・熱抵抗の増大 ・短絡(熱破壊)	図4
ワイヤリード接続部	・ワイヤポンディング ・ボールポンディング	・ワイヤポンディングはく離 ・ポンディングネック部損傷 ・金属間化合物の生成 ・ポンディング位置ずれ ・ダイ(チップ)の損傷 ・リードワイヤの極端なわん曲、たれ下がり	・開放、半断線 ・接触抵抗増大 ・短絡 ・耐圧劣化	
ワイヤリード	・同上	・ワイヤ溶断 ・ワイヤ間接触	・開放 ・短絡	
パッケージ	・パッケージング ・気密封止 ・樹脂モールド ・パッケージの表面処理 (めっき塗装)	・気密漏れ(湿気の侵入、封止雰囲気の劣化) ・封入ガス不純 ・マイグレーション(Agめつき) ・ケース汚れ ・外部リード線の破断、曲がり ・外部リード線のさび、腐食	・短絡 ・耐圧劣化、機能劣化 ・リーク電流増大、ふらつき ・絶縁ブッシングの劣化、絶縁破壊 ・開放 ・リード線の腐食欠損 ・はんだ付け性不良	

図2 ステップカバレージ電極段差部の切れ

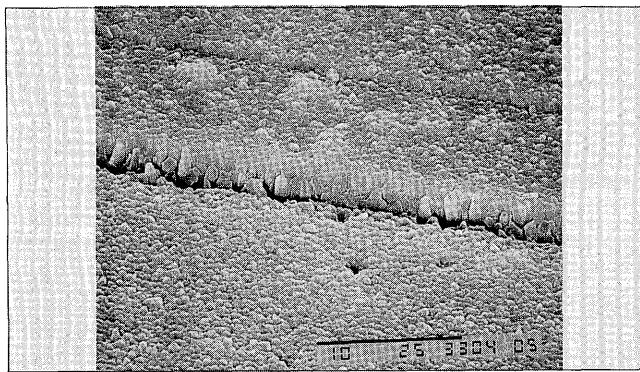


図4 はんだ付け部の温度観測(赤外線放射温度計)

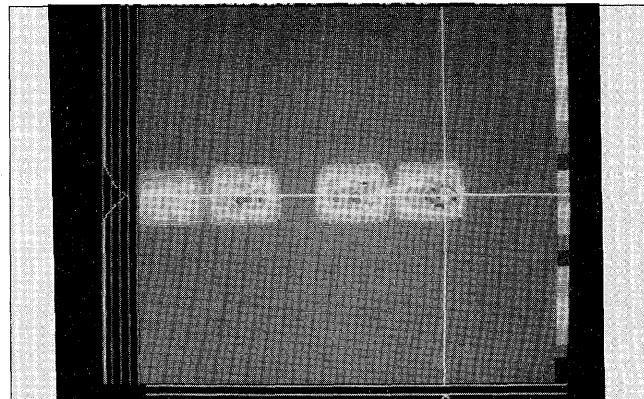


図3 電極部の腐食

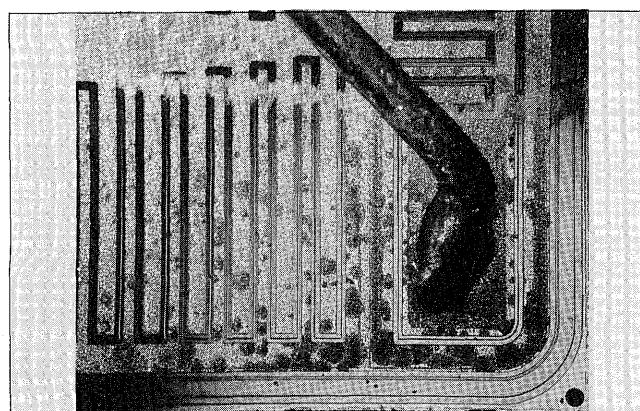


図5 ASO破壊によるホットスポット

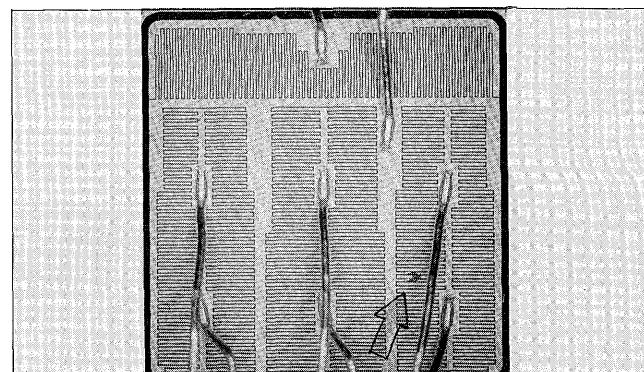
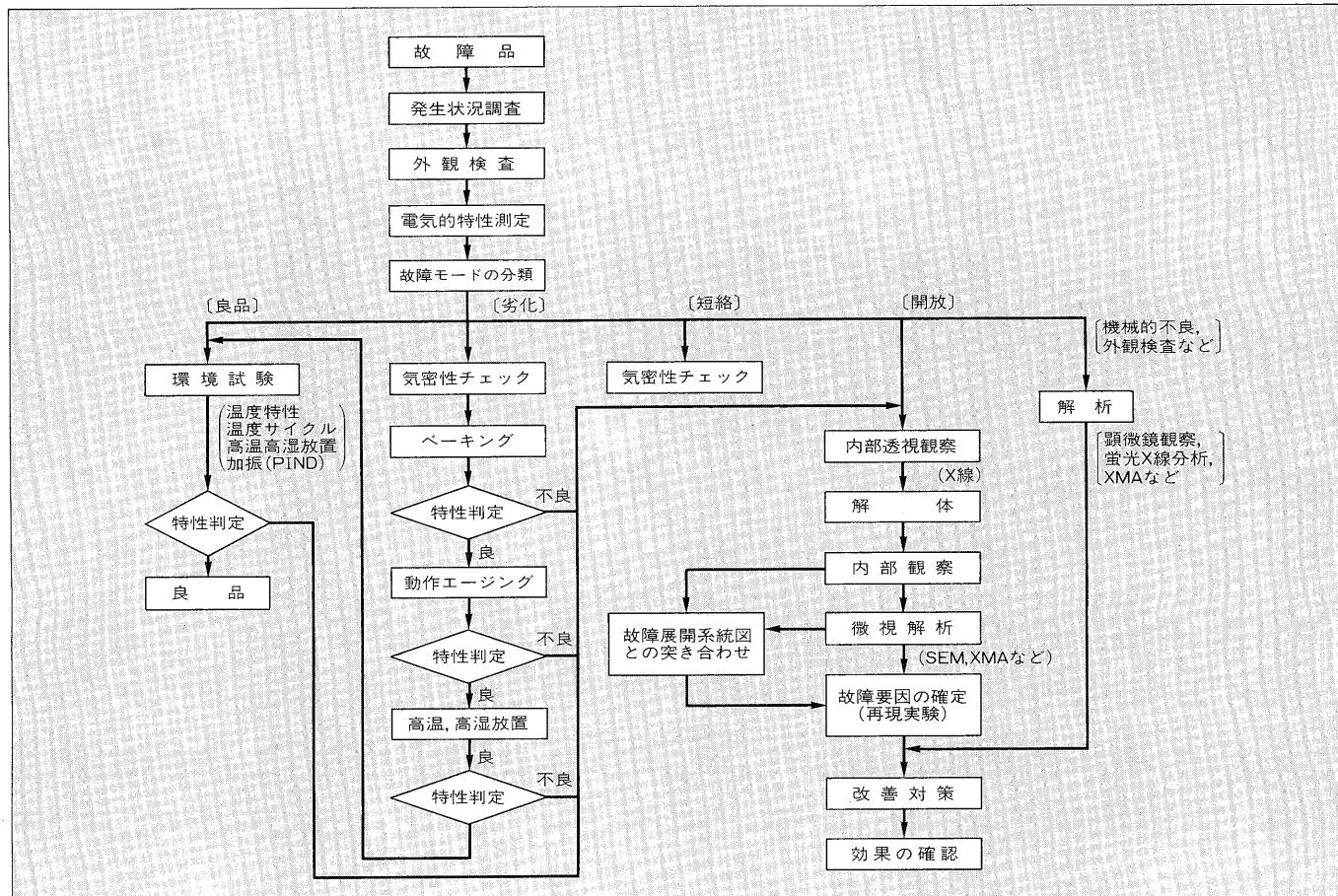


図6 パワートランジスタの故障解析フローチャート例



の再発を防止するとともに、新機種に水平展開することが高信頼性を確保するために欠かせない条件となる。

図6は、パワートランジスタの故障解析の一例を示すフローチャートである。

4 パワートランジスタの信頼性試験

信頼性試験はパワートランジスタの開発、量産の各ステップにおいて実施されているが、それぞれのステップでその目的、項目が異なる。したがって、信頼性試験を実施するにあたり次の事項を十分に考慮して行う必要がある。

- (1) 信頼性試験の対象と目的
- (2) 信頼性試験の方法と条件
- (3) 試験結果の判定、解析

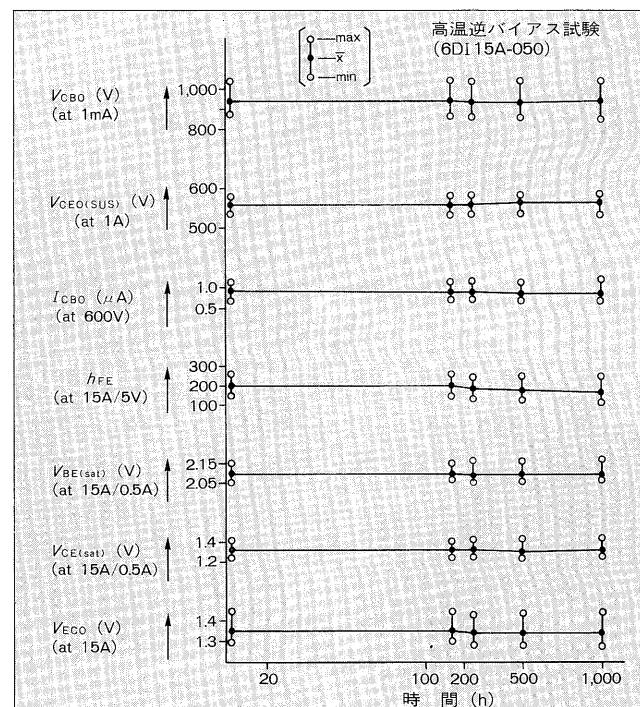
表2及び表3は富士パワートランジスタに適用している信頼性試験の項目と目的などをまとめたものであり、表4は故障判定基準を示している。

図7は、パワートランジスタモジュールでの信頼性試験結果の一例である。

5 加速試験

最近のように開発から製品化までの期間が短くなると、信頼性に関するデータを短期間で取得するために加速試験を実施することが多い。加速試験を適用する場合に注意し

図7 パワートランジスタモジュール信頼性試験結果



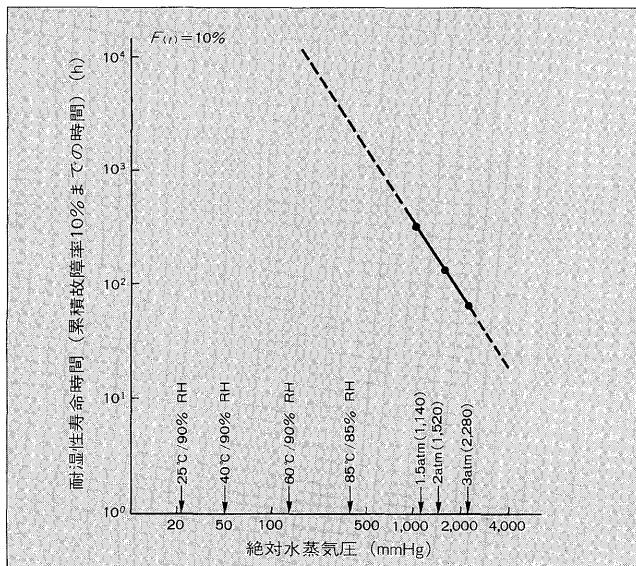
なければならないことは、通常の条件よりも過酷なストレスを加えても故障モード及び要因が変わらないことである。したがって、加速試験を実施する時にはデバイスの構造、用途、故障内容、故障モデルの適用などについて十分検討

表4 故障判定基準

項 目	故 障 判 定 基 準		単 位	備 考
	下 限	上 限		
電 気 的 特 性	耐 壓	LSL×0.8	—	V
電 气 的 特 性	リ ー ク 電 流	—	USL×2	mA
	直 流 電 流 增 幅 率 (h_{FE})	LSL×0.8	USL×1.2	—
電 气 的 特 性	直 流 電 流 增 幅 率 (Δh_{FE})	-20	+20	%
		-40	+40	シングルトランジスタに適用 ダーリントントランジスタに適用
外 觀 ほ か	飽 和 電 壓 $V_{CE(sat)}$	—	USL×1.2	V
	飽 和 電 壓 $V_{BE(sat)}$	—	—	FRD内蔵形トランジスタに適用
外 觀 ほ か	順 方 向 電 壓 (V_{ECO})	—	USL×1.2	V
	過 渡 熱 抵 抗 (ΔV_{BE})	—	USL×1.2	mV
外 觀 ほ か	耐 電 壓 (絶縁)	絶 縁 破 壊	—	絶縁形に適用
	断線、ショート	—	—	—
外 觀 ほ か	外 観 表 示 はんだ付け性 その他	限 度 見 本 に よ る	—	—
外 觀 ほ か	気 密	HLT に よ る	—	ハーメチックシール形に適用

USL：規格上限値, LSL：規格下限値

図8 パワートランジスタモジュール耐湿性加速試験結果



合の温度リップル ΔT_j と寿命との関係は、式(2)で表される。

$$N = A \exp \frac{\psi_0}{\Delta T_j (\alpha_1 - \alpha_2) L} \quad \dots \dots \dots (2)$$

A, ψ_0 : 定数

α_1, α_2 : 接合材料の線膨張係数

ΔT_j : 接合部温度リップル

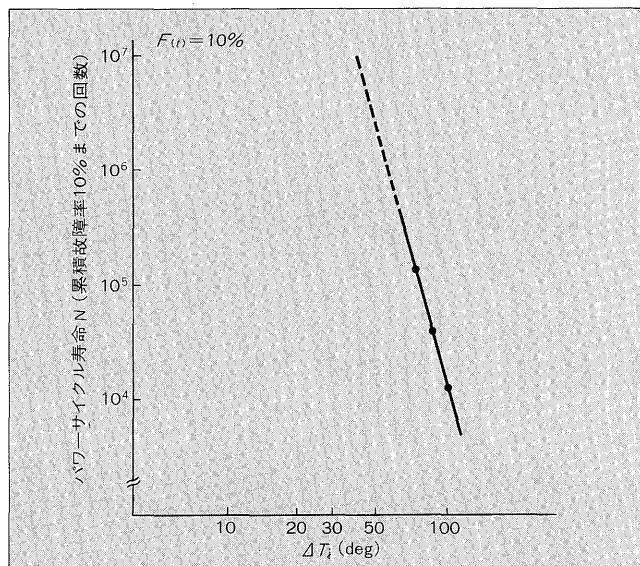
L : 最大寸法

ΔT_j を高めにとって寿命を求める、通常運転状態での温度差に対する寿命を外挿により推定することができる。

⑥ あとがき

富士パワートランジスタは既に約10⁸個市場で使用され、

図9 パワートランジスタモジュール断続動作寿命試験結果



高い信頼性と実績をあげている。

適用分野の拡大とともに高周波化、複合化、インテリジェント化の動きも加速され、開発から量産化までの期間が短縮される中にあって、信頼性の設計、評価技術、管理技術を発展させ信頼性の維持向上に努めている。

参考文献

- (1) F. N. Sinnadurai : The Accelerated Ageing of Plastic Encapsulated Semiconductor Devices in Environment Containing A High Vapour Pressure of Water, Microelectronics and Reliability, Vol. 13, pp.23-27 (1974)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。