

# 化合物半導体デバイスの品質保証

## Quality Assurance of Compound Semiconductor Devices

### あらまし

本稿では、化合物半導体製品の高信頼性を実現するために構築した、製品の企画、設計、開発、製造、そしてクレーム処理にいたるまでの品質保証体系について述べる。品質保証体系は、生産財マーケティングの考え方を取り入れた全部門参画型の製品開発が特徴である。つぎに、製品品質を検証するために実施している信頼性試験について、代表品種として光半導体デバイスではレーザーダイオードを、高速デバイス(マイクロ波半導体およびGaAs IC)ではマイクロ波トランジスタを例にとりその実施項目と条件を具体的に述べる。さらに、故障解析のために使用している各種解析設備とその用途を紹介し、走査型電子顕微鏡や集束イオンビーム装置を使って解析した最近の故障解析事例についても述べる。

### Abstract

This paper describes a quality assurance system for assuring the reliability of compound semiconductor devices. This system covers all the processes of research, planning, design, development, manufacturing, and the handling of customers' requests for semiconductor products. This system is oriented towards product marketing and ensures that all relevant departments reach a consensus about product quality. Next, this paper describes the test items and standards of reliability tests conducted to ensure product quality. A laser diode test is described as an example of a semiconductor device test, and the test for a microwave power FET is described as an example of a high-speed, microwave semiconductor and GaAs IC test. Then, this paper describes various failure analysis equipment and its purpose and some examples of recent failure analysis using a scanning electron microscope and focused ion beam analyzer.



鷲見勝司(わしみ かつじ)

富士通カンタムデバイス(株)信頼性技術統括部信頼性技術部 所属  
現在、化合物半導体デバイスの品質管理、信頼性技術開発に従事。



森 義彦(もり よしひこ)

富士通カンタムデバイス(株)信頼性技術統括部信頼性保証部 所属  
現在、化合物半導体レーザーの信頼性技術開発に従事。



小松嘉英(こまつ よしひで)

富士通カンタムデバイス(株)信頼性技術統括部信頼性技術部 所属  
現在、化合物半導体デバイスの信頼性技術開発に従事。

## まえがき

化合物半導体デバイスは、インターネットを代表とする大容量・高速通信の需要に対応する基幹通信システムから、衛星放送受信機器や携帯電話機などの身近な民生機器に至るまで、幅広く使用されており、情報社会を支えるキーデバイスとなっている。したがって、その信頼性は、ますます重要になってきている。

本稿では、品質を製品の中に作り込むための品質保証体系について最初に紹介し、つぎに信頼性試験について、光半導体デバイスと高速デバイス(マイクロ波半導体, GaAs IC)に分けて述べる。さらに、故障品の解析技術について、その事例を紹介する。

## 品質保証体系

富士通は「信頼と創造の富士通」をスローガンに、常に品質・信頼性の高い製品作りに総力を結集している。富士通カンタムデバイスもそのスローガンのもと、「SSS」(スピード・スマート・スマイル)を品質方針に掲げ、「製品開発のサイクルタイムの短縮」、「研究・開発の強化」、「顧客満足度の向上」を品質目標として、品質と信頼性の高い製品を顧客に提供するように努力している。

この品質目標実現のため、製品の企画から設計、製

造、出荷の各段階で組織的な品質保証活動を行っており、その体系を図-1に示す。各々の品質保証活動は、品質保証の国際規格である「ISO9001」を取り入れて構築した品質システムに従って行われている。また、この品質システムは、日本品質保証機構(JQA)の審査に適合している(登録番号JMI-0278)。

企画段階では、生産財マーケティングの考え方<sup>(1)</sup>を取り入れ、市場調査活動により顧客の要求事項を把握した後、部門間で情報を共有し、顧客対応の望ましいレベルについてコンセンサスを形成する。その上で、設計・開発部門および関連部門が参画したプロジェクトにより設計・開発を開始する。また、「企画審査(デザインレビュー)」により適用技術、新技術や実行課題、責任分担、スケジュールなどを決定する。

設計段階では、開発品の「設計試験(性能評価)」、「認定試験(信頼性試験)」により目標の性能・信頼性を満たしているか否かを検証する。また、プロジェクト全体で「設計審査(デザインレビュー)」を行い、設計仕様の適切性などをレビューして製品化の可否を決定する。

製造段階では、SPC(Statistical Process Control)などによる製造工程の管理、および工程間検査、最終検査、出荷検査、信頼性試験などにより、規定の性能・信頼性を満たした製品か否かを検証した上で、製品を出荷する。

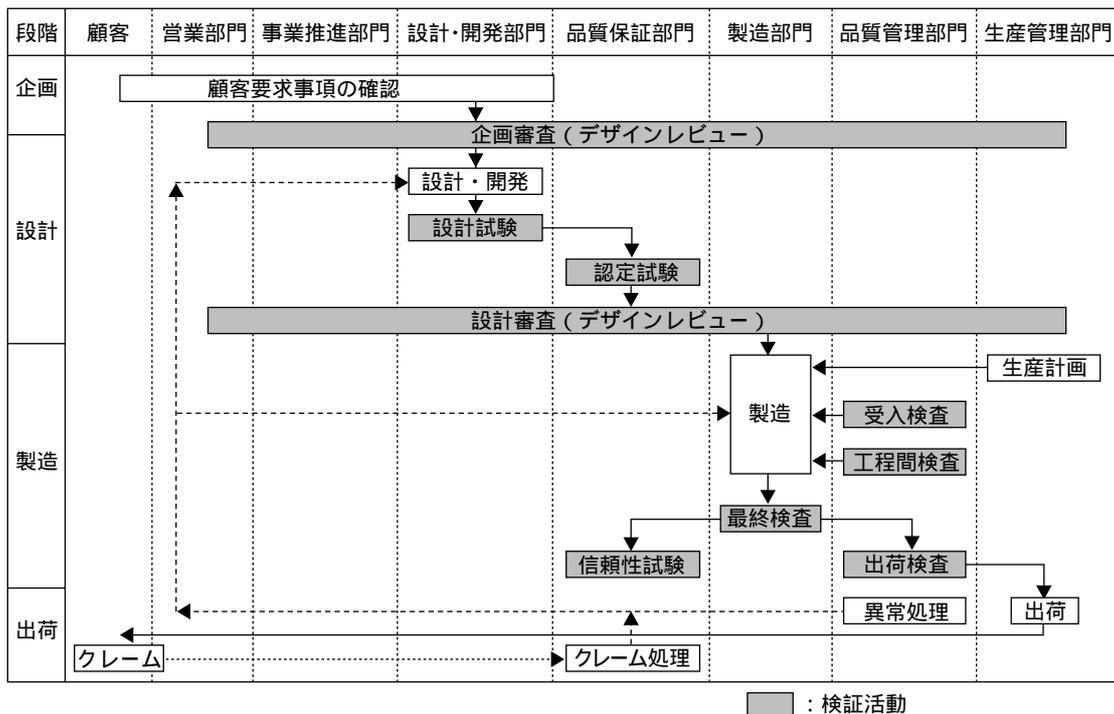


図-1 品質保証体系  
Fig.1-Quality assurance system.

さらに、品質保証部門が中心となり、顧客でのクレームの対応や正処置の推進、内部品質監査などの品質保証活動を行い、製品品質の維持、改善を図っている。

信頼性試験

光半導体デバイス

光通信用半導体レーザダイオード(LD)、半導体フォトダイオード(PD)の信頼性試験は、国内外ともに、米国Telcordia社の光半導体デバイス信頼度保証仕様へ準拠する要求が強く、当社でもTelcordia GR-468-CORE<sup>(2)</sup>の仕様に準拠した評価を行っている。

光半導体デバイスの信頼性試験の例として、MQW(多重量子井戸)DFB(分布帰還型)LDの信頼性試験の内容を表-1に示す。光デバイスの信頼性試験は、保全性に関する試験と耐久性に関する試験とに分類される。保全性の試験としては、衝撃試験、振動試験、熱衝撃試験、はんだ付け性試験、およびファイバ引張り試験があり、耐久性の試験としては、高温加速試験、高温・低温放置試験、温度サイクル試験、高温高湿試験、および温湿度サイクル試験がある。判定項目としては、しきい値電流、効率、モニタ電流、動作電流、発振波長などの特性の変動率を評価し、設定されたLTPD(ロット許容不良率)20%の信頼性保証水準を満たしている。

LDの寿命は、半導体チップの寿命と光学系の寿命で決まり、半導体チップの寿命は、高温加速試験で得られた

上記特性の変化率を評価し、その加速性から推定することができる。一方、モジュール全体としての信頼度は、加速寿命試験に加え、各要素技術の最適化により確保することが重要である。この例として、後節で光学系組立条件について述べる。

LDでは、一定光出力での動作電流の変動率で寿命が定義されるが、WDM(波長多重)用MQW-DFB-LDのように、さらにピーク発振波長の変動値で寿命を定義しているものがある。このWDM用MQW-DFB-LDでは、一定光出力での動作電流が50%増加する時間を寿命とした場合には、25℃で7.9 × 10<sup>6</sup>時間以上の平均寿命が推定されている。一方、ピーク発振波長が0.2 nm変動する時間を寿命とした場合には、25℃で8.5 × 10<sup>6</sup>時間以上の平均寿命が推定されており、ピーク発振波長の変動値というより厳しい寿命定義でも、当社のLDは十分な信頼性を確保している。

高速デバイス(マイクロ波半導体, GaAs IC)

高速デバイスの用途は、通信中継基地局などの基幹通信システムから、携帯電話機などのパーソナル機器に至るまで幅広い。これらの用途に最適なデバイスの設計および技術選択が行われるとともに、各用途での耐性を確認するための信頼性試験が行われる。実使用状態でデバイスにかかるストレスは、デバイス動作時の電圧、電流の電気的因子のほか、設置環境などに依存する温度、湿度、振動、衝撃などの環境因子があり、これらのストレス因子とデバイスの構造や材料、製造方法の特徴を相互に考慮して適切な試験が実施される。

個別半導体デバイスや半導体集積回路に対する信頼性試験方法の標準規格には、国際電気標準会議規格(IEC規格)や日本工業規格(JIS規格)、日本電子機械工業会規格(EIAJ規格)、アメリカ軍標準規格(MIL規格)などがある。当社の高速デバイスでは、これらの標準規格の試験方法および条件を取り入れて、品種ごとに個別の基本試験条件を設定して信頼性試験を行っている。高速デバイスの代表例として、マイクロ波トランジスタ(GaAs FET)の信頼性試験の例を表-2に示した。

実使用状態において半導体デバイスが故障に至るまでの時間は長期に及ぶため、信頼性試験方法としては、試験条件を実使用の基準条件よりも厳しく設定して故障に至る現象を加速させ、短期間で評価する加速試験方法を用いる。また、高集積化したICなど構成が複雑なデバイスでは、完成デバイスに対する試験のほか、能動素子や受動素子などの構成要素ごと、あるいは評価目的別に特別な試料(TEG: Test Element Group)を作製して信頼性

表-1 LDの信頼性試験例

試験項目	試験方法および試験条件	
保全性試験	衝撃試験	加速度 14,700 m/s <sup>2</sup> (1,500 G), パルス幅 0.5 ms 方向 X <sub>1,2</sub> , Y <sub>1,2</sub> , Z <sub>1,2</sub> , 各5回
	振動試験	周波数 20-2,000 Hz, 加速度 196 m/s <sup>2</sup> (20 G) 方向 X, Y, Z, 往復 4分, 各4回
	熱衝撃試験	低温 0℃, 高温 100℃ 低高温 各5分, 15回
	はんだ付け性試験	温度 245℃, 5秒
	ファイバ引張り試験	荷重 19.6 N (2 kgf), 保持時間 5秒, 5回
耐久性試験	高温加速試験(LDチップ)	温度 85℃, 光出力 10 mW, 5,000時間
	(モニタPDチップ)	温度 200℃, 逆電圧 30 V, 5,000時間
	高温放置試験	温度 85℃, 2,000時間
	低温放置試験	温度 -40℃, 2,000時間
	温度サイクル試験	低温 -40℃, 高温 85℃ 低高温 各30分, 1,000回
	高温高湿試験	温度 85℃, 湿度 85%RH, 1,000時間
その他	温湿度サイクル試験	温度 -10℃, 25℃, 65℃, 湿度 90~98%RH 24時間/回, 20回
	内部水分量試験	水蒸気 5,000 ppm
	ESD耐圧試験	5秒, 5回

表-2 GaAs FETの信頼性試験例

試験項目	試験方法および試験条件
衝撃試験	加速度 14,700 m/s <sup>2</sup> (1,500 G), パルス幅 0.5 ms 方向 X <sub>1,2</sub> , Y <sub>1,2</sub> , Z <sub>1,2</sub> , 各3回
振動試験	周波数 100-2,000 Hz, 加速度 196 m/s <sup>2</sup> (20 G) 方向 X, Y, Z, 往復 4分, 各4回
熱衝撃試験	低温 0, 高温 100 低高温 各5分, 5回
温度サイクル試験	低温: 最大定格保存温度 (低温側) 高温: 最大定格保存温度 (高温側) 低高温 各30分, 100回
高温保存試験	最大定格保存温度, 1,000時間
高温動作試験	最大定格チャネル温度, 規定電圧印加 1,000時間
高温高湿保存試験	温度 85, 湿度 85%RH, 1,000時間
高温高湿動作試験	温度 85, 湿度 85%RH, 規定電圧印加 1,000時間
はんだ耐熱性試験	温度 260, 10秒
はんだ付け性試験	温度 230, 5秒

表-3 故障解析に用いられる主な設備と用途

解析設備	主な用途
半導体パラメータアナライザ	電気的特性の測定
X線透過観察装置	内部状態の非破壊観察
超音波探傷(SAT)装置	内部状態の非破壊観察
エッチング装置	半導体保護膜, 配線金属などの除去
エリアノメータ	材料の光学定数および薄膜材料の膜厚の評価
走査型電子顕微鏡(SEM)	微細表面形状の観察
集束イオンビーム(FIB)装置	微細領域の断面加工および観察
電子プローブ微小分析(EPMA)装置	微細領域の元素分析および元素分布測定
オージェ電子分光(AES)装置	微細領域の最表面層の元素分析
透過型電子顕微鏡(TEM)	半導体の結晶性, 結晶欠陥の評価
フーリエ変換赤外分光(FT-IR)装置	半導体の結晶性, 結晶欠陥の評価および材料の分子構造の解析
フォトルミネッセンス(PL)測定装置	半導体の結晶性, 結晶欠陥の評価
二次イオン質量分析(SIMS)装置	微細領域の最表面層および深さ方向の元素分析, 不純物分析, 元素分布測定

を確認する方法(TEG評価)を用いている。

故障解析

設計開発段階, 製造段階で発生した故障や市場動作中に発生した故障に対しては, 再発防止のため, その故障現象と原因を明らかにする故障解析を行う。故障解析には, その解析内容に応じて様々な設備や手法を用いる。故障解析に用いられる主な設備と用途を表-3にまとめた。とくに, 半導体チップなど微細構造領域の解析では, 微細形状の観察および微小領域の分析を行う解析設備が必須となっている。

以下に, 光半導体デバイスと高速デバイスの故障解析事例について述べる。

光半導体デバイス故障解析事例

LDでは, 良好な伝送特性を得るために, 温度制御を行い, 特性の温度依存性を抑えることが不可欠である。LDでは, この温度制御は, サーマエレクトリッククーラ(以下, TEC)上にLDチップとサーミスタを搭載することにより行われる。この場合, TECの固定には, サーマエレメントの固定用融材より低い融点の融材を選定することが必要であるとともに, TEC表面あるいはパッケージ表面のAuと融材との濡れ性が重要である。

図-2は, LDモジュールのパッケージ断面を研磨して, 走査型電子顕微鏡(SEM)により, TECとパッケージ間の融材の状態を評価した例である。この評価方法を用いることにより, TEC表面あるいはパッケージ表面と融材との付着状態を観察することができる。さらに, 電子プローブ微小分析(EPMA)装置を用い, 構成元素別にマッ

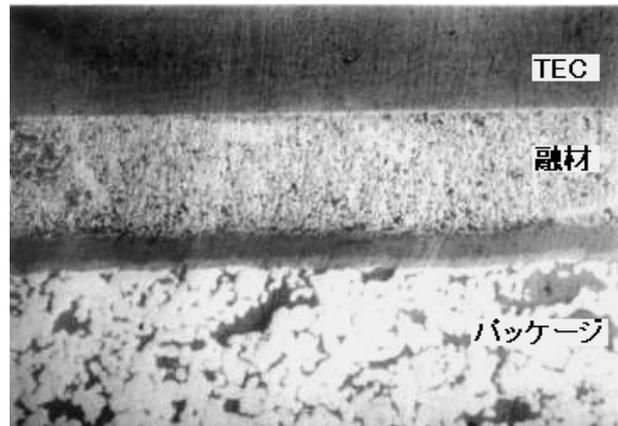


図-2 LDモジュールの断面(SEM)  
Fig.2-SEM cross section of LD module.

ピングすることにより, 融材を構成する元素やTEC表面あるいはパッケージ表面のAuの拡散状態や金属間化合物の状態を評価することができる。また, 透過X線により, TECとパッケージ間の融材の濡れ性を評価することができる。

このように, 当社のLDでは, 各種信頼性試験結果から, 組立部材の選定および最適化が行われている。

高速デバイス故障解析事例

図-3は, 高温高湿状態下の限界確認試験において発生したGaAs FETチップのショート故障品を集束イオンビーム(FIB)装置によって断面加工し, 二次電子イメージ観察を行った例である。この図から, ドレイン電極の金属半導体接合部分から腐食が発生(○印部分)していること

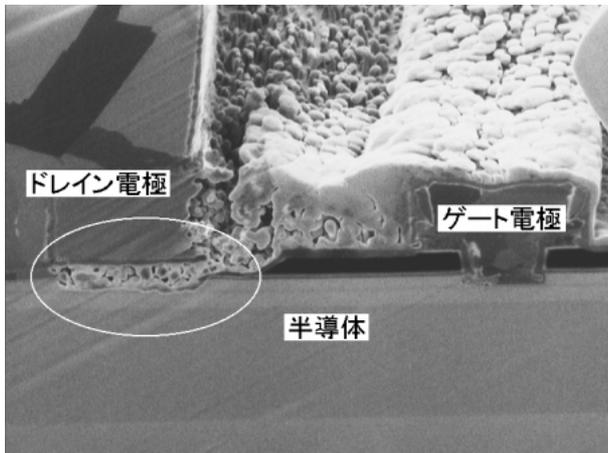


図3 GaAs FET故障品の断面  
Fig.3-Cross section of broke-down GaAs FET.

が分かる。また、このほかにEPMAにより元素分析を行い、腐食成長物が金(Au)であることが分かっている。これら発生部位の形態観察や元素分析など複数の解析結果を通して、この事例の故障原因は、発生現象としては極めて希なAu電極の腐食であることが明らかになっている。<sup>(3)</sup>

このような故障解析を通して明らかになった故障原因は、デバイス設計あるいは製造にフィードバックされて、故障予防または再発防止が行われるとともに、設

計・製造基準へと反映され、設計段階から信頼性を確保するために活用されている。

### む す び

化合物半導体デバイスの高信頼性を実現するための品質保証体系、品質を検証するための信頼性試験、品質を改善するための故障解析技術について述べた。

インターネットの普及に伴い、化合物半導体デバイスの活躍の場がますます増えており、高信頼性を備えた製品を市場に安定供給することが当社の重大な使命であると考えている。

今後とも、最先端デバイスの開発に対応した信頼性試験技術や故障解析技術の開発に努めていきたい。

### 参考文献

- (1) 高嶋：生産財の取引戦略．千倉書房，東京，1998.
- (2) Telcordia：Generic Reliability Assurance Requirements for Optoelectronic Devices Used in Telecommunications Equipment, GR-468-CORE(1998)
- (3) 斉藤ほか：GaAs MESFET 電極のAuマイグレーション．RCJ，第9回RCJ信頼性シンポジウム予稿集，1999，pp.69-74.