高温環境での樹脂封止半導体 パッケージの破壊

善積 章

Akira Yoshizumi, (株)東芝 研究開発センター

現在、メモリを始めとする最先端 LSI を含む広範な半導体デバイスがエポキシ樹脂を主成分とするモールド樹脂で保護封止されている。ところが、樹脂で封止されたパッケージは、内部に封止される半導体シリコンチップの大形化、パッケージの薄形化、封止デバイスが使用される環境の変化により、解決すべき重大な課題を抱えている¹⁾。

最近の封止デバイスの多くが表面実装法とよばれるハンダ付け工程を経てプリント配線基板上に搭載された後に、機器に組込まれている。表面実装法ではハンダを溶かすために高温雰囲気が必要であり、半導体パッケージの温度は 200°C 以上に上がる。この温度条件では、従来のエポキシ封止樹脂で封止されたパッケージは、高温により樹脂内部に存在していた水が急激に昇温気化し、パッケージ内部に高い水蒸気内圧が発生し、半導体を保護していた樹脂にクラック破壊が生じ、半導体デバイスが壊れてしまう²⁾。

図 1 に樹脂封止半導体パッケージの構造を、図 2 にパッケージの断面とシリコンチップ近傍から発生したクラックの様子を示す。

表面実装時に発生するパッケージ内部の高圧水蒸気に耐えるパッケージを設計するためには、破壊時に封止樹脂に加わっている応力を測定もしくは推定すること、加えて高温での封止樹脂の破壊に対する耐性の評価が不可欠である。樹脂にかかる応力を測定する試みも行われているが³⁾、多くの研究者がハンダリフロ時に発生する水蒸気圧を推定し、これをインサートと樹脂の界面に作用させ、有限要素法を用いて表面実装時の最大応力を求めている^{4),5)}。解析結果の一例を図 3 に示す。クラック発生の起点は、多くの場合アイラン

図 1 樹脂封止半導体パッケージ

図 2 半導体パッケージの断面と表面実装工程で発生した樹脂クラック

ドとよばれる半導体素子を搭載する金属板の端であり、この点での応力場の取り扱いが解析を行う場合の重要な課題になる。なぜならば、このような応力集中点にかかる応力は、弾性理論によれば無限大の値を持つことになり、有限要素法で算出されるコーナ部の応力は、要素分割の度合いに依存してしまうからである。これを避けるため、仮想的な亀裂を想定し、亀裂先端での J 積分* を求める方法⁶⁾、接着の強度評価などで用いられている応力特異場パラメータを導入する方法⁷⁾ などが提案されている。

発生応力に抗し得る高温強度を封止樹脂が有していれば半導体パッケージの破壊は発生しない。強度を示すパラメータとしては、先に述べた応力場の解析に対応した破壊靱性値を用いるのが妥当と考える。封止樹脂の破壊靱性値の測定には標準化された方法は無く、

* 材料が線形弾性的挙動をする場合にも、また塑性的挙動をする場合においても亀裂先端近傍の応力・ひずみ場を表わすことのできるパラメータ。エネルギー線積分の形で定義され、系のポテンシャル・エネルギー解放率に相当する量。

図3 表面実装時にパッケージ内部に発生する主応力の分布（有限要素法による解析）

ASTM-E 399 に規定されている CT (Compact Tension) 試験法、シェブロンノッチ 3 点曲げ法などがある。また、破壊靱性値測定では予亀裂の導入方法により測定値が異なるので注意が必要である。封止樹脂の破壊靱性値に関する報告が最近増加しているが、高温での測定値は少ない。封止樹脂の場合は高温の塑性域でも J 積分を必要とせず、破壊靱性値 (K_{Ic}) での考察が可能であるとの報告がある⁹⁾。ガラス転移温度の異なる三種類の封止用エポキシ樹脂の破壊靱性値 (K_{Ic}) の温度変化を図 4 に示す。

今後の解析で必要とされるのは、パッケージ内部に存在する水の扱いである。吸湿水の定量、水蒸気内圧の測定、吸湿した樹脂の高温での強度、靱性などを実際に測定することが是非とも必要である。水蒸気内圧の測定については、内田らが測定法を提唱し測定結果を報告している⁹⁾。

LSI や IC の封止にはトランスファモールド用のエポキシ封止樹脂が使用されている。封止樹脂は、マトリックスを形成するエポキシ樹脂、フィラとしてのシリカ粉末が基本素材であり、これに各種添加剤が加わった構成である。70～75 wt% 加えられているフィラが主成分だが、成形品の熱特性はマトリックス樹脂の構成によって決まる。現行封止樹脂の多くが、主剤にクレゾールノボラック型エポキシ樹脂、硬化剤にフェノールノボラック樹脂、硬化触媒にルイス塩基を用いたマトリックス組成系を採用している。しかし、この硬化系では耐熱性が、たとえば、ガラス転移温度で 165°C 前後と低く、200°C 以上となる表面実装温度では室温と比べて強度、靱性が大幅に低下し、内部に発生した高い水蒸気圧による破壊応力に耐えられない。

図4 K_{Ic} の温度依存性

表面実装時の耐クラック性を向上させる方法として、樹脂物性側からは、封止樹脂の吸湿率を下げる、封止樹脂の接着力を上げる、封止樹脂のガラス転移温度を上げる、などの方法が提唱されている⁸⁾。これらの方法の中で、樹脂のガラス転移温度を上げる方法が最も有効と思われる。図 4 に示したようにガラス転移温度を上げると高温での強度のみならず高温での靱性値が高いレベルに保たれ、表面実装時にクラックが発生しない。樹脂クラックの発生を半導体パッケージでテストした結果を表 1 に示す。

先に述べたクレゾールノボラック型エポキシ樹脂とフェノールノボラック樹脂を用いる低ガラス転移温度 (150～170°C) の樹脂に代わる高ガラス転移温度の樹脂を得るために耐熱エポキシ樹脂とポリイミド樹脂がこれまでに検討された。この結果エポキシ封止樹脂では、190～205°C、ビスマレイミドを用いるポリイミド封止樹脂では 200～240°C の封止樹脂が試作され、耐熱エポキシ樹脂は、すでに実用化されている¹⁰⁾。耐熱エポキシ封止樹脂とポリイミド封止樹脂の物性の一例を表 2 に示す。なお、ポリイミド封止樹脂は、半導体を封止した場合の信頼性を評価している段階で未だ実

表 1 樹脂特性と耐リフロクラック性

	T_g (°C)	K_{Ic} (215°C) (MN/m ^{3/2})	吸湿率 (ppm)	接着力 (対フレーム) (MPa)	VPS 時 パッケージクラック 発生率 (%)
樹脂 A	200	1.1	1700	0.3	0.0
樹脂 B	150	0.3	1500	1.9	5.3
樹脂 C	160	0.4	2000	0.0	15.0

表 2 半導体封止用耐熱成形材料の特性

測定項目/成形材料	エポキシ封止樹脂	ポリイミド封止樹脂
ガラス転移温度 (°C)	200	223
曲げ強さ (MPa) 215°C	35.3	68.6
曲げ弾性率 (MPa) RT	1.23×10^4	1.31×10^4
線熱膨張係数 (1/°C)	1.4×10^{-5}	1.6×10^{-5}
吸湿率 (ppm)	1700	1850
離型荷重 (MPa)	0.5	0.5
成形品硬度 (バーコル硬度) 175°C	80	85

用化されていない模様である。

今後、赤外線リフロなど、よりいっそう耐熱性が要求される表面実装法の展開が予定されているのでポリイミド封止樹脂を含む耐熱封止樹脂の開発と物性の評価、信頼性の評価を急ぐ必要がある。有限要素法による樹脂の応力解析、吸湿・高温環境における樹脂の破壊靱性・強度の評価に加えて実際の現象、すなわち、発生する水蒸気内圧の測定、さらに破壊現象の観察を通して、リフロクラックを発生させないために半導体封止用樹脂に付与すべき物性の本質の解明が望まれる。

文 献

- 1) 尾形正次, 鈴木 宏: 熱硬化性樹脂, **13** [4] 235 (1992)
- 2) 北野 誠, 河合末男, 西村朝雄, 西 邦彦: 日本機械学会論文集 (A 編), **55** [510] 356 (1989)
- 3) 三浦英生, 西村朝雄, 河合末男, 西 邦彦: 日本機械学会論文集 (A 編), **55** [516] 1763 (1989)
- 4) 川村法靖: 第 70 期日本機械学会全国大会講演論文集, No.920-17, Vol A, 237 (1992)
- 5) 川村法靖: 第 70 期日本機械学会全国大会講演論文集, No.920-17, Vol A, 543 (1992)
- 6) 澤田佳奈子, 内田 健: 電子情報通信学会技術研究報告, **88** [229] 67 (1988)
- 7) 北野 誠, 河合末男, 西村朝雄: 日本機械学会論文集 (A 編), **57** [538] 1398 (1991)
- 8) 松本一高, 川村法靖, 澤田佳奈子: 1993 年電子情報通信学会春期大会講演論文集 C-419 (1993)
- 9) K. Uchida, A. Yoshizumi, K. Sawai: SPI Composites Institute, 48th Annual Conference. Session 14-E, (1993)
- 10) 内田 健, 善積 章, 沢井和弘: 東芝レビュー, **45** [4] 357 (1990)

(材料/デバイス研究所・研究主幹, 専門=高分子絶縁材料の研究・開発)

BOOKS

新刊・新着図書

Emerging Technologies in Plastics Recycling (ACS Symposium Ser., No.513) G.D. Andrews and P. M. Subramanian 編, 315 頁, 15,990 円 (1992) ACS, USA

Fundamental Principles of Polymer Materials (2nd ed.) S. L. Rosen 著, 400 頁, 13,190 円 (1993) Wiley, USA

Fundamentals of Polymer Degradation and Stabilisation N. S. Allen 他著, 208 頁, 32,300 円 (1992) Applied Science, UK

Faserverbund - Kunststoffe: Werkstoffe - Verarbeitung-Eigenschaften G. W. Ehrenstein 著, 195 頁, DM 48 (1992) Carl Hanser Verlag, Germany

Handbook of Adhesion D. E. Packham 編, 600 頁, 28,800 円 (1992) Longman, UK

Immobilization on Polymers M. I. Shtilman 著, 490 頁, 48,750 円 (1992) VSP, the Netherlands

Industrial Coatings: Properties, applications, quality and environmental compliance 180 頁, 16,000 円 (1992) ASM, USA

Infrared Spectroscopy of Polymer Blends, Composites and Surfaces A. Garton 著, 288 頁, DM 98 (1992) Carl Hanser Verlag, Germany

Injection Molds: 108 Proven Designs (2nd ed.) E. Lindner and P. Unger 編, 260 頁, DM 110 (1992) Carl Hanser Verlag, Germany

Introduction to Industrial Polymers (2nd ed.) H. Ulrich 著, 188 頁, DM 74 (1992) Carl Hanser Verlag, Germany

Kevlar Aramid Fiber H. H. Yang 著, 224 頁, 13,800 円 (1993) Wiley, USA

Kunststoff-Handbuch Bd. 3/2: Technische Polymer-Blends: PC-ABS-Blends, PC-P BT-Blends, PPE-Blends 308 頁, DM268 (1992) Carl Hanser Verlag, Germany

Kunststoff - Maschinenführer F. Johannaber 編, 1244 頁, DM 168 (1992) Carl Hanser Verlag, Germany

バイオプラスチックのすべて 地球環境の保全にむかって, 白石信夫, 谷 吉樹, 工藤謙一, 福田和彦編著, 201 頁, 1980 円 (1993) 工業調査会

本欄は国内で刊行された高分子関係図書のほか, 海外で発行されたもので国内で入手できる新着図書を紹介します。