広島工業大学 工学部 知能機械工学科 中村研究室

中 村 省 三*

1. はじめに

広島工業大学のキャンパスは、広島市の西部、佐伯区三宅の山麓の南斜面に階段状に広がり、東に広島市の中心部を、南に瀬戸内海の島々や世界遺産厳島神社のある宮島を臨む風景に恵まれた土地に位置している（図1）。

本学は、校祖鶴虎太郎の信念であった「教育は愛なり」を建学の精神として昭和38年度に創設され、「常に神と共に歩み社会に奉仕する」を教育方針とする技術系大学で、これまで3万1千名余の卒業生を世に送り出している。現在は、工学部6学科と環境学部2学科を持ち、大学院は、工学研究科および環境学研究科の2研究科4専攻（博士前期課程・修士課程）と1専攻（博士後期課程）となっている。工学部は、人類全体に役立つ「もの」を創出する方法を研究しつつ、テクノロジーの未来を開拓することを教育研究目標にしている。環境学部は、「自然や周辺環境との共生」をテーマに環境を考えることにより、学問の新しい分野を開拓することを教育研究目標としている。同学部は、我が国最初の「環境学」を銘打った学部として開設した。

また、近年、ロボット機器をはじめ構造物や材料に対しても、環境の変化に知的に対応し、自主的に機能を発現させようとする試みが注目されている。これに対して本学では、文部科学省私立大学ハイテク・リサーチ・センター整備事業の一環として、平成10年に知能材料・機器研究センターを設立し、研究開発プロジェクト「知的機能保有型材料・機器の開発に関する研究」を進めている。同センターは、そうした知的な機能を持つ新材料や機器の創製を目指す、いわば未来志向の「知的なものづくりの発信拠点」として、情報・設計開発技術、材料科学、材料・機器の創製・加工技術、計測・評価技術など多岐にわたる横断・学際的な領域において協調的・グローバルな研究を進めている。

2. 研究室の概要

中村研究室は、工学部の知能機械工学科に所属し、博士前期課程の院生7人、学部生7人の計14人のメンバーで研究を行っている（図2）。平成12年に設立されたばかりで、歴史はまだ浅いが、日々の研究活動に充実感を味わっている。当研究室の方針は『変革』で、現状に満足することなく、常に新しいアイデアを生み出すべく、積極果敢

図1 広島工業大学

図2 中村研究室メンバー

な挑戦をスローガンにメンバー全員が一致団結している。研究内容としては、携帯電話やノートパソコンなどに用いられる各種半導体デバイスの熱応力解析やプラスチック材料の熱的・力学的特性の改善・評価などに関するもので、基礎から応用までを視野に入れた幅広い取り組みをしている。本研究室の主な研究装置は、各種プラスチック材料の熱粘弾性的特性を測定する動的粘弾性測定装置（DMA）、線膨張係数などを測定する熱的機械的分析装置（TMA）や熱的寿命を評価する冷熱衝撃試験機などがある。

3. 研究の概要

近年、電子機器は低価格化をはじめとする製品競争力強化のため、軽薄短小化や多機能化がますます熾烈を極めていく。このような状況下で、半導体デバイスは小型・薄型

* Nakamura, Shozo
広島工業大学工学部知能機械工学科
広島市佐伯区三宅2-1-1（〒731-5193）
2003.6.23 受理

化が進む一方、実装面ではより高密度・高信頼化が強く求められている。そして、半導体デバイスの小型・薄型化に伴って、プリント基板を含めた実装系全体の強度低下や変形防止が重要な技術課題である。

半導体デバイスは一般に金属、LSIチップ、有機材料などの複合材料から構成されている。このような半導体デバイスが、実装時やその後の使用環境において、熱的・機械的負荷を与えられると、構成材料の物性の違いから、半導体デバイスには大きな熱応力や残留応力ならびに反り変形が発生することになり、これが高密度実装の可否や接合強度信頼性を阻害する大きな要因となる。したがって、発生する熱応力や熱変形挙動を事前に定量的かつ高精度で予測・評価することは、半導体デバイスの材料・プロセス・構造の最適設計のみならず、新製品の信頼設計技術構築の上からも極めて重要な問題である。

一方、半導体デバイスの分野においては、特にLSIチップの寸法にまで外形が小さいCSP (Chip Scale Package)の開発が熾烈を極めている。このCSPはLSIチップ、エラストマ、接着剤、ポリイミド、Cu箔等の多種多様な素材からなり、これがプリント基板などに実装されると構成材料の線膨張係数や弾性係数などの違いから、はんだ接合や熱サイクル負荷などの各種の熱プロセスを受ける過程で、半導体デバイスには複雑な熱応力や熱変形が生じる。そして、これらが原因で半導体デバイスには界面剥離や材料亀裂が発生するなど信頼性低下の恐れがあり、構成材料の物性や構造ならびに熱プロセスの最適化が必須の課題となっている^{1)~4)}。

上記の技術的課題を背景に、当研究室は半導体デバイスに生ずる熱残留応力や反り変形挙動の数値解析、ならびに各種プラスチック材料の熱粘弾性特性に関する基礎から応用までの研究を進めている。

4. 研究内容

(1) 熱粘弾性応力解析

半導体デバイスは、接着剤、エラストマ、プリント基板などの粘弾性材料を含み、これらの熱的・機械的性質は時

図3 パッケージの種類

間と温度によって著しく変化する。従って、従来の温度・時間依存性を考慮しない解析では実態を表現しない点が大きき問題である。すなわち、エポキシ樹脂やエラストマ、封止材料、プリント基板などの粘弾性材料を有する半導体デバイスにおいては、従来の弾塑性解析ではその熱応力・熱変形挙動の解明にはおのずと限界があり、これらの構成材料の時間および温度依存性を考慮にいれた熱粘弾性応力解析手法の導入が必要不可欠である^{5)~17)}。

そこで、我々は線形粘弾性理論に基づいた熱粘弾性解析プログラムを独自に開発し、その妥当性と有効性を実験的に検証した^{7), 15), 17)}。そして、これらの検証結果に基づいて、熱応力や反り変形挙動を定量的かつ高精度に予測し、材料・プロセス・構造の最適化に関する研究を進めている。

最近では、半導体デバイスに生ずる熱応力や反り変形挙動の評価・解析に当たって、LSIチップと複合して用いられる接着剤や充填樹脂などの材料物性影響因子^{9), 12)}や熱負荷条件の影響¹⁰⁾、ならびに構成材料の層構造の最適化¹¹⁾に関して研究を進めている。

(2) 有限要素応力解析

CSPなどの半導体デバイスにはんだ接合や温度サイクルなどの熱負荷が加わると内部に強い熱応力が生じ、それが原因で界面剥離や接続不良が発生する¹⁸⁾。そこで、こ

図4 研究の目的と熱粘弾性解析の必要性

図5 熱粘弾性解析ソフトによる変形事例

では具体的に複雑な形状を有する半導体デバイスの強度信頼性を確保する目的で、はんだ接合部に生ずる熱応力など主にデバイスの構造・形状面からプラスチック材料の温度依存性を考慮した有限要素法による熱応力解析を行っている。

(3) 熱劣化挙動

LSIチップ、はんだなどの金属材料と、接着剤、封止レジジン、エラストマなどのプラスチック材料で構成される半導体デバイスにおいて、特にプラスチック材料は熱や吸湿によって物性の劣化が著しい。そこで、この劣化挙動を予測・評価することは、半導体デバイスの寿命予測や長期信頼性の確保の点で重要である。すなわち、使用時の発熱や使用環境などによるプラスチック材料の熱劣化を簡便にかつ高精度で予測することは工業的、工学的に非常に重要である。

そこで、我々は各種プラスチック材料に熱負荷を与えた際の力学的性質の熱劣化挙動を明らかにする目的から、現在プラスチック材料の熱寿命の予測評価に関する研究を行っている。

5. 今後の展開

今後は実験と数値解析の両面から、接着界面強度や接着界面剥離の問題、熱劣化挙動の問題を含め、ベアチップ実装、マルチチップモジュールなどの各種半導体デバイスを対象に、それらの強度信頼性評価技術や寿命予測技術の構築を目指して研究を進める予定である。この種の問題に興味のある方は中村研究室までご連絡下さい。

〔中村研究室連絡先〕

TEL 082-921-3121

FAX 082-921-8974

E-mail: nakashi@me.it-hiroshima.ac.jp

図6 はんだボール周辺のせん断応力(有限要素応力解析)

参考文献

- 1) Taketani, N., Hatano, K., Sugimoto, H., Yoshioka, O. and Murakami, G.: *ISHM, Proceeding*, 594 (1996)
- 2) 村上 元: エレクトロニクス実装学誌, **1**(1), 19(1998)
- 3) 酒見省二, 野中和宏: エレクトロニクス実装学会誌, **2**(3), 236 (1999)
- 4) 竹村賢三, 永井 郎, 渡辺伊津夫: エレクトロニクス実装学会誌, **2**(2), 99 (1999)
- 5) 村上 元, 中村省三, 御田 護, 宮野 靖: エレクトロニクス実装学会誌, **3**(1), 34 (2000)
- 6) Murakami, G., Mita, M., Nakamura, S., Ueno, K. and Nakamura, K.: *Chip Scale Review*, **2**(5), 55 (1998)
- 7) 中村省三, 村上 元, 井坂和博, 上野恵尉, 中村敬一: エレクトロニクス実装学会誌, **2**(4), 291 (1999)
- 8) 中村省三, 河野 務, 御田 護, 上野恵尉: プラスチック成形加工学会講演論文集 (1998)
- 9) 中村省三, 串崎義幸, 村上 元, 木戸光夫: エレクトロニクス実装学会誌, **5**(4)(2002)
- 10) 中村省三, 後藤雅彦, 串崎義幸, 木戸光夫: エレクトロニクス実装学会誌, **5**(7)(2002)
- 11) 中村省三, 串崎義幸, 後藤雅彦, 大橋和彦, 木戸光夫: エレクトロニクス実装学会誌, **6**(1)(2003)
- 12) 中村省三, 後藤雅彦, 串崎義幸: プラスチック成形加工学会誌, **15**(4)(2003)
- 13) 河田広志, 池上皓三: 日本機械学会論文集, **56 A**, 2471 (1990)
- 14) 大塚雅志, 佐藤千明, 池上皓三: 材料, **43**, 18(1994)
- 15) 中村省三, 篠田忠夫, 金田愛三, 宮野 靖: 日本機械学会論文集, **864**(2), 28 (1986)
- 16) 中村省三, 宮野 靖, 杉森 勝, 金田愛三: 日本機械学会論文集, **53 A**, 1813 (1987)
- 17) Nakamura, S., Miyano, Y., Sugimori, S. and Kaneda, A.: *JSME International journal*, **31**, 126 (1988)
- 18) 于 強, 白鳥正樹: エレクトロニクス実装学会誌, **1**(4), 287 (1998)