

## 3. 電機業界

澤井章能\*, 原賀康介\*

### はじめに

最近の電気・電子機器においては、システム化・複合化、高性能化、デザインや機能の多様化、小形・軽量化、環境負荷低減、低価格化などの傾向が著しく、このような傾向に対応するために、高密度化、高精度化、構造や材料の最適化、生産コストの低減などが要求されている。このような中で、種々の効果を生み出す接着技術は、電気・電子機器の組み立てにおいて必要不可欠な要素技術となっており、種々の適用がなされている。

一方、開発期間の短縮、試作レス化、最適設計、設計品質の向上などの要求も強く、特性データの乏しさ、評価項目の多さ、評価期間の長さ、耐久性の不明確さ、検査法の欠乏、接着不良発生時の損失の大きさなど、接着を採用しにくい状況にもある。このような状況を打破するために、接着特性データベースの整備、接着特性のシミュレーション技術の開発<sup>1)</sup>、加速試験方法の開発、複合環境下での耐用年数経過後の安全率の定量化法の開発<sup>2)</sup>などが機器メーカー主体でなされている。

### 3.1 電気・電子機器における接着技術の利用の目的

電気・電子機器の組み立てに接着技術を用いる目的には以下のようなものがある。

#### 3.1.1 異種材接合

電気・電子機器に使用される部品の材質は機能上から決まることが多く、接合は異種材の組み合わせとなるのが一般的であり、接着以外に接合方法がないことが多い。

#### 3.1.2 小型化、高密度化

接着接合では部品にねじ締めや溶接、かしめなどの接合のためのスペースが不要となる。

#### 3.1.3 高精度化

溶接による部品の変形や、ねじ締めトルクによる微小な位置ずれが接着接合では生じない。また、接着剤の充てん効果を利用すれば、高精度な三次元位置合わせなども容易に行える。

#### 3.1.4 低温接合

接着は溶接やろう付け、はんだ付けなどに比べて接合温度が低いため、熱に弱い部品の接合に適している。

#### 3.1.5 製造工程の合理化

接着剤の充てん効果の利用による加工精度の低減、穴あけ・ねじ切り加工の廃止、溶接ひずみ除去工程の廃止、高精度位置合わせの簡素化、化粧鋼板やプレコート鋼板化による塗装工程の廃止などが図れる。

#### 3.1.6 軽量・高剛性化

薄板や薄肉部品の高強度接合、高剛性化、耐振動性向上が同時に実現できる。金属からプラスチックなどの軽量材への変更にも容易に対応できる。

#### 3.1.7 熟練技能、3K 作業からの脱皮

アーク溶接やひずみ修正作業には高度な熟練技能者が必要であるが、技術の空洞化に伴い熟練技能者の不足が問題となっている。また、溶接や塗装およびその関連作業は騒音、塵埃、閃光、溶剤などの点から 3K 作業の代表とされ、作業環境の改善が急務である。接着接合による板金組立や、化粧鋼板やプ

\* 三菱電機(株) 先端技術総合研究所  
兵庫県尼崎市塚日本町 8-1-1 〒661-8661

レコート鋼板の採用によりこれらの問題は大きく改善できる。

### 3.1.8 省エネルギー化

接着接合は分解の困難さからリサイクル上敬遠される傾向にある。しかし、接着接合は製品組立工程における使用エネルギーの削減に大きな効果が得られることから、板金構造物のように部品単位への分解を必要としない同種材料同士の接合に多用されつつある。

### 3.1.9 はんだ代替材料<sup>3)</sup>

導電性接着剤は半導体素子をダイパッドに接合するダイボンドに多用されている。この用途に代わって、これまでクリームはんだを使用してきたチップ抵抗やチップコンデンサなどの基板実装に、導電性接着剤をはんだの代替材料として導入する動きが活発化している。この背景には、RoHS 指令により、欧州において市場に投入される電気・電子機器への鉛などの有害物質含有が禁止されたことも影響している。はんだ代替用途に開発された導電性接着剤は、はんだの特性に近づいてきており、一部の機種でははんだ代替材料としての使用を開始されている。しかし、導電性接着剤では不良発生時にはんだのようなリワークが困難であり、材料コストもクリーム半田に比べて割高である。更なる導電性接着剤の使用拡大のためには、歩留まりを向上させる実装プロセス確立と導電性接着剤の低コスト化が課題である。

### 3.1.10 素子の保護

能動素子である半導体素子や、チップコンデンサなどの受動素子を埃や湿気などの周囲環境から保護するために、素子上に直接、液状樹脂を塗布する封止材はそれ自体が強力な接着剤である。ポッティング材、アンダーフィル材、モールド材などがあり、封止方法や封止形状によって種々の封止材が実用化されている。

### 3.1.11 その他

部品間の熱伝導特性の向上、光学部品表面での反射防止などが図れる。

## 3.2 電気・電子機器に使用される接着剤の特徴

電気・電子機器用接着剤は、他の産業分野で使用される接着剤と異なり、次のような特徴がある。

### 3.2.1 多品種少量

例えば、携帯電話用のカメラやスピーカーの組み立てでは接着剤塗布量が1ヵ所当たり0.01mg以下の箇所が多い。また、接着箇所により使用される接着剤は全く異なる。

### 3.2.2 高機能

電気特性、絶縁特性、光学特性、機械特性、熱伝導特性、低内部応力（低硬化収縮応力、低熱応力）、物性のリニアリティ（膨張係数など）、物理的・化学的耐熱性、難燃性、低吸水性・低透湿性、耐油性など要求機能が多岐で高度で、複数の機能が同時に要求されることが多い。

### 3.2.3 高純度

半導体、プリント基板、光学機器、宇宙用機器などでは、イオン性物質、腐食性物質、未反応物質、アウトガスなどを抑制した接着剤が使用される場合が多い。

### 3.2.4 環境の多様性

高温・低温・極低温、ヒートサイクル・ヒートショック、電子デバイスのはんだ実装（リフロー）、水・薬品・油、紫外光、放射線、真空中、振動、摺動（摩擦）など環境が多岐にわたり、組合せも多い。

### 3.2.5 被着材料の多様性

部品の機能上、材料表面に特殊な処理がなされる場合が多く、素材の材質で判断できないものが非常に多い。

### 3.2.6 作業性

前処理容易（油面接着性など）、一液性・二液非混合、広い配合比、精密・微量塗布性、粘性（非流動性、浸透性）、ロング可使用時間（位置合わせなど）、低温・短時間接着、易分離性（仮固定、リペア）など要求条件は非常に多い。

### 3.2.7 環境適合性

ノンハロゲン、Cr、Cd、Pbなどの有害物質レス、

溶剤レス、易解体性、リサイクル性など要求は今後さらに厳しくなる。

### 3.3 電気・電子機器の種類と接着剤

電気・電子機器と言ってもその種類は千差万別であり、使用される接着剤は機器の種類や用途により多岐にわたっている。以下に、機器別に使用される代表的な接着剤の種類と特徴を示す。

#### 3.3.1 重電機器

大型発電機や送電・変電機器などの重電機器では、絶縁材料として樹脂が多用されているが、接着剤が主要な部分に使用されている例は非常に少ない。最近では、大型風力発電機の回転子で永久磁石接着がなされるようになり、エポキシ系や二液型アクリル系などの接着剤が使用されている。海岸地帯での長期耐久性が要求される。

#### 3.3.2 航空・宇宙用機器

航空機や人工衛星搭載機器は軽量であることが重要でハニカムパネル部品の製造や太陽電池の固定、複合材料の接合などに接着剤が使用されている。接着剤はエポキシ系とシリコン系が主であり、宇宙用は熱真空下でのアウトガスや耐放射線性などの要求条件が厳しく、ほとんどが特定の輸入品である。

#### 3.3.3 通信用アンテナ

衛星通信用の大型パラボラアンテナや電波望遠鏡などではアンテナ反射面に高い精度が要求され、組み立てにエポキシ系接着剤や二液型アクリル系接着剤が使用されている。接着剤には強度、耐久性、低膨脹係数、隙間充てん性などが要求される。

#### 3.3.4 システム制御機器

電力・工業プラントや交通システム、上下水道などの公共システム、ビル管理システムなどの制御装置は大地震にも耐える耐震性が必要で、最近では制御装置を収納する筐体の組み立てに二液型アクリル系接着剤が使用されている。接着剤には強度、耐久性、油面接着性、室温硬化性、作業の簡便性などが要求される。

#### 3.3.5 モーター

工作機械やロボットなどに使用されるサーボモ-

ターや自動車用電装モーターなど、回転子のシャフトやステータに永久磁石が接着されたものが多い。接着剤はエポキシ系や嫌気性、二液型アクリル系などが使用されており、強度、耐熱性、短時間硬化性、耐ヒートサイクル性などが要求される。最近では、エレベーター巻上機用モーターも永久磁石化が進んでいる。

#### 3.3.6 エレベーター・エスカレーター

エレベーターのかご室や乗り場の扉や壁パネルは、軽量で剛性が高く、しかもひずみのない美しい外観が必要であり、パネルの補強材接合に接着が多用されている。接着剤は主として二液型アクリル系が使用されている。接着剤には、強度、耐熱性、低内部応力、油面接着性、低温硬化性などが要求される。

エスカレーターでは、ゴム手摺りの製造やゴムローラーの製造で加硫接着が行われている。

#### 3.3.7 冷熱機器

工業用、ビル用、車両用、家庭用などの冷熱機器においては各種の断熱材が接着剤により接着されている。従来から溶剤型ゴム系接着剤が使用されてきたが、最近は環境対策から水性タイプやホットメルト、粘着剤へ変更されつつある。

#### 3.3.8 液晶ディスプレイ

液晶ディスプレイの組み立てにおいては、2枚のガラス基板の接着と液晶のもれ防止のためにエポキシ系や紫外線硬化型などのシール剤や液晶注入口の封止剤が使用されている。接着剤には液晶との反応性や液晶中への不純物の拡散がないことなどが要求される。ガラス基板の電極とFPCの接続には熱硬化性や熱可塑性の異方性導電フィルムが使用されている。また、電極部の補強には紫外線硬化樹脂が使用されている。

#### 3.3.9 光部品

光通信用コネクタ、CD・MD・DVDなどの光ヘッド、サーボモーター用光学式エンコーダー、携帯電話用カメラなどは、非常に高い組立精度が要求され、接着剤が多用されている。接着剤はエポキシ系、シリコン系、紫外線・可視光硬化型などが使用されている。接着剤には低硬化収縮、低内部応力、透明性・遮光性・屈折率などの光学特性、微量塗布性、

耐湿性などが要求される。

### 3.3.10 半導体パッケージ

IC チップをダイパッドに接合するダイボンドやパッケージングに接着剤が使用されている。ダイボンド用接着剤には電気伝導性、熱伝導性、高純度などが要求され、主として銀フィラーを含有したペースト状のエポキシ系接着剤が使用されている。最近ではダイボンドに熱可塑性接着剤も使用されている。携帯電話などの小型電子機器用途では、複数の IC チップを高密度に実装した半導体パッケージがあり、IC チップの積層接着のために、変成エポキシ系絶縁フィルムが使用されている。また、ウエハの製造プロセスにおける研磨や、ウエハを切断して個片の IC チップにするダイシングプロセスには、特殊な粘着シートが使用されている。その他、半導体パッケージ上への放熱フィンを取付けや半導体パッケージのプリント基板への実装などにはシリコン系や紫外線硬化型、エポキシ系などの接着剤が使用されている。

### 3.3.11 磁気記録装置

ビデオやパソコンの磁気記録装置の磁気ヘッドの組み立てにはエポキシ系、シアノ系、紫外線硬化型などの接着剤が多用されている。接着剤には低内部応力、低粘度、耐摩耗性、短時間接着性などが要求される。ヘッド部品の製造プロセスにおいては研磨や切断時に部品を治具に仮固定するために高純度のワックスやシアノ系接着剤が使用される。接着剤には貼り付け時の展性、加工時の硬度、取り外し時の溶解性、低内部応力などが要求される。

### 3.3.12 家電品

家電品の組み立てにおいてはホットメルトや粘着シート、シリコン系、嫌気性、二液型アクリル系、ゴム系、シアノ系、ドープセメントなど種々の接着剤が使用されている。しかし、組み立ての主体はカシメや勘合、ネジであり接着剤は二次的に使用されることが多い。接着剤にはラインタクトに追従できる短時間接着性や難燃性、リサイクル性などが要求される。

## 3.4 適用事例

### 3.4.1 モーターの磁石接着

図 3.1<sup>4)</sup>は、同期型 AC サーボモーターの構造を示したもので、回転子の軸に永久磁石が固定されている。磁石は希土類系、フェライト系などが使用されるが、最近では強力な Nd-Fe-B 系磁石が多い。磁石の表面はめっきや塗装がされるものが多い。形状はセグメント状やリング状のものがある。磁石の固定には接着が用いられる場合が多く、エポキシ系、嫌気性、二液室温硬化型変成アクリル系などが使用されている。

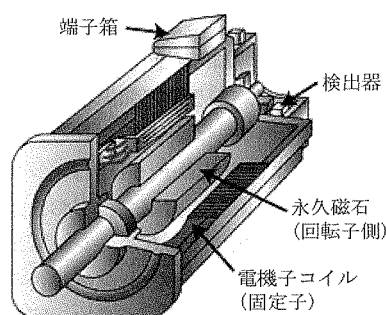


図 3.1 同期型 AC サーボモーターの構造<sup>4)</sup>

磁石の高性能化に伴って、最近では大型モーターや発電機でも永久磁石化が進みつつあり、エレベーター巻上機用モーター<sup>5)</sup>や回転羽根径 75m クラスの大型風力発電機の回転子にも使用されている。

接着剤の選定にあたっては、高温における接着強度、ヒートサイクルによる離れや磁石の割れ、疲労特性、熱劣化性、作業性、凝集破壊率の高さなどを考慮する必要がある。特に、Nd-Fe-B 系磁石は線膨張係数がゼロからマイナスであるため熱応力対策が重要である。高温で高い接着強度を確保するためにはガラス転移温度の高い接着剤が好ましいが、一液加熱硬化型エポキシ系接着剤を使用する場合には、硬化後の冷却過程で大きな熱応力が生じ、低温雰囲気下では熱応力はさらに増加するのではなく離れや磁石の割れの点で不利である。室温硬化型接着剤の場合は加熱硬化型接着剤に比べて熱応力は大きく低減される。弾性エポキシ系接着剤を用いると熱応力の問題は解決されるが、高温における接着強度や変位、クリープなどの点で問題となる場合がある。

### 3.4.2 サーボモーター用光学式エンコーダーの組み立て

サーボモーターには、回転角・速度・方向を検出するためのエンコーダー（図 3.1 のサーボモーターの構造に示した検出器）が付いており、検出情報をサーボアンプ(制御部)にフィードバックしている。図 3.2<sup>4)</sup>は、サーボモーター用光学式アブソリュート(絶対値)エンコーダーの構造を示したものである。回転円板の結合方式は、回転円板をエンコーダー軸に接着固定した後、機械的にエンコーダー軸とモーター軸とを接続する方式と、直接モーター軸に接着固定する方式とがある。回転円板と軸との接着構造は、軸の端面を回転円板に突き当てて接着する構造や、ドーナツ形状に開口した回転円板の開口部を軸に接着する構造などがある。回転円板はガラスまたは透明な成形プラスチックが使用される。また、発光素子(LED)および受光素子(PD)はエンコーダーケース内に精密に位置決め固定されており、発光素子上には光線を平行光にするためのレンズが精密に位置決め接着固定されている。レンズは透明な成形プラスチックが使用されることが多い。回転円板やレンズの接着は精密に位置決めした後、瞬時に固定したいという要請から、光硬化型接着剤が用いられる場合が多く、エポキシ系、(ウレタン)アクリレート系、(ウレタン)メタクリレート系などの紫外線硬化型接着剤が使用されている。

エンコーダーの低コスト化および高耐熱化に伴って、最近は紫外線を透過しないスーパーエンジニアリングプラスチックが回転円板や他の光学部品に使用されつつあり、その場合の接着には従来の紫外線硬化型接着剤に替わり、可視光硬化型接着剤や熱硬化性を付与した紫外線硬化型接着剤が使用されている。

接着剤の選定にあたっては、硬化収縮による変位、劣化による寸法変化、高温における接着強度、ヒートサイクルによるはく離やクラック割れ、熱劣化性、湿気劣化性、凝集破壊率の高さ、作業性、高速硬化性、アウトガス

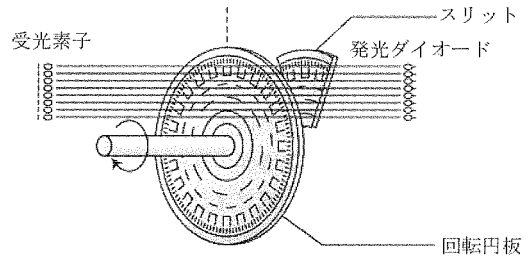


図 3.2 アブソリュート(絶対値)エンコーダーの構造<sup>4)</sup>

付着による光学部品のスモッグなどを考慮する必要がある。特に、アクリレート系紫外線硬化型接着剤は硬化収縮が大きく、また、エポキシ系紫外線硬化型接着剤に比べて耐熱性が劣り寸法変化が発生するため、これら両方の側面から光学部品の変位対策が重要である。接着剤にシリカなどの充てん物を添加することで硬化収縮を抑制することが可能であり、また、ガラス転移温度の高い接着剤を用いることで熱劣化を抑制することが可能である。エポキシ系紫外線硬化型接着剤はガラス転移温度が高く、高温で高い接着強度を示し熱劣化が小さいが、接着剤の硬度が大きいため、接着剤の選定に注意を要する。

### 3.4.3 人工衛星搭載機器の接着組み立て<sup>6~8)</sup>

図 3.3<sup>6)</sup>は、通信衛星インテルサットVII号の外観である。両翼の6枚のソーラーアレーパネル(2.4×2.6m/枚)、直径1.6mと2.4mの6/4GHzパラボラリフレクタアンテナ、各種の機器が搭載される機器パネルや構体パネルにハニカムサンドイッチパネルが採用されている。

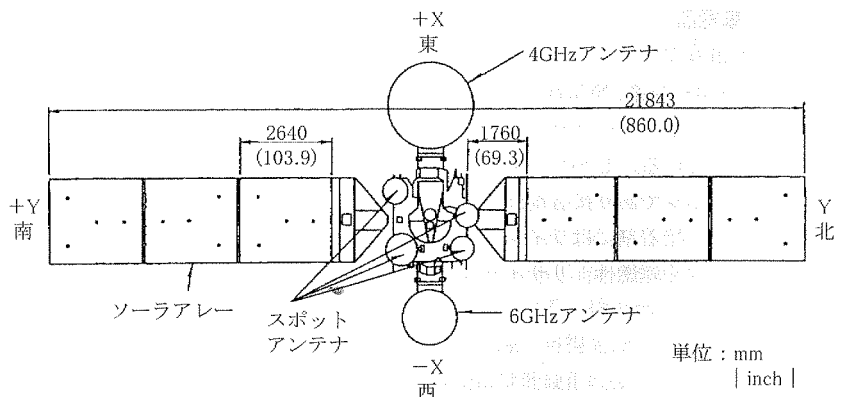


図 3.3 インテルサットVII号の外観<sup>6)</sup>

図 3.4<sup>7)</sup>に、ソーラーアレーパネルの構成の 1 例を示した。軽量化、強度、剛性、膨張係数などの点から表皮には薄肉 CFRP が用いられている。アルミハニカムコアと表皮の接合にはフィルム状のエポキシ系接着剤が使用されるが、接着剤も面密度の小さい軽量なものが使用されている。パネルの表面には高効率シリコン太陽電池 (約 4cm×6cm, 厚さ 200 $\mu$ m) が接着されており、個々の太陽電池の表面には低エネルギープロトンによる放射線劣化を低減させる目的でカバーガラス (厚さ 100 $\mu$ m) が透明な接着剤で接着されている。カバーガラスおよび太陽電池の接着にはシリコン系接着剤が使用されている<sup>8)</sup>。

機器パネルには発熱量の大きい電子機器が多く搭載されているため、図 3.5<sup>6)</sup>に示すように、ハニカムパネルに放熱のためのヒートパイプを埋め込んだヒートパイプ埋め込み型パネルが使用されている。ヒートパイプ間およびヒートパイプとパネル表皮の接合はフィルム状接着剤が使用されている。また、機器搭載面と反対側のパネル表面には、太陽光による吸熱量を抑え搭載機器からの発熱を宇宙空間に逃げやすくするために、ガラスに銀を蒸着したオプティカルソーラフレクタ (40mm×43mm) と呼ばれる熱制御材が 1 枚のパネルに約 2500 枚接着されている。接着の方法は太陽電池とほとんど同じである。

### 3.4.4 半導体パッケージの組み立て<sup>9, 10)</sup>

半導体チップをダイパッドに接合するダイボンダやパッケージングに接着剤が使用されている。シリコン半導体デバイスの大半が樹脂モールドパッケージであり、リードフレーム (または配線基板) とモールド樹脂が主な構成材料である。一方、光・高周波デバイスでは、ガリウム・ヒ素など化合物半導体を持つ高周波特性などの利点を生かすため、パッケージの構造、構成材料、必要とされる実装技術は多種多様である。化合物半導体はシリコン半導体に比べ、半導体基板 (ウエハ) の熱伝導性が小さいにもかかわらず発熱密度は大きい。チップで発生した熱を効率よくパッケージ外部へ逃がす放熱性などの観点から、ダイボンダ材として金すずはんだが多用されてきた。し

かし近年、低コスト化、パッケージ材料の樹脂化の要請から、低温プロセスが可能な導電性接着剤をダイボンダ材として使用するが増加している。図 3.6<sup>10)</sup>は CD・DVD など情報処理用 LD (Laser Diode) のモールドフレームパッケージを示したものである。LD チップとセラミック製サブマウントは金すずはんだで接合されているが、サブマウントとモールドフレームは導電性接着剤で接着固定されている。

導電性接着剤は、主として銀フィラーを熱硬化性エポキシ系樹脂に分散配合したペースト状の接着剤、いわゆる銀ペーストが使用されている。銀フィラーの含有率が 75wt% 程度の接着剤が一般的であるが、最近では熱伝導性を向上させるため、銀フィラーを 90wt% 程度にまで高充填した接着剤も市販されている。銀をフィラー材料に用いるのは、他の金属に比べて熱伝導性、電気伝導性が優れるためである。

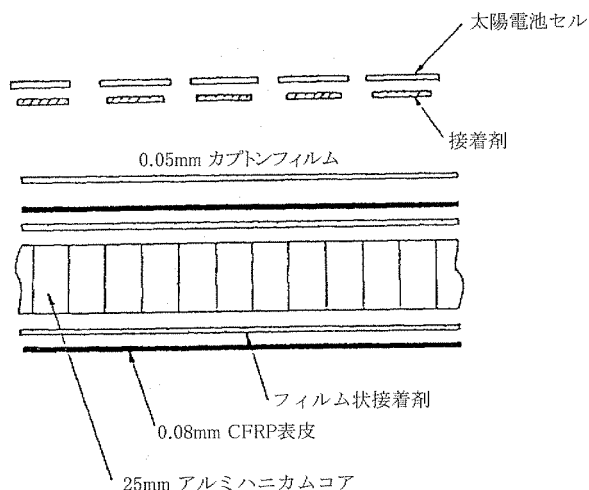


図 3.4 ソーラーアレーパネルの構成の一例<sup>7)</sup>

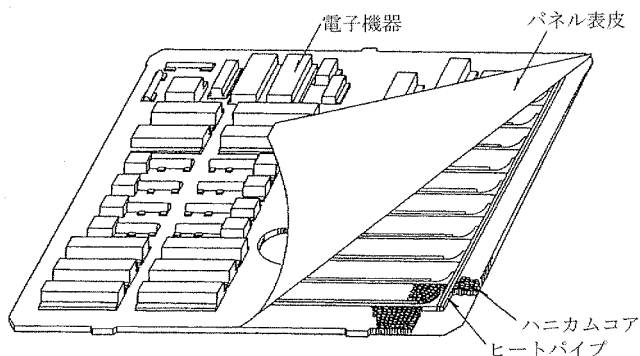


図 3.5 ヒートパイプ埋込み型パネルの構成<sup>6)</sup>

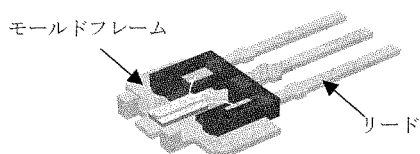


図 3.6 情報処理用 LD のモールドフレームパッケージの構造<sup>10)</sup>

エポキシ系樹脂の他には、ビスマレイミド系、アクリル系、シリコン系などの熱硬化性樹脂を使用した銀ペーストも市販されている。まれに、熱硬化性フィルムや熱可塑性樹脂に銀フィラーを分散配合した導電性接着剤が使用される場合もある。

銀ペーストの選定にあたっては、塗布方法、チップサイズとの適合性、パッケージの性能を満足する熱伝導率や体積抵抗率、パッケージの樹脂封止やはんだリフロー実装による発生応力などを考慮する必要がある。銀ペーストの塗布方法について、パルスエアーによるディスペンスまたはスタンピング（転写）のどちらかを選択することが多いが、1mm 角以下の小チップのダイボンドでは微量塗布の安定性からスタンピングを適用する場合が多い。スタンピングの場合、印刷皿上における耐乾燥性から無溶剤タイプ、また転写時に糸引きが発生しない粘度特性を持つ銀ペーストを選択するのが望ましい。銀ペーストの硬化時に発生するアウトガスやブリード（樹脂成分の染み出し）は、チップの電極パッドとフレームを金線で結線するワイヤボンドの接合不良などダイボンド以降の工程に支障をきたすことがあり、その側面からも銀ペーストの選定に注意を要する。はんだリフロー実装やヒートサイクル試験によって発生する熱応力は、接着部の剥離やそれに起因する封止樹脂のクラックを発生させることがあり、応力緩和のためにも低弾性率の銀ペーストが好ましい。一方、高熱伝導と低弾性はトレードオフの関係にあり、高い熱伝導率の銀ペーストは、銀フィラーを高充填しているため、弾性率が高くなる傾向がある。

## おわりに

以上に、電気・電子機器における接着技術の利用の目的、電気・電子機器の種類と接着剤、適用事例を述べた。電気・電子機器の製造における接着の役割は今後ますます重要になっていくと思われるが、接着が電気・電子機器組み立ての要素技術として確

固たる位置づけを得るためには、今後、接着剤の高性能化、高機能化のみならず、接着特性データベースの構築、接着特性シミュレーション技術の高度化、加速試験方法の開発、信頼性評価技術の高度化、接着品質設計の充実などの開発が重要である。また、接着剤が使用される電気・電子機器の特性や接着前後の工程を深く理解し、基材の表面清浄化など周辺技術を駆使することも重要である。接着剤の今後の動向として、発熱機器に対しては高耐熱化、精密機器に対しては低硬化収縮に向かっていき、これまで接着剤の使用が限定された接合部位にもますます接着剤の適用が拡大すると思われる。ナノ材料を配合することなどによる機能の飛躍的向上や新機能の発現も期待される。

## 参考文献

- 1) 春名一志：“接着接合体の有限要素解析と製品設計への適用”，日本接着学会誌，Vol.34，No.10，403 (1998)。
- 2) 原賀康介：“電気・電子機器における接着品質設計と安全率の定量化”，日本接着学会誌，Vol.39，No.12，448 (2003)。
- 3) 小日向茂：“導電性接着剤（ダイボンディング剤）”，エレクトロニクス実装学会誌，Vol.10，No.1，18 (2007)。
- 4) 三菱電機(株)ホームページ：  
[http://www.f2.mitsubishielectric.co.jp/fair/fa\\_basic/index.html](http://www.f2.mitsubishielectric.co.jp/fair/fa_basic/index.html)
- 5) 船井潔ほか：“高速エレベータ用薄型巻上機”，三菱電機技報，Vol.77，No.10，19 (2003)。
- 6) 今谷敏夫ほか：“インテルサットVII号衛星搭載機器”，三菱電機技報，Vol.65，No.10，34 (1991)。
- 7) 井上登志夫：“宇宙機器に応用されるハニカムサンドイッチ構造”，工業材料，Vol.38，No.9，39 (1990)。
- 8) 原賀康介：“反応型接着剤の電機・電子産業での応用”，接着の技術，Vol.7，No.1，64 (1987)。
- 9) 藤野純司ほか：“導電性接着剤による GaAs チップのダイボンディング”，Mate2006，Vol.12，103 (2006)。
- 10) 高木晋一：“光・高周波デバイス用パッケージと実装技術の動向”，三菱電機技報，Vol.80，No.5，55 (2006)。

