エポキシ変性ポリイミド系接着剤の引きはがし強度に及ぼす窒化アルミニウム基板の表面形状の影響

浅井 博紀*, 岩瀬 暢男*, 須賀 唯知**

Influence of Substrate Surface Shape on Peel-off Strength between Aluminum Nitride Substrates and an Epoxy Modified Polyimide Adhesive

Hironori ASAI*, Nobuo IWASE* and Tadatomo SUGA**

*株式会社東芝研究開発センター表示材料・デバイス研究所（〒210-8582 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1）

**東京大学先端科学技術研究センター（〒153-0041 東京都目黒区駒場4-6-1）

*Display Materials and Devices Laboratory, Research and Development Center, Toshiba Corporation (1 Komukai Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki-shi Kanagawa 210-8582)

**Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo (4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-0041)

概要 樹脂・窒化アルミニウム（AlN）複合パッケージでは、AlN基板と樹脂部品との接着が重要な要素技術である。本研究ではエポキシ変性ポリイミド系接着剤に対しAlN基板の表面形状が引きはがし強度に及ぼす影響について報告した。引きはがし強度は表面粗さが粗いほうが接着強度は向上したが、表面加工方法により向上度は異なった。また、AlNが酸素と結びついて極性基との反応性が向上するような化学的狀態に変化することで接着性が向上した。さらに、基板表面の非極性炭化水素の割合が低下することも接着性の向上に寄与すると思われる。

Abstract

Adhesion between aluminum nitride (AlN) substrates and plastic parts has an important bearing on the development of the plastic and AlN laminated package. This paper reports the influence of surface shape of AlN substrates on peel-off strength between an epoxy modified polyaminobismaleimide adhesive and the substrates. Although peel-off strength increased when the surface became rougher, values differed according to surface treatment method. Surface roughness of each AlN grain, which showed nanometer order, contributes to the increase of peel-off strength. The change of substrate surface to oxidized phase will also contribute to an increase in peel-off strength. Moreover, decrease of non-polar carbon hydride on the substrate surface facilitates an increase in peel-off strength.

Key Words: Package, Polyaminobismaleimide, Aluminum Nitride, Peel-off Strength, Surface Roughness

1. はじめに

半導体素子用パッケージは小型化・薄形化する一方で、パッケージに対する電気特性、放熱特性の要求も増してきている¹⁾。このうち樹脂パッケージでは、樹脂に低誘電率材料を用い、導体に銅を使用することで、高い電気特性を有するパッケージの設計が可能である。また、銅配線もフォトリソグラフィ法を用いて作製できるため、プリント配線板では配線ピッチ20～40μmの微細配線設計が可能であり^{2),3)}、その技術を樹脂パッケージへ転用することが可能である。その結果、小型で高密度なパッケージ設計が可能になる。ところが、樹脂の熱伝導率は通常1 W/(m・K)未満であるため放熱性に劣る。このため半導体素子の消費電力が増大すると発生した熱を逃がすためにヒートシンクをつける必要が生じ⁴⁾、パッケージ構造がキャビティダウン構造になるため小型化することが困難になる。

高熱伝導性セラミックパッケージは高い放熱性を有しており、キャビティアップ構造とすることでパッケージ構造

を小型にしたまま、半導体素子からの熱をプリント配線板へ逃がすことが可能である⁵⁾。しかし、高熱伝導性セラミック材料の誘電率は樹脂ほど低くない。また同時焼成法で用いられる導体配線材料はモリブデンやタンゲステンといった高融点金属材料にフィラーを添加した構成になっているので⁶⁾、樹脂パッケージにおける銅配線と比べ導体抵抗が高い。特に微細配線化が進むと配線の高抵抗化が顕著になる。このため、優れた電気特性を有するパッケージの設計が複雑になりかねない。

これらの課題をバランスよく解決したパッケージとして樹脂・セラミックス複合パッケージがあげられる⁷⁾。このパッケージは電氣的に重要な回路部分を低誘電率樹脂フィルムと銅で作製する。さらに、この樹脂部品や半導体素子を支えるために高熱伝導セラミック基板である窒化アルミニウム（AlN）基板を用いることで、パッケージ構造はキャビティアップ構造を採用できる。このため、パッケージの小型化を維持しつつ放熱性を高めることが可能になった。このパッケージの製作ではAlN基板と樹脂部品との接

着が重要な要素技術となっている。金属への接着や樹脂同士の接着に関しては多くの報告例があるが^{(8)~(11)}、AlN基板に対する接着特性については報告例がない。特に樹脂・セラミックス複合パッケージでは、接着剤に樹脂流れの良いものを用いると、半導体素子搭載部に接着剤が流れ出し、素子搭載の障害になりやすい。そこで、本論文では、樹脂・AlN複合パッケージにおいて、樹脂流れの小さいエポキシ変性ポリイミド系接着剤の接着特性に対し、AlN基板の表面形状が及ぼす影響について報告する。

2. 実験方法

2.1 基板表面粗さの影響

樹脂・セラミックス複合パッケージにおいては、半導体素子と樹脂基板間のワイヤボンディング性を確保し、セラミック基板の素子搭載面への樹脂の流れ込みを減らす必要がある。このため、接着剤にはガラス転移点が高く、流れ性の小さなものが求められる。本実験では、エポキシ変性ポリイミド系接着剤としてガラス転移点が220℃で、樹脂流れが3.5%のエポキシ変性ポリアミノビスマレイミド(PABM)接着剤をガラス繊維に塗工したプリプレグ(厚さ60μm)を用いた。

AlN基板には、焼結助剤として酸化イットリウム(Y_2O_3)を添加した基板を用いた。基板の熱伝導率は約170W/(m・K)である。基板の表面形状を変えるために2種類の加工方法を採用した。一方は、粒度#400, 600, 1000の粒子を表面に有する平板および鏡面を有する平板に対し、焼成前のAlNグリーンシートを押しつけることにより、平板の凹凸を転写した状態で焼成した基板(以降プレス基板と記述)である。もう一方は焼成後の基板を研磨し、最終仕上げを#400, 800, 2000, 鏡面とした基板(以降研磨基板と記述)である。

接着強度評価は、引きはがし強度測定によって行った。Fig. 1に示すような評価サンプルを作製し、90°引きはがし強度試験を実施した。銅箔の厚さは18μmで、プリント配線板に用いられる表面処理済みの電解銅箔を用いた。評価サンプルは、190℃に加熱したステージ上にAlN基板を載せ、その上に銅箔を載せた後、銅箔とAlNセラミック基板の両方にかかるように接着剤シートを載せ、別の銅箔を

Fig.1 Test piece and peel-off strength test method

接着剤上に載せた後、2.7MPaの圧力で1軸加圧した。加圧用ロッドも190℃に加熱してあり、加圧中の温度低下を防止した。加圧場所は、接着剤シートと銅箔の位置関係が、常に一定になるよう位置決めし、加圧位置の差異が強度の差異として現れないようにした。引きはがし強度測定は、銅箔の一端をつかみ1軸方向に引っ張った。引張り速度は5 mm/sとした。

2.2 基板および接着剤表面の表面観察と分析

プレス基板と研磨基板および接着剤の表面観察は、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて実施した。また、断面形状の測定および基板の表面積測定には非接触表面形状測定器を用いた。AlN粒子のごく表面の形状については原子間力顕微鏡(AFM)を用いて観察した。また、鏡面平板を押しつけたAlNセラミック基板と#400研磨した基板に対してX線光電子分光法(XPS)による表面分析を実施した。また、PABM接着剤をAlN基板に触れさせないサンプルと、AlNに触れさせて加熱したサンプルに対しても同様にXPS分析を実施した。X線源には単結晶分光AlK α 線を用いた。横軸の補正はC1sを284.6eVとした。

3. 結果と考察

3.1 AlN基板表面形状と接着強度

Fig. 2に、#400, 600, 1000および鏡面プレス基板表面のSEM写真を示した。低倍SEM観察から(Fig. 2-a, c, e,

Fig.2 SEM photographs of pressed AlN substrates

g参照), プレス基板の表面にはところどころに窪みがあり, グリーンシートに押し付けた平板の形状が転写されていることがわかった。#400, 600プレス基板では容易に凹凸が判別できたが, #1000プレス基板では必ずしも容易ではなかった。また, 鏡面および#400プレス基板の断面形状をFig.3-a, bに示したが, #400プレス基板では大きな凹みを構成するところとそれ以外の部位に分かれている。同様の結果が#600プレス基板でも観察された。プレス基板の大きな凹みは, 平均深さが#400基板では23 μm , #600基板では20 μm , #1000基板では6 μm であった。また, 平均の穴ピッチは#400基板では87 μm , #600基板では83 μm , #1000基板では40 μm であった。

プレス基板を局所的に高倍率で観察すると (Fig.2-b, d, f, h参照), 個々のAIN粒子の外観・粒径は転写した平板の粗さによらず同等で, 一部で粒成長する際の縞模様が認められるほかは, 全体に平坦な状況を呈していた。また, ところどころに黒色に写っている部分が確認された。これは, 穴の内部も外部も同様であった。凹みの段差部でも粒界が認められた。Fig.4に鏡面プレス基板, #800, #2000および鏡面研磨基板のAFM観察結果の断面像を示した。Fig.4-aから, プレス基板表面を構成するAIN粒子の表面

は平坦であることがわかり, 中心線平均粗さは約1.0nmであった。この平坦性は, 鏡面研磨基板とほぼ同等の平坦性であった。

#400, 800, 2000ラップおよび鏡面研磨基板の外観をFig.5に示した。低倍SEM観察の結果 (Fig.5-a, c, e, g参照), 研磨基板には, #400, 600プレス基板に認められたような大きな凹みは存在しなかった。また, #2000および#800研磨基板の断面形状をFig.3-c, dに例示したが, 表面の粗さは仕上げ粗さに応じて変化した。高倍SEM像から (Fig.5-b, d, f), 鏡面研磨品を除き, 粒子表面には研磨加工による粒内破壊が生じていることがわかる。Fig.4-b, c, dは鏡面, #2000, #800研磨基板のAFM像を示すが, 粒子表面には微細な凹凸が形成されている。鏡面, #2000, #800研磨基板の中心線平均粗さは, それぞれ約0.6, 5.9, 11.4nmであった。また, Fig.4から, 研磨基板の凹凸のなす角度は, #400, 800研磨基板で約80°, #2000基板で約130°であった。

これら各種基板に, PABM接着剤を接着したときの, 引きはがし強度の測定結果をFig.6, 7に示した。Fig.6は基板最大粗さと強度の関係を示している。また, Fig.7はまったく凹凸がない鏡面状態の表面積を1としたときの, 実基板表面の比表面積 (以下, 表面積拡大率と記述) と引きはがし強度との関係を示した。表面積拡大率は, 非接触形状測定器で表面1 μm ピッチで測定した結果から,

Fig.3 Cross sectional shape of AIN surface

Fig.4 AFM observation of AIN surface (cross section)

Fig.5 SEM photographs of lapped AIN substrates

Fig. 6 Relationship between surface roughness (Rmax) and

Fig. 7 Relationship between surface area enlargement ratio and peel-off strength

表面積を算出した。いずれのグラフでも、加工方法ごとの近似直線も右上がりとなり、引きはがし強度は、基板表面粗さが粗い方が、また表面積が広い方が、引きはがし強度が強くなる傾向を示した。引きはがし強度は、表面粗さや表面積に依存した。しかし、強度の絶対値は研磨基板の方がプレス基板よりも高かった。例えば#400研磨処理品の強度は1.03N/mmで、実用強度0.98N/mm並の強度であるのに対し、プレス基板では実用強度に達しなかった。近似直線の傾きは、研磨加工の方が大きく、表面形状の強度への依存性は、研磨加工の方が高かった。ちなみに、基板への接着剤の残留面積は、鏡面研磨で約30%、#400、800、2000研磨基板で約60-70%であった。

3.2 PABM接着剤の基板表面への転写性

AINプレス基板に接触していたPABM接着剤表面のSEM観察像を、プレス基板表面の同倍率の写真と共にFig. 8に示した。全般的に、PABM接着剤表面にAIN基板表面の凹凸が良好に転写されている。観察倍率を上げたときの、PABM接着剤の表面および断面方向のSEM像をFig. 9に示した。図から#400プレス基板で認められた平均深さ23μm程度の凹み部分では、凸部高さが約10μm未満であり、プレス基板深さ窪みよりも低い凸部しか得られていなかった。Fig.10は、AIN粒子表面の細かな形状のPABM接着剤への転写性のSEM観察結果を示しているが、PABM接着剤表面にAIN粒子表面の形状が、良好に転写されている。これらは、PABM接着剤が、粒子表面の数十nm程度の微細な凹凸に対しては、転写性が良好である一方で、樹脂流

Fig. 8 SEM photographs of surface of AIN pressed substrates and PABM adhesives

Fig. 9 SEM photographs of surface and cross section of PABM adhesives

れが3.5%と小さなため、深さ20μmレベルの凹部に対しては十分に流れ込めなかったためと推察される。また、プレス基板表面では粒子表面が中心線粗さ約1.0nmと平坦であるばかりでなく、粒子同士が表面で約120°の角度で交わっていることがAFMから判明していることから、粒界でい

Fig.10 SEM photographs of AlN grains and PABM adhesives

わゆるアンカー効果を得ることが困難な構造になっていると考えられる。一方、鏡面研磨基板を除く研磨基板では、粒子上に中心線粗さ数十nm程度の微細な凹凸があり、また基板表面の凹凸も3-5μm程度であることから、樹脂流れの小さなPABM接着剤でも十分に凹凸に浸入できたと考えられる。微小凹凸が接着強度を向上させる効果は、金属への接着強度を向上させる際にも認められていることから¹²⁾、PABM接着剤が十分流れ込むことができれば、AlNセラミックスの場合も同様に、微小凹凸が引きはがし強度を向上させることに寄与すると考えられる。

3.3 AlN基板表面分析結果

AlN基板表面のXPS分析結果をFig.11に示した。(a)はAl2p, (b)はO1s, (c)はC1sの分析結果を示した。また、Table 1 に各成分元素原子数のアルミニウム原子数に対する比を記載した。

Al2pのピークを比較すると、プレス基板のピーク位置と研磨基板のピーク位置では、研磨基板のピークが高エネルギー結合側に0.5eV程度シフトしていた。半値幅も研磨基板の方が0.5eVほど大きかった。またTable 1 から、N/Alが0.51と1からかなり離れていたことも考慮に入れると、このシフトは、Alが電気陰性度の大きな酸素と結合し、酸化された方向にシフトした可能性を示すものと思われる。AlNは比較的水分と反応しやすく、原料粉末の水中で分解¹³⁾や水蒸気雰囲気中での水酸化物生成が報告されている¹⁴⁾。研磨工程でも、AlN表面に酸化物や水酸化物が形

Fig.11 XPS spectra of surface of AlN substrates

Table 1. Atomicity ratio (1/Al)

	Al	N	O	C	Y	B	Ca	Si
#400 lapped	1.00	0.51	1.52	1.34	0.02	—	—	0.03
Mirror pressed	1.00	0.77	0.50	0.79	0.05	0.05	0.04	—

成したものと推察される。一般に、金属と有機接着剤の接着の際には、金属表面の酸化物や水酸化物が接着性に大きく寄与していると考えられているが、AlN基板表面においても、アルミニウムの酸化物や水酸化物が、接着性の向上に寄与しているものと思われる。

O1sピークを比較すると、プレス基板も研磨基板も、半値幅が広く単一ピークではないと推察されるが、ピークを分離して個々の結合状態を特定することはできなかった。酸素原子数のAl原子数に対する比では、研磨基板の方がプレス基板よりも約3倍多い酸素が検出された。酸素原子数の増加は、AlN基板が研磨によって酸化されたことを示唆するものと考えられる。

C1sピークを比較すると、プレス基板も研磨基板とでは、酸素と結びついた高エネルギー側でピーク形状が異なっていた。C1sピークを分割し、分割したピークに対応する結合形態の占める割合をTable 2 に示した。プレス基板表面には、非極性の炭化水素の結合状態が87%を占めるのに対し、研磨基板では67%であった。酸素と結びついた高エネルギー側のピーク面積は、研磨基板の方がプレス基板よりも2.5倍多かった。PABM接着剤の接着性に寄与する官能基として、水酸基、エポキシ基、アミノ基、カルボニル基等が考えられるが、いずれも極性を有する有機物と反応しやすい。このため、AlN基板表面の炭素原子が、C-Oのように極性を示すような結合形態で存在している比率が高いと、AlN基板とPABM接着剤の接着性は向上するものと考えられる。このように、基板表面のAlN基板の酸化状態、炭素原子が極性を有する結合形態で存在している構成比率の違いといった化学状態の差も、接着強度の違いに寄与したものと推察される。

3.4 PABM接着剤とAlN基板との接着

AlN基板に触れさせることなく加熱したPABM接着剤表面と、鏡面プレス基板表面に触れさせたPABM接着剤表面のN1sのXPS分析結果をFig.12に示した。AlNに接触していなかったサンプルでは、アミン等に帰属されると推測される400.3eVの結合エネルギーが94%しめるのに対して、AlNと接していたサンプルでは400.3eVのピークは64%に減少し、398.3eVのピークが増加した。同様の現象として、ポリイミドフィルム表面に銅を蒸着させると同時に窒素イオンを照射する場合、窒素の照射量が増加するにつれて、400.4eVのイミド結合が約398eVのC-N結合に相当するピークにシフトしていくことが報告されている¹⁰⁾。本実験では398.3eVの化学状態を特定できなかったが、PABM接着剤の窒素がAlNとの接触により、窒素イオン照射実験と同様

Table 2. Smoothing results for C1s peak [%]

	CO ₃ ²⁻	COO	C=O	C-O	CHx
#400 lapped	—	9	6	18	67
Mirror pressed	3	6	1	4	87

Fig.12 XPS N1s spectra of PABM surface; A is PABM which contacted on AlN substrates and B is PABM which did not contact on AlN substrates

Table 3. Atomicity ratio (1/C)

	O	N	Br	Si	S	Al	Y
AlN contact	0.22	0.07	0.011	0.003	0.002	0.002	0.0005
Non contact	0.20	0.05	0.017	0.007	0.001	—	—

のことが生じ、アミン形成よりも電気陰性度の小さな原子・分子等と結合して変化したと思われる。

Table 3 は、AlN基板に触れさせることなく加熱したPABM接着剤表面と、鏡面プレス基板表面に触れさせたPABM接着剤表面の各成分元素原子数の炭素原子数に対する比を示している。AlNと接触させた接着剤表面からは、微量にAl, Yが検出されている。鏡面プレス基板とPABM接着剤との接着強度が弱く、接着剤表面には、AlN基板からの脱粒は観察されなかった。Al原子は、AlN, AlN表面が酸化した酸化アルミニウムあるいは、粒界構成相であるイットリウムアルミネートの状態で存在していると考えられる。Fig.10-(a)のAl2pのピークからは、Al-N, Al-O (Al-OピークはAl-Nピークにほぼ重なる) 以外のピークを検出できていない。しかし、AlNと接触させた接着剤表面からAl, Yが検出されたことは、鏡面プレス基板表面に、AlN粒子との接合強度が低いAlとYを含む層が形成されていた可能性を示唆している。

3.5 引きはがし強度における化学的な接着成分

Fig. 7 で、プレス基板と研磨基板の引きはがし強度を比較すると、同じ表面積拡大率であるのに引きはがし強度が異なった。例えば、鏡面プレス基板と#2000研磨品では、前者の引きはがし強度が0.98N/mm、後者の引きはがし強度が0.78N/mmであった。図から、プレス基板での引きはがし強度が、表面積拡大率を1に近づけると引きはがし強度が0に近づくと予想される。また、XPS分析の結果、プレス基板の表面には、炭素が炭化水素として多く存在していることから、PABM接着剤との接着性が良くないと予想されることから、PABM接着剤とAlNプレス基板との化学的な接着力は弱いと考えることができる。したがって、研磨基板の表面積拡大率を1に近づけたときの引きはがし強度約0.34N/mmが、表面積効果を除いたときの研磨基板とPABM接着剤との化学的な接着による引きはがし強度に

該当するものと思われる。表面積拡大率1のときの引きはがし強度は、表面積にのみ引きはがし強度が依存する、と仮定した場合のグラフの傾きに相当する。したがって、Fig. 7 で、プレス基板と研磨基板の表面積拡大率に対する依存の傾きが異なっているが、その主要因は、化学的な接着の差異によるものである。

3.6 引きはがし強度と基板表面形状

接着剤の寸法が一定のときに、引きはがし強度を化学的な接着による強度成分と、形状による強度成分に分離できると仮定する。接着による強度とは、AlNと接着剤が接触し、ファンデルワールス力等も含めた化学的な結合によって接着していることによって生じる強度を示し、形状による強度とは、両者に何らの接着力がなくても、例えばHallingらが摩擦力の解析で用いたくさび状突起が噛み合っているときに発生する力¹⁵⁾や、Bowden, Taborが提唱した溝掘りの力¹⁶⁾等による強度測定時の抵抗力を示す。上記を式で表すと、

$$F_p = F_a + F_m \quad (1)$$

ここで、 F_p は引きはがし強度、 F_a は接着による強度、 F_m は測定時の抵抗力である。 F_a は接触している界面間での接着によるので、接触面積と界面の接着力との積で表される。一方、 F_m は、引きはがし強度測定時に摩擦力を生じさせる荷重成分と、接着剤と基板間の摩擦係数の積で示すことができると考える。これより、

$$F_a = S \cdot W_a \quad (2)$$

$$F_m = \mu \cdot W \quad (3)$$

ここで、 S は接触している物質界面の面積、 W_a は接触している物質界面の単位面積当たりの接着力、 μ は接着剤と基板面の摩擦係数、 W は引きはがし強度測定時に摩擦力を生じさせる荷重成分である。

研磨基板では最終仕上げ砥粒のサイズが異なる以外はほぼ同一の工程を経ることから、 W_a がほぼ一定であろうと仮定する。基板表面にほとんど凹凸を有しない鏡面研磨基板の引きはがし強度を基準とし、引きはがし強度が、単純に表面積だけに比例すると仮定すると、#2000研磨基板が、予想値に近い数値を示すのに対し、#400, 800研磨基板の引きはがし強度は、予想値よりも大きな値を示している。Fig. 5 のSEM観察結果や、Fig. 3 の断面形状からは、#800研磨基板表面には粒子内の亀裂や複雑で深い溝が形成されているのに対し、#2000研磨基板は微小な突起はあるものの、全体的に滑らかな様相を呈している。また、Fig. 4 のAFM観察の結果、#2000研磨基板の溝の角度が約130°であるのに対し、#800では約80°であった。#400についても同様に約80°であった。Hallingが溝掘り抵抗力が発生するときの単純化したモデル¹⁵⁾では、摩擦係数(μ)は

$$\mu = (2/\pi) \cot(\theta/2) \quad (4)$$

θ …溝の角度

で表されるとしている。これをAlN粒子表面の凹凸に当て

はめると、#2000研磨基板では摩擦係数が0.3、#400、800研磨基板では0.8となる。したがって、#400、800研磨基板で引きはがし強度測定時に発生する抵抗力は、#2000研磨基板よりも大きくなると推察され、これが、研磨基板における引きはがし強度差として現れるのではないと思われる。また、実際の接着剤の厚さは、表面の凹凸の影響で一定ではないが、接着剤が薄いときには、引きはがしに必要な仕事量が、接着剤厚さに依存することが報告されている¹⁷⁾。#2000研磨基板と#400、800研磨基板とでは、Fig. 6やFig. 3に示したように凹凸の深さが異なり、後者の方が深い。このことも、#2000研磨基板よりも#400、800研磨基板の方が引きはがし強度が大きかったことにつながったと思われる。

4. まとめ

AlN基板と流れ性の低いPABM接着剤との引きはがし強度に及ぼす基板の表面形状の影響について実験した。基板の表面粗さが粗いほど引きはがし強度は向上した。また表面積が大きな方が、引きはがし強度は向上した。引きはがし強度の向上は、基板表面の凹凸を焼成前に形成してから焼成するか、焼成後に研磨によって形成するかにより向上度は異なり、研磨による引きはがし強度の方が大きかった。PABM接着剤はAlN基板表面に対して良好な転写性を示したが、樹脂流れが低いために表面の10 μ m程度の深さまでしか入り込めなかった。また、XPS分析の結果、基板の加工方法で表面の化学状態が異なった。基板表面が酸化したり、基板表面の炭素が酸素と結びついて極性を示すような化学状態になると、接着性が向上するものと思われる。接着の際に接着剤表面の窒素の化学状態が変化したが、このことも強度の向上に寄与した可能性がある。

謝 辞

この実験を遂行するにあたり、東芝ディスプレイ・部品材料社の五代儀 靖氏に試料準備でお世話になりましたことをここに感謝いたします。

(2000.2.17-受理 2000.5.19-再受理)

文 献

- 1) B.Siu: "The Blurring Boundaries of VLSI and System Packaging", Proc. IEMT/IMC 1997, pp.1-4, 1997
- 2) Y.Takazaki: "Technology Trend of Build-up Printed Wiring Board", J. Jpn. Inst. Electron. Packg., Vol.2, No.6, pp.450-453, 1999
- 3) T.Shimoto, K.Matsui, K.Kikuchi, Y.Shimada, and K. Utsumi: "New High-Density Multilayer Technology on PCB", IEEE, Trans. Adv. Packg, Vol.22, No.2, pp.116-122, 1999
- 4) B.Lynch, C.Mattei, and V.DiCaprio: "A Thermal and Electrical Enhanced Low Cost Ball Grid Array Package", Proc. Pan Pacific Microelectronics Symposium 1997, pp.425-440, 1997
- 5) N.Iwase, K.Yano, H.Asai, J.Monma, T.Yasumoto and M.Mukai: "Thermal Resistance Improvement Utilizing a PWB for a Thin AlN BGA Package with No Cooling Fin", Proc. INTERACK'97, EEP-Vol.19-2, pp.2169-2172, 1997
- 6) A. Horiguchi, Y.Sato, F.Ueno, N.Iwase, A.Tsuge, and T.Takahashi: "Tungsten Conductor Behavior in an Aluminum Nitride Tungsten Co-fired System", MRS Int'l. Mtg. On Adv. Mats., Vol.10, pp. 185-195, 1989
- 7) H.Asai, K.Yano, K.Iyogi, N.Iwase and T.Fujiwara: "Design and Characteristics of a Newly Developed Cavity-up Plastic and Ceramic Laminated Thin BGA Package", IEEE Trans. Adv. Packg., Vol.22, No.3, pp.460-467, 1999
- 8) N.Chou, D.Dong, J.Kim, and A.Lin: "An XPS and TEM Study of Intrinsic Adhesion between Polyimide and Cr Films", J. Electrochem. Soc., 131, pp.2335-2340, 1984
- 9) S.Freilich and F.Ohuchi: "Reactions at the Polyimide-Metal Interface", Polymer, Vol.28, pp.1908-1914, 1987
- 10) N.Inagaki, S.Tasaka and M.Masumoto: "Plasma Graft Polymerization of Vinylimidazole onto Kapton Film Surface for Improvement of Adhesion between Kapton Film and Copper", J Appl. Polym. Sci., Vol.56, pp.135-145, 1995
- 11) Y.Tabata, T.Ashida: "Adhesion Properties of Acrylic-Particle-modified Epoxy Adhesives for Aluminum Materials", J. Adhe. Soc. Jpn., Vol.34, No.11, pp.425-431, 1998
- 12) J.Venables, D.Mcnamara, J.Chen, T.Sun, and R. Hopping: "Oxide Morphologies on Aluminum Prepared for Adhesive Bonding", Appl. Surf. Sci. Vol.3, pp.88-98, 1979
- 13) P.Bowen, J.Highfeld, A.Mocellin and T.Ring: "Degradation of Aluminum Nitride Powder in an Aqueous Environment", J. Am. Ceram. Soc. Vol.73, No.3, pp.724-728, 1990
- 14) Y.Kurihara, T.Endoh and K.Yamada: "The Influence of Moisture on Surface Properties and Insulation Characteristics of AlN Substrate", IEEE Trans. CHMT, Vol.12, No.3, pp.330-334, 1989
- 15) 松永正久, 訳, J.Halling: "トライボロジ", 近代科学社, p.83-87, 1984
- 16) 曾田範宗, 訳, F.Bowden and D.Tabor: "固体の摩擦と潤滑", 丸善p.82, 1962
- 17) T.Igarashi: "Mechanics of Peeling of Rubbery Materials. I. Peel Strength and Energy Dissipation", J. Polym. Sci., Vol.13, pp.2129-2134, 1975