ダイボンディングフィルムの必要特性と要素技術

稲田 禎一*

Requirements and Fundamental Technologies of the Die-bonding Film for Semiconductor Packages

Teiichi INADA (Hitachi Chemical Co., Ltd., Advanced Materials Research & Development Center, Laboratory for Polymer Technology (48 Wadai, Tsukuba-shi, Ibaraki 300-4247 Japan))

Reaction-induced polymer alloy films are useful to the CSPs (Chip Size/Scale Package), which are suitable for compact electronic products with high calculating speed. In particular, to cope with the wide-spreading adoption of Pb-free solders, the films are expected to have excellent reliability through the high temperature reflow process. In this respect, we developed a novel low-modulus die bonding adhesive film, which consists of a low modulus acrylic polymer, a highly heat resistant epoxy resin and nano-size filler. The film showed superior reflow-crack resistance of JEDEC level 1 at 265 °C as well as sufficient connection reliability and PCT resistance, in the stacked CSP.

Key Words : Polymer alloy, Die bonding film, Acrylic polymer, Reaction-induced phase decomposition

1. ダイボンディングフィルムの必要特性

ダイボンディングフィルムは、半導体チップ(ダイ)と基板、あるいは半導体チップ同士の接着(ボンディング)に使用されるフィルム状接着剤である。このフィルムは最先端の半導体パッケージを組み立てる上で、なくてはならない材料になっている。

その半導体パッケージの分野では、Figure 1に示すような工程で作製されるスタックドパッケージが、近年急増している¹⁾。このように半導体チップを多段積層することで、パッケージの外形は同じでも、機能や記憶容量を数倍にも増やすことができるため、携帯オーディオに使用されるフラッシュメモリーなどの用途で多用されている。また、メモリーだけでなく、種々の機能をもつ半導体チップを積層することでシステムとしての機能をもたせたシステムインパッケージなども注目されている。

このパッケージを製造する組立プロセスの中で、ダイボンディングフィルムに求められる必要特性のうち、代表的なものを挙げると、以下のような特性がある。

- 1) 80 °C以下でのウエハへのラミネート(仮貼り)が可能であること。
- 2) ブレードダイシング時にチップやフィルムにバリが生じないこと。
- 3) 半導体チップをダイシングテープからはく離する(ピ

ックアップ)時にチップが破損しない低い荷重でチップを実装基板に貼付できること。

- 4) 半導体パッケージを配線基板に接続する際に、あらかじめ印刷したはんだペーストを溶融して接続する工程(はんだリフロー工程)があるが、その工程中ではく離やふくれを生じないこと。

- 5) チップと実装基板間の熱膨張係数の差を吸収できること。

他にも、フィルムの平滑性、長期安定性、加工性など様々な必要特性があり、一枚のフィルムでこれらを都合よく満足させることは難しいが、まず、以下の3要素を向上させることが特に重要であると考ええる。

- ①応力緩和性=「柔らかい」：チップと実装基板の熱膨張係数の差を吸収し、熱応力に起因するチップのそりを低減できること

- ②耐熱性=「強い」：表面実装時のリフロー工程においてパッケージクラックが発生しないこと。特に従来のPb、

*日立化成工業(株)先端材料研究所(〒300-4247 つくば市和台48)主任研究員。平成2年、東京工業大学総合理工学研究科材料科学専攻修士課程修了。同年、日立化成工業(株)入社、現在に至る。専門は、ポリマーアロイ、粘接着技術。エレクトロニクス実装学会 ナノ材料委員会委員

Figure 1 Manufacturing process of stacked CSP

Sn 共晶はんだから Pb フリーはんだへの転換が進められており、Pb フリーはんだ付け工程に対応可能な 265 °C での耐リフロー性を満足することが望まれている。

- ③プロセス適合性 = 「作りやすい」: 現在の半導体パッケージはより複雑な構造になっており、未硬化状態での樹脂の流動性、弾性率、タック等が組立プロセスに適合するように、調整されていることが必要である。

このうち、「柔らかい」材料を作るためには、ソフトマテリアルの適用が必要である。また、「強く」するためにはソフトマテリアルをベースとして、エポキシ樹脂やフィラーなどとのアロイ化、コンポジット化により、接着力、耐熱性等の特性を改良してゆく方法が考えられる。「作りやすい」ためには、硬化前の粘弾性的性質をコントロールすれば良い。個別の技術としては、方向性は見出しやすいが、「作りやすい」ように調整した硬化前の材料が、硬化後に「柔らかく」かつ「強く」なるとは限らず、逆に、「強い」材料を作ったが、半導体パッケージ製造時に、貼り付けしにくいということも多々ある。

我々は、この課題を解決するために、硬化のプロセス、すなわちエポキシ樹脂の架橋反応を、アクリルポリマーとエポキシ樹脂が微細構造を形成する場として活用することを検討している。硬化後に得られる相分離構造を制御することにより、「作りやすい」硬化前の材料を、硬化後に「柔らかく」かつ「強く」することができるのではないかと考えたからである。この材料系は反応により相分解する、あるいは相構造が誘起されるので、反応誘起型相分解材料、あるいは反応誘起型ポリマーアロイの 1 タイプといえる。

本稿では、我々が行った反応誘起型ポリマーアロイを応用した低弾性ダイボンディングフィルムの開発の一例について述べる。

Figure 2 SEM photographs of the surface of the epoxy/acrylic polymer alloy film

2. 反応誘起型ポリマーアロイフィルム

反応に起因して相分離構造を形成する反応誘起型ポリマーアロイは、化学反応と相分離が競争的に進行する過程において多様な相構造を形成する点で興味深く、カルボキシル基末端アクリロニトリルブタジエン (CTBN) / エポキシ樹脂系、ポリエーテルスルホン / エポキシ樹脂系などが検討されている²⁻⁵⁾。我々は、その一つである低弾性アクリルポリマー / エポキシ樹脂からなるポリマーアロイフィルムに注目して検討を行っている。このフィルムは Figure 2 に示すように、硬化前はエポキシ樹脂および硬化剤がアクリルポリマー中にほぼ均一に溶解した状態であり、高い流動性や粘着性を示し、硬化後はエポキシ樹脂相がアクリルポリマーからなる海相中に分散する相分離状態を示すため、高い応力緩和性並びに耐リフロー性を有する。このフィルムを Figure 1 に示した工程で作製されるパッケージのダイボンディングフィルム用途に使用すると、硬化前には優れたプロセス適合性を、硬化後には優れた耐熱性と接着性を発現させることが可能となる⁶⁻⁸⁾。また、エポキシ樹脂比率を変更することにより弾性率が高い硬化物から弾性率が低く応力緩和性に優れる硬化物まで、用途に応じて

幅広い材料設計ができる点も特長の一つである。

3. アクリルポリマー／エポキシ樹脂系ポリマーアロイの補強の例

上記のフィルムの耐熱性をさらに向上させるため、グリシジルメタクリレートと共重合した架橋性アクリルポリマー／エポキシ樹脂系ポリマーアロイにミクロンからナノサイズの異なる粒径のシリカをフィラーとしてそれぞれ添加した系について検討した結果を紹介する。

シリカを同量(4.5 vol%)添加した場合の硬化後のフィルムの240℃の高温弾性率をFigure 3に示す。フィラー未添加の場合の弾性率0.5 MPaに対して、フィラー粒径が0.8 μm 以上の場合にはほとんど弾性率が向上しないのに対して、0.02 μm 以下では弾性率の向上効果が大きいことが分かる。一方0.02 μm のナノサイズフィラーを4.5 vol%添加した場合と未添加の場合の30℃での弾性率をFigure 4に示す。室温付近では弾性率の向上効果がほとんど認められないことが分かり、ナノサイズフィラー添加時に認められる高温弾性率の向上効果は、後述するようなフィラー／樹脂界面の表面効果⁹⁾によって樹脂鎖がフィラー表面に吸着され、高い弾性率を示す拘束樹脂層が形成されたためと解釈できる。

次に、弾性率の向上効果が大きい0.02 μm のナノサイズフィラー添加フィルムについて、高温弾性率に対する添加量の影響を検討した。Figure 5に示すように、添加量の増

Figure 3 Relationship between filler size and modulus at 240 °C

Figure 4 Moduli of the die-bonding films with and without filler

大に従い弾性率が上昇し、10 vol%添加時には未添加系の約10倍まで弾性率が上昇した。一方、ナノサイズフィラー添加による副作用として、Bステージフィルムの流動性やぬれ性の低下が考えられるので、このフィルムを80℃でポリイミドフィルムにラミネートした場合のBステージ状態での離強度を測定した。Figure 6に示すように、フィラー添加量が増大した場合にやや離強度が低下する傾向が見られる。これは、フィルムの熔融粘度が上昇したためポリイミドフィルムに対するぬれ性が悪化したためと考えられる。しかしながら、5 vol%の添加量ではBステージフィルムのはく離強度の低下がほとんどなく、大幅に弾性率を向上できることが分かった。

さらに、ナノサイズフィラーの添加量を0または4.5 vol%とし、アクリルポリマー／エポキシ樹脂比を7:3～4:6に変更し、またイミダゾール化合物種、添加量を変

Figure 5 Relationship between filler content and modulus at 240 °C

Figure 6 Peel strength of die-bonding film before curing

Figure 7 Relationship between modulus and peel strength at 240 °C

更することで架橋密度を調整した各種フィルム硬化物の高温弾性率および引裂き強度の関係を調べた。Figure 7に示すように、フィラー添加系は、フィラー未添加系と同様に弾性率の上昇とともに引裂き強度が低下する傾向を示すが、未添加系に比べて高水準で推移することが分かる。このフィラー添加系の接着性向上効果を高温引裂き試験後の凝集破壊面を観察することによって確認した。Figure 8から明らかなように、フィラー未添加系に比べて、フィラー添加系は凝集破壊面の凹凸が複雑であり、凝集破壊面に島相界面の露出がほとんど見られなかった。このことから、ナノサイズフィラー添加によりFigure 9に示すような海相/島相界面の補強機構が働き、その結果引裂き強度が向上しているものと推測している。このように、ナノサイズフィラーの添加は、弾性率の向上に加え引裂き強度の向上にも有効であり、樹脂のみでは達成できない耐熱性を実現する手段として期待できる。

Without fillers With fillers

Figure 8 SEM photographs of the cohesively broken surfaces of the die-bonding adhesive films with/without filler

Figure 9 Schematic diagram of the mechanism of improved adhesion at acrylic polymer/epoxy resin interface with the aid of fillers

開発した新規なフィラー含有フィルムとフィラーを含有していない従来フィルム的一般特性をTable 1に示す。開発品は従来品に比べて熱分解温度、 T_g 、吸湿率は同等であるが、室温および240℃での引裂き強度が著しく向上している。

4. 半導体パッケージ用ダイボンディングフィルムとしての応用

近年の電子機器の高速・高性能化、小型化に伴い、チップを多段に積層した3次元パッケージ(スタックドCSP)が普及している。これらに使用されるダイボンディングフィルムでは、Figure 1に示した組立プロセスの中で80℃以下でのウエハへのラミネート(仮貼り)、ブレードダイシング、ピックアップ並びにチップが破損しない低い荷重でチップを実装基板に貼り付けて回路充てんする必要性からBステージの流動性が高いことなどのプロセス適合性が極めて重要になっている。また、硬化後の耐リフロー性およびはんだ接続などの電氣的接続についての信頼性の確保も大きな課題であり、チップと実装基板間の熱膨張係数の差を吸収できる応力緩和性が必要である。さらにはPbフリーはんだへの転換が進められており、Pbフリーはんだ付け工程に対応可能な265℃での耐リフロー性を満足することが望まれている。

前述のエポキシ樹脂/アクリルポリマーからなる反応誘起型ポリマーアロイにナノサイズフィラーを添加したフィルムの中で、硬化前後の流動性、接着性に優れたフィルム(厚さ25μm)について、組立プロセスにおける各種作業性および信頼性を評価した。結果をTable 2に示す。低温でのラミネート性およびダイシング性が良好であり、耐リフロー性についてもPbフリーはんだ実装に対応した265℃での高温リフロー試

Table 2 Reliability of stacked CSP fabricated with the newly developed die-bonding film

Item	Developed film
Reflow crack resistance (temperature : 265℃×3 times)	JEDEC level 1 (85℃/85% RH/168 h)
Heat cycle resistance (-55℃～125℃)	>1000 cycles
Pressure Cooker Test resistance (121℃, 100% RH, 2.1 atm)	>168 h

Table 1 General properties of a developed film

Film condition	Item	Units	Reference	Developed film	Note
B-stage	Film thickness	μm	50	50	
	Lamination temperature	℃	40	60	
C-stage	T_g	℃	41,165	38,165	tan δ peak
	Water absorption	%	0.63	0.60	85℃/85%RH, 48 h
	Thermal decomposition temperature	℃	338	349	TGA
	Peel strength at 25℃ at 240℃	N/m	1710 33	2300 120

Figure 10 Trend of semiconductor packaging technology

験においてJEDEC(Joint Electron Device Engineering Council)で規定される最高規格であるレベル1(吸湿条件: 85℃/85%RH, 168時間)を満足している。以上の結果から、このフィルムはスタックドCSPに適用可能であることが分かった。

5. さらなる高機能化の要求¹⁰⁾

Figure 10に半導体パッケージ将来予想とダイボンディングフィルムの厚さの予測を示した。電子機器の高密度化、小型化に伴い、半導体パッケージにおいても多層化、軽薄化が進むと予測される。ダイボンディングフィルムもそれに対応して極薄でかつ信頼性に優れた新材料への要求が高まっているが、開発を進めるに当たり様々なテクノロジーの障壁が登場してきている。

例えば、パッケージの小型、薄型化に対応してダイボンディングフィルムの薄膜化が必要とされている。薄膜化すると、接着性や応力緩和性は低下する傾向があるが、その一方で、接着力や応力緩和性は従来以上のレベルを要求されている。

フィルムが狭い被着体間での拘束された形態では、相構造の形成過程で相構造が空間的な束縛を受けることが予想される。さらに、被着体の極性が相構造形成に及ぼす影響も大きくなる。接着力、応力緩和性の確保には、相構造サイズをナノレベルまで小さくすることによる効果が期待されている。その実現には狭い拘束空間内でのナノ相構造の制御に関する新しい知見が必要であろう。

6. 結 論

本稿では、ソフトマテリアルをベースとして、エポキシ樹脂やフィラーなどとのアロイ化、コンポジット化により、ダイボンディングフィルムの耐熱性を改良した経緯と将来展望について述べた。これまで、耐熱性が要求される半導体実装材料には高 T_g エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂などが使用されていたが、柔軟なポリマーをベースとしてもアロイ、ナノコンポジット化により、それらに劣らない耐熱性を付与できることが分かった。ソフトマテリアルを用いた系は、応力緩和性、低圧、低温での接着性なども優れて

いる。いわば、「柔らかくて」「強い」かつ「作りやすい」材料が実現できたわけであり、このような材料は市場のニーズにマッチしている。

ダイボンディングフィルムに対する要求特性は、今後、ますます高度化、多様化すると予想される。例えば、ダイボンディング温度の低温化への対応、低応力化、耐リフロー性の要求レベルの高度化などが挙げられる。また、極薄シリコンウエハを使用した半導体パッケージの用途では、硬化前のプロセス適合性と硬化後の信頼性を両立することがますます重要になるが、ソフトマテリアルとハードマテリアルの反応誘起型ポリマーアロイ技術とナノサイズフィラーコンポジット技術は硬化前、硬化後それぞれの状態での機能設計が可能である点で極めて有効な手段になり得ると考える。

References

- 1) Yamamoto, K.: *Nippon Gomu Kyokaishi*, **79**, 35 (2006)
- 2) Inoue, T.: *Prog. Poly. Sci.*, **20**, 119 (1995)
- 3) Yamanaka, K., Inoue, T.: *Polymer*, **30**, 662 (1989)
- 4) Inoue, T.: *Nippon Gomu Kyokaishi*, **78**, 345 (2005)
- 5) Iwakura, T., Inada, T.: *Kinou Zairyou*, **22**, 21 (2002)
- 6) Inada, T., Iwakura, T., Tomiyama, T., Sumiya, K., Matsuzaki, T.: *Hitachi Chemical Technical Report*, **37**, 33 (2001)
- 7) Inada, T., Hatakeyama, K., Matsuzaki, T.: *Network Polymer*, **25**, 13 (2004)
- 8) Inada, T., Iwakura, T., Hatakeyama, K., Matsuzaki, T.: *Network Polymer*, **26**, 18 (2005)
- 9) Ziegel, K.: *J. Appl. Polymer Sci.*, **17**, 1119 (1973)
- 10) Iwakura, T., Inoue, T.: NEDO International Symposium on Nanostructured Polymeric Materials Preprints, (2003)

日本語表記参考文献

- 1) 山本和徳: 日本ゴム協会誌, **79**, 35 (2006)
- 4) 井上隆: 日本ゴム協会誌, **78**, 345 (2005)
- 5) 岩倉哲郎, 稲田禎一: 機能材料, **22**, 21 (2002)
- 6) 稲田禎一, 岩倉哲郎, 富山健男, 住谷圭二, 松崎隆行: 日立化成テクニカルレポート, **37**, 33 (2001)
- 7) 稲田禎一, 畠山恵一, 松崎隆行: ネットワークポリマー, **25**, 13 (2004)
- 8) 稲田禎一, 岩倉哲郎, 富山健男, 松崎隆行: ネットワークポリマー, **26**, 18 (2005)
- 10) 岩倉哲郎, 井上隆: 精密高分子技術国際シンポジウム予稿集, (2003)