ダイシングテープの要求特性と開発動向

高橋 和 弘

Requirements and Development Trend of Dicing Tapes

Kazuhiro TAKAHASHI (LINTEC Corporation, 5-14-42 Nishikicho, Warabi-shi, Saitama 335-0005, Japan)

Dicing tapes have been used for a Si wafer singulation at the IC packaging manufacturing. During the singulation, dicing tapes need to hold dies with high adhesion simultaneously with an easy die separation from the dicing tapes with low adhesion after singulation to prevent dies from breaking. In order to meet the requirements mentioned above, UV-curable dicing tapes, which is reviewed here, have been realized with both die-holding and easy-separation functions which are able to be controlled, independently. Moreover, with the popularity of the mobile devices, a packaging density and a die thickness tend to increase and decrease, respectively. For a reduction of thin wafer breaking, new thin-wafer processes, including a laser-dicing process, have been proposed and dicing tapes are required to have additional properties to realize those thin wafer processes. In this paper, the technical trend of dicing tapes for the new applications is presented.

Key Words : Semiconductor, Wafer, Dicing, Adhesive, Tape

1. は じ め に

スマートフォンやタブレット端末に代表される携帯型の通信機器は、高性能化と並行して薄型化、軽量化が期待されている。そのため機器内部に搭載されるICパッケージの高密度化が追求され、半導体回路パターンの微細化はもとより、ICパッケージ内で複数のチップを積層する三次元実装が実用化されている。三次元実装ではチップの薄型化¹⁾が技術基盤となるため、薄型チップを安定生産可能なプロセス開発と、それを実現するための材料開発が重要となっている。本稿では近年ダイシングテープに要求される性能と開発動向について紹介する。

2. ICパッケージの生産プロセス

シリコンを円柱状に結晶化させたインゴットから600～800 μm 程度の厚さにシリコンウェハがスライスされる。このウェハ上に電子的な回路が形成される。回路が形成されたウェハは図1に示すプロセスを経てICパッケージへ加工される。ウェハは回路面の裏面を研削され、要求される厚さに仕上げられたウェハはダイシングテープ上に固定され、ブレードによって個々のチップに分割される。分割されたチップは一つずつピックアップされてインターポーザに実装され、エポキシ樹脂等で封止されてICパッケージへ加工される。

3. ダイシングテープ

3.1 ダイシングテープの形態

ダイシングテープの形態は大きく2種類に大別される。一方は基材と粘着剤のみから構成されるタイプ、もう一方は基材と粘着剤の他にはく離フィルムが積層されたタイプである。はく離フィルムはウェハ貼付直前まで粘着剤表面

図1 ICパッケージの製造プロセス

高橋 和弘；リンテック(株) 技術統括本部研究所製品研究部 電子・光材料研究室 (〒335-0005 蕨市錦町5-14-42)。平成元年、東京理科大学理学専攻科化学専攻修了。同年、リンテック(株)入社、現在に至る。専門は、粘着・接着製品の研究開発。

を保護する目的で用いられる。ICチップの加工用途で用いられるダイシングテープは、粘着剤表面の汚染を嫌い、さらにその平滑性が重視されるためコストで有利な前者より後者が主流となっている。防塵性を考慮して基材とはく離フィルムにはプラスチックフィルムが用いられる。ダイシングテープはウェハの回路が形成されていないウェハ裏面に貼付され、同時に支持・搬送用のステンレス製リングフレームにマウントされて使用される。そのためリングフレーム径に合わせて、あらかじめラベル状に加工されたプリカット形状での供給形態が一般化している。ウェハをリングフレームにマウントした後、リングフレーム上でダイシングテープをカットする工程が不要となるプリカット供給は、発塵を嫌う半導体プロセスでは有利といえる。ダイシングテープの外観（ロール供給とプリカット供給）およびリングフレームへマウントされたウェハの写真を図2に示す。ダイシングテープは異物混入や汚染に配慮して専用のクリーン環境設備で生産される。

図2 ダイシングテープ外観写真

図3 ダイシングテープが使用される工程

3.2 ダイシングテープに要求される性能

3.2.1 ダイシングテープが使用される工程

ダイシングテープは回路が形成された半導体ウェハを個々のチップに分割するダイシング工程のみならず、分割されたチップをピックアップ（図3）してインターポーザへマウントするダイボンディング工程まで継続して使用される。

3.2.2 ダイシングテープに要求される性能

ダイシングテープに要求される基本性能を以下に列挙する。

- ①ダイシング時は十分な粘着力でウェハおよび分割されたチップを固定できること。
- ②ダイシング時の高速回転ブレードによる切削抵抗に耐え、チップの位置ずれや飛散を発生しない十分な保持力を有すること。
- ③ダイシングによって発生するテープの切断屑が実用領域であること。
- ④ピックアップ時にはチップを破損することなく、容易にチップをはく離できること。
- ④チップ裏面への粘着剤転着が僅少であること。

3.2.3 ダイシングテープ用基材

ダイシングテープの基材には、軟質ポリ塩化ビニル、ポリエチレンやポリプロピレンなどのポリオレフィン、それらに異種物質を共重合または混合した変性ポリオレフィン、PETなどのポリエステルフィルムが使用される。ポリ塩化ビニルに可塑剤を添加した軟質ポリ塩化ビニルを基材に使用したダイシングテープは、製造からの経過時間とともに可塑剤が粘着剤へ移行するケースが多く、粘着物性が不安定になりやすい。さらにポリ塩化ビニルとその可塑剤として広く使用されるフタル酸エステルはいずれも環境問題の側面を抱えているが、安価なこととその使い勝手に

図4 切断屑

優れていることから減少傾向ではあるが、現在でもなお使用されている。

ダイシング工程ではウェハを完全に分割できるようにブレード高さが設定されるため、ブレードによる切込みはダイシングテープにまで到達する。このときダイシングテープから発生する切断屑がチップ汚染の原因となる（図4）。切断屑の発生は主に基材材質に起因しており、ダイシング時の摩擦熱によって溶融した基材原料の粘度とある程度相関する。そのため切断屑の発生に配慮した基材原料の選定が重要となる。

3.2.4 ダイシングテープ用粘着剤

3.2.2項の①，②と④は二律背反の性能である．一般の粘着剤を使用したダイシングテープでは，小さいサイズのチップがダイシング時に飛散しやすく，逆に大きいサイズのチップはピックアップ時にはく離不良を生じる不具合等が発生しやすかった．

そこでこれらの要求性能を実現するために強力な固定能と易はく離能を兼備したUV硬化型粘着剤が開発された。ここで本稿ではUV硬化前の粘着力およびUV硬化後の粘着力が、それぞれ独立して制御可能な粘着剤をUV硬化型粘着剤と定義する。現在ではダイシング後、チップをピックアップする前にダイシングテープにUVを照射することで粘着剤を硬化させ、粘着力を低下させるとともに粘着剤転着を僅少に抑制したUV硬化型ダイシングテープが一般化している。

3.3 UV硬化型粘着剤

UV硬化型粘着剤の多くはアクリル酸エステル共重合体とUV硬化性樹脂のブレンド型であり、多数の特許²⁻⁴⁾が報告されている。UV硬化による粘着力低下機構を図5に示す。UV硬化による粘着力低下の主たるメカニズムは、UV硬化性樹脂の光ラジカル重合による三次元網状化で生じる粘着剤の弾性率上昇（常温域では 10^5 Pa程度から 10^9 Pa程度へ上昇）と体積収縮である。

ここでUV硬化成分として3官能アクリルモノマーおよび6官能アクリルモノマー（図6）をアクリル酸エステル共重合体にそれぞれ重量比1:1でブレンドした場合のUV硬化前後の粘着力と粘着剤弾性率（表1）とチップはく離挙動を紹介する。

ダイシングによって個片化されたチップのピックアップ工程は図3に示したようにダイシングテープ越しにチップの裏面をニードルで突き上げ、チップの回路面をコレットで減圧吸着し、チップをテープからはく離する。はく離はテープの変形をともないながらチップ四辺からチップ中央に向かって進行する。

図7にピックアップ工程でダイシングテープから

チップがはく離されるまでの時間と突き上げニードルに加わる荷重（ピックアップ力）の関係を示す。突き上げ初期は時間の経過とともにニードルに加わる荷重は上昇する。これはダイシングテープを变形させるためにニードルに加わる荷重であり、ダイシングテープに使用される基材の曲げ剛性とほぼ相関する。ニードルに加わる荷重がピーク値を示す点がチップの四辺でテープのはく離が開始する点であり、また急激に低下する点のはく離完了点である。3官能アクリルモノマーをブレンドした場合、ピーク値は低い。その後のはく離完了までに時間を要する。UV硬化後の粘着剤弾性率の上昇が低い。はく離のきっかけとなるチップ四辺での粘着剤変形は起こりやすいが、粘着力が十分に低下しないためはく離の進行は低速となる。逆に6官能アクリルモノマーをブレンドした場合はUV硬化後の粘着剤弾性率上昇が高く、はく離のきっかけとなるチップ四辺での粘着剤変形に荷重を要するが、粘着力が十分に低下しているためはく離の進行は高速となる。薄型化されたチップは非常に脆弱であり、破損なくピックアップするためには

図5 UV照射による粘着力の低下機構

図6 重合性アクリルモノマー

表1 UV硬化型粘着剤の粘着力と弾性率

UV 硬化成分	粘着力*/mN		彈性率/MPa	
	UV 照射前	UV 照射後	UV 照射前	UV 照射後
Blank	4200	—	0.39	—
3 官能	1000	570	0.33	27
6 官能	1400	110	0.08	200

* サンプル幅：25 mm

ピックアップ時のピーク荷重とはく離時間をできるだけ低減させてチップに与えるダメージを抑制することが重要である。

UV硬化性樹脂のブレンド型粘着剤は設計の多様性から目的に応じたさまざまな粘着特性を発現するのに有利であるが、原材料の相溶性に十分な配慮がなされないと同分離によって誘発されるウェハ（チップ）汚染が懸念される。最近ではラジカル重合性二重結合をアクリル酸エステル共重合体中に導入し、組成物全体を高分子量化させることによって汚染に対して信頼性の高い反応性ポリマーも開発され⁵⁻⁶⁾、実用化されている⁷⁾。

3.4 ウェハ薄型化にともなう問題点

3.4.1 チップクラック

ウェハ薄型化にともないダイシング時に発生するチップクラックが問題視されるようになった。薄型ウェハではチップ強度にクラックが著しく影響を与えるためである⁸⁾。UV硬化前（ダイシング時）粘着剤弾性率とチップクラック数の関係を図8に示す。薄型ウェハ用ダイシングテープの粘着剤は、UV硬化前の特性としてチップクラックを抑制した弾性率、UV硬化後の特性としてピックアップ力ピーク値の低減とチップはく離時間の短縮、そのすべてに配慮して設計される。ダイシングとピックアップ、それぞれの工程に対してそれぞれ最適な粘着力と弾性率に制御し、

かつ汚染を僅少に抑制することで高品質なチップが効率的に生産可能となる。

3.4.2 ウェハ活性面への対応

従来はダイシングテープ貼付とその前工程のウェハ裏面研削（バックグラインド）は独立した装置で行われていた。しかしバックグラインド（BG）で薄型化したウェハは脆弱で装置間、工場間の搬送が困難となり、次工程のダイシングテープ貼付までに破損する問題が生じた。そこでBG直後にインラインでダイシングテープを貼付する工程が提案され、実用化している（図9）。このプロセス変更はダイシングテープに新たな課題を提供した。研削直後のウェハ裏面にダイシングテープを貼付した場合、ピックアップ工程でチップのはく離不良が生じた。

図10にウェハ裏面研削からの経過日数を変えてダイシングテープを貼付した場合のUV照射後粘着力、および経過日数とウェハ研削面の酸素・ケイ素モル比（O/Si）の関係を示す。粘着力はウェハ裏面研削直後に貼付した場合に最も高く、経過日数とともに低下した。一方でウェハ研削面の酸素・ケイ素モル比（O/Si）は経過日数とともに上昇した。研削によって新たに生じた結晶表面は酸化が不十分でシリコン原子の活性なダングリングボンド（共有結合の相手を失った反応性の高い結合手）が残存しており、粘着剤との化学的相互作用が高く、結果として粘着（はく離）力が上昇したものと推測される。従来プロセスではウェハ裏面研削からダイシングテープ貼付までに時間的な猶予が

図7 時間とニードル荷重の関係

図8 粘着剤弾性率（UV照射前）とクラック数の関係

〈従来プロセス〉

〈薄型化プロセス〉

図9 チップ薄型化に向けたプロセス変更

図10 研削後の時間と粘着力、酸素・ケイ素比の関係

あり、化学的に安定な酸化膜 (SiO_2) が研削面に形成された後にダイシングテープが貼付されていたが、プロセス変更によってウェハ研削直後の活性裏面にダイシングテープが貼付されることとなり、ダイシングテープにウェハ活性裏面との化学的相互作用を考慮した粘着剤設計が必要となった。

3.5 レーザダイシング

3.5.1 ブレードダイシングの問題点

チップの薄型化によって従来の機械的なブレードダイシングに起因したチップクラックの問題が表面化してきた。また高速・大容量化通信を支える高周波デバイスに使用される化合物半導体 (GaAs など) は脆弱な素材のため、ブレードを用いたダイシング方法では加工 (ブレード送り) 速度を低下せざるを得ず、生産性を高めることが困難であった。さらに発光ダイオード (LED) の生産量が飛躍的に増加する中、LED 用化合物半導体 (GaN など) を結晶成長させるための単結晶サファイヤ基板は硬度が高く、ブレードによるダイシングに課題を残した。

こうした問題を背景にレーザダイシングが注目されている⁹⁻¹¹⁾。レーザダイシングはウェハに非接触なダイシング法で、脆弱なウェハに与えるダメージが低く、チップ強度の低下原因となるクラックが抑制でき、また加工速度の向上も期待できる。

シリコン単結晶ウェハはおおよそ波長 1000 nm を境にしてそれより短波長の光を吸収し長波長の光を透過する。レーザダイシングはウェハに対して吸収性の高い波長のレーザをウェハ入射面へ吸収させて蒸散 (アブレーション) させるレーザアブレーションダイシングとウェハに対して透過性となる波長のレーザをウェハ内部に集光させてウェハ内部に改質層を形成させるステルスダイシングが提案されている。

3.5.2 レーザアブレーションダイシング

ウェハはその外側の支持用リングフレームとともにダイシングテープへマウントされる。ウェハ外周部まで確実にチップを個片化するため、レーザはウェハ上に設計されたダイシングラインを越え、その延長線上のダイシングテープまで走査される。すなわちダイシングテープに直接レーザが照射されることとなる (図 11)。

レーザアブレーションダイシングでは照射したレーザの波長を吸収するダイシングテープは容易にダメージを受ける。逆にレーザを透過するダイシングテープを使用した場合はテープを透過したレーザによってワーク固定用の吸着テーブルが高温となることでテープがテーブルに融着し、さらには吸着テーブルを損傷する。これらの問題を解決するためダイシングテープに新たな材料設計が必要となった。

3.5.3 レーザアブレーションダイシングテープ

ダイシングテープ基材として一般的な軟質ポリ塩化ビニルフィルム、ポリオレフィンフィルム、PET フィルム、それに融点の高いポリイミドフィルムにそれぞれ波長 355 nm のレーザを上方から照射した。レーザアブレーションダイシング用に専用設計されたフィルムとの比較断面図を図 11 に示す。

レーザアブレーションダイシングではレーザのエネルギーを適度に吸収することで固定用吸着テーブルに与える損傷を抑制し、かつ自身が完全に切断されないダイシングテープの設計が必要である。

3.5.4 ステルスダイシング¹²⁾

ステルスダイシングは単結晶シリコンに対して透過性のレーザを回折レベルでウェハ内部に集光させ、非線形吸収効果によってシリコンを多結晶化させ、このとき生じる体積膨張によってウェハ内部に応力歪 (改質層) を残留させ、ここを起点として外力 (テープのエキスパンド) によって

図 11 ウェハ外側のテープダメージと基材の比較断面図

図12 ステルスダイシング

チップ分割する方法である（図12）。ステルスダイシングの利点は

- ①チップングやクラックが発生しにくく、抗折強度の高い高品位なチップが得られること。
- ②ダイシングライン幅が皆無に等しいこと。
- ③発塵が僅少であること。

ステルスダイシングではテープの拡張（エキスパンド）によってチップ分割するため、ステルス用のダイシングテープには等方的な引張特性が要求される。

4. 最 後 に

本稿ではICパッケージの高密度化にともなうウェハの薄型化に対応したプロセスとダイシングテープの開発状況を紹介した。高性能化やコストダウンといった課題は今なおダイシングテープに新たな問題解決を迫っており、成熟感のあるダイシングテープではあるが、その実態は半導体製造工程の絶え間ない技術革新に連動しながら半導体製造の一端を担う材料として進化し続ける先端製品なのである。

References

- 1) Nagahiro, Y.: *Nikkei Microdevices*, **11**, 37 (2009)
- 2) Ebe, K.; Narita, H.; Taguchi, K.; Akeda, Y.; Saito, T.: Jpn.

Tokkyo Koho 1712427 (1992)

- 3) Ebe, K.; Narita, H.; Taguchi, K.; Akeda, Y.; Saito, T.: Jpn. Tokkyo Koho 1603517 (1991)
- 4) Ebe, K.; Narita, H.; Taguchi, K.; Akeda, Y.; Saito, T.: Jpn. Tokkyo Koho 1638457 (1992)
- 5) Ebe, K.; Nagamoto, K.: *Setchakunogijutsu*, **21**, (3), 28 (2001)
- 6) Akiyama, M.; Okabe, T.: *Setchakunogijutsu*, **25**, (1), 6 (2001)
- 7) Takahashi, K.; Noguchi, H.; Ebe, K.: Jpn. Tokkyo Koho 3620810 (2004)
- 8) Takyu, S.; Kurosawa, T.; Shimizu, N.; Harada, S.: *Electronic Components and Technology Conference*, 1623 (2006)
- 9) Inoue, K.: *Laser focus World Japan*, **9**, 50 (2009)
- 10) Inoue, K.: *Industrial Laser Solutions Japan*, **7**, 24 (2009)
- 11) Nagahiro, Y.: *Nikkei Microdevices*, **10**, 38 (2009)
- 12) Sugiura, R.; Fukuyo, F.; Fukumitsu, K.; Uchiyama, N.: *Laser Kako Gakkai Ronbunshu*, **63**, 115 (2005)

日本語表記参考文献

- 1) 長廣恭明：日経マイクロデバイス，**11**, 37 (2009)
- 2) 江部和義，成田博昭，田口克久，明田好孝，斎藤隆則：特許1712427 (1992)
- 3) 江部和義，成田博昭，田口克久，明田好孝，斎藤隆則：特許160351 (1991)
- 4) 江部和義，成田博昭，田口克久，明田好孝，斎藤隆則：特許1638457 (1992)
- 5) 江部和義，永元公市：接着の技術，**21** (3), 28 (2001)
- 6) 秋山護，岡部年孝：接着の技術，**25** (1), 6 (2005)
- 7) 高橋和弘，野口勇人，江部和義：特許3620810 (2004)
- 11) 長廣恭明：日経マイクロデバイス，**10**, 38 (2009)
- 12) 杉浦隆二，福世文嗣，福満憲志，内山直己：レーザ加工学会論文集，**63**, 115 (2005)

*

*

*

*

*