紫外線硬化樹脂を用いた 3 層切断ブレードの開発*

李 承 福^{*1}, 谷 泰 弘^{*1}, 榎 本 俊 之^{*1}
柳 原 聖^{*1}, 谷 中 耕 平^{*2}Development of a 3-Layered Dicing Blade
Applying Ultra-Violet Curable ResinSeungbok LEE^{*3}, Yasuhiro TANI, Toshiyuki ENOMOTO,
Kiyoshi YANAGIHARA and Kohei YANAKA^{*3} Institute of Industrial Science, The University of Tokyo,
4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 Japan

The use of ultra-violet curable resins as bonding agent can greatly reduce production cost by shortening the curing time from hours to minutes and by reducing air polluting fumes compared with thermosetting resins. Dicing blades with ultra-violet curable resins have been developed to enhance such advantages. A new conceptional blade has been proposed and developed, which is called a three-layered dicing blade. It has the structure composed of an inner layer with coarse abrasives for cutting and an outer layer with fine abrasives for finishing up at the same time. And in order to optimize uneven wear between the inner-and-outer layers of the blades, concentration of diamond abrasives in outer layer was increased and some kinds of fibers were mixed with resin as filler. As a result of the cutting experiments, in comparison with thermosetting resin blade and other single-layered ultra-violet curable resin blades, cutting performances have been improved.

Key Words: Grinding Wheel, Grinding Ratio, Dicing Blade, Ultra-Violet Curable Resin, Three-Layered Structure, Filler, Chipping Distribution

1. 結 論

半導体部品に使用されるシリコンウェハや水晶、セラミックスなどの硬脆材料の切断には薄刃のダイシングブレードが幅広く利用されている。一般にブレードは、その結合剤の種類により大別され、金属系ブレードと熱硬化樹脂を用いたレジンボンドブレードがある。レジンボンドブレードの場合、結合剤である熱硬化樹脂の焼成と焼成後の反りによる形状修正のための研磨仕上げなどに数時間がかかっていた。その結果ブレードの製造コストが高くなっている。そこで著者らは最近、硬化時間が短く、形状修正の研磨仕上げ工程が不要で機械的強度に優れた様々な紫外線硬化樹脂が開発されていることに着目し、数分で製造が可能な紫外線硬化樹脂の極薄切断ブレードへの適用を検討した⁽¹⁾。

従来、切断ブレードでは外層に微粒を、内層に粗粒を配したサンドイッチ構造をした 3 層ブレード⁽²⁾が切れ味と切断品位を両立できる理想のブレードであると言われてきた。ところが熱硬化樹脂では製造時の熱収縮のために薄刃でこういう構造を持ったブレードの製造はできないものとされてきた。そこで、前述のように光硬化樹脂である紫外線硬化樹脂を用いれば収縮が少ないため、3 層ブレードの製造が可能になるものと考え、著者らは極薄 3 層ブレードの製造について検討⁽³⁾を行った。

本論文では紫外線硬化樹脂を用いた 3 層ブレードの製造方法および樹脂と砥粒のみではブレードの耐摩耗性が低すぎるため粒状や繊維状のフィラーの添加を検討した。そして製造したブレードの加工特性について紫外線硬化樹脂の単層ブレードおよび熱硬化樹脂ブレードとの比較評価を行ったので報告する。

2. 紫外線硬化樹脂を用いた構造制御形
ダイシングブレードの提案2.1 構造制御形ブレードの基本概念とその試作
方法 加工面品位を向上させるためには微粒の砥

* 原稿受付 2003 年 5 月 12 日。

^{*1} 正員、東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)。^{*2} 東京大学生産技術研究所 [現: トヨタ自動車(株) (〒471-0826 豊田市豊田町 1)]。

E-mail: lsbok@iis.u-tokyo.ac.jp

Fig. 1 Concept of a 3-layered dicing blade

Fig. 2 Forming concept of a 3-layered dicing blade

Fig. 3 Forming method of a 3-layered dicing blade

粒を、加工能率を向上させるためには粗粒の砥粒を用いるのが望ましい。このような相反する機能を同時に満足するため、図1のように切断を行うブレード外周面に粗粒の砥粒を配置し、微細加工を行うブレード側面に微粒の砥粒を配置するサンドイッチ形状の3層構造切断ブレードを検討し提案する。

図2と図3にその試作方法を示す。紫外線硬化樹脂としてはエポキシ系樹脂(昭和高分子㈱ VR-77)とアクリル系樹脂(東亜合成㈱ M305 と M5700)を用いた。エポキシ系樹脂である VR-77 は引張強度が高く(80MPa)、硬化性に優れるが粘度が非常に高い(1000Pa・s)ため単体での使用が困難である。そのためアクリル系の中で比較的高強度(38MPa)で硬化性も良い M305 (粘度 0.4 - 0.8Pa・s) と強度は低い(12MPa) が相溶性、希釈性が優れ柔軟な塗布膜が得られる M5700 (粘度 0.12 - 0.15Pa・s) を選択した。ここでの混合比は、予備実験の中で粘度と硬化性などで良い結果が得られた VR-77 : M305 : M5700 = 2 : 3 : 1 とした。紫外線硬化樹脂は硬化時に収縮がほとんど生じないため、平坦度のよいガラス金型などを使用すれば、平坦度の確保と曲がりもなく、後加工で研磨を必要としないブレードが容易に製作できる。ブレードを成形する型としては、ガラス板を天板、円形状のステンレス型を底板とする構造とした。1層作るごとにその上に異なるダイヤモンド砥粒等を混合した樹脂の混合物を型の上に塗布して加圧しながら硬化させ3層構造とした。紫外線を型の表面から 100mm 離れた位置より照射した。発光部の照射強度は 56 kW/m² であり、照射時間は一枚当たり約 180 秒とした。試作ブレードの寸法は、粗粒部の内層が 54 mm (外径) × 40 mm (内径) × 0.1 mm (厚さ) であり、微粒の外層が 54 mm (外径) × 40 mm (内径) × 0.05 mm (厚さ) である。つまり、完成した3層ブレードの寸法は、54 mm (外径) × 40 mm (内径) × 0.2 mm (厚さ) である。

Table 1 Composition of each blade

Blade No. & Type	Resin & Filler vol%	Diamond grain vol%	
		3/8μm	20/25μm
A (UV) Single	97	-	3
B (UV) Single	97	3	-
C (UV)	Outer	97	3
	Inner	97	-
		-	3

Table 2 Experimental condition

Machine	Dicer DAC5250 by DISCO
Workpiece	Silicon wafer φ 150mm x 0.5mm (t)
Cutting condition	Spindle rotation : 15000 rpm
	Depth of cut: 0.2mm, Feed rate: 1.5mm/s
	Grinding length : 1.0m
	Coolant : Water 2.5 L/min

Fig. 4 Characteristics of chipping size distribution and grinding ratio of each blade

2・2 試作した3層構造ブレードの切断実験 表1に示すようにブレードとしてAからCまでの3種類を製作した。紫外線硬化樹脂に強度向上のためにフィラーとして粒径 1 μm のアルミナ(Al₂O₃)を 37vol% 添加した。試作したブレードにより表2の条件でシリ

コンウェーハの切断実験を行った。加工結果として、各ブレードによる切断後の切断溝におけるチッピングの大きさ分布と研削比を図4に示す。チッピング大きさ分布については、累積切断距離が1mになったときに、そこから手前50mmの切断溝部端面を測定区間にした。この測定区間を1mm毎に区切り、溝の両側にあるチッピングのうち最大幅を計測した。研削比は累積切断距離が1mになったときの、工作物の除去体積をブレード全体の摩耗体積で除した値とした。

この実験より3層であるブレードCの切断溝はチッピング幅が微粒の砥粒のみで構成されたブレードBのチッピング幅と同等であり、粗粒の砥粒のみで構成されたブレードAと比較してチッピングの幅がかなり小さいことが確認できた。一方、研削比については3層であるブレードCは粗粒の砥粒のみであるブレードAに劣るものの、微粒の砥粒のみであるブレードBに比較して良い値が得られた。

本章の実験結果から3層ブレードは従来の単層ブレードと比較して研削比、チッピング発生抑制などの点で優れた切断面品位を得られることがわかった。

3. 3層ブレード外層の耐摩耗性改良

3.1 ダイシングブレードとしての3層ブレードの問題点 前章では3層ブレードが同じ切断面品位を得られる通常の単層ブレードと比較して、摩耗が少ないという利点が見出された。しかし、その切断実験とその後の評価においていくつかの問題点が浮上した。それは、絶対値として低い研削比と図5で示されるように内外層の不均一な摩耗などである。これらは相互作用により切断面品位を低下させ、工具寿命を短くし、加工コストを高くする。この結果、形状精度の悪化をもたらす切断性能にも悪影響を及ぼし、3層ブレードの目的は達成されなくなる。

3層ブレードでは内外層で摩耗が異なり均質な形状を保つことが困難である。図5で表すように偏摩耗量をブレードの厚みで除く、いびつな摩耗形状の度合いをRuと定義した。このRuの値はゼロに近いほど摩耗の均一性が良いことを示す。表3に示すのは、前章で実験に用いたブレードのRu値と比較のために示した市販品の熱硬化樹脂ブレードの値である。紫外線硬化樹脂ブレードのRu値が大きいのは、耐摩耗性が熱硬化樹脂より低く、さらに3層の場合は粗粒を含有した内層に比べ、摩耗が進みやすい微粒の層が外層に配置されたため大きな差が生じたものと思われる。

3.2 外層の砥粒率増加および繊維状フィラー添加の検討 低い研削比や不均一な摩耗などの問題を解

a: Blade thickness

b: Uneven height of blade

Ru: Wear unevenness of blade ($\frac{b}{a}$)

Fig.5 Uneven shape of groove and blade

Table 3 Unevenness of wear of each blade

Blade No. & Type		Wear unevenness : Ru
A (UV)	Single	0.19
B (UV)	Single	0.27
C (UV)	3-layered	0.38
Phenol	Single	0.05

Table 4 Outer layer composition unit:vol%

3-layered blade	Resin	Alumina abrasive	Diamond abrasive
C	60	37	3
D	60	30	10
E	60	20	20
F	60	10	30
G	60	0	40

Fig.6 Variations of grinding ratio, wear unevenness and spindle motor current of each blade

決するために、まず外層の砥粒率を上げることとした。表4に砥粒率を調整した3層ブレードの種類を示す。

図6には作製した各ブレードで表2の実験条件による切断実験の結果を示す。微粒の層は砥粒率を増加させてもチッピング発生程度はあまり変化がなく研削比も良くなる傾向であった。また、Ru値も良くなる傾

向であった。しかし、ダイヤモンド砥粒率を増加させると切斷に寄与する砥粒が多くなるため切削抵抗を表す主軸モータの消費電流値は高くなった。そこで、消費電流値を低下させるためには繊維状フィラーの添加が効果的である⁽¹⁾ことから外層への繊維状フィラーの添加を検討した。検討の基準としては、①デバイスへのコンタミネーションのおそれがない ②基材の樹脂との親和性が高い ③添加による耐摩耗性と潤滑性などが期待できるの観点から、炭酸カルシウムのウィスカーとガラス繊維および炭素繊維を使用することにした。

ところが、繊維状のフィラーは球状のフィラーと異なりその添加量に制限がある。直径 $1\mu\text{m}$ 、長さ $20\sim 30\mu\text{m}$ の炭酸カルシウムのウィスカーは 7vol%まで樹脂混合物の攪拌ができたが、10vol%の時は粘度が高くなり攪拌ができなかった。また、直径 $7\mu\text{m}$ 、長さ $30\sim 40\mu\text{m}$ のガラス繊維と炭素繊維の場合は 8vol%までが攪拌の限界であった。攪拌と硬化ができるフィラー添加範囲として、いずれも 5vol%程度で良い結果が得られた⁽⁴⁾。したがって、今後のブレードの繊維状フィラーの添加量については 5vol%とした。

4. 外層を改良した3層ブレードによる切斷実験

4.1 切斷ブレードの種類と実験条件 前章の基礎実験で求めた結果を参考に作製したブレードを用いて、表2に示す実験条件で切斷実験を行った。ブレードの種類を表5に示す。全てのブレードにおいて、樹脂の配合率は 60vol%に固定し、外層のダイヤモンド砥粒は表1の通り微粒のみとした。S1からS3までのブレードは3層ブレードと比較するため単層にした。Tは3層の Three-layered ブレードの意味である。S1とT1の外層にはウィスカー(直径 $1\mu\text{m}$ 、長さ $20\sim 30\mu\text{m}$)を、S2とT2にはガラス繊維(直径 $7\mu\text{m}$ 、長さ $30\sim 40\mu\text{m}$)を、S3とT3には炭素繊維(直径 $7\mu\text{m}$ 、長さ $30\sim 40\mu\text{m}$)をそれぞれ添加した。

実験に用いた各ブレードの寸法は、前章のブレードより薄いブレードを作製するため、内層のダイヤモンド粗粒径を $20\sim 25\mu\text{m}$ から $12\sim 25\mu\text{m}$ に替えて 54mm (外径) $\times 40\text{mm}$ (内径) $\times 0.1\text{mm}$ (厚さ)とした。つまり、3層ブレード粗粒部の内層厚さが 0.04mm であり、微粒の外層部厚さが 0.03mm である。

4.2 切斷実験の結果 切斷後の評価としては、ブレードの切斷時の切削抵抗を表す主軸モータの消費電流値、ブレード半径方向の摩耗量における研削比および切斷面品位であるウェーハ表面に発生したチップングの分布の項目について行った。比較のため、外層と

Table 5 Composition of outer-layer unit:vol%

Blade type	Grain		Fiber		
	Alumina	Diamond	Whisker	Glass	Carbon
S1	10	25	5	-	-
S2	10	25	-	5	-
S3	10	25	-	-	5
T1	10	25	5	-	-
T2	10	25	-	5	-
T3	10	25	-	-	5

Fig.7 Characteristics of chipping size distribution, grinding ratio and spindle motor current of blades

Fig.8 Groove shapes of each blade

同粒径で同厚さの熱硬化性フェノール樹脂ブレードもあわせて評価した。図7の結果から、紫外線硬化樹脂ブレードは熱硬化樹脂ブレードと比べ消費電流値が低いことが確認でき、また3層の場合は研削比も同等以上であることがわかった。

同じ紫外線硬化樹脂ブレードの中では単層ブレードより3層ブレードの方が高い研削比を与え、チップングの発生も抑制できた。また、単層あるいは3層を問わず、いずれもウィスカーを添加した場合よりガラス繊維および炭素繊維を添加したブレードの場合がすべての評価項目で上回ることがわかった。これは、使用したセラミックス系のウィスカーに比べ、ガラス繊維および炭素繊維は繊維自身の潤滑性(チップング発生

抑制の効果)および耐摩耗性(研削比向上の効果)が優れるためと思われる。

図8に切断実験後、シリコンウェーハの溝断面の写真を示す。ウィスカーを添加した単層と3層ブレードはその摩耗の形状は不均一であった。それに対して、ガラス繊維および炭素繊維を添加した単層と3層のブレードを用いた場合、左右の対称性の良い溝形状を得ることができた。なお、この写真によると単層でガラス繊維および炭素繊維を添加した場合が3層で添加した場合より良い形状となっているが、これは3層で砥粒率の最適化が不十分であったためである。消費電流値、チッピングや研削比については3層の方が優れていた。同じ繊維でも炭素繊維の方がガラス繊維より研削比上昇と消費電流値低下に効果的であることがわかった。その理由としては、炭素繊維自身の潤滑性がガラス繊維より優れることと高弾性率(炭素繊維 392GPa, ガラス繊維 73GPa)⁽⁵⁾のためと思われる。しかし、図8からわかるようにガラス繊維および炭素繊維添加の3層ブレードの場合は、内層の低砥粒率のために生じた凹み摩耗形状の問題を解決する必要がある。

5. 内層混合物の変化による 3層ブレードの最適化

5.1 内層部凹みの解決案 そのため、以下の3つのことを提案する。まず、第1案として内層をより薄くすることである。現在の仕組みは外層、内層、外層の順序で $30\mu\text{m} : 40\mu\text{m} : 30\mu\text{m}$ となっている厚みを $40\mu\text{m} : 20\mu\text{m} : 40\mu\text{m}$ にして全体の厚み $100\mu\text{m}$ になる方法である。しかし、この方法では3層の目的と異なる内層の切断能力の低下と砥粒径と厚みとの関係(ブレードの厚みは目安としておおむね使用砥粒が3つ並ぶ粒径の3倍くらいが望ましい)もあり、実際に作製することも困難であった。

そして第2案の方法として内層もダイヤモンド砥粒率を上げることである。現在の内層砥粒率の3vol%から5vol%、さらに前節で記述した上限値の10vol%まで上げることである。この方法では消費電流値が高くなることとチッピング発生が多くなる懸念はあるが高研削比と切断溝部の平坦化が期待できる。

最後の第3案は、内層にも繊維フィラーを添加することである。セラミックス系のウィスカーは切断面の品位が良くないことと消費電流値が高いことがわかったため今回は使わないことにした。また、前章の実験結果で炭素繊維の方がガラス繊維より全ての評価項目で優れることから炭素繊維を添加することにした。こ

Table 6 Composition of inner-layer unit:vol%

Blade type	Resin	Alumina powder	Diamond grain	Carbon fiber
TD3	60	37	3	-
TD5	60	35	5	-
TD10	60	30	10	-
TC1	60	10	3	1
TC3	60	10	3	3
TC5	60	10	3	5

Fig.9 Characteristics of chipping size distribution, grinding ratio and spindle motor current by change of inner-layer composition of the blades

Fig.10 Groove shapes by change of inner-layer composition of each blade

の案では消費電流値の低下と研削比の向上およびチッピング発生の抑制などが期待できる。

5.2 解決案によるブレードの製作と切断実験 上記のように、内層の砥粒率を変えたものと繊維フィラーを添加したブレードをそれぞれ製作した。その配合率を表6に示す。内層にダイヤモンド粗粒のみ添加したブレードをTD(数値は添加量 vol%)と表記した。また、内層に炭素繊維を添加したブレードはTC(数値は添加量 vol%)と表記した。球状のフィラーとしてはアルミナ粉末(粒径 $1\mu\text{m}$)を添加した。また、比較のため前章で開発した3層ブレードの中で、全ての評価項目で良い結果が得られたT3ブレードを用いた

(ここでの表記は TD3) . 各々のブレードの微粒層である外層の配合率は TD8 と同じである。

実験条件は前章と同じく表 2 に示す条件で、切断後の評価項目も同じである。図 9 はそれぞれの案にしたがって製作した各種のブレードで切断した時の評価項目の加工特性を、図 10 には切断溝の断面形状を示す。研削比は粗粒ダイヤモンド砥粒を 10vol% 添加したブレード TD10 が最も高いが、粗粒であるため消費電流値が高くなる問題がある。また、図 10 に示したように内層の砥粒率が高すぎることさらに不均一な摩耗が生じたことがわかった。それに比べ、内層にダイヤモンド砥粒を 5vol% 添加したブレード TD5 では溝の形状がかなり改善されているが、図 9 で示すように研削比は多少上がったものの消費電流値が高く、チッピング分布にも劣ることがわかった。そこで内層に粗粒を添加する案は採用しないこととした。

一方、内層にも繊維を添加したブレードは、評価項目の全てにおいて良くなる結果になった。炭素繊維を添加したブレードは図 9 と図 10 で示すように不均一な溝摩耗の形状が改善された上、評価項目の全てで内層に繊維無添加のブレードより優れていることがわかった。また、これらの図より内層に炭素繊維を添加した場合は 3vol% と 5vol% が同じ値を表すことから最適添加量として 3vol% とした。そして内層に炭素繊維を 3vol% 添加し、連続切断を行った時のシリコンウェハの横断面を図 11 に示す。また、図 12 に熱硬化樹脂ブレードと最適化した 3 層ブレード用いて切断したシリコンウェハの表面状態を示す。これらの図で示すように最適化したブレードを用いたことで平坦な溝形状およびチッピングの発生が抑制され良い切断品位を得られることが確認できた。

6. 結 論

本研究で得られた主な結果は以下のようになる。

- (1) 紫外線硬化樹脂を使用し、外層に微粒を内層に粗粒を配したサンドイッチ構造をした 3 層ブレードを提案した。このブレードを単層ブレードと熱硬化樹脂ブレードと比較した結果、同一加工条件で、消費電流値、研削比、チッピング発生の抑制などで優れた切断性能を得ることができた。
- (2) 内外層の不均一な摩耗は、繊維状フィラーを添加することで解決できた。また、これはブレードの摩耗量、消費電流値およびチッピング発生の減少にも効果的であった。

Fig.11 Groove shapes of cross section with optimized three-layered dicing blade

(a) Thermosetting resin (phenol) dicing blade (b) UV curable resin three-layered blade

Fig.12 Top view of the grooves of workpiece

- (3) 繊維の中では、ウイスキーおよびガラス繊維よりも炭素繊維の方がブレードの摩耗量、消費電流値およびチッピングの減少といった加工特性の点で優れていた。

最後に、本研究に対し樹脂サンプルのご提供をいただいた昭和高分子㈱、東亜合成㈱および繊維系サンプルのご提供をいただいた丸尾カルシウム㈱、日本板硝子㈱、旭ファイバーグラス㈱、呉羽化学工業㈱、東邦レーヨン㈱、三菱レイヨン㈱に記して深く謝意を申し上げる。

文 献

- (1) 李承福, 谷泰弘, 柳原聖, 榎本俊之, 彭偉, 紫外線硬化樹脂を用いた極薄切断ブレードの開発, 2003 年度日本機械学会論文集(C 編), 69, 684, (2003), 240 - 245.
- (2) 谷中耕平, 藤井剛志, 谷泰弘, 柳原聖, 李承福, 紫外線硬化樹脂を用いた切断ブレードの開発, 2000 年度日本機械学会年次大会学術講演会講演論文集 Vol. III, (2000), 511-512.
- (3) 李承福, 谷泰弘, 柳原聖, 紫外線硬化樹脂を用いた構造制御形薄切断ブレードの開発, 2002 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2002), 342.
- (4) 李承福, 谷泰弘, 紫外線硬化樹脂を用いたブレードの開発, 第 21 回日本工作機械見本市・第 10 回工作機械技術者会議研究概要集, (2002), 28-29.
- (5) 岸輝雄, 橋本和仁, 遠山暢之, 現代工学の基礎 9, 材料概論, (2001), 42, 岩波書店.