

## 紫外線硬化樹脂を用いた極薄切断ブレードの開発

Development of an Ultra-Thin Dicing Blade Applying Ultra-Violet Curable Resin

李 承 福\*・谷 泰 弘\*・榎 本 俊 之\*\*・柳 原 聖\*

Seungbok LEE, Yasuhiro TANI, Toshiyuki ENOMOTO and Kiyoshi YANAGIHARA

## 1. はじめに

半導体部品に使用されるシリコンウエーハや水晶，セラミックスなどの硬脆材料の切断にはダイシング(切断)ブレードが幅広く利用されている。また，半導体製造プロセスにおいて製造単価を低減するために，シリコンウエーハの基板そのものを大口径化する動きと共に，同じサイズでより多くの情報量を書き込めるように高集積化する技術が進んでいる。こうした中で，シリコンウエーハのダイシングにおいて，加工中に発生するチッピングのセーフティマージンを大きく取ることや，歩留まりを向上させるために，薄刃のダイシングブレードを使用する傾向となっている。

このダイシングブレードは，結合剤の種類により電鍍(電着)，メタルボンド，レジン(樹脂)ボンドの3種類に分けられる。金属系の電鍍，メタルボンドブレードは工具寿命が長いが切断面にチッピング発生が多く表面品位が落ちる。樹脂のレジンブレードは工具寿命が短い弾性に富み，工作物への当たりが柔らかく，またチッピング発生が少なく切断面がきれいで切れ味の良い状態が維持できるなどそれぞれの特徴がある。

樹脂ブレードでは熱硬化性のフェノール樹脂が結合剤として用いられている。その製造工程としてはダイヤモンド砥粒を樹脂に混合し，ホットプレス法により焼成・熱硬化の後，研磨仕上げがなされている。このような工程には熱硬化の際，樹脂からのガスの発生と熱変形による製造厚みの制限と変形を直すための研磨仕上げに数時間が必要とされている。それらのことが人体への悪影響とブレードの製造コストを高くしている。

一方，ラピッドプロトタイピングの発展に伴い，様々な特性を有した紫外線硬化樹脂が開発されている。最近では硬化時間も短く，機械的強度に優れた紫外線硬化樹脂も開

発されている。

そこで本研究ではダイシングブレードの製造コスト低減を目的にこれら紫外線硬化樹脂のブレードへの適用を検討し，次にブレードの薄肉化のための製造方法を提案する<sup>1)</sup>。そして最後に製造したブレードの加工特性について既存の熱硬化樹脂ブレードとの比較を行う。

## 2. 紫外線硬化樹脂を用いた切断ブレードの製造可能性の検討

## 2.1 金型によるブレードの製作

紫外線硬化樹脂(昭和高分子(株)エポキシ系樹脂 LC-800)を用いた切断ブレードが製造可能かどうかを図1のような方法で検討した。図2にその金型と試作したブレードを示す。

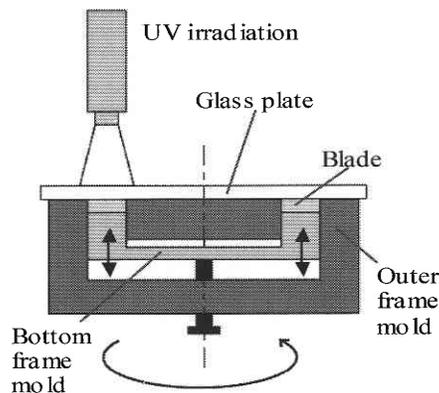


図1 Schematic view of forming method

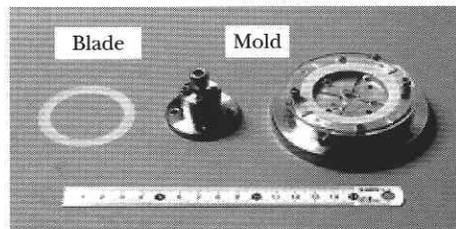


図2 Blade forming equipment

\*東京大学生産技術研究所 情報・システム部門

\*\*東京大学生産技術研究所 複合精密加工システム寄付研究部門

表1 Composition of blade unit:vol %

| Blade No.  | Resin | Diamond | SiO <sub>2</sub> |
|------------|-------|---------|------------------|
| A (UV)     | 98    | 2       | -                |
| B (UV)     | 80    | 2       | 18               |
| C (UV)     | 73    | 2       | 25               |
| D (UV)     | 65    | 2       | 33               |
| E (Phenol) | 65    | 35      | -                |

表2 Experimental conditions

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| Machine           | DAC-552 by DISCO             |
| Workpiece         | Silicon wafer                |
| Cutting condition | Spindle rotation : 15000 rpm |
|                   | Depth : 0.5mm, Length : 1.0m |
|                   | Feed rate : 0.5mm/s          |
|                   | Coolant : Water 2.5 L/min    |

ブレードを成形する型としては、ガラス板を天板、ステンレス金型を底板として、円形状のステンレス製外枠と中子による構造とした。この型に、ダイヤモンド砥粒等を混合した樹脂を注入して、紫外線を型の表面から10mm離れた位置より照射し、ブレードの形状に沿うように照射装置を円周方向に走査させた。照射強度は56kW/m<sup>2</sup>であり、照射時間は一枚当たり60秒前後であった。試作したブレードの寸法は、φ54mm(外径)×φ40mm(内径)×0.2mm(厚さ)である。

2.2 製作ブレードの切断実験

表1に示すようにブレードはAからDまでの4種類を製作した。Eは市販の熱硬化性のフェノール樹脂ブレードである。ここでは、それぞれ樹脂とダイヤモンド砥粒(粒径10-20μm)以外にも強度向上のためにSiO<sub>2</sub>#3000(平均粒径5μm)を表1の配合率で製作したブレードを利用し、シリコンウエーハの切断実験を試みた。実験条件を表2に示す。SiO<sub>2</sub>粒子の添加量を変えた際の、硬度とヤング率の変化およびそのブレードによる切断実験での半径摩耗量を図3に示す。加工中、ブレードAは外周に大きい破損が発生したが、その他のブレードは外周に破損がなく、ブレードとして利用できることがわかった。

図1のような金型を利用する成形の場合、実際に製作を行ったところ100μmの厚みが限界と判明した。その理由は、金型の加工精度が直接ブレードの精度の影響することと注入の混合物が樹脂だけではなくダイヤモンドとフィラーなどが添加され、その粘度が高くなったためである。よって金型の底枠だけを利用し、図4のように型の上に樹脂の混合物を塗り重錘の荷重でプレスする方法でブレードを製作した。その結果、この方法では40μmまでの厚みが

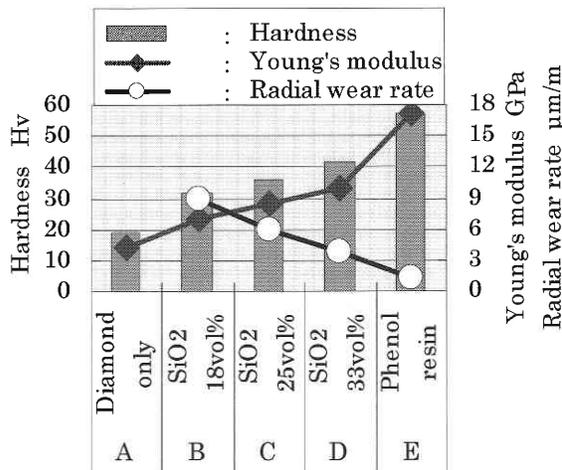


図3 Variations of mechanical characteristics and radial wear rate of each blade

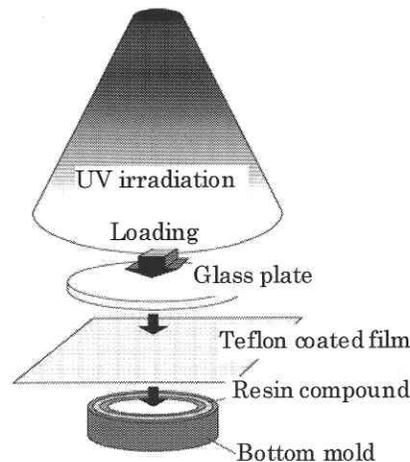


図4 Blade forming method by loading

実現できた。しかし、厚みむらにおいて、市販品が4%のむらを有しているのに対し、図1の型成形の方法では12%前後であり、図4の重錘による方法においても9%のむらが生じており、製造方法に更なる検討が必要であることが明らかになった。

本章の実験結果から紫外線硬化樹脂を用いて切断可能なブレードの製造ができることがわかった。また、図3によりSiO<sub>2</sub>粒子をフィラーとして添加することで硬度、強度および耐摩耗性の向上には効果があるが、市販ブレードに比べると、まだ劣っており更なる最適化が必要であることがわかった。

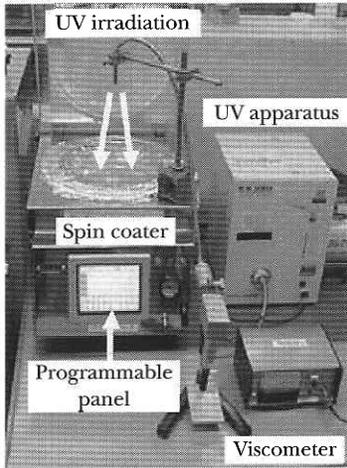


図5 Spin coating system

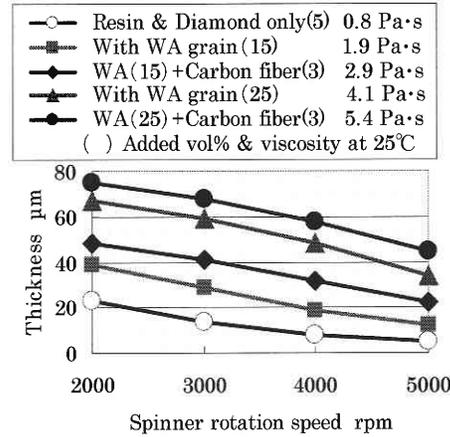


図6 Relationship between blade thickness and spinner rotation speed

### 3. スピンコーティング法による極薄切断ブレードの開発

#### 3.1 極薄切断ブレードの新製造方法の提案

そこで、高速回転による遠心力を利用し薄い塗膜が作製できるスピンコーティング方法を考案した。工程としては、まず基板中央部に液体樹脂を滴下し、次にこの基板を高速で回転させる。このときの遠心加速度によって液体樹脂が基板上に拡散し、基板表面に薄い膜が形成される。

最近では、このような方法を利用してスピナー方式による単位積層膜の薄形化<sup>2)</sup>を行った例もある。図5にスピンコーティング装置の構成と外観を示す。

#### 3.2 スピンコータ法により製造したブレードの物理的特性の評価

一般的にスピン工程では、回転速度が速いほど、回転の処理時間が長いほどまた樹脂混合物の粘度が低いほど薄い厚みの膜が形成できる。

今回のブレードの試作では、樹脂混合物の量は2-3 cm<sup>3</sup>に設定し、2000-6000 rpmで、回転時間は1秒から30秒の間とした。硬化は、30-60 rpmの低速度で回転をかけながら100 mm離れた位置から紫外線を照射し硬化させた。図6に処理時間20秒の時の、スピンコータの回転数とブレード厚みの関係を示す。ダイヤモンドの粒径は3-8 μmで、フィラーとしてWA # 8000 (平均粒径1 μm)と直径7 μm長さ30 μmの炭素繊維を添加した。すべてのブレードのダイヤモンド添加率は5 vol%に固定した。このスピンコータ法により、従来の方法では困難であった10 μmまでの極薄ブレードの製造が可能となった。

図7に重錘成形法とスピンコータ法で製作したブレードの厚みおよび硬度の測定方法を示す。まずブレードの放射線方向の厚み分布と硬度分布を調べるため、図に示すようにブレードの内径部分①と真中部分②と刃先部分③を各個

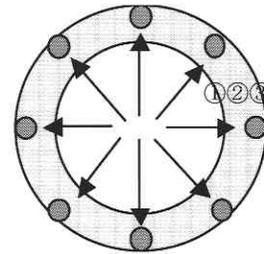


図7 Measuring points of thickness and hardness

所ごと測って見たところ、ほとんど差がなかった。またブレード断面での砥粒分布と繊維分布状態も同じところを微分電子顕微鏡で断面を見たところ、その差もなかった。これらのことから砥粒やフィラーは均一に分布されたと思われる。次に、切断に使用するのはブレードの刃先部分であるため、測定場所はブレードの刃先の円周に沿って刃縁部から2 mmの所を等間隔で8ヶ所測定した。いずれも厚みの測定にはデジタルマイクロメータを、硬度の測定にはマイクロピッカース微小硬度計を利用した。硬度測定での荷重は50 kPa、加圧時間は5秒に設定した。

厚みむらはスピンコータ法で3%、重錘成形法では9%であり、硬度むらはスピンコータ法で2%、重錘成形法では3%であった。また、前述のように市販品の厚みむらが4%であることからスピンコータ法で製造したブレードの厚みむらは、市販品より小さいことがわかった。

### 4. フィラー添加によるブレードの特性

次に、ブレードの機械的性質を向上させるため添加するフィラーの最適化を検討した。図8に形状と材質の異なるフィラーを添加した時の硬度と強度の変化を示す。フィラ

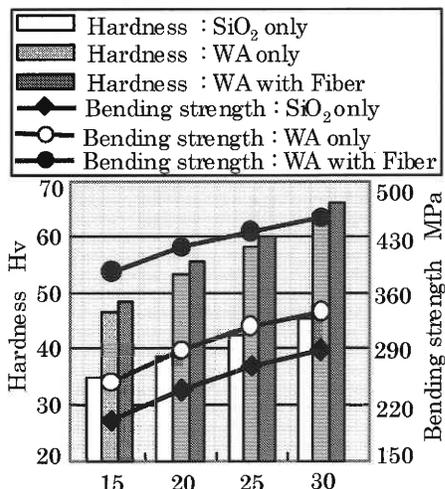


図8 Variations of blade mechanical characteristics by adding filler

一としてのそれぞれの役割を把握するため、ダイヤモンドの添加率は5 vol%に、直径7 μm長さ30 μmの炭素繊維の添加率は3 vol%に固定し、WAとSiO<sub>2</sub>の添加率を変化させた。

この図により、粒子であるWAとSiO<sub>2</sub>は硬度向上の充填剤としての役割を、繊維状である炭素繊維の場合は曲げ強度を向上させる強化材としての役割をすることが判明した。ガラス繊維の添加の場合も炭素繊維の場合と同一の傾向であった。また、粒形フィラーではWAの方がSiO<sub>2</sub>より硬度・強度の面で良いことがわかった。それはWAの硬度がSiO<sub>2</sub>より高いためであって、これらの結果からフィラーとしてWAを選択することとした。

### 5. 極薄切断ブレードの切断実験

#### 5.1 切断ブレードの種類と実験条件

製造した各種類のブレードを利用し、切断実験を行った。実験に用いたブレードの寸法は、φ54 mm(外径)×φ40 mm(内径)×0.05 mm(厚さ)である。ブレードの種類を表3に、切断実験条件は表2に示す通りである。全てのブレードにおいてダイヤモンド砥粒の添加率は5 vol%に固定した。Tは市販の熱硬化性のブレードで、同一粒径のダイヤモンド砥粒の集中度100(25 vol%)のものを比較のため実験に使用した。

#### 5.2 切断実験の結果

切断後の評価としては、切れ味、ブレード半径方向の摩擦耗量および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。切れ味は加工能率に関係し、加工コストに影響する。この切れ味はブレード主軸モータの消費電

表3 Type of dicing blades unit: μm

| Blade | WA                               | Fiber  | Diameter | Length |
|-------|----------------------------------|--------|----------|--------|
| C1    | ×                                | Carbon | 7        | 30     |
| C2    | ○                                | Carbon | 7        | 30     |
| C3    | ○                                | Carbon | 7        | 60     |
| C4    | ○                                | Carbon | 7        | 130    |
| C5    | ○                                | Carbon | 13       | 130    |
| C6    | ○                                | Carbon | 18       | 130    |
| G1    | ○                                | Glass  | 13       | 35     |
| G2    | ○                                | Glass  | 10       | 60     |
| G3    | ○                                | Glass  | 13       | 70     |
| S     | ○                                | ×      | -        | -      |
| T     | Thermosetting phenol resin blade |        |          |        |

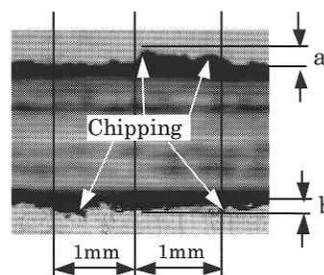


図9 Measuring method of chipping size distribution

流値により評価を行った。ブレードの機械的特性の評価として半径摩擦耗量を調べた。切断面の品位とも言えるチップング分布の評価は次のようにして行った。累積切断距離が1 mになったときに、そこから手前50 mmの切断溝部端面を測定区間にした。この測定区間を1 mm毎に区切り、図9に示すように溝の両側にあるチップングのうち最大幅(上側の場合a、下側の場合b)を計測した。このチップング分布を調べることで、切断溝に存在する切断面のチップング発生とその幅の分布がわかる。

図10にウェーハ表面に発生したチップング分布とブレードの切れ味を表す切断時の抵抗電流値と切断距離1 m当たりのブレードの半径摩擦耗量を示す。図11には熱硬化樹脂ブレード(T)と紫外線硬化樹脂ブレード(C2)の場合の工作物表面状態を表す。C1は炭素繊維のみ添加したブレードで摩擦は大きいが電流値の方は低い。またSの場合はWA粒子のみ添加したブレードで摩擦はC1ブレードの半分程度に低い電流値の方は高くなる。C2からG3までのブレードはWA粒子と繊維状フィラーを添加したブ

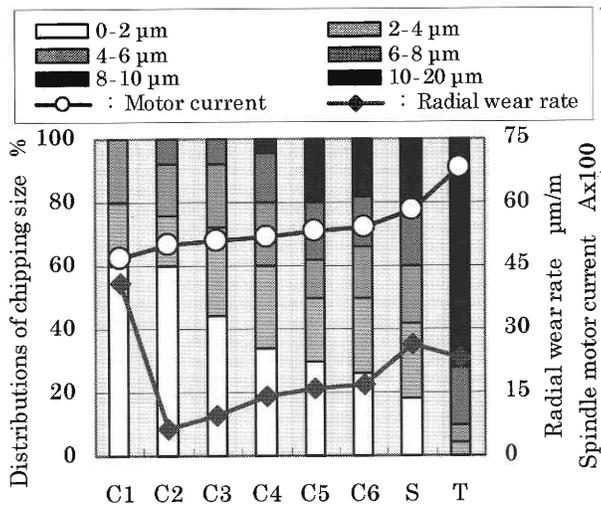
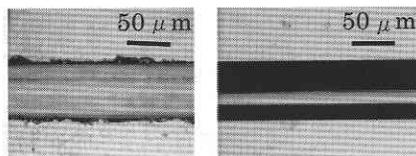


図 10 Results of cutting experiment



Phenol resin blade UV resin blade

図 11 Top view of chipping on the surface of workpiece

レードである。このことにより WA 粒子の添加はブレード半径の摩耗には効果があるが、電流値は高くなる。これに対し、繊維状である炭素繊維とガラス繊維の場合は、半径の摩耗にはもちろん、電流値低下にも効果的であることがわかった。

同じ繊維でもその直径が小さい程、長さが短い程、摩耗と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、添加した繊維がマトリックスの中にもっとも緻密に配置されることと繊維状フィラーは加工中のクラック伝播の抑止およびそのエネルギーを吸収することで耐衝撃性と強度に効果があるためと考えられる<sup>3)</sup>。また、繊維の中では、炭素繊維の方がガラス繊維より優れた機械的な性質（高比強度、高比弾性率：炭素繊維 392 GPa、ガラス繊維 73 GPa）と炭素質からの優れた特性（耐熱性、低熱膨張率、化学安定性および自己潤滑性など）<sup>4)</sup>を持つことより、

ブレードの摩耗量、抵抗電流値およびチッピングの減少に優位であることがわかった。

## 6. ま と め

本研究で得られたおもな結果を以下にまとめる。

- (1) ブレードの低コスト化を目的として紫外線硬化樹脂を結合剤とする紫外線硬化樹脂ブレードを提案した。これにより製造工程の大幅な短縮で低コスト化が図れる。
- (2) 紫外線硬化樹脂を用いた極薄ブレード製造の新しい方法として高速回転による遠心力を利用するスピコータ法を提案した。この方法により従来の方法では困難であった 10 μm 厚みのブレードも作製することができた。
- (3) フィラーを添加することで、ブレードの機械的性質が向上できた。粒状のものは硬度に効果がある充填剤として、繊維状のものは強度に効果がある強化材としての役割を果たすことが確認できた。
- (4) 繊維状フィラーの場合は、その直径が小さい程また長さが短い程、ブレードの摩耗量、抵抗電流値およびチッピングの減少にも効果的であった。また、繊維の中では炭素繊維の方がガラス繊維より優れた加工特性を与えることがわかった。

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(株)および繊維サンプルのご提供をいただいた日本板硝子(株)、旭ファイバーグラス(株)、呉羽化学工業(株)、東邦レーヨン(株)、三菱レイヨン(株)に記して深く謝意を申し上げます。

(2003年8月25日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 李 承福, 谷 泰弘, 榎本俊之, 柳原 聖, 彭 偉, 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 69, No. 684, 2180-2185 (2003).
- 2) 富村明彦, 浮田宏生, 電気学会マイクロマシン研究会資料, MM-99-11, (1999), 27-32.
- 3) 井出文雄, 界面制御と複合材料の設計, (1995), 179, シグマ出版.
- 4) 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.