

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 3 月 5 日(05.03.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/029987 A1

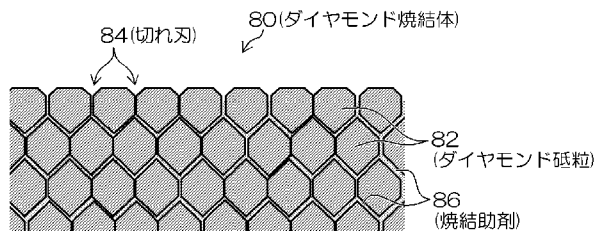
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/301 (2006.01) B24D 5/00 (2006.01)
B24B 27/06 (2006.01) B24D 5/12 (2006.01)
B24D 3/00 (2006.01) B28D 5/02 (2006.01)
B24D 3/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/072266
- (22) 国際出願日: 2014 年 8 月 26 日(26.08.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-174948 2013 年 8 月 26 日(26.08.2013) JP
特願 2014-039307 2014 年 2 月 28 日(28.02.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社東京精密(TOKYO SEIMITSU CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1928515 東京都八王子市石川町 2 9 6 8 - 2 Tokyo (JP). 株式会社 新日本テック(SHIN-NIHON TECH INC.) [JP/JP]; 〒5380035 大阪府大阪市鶴見区浜 2 丁目 2 番 8 1 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
(71) 出願人: 渡邊 純二(WATANABE, Junji) [JP/JP]; 〒5918043 大阪府堺市北区北長尾町 3 - 5 - 7 - 5 0 2 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 藤田 隆(FUJITA, Takashi); 〒1928515 東京都八王子市石川町 2 9 6 8 - 2 株式会社東京精密内 Tokyo (JP). 和泉 康夫(IZUMI, Yasuo); 〒5380035 大阪府大阪市鶴見区浜 2 丁目 2 番 8 1 号 株式会社 新日本テック内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 松浦 憲三(MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目 6 番 1 号 新宿住友ビル 2 3 階 私書箱第 1 7 6 号 新都心国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,

[続葉有]

(54) Title: DICING BLADE

(54) 発明の名称: ダイシングブレード

[図5]



- 84 Cutting edge
80 Diamond sintered compact
82 Diamond abrasive grain
86 Sintering agent

(57) Abstract: Provided is a dicing blade capable of cutting even a workpiece composed of a brittle material stably and accurately in a ductile mode without causing cracks and breakage. This dicing blade (26) is attached to a rotatable spindle, and while rotating about the rotation axis of the rotatable spindle, cuts or grooves a flat plate-shaped workpiece to a constant depth of cut while the workpiece is relatively slid. This dicing blade (26) is integrally formed into a disc shape or a ring shape from a diamond sintered compact formed by sintering diamond abrasive grains, and is provided with, at the outer periphery of the dicing blade (26), a cutting edge part (40) in which minute cutting edges formed on the surface of the diamond sintered compact are provided continuously along a circumferential direction.

(57) 要約: 脆性材料から構成されるワークに対しても、クラックや割れを発生させることなく、延性モードで安定して精度良く切断加工を行うことができるダイシングブレードを提供する。本発明のダイシングブレード(26)は、回転スピンドルに装着され、回転スピンドルの回転軸周りに回転しながら平面板状のワークを一定の切込み深さで相対的にスライドさせて切断ないしは溝入れ加工する。このダイシングブレード(26)は、ダイヤモンド砥粒を焼結して形成されたダイヤモンド焼結体によって円板状又はリング状に一体的に構成され、ダイシングブレード(26)の外周部には、ダイヤモンド焼結体の表面に形成された微小な切れ刃が周方向に沿って連続して設けられた切刃部(40)を備える。

WO 2015/029987 A1



PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

規則 4.17 に規定する申立て:

- 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則 4.17(v))

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： ダイシングブレード

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置や電子部品が形成されたウェーハ等のワークに対して切断や溝入れなどの切断加工を施すダイシングブレードに関する。

背景技術

[0002] 半導体装置や電子部品が形成されたウェーハ等のワークを個々のチップに分割するダイシング装置には、少なくともスピンドルによって高速に回転されるダイシングブレードと、ワークを載置するワークテーブルと、ワークテーブルとブレードとの相対的位置を変化させるX、Y、Z、 θ の各移動軸が設けられており、これらの各移動軸の動作によってワークに対して切断や溝入れなどの切断加工を施す。

[0003] このようなダイシング装置で用いられるダイシングブレードとしては、これまでに各種提案されている（例えば、特許文献1、2参照）。

[0004] 特許文献1には、ダイヤモンド砥粒をニッケルや銅等の軟質の金属との合金を結合材として、電気メッキ技術を用いた電鍍法で金属母材（アルミフランジ）の端面に固着させた電鍍ブレードが記載されている。

[0005] 特許文献2には、化学気相蒸着（CVD）法によって硬度が互いに異なるダイヤモンド層を順次積層することにより、複数のダイヤモンド層からなる基材により構成されるダイヤモンドブレードが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2005-129741号公報

特許文献2：特開2010-234597号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ところで、近年、半導体パッケージの小型化、高集積化への要求が高まっ

ており、半導体チップの薄片化が進んでいる。これに伴って、例えば厚さ 100 μm 以下の極薄のワークが要求されるようになってきている。このような極薄のワークは非常に割れやすいので、極薄のワークをダイシングする場合には、ダイシングブレードによって形成される切断溝の溝幅をできるだけ細くする必要がある。例えば、厚さ 100 μm 程度のワークを切断加工する際は、ダイシングブレードの刃厚として、ワークの厚みよりも薄くする必要がある、少なくとも 100 μm 以下の厚みとする必要がある。仮にワークの厚みよりも厚い刃厚のダイシングブレードで切断加工を行った場合、ワークが切断される以前に割れてしまうことがある。このため、例えば、厚さ 50 μm 程度のワークに深さ 30 μm 程度の溝入れ加工を行う場合には、当然のことながら、溝の幅も 30 μm 以下にしないといけないため、ダイシングブレードの刃厚を 30 μm 以下に抑える必要がある。

[0008] しかしながら、従来のダイシングブレードには以下に示す技術的な問題があり、極薄のワークに対して安定して精度良く切断加工を行うことができない。

[0009] また、脆性材料については、割れの原因となるクラックを回避することが難しい。銅やアルミニウムおよび有機フィルムや樹脂などの延性を有する材料については、割れない一方、バリが出やすい性質を有し、バリの発生を回避することが難しい。

[0010] (突き出し調整不可によるクラックの問題)

まず、特許文献 1 に記載される電鍍ブレードは、図 20 に示すように、ダイヤモンド砥粒 92 が結合材（メタルボンド）94 内に散在しており、表面には鋭利な先端部を有するダイヤモンド砥粒 92 が突出した状態となっている。このとき、ダイヤモンド砥粒 92 の突出位置や突出量はばらばらであり、原理的に砥粒突き出しを精度良く制御することは困難である。このため、1 つの加工単位における切り込み深さを高精度に制御することはできない。特に厚さが 100 μm 以下の極薄のワークに対して切断加工が行われる場合、ある一定以上の切り込みでクラックが発生し、ダイヤモンド砥粒の先端部が

ワークに対して致命的な切り込みを与えてしまうことがある。その結果、クラック同士が結びつくことで、多かれ少なかれチッピングや欠けが発生してしまう問題がある。

[0011] このような問題が生じる原因としては、電鑄ブレードの表面形態にある。すなわち、図20に示したように、電鑄ブレードにおいてはダイヤモンド砥粒92が結合材94によって結合されているが、その表面形態は結合材94の中にダイヤモンド砥粒92が散りばめられた形で存在している。そのため、電鑄ブレードにおいては、全体的な平均高さ位置となる基準平面98は結合材94の表面近くに存在し、その基準平面98からダイヤモンド砥粒92が突出する状態となっている。そして、この状態でダイシング加工を進めていくと、ダイヤモンド砥粒92ではなく、それを結びつける結合材94の表面部分が目減りし、ダイヤモンド砥粒92の突出量がさらに大きくなる。このようなことから、上述のように、ダイヤモンド砥粒92の突出位置や突出量を精度良く制御することは困難である。

[0012] 特に電鑄ブレードの場合は、自生発刃なる用語があるように、切断途中で摩耗したダイヤモンド砥粒92はそのまま脱落し、次にその下にある新しいダイヤモンド砥粒92が作用する形態となる。しかし、こうしたダイヤモンド砥粒92の脱落を容認すると、脱落したダイヤモンド砥粒92がブレードとワークの間に入り込み、結果的にクラックを助長することになる。

[0013] （鋭利化が困難な問題）

また、電鑄ブレードの場合、機械加工によってブレード先端部を薄く鋭利に加工しようとしても、ダイヤモンド砥粒がまばらに存在するため、一様に薄く加工したり、テーパをつけるように加工しようとしても、その加工に伴って表面からダイヤモンド砥粒が脱落してしまうので、ブレード先端部を鋭利化することには限界がある。

[0014] すなわち、薄いブレードを製作するためには、電着のメッキをする際に、一様に薄くメッキしたものを製作し、それを基材から取り外してブレードにするが、ブレードにしたものを後から加工によって成形し、薄くすることは

困難である。

[0015] (熱伝導性の悪さからくる熱蓄積の問題)

また、電鍍ブレードは、熱伝導性が悪く、切断加工時に溝側面との摩擦抵抗による発熱によってブレード内に熱が蓄積されやすく、ブレードの反りを招く恐れもある。

[0016] 電鍍ブレードがニッケルを結合材として製作された場合、表 1 に示すように、ニッケルの熱伝導率はせいぜい $92\text{W/m}\cdot\text{K}$ 程度である。また、銅を結合材とした場合でも $398\text{W/m}\cdot\text{K}$ 程度の熱伝導率しかない。このようにブレードの熱伝導性が悪いと、熱が蓄積されやすくブレードが反ることや、加工中の発熱でダイヤモンドがグラファイト化することもあるため、純水をかけながら冷却して加工を行う場合が多い。なお、ダイヤモンドの熱伝導率は $2100\text{W/m}\cdot\text{K}$ であり、ニッケルや銅とは桁違いの熱伝導率を有する。

[0017] [表1]

	比 重	熱膨張係数 [$\times 10^{-6}/\text{K}$]	熱 伝 導 率 [$\text{W/m}\cdot\text{k}$]	ビッカース硬度 Hv
Ni	8.9	13	92	638
Cu	8.96	16.7	398	369
ダイヤモンド	3.52	3.1	2100	8000~12000

[0018] (恣意的な等間隔の切れ刃が形成できない問題)

一方、特許文献 2 に記載されるダイヤモンドブレードには、以下に示すような問題がある。

[0019] まず、上記のダイヤモンドブレードは CVD 法で形成されているため、非常に緻密な膜で形成されたブレードとなるが、その結果、ダイヤモンドブレードの表面はほとんど平面状になり、恣意的に切り込みを与えるための凹み形状や切り屑除去のためのポケットを形成することができない。また、結果的に微小な凹凸が形成されたとしても、成膜前に恣意的に粒界の大きさを設定できない。したがって、凹凸のピッチなどを恣意的に設計できるものではない。

[0020] (積層の場合のバイメタル効果の問題)

また、異なる組成のダイヤモンド層を積層して形成する場合、その組成によって熱膨張が変化しやすくなる。このため、ダイシング加工中に発熱してくると各ダイヤモンド層間で熱応力が発生し、ブレードの真円度や平面度を維持できなくなる可能性がある。このとき、場合によっては反りが発生することもある。特にブレードが薄くなると、その影響はより顕著となる。

[0021] (CVD成膜によるブレード製作における振れ精度の問題)

また、CVD法でダイヤモンドブレードを製作する場合、成膜分布によってブレードの刃厚分布が決定される。特に成膜分布にうねりがある場合に、そのうねりを除去することはできない。すなわち、機械加工でうねりを除去しようとしても、クラックが入るなどしてしまい、薄いブレードを成形することは困難である。したがって、高精度な振れのないスピンドルフランジに基準面同士を合わせて取り付け、振れ精度を向上させることは原理的に難しい。

[0022] (異種材料を接合することによる平面度確保)

また、ブレードによる切断溝の溝幅を細くするためにはブレードの外周部(先端部)はできるだけ細い方が好ましいが、フランジに当接させる部分は高精度な基準となる平面を維持するため反りが発生しない程度の厚みを必要とする。しかし、ブレードを一体物として製作する上で、こうした厚みの異なる部分を有するブレードとする場合、成膜による方法では、一体物で製作することはできず実質不可能である。なお、そのために異種の材料を接合するのでは、熱応力の関係から変形し、真円度、平面度を乱してしまうため、後述する本発明のような延性モードの加工を実現することはできない。ここで、研削や切削加工を行う際に、螺旋形や流線形の切り屑が出るような状態でワークの加工を行う場合を延性モードの加工という。

[0023] また、ブレード外周に高硬度のダイヤモンドチップを埋め込む構成は、ダイヤモンド部分と基材の部分で熱膨張や熱伝導率が異なるため、バイメタル効果でブレード全体の平面度を確保しにくい他、チップを円周状に配列すると、温度分布が軸対称のきれいな温度分布にならないため、やはり熱応力に

よって平面度が悪化することになってしまう。

[0024] また、クラックフリーの延性モードダイシングにするためには、0.1mm以下の薄いブレードで極局所的な領域に溝入れないしは切断幅を限定する必要があるが、ダイヤモンドチップと母材を張り合わせた構成ではこのような薄いブレードを形成することはできない。ダイヤモンドチップ部とその他の母材部分の連続的な平面度を確保することが難しい。

[0025] さらに、ダイヤモンドチップ部分は極めて硬度が高いが、母材の金属の部分の弾性効果で、ダイヤモンドチップが受ける衝撃を母材部分が吸収してしまうことがある。延性モードで加工を行う場合は、極微小な切込みを継続的に入れる必要があるが、こうした衝撃を母材が吸収してしまうと、極微量な切込みの下で延性モードの加工を行うことはできない。

[0026] 以上から、熱伝導の点、形状的な平面度や平面の連続性の点、加工による衝撃を吸収せず局所的に効果的なせん断力を与える点などに照らすと、ダイヤモンドチップを埋め込むブレードは、問題となる。

[0027] (成膜方法では、膜堆積方向により応力分布が異なりブレード反りが発生)
また、上記のダイヤモンドブレードでは、CVD法によって成膜されたダイヤモンド層からなる膜内に圧縮応力が形成されるので、膜が堆積するにしたがって、応力の入り方が異なる。このため、最終的に膜を剥してブレードにする際に、左右の両面において圧縮応力の入り方に違いがあり、結果的にブレードが大きく反ることになる。こうしたブレードの反りを修正するにしても、修正する手段はなく、膜の応力によって歩留りが悪くなることが懸念される。

[0028] (スクライビングの問題)

また、他の問題として、ブレード自体の問題ではないが、たとえ、ブレードを精度よく製作し、先端部が鋭利でかつ、切断加工時の熱においても平面状態が変化することのない理想的なブレードを製作できたとしても、そのブレードの使用方法も重要となる。特に、ブレード自体をワークに対して鉛直方向に押圧してクラックを与えて切り進めるスクライビングなどの場合は、

明らかに脆性破壊を利用した加工となるため、後述する本発明のような延性モードの加工を行うことはできない。

[0029] スクライビングでは、ワークとブレードは滑らないように相対速度は0にする。ブレード構成として、スクライビングの場合、材料に垂直応力を与えるためブレードはフリーで回転することが必要となり、ブレード内の軸受ないしは軸部分を鉛直下方に押圧する形式となる。

[0030] ブレードをワークに沿ってスライドさせるためのブレード保持部分と、ワークと接して回転するブレード部分は、完全固定してはならない。ブレードに対してまったく遊びが存在せず、モータに直結していることはない。

[0031] こうしたことから、従来のスクライビングのブレード構成では、軸と軸受け部分の間の摺動部分が重要となる。

[0032] ちなみに、本発明はスクライビングではないため、モータとブレードは直結した構造となっており、軸と軸受けという関係は存在せず、嵌め合いで精度よく同軸構成で組み込んでいる。

[0033] そのためには、ブレード端面とモータ直結のフランジ端面との面合わせが重要になる。すなわち、ダイシングのブレードにはフランジ端面と合わせるための基準平面が必要となる。

[0034] (ワークに対して一定切込み深さを維持してカッティングすること)

また、切断するに従って除去体積が大きく変化して、1つの切れ刃が除去する体積自体が変化し、その結果、1つの切れ刃が除去する上での所定の臨界切り込み深さを制御できず、結果的に、切断加工中に切断抵抗が大きく変化して、そのアンバランスさからワーク材料内にクラックを及ぼす場合もある。こうした場合も、脆性破壊を誘発する原因となり、延性モードの加工を実現することはできない。すなわち、ワークに対して微視的に一つの切れ刃が一定の切込み深さを維持するために、ワークに対しても一定の切込みを与えて加工中は定常状態を確保する必要がある。

[0035] また、ワークが平板状試料ではない場合は、ワークを固定することがうまくできない場合がある。例えば、円柱状のワークをそのまま切断する場合、

ワークが動いてしまい、切込みが一定でないばかりか、ワークが切断により振動することもある。

[0036] 次に一方で、最近はCu/Low-k材料（銅材と低誘電率の材料が混在した材料）のように延性材料と脆性材料が混在した材料もある。Low-k材料のように脆性材料においては、脆性破壊を起こさないように材料の変形域内でワークを加工しなければならない。その一方で、Cuは、延性材料であるために割れることはない。しかし、こうした材料は、割れない一方で非常に延びる傾向にある。こうした延性の高い材料は、ブレードにまとわりつくと共に、ブレードが抜ける部分で大きなバリを発生させる。また、円形ブレードでは上部にひげのようなバリを形成する場合も多い。

[0037] また、延性の高い材料では、カットしても材料がブレードに引きずられる場合、ブレードにまとわりつく問題がある。ブレードにまとわりつく、ブレードの目詰まりを早くしてしまい、ブレードの切れ刃部分がワーク材料で覆われてしまい、研削能力が著しく低下する問題が生じる。

[0038] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、脆性材料から構成されるワークに対しても、クラックや割れを発生させることなく、延性モードで安定して精度良く切断加工を行うことができ、一方、延性材料に対してはバリを発生させることがなく、ブレードに対する目詰まりの進行を抑えるダイヤモンドブレードを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0039] 前記目的を達成するために、本発明の一態様に係るダイヤモンドブレードは、回転スピンドルに装着され、前記回転スピンドルの回転軸周りに回転しながら平板状のワークを一定の切込み深さで相対的にスライドさせて切断ないしは溝入れ加工するダイヤモンドブレードであって、前記ダイヤモンドブレードは、ダイヤモンド砥粒を焼結して形成されたダイヤモンド焼結体によって円板状又はリング状に一体的に構成され、前記ダイヤモンドブレードの外周部には、前記ダイヤモンド焼結体の表面に形成された微小な切れ刃（微小切刃）が周方向に沿って連続して設けられている。

- [0040] 本発明の一態様において、前記ダイシングブレードの外周部は、前記ダイシングブレードの側面部よりも粗い凹凸面で構成されていることが好ましい。
- [0041] また、本発明の一態様において、前記ダイシングブレードの側面部は、前記ダイシングブレードの外周部の切れ刃配列と平行に形成された面からなり、前記ダイシングブレードを前記回転スピンドルに位置決めして固定するための基準面を有することが好ましい。なお、この基準面は、ダイシングブレードの回転軸ないしは回転スピンドルの回転軸を法線とする平面であることが好ましい。
- [0042] また、本発明の一態様において、前記ダイヤモンド焼結体は前記ダイヤモンド砥粒の含有量が80vol%（以下、単に「%」とも表示する。）以上であることが好ましい。
- [0043] 本発明では、ダイシングブレードがダイヤモンド焼結体で構成されているために、従来のダイヤモンドより軟らかい結合材で電着されたダイヤモンド電着による材料とは全く異なる。
- [0044] 従来の電着ダイヤモンドの場合、ダイヤモンドに比べて結合材が後退するためにダイヤモンドが突出し、結果的に平均的な水準線に対してダイヤモンド砥粒の突き出しが大きくなっていた。その結果、突き出し量が多い砥粒部分で過大な切込み深さとなり、材料固有の臨界切込み深さを越えてクラックを及ぼしてしまう。
- [0045] それに対して本発明の場合は、ダイシングブレードはほとんどダイヤモンドで構成されており、ダイヤモンドで囲まれた凹みの部分が切れ刃となる。そのため、回りが後退して突出した砥粒が形成されることはない。その結果、過大な切込み深さとなることはなく、凹部が切れ刃として作用する。平面の基準面がダイヤモンド面であって、そのところどころに凹み部分が存在するので、基本的には凹み部分が切れ刃として加工を行うことになる。
- [0046] このように、ダイヤモンド砥粒が全体の中で支配的に存在し、その間に拡散して残された焼結助剤が存在することで、形成される切れ刃は、ダイヤモ

ンド砥粒の中に形成された凹みの切れ刃になる。また、この際のダイヤモンド砥粒の含有率については、後に述べるが80%以上のダイヤモンド砥粒の含有量を有して初めて、その空き部分が切れ刃として作用する。含有率が減少すると、ダイヤモンド砥粒で形成される外縁に凹みの部分が形成されるという形式ではなく、凹凸部分がほとんど同じになるか、凸部が支配的になり、相対的に突出する部分が生まれ、ワークに致命的なクラックを及ぼさない一定以下の安定した切込み深さを与える切れ刃とならない。

[0047] また、本発明に係るダイシングブレードは焼結ダイヤモンドで構成されていることが大きい特徴となる。焼結ダイヤモンドは、あらかじめ粒径が揃えられたダイヤモンドを敷き詰め、微量の焼結助剤を添加して、高温高压化で製作される。焼結助剤は、ダイヤモンド砥粒内に拡散して、結果的にダイヤモンド同士を強固に結びつけることになる。

[0048] 電着ブレードや電鍍ブレードでは、ダイヤモンド同士が結びつくのではない。ダイヤモンドがちりばめられたものを周りの金属で固めることでダイヤモンド砥粒を固める方式である。

[0049] 焼結の場合は、焼結助剤がダイヤモンド内に拡散することでダイヤモンド粒子同士が強固に結びつく。ダイヤモンド粒子同士を結合することによってダイヤモンドの特性を生かすことができる。ダイヤモンドの剛性、硬度、熱伝導などにおいて、ダイヤモンド含有量が多ければ、ほぼダイヤモンドに近い物理物性を生かすことが可能になる。これはダイヤモンド同士を結合させることによる。

[0050] 電鍍ブレードなどの他の製法と比較して、高温高压化で焼成されて製作されることで、ダイヤモンド同士が結びつく。こうした焼結ダイヤモンドは、例えばGE (General Electric) 社のコンパックスダイヤモンド(商標)などがこれに相当する。コンパックスダイヤモンドは、単結晶で構成される微粒子同士を焼結助剤で結合させている。

[0051] ダイヤモンドの含有量でいえば、天然ダイヤモンドや人工ダイヤモンドなども当然ながらダイヤモンド含有量は多く、強固なダイヤモンドとして存在

する。こうした単結晶ダイヤモンドは、脱落する際にはへきかい面に沿って割れを起こしやすい。たとえば、すべてのブレードを単結晶ダイヤモンドにした場合、円板状又はリング状に成形したとしても、ある方向にへきかい面があるとへきかい面から二つに割れてしまうこともある。加工の進行によってダイヤモンドが摩耗する場合にも、へきかい面に沿った面方位に依存して摩耗が起こるという問題もある。

[0052] 単結晶ダイヤモンドの場合、ダイヤモンドが摩耗する過程で、どのような単位で摩耗させていくのか、材料内での摩耗過程を厳密に制御することはできない。

[0053] 一方、同様にDLC(ダイヤモンドライクカーボン)のようにCVDで気相成長して製作された部材も多結晶体とされるが、結晶粒界の大きさを精度よく制御することができない。そのため、粒界から摩耗する際にも、どの程度均一に摩耗させるか設定することはできず、加工によって摩耗し脱落する結晶単位や粒界の単位を厳密に制御することはできない。よって、時として大きく欠損したり、一部の欠陥に過剰な応力が入って大きく割れたりといったことが起こりうる。

[0054] それに対して、ダイヤモンド微粒子同士を高温高压化で焼成したPCD(Polycrystalline Diamond)においては、DLCなどと同様に多結晶ダイヤモンドとされるが、その結晶構成は全く異なる。微粒子同士を焼成したPCDは、ダイヤモンド微粒子自体は単結晶体であり、非常に硬度の高い完全な結晶体である。PCDは、その単結晶体同士を結合させるために、焼結助剤を混ぜて単結晶同士を結びつけている。その際、結合部分は完全に方位は揃わないため、全体としては単結晶ではなく多結晶体として結合する形になる。そのため、摩耗過程でも結晶方位依存性は存在せず、どの方向であっても一定の大きい強度を有する。

[0055] 以上から、PCDの場合は、すべての構成は、完全な単結晶ではないため多結晶ではあるが、大きさが揃った微小な単結晶が密に集合した状態での多結晶体である。

- [0056] こうした構成により加工における摩耗過程において、外周の切れ刃の状態および外周切れ刃のピッチ単位の制御の点で、精度よく初期の状態を維持することができる。ダイシングによって摩耗していく過程で、単結晶そのものが割れることよりも、単結晶と単結晶とをつなぐ部分が硬度や強度的にも相対的に弱いので、その粒界部分から結合がきれて脱落していく。
- [0057] P C Dにおいては、切れ刃を形成する上で、単結晶の間にある結晶粒界に沿って摩耗していくので、自然に等間隔な切れ刃が設定されることになる。こうしてできた凹凸はすべて切れ刃になる。また、等間隔に存在する自然な凹凸の切れ刃の間にも、粒子の粒界による凹凸の切れ刃も存在し、これらすべてがダイヤモンドで構成されるため切れ刃として存在する。
- [0058] このように本発明に係るダイシングブレードがP C Dによる構成であることと、円板状又はリング状の形状であることも相まって、特に効果を発揮する。円板状又はリング状の外周に切れ刃が存在し、それが加工点に順次作用する形で加工点に到達する。切れ刃は、加工中に絶えず加工点にあるわけではなく、回転しながら極部分円弧だけで加工に寄与するため、加工と冷却が繰り返されるため先端部が過剰に過熱されることは無く、その結果、ダイヤモンドが熱化学的に反応することなくなり安定して加工に寄与することになる。
- [0059] 次に、等間隔な切れ刃の形成は、後に述べる本発明の課題である延性モードダイシングには不可欠な要素なる。すなわち、延性モードダイシングでは、後にも述べるように一つの切れ刃が材料に与える切込み深さが重要となり、また一つの切れ刃がワークに与える切込み深さは、「ブレード外周部の切れ刃間隔」が、必要要素にかかわってくる。この点の一つの刃がワークに与える臨界切込み深さと切れ刃間隔の関係は後に記すが、一つの刃の臨界切込み深さを規定するためには、安定した切れ刃間隔の設定が必須となる。この切れ刃間隔を精度よく設定する上で、粒径が揃った単結晶砥粒同士を焼結させて結合したP C Dが好適となるのである。
- [0060] 尚、補足的として、本発明の「等間隔な切れ刃の形成」において、本発明

におけるPCD素材におけるダイヤモンド砥粒配置と、一般的な他の事例におけるダイヤモンド砥粒の配置を行なった従来ブレードとの違いを述べる。

[0061] 電鍍ブレードにおいては、砥粒の含有率は少ない。特開2010-005778号公報などにおいても、砥粒層の中に占めるダイヤモンド砥粒の含有率は10%程度である。よって、砥粒含有率が70%を超えるような設定はまずない。そのため、各砥粒は疎らに存在する。ある程度均一に配置するが、一つの砥粒の十分な突き出しを確保するためには砥粒間隔も大きい。

[0062] 特許3308246号では、希土類磁石切断用のダイシングブレードが記載され、ダイヤモンド及び／又はCBN(Cubic Boron Nitride)の複合焼結体によって形成されたとしている。ダイヤモンドまたはCBNの含有量は、1～70VOL%としており、より好ましくは5～50%としている。ダイヤモンド含有量が70%を超えると、反り・曲がりの点で問題ないが、衝撃に対して弱くなり破損しやすいとしている。

[0063] 日本特許4714453号においても、セラミックス、金属、ガラスなどの複合材料に対して切断、溝入れ加工する工具を開示している。ダイヤモンドを焼成して作製する工具において、砥粒は焼成対中に3.5～60VOL%含有すると記載されている。ここでの技術課題はボンド材が高弾性率、高硬度であっても砥粒の保持力が高いことであり、記載の構成とすれば常に十分な砥粒の突き出しが維持できるとしている。「砥粒の突き出し」を十分に保つことで自生発刃を効果的に維持して高速度加工を可能とすることが記載されている。

[0064] このように従来事例を考慮すると、電鍍ブレードにおいても、ダイヤモンド焼結体のブレードにおいても、砥粒の隙間を敷き詰めるということはしていない。また、敷き詰められた砥粒の隙間を切れ刃にするという考え方も存在しない。本発明において、延性モードで加工するためには、後に数式でも述べるが、一つの切れ刃が与える臨界切込み深さが重要となり、その切込み深さを一定以下に保つためには、切れ刃の間隔が重要になる。また、切れ刃も大きく孤立して突き出す砥粒を作るのではなく、ダイヤモンドを敷き詰め

て、敷き詰めた凹みの部分を利用して等間隔の切れ刃を形成する。

[0065] 図21A及び21Bにダイヤモンド砥粒含有率に応じた砥粒間隔の様子を模式的に示す。一定した砥粒間隔で過剰な切込みを与えない切れ刃を形成するためには、ダイヤモンドを密接に敷き詰めた上、一部の砥粒が連続的に除去されて荒らされていくことが必要となる。そのためには、敷き詰めるために少なくとも70%以上のダイヤモンド砥粒含有率は最低でも必要となる。その上で一部のダイヤモンドを除去していかなければならない。80%以上のダイヤモンド砥粒の含有量で焼結すれば、図21Aのように少なくとも空間的に隙間なくダイヤモンドが敷き詰められた状態を形成でき、そこから、砥粒自体を除去しながら荒らすことで、自然に等間隔の切れ刃を有するブレードを形成できるようになる。また、そうしてできた凹凸はすべて切れ刃として作用する。

[0066] 以上から、等間隔の切れ刃を形成するためには、高密度に砥粒を敷き詰めた上で高温高压化で焼成された材料で構成する必要がある。

[0067] なお、図21Bのようにダイヤモンド砥粒の含有率が70%以下の場合、等間隔の切れ刃を恣意的に形成することは難しくなる。これは、含有率が70%以下では、ダイヤモンド砥粒がリッチな部分とそうでない部分がどうしても生まれてしまい、ダイヤモンド砥粒がまばらな部分には、その中に孤立した砥粒の存在によって、切れ刃の間隔が大きくなってしまう可能性があるからである。切れ刃の間隔が大きい場合、または、まばらな部分があって、例えばダイヤモンド砥粒が一つだけ大きく突き出している場合は、厳密な突き出し量を設定できず、ワークに対して致命的なクラックを及ぼす切込み深さを与えることになる。

[0068] 先に示された日本特許4714453号では、十分な砥粒の突き出しの下で、高速度加工を行う課題を解決するため、ダイヤモンド砥粒の含有率が70%以下とすることが好ましい。しかし、本発明では、延性モードでクラックフリーのダイシングを行うことが課題である。そのため、砥粒の間の凹みの部分を切れ刃として作用させるとともに、切れ刃の間隔を一定間隔に保つために、

ダイヤモンド含有率は最低でも70%以上ある方がよく、理想的には80%以上あることが望ましい。

[0069] また、この場合のブレードは単にカッターのように鋭い刃で切断するものではない。すなわち先端を鋭利な刃で製作し、挟みの様な原理でカットするものではない。削りながらワークを除去して溝を入れていく必要がある。継続的に切り屑を排出しながら次の刃を材料内に切込み、それを連続的に行う必要がある。よって、単に先端は鋭利であればよいのではなく、微小な切れ刃が必要となる。

[0070] こうした密にダイヤモンドが詰まった構成の場合、切れ刃部分は粒界部分のみならず、外周部分の自然な粗さによっても一定の切れ刃間隔が形成される。こうした切れ刃間隔は後に具体的な間隔を持つ事例を示すが、ダイヤモンド粒径と切れ刃間隔とは、全く異なるサイズになることもある。

[0071] こうしたダイヤモンド粒径と異なる切れ刃間隔を持つ場合では、通常の電鑄式のブレードとは切れ刃の考え方が異なってくる。すなわち、従来ブレードではダイヤモンドは結合材に埋め込まれて存在しているため、個々のダイヤモンド同士は独立して存在することになり、従って、切れ刃の大きさは、ダイヤモンド粒径と同一になる。すなわち、一つのダイヤモンドが一つの切れ刃を形成する。こうした構成では自生発刃の単位は、一つ一つのダイヤモンドであり、すなわち一つ一つの切れ刃に相当する。切れ刃の単位と自生発刃の単位は変わらない。例えば、ある程度ワークへの引っ掛かりを必要とする場合、切込みが必要となるため切れ刃も大きくする必要があるが、その分自生発刃は砥粒そのものが脱落するため自生発刃する単位も大きくなってしまい、その分寿命が極めて短くなる。

[0072] 以上から、従来の電鑄ブレードなどにおいては砥粒の大きさと切れ刃の大きさが同じになることが切れ刃の状態を保つための制約になってしまう。

[0073] それに対して、本発明の焼結ダイヤモンドを利用したブレードの場合、小さいダイヤモンド同士が結合している。ダイヤモンド同士を結合して構成される焼結ダイヤモンドのブレードの外周部にはダイヤモンド粒子よりも大き

い切れ刃が形成される。切れ刃の単位と比較して、焼結体を構成する一つ一つの砥粒であるダイヤモンドの粒径は 1μ 程度と非常に小さい。

[0074] 本発明に係るブレードを使用する場合、加工に伴って一つ一つのダイヤモンドが脱落するが、切れ刃全体が脱落することはない。また、脱落する際も電鍍ブレードのように一つの切れ刃を構成する砥粒が抜け落ちるのではなく、ダイヤモンド同士が結合している部分の中で、一部のダイヤモンドが欠落して落ちることになる。

[0075] その結果、自生発刃する過程において、本発明の場合、切れ刃の大きさよりも小さい領域でダイヤモンドが摩滅によって剥がれ落ち、切れ刃自体の大きさは大きく変化することはない。一つの切れ刃内で、極微小に部分的に剥がれ落ちながらダイシングが進行する形となる。その結果、切れ刃の大きさ自体が変化することはない。その一方で、切れ刃全体が摩滅で切れ味が悪くなっていくこともない。小さく部分的に自生しながら、一つの切れ刃あたりの最大切入深さは一定以内に保たれる。結果として、延性モード加工を持続させることができ、安定した切れ味を両立することが可能となるのである。

[0076] また、別の捉え方をするならば、従来の結合材、例えばニッケルなどで電着して砥粒を固めたドレッサーの場合、一つの砥粒が脱落すると、その脱落した部分は穴になるため、切れ刃はなくなり、その部分に相当する加工性はなくなってしまう。そのため、加工性を維持するためには、次の切れ刃を突き出しやすくするために、結合材を速く摩耗させて次の砥粒が突き出すように設計しないといけない。

[0077] それに対して、本発明の構成では、ダイヤモンドが欠落した部分は、小さい凹みとなり、その凹み部分も別のダイヤモンド砥粒に囲まれた領域として大きい切れ刃内に存在する微小切れ刃として存在し、ワークに食い込むきっかけとなる微小粗さを構成する。すなわち、ダイヤモンド欠落部分がそのまま次の切れ刃になるという点で全く従来構成とは自生発刃の考え方が異なるのである。

[0078] また、本発明の一態様において、前記ダイシングブレードの少なくともワークに切り込む外周部分に、円周方向に溝を形成することが好ましい。

[0079] また、本発明の一態様において、前記ダイシングブレードは、切断対象のワーク厚より、ブレード厚が小さいことが好ましい。

[0080] また、本発明の一態様において、前記ダイヤモンド焼結体は、軟質金属の焼結助剤を用いて前記ダイヤモンド砥粒を焼結したものであることが好ましい。

[0081] 軟質金属を焼結助剤にすることで、ブレードが導電性になる。ブレードが導電性ではない場合、ブレード外周端部の外径を正確に見積もることは難しく、さらにスピンドルに取り付けることによる取り付け誤差などを考慮すると、ワークに対するブレード先端位置を正確に見積もることは難しい。

[0082] そこで、ブレードは導電性のブレードを使用すると共に、導電性のブレードと基準となる平面状基板をチャックするチャック板を導通を取っておき、導電性ブレードがチャック板に接触した時点で導通することでブレードとチャック板の相対高さを見つけることができる。

[0083] また、本発明の一態様において、前記凹部は、前記ダイヤモンド焼結体を摩耗ないしはドレッシング処理することによって形成された凹部によって構成されることが好ましい。

[0084] また、本発明の一態様において、前記ダイヤモンド砥粒の平均粒子径は $25\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0085] ここで従来引例として日本特許3308246号の焼結ダイヤモンドブレードに関する希土類磁石切断用ダイヤモンドブレードの引用文献では、ダイヤモンド含有率は1～70VOL%で、ダイヤモンドの平均粒径は1～100 μm であることが望ましいとしている。また、実施例1においては、ダイヤモンドの平均粒径は150 μm としている。これは、曲がり反りが少なくて芯金の耐摩耗性を向上させることを目的としている。

[0086] また、同じく日本特許3892204号のブレードでは、ダイヤモンドの粒子径は、平均粒径が10～100 μm で有効であるが、より望ましくは40～10

0 μm の平均粒径としている。

[0087] 特開2003-326466では、セラミックスやガラス、樹脂や金属をダイシングするブレードであるが、平均粒径が0.1 μm ～300 μm がよいとしている。

[0088] このように、従来のブレードでは、比較的大きいサイズのダイヤモンド粒径が適当としている。

[0089] 本発明においては、ダイヤモンド砥粒の平均粒径は、ダイヤモンド含有量とも相まって、25 μm 以下である必要がある。

[0090] 25 μm 以上の場合、ダイヤモンド同士が接触する面積割合は格段に減り、その分一部は焼結することで結びつくものの大多数部分は焼結助剤がなく、空間となってしまう。

[0091] ブレードの厚み方向は、最低でも厚み方向に微粒子が2個から3個分の存在する幅がないと、各砥粒同士を相互に結び付けた強固なブレード自体を形成することはできない。25 μm 以上の微粒子で構成することになると、厚み方向は最低でも50 μm 以上は必要となる。しかし、厚み方向で50 μm より分厚いブレードは、存在する切れ刃の直線性から、一つの刃が切り込む最大切入深さは、例えばSiCなどにおいては0.1 μm のDc値より大きくなってしまう。よって、微小に延性モードにならない可能性があり、理想的な延性モードの加工は難しくなり、原理的に脆性破壊を起こしてしまう確率が非常に大きくなる。この点は後ほど詳細に説明する。

[0092] よって、ダイヤモンドの粒径は25 μm 以下とすることが望ましい。ただし、最小粒径については、現状0.3～0.5 μm 程度までの微粒ダイヤモンドについて試しているが、それ以下の超微粒ダイヤモンドについては不明である。

[0093] また、本発明の一態様において、前記ダイシングブレードの外周部は、前記外周部の内側部分よりも薄く構成されていることが好ましく、前記ダイシングブレードの外周部の厚さは50 μm 以下であることがより好ましい。

[0094] 具体的には、ダイシングブレードの外周部とは、ワーク内に入り込む部分

の幅をいう。ワークに入り込む部分は、延性モードダイシングの場合、ワーク厚みより、ブレード幅が大きいとワークを割ってしまうことがある。これについては後ほど詳述する。

[0095] また、本発明の一態様において、前記ダイシングブレードの片側面に基準となる平面を有することが好ましい。

発明の効果

[0096] 本発明によれば、ブレードは微小なダイヤモンド粒子を焼結することによって形成されている。そのダイヤモンド焼結体を使用して一体で構成されたブレードを円板状又はリング状に成形し、外周部に切れ刃を形成している。

[0097] まず、ダイヤモンドの焼結体であるPCDは、熱伝導率はNiなどと異なり、きわめてよい熱伝導率を有する。ブレードはワークに対して高速に回転して加工するため、加工点はブレード外周部で移り変わる。ブレード外周部が全周にわたって加工に寄与するが、多少ブレードが偏芯していて一部完全に加工に寄与していない場合でも、ダイヤモンドの大きい熱伝導によってすぐさま外周部分が均一な温度分布になる。

[0098] また、それと同時にブレード全周に熱が行き渡り、ブレード内で大きい温度勾配が生じることはない。さらに、ブレードは一体のPCDで構成され（以下、PCDで一体に構成されたブレードを「PCDブレード」とも称する。）、円板形状であるため温度は周方向ですぐさま一様になり、全体が同一温度になる。

[0099] また、円板形状である場合、全体が同一温度下で熱膨張により熱応力が作用した際であっても、円対称の温度分布である場合はポアソン比の影響によるせん断的な応力は、円板形状の断面内で発生しないため、安定して平面形状を保つことが可能となる。

[0100] さらに、PCDブレードはフランジに同軸状に当接させて支えられる。その支えられているフランジは、PCDブレードと同軸であるとともに、PCDブレードと同軸で、円状ないしはリング状の当接面に接触させて取り付けられている。フランジは、あらかじめスピンドル回転軸方向と垂直になるように調整さ

れており、そのフランジにPCDブレードの基準面を密着させることで、PCDブレードがスピンドル回転方向に対して垂直に回転し、振れをなくすることができる。

[0101] また、接触したフランジ面からは、少なからず熱が逃げる。しかし、その熱が逃げるフランジエリアも、PCDブレード外周と同軸で、円状ないしはリング状の設置面を有することで、外周の加工部とリング状の設置面との間の温度分布は、円対称であることに変わらない。

[0102] したがって、円対称の温度分布であれば、ポアソン比の影響によって、面内での半径方向におけるせん断的な応力は発生せず、外周の切れ刃は依然同一平面内に維持される。よって、切れ刃は先と同様にワークに対して一直線上に作用することになる。

[0103] このように、素材がPCDのように熱伝導性の良好な素材で製作されていることと、その上でブレードが円板形状をしていること、さらには、そのブレードを支えているフランジの当接面は、ブレード外周と同軸の円状ないしはリング状であること、の要素が統合された結果、加工中の外周が高温状態になった際でも、円板形状の平面性は保たれ、結果として、ブレード外周に形成した切れ刃は、ブレードが回転することに伴ってワークに対して一直線状に作用する。一直線上に切れ刃が作用することは、切れ刃間隔の連続性から延性モードダイシングを可能とすることになる。

[0104] さらに、同一切れ刃が絶えずワークに接するのではなく、ブレード円板が回転することによって、切れ刃が順次入れ替わることによって、絶えず高熱環境にあるわけではなく、加工寄与と冷却とを交互に繰り返すため、ダイヤモンドが熱化学的に反応して摩耗することはない。

[0105] また、本発明に係るダイシングブレードよれば、ダイヤモンド砥粒の含有量が80%以上からなるダイヤモンド焼結体によって円板状又はリング状に一体的に構成されるので、従来の電鑄ブレードに比べて、ワークに対するダイシングブレードの切り込み量を高精度に制御することが可能となる。その結果、脆性材料から構成されるワークに対しても、ダイシングブレードの切り

込み量をワークの臨界切り込み量以下に設定した状態で切り込みを行うことにより、クラックや割れを発生させることなく、延性モードで安定して精度良く切断加工を行うことができる。

図面の簡単な説明

- [0106] [図1]ダイシング装置の外観を示す斜視図
- [図2]ダイシングブレードの正面図
- [図3]図2のA-A断面を示す側断面図
- [図4A]切刃部の構成の一例を示した拡大断面図
- [図4B]切刃部の構成の他の一例を示した拡大断面図
- [図4C]切刃部の構成の更なる他の一例を示した拡大断面図
- [図5]ダイヤモンド焼結体の表面付近の様子を模式的に示した概略図
- [図6]ダイヤモンド砥粒の平均粒子径が $50\mu\text{m}$ のブレードにより溝入れ加工を行った場合のワーク表面の様子を示し、クラックが発生している事例を示した図
- [図7]ダイシングブレードの一形態を示した構成図
- [図8]ダイシングブレードがスピンドルに取り付けられた状態を示した断面図
- [図9A]比較実験1（シリコン溝入れ加工）の結果を示した図（本実施形態）
- [図9B]比較実験1（シリコン溝入れ加工）の結果を示した図（従来技術）
- [図10A]比較実験2（サファイア溝入れ加工）の結果を示した図（本実施形態）
- [図10B]比較実験2（サファイア溝入れ加工）の結果を示した図（従来技術）
- [図11A]比較実験3の結果を示した図（ブレード厚 $20\mu\text{m}$ の場合）
- [図11B]比較実験3の結果を示した図（ブレード厚 $50\mu\text{m}$ の場合）
- [図11C]比較実験3の結果を示した図（ブレード厚 $70\mu\text{m}$ の場合）
- [図12A]比較実験4の結果を示した図（ワーク表面）
- [図12B]比較実験4の結果を示した図（ワーク断面）
- [図13A]比較実験5の結果を示した図（ワーク表面）
- [図13B]比較実験5の結果を示した図（ワーク断面）

[図14A]比較実験6の結果を示した図（本実施形態）

[図14B]比較実験6の結果を示した図（従来技術）

[図15]ブレードを平行移動させて加工する際の最大切込み深さを幾何学的に計算する場合の説明図

[図16A]ブレード外周端を粗さ計で測定した結果を示した図

[図16B]ブレード外周端を粗さ計で測定した結果を示した図

[図17A]ブレード該周端の表面状態を示した図（ブレード先端側面）

[図17B]ブレード該周端の表面状態を示した図（ブレード先端）

[図18]ブレード先端がワーク材料に対して切り込む様子を示した模式図

[図19A]ブレードの厚みに関する説明に使用した説明図

[図19B]ブレードの厚みに関する説明に使用した説明図（ブレードの厚みがワークの厚みよりも大きい場合）

[図19C]ブレードの厚みに関する説明に使用した説明図（ブレードの厚みがワークの厚みよりも小さい場合）

[図20]電鍍ブレードの表面の様子を示した概略図

[図21A]ダイヤモンド砥粒含有率に応じた砥粒間隔の様子を示した模式図（砥粒含有率が80%以上の場合）

[図21B]ダイヤモンド砥粒含有率に応じた砥粒間隔の様子を示した模式図（砥粒含有率が70%以下の場合）

[図22]ファイバーレーザで切れ刃を形成した場合のブレード外周端の断面図（100 μ m間隔で50 μ m孔）

[図23A]従来の砥石のドレッシングの様子を示した模式図

[図23B]本発明に係るブレードのドレッシングの様子を示す模式図

[図24]従来の砥石にレーザ光を照射したときの様子を示した図

[図25]本発明に係るブレードにレーザ光を照射したときの様子を示した図

[図26]ブレード法線方向からレーザ光を照射することにより切れ刃を形成する方法を示した図

[図27]レーザ光による切れ刃付けと逃げ面磨耗の状態を示した図

[図28]ブレード面に平行な方向からレーザ光を照射することにより切れ刃を形成する方法を示した図

[図29]レーザ光によってブレード外周端部に掬い面と逃げ面が形成される様子を示した図

[図30]ブレード接線方向からレーザ光を照射することにより切れ刃付けを行った結果を示す図

[図31]ダイヤモンド焼結体（平板試料）に対してシリンドリカルレンズを介してレーザ光を照射した結果を示した図

[図32]シリンドリカルレンズを用いてブレード外周端部に切れ刃が形成された様子を示した図

[図33]平面砥石にレーザ光を照射することにより掬い面と逃げ面が形成される様子を示した図

発明を実施するための形態

[0107] 以下、添付図面に従って本発明に係るダイシングブレードの好ましい実施の形態について説明する。

[0108] 図1は、ダイシング装置の外観を示す斜視図である。図1に示すように、ダイシング装置10は、複数のワークWが収納されたカセットを外部装置との間で受渡すロードポート12と、吸着部14を有しワークWを装置各部に搬送する搬送手段16と、ワークWの表面を撮像する撮像手段18と、加工部20と、加工後のワークWを洗浄し、乾燥させるスピナ22、及び装置各部の動作を制御するコントローラ24等とから構成されている。

[0109] 加工部20には、2本対向して配置され、先端にダイシングブレード26が取り付けられた高周波モータ内臓型のエアベアリング式スピンドル28（回転スピンドル）が設けられており、所定の回転速度で高速回転するとともに、互いに独立して図のY方向のインデックス送りとZ方向の切り込み送りとなされる。また、ワークWを吸着載置するワークテーブル30がZ方向の軸心を中心に回転可能に構成されているとともに、Xテーブル32の移動によって図のX方向に研削送りされるように構成されている。

- [0110] ワークテーブル30は、負圧を利用してワークWを真空吸着するポーラスチャック（多孔質体）を備えて構成される。ワークテーブル30に載置されたワークWは、ポーラスチャック（不図示）に真空吸着された状態で保持固定される。これにより、平板状試料であるワークWは、ポーラスチャックにより平面矯正された状態で全面一様に吸着される。このため、ダイシング加工時にワークWに対してせん断応力が作用しても、ワークWに位置ずれが生じることがない。
- [0111] こうした、ワーク全体を真空吸着するワーク保持方式は、ブレードがワークに対して絶えず一定の切込み深さを与えることにつながる。
- [0112] 例えば、ワークが平板状に矯正されないような試料である場合などでは、ワーク表面の基準面を定義することが難しく、そのため、その基準面からどの程度のブレードの切込み深さを設定するかが難しくなる。ワークに対する一定のブレードの切込み深さが設定できない場合、一つの切れ刃が絶えず安定した切込みを与える臨界切込み深さも設定できなくなり、安定した延性モードダイシングは難しい。
- [0113] ワークが平板状に矯正されておればワーク表面の基準面を定義でき、基準面からのブレード切込み深さを設定することができるため、一つの切れ刃あたりの臨界切込み深さが設定でき、安定した延性モードダイシングが可能となる。
- [0114] 尚、真空吸着ではなくても、硬質基板上に全面接着する形であっても構わない。全面強固に接着された面を基準として、薄い基板であっても表面を規定することができれば、安定した延性モードダイシングは可能となる。
- [0115] 図2は、ダイシングブレードの正面図である。図3は、図2のA-A断面を示す側断面図である。
- [0116] 図2及び図3に示すように、本実施形態のダイシングブレード（以下、単に「ブレード」ともいう。）26はリング型のブレードであり、その中央部にはダイシング装置10のスピンドル28に装着するための装着孔38が穿設されている。

[0117] なお、ブレード26は、焼結ダイヤモンドで構成され、円板状かリング状であって、同心円状の構成であれば、温度分布は軸対称となる。同一素材で軸対称の温度分布であれば、半径方向においてポアソン比に伴うせん断応力は作用することはない。そのため、外周端部は理想的な円形を保ち、また、外周端は同一面上を維持することになるため、回転によってワークに一直線上に作用する。

[0118] ブレード26は、ダイヤモンド砥粒を焼結して形成されたダイヤモンド焼結体（PCD）によって円板状に一体的に構成される。ブレード26は円板状に限らずリング状に構成されていてもよい。このダイヤモンド焼結体はダイヤモンド砥粒の含有量（ダイヤモンド含有量）が80%以上であり、各ダイヤモンド砥粒は焼結助剤（例えばコバルト等）により互いに結合されている。

[0119] ブレード26の外周部は、ワークWに対して切り込みされる部分であり、その内側部分よりも薄刃状に形成された切刃部40が設けられている。この切刃部40には、ダイヤモンド焼結体の表面に形成された微小な凹みからなる切れ刃（微小切刃）がブレード外周端部（外周縁部）26aの周方向に沿って微小ピッチ（例えば10 μ m）で連続的に形成されている。

[0120] 本実施形態において、切刃部40の厚さ（刃厚）は少なくともワークWの厚さより薄く構成される。例えば100 μ mのワークWに対して切断加工を行う場合には、切刃部40の厚さは50 μ m以下が好ましく、より好ましくは30 μ m以下、さらに好ましくは10 μ m以下に構成される。

[0121] 切刃部40の断面形状としては、外側（先端側）に向って厚みが徐々に薄くなるテーパ状に形成されていてもよいし、均一な厚みを有するストレート状に形成されていてもよい。

[0122] 図4Aから4Cは、切刃部40の構成例を示した拡大断面図である。なお、図4Aから4Cは、図3のB部を拡大した部分に相当する。

[0123] 図4Aに示した切刃部40Aは、片側の側面部のみがテーパ状に斜めに加工された片側テーパタイプ（片Vタイプ）のものである。この切刃部40A

は、例えば、最も薄く形成される外周端部の厚み T_1 が $10\mu\text{m}$ 、片側の側面部がテーパ状に加工された部分のテーパ角 θ_1 は20度となっている。なお、ブレード26の内側部分（後述する当接領域36を除く）の厚みは1mmである（図4B及び4Cにおいても同様である。）。

[0124] 図4Bに示した切刃部40Bは、両側の側面部がテーパ状に斜めに加工された両側テーパタイプ（両Vタイプ）のものである。この切刃部40Bは、例えば、最も薄く形成される外周端部の厚み T_2 が $10\mu\text{m}$ であり、両側の側面部がテーパ状に加工された部分のテーパ角 θ_2 は15度となっている。

[0125] 図4Cに示した切刃部40Cは、両側の側面部がストレート状に平行に加工されたストレートタイプ（平行タイプ）のものである。この切刃部40Cは、例えば、最も薄くストレート状に加工された先端部の厚み T_3 が $50\mu\text{m}$ となっている。なお、ストレート状の先端部の内側部分（中央側部分）は片側の側面部がテーパ状に加工されており、そのテーパ角 θ_3 は20度となっている。

[0126] 図5は、ダイヤモンド焼結体の表面付近の様子を模式的に示した概略図である。図5に示すように、焼結助剤86によりダイヤモンド焼結体80は高密度にダイヤモンド砥粒（ダイヤモンド粒子）82同士が相互に結合した状態となっている。このダイヤモンド焼結体80の表面には微小な凹み（凹部）からなる切れ刃（微小切刃）84が形成される。この凹みは、ダイヤモンド焼結体80を機械的に加工することによってコバルトなどの焼結助剤86が選択的に摩耗することによって形成されるものである。ダイヤモンド焼結体80は砥粒密度が高いため、焼結助剤86が摩耗したところに形成される凹みは微小なポケット状になり、電鑄ブレードのように鋭利なダイヤモンド砥粒の突き出しはない（図20参照）。このため、ダイヤモンド焼結体80の表面に形成される凹みは、ワークWを切断加工する際に生じる切り屑を搬送するポケットとして機能するとともに、ワークWに対して切り込みを与える切れ刃84として機能する。これにより、切り屑の排出性が向上するとともに、ワークWに対するブレード26の切り込み深さを高精度に制御することが可能となる。

[0127] ここで、本実施形態のブレード26について更に詳しく説明する。

[0128] 本実施形態のブレード26は、図5に示したように、焼結助剤86を用いてダイヤモンド砥粒82を焼結して形成されたダイヤモンド焼結体80により一体的に構成される。このため、ダイヤモンド焼結体80の隙間にはごくわずかに焼結助剤86が存在するが、焼結助剤はダイヤモンド砥粒自体の中にも拡散しており、実際はダイヤモンド同士が強固に結合する形態となる。この焼結助剤86はコバルトやニッケル等が使用され、ダイヤモンドと比較すると硬度的に低く、ダイヤモンド同士が結合するとはいえ、焼結助剤がリッチな部分は単結晶ダイヤモンドと比較すると少し強度的に弱くなる。こうした部分がワークWを加工する際に摩耗して目減りし、ダイヤモンド焼結体80の表面（基準平面）に対して適度な凹みとなる。また、ダイヤモンド焼結体80を摩耗処理加工することで、ダイヤモンド焼結体80の表面には焼結助剤が除去された凹みが形成される。また、GC（グリーンカーボランダム）の目立て用砥石で目立てを行うか、場合によっては硬い脆性材料である超硬合金を切断することで、焼結助剤のほかに一部のダイヤモンドが欠落して、ダイヤモンド焼結体の外周部に適度な粗さが形成される。この外周部の粗さを、ダイヤモンド粒径よりも大きくすることで、一つの切れ刃内で微小なダイヤモンド砥粒の欠落が起こり、切れ刃の摩滅が起こりにくくなる。

[0129] ダイヤモンド焼結体80の表面に形成された凹みは延性モードでの加工にとって有利に作用する。すなわち、この凹みは、前述したように、ワークWを切断加工する際に生じる切り屑を排出するためのポケットとして機能するとともに、ワークWに対して切り込みを与える切れ刃84として機能する。このため、ワークWへの切り込み量は自ずと所定範囲に制限され、致命的な切り込みを与えることはない。

[0130] また、本実施形態のブレード26によれば、ダイヤモンド焼結体80で一体的に構成されるので、ダイヤモンド焼結体80の表面に形成される凹みの数やピッチ、その幅についても恣意的に調整することが可能となる。

[0131] すなわち、本実施形態のブレード26を構成するダイヤモンド焼結体80

は焼結助剤 86 を用いてダイヤモンド砥粒 82 が相互に結合されたものである。このため、相互に結合しているダイヤモンド砥粒 82 の間には焼結助剤 86 があり粒界が存在する。この粒界部分が凹みに相当するため、ダイヤモンド砥粒 82 の粒径（平均粒子径）を設定することで、自ずと凹みのピッチ、個数が定まることになる。また、軟質金属を使用した焼結助剤 86 を使用することで選択的な凹み加工ができるようになり、焼結助剤 86 を選択的に摩耗させることも可能となる。また、その粗さについても、ブレード 26 を回転させながら、摩耗処理やドレッシング処理を設定することにより、その粗さを調整することが可能となる。すなわち、ダイヤモンド砥粒 82 の粒径の選択に伴って形成される粒界のピッチによって、ダイヤモンド焼結体 80 の表面に形成される凹みからなる切れ刃 84 のピッチや幅、深さ、個数を調整することが可能となる。こうした切れ刃 84 のピッチや幅、深さ、個数は延性モードの加工を行う上で重要な役割を果たす。

[0132] このように本実施形態によれば、ダイヤモンド砥粒 82 の粒径の選択と摩耗処理、ドレッシング処理という制御性の良いパラメータを適宜調整することによって、精度よく結晶の粒界に沿って所望の切れ刃 84 の間隔を達成できる。また、ブレード 26 の外周部には、ダイヤモンド焼結体 80 の表面に形成された凹みからなる切れ刃 84 が周方向に沿って一直線状に並べることが可能となる。

[0133] ここで、比較として、ダイヤモンド砥粒を焼結したホイールに関し、類似するものとしてスクライピングに使用されるホイールがあるが、スクライピングホイールとの混同を避けるため、あえて違いに触れておく。

[0134] スクライピングに使用されるホイールは、例えば、特開 2012-030992 号公報などに示される。上記文献には、焼結ダイヤモンドで形成され、円環状の刃が外周部に刃先を有したホイールが開示されている。スクライピングと本発明のダイシングは、両者とも材料を分断する技術で同じ部類にあると捉えられがちだが、その加工原理や、その加工原理に伴って具体構成は全く異なる。

[0135] まず、上記文献と本発明との決定的な違いとして、上記文献のスクライビングとは、上記文献段落〔0020〕に記載されるように、脆性材料で形成された基板の表面にスクライビングライン(縦割れ)を入れる装置であり、スクライビングにより垂直方向に伸びる垂直クラックが発生する(上記文献段落〔0022〕参照)。このクラックを利用して切断する。

[0136] それに対して、本発明は、クラックやチッピングを発生させずに材料をせん断的に除去する加工方法として原理が全く異なる。具体的には、ブレード自体が高速回転し、ワーク面に対してほとんど水平方向に作用してワークを除去していくため、ワークの垂直方向へは応力はかからない。また、その切込み深さは材料の変形域内にとどめ、クラックが発生しない切込み深さで加工するため、結果として加工後はクラックのない面が得られる。以上から、加工原理が全く異なる。

[0137] 以上の加工原理の違いに照らして、ブレードの仕様における具体的な違いを以下に列挙する。

[0138] ・(刃先頂角の点)

スクライビングは、材料内部にクラックを発生させるだけであるため、材料内にほとんど入り込まない。刃先の稜線のみを作用させるため、刃先角は鈍角(上記文献段〔0070〕参照)であることが普通である。鋭角ましてや20度以下とすることは、振りによる欠損などを考慮すると到底考えられない。

[0139] それに対して、ダイシングは材料内部に入り込んで入り込んだ部分を除去していくため、刃先はストレートか、せいぜい刃の頂角は、ブレード進行方向におけるダイシング抵抗による座屈を考慮した程度にV字である程度である。最大でも頂角は20度以下である。

[0140] また、20度以上の頂角とすると、切断後の断面が斜めになってしまって断面積が増大するほか、加工のメカニズム的にも、ブレード先端が切り進める要素よりも、ブレードの側面で研削する体積が増えることになる。その結果、加工の効率性が低下し、時として加工が進行しない。ダイシングの場合、

ブレード外周に切れ刃を形成し、先端の切れ刃で効率よく切り進めていく一方で、ブレード側面はワークとの潤滑性を向上させて、研削する量を低下させながら鏡面化することが求められる。ブレードの側面で研削する量が多くなると、側面での研削量が必然的に多くなり、切断後の断面が鏡面化できなくなる。よって、ダイシングではストレート形状が最も望ましいが、最低でもブレードが座屈しない程度に極小さくV字であるのがよく、せいぜい20度以下である。

[0141] ・(材料組成の点)

スクライビングは、ホイールがワークに当接させられた状態(食い込んだ状態)で進行方向が変化すると振りの応力によって刃先が欠損することがある。そのため、同じダイヤモンドの焼結体であったとしてもダイヤモンドの重量%を65%~75%としている。その結果、耐摩耗性、耐衝撃性だけでなく耐振り強度特性を向上させている。ダイヤモンドの重量%を75%以上とすると、ホイールの硬度自体は上昇するが、耐振り強度が低下する。よって比較的ダイヤモンド含有量は少なく設定される。

[0142] それに対して、ダイシングはブレードが高速回転して材料を一定量除去しながら直線的に進む。そのため、振りの応力はかからない。その代わり、ダイヤモンド含有量が少ない場合、切り込んだ際に、みかけの硬度が低下してしまうため、ワークからの反力や、ブレードの切れ刃が切込む時間内にワークが弾性回復してしまい、所定の切込み深さを維持できない場合がある。そのため、ダイシングの場合、ブレードの硬度はワークの高度と比べて、跳ね返りが起こらず所定の切込みのまま切り進めることができるよう、十分大きい硬度を有する。延性モードで材料の変形域内で、加工時の切れ刃作用時間内における弾性回復を許さず加工を進行させる上では、単結晶ダイヤモンド(ヌープ硬度で10000程度)と同等の表面硬度が必要となり、ヌープ硬度で約8000程度は必要となる。結果としてダイヤモンド含有量は80%以上は必要となる。ただし、ダイヤモンド含有量が98%以上になると、焼結助剤の割合が極端に減るためダイヤモンド同士の結合力が弱くなり、ブレード

そのものの靱性が低下して脆くて欠けやすくなる。よって、ダイヤモンド含有量は８０％以上が必要であり、実用的な点を加味すると、９８％以下とする方が望ましい。

[0143] 以上から、スクライビングホイールに使用されるＰＣＤと本発明のダイシングブレードに使用するＰＣＤは、材料としては同種であったとしても、その加工原理が全く異なるため、求められるＰＣＤの組成、具体的にはダイヤモンド含有量は全く異なるものとなる。

[0144] ・（ホイール構造と基準面の点）

さらにホイールの構造が異なる。スクライビングホイールはホルダを有しており、ホルダはスクライビングホイールを回転自在に保持する要素である。ホルダは、主としてピンと支持枠体を有するので、ピンの部分（軸の部分）は回転しない。ホイールの内径部が軸受になり、軸であるピンの部分と、相対的に擦れることによって回転し、材料表面に垂直方向のスクライビングライン（縦割れ）を形成する。

[0145] それに対して、本発明に係るブレードは、回転するスピンドルにブレードは同軸で取り付ける。スピンドルとブレードは一体的に高速回転させる。ブレードはスピンドル軸に対して垂直に取り付ける必要があり、回転による振れをなくする必要がある。

[0146] そのため、ブレードには基準平面が存在する。ブレードに存在する基準面は、スピンドルに予め垂直に取り付けたフランジの基準端面と当接させて固定する。これにより、ブレードのスピンドル回転軸に対する垂直度が確保される。この垂直度が確保されて初めて、ブレードが回転することによって外周部に形成される切れ刃がワークに対して一直線状に作用することになる。

[0147] また、スクライビングの場合の基準面は、円板ブレードの軸と平行な円筒面で、ブレードを垂直に押圧することを前提にして規定している。しかしながら、本発明に係るブレードにおけるブレードの基準面は、先に述べたように、スピンドルのフランジに対向するブレードの側部端面（円板面）である。ブレードの基準面を、ブレードの側面（円板面）とすることで、ブレードは、

ブレード中心に対してバランスが取れた状態で精度よく回転し、ブレード先端に形成された切れ刃は、ブレードが高速回転していても、ブレード中心を基準にして一定半径位置で定義される所定の高さ位置で精度よく切れ刃が作用し、所定高さのワークに対しても垂直な応力を与えることなく、ワーク面に対して水平に切れ刃が作用して除去していくだけである。そのため、ワークが脆性材料であっても、ワーク面に対して垂直応力によってクラックを及ぼすことは一切ない。

[0148] ・(加工原理の点)

この垂直方向にクラックを与えて加工するか、それとも一切クラックを発生させることなく加工するかが、スクライビングと本発明に係るダイシングとの決定的に異なる原理の違いである。

[0149] ・(外周刃の溝の役割)

また、スクライビングは表面だけにスクライバーの垂直応力によって押圧してスクライビングラインをつける。スクライビングの場合の外周刃の溝の役割は、ホイールの刃先の突起部が脆性材料基板に当接しつつ(食い込みつつ)、材料に垂直なクラックを発生させるためのものである(上記文献段落[0114]参照)。すなわち、溝以外の部分が、材料に食い込んで垂直クラックを及ぼす程度のスクライビングラインをつけることができるような溝である。よって、溝というよりも、溝と溝の間の山部分が材料にどのように食い込むかが重要になる。

[0150] それに対して、ダイシングの場合は、外周端部に設けられる凹部は、切れ刃の役割を果たす。凹部と凹部の間の部分は、外周の輪郭を形成し、その間に設けられる切れ刃がワーク表面に対してクラックを及ぼさない程度の臨界切込み深さとするように設定される。よって、ダイシングの場合は切れ刃を形成する必要がある。

[0151] また、スクライビングの場合の溝深さは、スクライビングラインをつけるための食い込み量を与える程度に溝深さを形成するが、ダイシングの場合は、ワーク内に入り込んで、一つ一つの切れ刃でワークを研削除去していかな

なければならない。そのため、ブレード先端は完全にワーク内に入り込みつつ、ブレードの振れは許されず、材料の奥深くまでワーク面に対して垂直に切れ刃を作用させなければならない。

[0152] 本発明に係るブレードの場合は、外周端部に一定間隔の凹部の切れ刃を有する。その切れ刃間隔は後に示すとおり、一つの切れ刃が与える臨界切込み深さが、クラックを及ぼさない程度であればよい。そのためには、切れ刃間隔を適正に保つ必要がある。

[0153] また、スクライビングホイールは、スクライビングホールが脆性材料と当接したままスクライビングホイールの刃先の向きが90度変更させられ、これをキャスト効果と呼ぶ。

[0154] ダイシングブレードでは、刃は材料内に入り込んでいるため、刃先の向きを90度変更することはできない。例えば、ストレート形状や頂角が20度以下のダイシングブレードで当接させながら刃先を変更させれば刃は折れてしまう。

[0155] なお、軟質金属からなる焼結助剤86を用いて焼結されたダイヤモンド焼結体80の場合、その表面に凹みを形成する方法としては摩耗処理やドレッシング処理などが最も適しているが、これに限らない。例えば、コバルトやニッケルのような焼結助剤が用いられる場合、酸系のエッチングにより化学的に部分溶解することで、ダイヤモンド焼結体80の表面に凹みを形成することも可能である。

[0156] これに対して、従来の電鍍ブレードでは、ダイヤモンド砥粒自体が切れ刃の役割を果たすが、その切れ刃のピッチや幅などを調整するためには、初期にダイヤモンド砥粒を分散させる分散度合いに頼らざるを得ないため技術的に困難である。すなわち、ダイヤモンド砥粒の分散という曖昧さを多く含み、実質的には制御することができない。また、ダイヤモンド砥粒の分散が不十分で凝集している部分が存在したり、分散しすぎて疎らな部分があったりしても、これを恣意的に調整することは困難である。このように従来の電鍍ブレードでは、切れ刃の配列を制御することは不可能である。

[0157] また、従来の電鍍ブレードにおいて、ミクロンオーダのダイヤモンド砥粒を一つ一つ人為的に配列することは現状の技術にはなく、効率よく切れ刃を一直線状に整列させて配列することはほとんど不可能である。また、切れ刃の密な部分と疎な部分が混在し切れ刃の配列を実質的に制御できない従来の電鍍ブレードでは、ワークWに対する切り込み量を制御することは困難であり、原理的に延性モードの加工を行うことはできない。

[0158] 本実施形態のブレード26において、ダイヤモンド焼結体に含有されるダイヤモンド砥粒の平均粒子径は $25\mu\text{m}$ 以下（より好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $5\mu\text{m}$ 以下）であることが好ましい。

[0159] 本発明者が行った実験結果によれば、ダイヤモンド砥粒の平均粒子径が $50\mu\text{m}$ の場合、ウェーハ材料がSiCでは 0.1mm の切り込み量でダイシングした場合にクラックが生じた。おそらくダイヤモンドが脱落したことが要因である。 $50\mu\text{m}$ 以上のダイヤモンド平均粒子径で焼結した場合、ダイヤモンド粒子同士が密着する面積が小さくなり、局所的な面積で大きい粒子同士を結合させることになる。そのため、材料の組成的な点で耐衝撃性に非常に弱くなり欠けやすいという欠点を持つ。局所的な衝撃で $50\mu\text{m}$ 以上の単位でダイヤモンドが脱落してしまうと、その脱落をきっかけに非常に大きい切れ刃が形成される。その場合、孤立した切れ刃として所定の臨界切込み以上の切込み深さを与えることになり、結果的にチッピングやクラックを発生させてしまうことが確率的に極めて高くなる。また、 $50\mu\text{m}$ 程度のダイヤモンドが脱落すると、残された部分の切れ刃が大きくなることのみならず、その脱落したダイヤモンド砥粒そのものが、ワークとブレードの間に絡まって、さらにクラックを及ぼすこともある。 $25\mu\text{m}$ 以下の微粒子であればそうしたクラックが定常的に起こる結果は得られていない。

[0160] 図6は、ダイヤモンド砥粒の平均粒子径が $50\mu\text{m}$ のブレードにより溝入れ加工を行った場合のワーク表面の様子を示し、クラックが発生している事例を示す。

[0161] また、ダイヤモンド砥粒の平均粒子径を $50\mu\text{m}$ 、 $25\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$

、 $0.5\mu\text{m}$ の各々としたブレードにより溝入れ加工を行った場合のクラック又はチッピングの発生率を評価した結果を表2に示す。評価結果は、A、B、C、Dの順にクラック又はチッピングの発生率が高くなることを示す。その他の条件については以下の通りである。

- [0162] ・ 標準評価条件：SiC基板(4H)(六方晶)
- ・ スピンドル回転数：20000rpm
- ・ 送り速度：1mm/s
- ・ 切込み深さ： $100\mu\text{m}$
- ・ 評価指針： $10\mu\text{m}$ 以上のチッピングがあるかないかで評価。(理想的には完全にチッピングがないこと。)

[0163] [表2]

ダイヤモンド 平均粒子径	50	25	10	5	1	0.5
クラックやチッピングの発生	D チッピング 出やすい。	C たまにあるが ほとんどなし。	B	A	A	B

- [0164] また、サファイアでは $0.2\mu\text{m}$ の切り込みでクラックが生じた。石英、シリコンでも同様な切り込みでクラックが発生した。

- [0165] さらに、ダイヤモンド砥粒の平均粒子径が $50\mu\text{m}$ の場合、ブレードの刃厚(ブレード外周端部の厚み)を $50\mu\text{m}$ 以下にすることも難しく、ブレード26を製作する際にブレード26の外周部で刃欠けが多い。また、 $100\mu\text{m}$ (0.1mm)の刃厚でブレードを製作しようとしても、大きな空隙がある部分もあり、さらに、少しの衝撃で割れてしまうこともあり、現実的にブレードを安定して製作することは困難であった。

- [0166] 一方、ダイヤモンド砥粒の平均粒子径が $25\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ の場合には、SiC、サファイア、石英、及びシリコンの各脆性材料でも、平均粒子径が $50\mu\text{m}$ の場合と同様の切り込みを行ってもクラックは発生しなかった。すなわち、これらの脆性材料では、ダイヤモンド砥粒の平均粒子径が $50\mu\text{m}$ ではサブミクロンオーダーの切り込みでクラックが発生し、それ以上の平均粒子

径のダイヤモンド砥粒が用いられる場合には、必然的に切り込みが大きくなり、致命的なクラックを招くことになる。これに対し、平均粒子径が $25\mu\text{m}$ 以下（より好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $5\mu\text{m}$ 以下）のダイヤモンド砥粒が用いられる場合には、切り込みを小さく抑えることができ、高精度な切り込み深さの制御が可能となる。

[0167] なお、本実験の一般的な加工条件としては、ブレード外径 50.8mm 、ウェーハサイズ2インチ、切り込み $10\mu\text{m}$ 溝入れ、スピンドル回転数 $20,000\text{rpm}$ 、テーブル送り速度 5mm/s である。

[0168] このように構成されるブレード26の製造方法としては、タングステンカーバイドを主成分とする基台の上にダイヤモンド微粉末を置いて型に入れる。次いで、この型の中に焼結助剤としてコバルト等の溶媒金属(焼結助剤)を添加する。次いで、 5GPa 以上の高圧、且つ、 1300°C 以上の高温雰囲気下で焼成・焼結する。これにより、ダイヤモンド砥粒同士が直接相互に結合し、非常に強固なダイヤモンドのインゴットが形成される。このようにして、例えば、直径 60mm サイズで焼結ダイヤモンド層（ダイヤモンド焼結体）が 0.5mm 、タングステンカーバイド層が 3mm の円柱インゴットを得ることができる。タングステンカーバイド上に形成されたダイヤモンド焼結体としては、住友電工ハードメタル社製DA200等がある。ダイヤモンド焼結体だけを取り出すか、またはタングステンカーバイド上に形成したダイヤモンド焼結体のまま、ブレード基材を所定形状に外周摩耗処理ないしはドレッシング処理加工を施すことにより、本実施形態のブレード26を得ることができる。例えば、図7に示すような形態を得ることができる。

[0169] なお、円柱インゴットのダイヤモンド表面（切刃部40を除く）は、回転時を振れをなくすための基準面形成としてスカイフ研磨（scaif、研磨用円盤）を行うことにより、表面粗さ（算術平均粗さ R_a ） $0.1\mu\text{m}$ 程度の鏡面に加工しておくことが好ましい。

[0170] ここで、上記製造方法における摩耗処理・ドレッシング処理は、次のような条件とすることができる。

[0171] 摩耗処理としては、次の条件などがある。

- [0172] ・ ブレード回転数：10000rpm
- ・ 送り速度：5mm/s
- ・ ワーク加工対象：石英ガラス(ガラス材料)
- ・ 加工処理時間：30分間
- ・ 上記処理により、わずかに1~2 μ m程度のコバルト焼結助剤が除去されて凹みが形成された。さらに、非常に薄いエッチング液(弱酸系)を薄く塗って純水供給なしにドライ環境で処理することでさらに凹みが深くなった。

[0173] ドレッシング処理(摩耗処理)として次の条件であってもよい。

- [0174] ・ ブレード回転数：10000rpm
- ・ 送り速度：5mm/s
- ・ ワーク加工対象：GC600ドレッシング砥石(70mm $\square$)
- (GC600とは、炭化ケイ素質研削材の粒度600番手(#600)を意味する。粒度は日本工業規格(JIS: Japan Industrial Standards) R6001に基づく)
- ・ 加工処理時間：15分間 ・ この処理でもわずかにコバルト焼結助剤が除去されて凹みが形成された。

[0175] なお、ブレード外周部のうち、ブレード外周端部とブレード側面部は、粗さを変えた方が望ましい。具体的には、ブレード外周端部は切れ刃に相当し、摩耗処理によって結晶粒界に沿って切れ刃間隔を調整することになる。特にブレード外周端部は、ワーク材料に切り込みを入れつつ、ある程度は大きく加工除去していくことから、少し粗く加工する。

[0176] 一方、ブレード側面部は、積極的に除去加工をするわけではなく、ワーク材料の溝側面部との接触時に溝側面部を削り出す程度に粗くなっていればよい。また、ブレード側面部に突起があると、溝側面部に割れを誘発してしまうので、突起部を形成することなく加工する一方で、溝側面部との接触面積を低下して、少しでも摩擦による熱の発生を軽減する必要がある。そのため、側面部は細かく粗す方が望ましい。

[0177] 従来の電鍍ブレードなどでは、砥粒を鍍金にて固めて製作するため、面全体が同じような砥粒分布となり、その結果、ブレード外周端とブレード側面との砥粒のつき方の形態を大きく分けることができなかった。すなわち、ワークを切り進めるためのブレード外周端部と、ワークと擦れながら微小に削る程度とする側面部とで、明らかに粗さの状況を変化させることはできなかった。

[0178] 本発明に係るブレードの場合は、ほとんどがダイヤモンドで構成され、その状態から成形加工することができる。たとえば、本発明に係るブレードの場合、側面部を荒らすためには、ダイヤモンドラッピングなどを行なっても構わない。微小なダイヤモンド(粒径 $1\mu\text{m}$ ~ $150\mu\text{m}$)で表面を荒らすことにより、例えばRaが $0.1\mu\text{m}$ ~ $20\mu\text{m}$ 程度の粗さを形成することが可能となる。

[0179] 一方、ブレード外周部は、ブレード側面部と異なり、ワークを加工しながら切り進めいく必要があるため、側面部と異なり切れ刃としての粗さをつけた方がよい。こうした粗さは、例えば、パルスレーザなどで外周部に切れ刃を形成することができる。

[0180] パルスレーザで切れ刃を形成する場合は、次に示す条件などが好適に使用される。

[0181] レーザ発振気器：米国IPG社製ファイバーレーザ:YLR-150-1500-QCW

送りテーブル：JK702

波長：1060nm

出力：250W

パルス幅：0.2msec

焦点位置0.1mm

ワーク回転数2.8rpm

ガス：高純度窒素ガス0.1L/min

穴径 $50\mu\text{m}$

ワークブレード材料：住友電工製DA150(ダイヤモンド粒径 $5\mu\text{m}$)

外径 50.8mm

このようなパルス式ファイバーレーザによって、図22に示すように、 0.1mm ピッチでブレード外周端上に直径 0.05mm の一定間隔で連続した半円状のシャープな切れ刃を形成することができる。こうした切れ刃形成ではダイヤモンド粒径は $5\mu\text{m}$ の大きさであるが、一つの切れ刃自体は $50\mu\text{m}$ 切れ刃とすることができる。またこれを等間隔に形成すれば、回転数を高速回転させることによって、見かけの間隔が小さくなり、延性モードのダイシングを可能とする(例：スピンドル回転数 10000rpm 以上の場合など)。なお、図22は、レーザ光をブレード面(ブレード26の回転軸に垂直な面)の法線方向から入射し切れ刃を形成した場合の結果を示している。

[0182] ファイバーレーザでは一つの切れ刃の大きさは $5\mu\text{m}$ 程度の大きさから大きいものでは 1mm まで、様々な孔径で切れ刃の大きさを形成することができるが、通常はレーザのビーム径から、 $5\mu\text{m}$ から $200\mu\text{m}$ 程度までをあげる事が可能である。

[0183] 電鋳法など、鍍金でダイヤモンドを固めた材料で切り欠きを形成するのではなく、焼結ダイヤモンドの材料で構成し、その円板状又はリング状にした外周端に微小な切り欠きを連続して構成することで、一つ一つの切り欠きが切れ刃として作用する。

[0184] 特開2005-129741号公報は、電鋳法で製造したブレードにおいて、外周部に切り欠きを形成する方法が記載されるが、この場合の切り欠きは、切り屑の排出機能や目詰まりを防ぐ機能として切り欠きが設けられており、切れ刃として設けていない。電鋳法で製造された場合、切り欠きのエッジ部分に必ずしもダイヤモンドが存在するものでもなく、結合材と共に存在するので、結合材が加工と共に摩耗していくことから、材料として切れ刃として作用するものではない。

[0185] それに対して、ブレードがダイヤモンド焼結体から構成される場合、外周部に空けた切れ刃の先端はそのまま切れ刃として作用する。また、切れ刃の

大きさ $50\mu\text{m}$ と比べてダイヤモンド砥粒径は $5\mu\text{m}$ と小さいため、一つの切れ刃の中で、一つのダイヤモンド砥粒が欠け落ちることで切れ刃内で小さく自生することも可能となる。従来の電鍍法における砥石は、ダイヤモンド砥粒がそのまま切れ刃として作用するため、切れ刃の大きさと自生単位は同じ大きさであるが、本発明の場合、恣意的な切れ刃を形成することで、切れ刃の大きさとその中でダイヤモンドが自生する単位を変えることができ、その結果、長い間切れ味を確保することができる。

[0186] さらに、ブレードの側面部の粗さに対して、ブレードの外周端部の粗さを大きくすることで、ブレード外周端で切り進めながらもブレード側面は細かい粗い面でワークを削りながら鏡面化することができる。従来は電鍍法によるブレードでは、外周端部の粗さと側面部の粗さを独立して変化させることが難しく、実質できなかったが、本発明のように焼結ダイヤモンドを使用することで恣意的に外周端部に等間隔の切れ刃を形成するとともに、ブレード側面は細かく荒らした面とすることが可能となる。それにより外周の切れ味を確保して効率よく切り進めながらも、ワーク側面では全く独立して鏡面仕上げ加工を独立して行なうことが可能となる。

[0187] 尚、ブレード外周のみに高硬度のダイヤモンドチップを一つ一つ埋め込む構成(例えば特開平7-276137号公報など)は、切れ刃は等間隔で形成されるかもしれないが、一体の円板状又はリング状のPCDで形成されていないため、先述の通り、熱伝導の点、形状的な平面度や平面の連続性の点、加工による衝撃を吸収することなく局所的に効果的なせん断力をワークに与える点、さらには延性モードで加工を行う点などで、本発明に係るブレードとは全く異なることは明白である。

[0188] こうした切れ刃の間隔や側面部の表面の粗さは、加工対象材料に応じて適宜調整するものである。

[0189] 図8は、ブレード26がスピンドル28に取り付けられた状態を示した断面図である。図8に示すように、スピンドル28は、不図示のモータ(高周波モータ)を内蔵したスピンドル本体44と、スピンドル本体44で回転可

能に軸支され、その先端部がスピンドル本体 4 4 から突出した状態に配設されたスピンドル軸 4 6 とから主に構成される。

[0190] ハブフランジ 4 8 は、スピンドル軸 4 6 とブレード 2 6 との間に介装される部材であり、テーパ状に形成された取付孔 4 8 a が設けられるとともに、円筒状の突起部 4 8 b が設けられる。このハブフランジ 4 8 には、ブレード 2 6 のスピンドル軸 4 6（回転軸）に対する垂直度を決定するための基準面となるフランジ面 4 8 c が設けられている。このフランジ面 4 8 c には、後述するようにブレード 2 6 のブレード基準面 2 6 a が当接される。

[0191] ブレード 2 6 には、片側の端面に切刃部 4 0 よりも内側部分に厚肉に形成された環状部（当接領域） 3 6 が設けられている（図 2 及び図 3 参照）。この環状部 3 6 には、ハブフランジ 4 8 のフランジ面 4 8 c が当接するブレード基準面 3 6 a が形成されている。ブレード基準面 3 6 a は、環状部 3 6 が形成される端面において他の位置よりも高い位置に設けられていることが好ましく、これにより平面度を出しやすくなっている。また、ブレード基準面 3 6 a を構成する環状部 3 6 の厚みは、ブレード外周部に設けられる切刃部 4 0 と比べて十分に厚くする必要がある。

[0192] ブレード外周部は、切断時に材料表面において脆性破壊を起こさないため切断幅も細くする必要があり、その厚みとしては $50\mu\text{m}$ 以下としなくてはならない。

[0193] しかしながら、そのブレード外周部の厚みのままでブレード基準面部分を含めて、すべてを $50\mu\text{m}$ 以下の厚みで製作する場合、ブレードの平面を出す過程で加工した際の加工歪が大きな問題になる。特に、ブレード全面を $50\mu\text{m}$ 程度の厚みで製作すると、ブレード両側面同士の歪のバランスで一方の側にブレードが反ることになる。ブレードが少しでも反っている場合、外周端部は非常に薄いので、非常に小さい応力で元々反っている側にブレードが座屈変形してしまい、結果的に使用できない。

[0194] このため、ブレード基準面を形成する部分は、ブレードの面に加工歪が残っていたとしても、その歪で反りが発生するほどの厚みであってはならない

。直径にして50mm程度の円板で加工歪による反りが発生しない程度のブレードの基準面部分の厚みは、最低でも0.25mm以上、好ましくは0.5mm以上ある方がよい。この程度のブレード基準面部分の厚みがないと、ブレード基準面として平面を維持できない。平面が維持できなければブレード外周端部を一直線状にワークに作用させることが困難になる。

[0195] 以上のことから、本実施形態のブレード26では次の条件を満たすことが必要となる。

[0196] すなわち、ブレード基準面36aは、ブレード26の両側面の加工歪のバランスが崩れていたとしても平面を維持しなくてはならないことから、最低でも基準面部の厚みは0.3mm以上は必要である。

[0197] 一方、ブレード外周端部は、材料にクラックを誘発させないためにも極微小領域で加工しなくてはならない。そのためには、ブレード外周部に設けられる切刃部40の厚みは50 μ m以下とする必要がある。

[0198] つまり、例えば直径50mmのブレード全体で見ると、平面度維持のためすべてを一体で製作する必要がある、ブレード内周部は平面度維持のため分厚くしなくてはならない一方で、ブレード外周部は薄くしなくてはならない。

[0199] なお、平面度を出す方法としては、スカイフ研磨などによる鏡面加工を使用することができる。

[0200] ブレード26の取付方法としては、まず、ハブフランジ48の取付孔48aにテーパ状に形成されたスピンドル軸46を嵌合させて、不図示の固定手段でハブフランジ48をスピンドル軸46に位置決め固定する。次いで、ハブフランジ48の突起部48bにブレード26の装着孔38を嵌合させた状態で、ブレードナット52を突起部48bの先端に形成されたネジ部にねじ込むことにより、ブレード26をハブフランジ48に位置決め固定する。

[0201] このようにブレード26がハブフランジ48を介してスピンドル軸46に取り付けられたとき、ブレード26のスピンドル軸46に対する垂直度はハブフランジ48のフランジ面48cの平面度とブレード26のブレード基準面36aの平面度およびその両者を重ね合わせる取り付け精度で決定される

。このため、ハブフランジ４８のフランジ面（回転軸に対して垂直な面）４８ｃと、このフランジ面４８ｃに接触するブレード２６のブレード基準面３６ａは、例えば鏡面加工によって平坦化され、スピンドル軸４６に対する垂直度が高精度になるように形成されていることが好ましい。これにより、ハブフランジ４８を介してブレード２６をスピンドル軸４６に装着する際、フランジ面４８ｃとブレード基準面３６ａを接触させた状態で位置決め固定することにより、ブレード２６をスピンドル軸４６に対して高精度に垂直にすることができる。

[0202] また、ブレード２６の中心位置の精度は、ブレード２６の装着孔３８とハブフランジ４８の突起部４８ｂとの嵌め合い精度で決定されることから、装着孔３８の内周面及び突起部４８ｂの外周面の加工精度を高めることで、これらの同軸度を確保することができ、良好な取付精度を実現することができる。

[0203] その結果、ブレード単体精度に加えて、高精度なスピンドル軸４６に対する取付精度も確保することで高精度な切断加工が実現できる。

[0204] すなわち、延性モードで加工するためには、ブレード２６の切刃部４０の厚みを薄く構成するだけでなく、その切刃部４０をブレード２６の回転軸（スピンドル軸４６）に対して垂直な方向に略一直線上に作用させることができるように高精度な取り付けが必要となるが、その要求精度を十分に満たすことができる。

[0205] 本実施形態では、ブレード２６を軸支するハブフランジ４８及びスピンドル軸４６はステンレス（例えばＳＵＳ３０４、ＳＵＳ３０４は日本工業規格（JIS: Japan Industrial Standards)に基づくステンレス鋼、以下、本発明におけるステンレス鋼は日本工業規格に基づく）等の金属材料で構成されている。一方、ブレード２６は、上述のとおり、ダイヤモンド焼結体８０により一体的に構成されている。すなわち、ブレード基準面３６ａは金属基準面で支えられる構成となっている。このような構成によれば、切断加工によってブレード外周部の切刃部４０が熱をもち、或いは、スピンドル軸４６側に熱

があったとしても、まずはブレード２６の内部に均一に熱が伝わる。すなわち、ブレード２６は熱伝導率の非常に高いダイヤモンド焼結体８０で構成されるのに対し、ブレード２６を軸支するハブフランジ４８及びスピンドル軸４６はダイヤモンド焼結体８０と比較すると格段に熱伝導率が低いステンレスで構成される。このため、これらに生じた熱は、ブレード２６に沿って周方向に伝わり、ブレード２６の周方向にすぐに均一化され、放射状の温度分布となる。ダイヤモンド部分だけが熱がすぐに伝わり、ステンレスのスピンドル軸４６やハブフランジ４８には断面積などの点で、熱が伝わりにくく接触部も少ないため、結果的にダイヤモンド部分がさらに熱の均一化が促進され、その均一な状態で、熱的平衡が確保されるようになる。

[0206] また、ブレード外周部において、熱膨張を阻害する部材もなく、またバimetall効果もないため、ブレード２６の外周部は真円度及び平面度を良好に保つことができる。その結果、ブレード外周端部に設けられる切れ刃８４はワークＷに対して一直線上に作用するようになる。

[0207] なお、本実施形態では、ブレード２６がハブフランジ４８を介してスピンドル軸４６に装着される構成を示したが、ブレード２６がスピンドル軸４６に直接装着される構成としてもよく、同様の効果を得ることができる。

[0208] 次に、本実施形態のブレード２６を用いたダイシング方法について説明する。このダイシング方法は、シリコン、サファイア、ＳｉＣ（シリコンカーバイド）、ガラスなどの脆性材料に対してクラックやチッピングなどの脆性破壊を伴うことなく塑性変形させながら安定して精度良く切断加工を行うことができる方法である。

[0209] まず、ロードポート１２に載置されたカセットからワークＷが取り出され、搬送手段１６によりワークテーブル３０上に載置される。ワークテーブル３０上に載置されたワークＷは、撮像手段１８により表面が撮像され、ワークＷ上のダイシングされるラインの位置とブレード２６との位置が、不図示のＸ、Ｙ、θの各移動軸によりワークテーブル３０を調整して合わせられる。位置合わせが終了し、ダイシングが開始されると、スピンドル２８が回転

を始め、ブレード 26 がワーク W を切断するに十分な溝入れする量だけスピンドル 28 が所定の高さまで Z 方向へ下がりブレード 26 が高速に回転する。この状態でワーク W は、ブレード位置に対してワークテーブル 30 とともに不図示の移動軸によって、図 1 に示す X 方向へ加工送りされるとともに、所定の高さまで下げられたスピンドル先端につけられたブレード 26 でダイシングが行われる。

[0210] このとき、ブレード 26 のワーク W に対する切り込み深さ（切り込み量）が設定される。外周に多数の切れ刃を要するブレード 26 を高速回転させることで、1 つの切れ刃（微小切れ刃）84 が臨界切り込み深さ（ D_c 値）以下になるように設定されなければならない。この臨界切り込み深さは、脆性材料の脆性破壊を起こすことなく、塑性変形による延性モードでの切断加工が可能な最大切り込み深さである。

[0211] ここで、ワーク材料とクラックを及ぼさない一つの刃あたりの臨界切り込み深さとの関係を表 3 に示す。

[0212] [表 3]

ワーク材料	臨界切り込み深さ D_c 値 [μm]
SiC	0.26
Si_3N_4	1.98
Al_2O_3	1.03
ZrO_2	6.22
Si	0.15

[0213] 表 3 から分かるように、例えばワーク材料がシリコンの場合には、その臨界切り込み深さは $0.15\mu\text{m}$ であることから、ブレード 26 のワーク W に対する切り込み深さは $0.15\mu\text{m}$ 以下に設定される。仮に切り込み深さが $0.15\mu\text{m}$ を超える場合にはワーク材料へのクラック発生は避けられない。

[0214] また、表 3 に示したワーク材料の中ではシリコンの臨界切り込み深さ（ $0.15\mu\text{m}$ ）が最も小さく、他の材料と比べて割れやすいことが分かる。このことから、大抵の材料では、 $0.15\mu\text{m}$ 以下の切り込み深さであれば、原理上クラックを発生することなく材料の変形範囲で加工を進行させることのできる延性

モード加工が可能となる。

[0215] また、ブレード26のワークWに対する周速度（ブレード周速度）は、ブレード26のワークWに対する相対送り速度（加工送り速度）に比べて十分に大きく設定される。例えば、ブレード26の回転数20,000rpm、ブレード26の外径50.8mmの時、ブレード26の回転速度53.17m/sに対し、ブレード26の相対送り速度は10mm/sに設定される。

[0216] なお、ブレード26の切り込み深さや回転速度、ブレード26のワークWに対する相対送り速度の制御は、図1に示したコントローラ24によって行われる。

[0217] このような延性モードでのダイシング加工は、切断ラインの溝深さが最終切り込み深さとなるまで、1回あたりの切り込み深さが臨界切り込み深さ以下に設定された状態で繰り返し行われる。

[0218] そして、ワークWに対する1つの切断ラインに沿うダイシング加工が終了すると、ブレード26は、次に加工する隣の切断ラインにインデックス送りされて位置決めされ、前記と同様の加工手順により、当該切断ラインに沿うダイシング加工が実施される。

[0219] そして、前記ダイシング加工が繰り返されることにより、所定数の切断ラインに沿うダイシング加工が全て終了すると、ワークテーブル30とともにワークWを90度回転させて、前記と同様の加工手順により、前述した切断ラインと直交する方向の切断ラインに沿ってダイシング加工が行われる。

[0220] このようにして、全ての切断ラインに沿うダイシング加工が全て完了すると、ワークWは多数のチップに切断分割される。

[0221] ここで、本発明の効果を検証するために、上記ダイシング加工方法において、本実施形態のブレード26と従来の電鑄ブレードとを用いてワークに対して溝入れ加工を行った結果について説明する。

[0222] [比較実験1]（シリコンウェーハ）

本実施形態のブレード26としては、両側テーパタイプ（両Vタイプ）のものを使用した。一方、従来の電鑄ブレードとしては、ブレード厚みが50 μ m

(粒度 #600) を使用した。その他の条件については以下のとおりである。

- [0223] ・装置：ブレードダイシング装置AD20T（東京精密製）
・ブレード回転数：20000rpm
・ワーク送り速度（加工送り速度）：10mm/s
・切り込み深さ：30 μ m
・ワーク：シリコンウェハ（厚み780 μ m）

比較実験1の結果を図9A及び9Bに示す。なお、図9A及び9Bは、それぞれ、本実施形態及び従来技術による溝入れ加工後のワーク表面の様子を示したものである。

- [0224] 図9Aに示すように、本実施形態のブレード26を用いた場合には、ワークに対してクラックが発生させることなく切断溝を形成することができた。

- [0225] 一方、図9Bに示すように、従来の電鍍ブレードを用いた場合には、ワーク表面に微小なクラックが発生した。また、切断溝の底面にもクラックが生じていた。

- [0226] このように本実施形態のブレード26を用いた場合には、従来の電鍍ブレードを用いた場合に比べて、クラックが発生させることなく、延性モードで安定して精度良い切断加工を行うことができることを確認した。

- [0227] [比較実験2]（サファイアウェーハ）

次に、比較実験1と同様のブレードを用いて、以下の条件で比較実験を行った。

- [0228] ・装置：ブレードダイシング装置AD20T（東京精密製）
・ブレード回転数：20000rpm
・ワーク送り速度（加工送り速度）：10mm/s
・切り込み深さ：50 μ m
・ワーク：サファイアウェーハ（厚み200 μ m）

比較実験2の結果を図10A及び10Bに示す。なお、図10A及び10Bは、溝入れ加工後のワーク表面の様子を示したものであり、図10Aは本実施形態のブレード26を用いた場合、図10Bは従来の電鍍ブレードを用

いた場合である。

[0229] 図10A及び10Bから明らかなように、ワークをサファイアウェハに変更した場合においても、シリコンウェハを対象とした比較実験1と同様の結果が得られることを確認した。

[0230] [比較実験3] (SiCウェーハ)

次に、ストレート形状のブレードを用いて、以下の条件で比較実験を行った。

ブレード厚みは、20 μ m、50 μ m、70 μ m厚で行なった。

[0231] ・装置：ブレードダイシング装置AD20T（東京精密製）

・ブレード回転数：20000rpm

・ワーク送り速度（加工送り速度）：2mm/s

・切り込み深さ：200 μ m

・ワーク：4H-SiCウェーハ Si面（厚み330 μ m）

図11Aから11Cは本実施形態のブレード26による溝入れ加工後のワーク表面の様子を示したものであり、図11Aは、ブレード厚みが20 μ mの場合、図11Bは、ブレード厚みが50 μ mの場合、図11Cは、ブレード厚みが70 μ mの場合を示す。

[0232] ブレード厚みは50 μ m以下とすることが理想的ではあるが、SiCの場合70 μ m刃厚では、小さいクラックはあるが、顕著なクラックはなかった。

[0233] [比較実験4] (超硬合金)

次に、先と同様にストレート形状のブレードを用いて、以下の条件で比較実験を行った。

[0234] ブレード厚みは、20 μ m厚で行なった。

[0235] ・装置：ブレードダイシング装置AD20T（東京精密製、AD20Tは装置の型番）

・ブレード回転数：10000rpm

・ワーク送り速度（加工送り速度）：1mm/s

・切り込み深さ：40 μ m

- ・ワーク：超硬WC（WC：タングステンカーバイド）

図12A及び12Bは、本実施形態のブレード26による溝入れ加工後のワーク表面（図12A）及び断面（図12B）を示している。同図のように、超硬のような硬質材料でも理想的な延性モード加工を行うことができることを示している。

[0236] [比較実験5]（ポリカーボネード）

次に、先と同様にストレート形状のブレードを用いて、以下の条件で比較実験を行った。

[0237] ブレード厚みは、50 μ m厚で行なった。

[0238] ・装置：ブレードダイシング装置AD20T（東京精密製）

- ・ブレード回転数：20000rpm

- ・ワーク送り速度（加工送り速度）：1mm/s

- ・切り込み深さ：500 μ m（フルカット）

- ・ワーク：ポリカーボネード

図13A及び13Bは、それぞれ、本実施形態のブレード26による溝入れ加工後のワーク表面、及びワーク断面を示している。図13Aに示すように、ワーク表面から見るとシャープな切断ラインが観察される。図13Bに示すように、従来の電鍍ブレードと比較しても鏡面の切断面を得たことが分かる。

[0239] [比較実験6]（CFRP：carbon-fiber-reinforced plastic）

次に、先と同様にストレート形状のブレードを用いて、以下の条件で比較実験を行った。

[0240] ブレード厚みは、50 μ m厚で行なった。

[0241] ・装置：ブレードダイシング装置AD20T（東京精密製）

- ・ブレード回転数：20000rpm

- ・ワーク送り速度（加工送り速度）：1mm/s

- ・切り込み深さ：500 μ m（フルカット）

- ・ワーク：CFRP

比較実験6の結果を図14A及び14Bに示す。なお、図14A及び14Bは、溝入れ加工後のワーク断面の様子を示したものであり、図14Aは本実施形態のブレード26を用いた場合、図14Bは従来の電鍍ブレードを用いた場合である。

[0242] 従来の電鍍ブレードと比較すると、電鍍ブレードは一つ一つの繊維を引きちぎるため、繊維のきれいな断面を観察できないが、本発明に係るブレードでは一つ一つの繊維が絡まって引きちぎれることなくシャープな繊維端面を持つ切断面を得ることができる。

[0243] この結果は、本発明に係るブレードの場合、連続した切れ刃が形成され、それぞれの凹み部分が切れ刃になると共にダイヤモンド同士が結合している。そのため、電鍍ブレードでは切れ刃が繊維一本を切断するのに軟らかい結合材で衝撃を吸収してしまい、鋭利に切れ刃が作用しないが、本発明に係るブレードは、ダイヤモンドのせん断応力によって、瞬時の衝撃を吸収することなく鋭利に刃先が作用するためである。

[0244] 次に、ブレード26のワークWに対する切り込み深さを臨界切り込み深さ（ D_c 値）以下として延性加工モードでの切断加工が行われる場合であっても実用的なダイシング加工が可能である理由について説明する。

[0245] 例えば、外径50mmのブレード26を用いてシリコンウェーハからなるワークWを切断加工する場合を考える。なお、ブレード外周端部には結晶粒界に沿った切れ刃（微小切れ刃）が約 $10\mu\text{m}$ ピッチで周方向に沿って設けられているものとする。この場合、ブレードの外周長は157mm（ $157000\mu\text{m}$ ）であることから、約15700個の切れ刃が外周部に形成されていることになる。

[0246] まず、1つの切れ刃がワークWにクラックを与えない程度の切り込みとして、 $0.15\mu\text{m}$ の切り込みを入れたものとし、その切り込みにより一度の除去量が $0.02\mu\text{m}$ （20nm）であるとする。なお、通常、SiCやSi、サファイア、 SiO_2 などクラックが発生しない臨界切り込み深さはサブミクロンオーダー（例えば約 $0.15\mu\text{m}$ ）である。そうすると、ブレード外周端部には15700個の切れ刃が存在するため、ブレード一回転あたり原理的には 0.314mm （ $314\mu\text{m}$ ）ほ

ど、加工を進めることができる。ダイシングのスピンドルとして10,000rpmとすると、1秒当たり166回転する。よって、1秒当たりのブレード外周端部での切断除去排除距離は52.124mmとなる。例えば、ブレードの送り速度を20mm/sとした場合、ワーク材料内を押しながら進む速度よりも、ワーク材料をせん断方向に加工して除去する速度の方が速い。すなわち、ワーク材料を切断する上では、ワーク材料の破壊が起きない程度に微小切り込みを入れて、ワーク材料をブレードの進行方向とは直交する水平方向に加工して払いのけ、その払いのけ除去された部分を、ブレードが進行していく形態となる。そのため、クラックが発生する程度の $0.1\mu\text{m}$ 以上の切り込みが入る余地がないため脆性破壊を起こすことなく、塑性変形に基づく延性加工領域での切断加工が可能となる。すなわち、高速にブレードを回転させながらブレード回転によるブレード外周端部（先端部）の加工対象材料に対する周速度を、ブレードの加工対象材料に対する送り速度に比べて大きくとることで、延性加工を行うことが可能となる。

[0247] なお、実際的には、多少のブレードの偏芯も考慮し少し余裕を持たせて実施し、 $\phi 50.8\text{mm}$ のブレード径では、20,000rpmで回転させながら、10mm/s程度の送り速度で加工すれば、材料のクラックは発生しない。

[0248] 次に、本実施形態のブレード26を用いて延性モードでの加工を実現するために各種検討した結果について説明する。

[0249] [ダイヤモンド砥粒の粒径と含有量の関係について]

本実施形態において、延性モードで加工するためにはブレード26の周方向における砥粒配列について考慮する必要がある。その理由としては以下のとおりである。

[0250] まず、仮に $0.15\mu\text{m}$ の切り込みを入れるためには、その切り込みを入れるための切れ刃（微小切れ刃）の大きさとしては、1桁程度の大きい砥粒径や切れ刃間隔である方が望ましい。3桁以上大きい切れ刃間隔となる場合、切れ刃間隔のばらつきも考慮すると、微小な切り込みを入れることは難しい。

[0251] 一般的に、平板状試料に対して、略等間隔に切れ刃が設定されたブレード

を平行移動させて加工する際の最大切込み深さを幾何学的に計算する。以下図15を基にすると、ハッチングした部分を一刀あたりの切り屑部分とすれば、ブレード中心Oと切り屑上の一点Aとを結ぶ線によって決まるACなる長さが一刀あたりの最大切込み深さ $g_{\max}$ となる。

[0252] なお、Dはブレード直径、Zはブレード切れ刃数、Nはブレードの毎分回転数、Vsはブレードの円周速度(πDN)、Vwはワークの送り速度、Szはブレード一刀あたりの送り量、aは切込み深さとする。

[0253] そこで、

[0254] [数1]

$$\angle AOD = \theta$$

[0255] とおき、切込み深さ $g_{\max}$ はブレード直径Dに比べて十分小さいとすれば、

[0256] [数2]

$$g_{\max} = \overline{AC} = \overline{AB} \sin \theta$$

[0257] [数3]

$$\overline{AB} = S_z = V_w / NZ$$

[0258] [数4]

$$\sin \theta = AE/OA = \sqrt{aD} / \frac{D}{2} = 2\sqrt{a/D}$$

[0259] したがって、

[0260] [数5]

$$g_{\max} = 2 \frac{V_w}{NZ} \sqrt{\frac{a}{D}}$$

[0261] ここで、ブレードの刃数Zの代わりに、切れ刃間隔 λ を使用して、 $Z = \pi D /$

λ として、上式に代入すると、一刃あたりの最大切込み深さが求まる。

[0262] [数6]

$$g_{\max} = 2 \frac{V_w}{\pi D N} \lambda \sqrt{\frac{a}{D}}$$

[0263] ここで、 $\pi D N$ は明らかにブレード周速度 V_s に等しい。すなわち、ブレードによる平板加工において、切れ刃間隔 λ と一刃あたりの最大切り込み深さの関係は次式で与えられる。

[0264] [数7]

$$g_{\max} \approx 2\lambda \frac{V_w}{V_s} \sqrt{\frac{a}{D}} \quad \dots(1)$$

[0265] 但し、 $g_{\max}$ ：単位切れ刃あたりの切り込み深さ、 λ ：切れ刃間隔、 V_w ：ワーク送り速度、 V_s ：ブレード速度、 a ：ブレード切り込み深さ、 D ：ブレード径とする。

[0266] これからも、単位切れ刃あたりの切込み深さを一定以下にするためには、切れ刃の間隔が重要になることが分かる。また、ブレードの回転速度も重要になる。

[0267] 式(1)に示した関係によれば、 V_w ：40mm/s、 V_s ：26166mm/s、 a ：1mm、 D ：50mm、 λ ：25 μ mとしても、0.027 μ m程度の切り込み量だけとなり、0.1 μ m以下の切り込み量となる。この範囲であれば、臨界切り込み深さ以下であるから、延性モード加工の範囲である。

[0268] 延性モード加工を行うためには、必ず上記の条件を満たさなければならない。

[0269] さらには、実用的な条件として、2インチ径のブレード(直径50mm)を10000rpmで回転させて加工する条件で、ワーク厚みが0.5mm、ワークの送り速度を10mm/sとし、ブレード外周部分の切れ刃間隔を1mmピッチで形成したとする(V_w ：10mm/s、 V_s ：157×10⁴mm/s、 a ：0.5mm、 D ：50mm、 λ ：1mm)。

[0270] その条件であっても、上の式に代入すると、一つの刃が切込む臨界切込み

深さは $0.08\mu\text{m}$ となり、依然 $0.1\mu\text{m}$ 以下の切込み深さとなる。よって、ブレードが偏芯せず理想的にすべての切れ刃がワークの除去加工に作用するとした場合、臨界的にはブレード外周部に形成できる切れ刃間隔は 1mm 以下までであれば、致命的なクラックを生じる過剰な切込みを与えることなく、加工を進行させることが可能となる。

[0271] 尚、SiCでは、クラックを生じさせない臨界切込み深さは $0.1\mu\text{m}$ 程度であるが、他のサファイア、ガラス、シリコンなどにおいては、同クラックを及ぼさない臨界切込み深さは、 $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$ 程度であるため、臨界切込み深さを $0.1\mu\text{m}$ 以下と設定しておれば、ほとんどの脆性材料はクラックを及ぼすことなく、材料の塑性変形域内で加工を行うことができる。

[0272] よって、ブレード周囲につける切れ刃間隔は 1mm 以下である方が望ましい。

[0273] 一方、ブレード周囲の切れ刃間隔は $1\mu\text{m}$ 以上である方がよい。仮に、平均的な切れ刃間隔が $1\mu\text{m}$ 以下の場合、すなわちサブミクロンオーダの切れ刃間隔を有する場合、臨界切込み深さ量と材料除去の深さ単位がほぼ同程度になってくる。すなわち、両者ともサブミクロンオーダとなるが、このような条件では実際に一つの切れ刃が期待する除去量に達することは難しく、逆に目詰まりモードによって加工速度は急激に低下する。

[0274] こうした状況下では、一つの切れ刃の臨界切込み深さは別として一つの切れ刃が除去できる深さ自体に無理があると考えられる。

[0275] 尚、上記の考えは、ワークを切断する断面積が一定である場合に成り立つ。すなわち、試料は略平板状試料において、ブレードを高速回転させて、ブレードを、平板状ワークに対して一定の切込み深さに設定し、ワークをスライドさせながら切断加工するブレードに関する内容において合致する。

[0276] また、上記の式は、一つの切れ刃が与える臨界切込み深さは、切れ刃間隔によることも重要なことである。一つの切れ刃が切り込む量は、次の切れ刃との間隔に影響し、ある部分で切れ刃間隔が大きい部分があると、所望の臨界切込み深さより深く切込みクラックを及ぼす可能性を示している。よって、切れ刃間隔は重要な要素であり、安定した切れ刃間隔を得るために、その

切れ刃間隔を材料組成から自然に設定されるように、単結晶ダイヤモンドを焼結したPCD材料が好適に使用されるのである。

[0277] 但し、ダイヤモンド砥粒の粒径（平均粒子径）が大きくても、その隙間が密に敷き詰められており、実質的な砥粒間隔がその粒径よりも小さいオーダであれば、さらに砥粒の切り込みを抑制し、制御することが可能となる。実際には、理想的な粒径として $1\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ 程度のダイヤモンド砥粒が望ましい。

[0278] 尚、粒径が必ずしも切れ刃間隔になるとは限らない。正確にツルーイングされている場合は、切れ刃の間隔は粒径に相当するかもしれないが、通常切り出してドレッシングされた状態では、切れ刃間隔は砥粒径よりも大きくなる。

[0279] すなわち、粒界で厳密に規定されれば、一つの砥粒の両脇に存在する隙間が、切れ刃に相当すると解釈されるが、実際はいくつかの砥粒が固まりで抜け落ちて、自然に一定周期の切れ刃を形成するようになる。これは、ブレードを平均的に荒らすことで切れ刃ピッチを形成することができる。

[0280] 図16A及び16Bには、ブレード外周端を粗さ計で測定した結果を示す。さらに図17A及び17Bには、表面状態の写真を示す。焼結体であるため、基本的には表面に見える部分はすべて砥粒であるダイヤモンドで構成される。

[0281] また、表面の凹凸はダイヤモンド粒界から形成されており、自然な略等間隔の凹凸形状が構成される。この一つ一つの凹部が材料に切込むための切れ刃として作用する。この切れ刃ピッチは、図から明らかなように、4mmレンジで260個、263個の山数があるため、約 $15\mu\text{m}$ ピッチの切れ刃間隔となっていることが分かる。尚、本材料は、住友電工ハードメタル社製のDA200で構成されており、構成されるダイヤモンド粒子の粒径は公称 $1\mu\text{m}$ である。このように、粒径は小さくても、切れ刃間隔はそれよりも大きく形成されており、図からわかるように略等間隔に形成されている。

[0282] こうした等間隔な切れ刃は、単結晶の微粒子を焼結させて作られたダイヤ

モンド焼結体によって、ブレードそのものを形成していることによるものである。

[0283] このように、ブレード先端部分は、ワークを切り進めるために大きく凹凸をつけるようにしているが、それに対して、ブレード先端部分に比べてブレード側面部分は除去後のワーク切断後の端面を鏡面になるように研削する。そのため、ブレード先端部は切り進めるために粗く成形しており、ブレード側面部はそれに対して細かく成形している。

[0284] なお、従来の電鍍ブレードでは、通常ダイヤモンド砥粒の間隔は、その粒径と比べて格段に大きい。これは、まばらに振りまいたダイヤモンド砥粒を単にメッキしているためであり、メッキする時点で全く異なる。

[0285] これに対して、本実施形態のブレード26では、ダイヤモンド焼結体は焼結助剤が焼結によりダイヤモンド内に溶融してダイヤモンド同士が強固に結合するため、非常に硬質かつ高強度に構成される。また、ダイヤモンド焼結体は電鍍ブレードと比較して相対的にダイヤモンド含有量が多く(例えば、特開昭61-104045号公報を参照)、電鍍ブレードと比較すると相対的に強度が大きい。

[0286] また、ブレード材料内部の多くがダイヤモンドで占められているために、ダイヤモンド体積よりも、それ以外の部分(焼結助剤含む)の方を小さくすることが可能となり、ダイヤモンド焼結体の場合、仮に粒径が大きくてもダイヤモンド粒径の隙間を実質的にミクロンオーダーにすることが可能になる。

[0287] また、ダイヤモンド砥粒の間の凹み部分が本発明では極めて重要な役割を果たす。ダイヤモンド砥粒は非常に硬質であるが、焼結助剤として入れたコバルトは一部はダイヤモンド内に浸透するが、一部はダイヤモンド砥粒間に残っている。この部分はダイヤモンドと比べると硬度的に少し柔らかいので、切断加工において摩耗しやすく少し凹む形になる。すなわち、ダイヤモンド同士に挟まれた部分があって、その間の凹みを微小な切れ刃にすることで、過剰な切り込みを与えることなく、安定した切り込みを得ようとしているものである。また、微小な切れ刃は、ダイヤモンド同士に挟まれた凹みのみ

ならず、ダイヤモンド粒子自体が欠落してできた凹み部分も切れ刃として作用させることもある。この切れ刃間隔は、先の式に示した一つの刃あたりの臨界切入深さを超えない程度の間隔に設定しておけばよい。

[0288] 例えば、 $25\mu\text{m}$ 粒径のダイヤモンド砥粒を焼結で固める場合を考える。ここでは分かりやすくするために、ダイヤモンド砥粒は $25\mu\text{m}$ 四方の立方体であるものと仮定する。ダイヤモンド砥粒同士を結合するために、 $25\mu\text{m}$ の外側で両側 $1\mu\text{m}$ の部分を別の粒子と結合するための結合部分として利用するものとする。すると、 $27\mu\text{m}$ 四方の立方体となる。その場合に、ダイヤモンド砥粒部分が締める体積率は78.6%程度になる。よって、80体積%(vol%)以上程度のダイヤモンド含有量があれば、たとえ、 $25\mu\text{m}$ 粒径のダイヤモンド砥粒であっても、そのダイヤモンド砥粒間の隙間、すなわち粒子間隔は実質せいぜい $1\sim 2\mu\text{m}$ 程度となり、その凹み部分が切り込みを与えるための切れ刃（微小切れ刃）となる。また、 $2\mu\text{m}$ 程度の粒子間隔であれば、その粒子間隔においてそのピッチの粒子がワーク材料に押し込まれたとしても、そのワーク材料の変位はダイヤモンド砥粒の間隔と比べて1桁以上小さくなる。

[0289] すなわち、 $0.15\mu\text{m}$ かそれ以下となる。また、 $25\mu\text{m}$ ピッチで切れ刃（微小切れ刃）が形成されているとして、 50mm のブレード径の場合、全周約 157mm あたり6280個の切れ刃が形成されている。仮にブレードを 20000rpm で回転させるとして、1秒あたりに切れ刃は、209333個作用させることができる。

[0290] この1つの切れ刃が $0.15\mu\text{m}$ 以下の切り込みを入れて、仮にその $1/5$ である $0.03\mu\text{m}$ ほど、1秒あたりに除去するとする。そうすれば、209333個の微小切れ刃であれば1秒あたり、 $62799\mu\text{m}$ ほど除去可能となり、理論上、一秒あたり6cm程度切り進めることが可能となる。

[0291] こうした点からも、理論上、 $25\mu\text{m}$ 粒径のダイヤモンド砥粒であっても、80%以上のダイヤモンド含有量を有しておれば、ダイヤモンド砥粒同士が結合している隙間の部分は $1\sim 2\mu\text{m}$ 程度となり、その結果、過剰な切り込み量を与えることなく、安定した切り込み量として $0.15\mu\text{m}$ とすることが可能となる。

[0292] また、ダイヤモンド砥粒の粒径が $25\mu\text{m}$ ではなく、それ以下であっても、ダイヤモンド含有量を80%以上とすれば切り込みや材料除去量の点において、臨界切り込み深さを越えることがないため問題はなく、クラックを発生することなく延性モードでの加工を行うことが可能となる。

[0293] 以上のように、ダイヤモンド焼結体の場合、ダイヤモンド砥粒（ダイヤモンド粒子）間が密に詰まっているため、ダイヤモンド含有量が非常に高く、個々のダイヤモンド砥粒がそのダイヤモンド砥粒のサイズの切れ刃として作用する。

[0294] また、ダイヤモンド砥粒の粒径と比較して、ダイヤモンド砥粒間の距離が格段に小さくなり、切り込み量として正確に制御することが可能となる。その結果、切り込み深さが所定の当初目標とした切り込み深さ以上に大きくなることはなく、加工中絶えず安定した切り込み深さを保証する。その結果、ミス無く、延性モードの切断加工を行うことが可能となる。

[0295] なお、 $25\mu\text{m}$ 程度の大きい粒径では、ダイヤモンド砥粒の含有率をさらに多くすることができ、通常市販されているものであれば93%程度の含有率（ダイヤモンド含有量）のものがある。そうであれば、なおさら、焼結助剤の割合が減少し、すなわち、ダイヤモンド砥粒同士の隙間は、実際微小になる。

[0296] ただし、 $25\mu\text{m}$ 以上の大きい粒径のダイヤモンドを使用する場合、先に述べたように切れ刃間隔としては、延性モード加工を行う上で十分なのであるが、一方でブレードの刃厚を $50\mu\text{m}$ 以下とする場合には、そうした大きい砥粒では製作することはできない。

[0297] なぜならば、たとえば、 $40\mu\text{m}$ の刃厚で製作する場合は、少なくともブレード断面に二つ以上のダイヤモンド砥粒を要していないとならないが、理論上二つ入らず、1.6個となるからである。

[0298] [ワーク材料の変形を考慮したブレードの刃厚について]

延性モードの加工を安定して行うためには、前述したように、深さ方向においては切り込みを $0.15\mu\text{m}$ 程度以下にする必要がある。この切り込みを安定的に行うためには、切り込み幅から考慮されるワーク材料の厚み方向変位（

縦方向変位)も考慮しなくてはならない。

[0299] すなわち、広い範囲でブレード面（ブレード26の回転軸に垂直な面）に平行な方向に切り込みを入れて除去する場合、それに伴うワーク材料の変形は縦方向(切り込み深さ方向)にも広がる。すなわち、ワーク材料のポアソン比を考慮して、ある程度有限の切り込み幅とする必要がある。なぜなら、極端に切り込み幅を大きくすると、ポアソン比の影響による材料変形で縦方向にもその変形余波が及んでしまう。これにより、所定の設定した臨界切り込み深さ以上の切り込み量が入ってしまい、結果的にワークWの割れを誘起することがあるためである。

[0300] ここで、ポアソン比の影響を考慮した場合に安定的に切り込みを与えることができるブレードの刃厚（ブレード幅）について検討する。表4は、脆性材料のヤング率とポアソン比との関係を示したものである。

[0301] [表4]

ワーク材料	ヤング率 [Gpa]	ポアソン比
シリコン	130	0.177
石英	76.5	0.17
サファイア	335	0.25
S i C	450	0.17

[0302] ここでは、1つの切れ刃がワーク材料に切り込むものとする。また、細いストレートなブレード先端は、特段恣意的に鋭利化するものではなく常に加工すると、断面形状は略半円形になるものとする。

[0303] そうした場合、例えば $0.15\mu\text{m}$ の切り込みを直方体状のもので与えるとすれば、略 $1\mu\text{m}$ 程度の幅で平行に切り込みを与えると、ポアソン比によれば、付随的に縦方向に単純に $0.17\mu\text{m}$ 程度変位することになり、これは実際の切り込み量近くになる。実際は、ポアソン比の影響は縦変位のみならず、水平方向にも及ぶため、概算で $1\mu\text{m}$ 程度の幅であれば切り込み量として与えることができる。

[0304] しかし、図18に示すように、略半円状のブレード先端（ブレード外周端部）をワーク材料に対して $0.15\mu\text{m}$ 切り込む場合は、その幅として平行に一様

に変位させているわけではないので、外周の立ち上がりを考慮すると、約 $5\mu\text{m}$ の円弧状の幅であればポアソン比の影響を受けずに切り込むことが可能となる。すなわち、 $R\sin\theta=2.5$ となり、 $R(1-\cos\theta)=0.15$ となる。

[0305] これを逆算すると、先端部分のブレード半径は約 $25\mu\text{m}$ 程度となり、上記 $5\mu\text{m}$ 幅の切り込みを与える頂角は12度程度になる。

[0306] よって、材料に切り込むブレードの幅としては、約 $50\mu\text{m}$ 以内には抑えておく必要がある。それ以上となると、各点平面的に同時に材料に作用することになり、時として微小なクラックを誘発することにつながる。

[0307] なお、それ以上の曲率、すなわち、 $30\mu\text{m}$ 程度のブレード厚みであれば、基本的に上記の状態よりも局所的に切れ刃が作用するため、基本的に切れ刃の横幅が切り込み深さに影響を及ぼすことはなく安定的に切り込むことができる。

[0308] なお、ブレードの幅については、延性モードの加工を行う上での観点もあるが、ブレード単体の座屈強度とも大きく関係する。

[0309] 上記ブレードの幅は、ワーク厚みからも制限を受ける。

[0310] ここで、ブレードの幅とワーク厚みの関係を示す。

[0311] ワークは、一般的にはダイシングテープに支えられている。ダイシングテープは弾性体であるため、ワークのような硬い材料とは異なり、少しの応力で多少なりとも縦方向(Z方向)に変位しやすい。ここで、ワークをブレードで切断する際には、ワーク内の切断される部分の断面形状、図19Aに示される斜線部分が重要になる。

[0312] ブレード接触領域 l がワーク厚み h よりも大きい $l>h$ の場合、図19Bに示すようにブレードが接する部分(加工除去される部分)は横長の長方形になる。こうした除去対象の断面部分が横長の長方形になる場合においては、上部から分布荷重が作用すると、撓みによって弓なりに曲がる状態が発生し、その撓みの最大変位は以下となる。(実際は板の撓みではあるが、単純に梁の問題と考え分布荷重が作用と仮定)

[0313]

[数8]

$$y_{\max} = y_{x=l/2} = \frac{5\omega l^4}{384EI}$$

[0314] 断面が奥行き b で高さ h の長方形梁の場合、

[0315] [数9]

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

[0316] であるため、上式は以下となる。

[0317] [数10]

$$y_{\max} = y_{x=l/2} = \frac{5\omega l^4}{32Ebh^3}$$

[0318] 最大撓みは、梁の中央部分で、ワーク厚み h の3乗に反比例し、ブレード接触領域 l の4乗に比例する。

[0319] 特に、 $(l/h)^3$ において、 l/h が1を境にして、 l/h が1より小さくなれば撓みは格段に小さくなり、逆に l/h が1より大きくなれば撓みは格段に大きくなる。これより、ブレード厚み(ブレード接触領域) l とワーク厚み h の相対的な厚みの形状で撓みが発生する場合と、発生しない場合が分かれる。

[0320] このブレード接触領域がワーク厚みよりも大きい場合($l > h$)、ワークは接触領域内で撓みが発生するが、ワークが撓む場合、断続的に面内で上下に撓みによるワークの振れの振動が発生し、所定の切込みを達成できなくなる。結果的にワークの縦方向の振動でブレードから致命的な切込みが与えられ、ワーク表面に割れが発生する。

[0321] よって、特に本発明のPCDブレードによる加工では、クラックフリーの加工を行うため、所定の切込み深さを安定して忠実に守る必要がある。そのためには、切れ刃間隔制御による切込み深さを設定する他にも、ワークそのもの

の加工時における縦振動を抑えることで、所定の切込みを精度よく確保しなければならない。

[0322] そのためにも、ブレード厚みは、図 19C に示すように対象ワークの厚みよりも薄くしなければならない。

[0323] 例えば、ワーク厚みが $50\mu\text{m}$ 以下の場合は、ブレードの幅は当然 $50\mu\text{m}$ 以下にする必要がある。

[0324] この場合には、ワークは接触領域内で撓むことはない。一方、接触領域内で屈曲ないしは圧縮させる応力が働くが、ワークは横方向には密な連続体でポアソン比により変形が拘束される。そのため、局所的にはワークから反力としてブレードから与えられた応力に作用し、結果的に、割れを発生することなく所定切込みでの加工が可能となる。

[0325] [従来のブレードとの比較]

特許文献 1 にあるような電鍍ブレードの場合、ダイヤモンドを分散させ、その上からメッキを行うため、ダイヤモンドはまばらに存在し、しかもそれらは突き出した構成となる。その結果、突き出した部分は、当然のように過剰な切り込みを与えてしまうこともあり、脆性破壊を誘発する。なお、溝の底部や側面部も連続している部分は、ワーク材料も互いに密に構成されているため、すぐさまクラックは入りにくい、ブレードが抜ける部分が最もクラックや割れが入りやすい。それは、ブレードが抜ける際に、バリがでることと同じであり、ワーク材料は連続ではなく支えがないからである。

[0326] また、特許文献 2 のブレードの場合は、CVD 法で成膜されているために、突出したクラックはない。ただし、ブレード端部の切れ刃の配列、ブレード側面部の平面状態やうねりなど、制御することは不可能である。特に、ブレード側面部に限れば、成膜時の膜厚むらはそのままブレードの厚みむらに相当する。また、成膜の表面そのものは無垢な面であるため、材料側面と完全に接触して摩擦熱を誘発することや、微妙なうねりがあり、そのうねりで材料を叩き割ることもある。

[0327] それに対して、本実施形態のブレード 26 では、軟質金属の焼結助剤を用

いて焼結されたダイヤモンド焼結体で一体的に構成されるため、ブレード外周端部とブレード側面部を摩耗処理で成形することが可能となる。特にブレード外周端部は切れ刃となるため、前述のように、所定の切れ刃とするためにさらに摩耗処理条件を変更することも可能である。一方、ブレード側面部の役割としては、切り屑を排除することがまず第一にあるが、ワーク側面との接触を加味すると、ある程度の接触しつつも、過度に接触せず、安定してワーク側面を微小に削る程度にブレード側面部が荒らされていることが望ましい。

[0328] このようにブレードの外周端部と、ブレード側面部をそれぞれその状態に応じて所望の表面状態を設計し、そのような表面に製作できることについていずれの引用文献の技術も不可能である。

[0329] なお、スクライビングで使用されるブレードの場合、以下のような理由から延性モードでの加工には適さない。

[0330] すなわち、スクライビングでは、ブレード自体を回転させるわけではないので、等間隔に揃った微小な切れ刃自体が必要になるものではない。また、たとえ、切れ刃があったとしても、ミクロンオーダの結晶粒界に沿った微小切れ刃でなく、大きい切れ刃とする場合、高速回転のダイシングでは材料にクラックを与えてしまい到底使用することはできない。

[0331] また、結晶粒界に沿った微小な切れ刃をもつブレードをスクライビングで使用しても、その微小な切れ刃はスクライビングのクラックを与える切れ刃として機能するものではない。

[0332] また、スクライビングは、ブレードを鉛直方向に押圧する。そのため、ブレード内を通す軸に垂直下方向に応力を与え、ブレードを軸に対して滑るように構成する。軸とブレードを固定して使用するものではないため、軸に対するブレードのクリアランスは低く、また、ブレード自体が高速回転しないので、ブレードの片側面に基準面を設ける必要もない。

[0333] また、 $50\mu\text{m}$ 以下、とりわけ $30\mu\text{m}$ 以下の細い刃先のスクライビング用のブレードを製作しても、ブレードは薄い軸受けで受け、またブレードの片側面

に広い面で受ける基準面が存在しないため、ワークに対する精度良い真直度を確保できない。その結果、細い刃先のブレードは座屈変形してしまうことになり使用できない。

[0334] [ブレードの強度について]

次に、ブレード材料の強度(弾性率)とワーク材料の強度(弾性率)の関係について述べる。

[0335] ブレードがワークに一定量切り込んでそのまま切り進めるためには、ブレード材料はワーク材料に対して大きい強度が必要となる。仮に、単純にブレード材料がワーク材料に対して軟らかい材料、すなわちヤング率の小さい材料で構成されていた場合、極細いブレード先端部分をワーク表面に作用させ、ブレードを進めようとしても、ワーク材料が高弾性率の部材であればワーク表面を微小に変形させることができず、それを無理に変形させようとすると、ブレード自体が座屈変形する。そのため、結果的に加工が進行しない。ここで、両端支持の長柱の座屈荷重 P は次式で与えられる。

[0336] [数11]

$$P = \frac{\pi EI}{l^2} \quad \dots (2)$$

[0337] なお、 E :ヤング率、 I :断面二次モーメント、 l :長柱の長さ(ブレード径に対応)とする。

[0338] 仮に、ワーク材料より低い弾性率を有するブレードの場合、ブレードの座屈変形を抑えながら加工を進展させるのであれば、座屈変形しない程度の断面二次モーメントが必要となり、具体的にはブレード厚みを分厚くせざるを得ない。しかし、特に脆性材料を加工する場合でブレード厚みがワーク厚みより厚い場合、ワーク材料表面を変形させ押し割ってしまう。よって、ブレード厚みはワーク厚みよりも薄くしなくてはならない。

[0339] そうすれば、結果的には、ブレード材料はワーク材料よりも高弾性率のものを使用しなくてはならないことになる。

[0340] こうした関係は、従来の電鍍ブレードと本実施形態のブレード 26 との差

に相当する。すなわち、電鍍ブレードは、ニッケル等の結合材で結合しており素材的にはニッケルベースとなる。ニッケルのヤング率は219GPaであるが、例えばSiCは450GPaである。ニッケルに電着されているダイヤモンド砥粒自体は970GPaであるが、それらは個別に独立に存在するため、結果的にニッケルのヤング率に支配される。そうすれば、原理上、ワーク材料が高弾性であるため、付随的にブレード厚みを増して対応しなくてはならない。その結果、電鍍ブレードの厚みを太くして接触面積を大きくすることを余儀なくされ、クラックや割れを誘発することになる。

[0341] これに対して、本実施形態のブレード26の場合、ダイヤモンド焼結体のヤング率はダイヤモンド同士が結合しているため、700~800GPa相当である。これは、ほとんどダイヤモンドのヤング率に匹敵する。

[0342] ここで、ブレード26の弾性率がワークWの弾性率に比べて大きい場合、ブレード26は切り込みを与えた際に、ブレード26ではなくワークW側の表面が変形することになる。ワークW側が変形したまま、そのまま切り込みを入れて加工除去していくことが可能となる。しかも、その過程でブレード26が座屈変形することはない。よって、非常に鋭利なブレード26であっても、座屈することなく加工を進めることが可能となる。

[0343] 表5に各材料のヤング率を示す。表5から明らかなように、ダイヤモンド焼結体(PCD)は、サファイアやSiCなどの大抵の材料と比較しても格段にヤング率が高い。このため、ワーク材料厚みより細いブレードであっても加工することが可能となる。

[0344]

[表5]

材 料	ヤング率 [GPa]	ビッカース硬さ Hv
シリコン	130	1050
石英	76.5	1100
サファイア	335	2300
SiC	450	2300
ニッケル	219	600
銅	129.8	369
PCD	700～800	8000～12000

[0345] 次に、ワーク材料とブレード材料の硬度の関係を述べるが、高度の関係も先の弾性率と同様である。

[0346] ブレード材料の硬度がワーク材料の硬度に比べて低い場合、例えば電鍍ブレードの場合は、ダイヤモンドを軟質の銅やニッケルが支えている。表面のダイヤモンド砥粒は非常に硬度が高いが、その下でダイヤモンド砥粒を支えているニッケルの硬度は、ダイヤモンドと比較すると極めて低い。よって、ダイヤモンド砥粒に衝撃が与えられると、その下のニッケルが衝撃を吸収することになる。結果的に、電鍍ブレードの場合はニッケルの硬度が支配的になるため、結果、硬質のダイヤモンド砥粒がワーク材料に衝突し、ワークに切り込みを与えようとしても、結合材がその衝撃を吸収するため、結果的に所定の切り込みを与えることが難しい。よって、加工を進行させるためには、ある一定以上のブレード回転数をダイヤモンドに衝撃的に与えないことには加工が進まない。また、この際にニッケルに一瞬衝撃が吸収され、その反力がダイヤモンド砥粒にのって大きな力でワーク材料を押圧するため、ワーク材料を脆性破壊させてしまう。

[0347] それに対して、本実施形態のブレード26の場合、ダイヤモンド焼結体はダイヤモンド単結晶に匹敵する硬度を有し、サファイア、SiCなどの硬脆性材料と比較しても格段に高い硬度である。その結果、ダイヤモンド焼結体の表面に形成される凹部からなる切れ刃（微小切れ刃）がワーク材料に作用しても、その衝撃はそのまま微小な切れ刃部分に局所的に作用し、鋭利な先端

部分と相まって、極微小部分を精度よく除去加工することが可能となる。

[0348] [ブレードの切れ刃付けについて]

次に、ブレードの切れ刃付けについて説明する。

[0349] 上述した実施形態では、レーザ光（パルスレーザ）を用いてブレード外周端部に切れ刃付けを行う方法として、ブレード面（ブレード26の回転軸に垂直な面）の法線方向（ブレード法線方向）からレーザ光を照射することにより切れ刃を形成している。

[0350] しかしながら、本発明者らが鋭意検討したところ、上記のような切れ刃付けの方法では、レーザ光が照射されていない逃げ面で磨耗が進行し、切れ刃は比較的早期に摩滅してしまうことが判明した。

[0351] そこで、さらに検討を重ねた結果、レーザ光をブレード法線方向ではなく、ブレード面に平行な方向（ブレード接線方向）から照射することにより、ブレード外周端部には、掬い面と逃げ面を有する切れ刃が周方向に沿って連続して形成され、安定した加工を実現することできるようになった。以下、本発明のより好ましい態様について説明する。

[0352] まず、先の説明と一部重複するが、本発明に係るブレード（PCDブレード）の切れ刃付けの考え方と従来の砥石との違いについて説明する。

[0353] 図23A及び23Bは、従来の砥石と本発明に係るブレードによる砥石切れ刃に関する違いを示す模式図である。従来の一般砥石は、図23Aに示すように、砥粒と結合材で構成される。目詰まりや砥粒の摩滅を防ぐには、結合材を削りながら自生発刃させることで切れ味を確保する。それに対し、本発明に係るブレード（PCDブレード）は、図23Bに示すように、80%以上（例えば、約90%）のダイヤモンド砥粒と極微量の焼結助剤で一体的に焼結した一様なPCD素材で構成される。PCDは、一般的に切削工具として使用されてきたが、本発明では、一様なPCD表面にパルスレーザで恣意的に刻みをつけ、切れ刃を等間隔に恣意的に形成することで、延性モード加工を行う砥石として機能させる。切れ刃は、砥粒径とは関係なく独立して設定できることから、切れ刃サイズが砥粒径と同じになる従来の砥粒番手の概念とは全く異

なる。

[0354] 仮に、PCDブレードではなく、結合材で砥粒を保持して形成された従来の砥石（例えば、ニッケル等の電鍍ブレード、ビトリファイド、レジンブレード）にレーザ加工を施した場合、結合材とともに砥粒（ダイヤモンド砥粒）も同時に吹き飛ばされる。このときの様子を図24に示す。ダイヤモンド砥粒は600℃でグラファイト化する一方、例えば結合材のニッケルの融点は1455℃であり、酸化したニッケルの融点は1900℃である。そのとき、ダイヤモンド砥粒はグラファイト化するが、ニッケルは酸化して残り、内部の硬質なダイヤモンド砥粒を覆う場合がある。そのまま砥石として加工すると、表面にダイヤモンド砥粒がなく、酸化ニッケルが支配的となるため、レーザ光を照射した部分がそのままダイヤモンド砥粒のエッジとして機能しない。

[0355] すなわち、レーザの当て方などで、掬い面や逃げ面を形成できるものではない。基本的に結合材を除去して下地の新しい砥粒を発生する原理にとどまり、レーザ照射そのものが切れ刃を形成するといった原理に属するものではない。

[0356] こうして形成した表面は、基本的にレーザ光によって、切れ刃間隔を形成されたものではない。なぜなら、ある周期でレーザ光を照射したとしても、その照射されたピッチで形成された凹凸の凸部は、ダイヤモンド砥粒が存在せず、切れ刃としての機能を果たさないからである。単純に、結合材を削り取って下地の新しいダイヤモンド砥粒を出しやすくしているだけである。

[0357] 結局、切れ刃間隔は、下地のダイヤモンドの砥粒や集中度に依存した形となり、レーザ光のパルス周期と関係ない。すなわち、レーザ光のパルス間隔などによるレーザ痕の間隔が、切れ刃の間隔にならない。これは、本発明に係るブレード（PCDブレード）をレーザ光の照射によるドレッシングを行って切れ刃を形成することとは全く異なる原理で、単に表面の結合材をレーザ光の照射によるジュール熱で溶かしているに過ぎず、レーザ光のパルス間隔で形成した凹凸を切れ刃として利用するものではない。

[0358] 一方、本発明に係るブレード（PCDブレード）は、ほとんどがダイヤモンド砥粒で構成されているために、レーザによって局所的に熱せられて昇華する。このときの様子を図25に示す。同図に示すように、レーザ光が照射されると、ブレードを構成するダイヤモンド砥粒の一部がグラファイト化して残るが、これは物理的にもろく、加工中で容易に剥がれ落ち、その下にあるダイヤモンド砥粒が作用する。レーザ光（レーザビーム）の照射角度、強度や集光手段にもよるが、ブレード外周端部（砥石表面）に、ブレードのワークに対する進行方向に略垂直な稜線をもった尖った形状が形成され、その稜線部分はほとんどがダイヤモンド砥粒で形成される。その結果、ブレードの進行方向に対して稜線を境として掬い面と逃げ面が形成され、これが切れ刃に相当する。

[0359] ブレードを回転させながら切れ刃加工する場合、レーザ光のパルス周期やブレードの回転数を変えることで、切れ刃間隔を調整することができる。従来の砥石の場合、通常番手（砥粒径）や集中度で、一つの切れ刃の切込み量や切れ刃間隔を変化させる。しかし、本発明のように、ダイヤモンド焼結体をレーザ光で切れ刃付けする方法では、こうした番手や集中度に相当するパラメータをレーザ光のパルス周波数や出力、パルス幅で調整することによって任意の形態の切れ刃サイズを構成できる。これは、各ワークの切込みをワーク毎に一つの素材（PCDブレード）で自由に設定できることを意味する。なお、ダイヤモンド焼結体の場合では、ダイヤモンド砥粒（ダイヤモンド粒子）を大きくすると、硬度は増すが靱性は低下する。靱性を増すためには、ダイヤモンド砥粒を微粒化して焼結助剤の含有量を少し多くするとよい。通常、80%以上のダイヤモンド含有量は必要だが、ダイヤモンド焼結体の硬度を保ちつつ靱性を確保しながら、レーザ光で切れ刃付けした際に切れ刃の先端のダイヤモンド硬度を確保する場合は、70vol%以上、可能ならば70vol%を超えたダイヤモンド砥粒で構成することが必要となる。

[0360] なお、70vol%より多いダイヤモンド砥粒を焼結して構成されている製品には、トーマイダイヤ社製TDC-HM80, TDC-GM80などがありこれらの素材も好適に

使用できる。

[0361] また、通常、研削において電鑄などの場合の砥粒分布は平均的に切れ刃を設定することはできても、ローカルな箇所では砥粒分布の濃淡などにより調整することはできない。しかし、レーザ光（パルスレーザ）による切れ刃形成は、先に述べたように延性モード加工を実現するための必須条件になる。ローカルな場所でも理論通りにブレードの外周端部に周方向に沿って等間隔の切れ刃を形成することは、一つの切れ刃の切込み量を厳密に制御することにつながり、理想的な延性モード加工を実現し、鏡面加工を行うことが可能となる。

[0362] ところで、上述した実施形態では、ブレード外周端部への切れ刃付けを行う方法として、図26に示すように、レーザ光を用いて、ブレード法線方向からレーザ光を照射することにより切れ刃を形成している。図27に、レーザ光（パルスレーザ）による切れ刃付けと逃げ面磨耗の状態を示す。同図から分かるように、ブレード法線方向からレーザ光を照射することにより切れ刃を形成する方法では、長期間にわたって安定して使用する場合には、次のような問題があることが明らかになった。

[0363] まず、1つ目の問題としては、レーザ光の入側と出側で穴径が変わることである。図27に示すように、入側の方がどうしても穴径が広くなり、出側で穴径が小さくなる傾向がある。この場合、加工ではレーザ光の入側と出側で切削抵抗が異なることに対応し、ワークWの割れにつながりやすい。

[0364] また、2つ目の問題は、切れ刃が早く磨耗していくことである。これは、切れ刃を形成した際に、その切れ刃と切れ刃の間は、フラットのままだになる（図22参照）。そのときにワークとこすれて磨滅しやすくなってしまう。特に切れ刃部分の切り屑がそのまま巻き込まれながら、フラットの部分に入り込み、さらに先端部の磨滅が早まることになる。図27にも示すように、使用前（図27の左側の写真）と使用後（図27の右側の写真）で穴がない先端部分の磨滅が早まることになる。また、使用前と使用後で穴がない先端部分の磨滅が早急に進行し、磨滅で光っていることが分かる。これは、逃げ

面磨耗に相当し、逃げ面が存在しないために、その逃げの部分が摩滅することになる。

[0365] 同じレーザで加工するにも、切れ刃を形成する上で逃げ面を形成することは非常に重要となる。本発明のより好ましい態様では、図28に示すように、ブレード面に平行な方向（ブレード接線方向）からレーザ光を入射し、すなわち加工対象のブレードの進行方向に沿ってレーザ光を入射し、掬い面と逃げ面を有する切れ刃をブレード外周端部の周方向に沿って連続的に形成する。ビーム状のレーザ光（レーザビーム）による加工の場合、図29に示すように、ブレード接線方向にレーザ光を入れることでレーザ光が照射された部分は掬い面となり、途中のレーザ光が通過した部分は逃げ面になる。このようにして、ブレード面内に掬い面と逃げ面が形成され、その間に稜線が生じて切れ刃に相当する形になる。

[0366] こうして形成された、ブレード外周端部に一定の間隔の稜線が形成され、その稜線を境に掬い面と逃げ面を形成すること自体は、ブレード面の横から、すなわち、ブレード面の法線方向からレーザを照射して形成した方法とは、作用効果が全く異なる。所定の切込みを安定して入れるには、逃げ面が形成されていることが非常に重要になっている。

[0367] また、掬い面と逃げ面を形成する際にも、レーザ光のようにビームで形成することに非常に意義がある。ビームで形成する場合、ブレード面の法線方向からレーザ光を照射することにより切れ刃を形成すると（図26参照）、ビーム特性上、ビームが入射する手前は大きく穴が開くが、出口側は、穴径は小さくなり、結果的にブレードの通過・進行方向に対してきれいに垂直な切れ刃ができない。

[0368] それに対し、レーザ光のビームをブレードの運動する方向に迎え撃つ形で平行かつ低角度で照射した場合、掬い面と逃げ面をきれいに形成できる。また、ビームの入射先端が掬い面の形成に寄与し、ビームの側面部が逃げ面を形成することに寄与する。掬い角は小さい負の角であることが望ましいので、ブレード面に対して仰角を低い角度で入射させることと切り立った掬い面

ができる。すなわち、ビームの直進性という特性を利用することで、掬い面と逃げ面を形成することが可能となるのである。

[0369] 以上のように、ブレード法線方向ではなく、ブレード接線方向からレーザー光を照射することにより切れ刃付けを行う態様によれば、ブレード外周端部に掬い面と逃げ面を有する切れ刃を周方向に沿って連続的に形成することができる。

[0370] 以下、図28に示した構成を用いて、PCDブレードに切れ刃付けを行ったときの実施例について説明する。なお、ブレードは、図28において右回転で使用する。また、このときのレーザー加工条件は、以下のとおりである。

[0371] レーザ光の波長 1060-1070nm

レーザー光の周波数 100kHz

レーザー光の出力 6W

送り速度 300mm/s

レーザー光の入射角 30度

図30に、ブレード接線方向からレーザー光を照射することにより切れ刃付けを行った結果を示す。図30に示すように、ブレード外周端部には、ブレード接線方向からのレーザー光の照射によって、掬い面と逃げ面を有する切れ刃が形成されている。したがって、新たに加工されたエッジ部分が、そのまま切れ刃として作用するため、定期的に連続して切れ刃付けを行うことで、砥石の目立てを行うことが可能となる。

[0372] また、上述のように、ブレード接線方向からレーザー光を照射する場合、シリンドリカルレンズを介してレーザー光を照射する態様がより好ましい。

[0373] 図31は、ダイヤモンド焼結体（平板試料）に対してシリンドリカルレンズを介してレーザー光を照射した結果を示す。このときのレーザー加工条件は、以下のとおりである。

[0374] レーザ：100kHz 5ns 6W

シリンドリカルレンズ

加工ビーム形状 80μm（1：7）

1パルスエネルギー $6 / 100 \text{ k } 60 \mu \text{ J}$

レーザ光のパルス幅 5 n s

周速度 $300 \text{ m m } / \text{ s}$

レーザパワー 2.4 W

レーザ繰り返し 40 k h z

(1パルスエネルギー $60 \mu \text{ J}$)

シリンドリカルレンズ（蒲鉾レンズ）を使用することで、レーザ痕を円形ではなく楕円形につくることが可能となる。特に、切れ刃となる溝を、ブレード進行方向に対して垂直方向に細かいピッチで形成するとよい。例えば、上述したレーザ加工条件では、図31に示すように、溝幅が $80 \mu \text{ m}$ に対して、溝ピッチの間隔が約 $10 \mu \text{ m}$ となる。このため、例えば、ブレード幅が $50 \mu \text{ m}$ ブレードの外周端部に対して稜線がブレード回転によるブレード進行方向に対して略垂直になるように形成すればよい。図32は、シリンドリカルレンズを用いてブレード外周端部に切れ刃が形成された様子を示した図であり、ブレード面に平行な方向から見た図である。図32に示すように、ブレード外周端部に急峻な稜線が多数形成されると、それぞれの端面が切れ刃となってワークに作用させることができる。その結果、理想的な延性モード加工を行うことができる。

[0375] [平面砥石への応用について]

先に述べたのと同様の原理で、ダイシングブレードのみならず、平面砥石にも同じ原理が利用できる。すなわち、図33に示すように、回転する平面砥石の進行方向前方から、迎え撃つように傾けてレーザを照射する。その結果、砥石の進行方向に対して、垂直な方向に稜線が形成され、掬い面と逃げ面が形成される。これを平面砥石の回転数を一定にして、一定パルスで照射し、パルス幅を制御すると、切れ刃間隔をコントロールできる。一つの切れ刃の切込み量がワークにクラックを及ぼさない程度に切れ刃間隔を調整することで、安定した延性モード研削を行うことができる。

[0376] また、図33に示すようにレーザ光を砥石の半径方向にスキャンしていく

ことで、平面砥石のリング状の面内に同様の切れ刃を多数形成することができる。

[0377] このようにダイヤモンドを70vol%以上含むことにより、レーザ光の照射によって得られたダイヤモンド焼結体の表面の形態は、そのまま切れ刃として作用し、砥石としての役割を果たす。

[0378] なお、従来よりレーザ光の照射によりドレッシングする公知例は存在するが、それは結合材をレーザ光の照射によるジュール熱によって溶かして除去し、次のダイヤモンド砥粒の目だしを行うことが目的であった。しかし、本発明の場合は、レーザ光でダイヤモンド焼結体そのものを荒らし、掬い面と逃げ面とを形成して、表面に形成された荒さそのものを切れ刃として機能させる。

[0379] また、従来、砥石には砥粒の粒径によって切れ刃サイズを変化させ、砥粒番手という形で考えられていた。本発明の場合は、切れ刃サイズはレーザ照射間隔に依存するので、砥石に含まれる砥粒の粒径は関係ない。すなわち、砥粒番手という概念は存在しない。また、レーザの照射方向によっては、一つ一つの切れ刃に掬い面や逃げ面を形成でき、効率的な研削加工を実現する。

[0380] 以上説明したように、本実施形態のブレード26によれば、ダイヤモンド砥粒82の含有量が80%以上からなるダイヤモンド焼結体80によって円板状又はリング状に一体的に構成され、このブレード26の外周部にはダイヤモンド焼結体の表面に形成された凹部からなる切れ刃（微小切刃）が周方向に沿って連続的に配列された切刃部40が設けられる。このため、従来の電鑄ブレードに比べて、ワークに対するブレード26の切り込み量を高精度に制することが可能となる。その結果、脆性材料から構成されるワークに対しても、ブレード26の切り込み量をワークの臨界切り込み量以下に設定した状態で切り込みを行うことにより、クラックや割れを発生させることなく、延性モードで安定して精度良い切断加工を行うことができる。

[0381] また、ダイヤモンド焼結体80の表面に形成された凹部は、ワークWを加

工する際に生じる切り屑を搬送するポケットとして機能する。これにより、切り屑の排出性が向上するとともに、加工時に生じる熱を切り屑とともに排出することが可能となる。また、ダイヤモンド焼結体80は熱伝導率が高いので、切断加工時に発生する熱がブレード26に蓄積されることがなく、切断抵抗の上昇やブレード26の反りを防ぐ効果もある。

[0382] ブレードの材質として、上記において、ダイヤモンド砥粒を焼結して形成されたダイヤモンド焼結体によって、円板状に一体的に構成されるブレードを示した。

[0383] しかし、ワークが磁性材料などの鉄系の材料とする場合は、ダイヤモンド砥粒ではなく、CBN砥粒を使用した焼結体(PCBN: Poly-crystalline Boron Nitride)が好適に使用できる。

[0384] PCBNもPCDとほとんど同じ製法で製造される。すなわち、PCBN砥粒を圧力容器に入れて、高温高压化で焼成することにより、PCDと同様にPCBNは完成される。

[0385] 焼結体のPCBNとして、汎用的な商品は、住友電工ハードメタル社製のスミボロンがある。スミボロンBNC200やBNC300はCBNを80%以上含み、PCDと同構成で、PCDに次ぐ硬度を有する。(PCDはHv8600に対し、CBNは約Hv5000) (Hvはビッカース硬度) 熱伝導率もPCDでは1000W/mK有するが、PCBNも200W/mKの熱伝導率を持つ。

[0386] PCBNの別なる汎用商品としては、エレメントシックス社のPCBN焼結体として市販されているDBW85、AMB90、DBS900なども好適に使用される。DBW85ではCBN砥粒を85%、AMB90ではCBN砥粒を90%、DBS900ではCBN砥粒を90%含有している。

[0387] これらCBN砥粒を80%以上の割合で含有し、高温高压化で焼結した砥石は、延性モード加工を行う切れ刃の作用においてPCDと同じ特徴を有する。特にPCBNは焼結体にした場合も、CBN砥粒同士が密に結合されるとともに、その砥粒間の粒界部分が切れ刃となる。

[0388] 本ブレードを試作し、鉄系の磁性材料を加工した結果、PCDは、鉄系ワーク

に溶着して、すぐにダイヤモンド表面が摩滅するため使い物にならないことを確認した。それに対して、CBNで構成したブレードの場合、長い時間、先端部の摩滅が起こることなく、持続的に加工できることを確認した。また、CBNの焼結体で製作したブレードも、単結晶ではなく、砥粒を組み合わせで高温高圧化で焼結した焼結体とすることで、結晶方位性はなくなる。すなわち、円板ブレードのあらゆるところで同じ強度や硬度を有するブレードを提供できる。

[0389] さらに、ブレード円周一周において回転させながらレーザ加工などによる刃付け加工を行うことで結晶粒界に基づく一様な切れ刃間隔を有する凹凸を自動的に形成することも可能となる。その凹凸を有するブレードが高速に回転することで、一定間隔の切れ刃が効率的に作用し延性モード加工を実現する。たとえば、鉄系金属の代表例としてSUS304（日本工業規格で規定するステンレス鋼材料）を加工する実施例としては、以下がある。

[0390] 材料：DBW85、ブレード外径50.8mm、ブレード厚50 μ m、送り速度2mm/s、スピンドル回転数30000rpm、切り込み深さ200mm

こうした条件で、効率よく加工することが可能となる。

[0391] 以上、本発明のダイシングブレードについて詳細に説明したが、本発明は、以上の例には限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良や変形を行ってもよいのはもちろんである。

[0392] （付記）

上記に詳述した実施形態についての記載から把握されたとおり、本明細書では以下に示す発明を含む多様な技術思想の開示を含んでいる。

[0393] （付記1）

ワークを相対的にスライドさせて切断ないしは溝入れ加工するための回転するスピンドルに取り付ける砥石ブレードであって、前記砥石ブレードは、円盤状ないしは円環状で構成され、前記砥石ブレードの加工に寄与する外周端部は、連続した一様なダイヤモンド焼結体で構成され、前記ワークに対する進行方向に対し、ブレードの最外周端に連続かつ一定の間隔の稜線が形成

され、前記稜線を境に掬い面と逃げ面が形成されていることを特徴とする砥石ブレード。

[0394] 付記1の構成によれば、まず円盤状ないし円環状に連続した外周端を有することで、個片化したものではなく、一体物として円形状にダイヤモンド焼結体が構成される。このことから、加工中の温度分布は軸対称の温度分布になる。その結果、先端部分の切れ刃に相当する部分が形成する平面の平面度は乱れることなく向上し、ブレードが回転しても一直線上に作用する。

[0395] 次に、外周端部が一様なダイヤモンド焼結体で構成されている。このことから、ダイヤモンド焼結体に対して周期性を有する加工を施すことで、任意の間隔の切れ刃を形成することが可能となる（周期性を有する加工としては、パルスレーザによる加工がある。）。従来は、砥石の切れ刃を変化させるためには、構成する砥粒径を変えることで、作用する切れ刃サイズを変更していたが、一様なダイヤモンド焼結体であれば、これに任意の間隔や大きさの切れ刃を形成することで、砥粒径とは関係ないピッチの凹凸を形成することができ、これが切れ刃として機能する。

[0396] このように周期性のある加工により、番手とは関係なく、任意の切れ刃を形成できる。特に、従来の砥石で番手の低い（粒径の大きい）砥石を形成しようとした場合に、ダイヤモンド砥粒を大きくした焼結体を使用すると、単結晶ダイヤモンド割合が大きくなり、非常に硬度が上がる一方、砥粒同士に隙間ができ焼結助剤が十分に拡散せず、靱性が低下してしまって欠けやすく脆い砥石になってしまう問題があった。そこで、切れ刃を大きく形成する場合においても小径のダイヤモンドで密に形成した焼結体を形成し、その一様な焼結体の外側に粒径よりも大きい切れ刃を形成することで、見かけ上番手の低い砥石を形成することが可能となる。このように単一の部材で任意の切れ刃を形成でき、その強度も安定させることが可能となる。続いて、最外周端部に一定の間隔の稜線が形成され、その稜線を境に掬い面と逃げ面が形成されるので、効率的な研削加工を実現することができる。

[0397] （付記2）

前記砥石ブレードは、ダイヤモンドの体積含有率が70%以上であることを特徴とする付記1記載の砥石ブレード。

[0398] (付記3)

前記砥石ブレードにおいて、前記等間隔に形成された前記切れ刃の大きさは、ダイヤモンド砥粒より大きいことを特徴とする付記1記載の砥石ブレード。

[0399] (付記4)

前記砥石ブレードにおいて、一定の等間隔で凹状に掘り込まれた切れ刃は、パルスレーザによりブレードを一定回転させながら形成したことを特徴とする付記1～3のいずれかに記載の砥石ブレード。

[0400] (付記5)

前記砥石ブレードにおいて前記砥石ブレードの切れ刃は、前記パルスレーザを、ブレード面に平行かつブレード外周端に向けて照射し、ブレードのワークに対する加工方向に対して、垂直方向に稜線が形成され、掬い面と逃げ面を有する切れ刃を形成したことを特徴とする付記4記載の砥石ブレード。

[0401] (付記6)

前記砥石ブレードの外周端の切れ刃を形成する前記パルスレーザは、ブレード面に平行かつブレード外周端で、外周の接線方向から0度から90度の間の所定の角度で照射し形成したことを特徴とする付記5記載の砥石ブレード。

[0402] (付記7)

前記砥石ブレードの外周端の切れ刃を形成する前記パルスレーザは、ブレード面に平行かつブレード外周端で、外周の接線方向から楕円状に集光してレーザによる切れ目を入れたことを特徴とする付記5記載の砥石ブレード。

符号の説明

[0403] 10…ダイシング装置、20…加工部、26…ブレード、28…スピンドル、30…ワークテーブル、36…ハブ、38…装着孔、40…切刃部、42…ダイヤモンド砥粒、44…スピンドル本体、46…スピンドル軸、48

…ハブフランジ、80…ダイヤモンド焼結体、82…ダイヤモンド砥粒、84…切れ刃（微小切刃）、86…焼結助剤

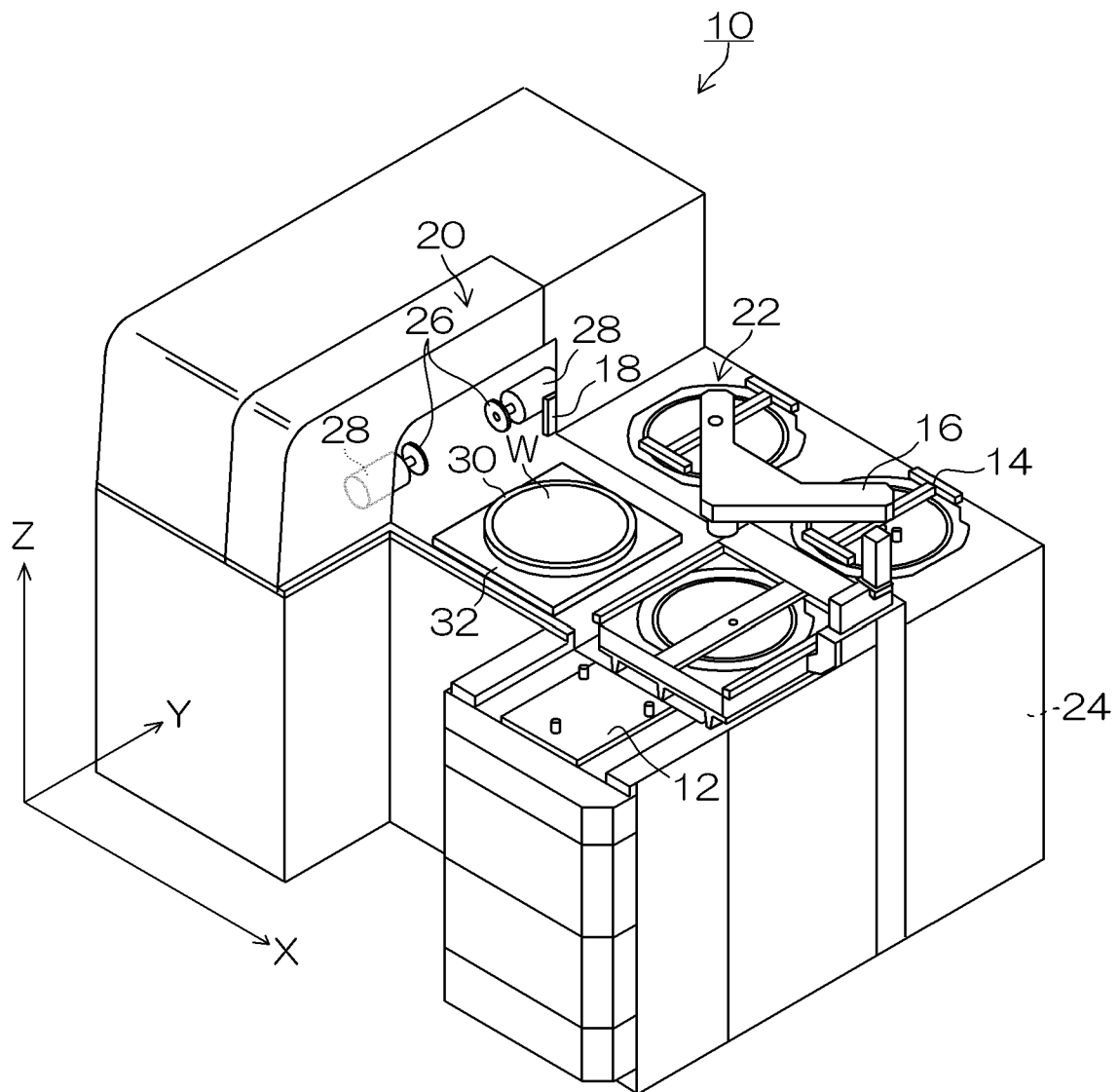
請求の範囲

- [請求項1] 回転スピンドルに装着され、前記回転スピンドルの回転軸周りに回転しながら平面板状のワークを一定の切込み深さで相対的にスライドさせて切断ないしは溝入れ加工するダイシングブレードであって、
- 前記ダイシングブレードは、ダイヤモンド砥粒を焼結して形成されたダイヤモンド焼結体によって円板又はリング状に一体的に構成され、
- 前記ダイシングブレードの外周部には、前記ダイヤモンド焼結体の表面に形成された微小な切れ刃が周方向に沿って連続して設けられている、ダイシングブレード。
- [請求項2] 前記ダイシングブレードの外周部は、前記ダイシングブレードの側面部よりも粗い凹凸面で構成されている、請求項1に記載のダイシングブレード。
- [請求項3] 前記ダイシングブレードの側面部は、前記ダイシングブレードの外周部の切れ刃配列と平行に形成された面からなり、前記ダイシングブレードを前記回転スピンドルに位置決めして固定するための基準面を有する、請求項2に記載のダイシングブレード。
- [請求項4] 前記ダイヤモンド焼結体は前記ダイヤモンド砥粒の含有量が80vol%以上である、請求項1～3のいずれか1項に記載のダイシングブレード。
- [請求項5] 前記ダイシングブレードの少なくともワークに切り込む外周部分に、円周方向に溝を形成する、請求項1～4のいずれか1項に記載のダイシングブレード。
- [請求項6] 前記ダイシングブレードは、切断対象のワーク厚より、ブレード厚が小さい、請求項1～5のいずれか1項に記載のダイシングブレード。
- [請求項7] 前記ダイヤモンド焼結体は、軟質金属の焼結助剤を用いて前記ダイヤモンド砥粒を焼結したものである、請求項1～6のいずれか1項に

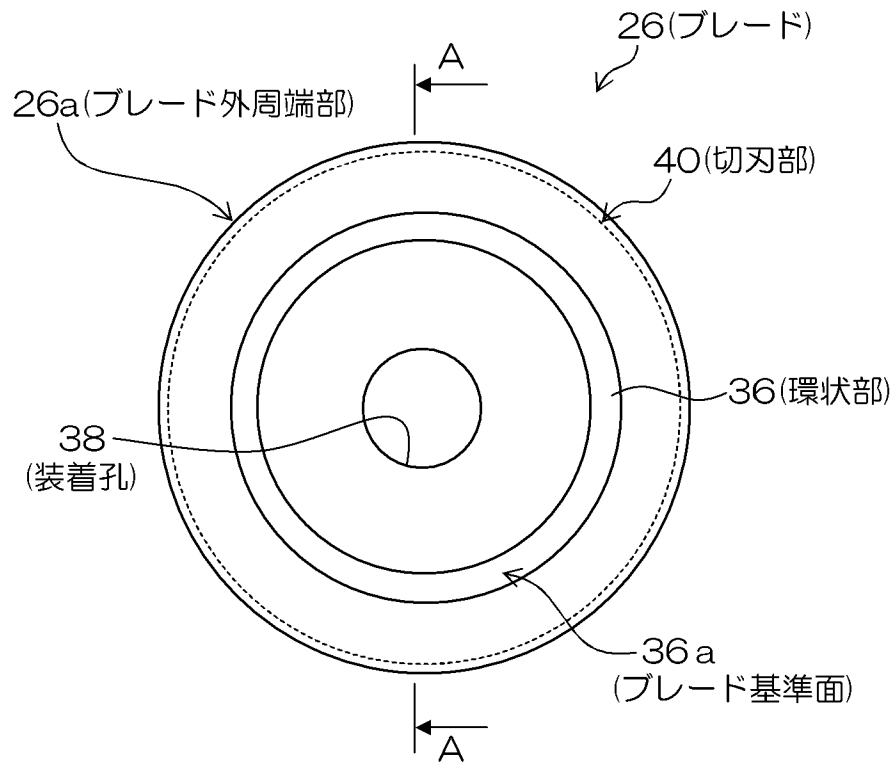
記載のダイシングブレード。

- [請求項8] 前記切れ刃は、前記ダイヤモンド焼結体を摩耗ないしはドレッシング処理することによって形成された凹部によって構成される、請求項1～7のいずれか1項に記載のダイシングブレード。
- [請求項9] 前記ダイヤモンド砥粒の平均粒子径は $25\mu\text{m}$ 以下である、請求項1～8のいずれか1項に記載のダイシングブレード。
- [請求項10] 前記ダイシングブレードの外周部は、前記外周部の内側部分よりも薄く構成されている、請求項1～9のいずれか1項に記載のダイシングブレード。
- [請求項11] 前記ダイシングブレードの外周部の厚さは $50\mu\text{m}$ 以下である、請求項10に記載のダイシングブレード。

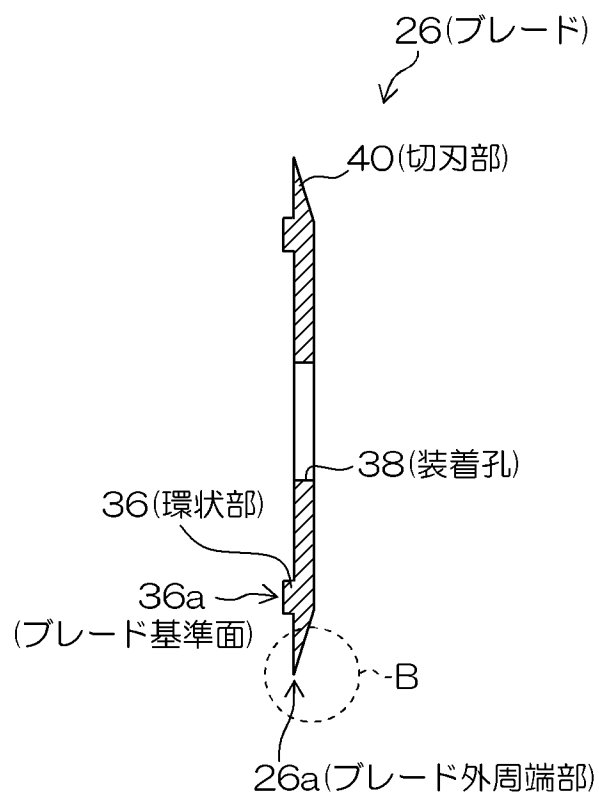
[図1]



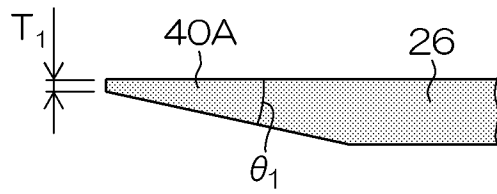
[図2]



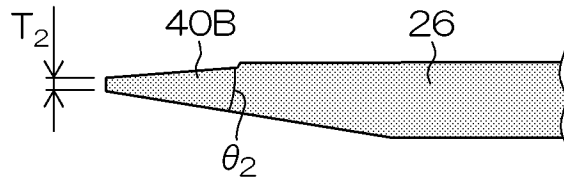
[図3]



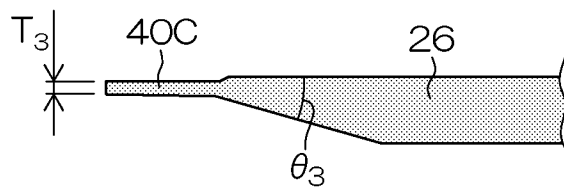
[図4A]



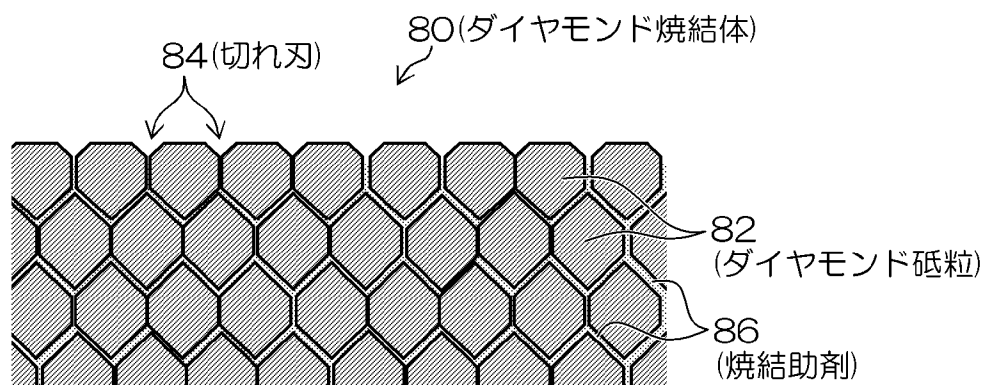
[図4B]



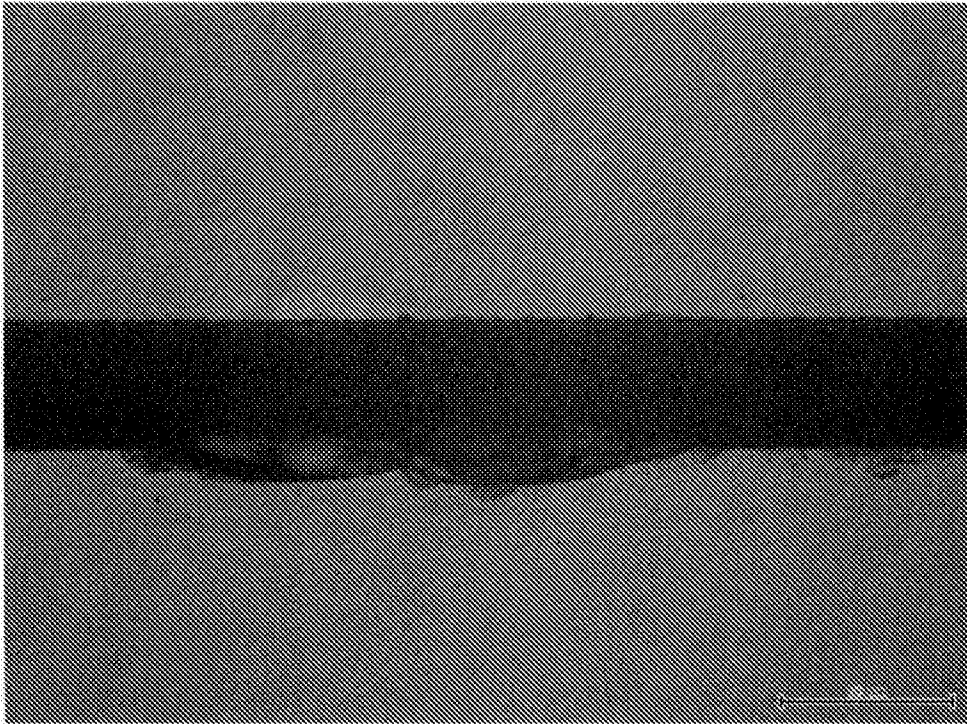
[図4C]



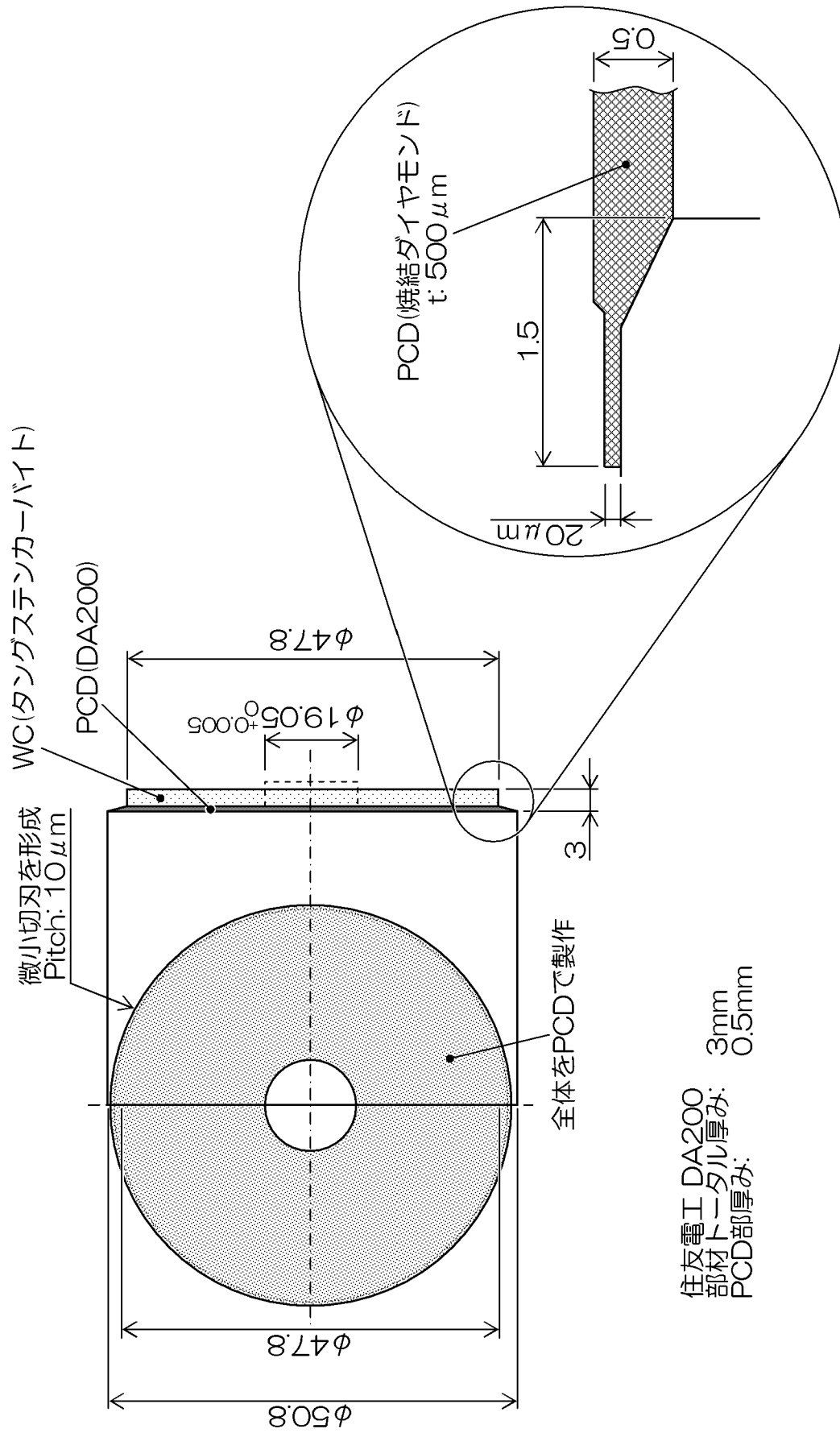
[図5]



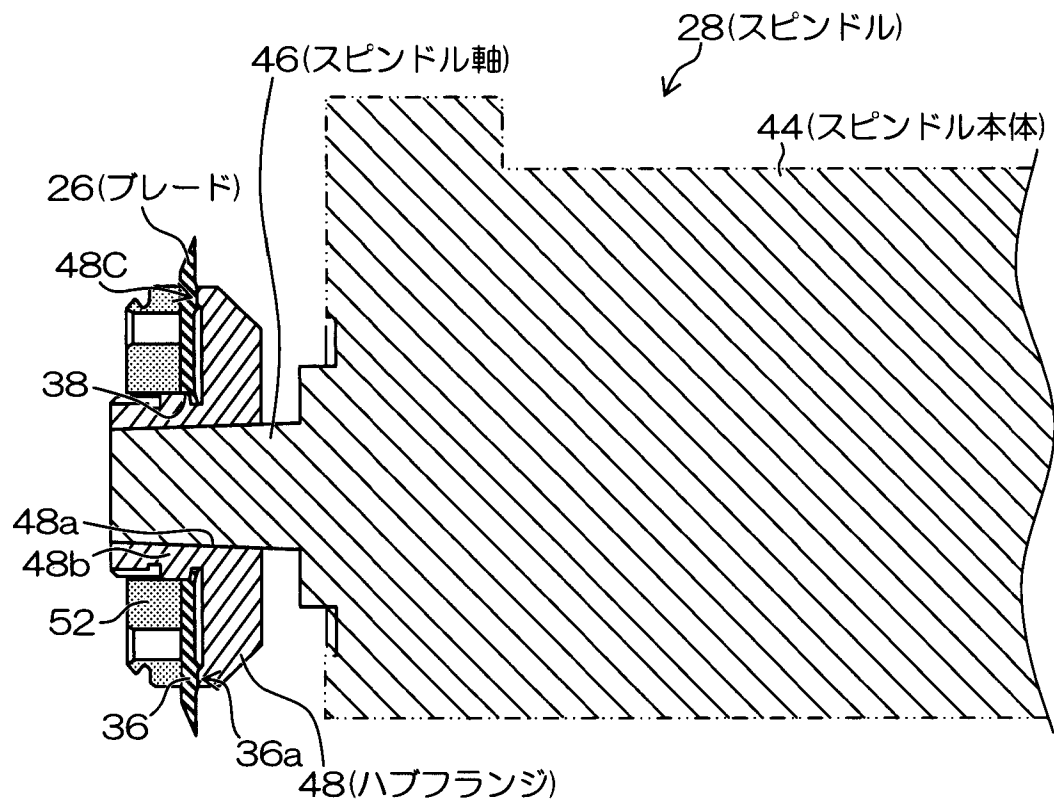
[図6]



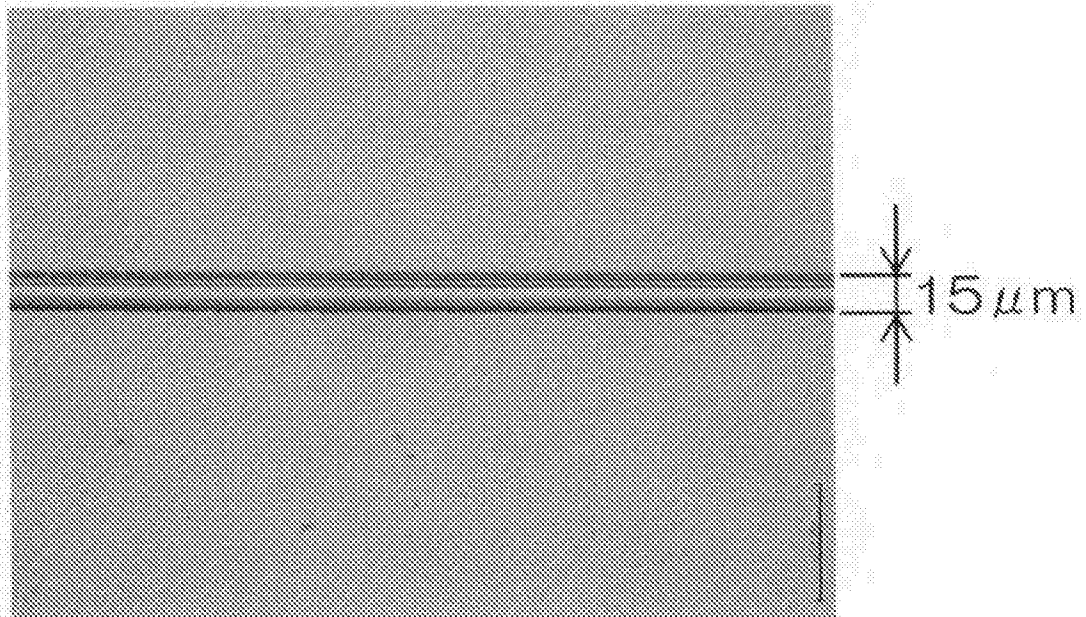
[図7]



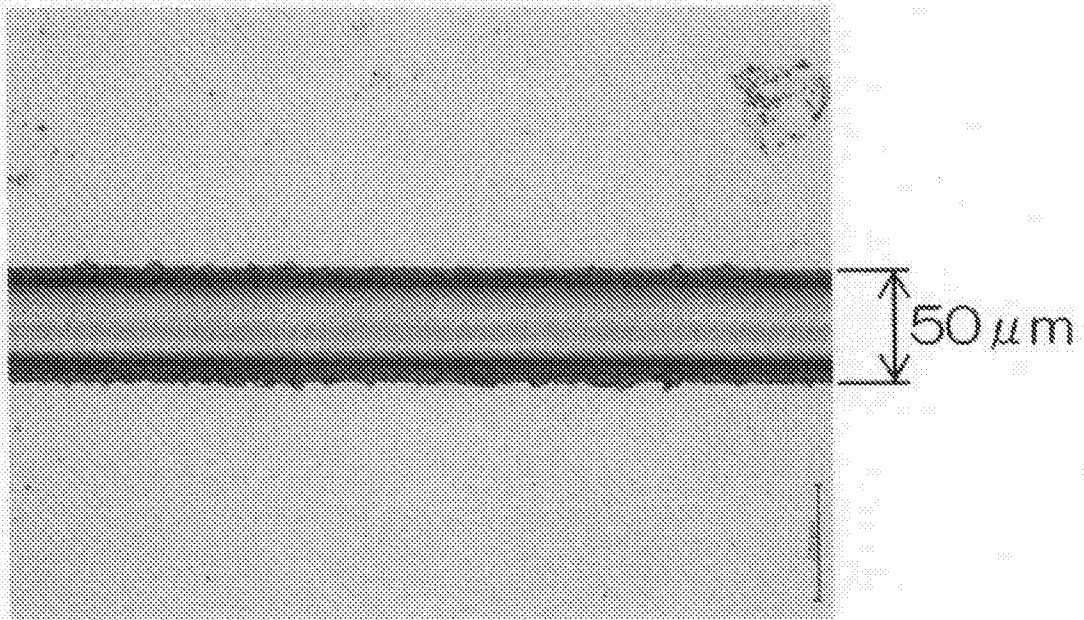
[図8]



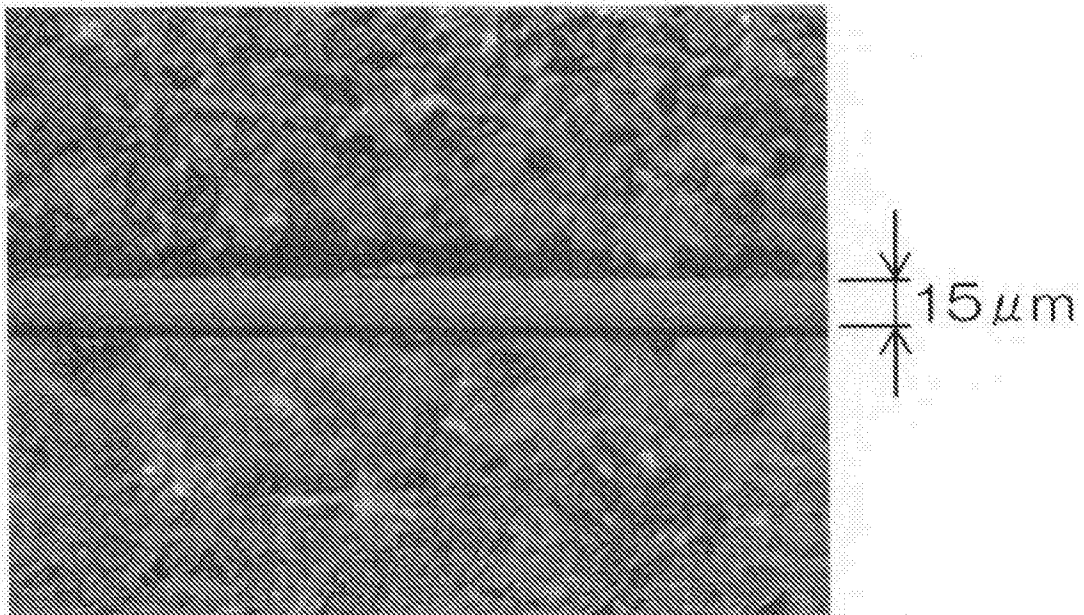
[図9A]



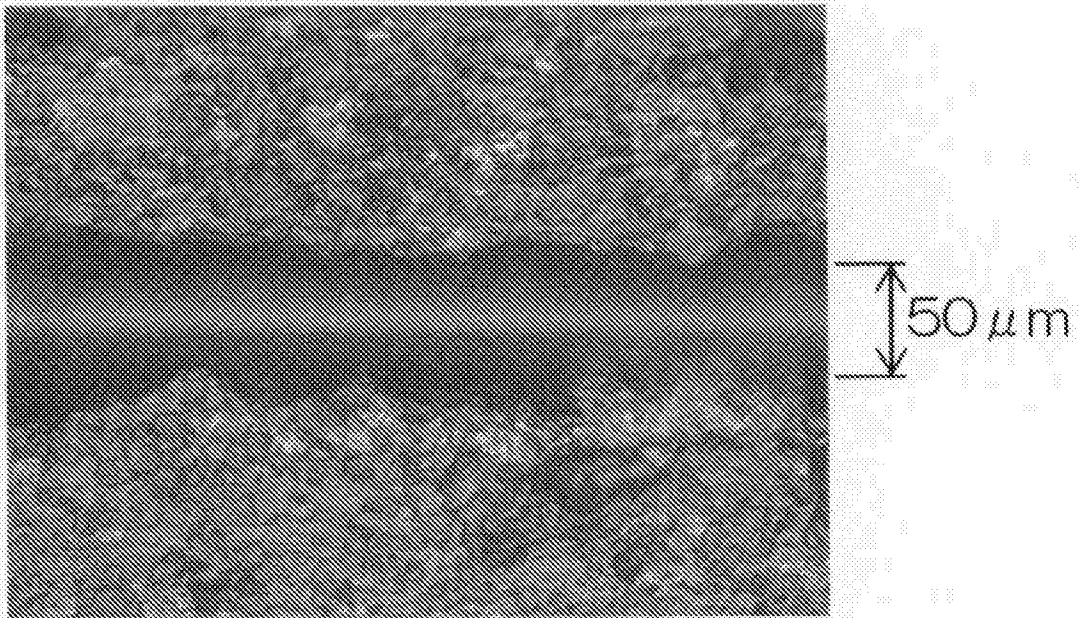
[図9B]



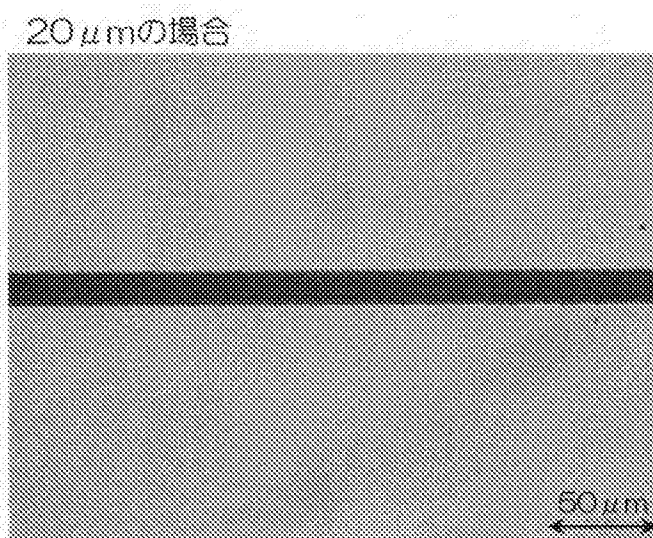
[図10A]



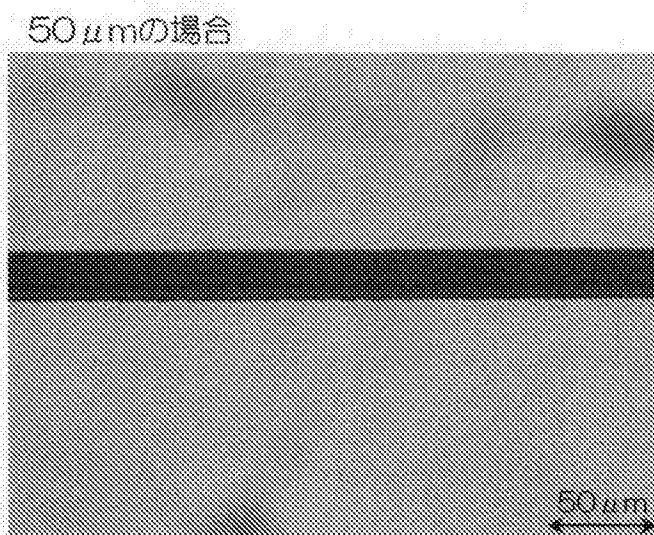
[図10B]



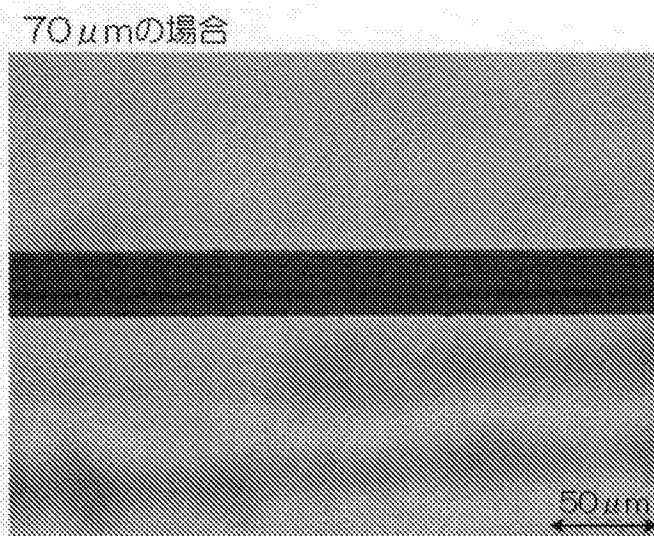
[図11A]



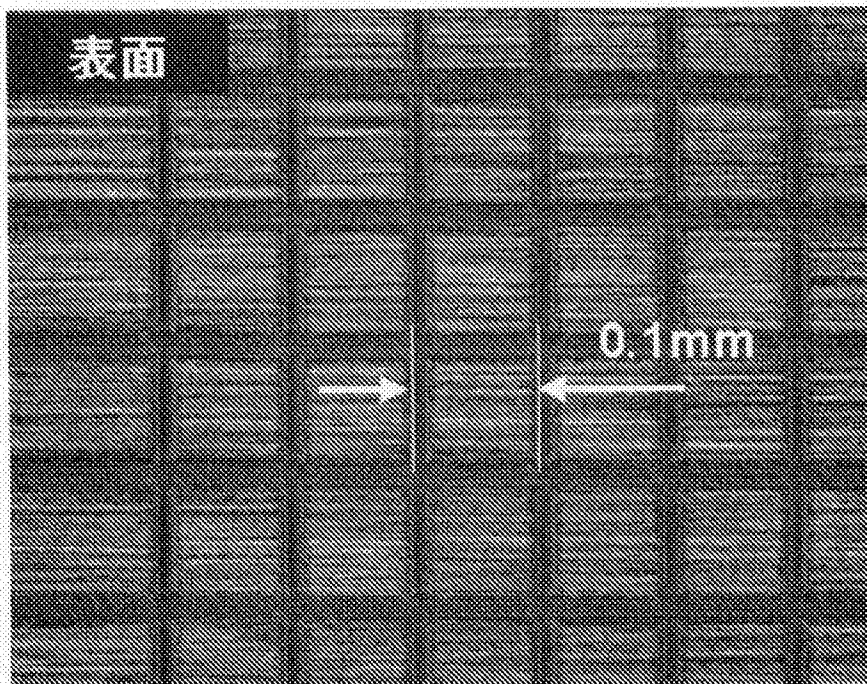
[図11B]



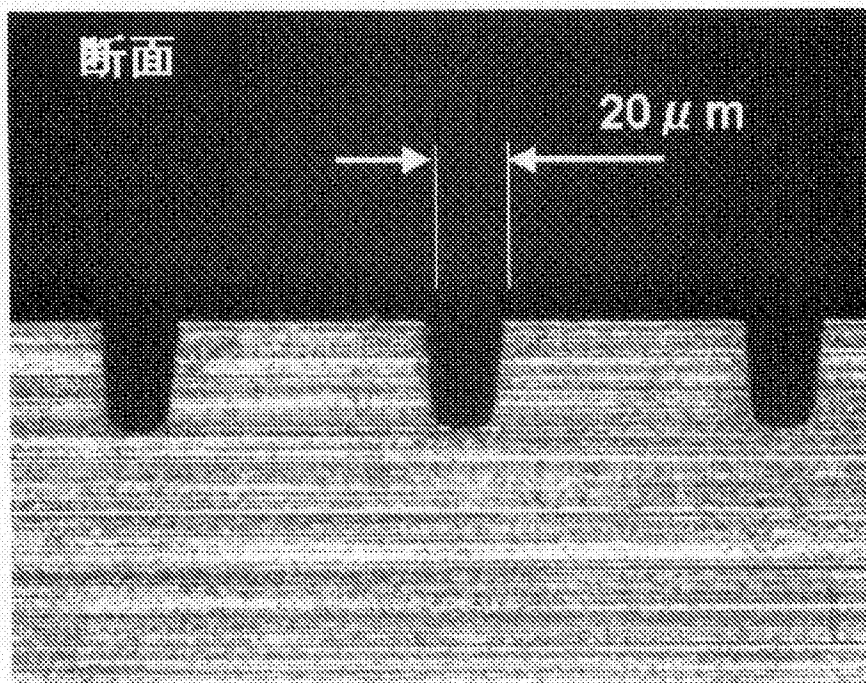
[図11C]



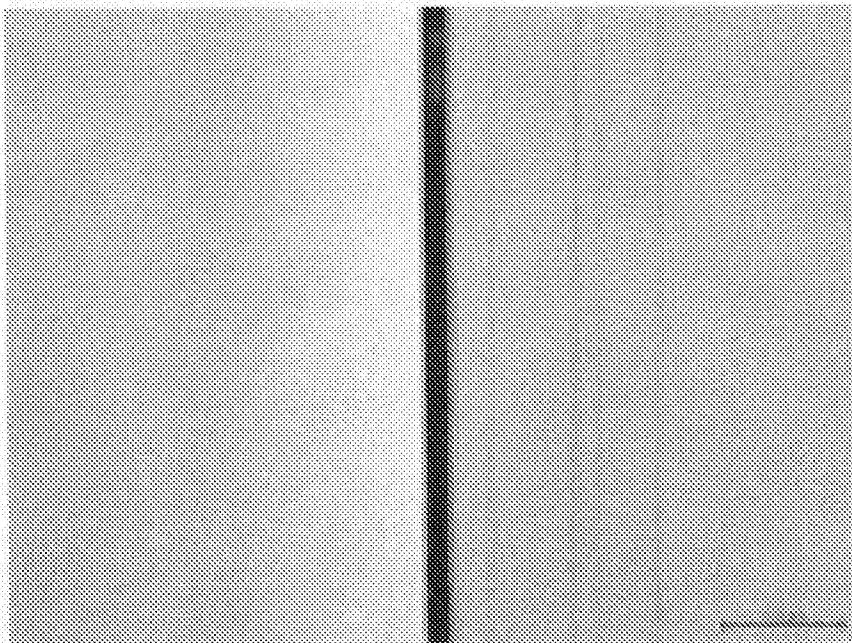
[図12A]



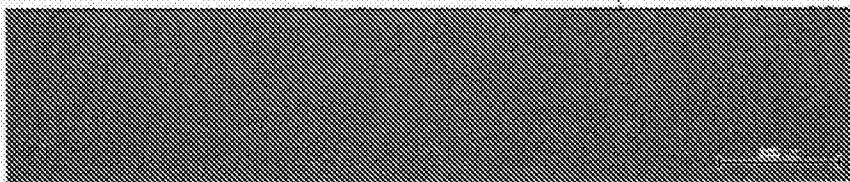
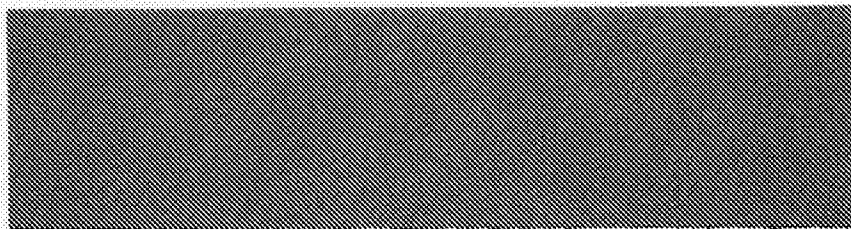
[図12B]



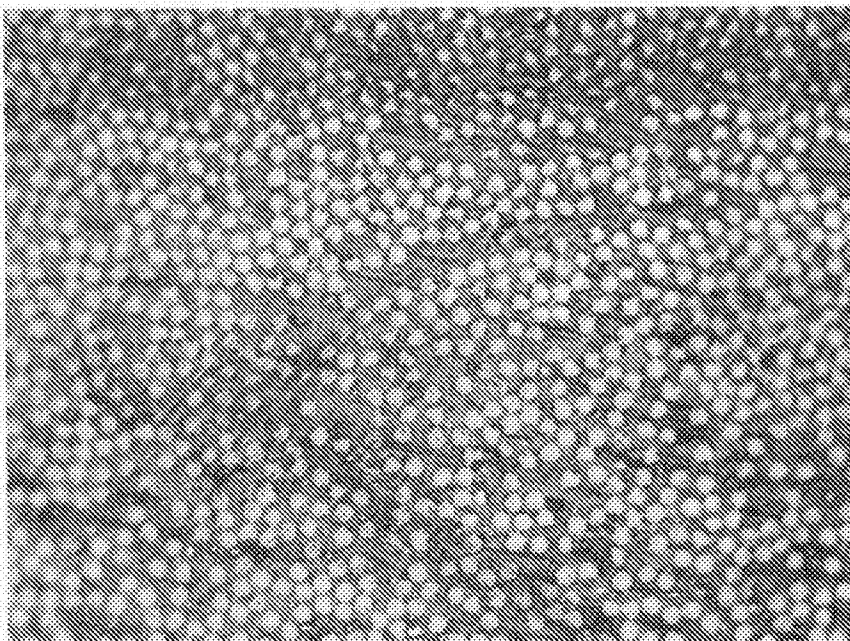
[図13A]



[図13B]



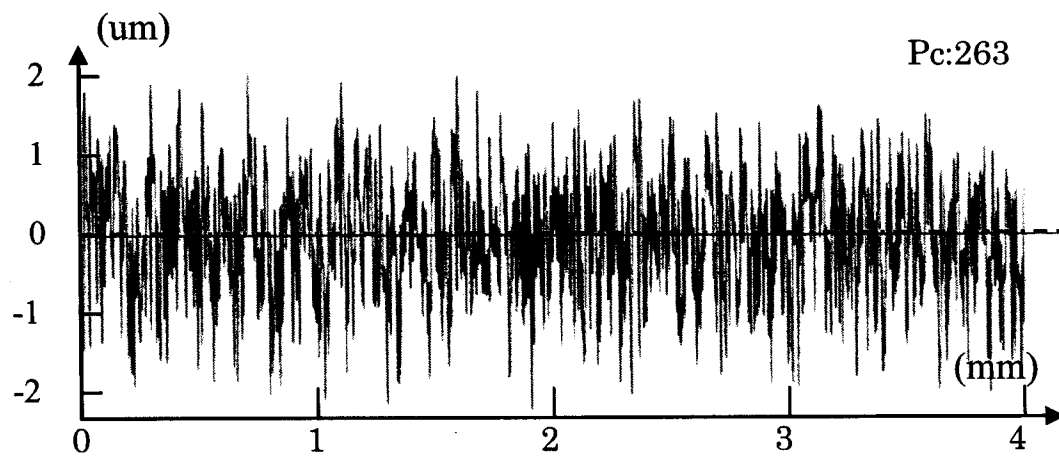
[図14A]



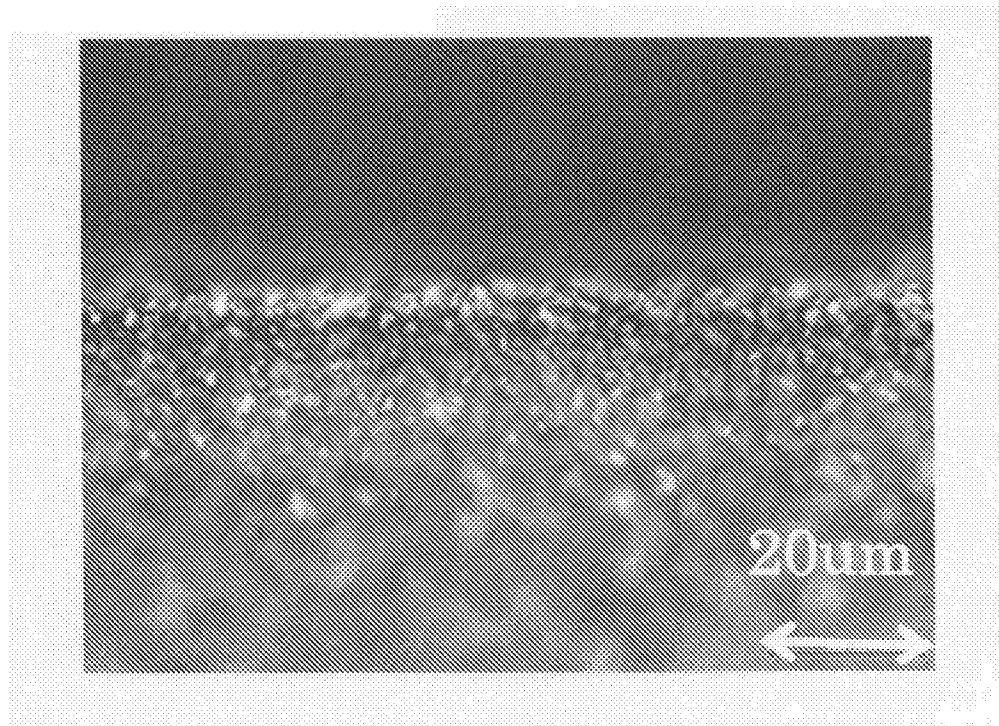
[図14B]



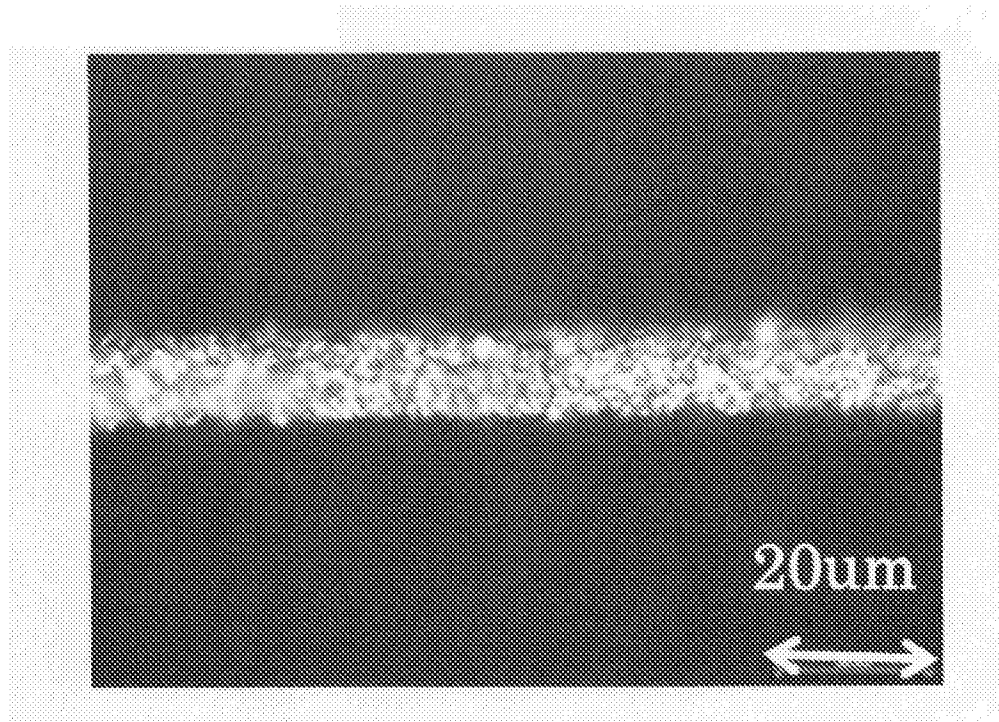
[図16B]



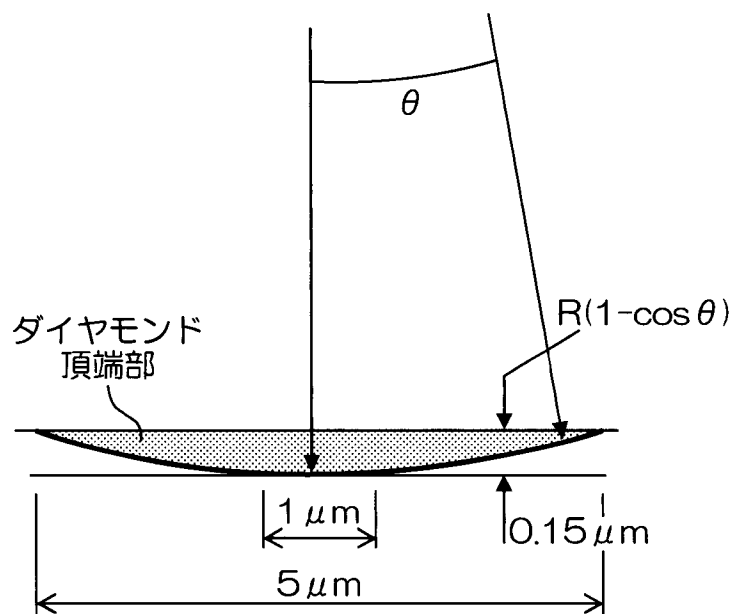
[図17A]



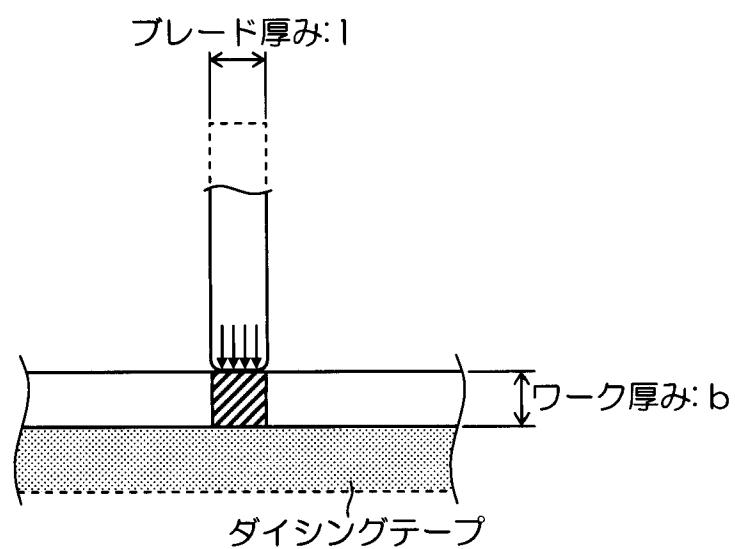
[図17B]



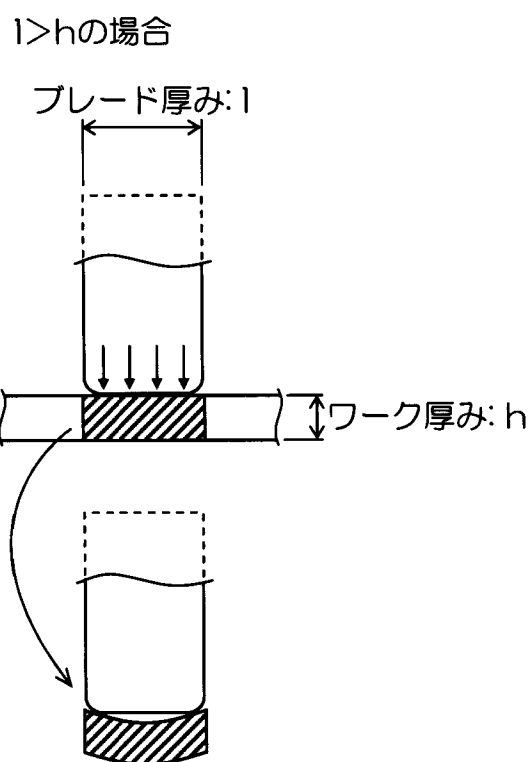
[図18]



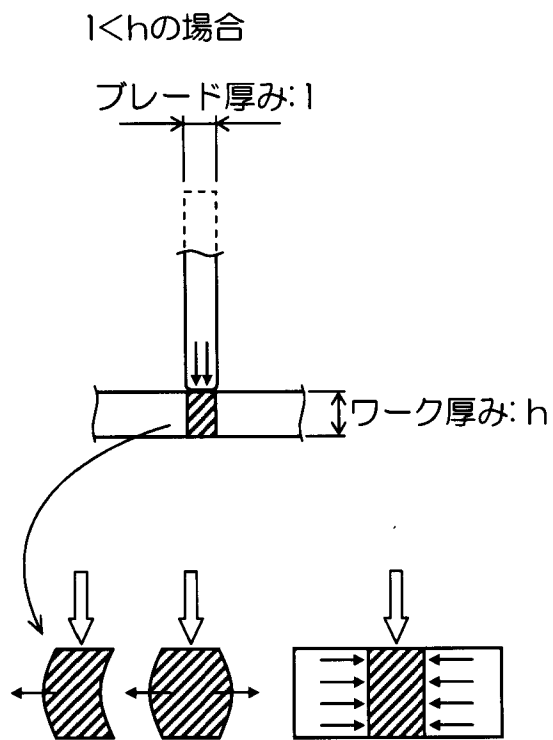
[図19A]



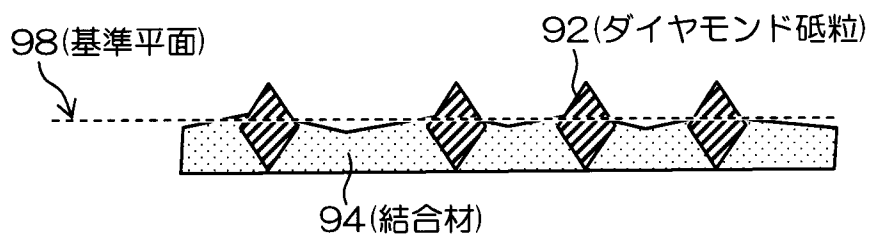
[図19B]



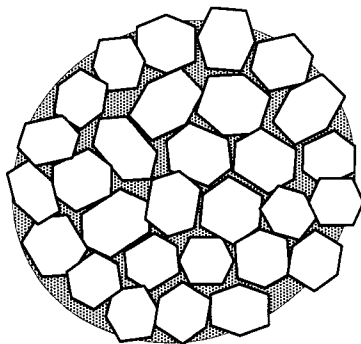
[図19C]



[図20]

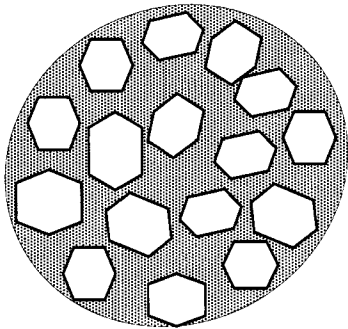


[図21A]



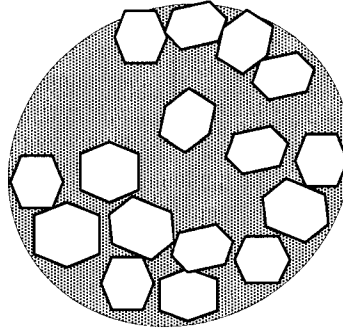
[図21B]

(I)



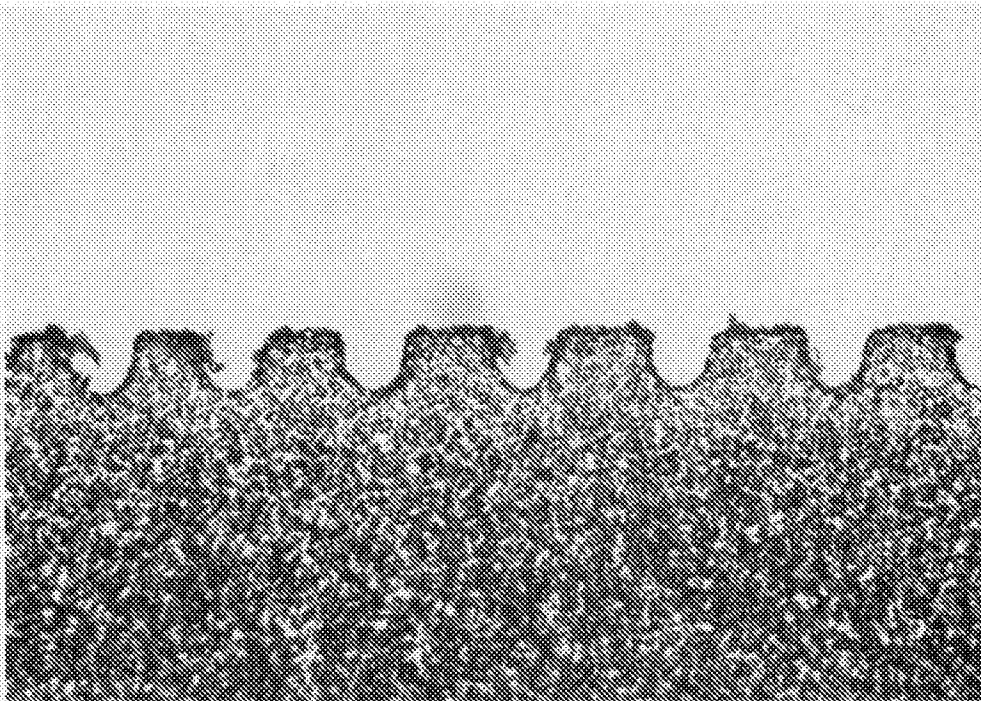
比較的均一に分布

(II)



比較的偏って分布

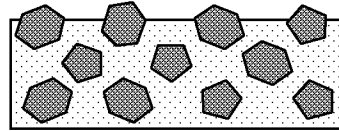
[図22]



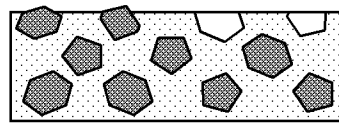
[図23A]

既存砥石のドレッシング

加工初期

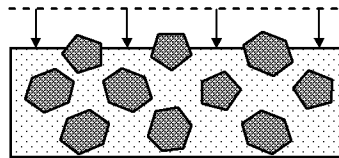


砥粒磨滅・脱落

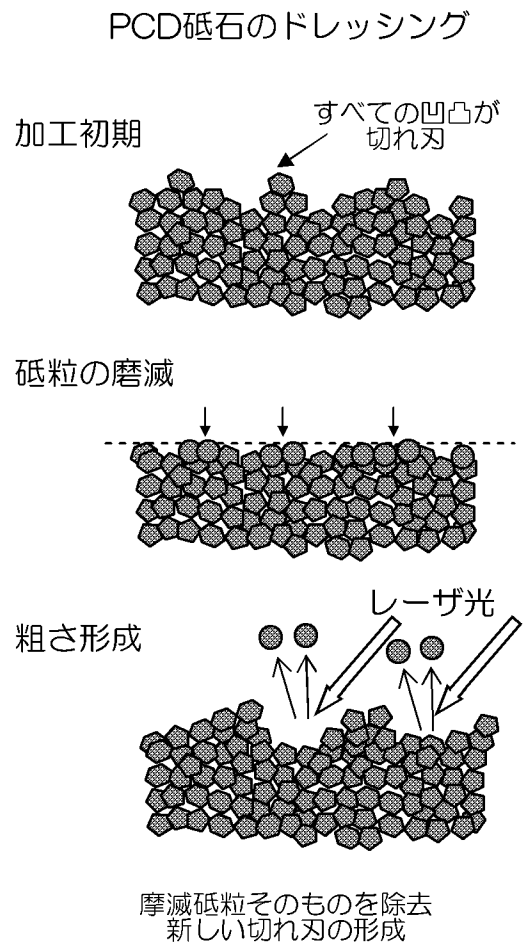


加工進行に伴い、砥粒の摩滅・脱落

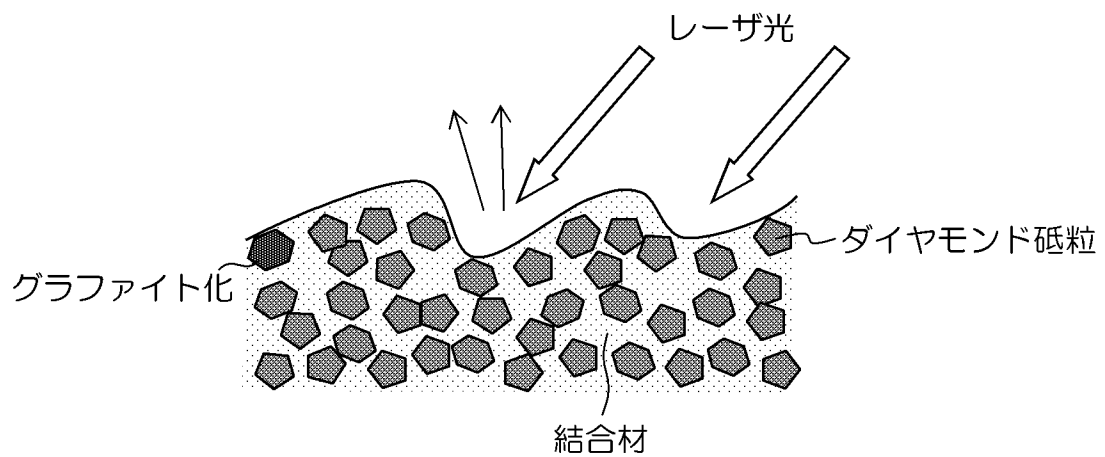
結合材の後退

結合材を除去
新しい砥粒の出現

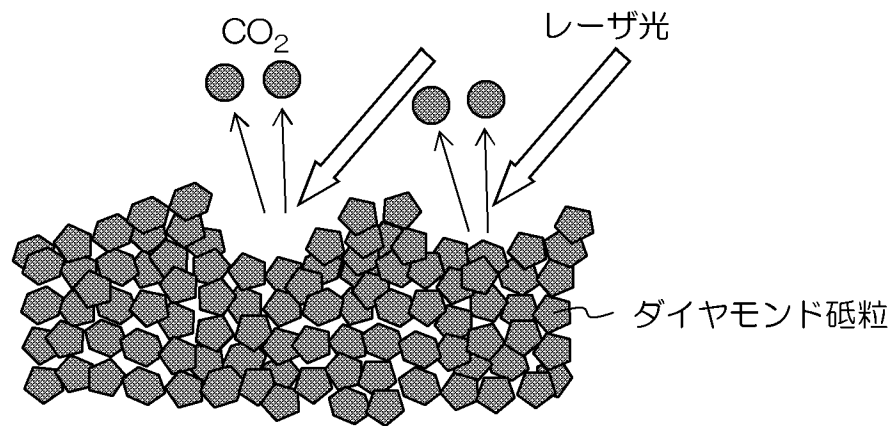
[図23B]



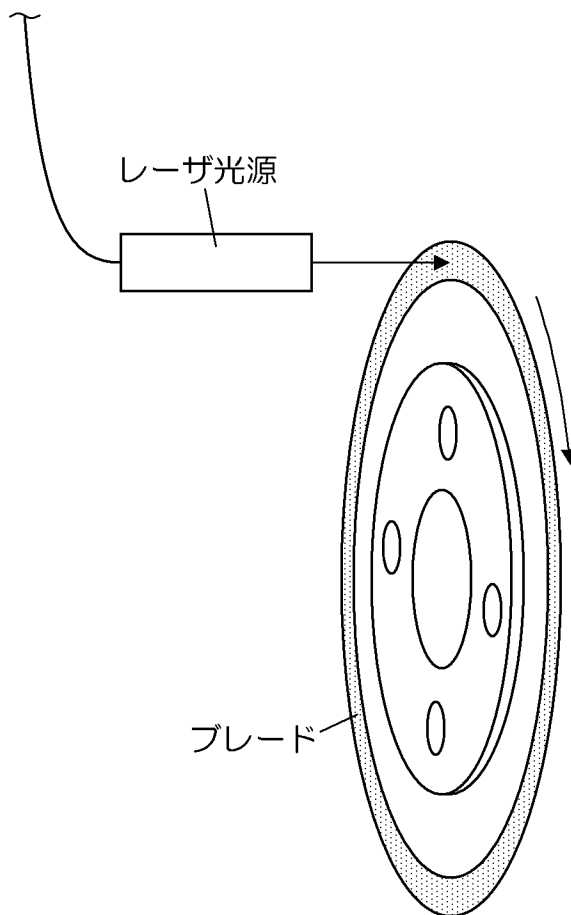
[図24]



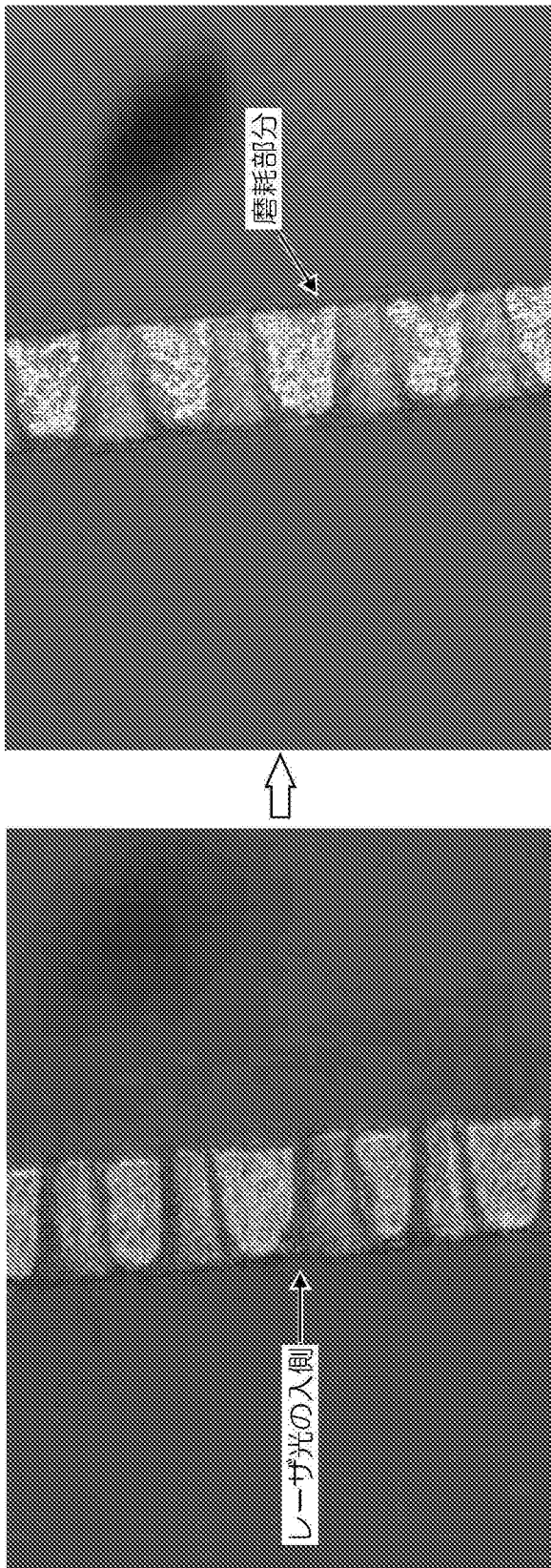
[図25]



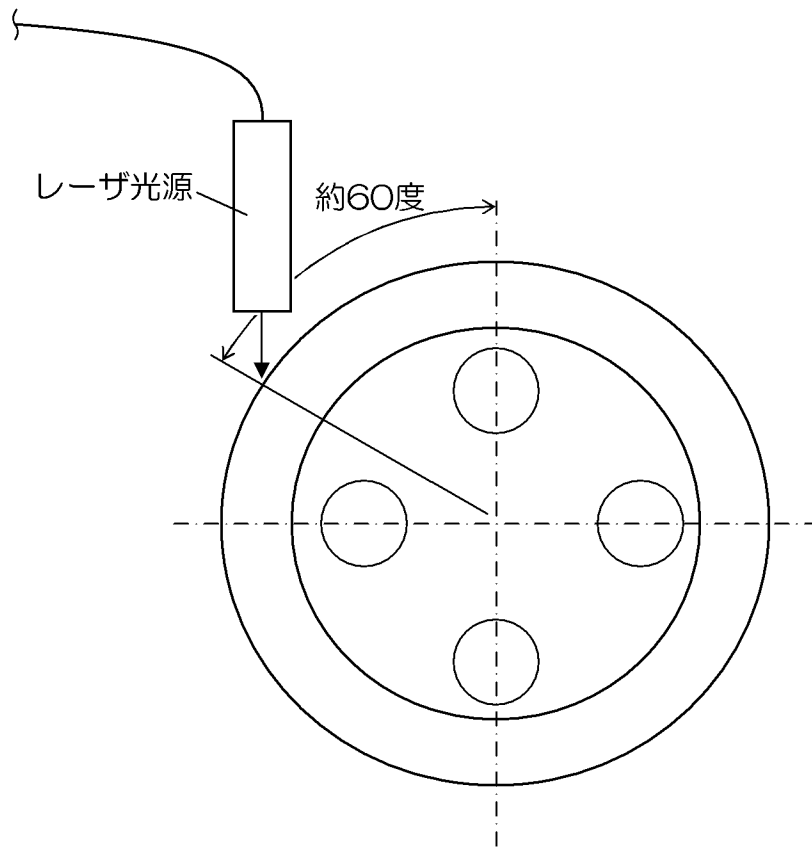
[図26]



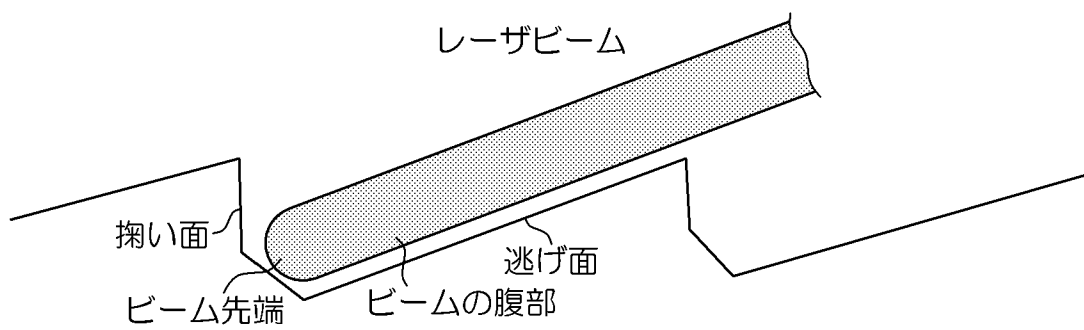
[図27]



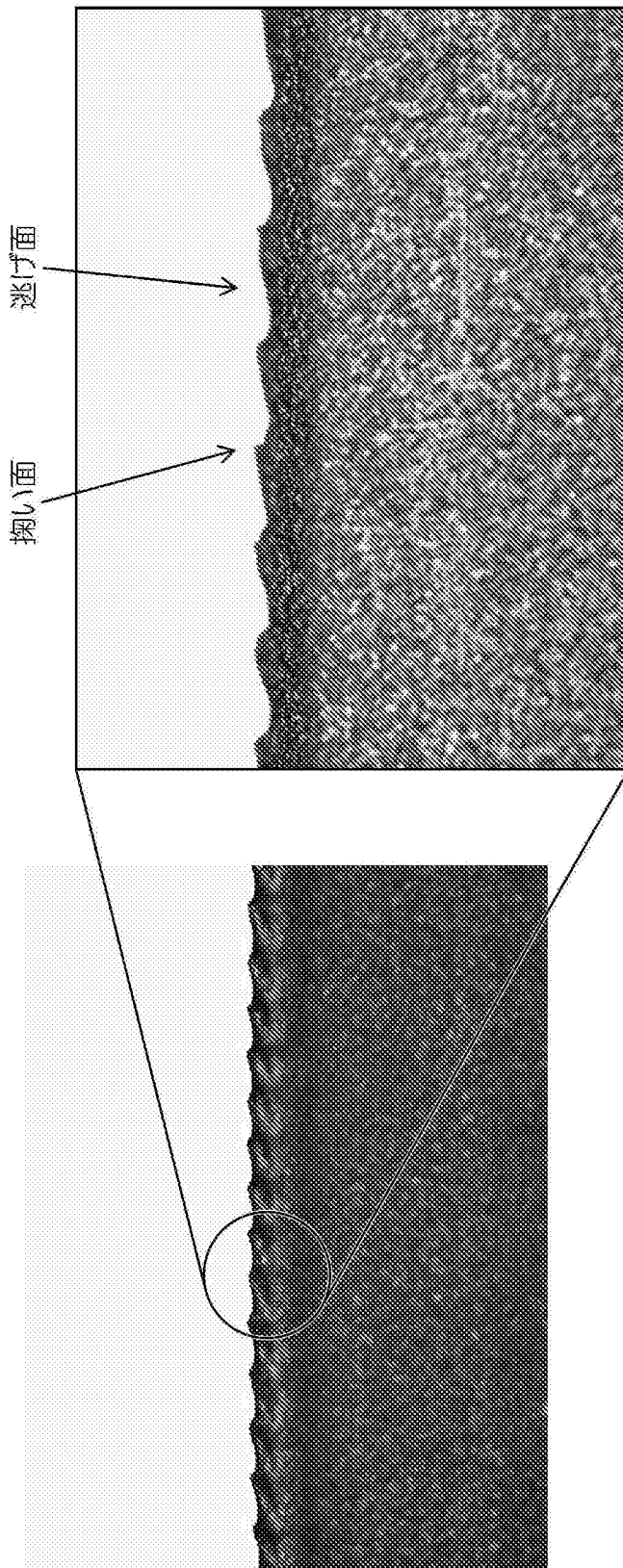
[図28]



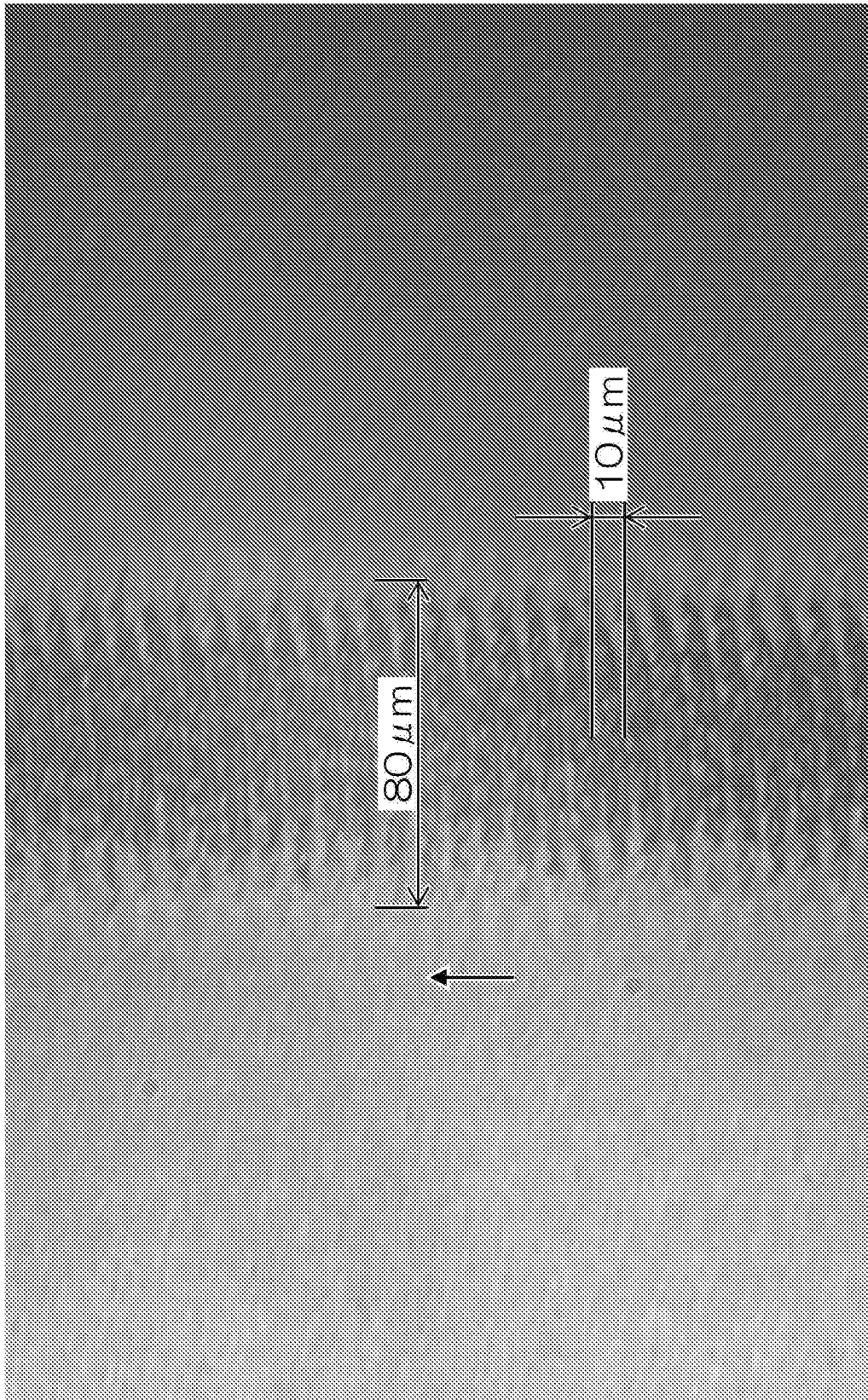
[図29]



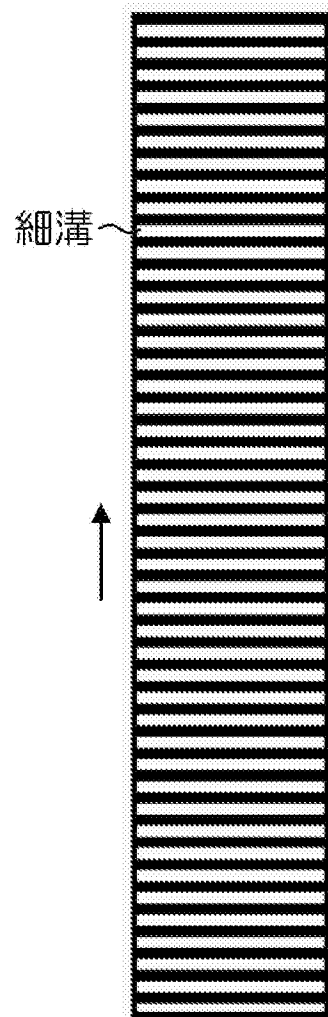
[図30]



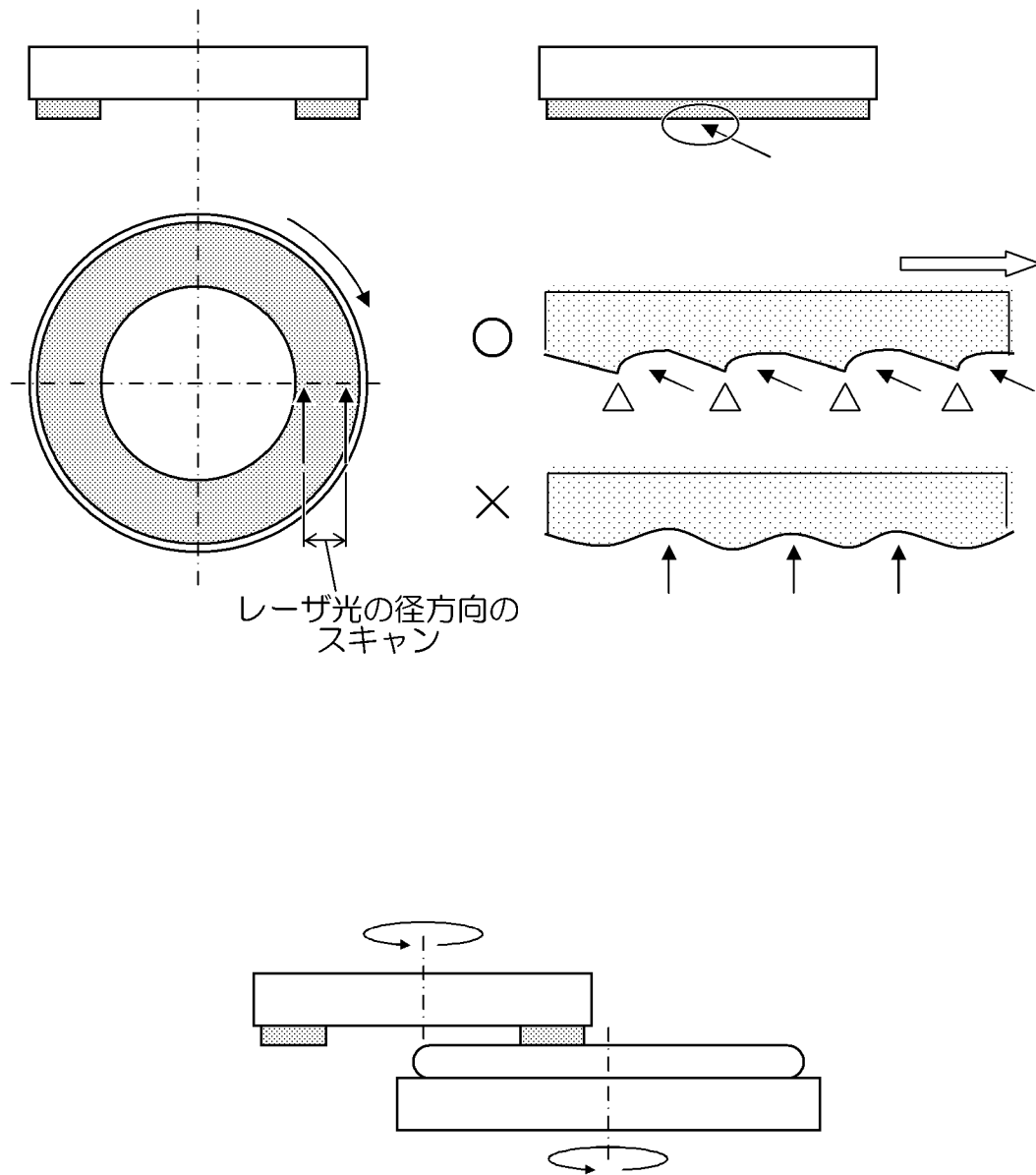
[図31]



[図32]



[図33]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/072266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/301(2006.01)i, B24B27/06(2006.01)i, B24D3/00(2006.01)i, B24D3/06(2006.01)i, B24D5/00(2006.01)i, B24D5/12(2006.01)i, B28D5/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/301, B24B27/06, B24D3/00, B24D3/06, B24D5/00, B24D5/12, B28D5/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-192469 A (Allied Material Corp.), 10 July 2002 (10.07.2002), claims; paragraphs [0012], [0015] (Family: none)	1, 4, 6-9 2-5, 7, 10-11
X Y	JP 2010-10514 A (Fujitsu Microelectronics Ltd.), 14 January 2010 (14.01.2010), paragraphs [0019], [0024], [0056] to [0058]; fig. 2 to 3, 8 to 9 (Family: none)	1, 6, 8-11 2-5, 7, 10-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
29 October, 2014 (29.10.14)

Date of mailing of the international search report
11 November, 2014 (11.11.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/072266

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2-241106 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 25 September 1990 (25.09.1990), page 2, lower right column, lines 3 to 19; fig. 1 (Family: none)	2-3, 5
Y	JP 2012-86291 A (Disco Inc.), 10 May 2012 (10.05.2012), paragraphs [0023] to [0031], [0038]; fig. 2 & CN 102452047 A & KR 10-2012-0040107 A	3, 5
Y	JP 2001-334471 A (Toshiba Corp.), 04 December 2001 (04.12.2001), paragraph [0040]; fig. 1 (Family: none)	5
Y	JP 2009-45723 A (Disco Inc.), 05 March 2009 (05.03.2009), claims (Family: none)	5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int.Cl. H01L21/301(2006.01)i, B24B27/06(2006.01)i, B24D3/00(2006.01)i, B24D3/06(2006.01)i, B24D5/00(2006.01)i, B24D5/12(2006.01)i, B28D5/02(2006.01)i			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int.Cl. H01L21/301, B24B27/06, B24D3/00, B24D3/06, B24D5/00, B24D5/12, B28D5/02			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
X Y	JP 2002-192469 A (株式会社アライドマテリアル) 2002.07.10, 特許請求の範囲, 段落0012, 0015 (ファミリーなし)	1, 4, 6-9 2-5, 7, 10-11	
X Y	JP 2010-10514 A (富士通マイクロエレクトロニクス株式会社) 2010.01.14, 段落0019, 0024, 0056-0058, 図2-3, 8-9 (ファミリーなし)	1, 6, 8-11 2-5, 7, 10-11	
Y	JP 2-241106 A (松下電器産業株式会社) 1990.09.25, 第2頁右下欄 第3行-19行, 図1 (ファミリーなし)	2-3, 5	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 29.10.2014		国際調査報告の発送日 11.11.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 馬場 進吾 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	3 P 3733

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-86291 A (株式会社ディスコ) 2012.05.10, 段落0023-0031, 0038, 図2 & CN 102452047 A & KR 10-2012-0040107 A	3, 5
Y	JP 2001-334471 A (株式会社東芝) 2001.12.04, 段落0040, 図1 (ファミリーなし)	5
Y	JP 2009-45723 A (株式会社ディスコ) 2009.03.05, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	5