

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02008/013134

発行日 平成21年12月17日 (2009.12.17)

(43) 国際公開日 平成20年1月31日 (2008.1.31)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)  
**B 2 3 C 3/00 (2006.01)** B 2 3 C 3/00 3 C 0 2 2

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 14 頁)

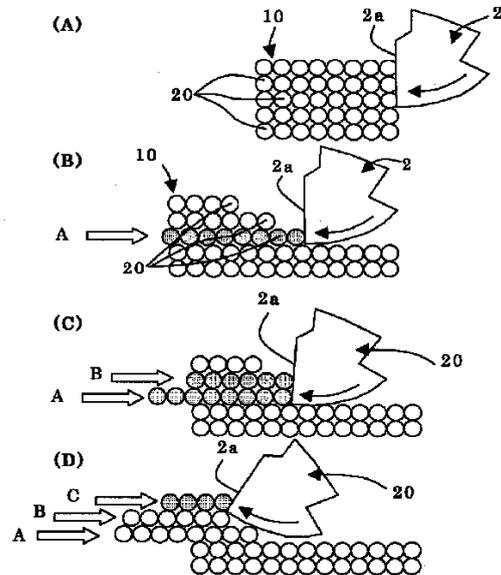
<p>出願番号 特願2008-526755 (P2008-526755)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2007/064420</p> <p>(22) 国際出願日 平成19年7月23日 (2007.7.23)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2006-203516 (P2006-203516)</p> <p>(32) 優先日 平成18年7月26日 (2006.7.26)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 800000080                  タマティーエルオー株式会社                  東京都八王子市旭町9番1号 八王子スク                  エアビル11階</p> <p>(74) 代理人 100110858                  弁理士 柳瀬 睦肇</p> <p>(74) 代理人 100100413                  弁理士 渡部 温</p> <p>(72) 発明者 大塚 寛治                  東京都東大和市湖畔2-1074-38</p> <p>Fターム(参考) 3C022 AA08 AA10</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 被加工物の加工方法

(57) 【要約】

ウエハやシリンダ内面等の被加工物の表面を鏡面に仕上げる面加工装置及び被加工物の被加工物の加工方法に関し、高い加工効率で精度の高い基板の表面処理を行う。刃を用いた被加工物となるウエハやシリンダ内面等の表面を表面加工する被加工物の被加工物の加工方法であって、刃の基板の表面に対する加工速度を $v$ とし、被加工物を構成する構成材料の圧縮応力波の横波伝播速度を $c_2$ とした場合、バイトの加工速度 $v$ が $v > c_2$ となるような速度で表面加工する。被加工物に当たる前の刃の運動エネルギーが、被加工物を構成する材料の原子間結合子を剪断するためのエネルギーと、削り取られた被加工物が刃とともに移動するときの運動エネルギーと、刃が横波伝播速度以上の速度で移動するときの運動エネルギーとの総和よりも大きいのが好ましい。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被加工物を構成する材料における圧縮応力波の横波伝播速度以上の速度で、刃を前記被加工物の面に対して相対的に移動させることにより前記被加工物の面を削る、被加工物の加工方法。

## 【請求項 2】

前記被加工物に当たる前の前記刃の運動エネルギーが、前記被加工物を構成する材料の原子間結合子を剪断するためのエネルギーと、削り取られた前記被加工物が前記刃とともに移動するときの運動エネルギーと、前記刃が前記横波伝播速度以上の速度で移動するときの運動エネルギーとの総和よりも大きい請求項 1 に記載の被加工物の加工方法。

10

## 【請求項 3】

前記被加工物は複数の材料により形成されており、

前記刃は、前記複数の材料のうち最も弾性率が高い材料における圧縮応力波の横波伝播速度以上で移動する請求項 1 又は 2 に記載の被加工物の加工方法。

## 【請求項 4】

前記刃は、少なくとも表面がダイヤモンド、窒化ボロン、モリブデン、ダングステン及び超鋼材料から選択される少なくとも一つの材料により形成されている請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の被加工物の加工方法。

## 【請求項 5】

前記被切削物は、前記面が略鉛直に延在するように配置され、

前記刃を前記面に対して相対的に鉛直方向に上から下に移動させることにより前記被加工物の前記面を削る請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の被加工物の加工方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、被加工物の面を鏡面に仕上げることができる被加工物の加工方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

被加工物となる基板の表面を鏡面に仕上げる処理は、種々の分野で実施されている。例えば半導体製造分野においては、シリコンウエハ（基板）の表面を回路デバイスの構造に仕上げる途中で金属、有機物、セラミックなどの複合表面を鏡面に仕上げるために、CMP 研磨処理 (Chemical Mechanical Polishing) が施される。

30

## 【0003】

このシリコンウエハの回路デバイス製造工程の途中で数回の平坦化処理を行うとき、機械的なポリッシングのみでは複合材料の軟らかい材料が硬い材料に比べて余分に研磨され、ディンプル状（別名ディッシュシェーブ）になってしまう。この欠点への対応策が CMP 研磨である。この方法は、化学的なエッチング作用を持った研磨液を用いて複合材料を選択的にエッチングしながらポリッシングを行うことで平坦化する方法である。

## 【0004】

CMP 研磨は、研磨液を複合材料構成が変わるたびに微調整する必要がある、加工条件もそのつど最適化する必要がある、かつ長い加工時間を要するという問題があった。例えば Al と  $\text{SiO}_2$  /  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の複合材料と Cu と  $\text{SiO}_2$  /  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の複合材料では研磨液とその条件が全く異なる。また、注意して加工しても、パターニングされた複合表面が完全に平坦になるまでには至らない。

40

## 【0005】

一方、切削加工は、加工時間を大幅に短縮し得るが、加工品質上の問題があって、半導体基板の研磨には実用化されていないのが実情である。このような状況において、特許文献 1 及び非特許文献 1 に、基板（特に半導体基板）の厚みばらつきを均一化し、うねりや反りの発生を防止し、ディッシング等の不都合を発生させることなく、配線デザインの制約も無く、容易且つ安価に高速な平坦化を実現する方法として、基板に配線を形成し、その

50

後この配線上にアルミナ、シリカ、ガラス等のフィラーが分散されてなる絶縁膜を形成し、配線の表面及絶縁膜の表面を切削して表面を平滑化する方法が記載されている。

【0006】

特許文献1に記載の半導体基板の切削技術は、特別に選択されたフィラー入りの樹脂(絶縁膜)、配線の表面よりも絶縁膜の表面が10nm以上高くなるような弾性係数を有する材料等を切削対象物とするものである。

【0007】

【特許文献1】特開2004-319965号公報

【非特許文献1】第12回STS(SEMI Technology Symposium)Award受賞記念講演8-25~8-33

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記したように、従来一般的な切削技術では半導体基板の研磨を行うことはできない。また、特許文献1及び非特許文献1に記載の技術は、配線上に絶縁膜を形成する必要があるため、工程数が増加してしまう。また、特許文献1に記載の技術では、切削対象物の材料特性に条件があるため、本技術を適用することができる切削対象物が限定されてしまう。これに対して、材料特性に関係なく高い平坦性を得ることができるが、一般的な加工方法が求められている。

【0009】

本発明は上記のような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、高い加工効率で高い平坦性を得ることができる被加工物の加工方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するため、本発明に係る加工方法は、被加工物を構成する材料における圧縮応力波の横波伝播速度以上の速度で、刃を前記被加工物の面に対して相対的に移動させることにより前記被加工物の表面を削る。前記刃を前記被加工物に対して相対的に移動させる方法としては、前記刃のみを移動させる場合、前記被加工物のみを移動させる場合、並びに前記刃と前記被加工物の双方を移動させる場合のいずれも含む。

【0011】

前記被加工物に当たる前の前記刃の運動エネルギーが、前記被加工物を構成する材料の原子間結合子を剪断するためのエネルギーと、削り取られた前記被加工物が前記刃とともに移動するときの運動エネルギーと、前記刃が前記横波伝播速度以上の速度で移動するときの運動エネルギーとの総和よりも大きいのが好ましい。

【0012】

前記被加工物が複数の材料により形成されている場合、前記刃は、前記複数の材料のうち最も弾性率が高い材料における圧縮応力波の横波伝播速度以上で移動するのが好ましい。前記刃は、少なくとも表面がダイヤモンド、窒化ボロン、モリブデン、ダングステン及び超鋼材料から選択される少なくとも一つの材料により形成されているのが好ましい。前記被切削物は、前記面が略鉛直に延在するように配置され、前記刃を前記面に対して相対的に鉛直方向に上から下に移動させることにより前記被加工物の前記面を削るのが好ましい。

【発明の効果】

【0013】

本発明に係る被加工物の加工方法によれば、従来被加工物の表面加工処理方法である研磨加工に比較して、加工時間を大幅に短縮することができ、かつ切削面の平坦性を高くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施形態に係る面加工装置の構成を説明する為の概略図。

10

20

30

40

50

【図 2】実施形態に係る被加工物の加工方法の原理を説明するための図。

【図 3】実施形態に係る被加工物の加工方法の原理を説明するための図。

【図 4】実施形態に係る被加工物の加工方法の原理を説明するための図。

【図 5】バイト 2 の刃 2 a による被加工物 1 0 の切削を原子モデルで説明する為の図。

【符号の説明】

【 0 0 1 5 】

1 ... 面加工装置

2 ... バイト

2 a ... 刃

3 ... 駆動装置

4 ... ガイド

5 ... 装着機構

6 ... 水槽

7 ... 水

8 ... 切子

9 ... 泡の層

1 0 ... ウエハ ( 被加工物 )

1 1 ... 表面

2 0 ... 原子

2 1 ... 結合手

3 0 ... 原子

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 6 】

以下、図を参照しながら本発明の実施の形態を詳細に説明する。図 1 は、本発明の実施形態に係る被加工物の加工方法に用いる面加工装置 1 の構成を示す概略図である。面加工装置 1 は、被加工物 ( 例えばシリコンウエハなどの半導体ウエハ ) 1 0 の表面 1 1 を鏡面加工するためのものであるが、表面加工の対象素材は、半導体ウエハに限定されるものではなく、表面の鏡面加工を必要とする各種材料 ( 金属、無機材料、有機材料等 ) に広く適用が可能である。

【 0 0 1 7 】

面加工装置 1 は、バイト刃 ( 以下バイトと記載 ) 2、バイト 2 を回転させる駆動装置 3、被加工物 1 0 が装着される装着機構 5、及び水槽 6 を有している。バイト刃 2 ( 以降バイトと呼ぶ ) は、少なくとも表面がダイヤモンド、窒化硼素、モリブデン、ダングステン及び超鋼材料から選択される少なくとも一つの材料により形成されている。これらの材料は原子間結合力が高いため、後述するようにバイト 2 を高速回転させて被加工物 1 0 の表面加工を実施しても欠けや割れ等が発生することはなく、高い信頼性を持って表面加工処理を実施することができる。

【 0 0 1 8 】

また、バイト 2 は、本体が略円柱形状であり、この本体の側面に、本体の中心軸と同一方向に延伸する刃 2 a を複数設けた構成である。バイト 2 の回転に伴い、刃 2 a が被加工物 1 0 の表面 1 1 を切削加工する。この切削加工において、バイト 2 の刃 2 a が最初に被加工物 1 0 に衝突する際、刃 2 a と被加工物 1 0 の表面 1 1 とが、垂直に衝突するように構成されている。これにより、被加工物 1 0 の原子配列に対して略垂直な剪断力を印加させることができる。

【 0 0 1 9 】

また、図 1 において刃 2 a は、180度離間して 2 つ設けられている。例えば被加工物 1 0 が、複数の半導体チップが形成される半導体ウエハである場合、刃 2 a の幅寸法 ( 紙面に対して垂直方向の長さ、即ちバイト 2 の中心軸方向の長さ ) は、好ましくは半導体チップの幅方向の長さと同じか、或いはチップ寸法の幅の整数倍の長さになるよう設定される。これによって、バイト 2 の刃 2 a は、被加工物 1 0 の表面 1 1 をチップ幅方向に対

10

20

30

40

50

し一括で表面加工することが可能となり、チップの一括平坦処理が行える。

【0020】

装着機構5は、被加工物10をバイト2の中心軸方向にステップ送りする送り機構を有している。駆動装置3は、ガイド4に移動可能に配設されており、図示しない移動装置により鉛直方向（図中矢印X1,X2方向）に、被加工物10の表面に対して相対的に移動する構成をなっている。また駆動装置3の移動に伴いバイト2も鉛直方向（図中矢印X1,X2方向）に移動する。これにより、被加工物10の全面を加工することができる。また、一回当たりの研磨深さは、バイト2や駆動装置3が受ける切削力に耐えられる範囲で調整する。例えば1μmの必要研磨深さであれば、一回の研磨操作で略鏡面が得られる。

【0021】

装着機構5は、バイト2と対向する位置に設けられている。装着機構5は図示しないベースに固定されており、これにより装着機構5に装着された被加工物10もベースに固定された状態となる。このため、バイト2により表面加工が実施される際に被加工物10に大きな外力が印加されても、被加工物10が変位することを抑制できる。

【0022】

また装着機構5は、被加工物10を、表面11が鉛直方向（X1,X2方向）に延在する状態に装着する。駆動装置3によるバイト2の送り方向も鉛直方向である。水槽6は、被加工物10の下方に配置されている。水槽6は、内部に水7が装填されている。水7の上部には、界面活性剤で、例えば厚さが500mm以上の泡の層9が、形成されている。

【0023】

バイト2により被加工物10の表面11を加工する際に被加工物10から削り取られた切子8は、水槽6内に突入させる構成となっている。面加工装置1では、上記のように被加工物10は表面11が鉛直方向（X1,X2方向）に延在する状態となっている。このため、切子8が被加工物10の表面11に残留して傷つけることを抑制できる。

【0024】

また、被加工物10の下方には水槽6が配置されているため、切子8を確実に水槽6内に突入させることができる。更に、後述するようにこの面加工装置1は、バイト2を高速回転させるため、発生する切子8も高速で飛散する。しかしながら、水7の上部に泡の層9を形成しているため、切子8が水7の表面で跳ね返ること（高速で水面に衝突した場合には、水面が剛体のように作用するため）、及び突入した切子8が水7を飛散させることを防止できる。

【0025】

なお、面加工装置1の構成は図1に示した構成に限られない。例えば被加工物10が円筒形状である場合、装着機構5は、被加工物10を、中心軸がバイト2の中心軸と重なるように保持する。面加工装置1が被加工物10の内面を加工する場合、刃2aを含むバイト2の直径は、被加工物10の内径に等しくなる。面加工装置1が被加工物10の外面を加工する場合、バイト2も円筒形になり、内面に中心軸と略平行に延伸する刃2aを有する。また刃2aを含むバイト2の内径は、被加工物10の外形に等しくなる。

【0026】

被加工物10を構成する材料の圧縮応力波の縦波伝播速度を $c_1$ 、横波伝播速度を $c_2$ とした場合、上記構成の面加工装置1において、被加工物10の表面11に対するバイト2の相対的な加工速度すなわち移動速度（以下、このバイト2の加工速度を $v$ と示す）を、 $v < c_2$ 、好ましくは $v < c_1$ となるよう設定する。例えば被加工物10がシリコンウエハの場合、シリコンの横波伝播速度は5,843m/sであるため、バイト2の加工速度 $v$ は従来の加工装置に比べて高速回転となる。なお、被加工物10が複数の材料により構成されている場合（例えばシリコンウエハに形成された半導体チップの場合は、シリコン、酸化シリコン、金属など）、最も弾性率が高い材料の $c_2, c_1$ を用いる。

【0027】

また、刃2aが被加工物10に衝突する直前のバイト2の運動エネルギー（ $E_s$ ）が、被加工物10を構成するシリコンの原子間結合手21（以下、単に結合手という）を剪断す

10

20

30

40

50

るためのエネルギー（ $E_a$ ）と、切子 8 が  $c_2$  以上（好ましくは  $c_1$  以上）の速度で移動するときの運動エネルギー（ $E_{v_1}$ ）と、切削後のバイト 2 が  $c_2$  以上（好ましくは  $c_1$  以上）の速度で移動するときの運動エネルギー（ $E_{v_2}$ ）の総和よりも大きなエネルギーを持つ（ $E_s = E_a + E_{v_1} + E_{v_2}$ ）よう設定する。

【0028】

以下、バイト 2 の加工速度  $v$  及びバイト 2 の運動エネルギー  $E_s$  を上記のように設定する理由について説明する。固体に応力が加わった場合、固体内では縦波と横波が起こり、固体表面では表面波としてのレイリー波が起こる。固体は、圧縮方向に対して縮むとき、その直角面では伸びるため、これが横波となる。直角面の伸びは、ポアソン比の大きさに比例する。これが縦弾性率  $E$  と横弾性率  $G$  の関係となる。入力エネルギーに対して横方向にエネルギーが逃げるため、縦波伝播速度  $v_1$  はその分遅くなる。直角面に  $x$  方向と  $y$  方向があるため、その配慮も必要となる。

10

【0029】

縦波伝播速度  $c_1$ 、横の伝播速度  $c_2$ 、レイリー波の伝播速度  $c_3$  とすると、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  はそれぞれ式 6、式 7、式 8 で示される。ここで  $S$  は剛性率、 $C$  はポアソン比で決まる定数（ $C < 1$ ）である。例えば  $C = 0.25$  とすると、 $c_1 : c_2 : c_3 = 1.73 : 1 : 0.92$  となる。これらの速度  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  は物質ごとに異なる定数である。ここで体積弾性率  $k$ 、縦弾性率  $E$ 、剛性率  $S$  の関係を示すと、 $E = 2S(1 + \frac{1}{C})$ 、 $E = 3k(1 - 2C)$  である。なお、ポアソン比  $C$  は、ガラスで 0.25、シリコンで 0.07、銅で 0.342、アルミニウムで 0.345 である。また、最もポアソン比  $C$  大きいものはゴムのよう

20

【0030】

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+C)(1-2C)}} = \sqrt{\frac{(3k+4S)/3}{\rho}} \cdots (1)$$

$$c_2 = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+C)}} = \sqrt{\frac{S}{\rho}} \cdots (2)$$

$$c_3 = C c_2 \cdots (3)$$

【0031】

被加工物 10 が、半導体チップが形成されたシリコンウエハである場合、被加工物 10 の構成材料及びその応力伝播速度は、表 1 のようになる。

【0032】

【表 1】

30

材料	$\rho$ [10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> ]	$c_1$ [m/s]	$c_2$ [m/s]	$c_3$ [m/s]	$\rho c_1$ [10 <sup>6</sup> Ns/m <sup>3</sup> ]	$\rho c_2$ [10 <sup>6</sup> Ns/m <sup>3</sup> ]
Si(100)	2.33	8,433	5,843		19.64	13.61
SiO <sub>2</sub>	2.2	5,968	3,764	5,760	13.1	8.29
Al	2.69	6,420	3,040	5,000	17.3	8.2
Cu	8.96	5,010	2,270	3,750	44.6	20.2
W	19.2	5,410	2,640	4,320	103	50.5
Ploystyrene	1.056	2,350	1,120	2,240	2.48	1.18

40

【0033】

固体中の力の伝達速度は、隣接する原子 20 の相互作用の変化、具体的には隣接する原子 20 間を接合している結合手 21 の追従性を示している（図 2 参照）。従って、固体中の力の伝達速度は、隣接する原子 20 間の距離の大小に関係する。

【0034】

ここで固体（本件では、被加工物 10 がこれに相当する）に対し外力が印加され、かつこの外力の速度が上記した固体中の力の伝達速度より速い場合を想定する。説明を判り易くするために、上記の固体をガラスとし、外力が印加される具体例として、銃の弾丸がこ

50

のガラスを貫通した場合を想定する。銃の弾丸は、空気中の音速の数倍である。ガラスを貫通するとき、ガラスには弾丸の大きさに近い穴が開くだけで、周囲にクラックの進展はないことが経験的に知られている。重要なことは、弾丸の通過する範囲にしか応力を与えないことである。

【 0 0 3 5 】

この現象をガラスの加工という観点から見ると、弾丸（速度は1000m/s程度）により、ガラスに対して周囲にクラック等の欠陥のない高品質の穴加工が行われたことになる。これは、固体（被加工物10）の横波を越える速度で固体に対して加工された（これは、外力の印加と等価である）とすると、外力が印加された原子20は、この外力が印加された原子の隣の原子20に応力を伝える時間的余裕を与えることなく、結合子21が破壊されることを意味する。

10

【 0 0 3 6 】

続いて、高速加工でもうひとつ重要な現象例を示す。ある物体が高速で水面に衝突すると、水面（ $c_0 = 1500 \text{ m/s}$ ）は硬い固体と等価のように感じる。これは、 $50 \text{ m/s}$ （ $180 \text{ km/h}$ ）という遅い速度でもそのような状態、即ち液体が剛体とみなしうる状態となる。

【 0 0 3 7 】

これらの現象を形状加工に適用してみる。図2がそのモデルである。図2（A）に示すように、被加工物10を構成する16個の原子20を考え、結合子21のそれぞれはばね定数と結合の強さを表すエネルギー $U_{int}$ を有しているものとする。体積弾性率 $k$ や凝集エネルギー $E$ との関係を示すと、

20

$$(\text{体積弾性率 } k) = \{ \times \text{原子濃度} \times (\text{配位数} / 2) \} / \{ 9 \times (\text{原子半径} \times 2)^2 \}$$

$$(\text{凝集エネルギー } E) = U_{int} \times \text{アボガドロ数} / (\text{配位数} / 2)$$

となる。

【 0 0 3 8 】

ここで、図2（B）に示されるように、バイト2の刃2aにより力 $F$ が、16個の原子20の内、中心2列に印加されたとする。刃2aの速度 $v$ が結合手21による原子間結合の弾性波伝播速度より十分速いとすると（ $v > c_1$ ）、中心2列の8原子は、その進行方向（図中左方向）の結合手の弾性変形（弾性波伝播の元になる現象）をする暇を与えられず、8原子全体が一括的に左に移動し、このように一括的に移動する8原子の上下の結合手21が剪断力で破断される。これにより、刃2aにより加工が行われた後の表面は、原子20の転移、クラック、残存、歪等のない高精度の鏡面となる。

30

【 0 0 3 9 】

また、上記した表面加工の際、上下の4つの結合子21の切断エネルギーと、4つの原子20の運動エネルギーをバイト2の連動エネルギーから貰い受けるが、その破断に至る変位を $d$ 、破断に至る力を $F_d$ とすると式9の関係が成り立つ。

$$m_p v^2 / 2 > 4 \quad d^2 + 4 m_a v^2 / 2 = 4 F_d^2 / 2 + 4 m_a v^2 / 2 \quad (4)$$

【 0 0 4 0 】

換言すれば、バイト2の運動エネルギー $E_b (= m_p v^2 / 2)$ が、被加工物10を構成する原子20の結合手21を上記の如く剪断するためのエネルギー $E_a (= 4 F_d^2 / 2)$ と、削り取られる原子20が $c_2$ 以上（好ましくは $c_1$ 以上）の速度で移動するときの運動エネルギー（運動エネルギー $E v_1 (= 4 m_a c_2^2 / 2)$ ）と、切削後のバイト2が $c_2$ 以上（好ましくは $c_1$ 以上）の速度で移動するときの運動エネルギー（ $E v_2$ ）の総和よりも大きなエネルギーを持つように（ $E_b > E_a + E v_1 + E v_2$ ）面加工装置1において加工を行うことにより、基板（被加工物10）に対して上記の高精度の鏡面加工を実施することが可能となる。

40

【 0 0 4 1 】

一方、バイト2の加工速度 $v$ が次第に小さくなる（ $c_2 > v > c_1$ ）と、結合手21の多少の弾性変形を許すことになり、横波速度 $c_2$ の速度で力の波動が進行方向の斜め後方に広がっていく。従って、バイト2の加工速度 $v$ が横波速度 $c_2$ 以上であれば、力の波動はバイト2の進行方向に対して45度以下の立体角を形成する。上記のように波動が進む際、こ

50

の波動の力の及ぶ45度以下の立体角の中で一番強度の弱い部分で破壊が進行する。1列目の原子20は、バイト2の進行方向に対して略0の角度の部分で破壊されるため、2列目以降の原子20も、しばらくはバイト2の進行方向に対して略0の角度で破壊が進行する。このため、バイト2の回転数を上げるか、又は刃2aの数を増やして複数の刃2aが被加工物10を切削する時間間隔を十分に短くすることにより、 $c_2 \cdot v < c_1$ の条件においても高精度の鏡面加工を実施することが可能となる。

【0042】

なお、複数の刃2aが被加工物10を切削する時間間隔が多少長くなった場合、破壊の進行角度は最終的には $\arctan(c_2/c_1)$ となるが、破壊の進行角度が $\arctan(c_2/c_1)$ となる長さは十分に短いため、この場合においても切削面に凹凸は十分に小さくなり、略鏡面の切削面を得ることができる。

10

【0043】

図3は、バイト2により被加工物10を表面加工している状態をマクロ的に見た状態を示しており、また図4は、バイト2により被加工物10を表面加工している状態をミクロ的に見た状態を示している。バイト2により被加工物10を加工する場合、バイト2の軸ぶれ及び送りすれはいずれも $0.1 \mu\text{m}$ 以下であるのが好ましく、かつバイト2の回転速度は10000~50000rpmの高速回転であることが望ましい。

【0044】

なお、図5に見られるように、バイト2の被加工物10(被加工物)への衝突は、原子20と原子30のぶつかりである。今1個の原子20と1個の原子30が同じ質量を持つとすれば、総合エネルギーの強いほうが弱いほうを切断する。これは、図5で分かるように、各部材(バイト2、被加工物10)の密度と凝集エネルギーの関数である。

20

【0045】

これをマクロ的に見ると、 $(1/2)(\text{単位体積当たりの質量})(\text{衝突速度})^2 + (\text{単位体積当たりの凝集エネルギー})$ の大小でどちらが切断されるかが決まり、バイト2の密度を被加工物10の密度より大きく設計すればよい。また、切断状態は、被加工物10のバイト2が衝突する衝突前面の、バイト2の進行方向に対する後ろに控える分子の質量にも関係する。図3及び図5は、このモデルも示している。

【0046】

バイト2が最初に被加工物10に衝突すると、図2を用いて説明したように、被加工物10では水平に原子20の剥離が起こる。図3(A)及び図4(A)は、バイト2が被加工物10に衝突したときを示している。前記したように、バイト2の加工速度 $v$ は、 $c_2 \cdot v$ の条件を満たしているため、原子20の剥離は上方に逃げることになる。図3(B)はこの状態を示しており、図3(C)は刃2aが表面11を切削している状態を拡大して示している。

30

【0047】

切削加工が進展すると、図4(B)~(D)に示すように、バイト2は以前に剥離して逃げた原子20上をトレースすることになる。この際、原子20の原子列が、バイト2によりだるま落としのように下から順に加工されていく。具体的には、図4(B)では、バイト2より原子列Aが加工され、図4(C)ではバイト2により原子列A及び原子列Bが加工され、更に図4(D)ではバイト2により原子列Cが加工され、バイト2は原子列A及び原子列Bから離間する。

40

【0048】

このように本発明では、バイト2の加工速度 $v$ が $c_2 \cdot v$ の条件を満たしているため、各原子列A~原子列Cは、だるま落としのように被加工物10から剥離してゆく。従って、切削加工により発生する切子8は、全体が原子レベルの層構造を維持したまま、変形しない状態で被加工物10から剥離する。一般的に切子8は変形し、切子8の変形にエネルギーを必要とする。これに対して本発明では、上記したように原子レベルで変形が無いため、切子8の変形エネルギーを必要としない。従って、加工に必要なエネルギーが少なくなる。また、発生する切子8の温度は高くなり、数千℃になって飛ぶことになる。しかし、

50

残された被加工物 10 の加工表面は、表面 11 の原子 20 の剥離に必要なエネルギー以上のエネルギーを与えられず、ひずみも全くないため、温度上昇もわずかで無歪の鏡面となる。尚、表 2 に元素の凝集エネルギーや密度などのパラメータを示しておく。

【 0 0 4 9 】

【表 2】

元素	原子濃度 ( $10^{28}$ atom/m <sup>3</sup> )	凝集エネルギー (kJ/mol)	原子ばね定数 $\kappa$ (N/m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
Al	6.02	327	22	2.69
Cu	8.45	336	37.1	8.93
ダイヤモンド	17.6	711	587	3.51
Mo	6.42	658	73.8	10.2
Si	5	446	159.7	2.34
W	6.3	859	102.5	19.1

10

【 0 0 5 0 】

以上、被加工物 10 の表面 11 に対するバイト 2 の加工速度すなわち移動速度を、被加工物 10 を構成する材料における圧縮応力波の横波伝播速度を  $c_2$  より速くすることにより、表面 11 を鏡面切削することができる。

20

【 0 0 5 1 】

なお、本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を変更しない範囲で様々に変形することが可能である。例えば図 1 を用いて説明した加工を被加工物 10 に対して行った後、被加工物 10 の表面 11 に対して刃を水平に移動させることにより、表面 11 を仕上げ加工しても良い。この場合、刃は、例えばタングステンバイトの表面にダイヤモンドをエピタキシャル成長させることにより形成される。

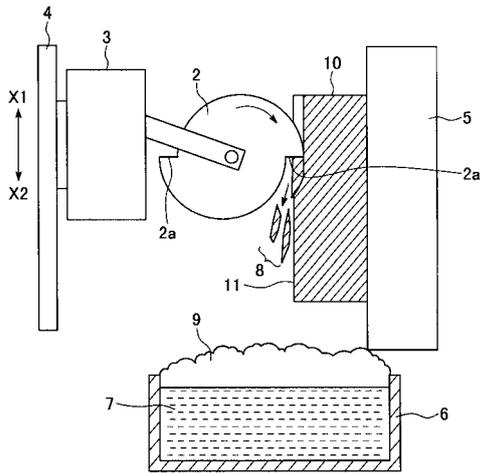
【産業上の利用可能性】

【 0 0 5 2 】

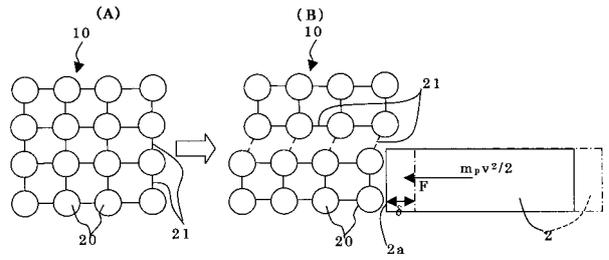
本発明は、ウエハやシリンダ内面等の被加工物の表面を加工する被加工物の加工方法に関する。

30

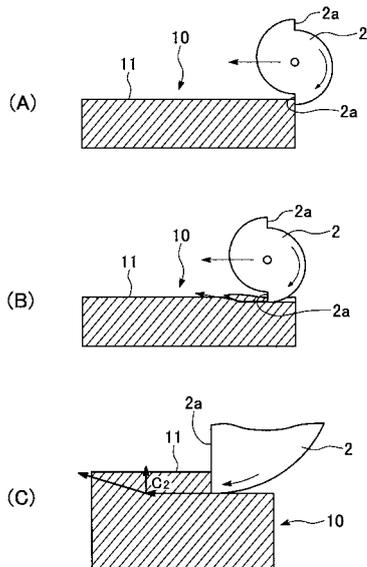
【 図 1 】



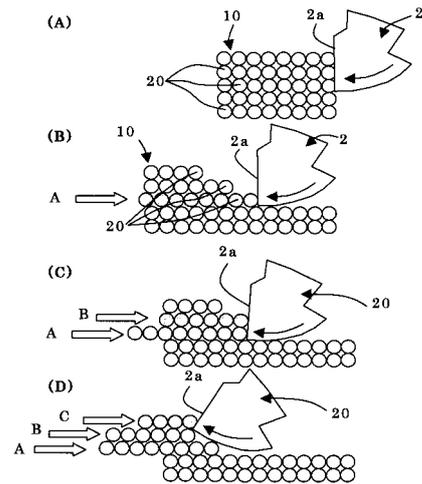
【 図 2 】



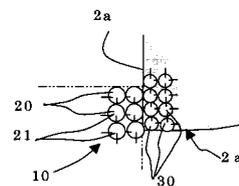
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2007/064420
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> B23C3/00(2006.01)i, B23B1/00(2006.01)i, B23C5/16(2006.01)i, B24B1/00(2006.01)i, H01L21/304(2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23C3/00, B23B1/00, B23C5/16, B24B1/00, H01L21/304  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 1996-2007 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-254304 A (NSK Ltd.), 10 September, 2002 (10.09.02), Par. Nos. [0028] to [0030], [0039]; Fig. 1 (Family: none)	1-5
A	JP 2003-191104 A (Mori Seiki Co., Ltd.), 08 July, 2003 (08.07.03), Par. Nos. [0026] to [0038] (Family: none)	1-5
A	JP 2003-033738 A (Maruwa Electric Inc.), 04 February, 2003 (04.02.03), Par. Nos. [0019] to [0037] & US 2003-0015227 A1	1-5
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 15 October, 2007 (15.10.07)		Date of mailing of the international search report 20 November, 2007 (20.11.07)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2007/064420									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B23C3/00(2006.01)i, B23B1/00(2006.01)i, B23C5/16(2006.01)i, B24B1/00(2006.01)i, H01L21/304(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. B23C3/00, B23B1/00, B23C5/16, B24B1/00, H01L21/304											
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2007年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2007年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2007年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2007年	日本国実用新案登録公報	1996-2007年	日本国登録実用新案公報	1994-2007年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2007年										
日本国実用新案登録公報	1996-2007年										
日本国登録実用新案公報	1994-2007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 請求の範囲の番号									
A	JP 2002-254304 A (日本精工株式会社) 2002.09.10, 段落【0028】-【0030】, 【0039】, 第1図 (ファミリーなし)	1-5									
A	JP 2003-191104 A (株式会社森精機製作所) 2003.07.08, 段落【0026】-【0038】 (ファミリーなし)	1-5									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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		の日の後に公表された文献									
「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		「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									
「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		「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									
「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)		「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									
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献									
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願											
国際調査を完了した日 15.10.2007		国際調査報告の発送日 20.11.2007									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 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) 大川 登志男	3C 3737								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3324									

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2007/064420

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 請求の範囲の番号
A	JP 2003-033738 A (丸和電機株式会社) 2003.02.04, 段落【0019】-【0037】 & US 2003-0015227 A1	1-5

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。