

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-96016

(P2005-96016A)

(43) 公開日 平成17年4月14日(2005.4.14)

(51) Int. Cl.⁷

B 2 4 B 35/00

B 2 4 B 1/04

B 2 4 B 37/00

F I

B 2 4 B 35/00

B 2 4 B 1/04

B 2 4 B 37/00

テーマコード(参考)

3 C 0 4 9

3 C 0 5 8

B

E

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2003-331511 (P2003-331511)

(22) 出願日 平成15年9月24日(2003.9.24)

特許法第30条第1項適用申請有り

(71) 出願人 503360115

独立行政法人科学技術振興機構

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(74) 代理人 100099265

弁理士 長瀬 成城

(72) 発明者 鈴木 浩文

大阪府堺市上野芝町5丁目1番28号

(72) 発明者 官原 充

豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 学生宿舍B

-307

(72) 発明者 澁谷 秀雄

豊橋市上野町字上野A-303

Fターム(参考) 3C049 AA07 AA11 AA16 AC02 BA09

BB02 BC02 CA03 CB04 CB05

最終頁に続く

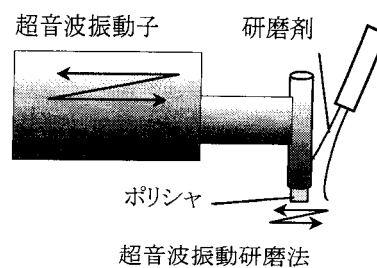
(54) 【発明の名称】 振動研磨方法およびその装置

(57) 【要約】

【課題】 微小回転工具の限界を超えて、より微小な非球面への仕上げに適應でき、工具の微小化が容易で加工圧の制御も容易な振動研磨方法およびその装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 微小な曲面形状を有する工作物表面に微小工具を押し付けて工作物表面を研磨する研磨方法において、前記微小な曲面形状に軟質の非回転工具(ポリシヤ)を一定圧力で押し付けるとともに、加工面に対して平行な方向に前記非回転工具に超音波振動を与え、その接触部に砥粒を分散させた液体をかけながら研磨するようにしたので、工具を回転する必要がなく、工具の微小化が可能となって、修正研磨できる限界径を限りなく小さくでき、超音波振動により加工面に供給された液体中の砥粒が分散して、より効果的に超精密加工が可能となる上に、加工圧の制御も容易となる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

微小な曲面形状を有する工作物表面に微小工具を押し付けて工作物表面を研磨する研磨方法において、前記微小な曲面形状に軟質の非回転工具を一定圧力で押し付けるとともに、加工面に対して平行な方向に前記非回転工具に超音波振動を与え、その接触部に砥粒を分散させた液体をかけながら研磨することを特徴とする振動研磨方法。

【請求項 2】

前記工作物における表面加工形状を測定し、その測定結果に基づいて前記非回転工具の走査速度を制御して、工作物における表面加工形状を修正することを特徴とする請求項 1 に記載の振動研磨方法。

10

【請求項 3】

前記非回転工具に与える超音波振動に円運動または楕円運動を付与することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の振動研磨方法。

【請求項 4】

振動子の先端に設置した軟質の非回転工具に工作物の加工面に平行に超音波振動を付与する超音波振動付与手段と、前記非回転工具を工作物の加工面に一定の圧力で押し付ける圧力付与手段と、非回転工具と工作物の加工面の接触部に砥粒を分散させた液体をかける研磨剤噴射手段とを備えたことを特徴とする振動研磨装置。

【請求項 5】

前記工作物の加工面の表面加工形状を測定する測定手段と、該測定手段の測定結果に基づいて、前記非回転工具の走査速度を制御する制御手段を備えたことを特徴とする請求項 4 に記載の振動研磨装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微小な曲面形状を有する工作物表面に微小工具を押し付けて工作物表面を研磨する研磨方法およびその装置に関する。本発明は、半導体露光装置（ステッパー）用光学系照明レンズや、光通信部品、デジタルカメラ、レーザーピックアップ等の光学部品用レンズおよびそれらの成形用の型の研磨に利用が可能である。

【背景技術】

30

【0002】

これまで本件発明者は様々なマイクロ非球面の超精密研削・切削加工システムや加工技術の開発を行い、光通信、光ピックアップ、その他のマイクロデバイス用レンズを成形するための型の精密加工への適用を行ってきた。例えば、マイクロ砥石を用いた超硬合金製マイクロ軸対称非球面型の研削加工では $0.05 \sim 0.1 \mu\text{m P-V}$ の形状精度と $10 \sim 30 \text{ nm Ry}$ の表面粗さが得られている。一方、近年では、使用波長の短波長化や集光特性の向上の要求等のため、切削・研削加工の後に研磨加工し、さらに表面粗さを向上させたり、形状精度をさらに改善する要求が生じている。このような研磨加工の 1 例として下記特許文献 1 に開示されたものがある。

【特許文献 1】特開平 10 - 146748 号公報（請求項 1 参照）

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

前記特許文献 1 に開示されたものを、図 15 に基づいて簡単に説明すると、工作物 112 を直交する X 軸、Y 軸スライドテーブル上に設置固定し、NC 制御装置からの加工データを読み出して加工を開始する。ポリシャ 111 を回転させ、Z 軸スライドテーブル 103 を下降してポリシャ 111 を工作物 112 の表面に接触させる。研磨工具部 105 を有する Z 軸スライドテーブル 103 は、バランスウェイトとワイヤ 113 によって重力補償され、空気圧シリンダ 106 によって一定圧で下方に押圧され、定圧制御により研磨される。加工中の押圧力は、荷重検出手段 107 によって検出して、圧力制御部にフィードバ

50

ック信号を戻し、空気圧シリンダの空気圧を圧力制御するものである。

【0004】

このような構成の研磨装置によって、あらゆる非球面形状の工作物を研磨加工することができ、工具の形状、磨耗管理が容易で、工具軸と工作物の幾何学的位置関係の管理が容易で、研磨量の設定管理が容易となった。しかしながら、このような従来の微小回転工具による研磨法では、口径が 0.5 ~ 3 mm のレンズ型への適用は困難である。つまり、微小回転工具研磨法では、ポリシャ等の軟質の工具を所定の傾斜角（ θ とする）に傾斜させて回転させ、加工荷重（ W とする）を負荷し、遊離砥粒懸濁液を噴霧しつつ、送り速度を制御しながら形状創成するものである。この場合の加工点における回転工具と工作物の相対速度 V は次式のようになる。

$$V = 2 \quad r \quad \cdot \quad s \quad i \quad n \quad \quad \quad (2)$$

ここで、 n は回転数、 r はポリシャ半径である。

【0005】

しかし、高精度の回転と、かつ最適な研磨圧力 1 kPa 程度の制御が可能であるポリシャの外径は、従来の回転工具では最小でも 2 mm 程度である。その結果、非球面加工物の近似曲率半径は 2 mm 程度が限界となる。また、その場合、加工の最小単位である単一加工痕の径は高々 1 mm 程度であり、修正研磨できる限界は 3 mm の外径の工作物となり、それ以下の寸法では十分な研磨は困難となる。

【0006】

そこで本発明は、前記従来の微小回転工具による研磨法の課題を解決して、微小回転工具の限界を超えて、より微小な非球面への仕上げに適應でき、工具の微小化が容易で加工圧の制御も容易な振動研磨方法およびその装置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】

【0007】

そのため、本発明は、微小な曲面形状を有する工作物表面に微小工具を押し付けて工作物表面を研磨する研磨方法において、前記微小な曲面形状に軟質の非回転工具を一定圧力で押し付けるとともに、加工面に対して平行な方向に前記非回転工具に超音波振動を与え、その接触部に砥粒を分散させた液体をかけながら研磨することを特徴とする。また本発明は、前記工作物における表面加工形状を測定し、その測定結果に基づいて前記非回転工具の走査速度を制御して、工作物における表面加工形状を修正することを特徴とする。また本発明は、前記非回転工具に与える超音波振動に円運動または楕円運動を付与することを特徴とする。また本発明は、振動子の先端に設置した軟質の非回転工具に工作物の加工面に平行に超音波振動を付与する超音波振動付与手段と、前記非回転工具を工作物の加工面に一定の圧力で押し付ける圧力付与手段と、非回転工具と工作物の加工面の接触部に砥粒を分散させた液体をかける研磨剤噴射手段とを備えたことを特徴とする。また本発明は、前記工作物の加工面の表面加工形状を測定する測定手段と、該測定手段の測定結果に基づいて、前記非回転工具の走査速度を制御する制御手段を備えたことを特徴とするもので、これらを課題解決のための手段とするものである。

【発明の効果】

【0008】

本発明では、微小な曲面形状を有する工作物表面に微小工具を押し付けて工作物表面を研磨する研磨方法において、前記微小な曲面形状に軟質の非回転工具を一定圧力で押し付けるとともに、加工面に対して平行な方向に前記非回転工具に超音波振動を与え、その接触部に砥粒を分散させた液体をかけながら研磨することにより、工具を回転する必要がないので、工具の微小化が可能となって、修正研磨できる限界径を限りなく小さくでき、超音波振動により加工面に供給された液体中の砥粒が分散して、より効果的に超精密加工が可能となる上に、加工圧の制御も容易となる。

【0009】

10

20

30

40

50

また、前記工作物における表面加工形状を測定し、その測定結果に基づいて前記非回転工具の走査速度を制御して、工作物における表面加工形状を修正することにより、加工中のフィードバック機能によって、工具の滞留時間と研磨量の適正な制御により、より高精度の超精密加工が可能となる。さらに、前記非回転工具に与える超音波振動に円運動または楕円運動を付与することにより、超音波振動方向に交差する方向にも工具の走査が行われてより滑らかな表面加工が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。図1は本発明の振動研磨方法の基本原理解説図、図2は本発明の振動研磨実験装置を示す斜視図、図3は本発明の超音波研磨ヘッドの概観写真図、図4は本発明のマイクロ研磨工具の軌跡図の1例、図5はガラス材における本発明の振動研磨実験装置による加工時間と加工量との関係を示す実験結果図、図6は同、加工圧力と加工速度の関係を示す実験結果図、図7は同、研磨量と表面粗さの変化の関係を示す実験結果図、図8は同、加工面の時間的変化を示すノマルスキー顕微鏡写真図、図9は同、超硬合金における研磨量と表面粗さの変化図、図10は同、加工面の40分後のノマルスキー顕微鏡写真図、図11は同、非球面形状創成実験図、図12は同、修正研磨の可能性の実験の研磨条件を示す表図、図13は同、滞留時間の制御実験の研磨条件を示す表図、図14は同、非球面形状修正実験の結果図である。

10

【0011】

本発明の基本的な構成は、図1に示すように、微小な曲面形状を有する工作物表面に微小工具を押し付けて工作物表面を研磨する研磨方法において、前記微小な曲面形状に軟質の非回転工具（ポリシャ）を一定圧力で押し付けるとともに、該非回転工具に加工面に対して平行な方向に超音波振動を与え、その接触部に液体を分散させた砥粒（研磨剤）をかけながら研磨することを特徴とするものである。

20

【実施例1】

【0012】

以下、実験装置による実験結果とともに、本発明の優位性について説明する。マイクロレンズ型の仕上げ研磨を行うため、図1に示すように微小なポリシャを被加工面に法線方向から一定荷重で押し付け、遊離砥粒を噴霧しながら超音波を付加することにより、研削加工面を仕上げ加工する新しい方法を提案する。本発明では、卓上型のX、Y、Z軸駆動の同時3軸制御の超音波援用マイクロ研磨装置を開発し、ガラス基板と微粒子超硬合金製基板を用いて本発明の研磨法の基本的研磨特性を調べるとともに、平面サンプルを用いた非球面形状創成実験を行い、本発明の研磨法の可能性検証を行った。

30

【0013】

<加工原理>

本発明の研磨法を従来の方法と比較して述べる。加工量を、加工圧をP、工具と工作物の相対速度をV、研磨時間をtとする、は Preston の法則より次式で表される。

$$= k \cdot P \cdot V \cdot t$$

(1)

40

ここで、kはワーク材料や砥粒などの研磨条件で決まる定数である。従来の微小回転工具研磨法では、前記段落0004にて説明したように、ポリシャ等の軟質の工具を所定の傾斜角（とする）に傾斜させて回転させ、加工荷重（Wとする）を負荷し、遊離砥粒懸濁液を噴霧しつつ、送り速度を制御しながら形状創成するが、この場合の加工点における回転工具と工作物の相対速度Vは $V = 2 \cdot r \cdot \sin$ （式2：は回転数、rはポリシャ半径）で表せる。

【0014】

しかし、ポリシャの外径は最小でも2mm程度で、その結果、非球面加工物の近似曲率半径は2mm程度が限界となる。また、その場合、加工の最小単位である単一加工痕

50

の径は高々1mm程度であり、修正研磨できる限界は3mmの外径の工作物となり、それ以下の寸法では十分な研磨は困難となっていた。そこで本発明では、この工具と工作物の相対運動を、図1に示すように超音波振動に置き換えることを提案する。このような振動動作にすると、工具を回転する必要がないために、工具の微小化が可能となり、また、加工圧の制御が容易になる。本発明の超音波振動研磨法の場合、工具の平均周速度 V は次式で表される。

$$V = 2 \cdot \quad (3)$$

ここで、 A は超音波の振幅、 f は振動数である。

10

【0015】

このように、研磨工具は非回転であるため加工痕の微小化が実現できるものと考えられる。また、従来の研磨法との周速の差異について述べる。例えば、従来法で研磨工具の回転数 $n = 500 / \text{min}$ 、工具半径 $r = 1 \text{ mm}$ の場合は式(2)から周速 $V = 2.2 \text{ m/s}$ となる。一方、本発明の方法では振動致 $f = 24 \text{ kHz}$ 、振幅 $A = 40 \mu\text{m}$ の場合は、 $V = 1.9 \text{ m/s}$ となり、工具径が小さくなればなる程、本発明の超音波援用振動研磨法の方が有利となるのがわかる。

【0016】

< 超音波援用研磨装置 >

本発明で試作した卓上研磨装置の概略図を図2に、その外観写真を図3に示す。5軸(X, Y, Z, A, C)同時4軸制御のNC制御装置に、超音波付与手段である超音波振動子を搭載した。超音波振動子に棒状のステンレス製アームを取り付け、その先端に微小なポリシャを接着して研磨加工を行った。超音波研磨ヘッドは1点の支点で支えられており、その点を中心にバランスが採られている。研磨荷重は研磨工具上方に圧力付与手段としての錘を固定することにより調整した。各種の錘を取り付けたときの加工点に作用する荷重はあらかじめ電子天秤により校正した。

20

【0017】

なお、本実験では3次元的に走査して研磨実験するために、 A 軸および C 軸を用いずに(X, Y, Z)の同時3軸制御で平面サンプルを用いた基礎的検討を行った。制御手段としてのパーソナルコンピュータにより工具軌跡および工具の最適送り速度を計算し、それ

30

【0018】

< 実験方法 >

実験手順ははじめに平面のソーダガラス試料を用いて基礎的研磨特性の評価を行った。最後に工具の滞留時間を制御し、平面サンプルを用いて非球曲創成実験を行い、マイクロ非球面の修正研磨の可能性について検討を行った。実験条件を図12に示す。試料は予め前加工し、熱可塑性のワックスでワークジグに貼り付けて固定し、研磨剤噴射手段として遊離砥粒の懸濁水を噴霧しながら実験した。ポリシャには半導体の研磨に用いられる軟質

40

【0019】

テーブルの走査方向は超音波振動方向に交差する方向とした。研磨時間は5分/サイクルであった。加工面の表面粗さおよび加工量の評価は、研磨の基礎的検討実験では、測定手段としての触針式の表面粗さ計SV-C624(Mitsuyo製)を用いて研磨量の評価および表面粗さの評価を行った。マイクロ非球面創成実験では測定手段として非接触3次元形状測定器UA3P(松下電器製)を用いて、形状精度の評価を行った。形状修正研磨法の原理から、加工点における研磨量は工具の滞留時間により決定される。工具

50

を工作物に押し付けたときにできる単一加工痕の面積が工作物のうねりよりも十分に小さいとすると、加工点 (X , Y) において工具が滞留する時間 t は次式で表せる。

$$t = S / (Y \cdot F_x (X , Y)) \quad (4)$$

ここで、S は回転工具を工作物に押し付けてできる単一加工痕の面積 $F_x (X , Y)$ は工具の X 方向走査速度である。したがって、形状創成する場合に必要な加工量分布を (X , Y) とすると、各座標 (X , Y) において工具に要求される走査速度 $F_x (X , Y)$ は次式で与えられる。

$$F_x (X , Y) = k \cdot W \cdot V / (Y \cdot (X , Y)) \quad (5)$$

【 0 0 2 0 】

< 実験結果 >

< 平面実験 >

はじめに、ソーダガラスを研磨して得られた基礎実験の結果について述べる。研磨時間と加工量の関係を図 5 に示す。加工圧を 29.4 ~ 78.4 kPa と変化させて、ダイヤモンド砥粒を用いて図 12 の研磨条件で加工した。いずれの加工圧においても加工量は時間の経過とともにほぼ比例して増加している。次に、この結果を基に計算した研磨圧力と研磨速度の関係を図 6 に示す。研磨圧力と研磨速度は比例関係にあることが確認でき、従来の研磨法と同様に Preston の法則が成り立っていることがわかる。このことから本研磨法においても形状修正研磨を行う上で形状精度が向上しやすいことがわかる。

【 0 0 2 1 】

また、研磨圧力 58.8 kPa (600 gf / cm²) の場合の時間に対する表面粗さと加工量の関係を図 7 に示す。ソーダガラスサンプルを粗粒の砥粒でラッピングして用いた。時間の経過とともに表面粗さが向上していることがわかる。その時の加工面のノマルスキー顕微鏡写真を図 8 に示す。研磨直後にスクラッチが完全に除去されているのがわかる。同様にガラスレンズ成形用の型材として用いられている微粒子超硬合金を研磨した結果を図 9 に示す。この場合も同様に粗粒の砥粒でラッピングして用いた。その時の加工面のノマルスキー顕微鏡写真を図 10 に示す。研磨後にスクラッチが完全に除去されている。またこの場合は、表面粗さが十分に良好になっていることがわかる。微粒子超硬合金はガラス材に比べ脆性的な性質が少ないために、超音波振動によるクラックの進展が少ないために表面粗さが良好になっているものと考えられる。

【 0 0 2 2 】

< 非球面形状創成実験 >

最後に非球面形状ガラスレンズを創成した結果を示す。ここでは平面形状のソーダガラスサンプルを用い、X 方向には一定で Y 方向に深さ分布をもつ 2 次元的非球面の創成実験を行った。形状創成実験では図 11 に示すように 4 mm の面積において、滞留時間を制御しながら工具を走査した。研磨条件を図 13 に示す。目標の非球面形状は約 0.5 μm のサグ量で、Y 方向に分布を持つ非球面形状とした。研磨実験の結果を図 14 に示す。横軸は Y 方向の位置で、縦軸は目標の非球面からの偏差量である。形状精度は曲率半径 2 μm のダイヤモンドスタイラスを有する形状測定器 UA3P (松下電器製) を用いて、Y 方向の断面を測定し、そのデジタルデータをパーソナルコンピュータに取り込み評価した。図では研磨が行われない両端部の高さ方向位置が一致するように表示した。研磨前に約 0.46 μm P - V の形状誤差があったものが、研磨後に約 0.1 μm P - V に改善されており、マイクロ非球面の形状修正にも本プロセスが有効であることがわかる。なお、本実験ではサグ量の小さな形状について検討したが、実際の非球面成形型では深い形状になる。その場合は、図 2 の A 軸を用いて工具の法線方向制御を行う必要がある。

【 0 0 2 3 】

< 結言 >

本発明では、マイクロレンズの型の仕上げ研磨を行うため、微小なポリシャを被加工面

10

20

30

40

50

に法線方向から一定荷重で押し付け、遊離砥粒を噴霧しながら超音波を付加することにより、研削加工面を仕上げ加工する新しい方法を提案した。本発明では卓上型のX、Y、Z軸駆動の同時3軸制御の超音波援用マイクロ研磨装置を開発し、ガラス基板と微粒子超硬合金製基板を用いて、本発明の研磨法の基本的研磨特性を調べるとともに、平面形状のガラスサンプルを用いた非球面形状創成実験を行い、本発明の研磨法の可能性検証を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 本研磨法でも、加工圧と加工速度は比例関係にあり、従来の回転工具と同様に Preston の法則が成立することが確認でき、形状修正に適している。

(2) 非回転工具である超音波振動工具を用いれば、ガラス材では表曲粗さが若干劣るが、微粒子超硬合金では約 11nmRy と良好に研磨される。

(3) 非球面形状の創成実験を行い、工具走査速度を制御することにより、約 $0.1\mu\text{mP-V}$ の形状精度の非球面を創成することができ、本研磨法の非球面創成研磨への有効性が明らかとなった。

10

【0024】

以上、本発明の実施例について説明してきたが、本発明の趣旨の範囲内にて、軟質の非回転工具の形状（非回転であるので真円でなくてもよい。適宜の断面形状のものが採用され得る）、形式およびその材質（研磨材としての特性を有する適宜の軟質材が採用され得る）、超音波振動付与形態、円運動の付与形態（X軸、Y軸駆動、C軸回転の組合せによる）、振動子の形状、形式および非回転工具のセット形態、非回転工具の工作物の加工面への圧力付与形態（A軸の回転駆動あるいはZ軸駆動による）、研磨剤噴射形態および研磨剤の種類、工作物の加工面の表面加工形状の測定形態、非回転工具の走査速度の制御形態（パソコンによる制御信号をコントローラに送出して駆動信号を各駆動部に送出する等）、工作物の種類等については適宜選定し得る。また、前記実施例にて示された材質や諸元は例示的なもので、限定的に解釈されてはならない。

20

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の振動研磨方法の基本原理を示す説明図である。

【図2】本発明の振動研磨実験装置を示す斜視図である。

【図3】本発明の超音波研磨ヘッドの概観写真図である。

【図4】本発明のマイクロ研磨工具の軌跡図の1例である。

30

【図5】本発明の振動研磨実験装置によるガラス材における加工時間と加工量との関係を示す実験結果図である。

【図6】同、実験装置による加工圧力と加工速度の関係を示す実験結果図である。

【図7】同、実験装置による研磨量と表面粗さの変化の関係を示す実験結果図である。

【図8】同、実験装置による加工面の時間的変化を示すノマルスキー顕微鏡写真図である。

【図9】同、実験装置による超硬合金における研磨量と表面粗さの変化図である。

【図10】同、実験装置による超硬合金における加工面の40分後のノマルスキー顕微鏡写真図である。

【図11】同、実験装置による非球面形状創成実験図である。

40

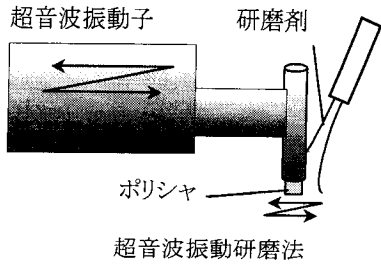
【図12】同、実験装置による修正研磨の可能性の実験の研磨条件を示す表図である。

【図13】同、実験装置による滞留時間の制御実験の研磨条件を示す表図である。

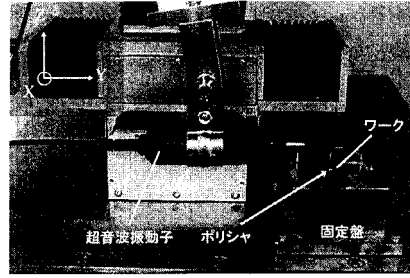
【図14】同、実験装置による非球面形状修正実験の結果図である。

【図15】従来の研磨装置の説明図である。

【図1】

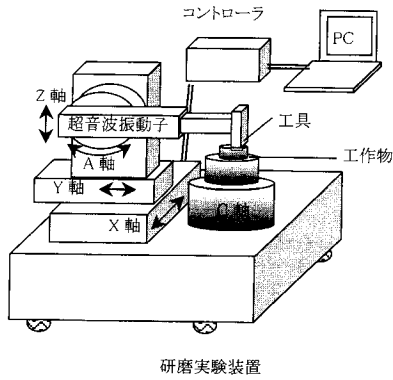


【図3】



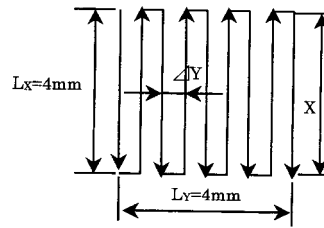
超音波研磨ヘッド概観

【図2】



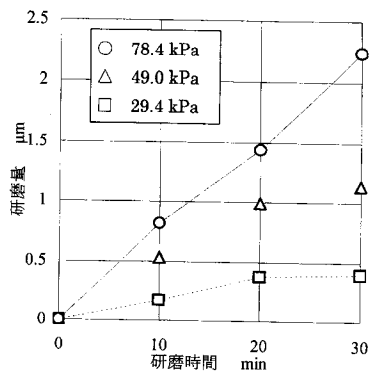
研磨実験装置

【図4】

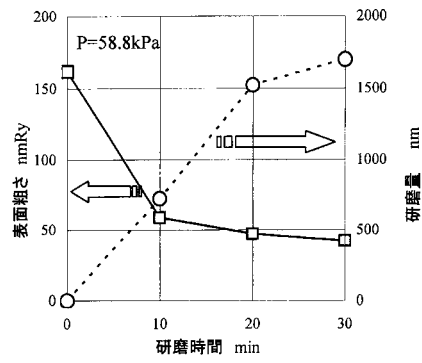


マイクロ研磨工具の軌跡

【図5】

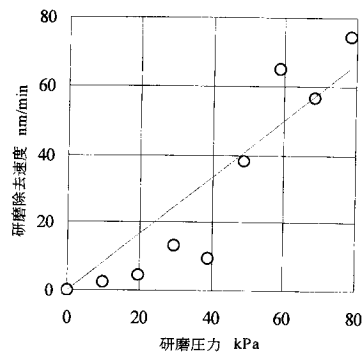


【図7】



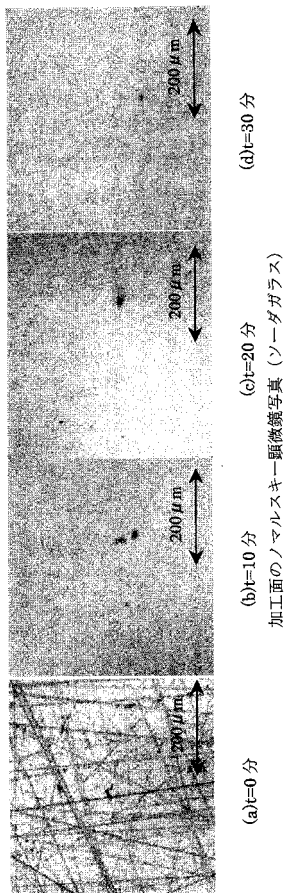
研磨量と表面粗さの変化 (ソーダガラス)

【図6】

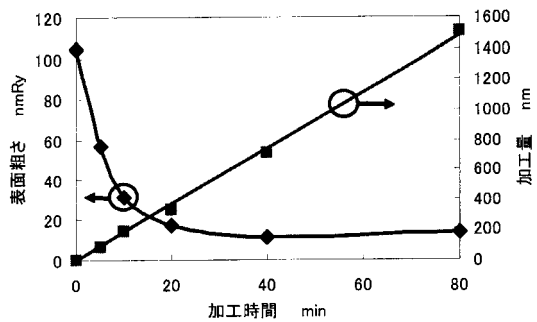


加工圧力と加工速度の関係

【 図 8 】

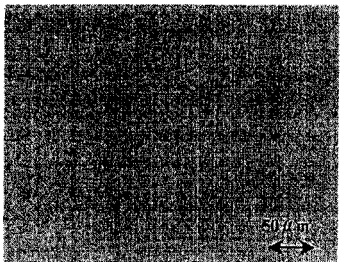
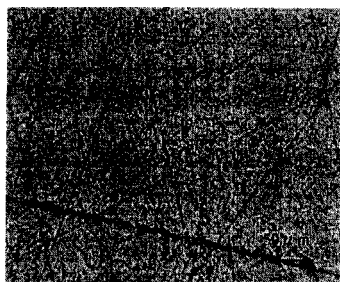


【 図 9 】



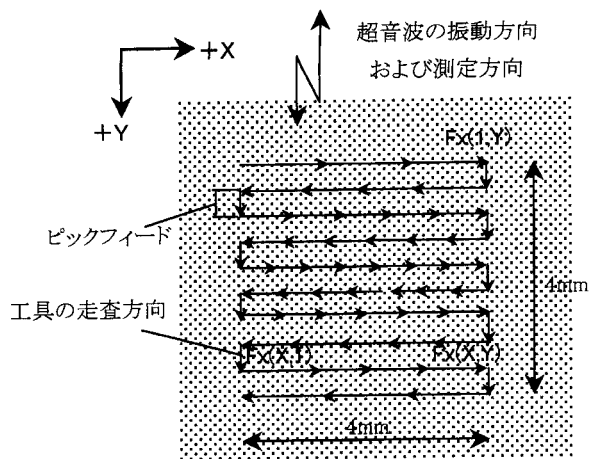
研磨量と表面粗さの変化 (微粒子超硬合金)

【 図 10 】



加工面のノマルスキー顕微鏡写真 (微粒子超硬合金)

【 図 11 】



非球面形状創成実験

【 図 1 2 】

研磨条件

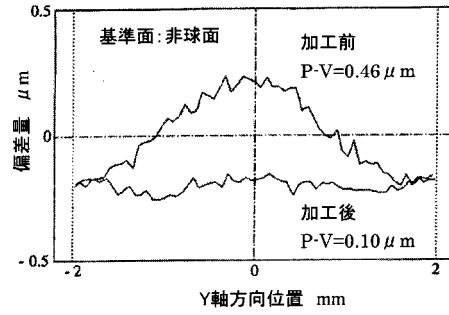
加工物	ソーダガラス, 微粒子超硬合金
ポリシヤ 寸法	SUBA400(ロデールニッタ製) □2mm
振動モード	往復運動
振動数	$\nu=24$ kHz
振幅	$\lambda=40$ μ m
砥粒	ダイヤモンド
粒径	1 μ m
濃度	1wt%
研磨圧力	9.8 - 78.4 kPa (100 - 800 gf/cm ²)
加工時間	10, 20, 30 min

【 図 1 3 】

研磨条件

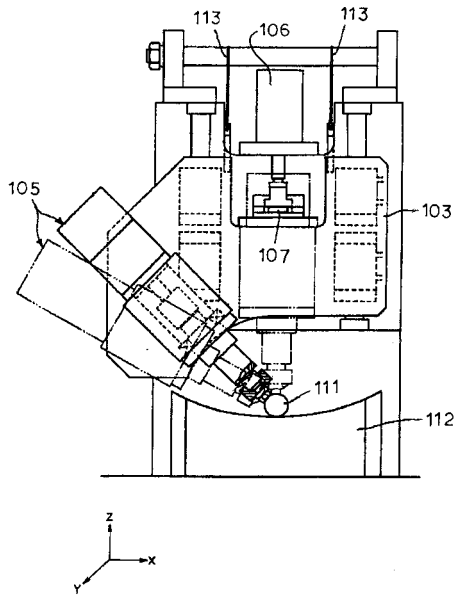
加工物	ソーダガラス
ポリシヤ 寸法	SUBA400(ロデールニッタ製) □2mm
振動モード	往復運動
振動数	$\nu=24$ kHz
振幅	$\lambda=40$ μ m
砥粒	ダイヤモンド
粒径	1 μ m
濃度	1wt%
研磨圧力	39.2 kPa (400 gf/cm ²)
工具走査回数	1 回 (約 5 min)

【 図 1 4 】



非球面形状修正実験の結果

【 図 1 5 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3C058 AA07 AA11 AA16 AC02 BA09 BB02 BC02 CA03 CB04 CB05
DA10