

平成21年3月31日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18206017
 研究課題名（和文） 液晶用メーター超大型フォトマスク基板の高精度・高能率作製プロセスの開発
 研究課題名（英文） Development of High-precision and High-efficient Finishing Process of Over Meter Size Photomask Substrate for LCD

研究代表者
 森 勇蔵 (MORI YUZO)
 大阪大学 名誉教授
 研究者番号：00029125

研究成果の概要：

局所的な液相エッチング領域を加工対象物の表面上において速度制御して走査することにより、平面基板の平坦度を向上させる数値制御ローカルウエットエッチング法を開発した。本研究では、液晶ディスプレイ作製の大型フォトマスク基板の高能率・高精度加工を目的として直径 125mm の大口径ノズルヘッドならびに 2 段階修正加工プロセスを開発し、1 辺の長さが 1m を超える超大型基板を実用的な加工時間で目標とする 10 μ m 以内の平坦度を達成する目途を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	17,000,000	5,100,000	22,100,000
2007 年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
2008 年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
年度			
年度			
総計	36,500,000	10,950,000	47,450,000

研究分野：超精密加工

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：液晶、フォトマスク基板、ウエットエッチング、平坦度

1. 研究開始当初の背景

近年、液晶やプラズマ等のフラットパネルディスプレイは、その大きさおよび市場規模が急速に拡大してきており、特に TFT (Thin Film Transistor) 液晶パネルは今後の成長が最も大きく期待されている。液晶パネルを生産するためには、フォトマスクを用いたリソ

グラフィック技術が不可欠であるが、液晶ディスプレイの性能・品質を向上させるためにはフォトマスクの仕様・品質の向上が求められている。また、製造コストを低減するためには 1 枚のマザーガラス上に複数の液晶パネルを形成するが、個々のパネルの大画面化に伴いマザーガラスは大型化し、必然的にフォト

マスクも大型化してきている。なぜなら、生産効率を高めるには、一度の露光工程においてより広い面積をカバーする必要があるからである。現在、第7世代と呼ばれるマザーガラスの大きさは約2 m角、フォトマスクの大きさは850 mm×1200 mm×厚さ10 mmとなっているが、2006年度後半にも稼動が予定されている第8世代においては、2.1 m×2.4 mのマザーガラス、および1300 mm×1500 mm×厚さ13 mmのフォトマスクが用いられることになっている。このように、巨大な大きさであるにもかかわらずフォトマスクに要求される精度は厳しく、特に平坦度に関しては20 μm以下が要求されている。この値は面積比換算で半導体用の高精度フォトマスク基板の精度に匹敵するため、ラッピングやポリシングといった従来の機械加工法では、もはや精度的にも装置コスト的にも、さらには再現性のある確実な生産性が得られるという点においても、要求される平坦度を満足することは極めて困難であり、革新的な加工プロセスの開発が急務となっている。

2. 研究の目的

本研究課題においては、局所的な液相エッチング領域を走査することによって形状創成を行う数値制御ローカルウェットエッチング法（NC-LWE：Numerically Controlled Local Wet Etching）による高精度仕上げ加工法を、液晶フォトマスク用の超大型石英ガラス基板の平坦化加工に対して効果的に適用し、要求精度を満足するマスク基板を実用時間内に作製するプロセスを開発することを目的としている。目的達成のために、均一なエッチャントの供給が可能な大口径ノズルの開発、エッチャントの濃度を計測し、一定の濃度に維持する機構の開発、循環使用するエッチャント中に含まれる反応生成物の除去方法を開発する。適用する加工法は、高能

率・高空間分解能性を併せ持つ非接触の化学的加工法であり、機械加工の限界を超越する極限的な精度が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 高能率加工用大口径円形ノズルヘッドの開発

エッチャントの供給ノズルは本加工法の性能を左右するキーコンポーネントであるため、エッチャントの安定供給と完全なる吸引を実現すべく流体力学シミュレーションとそれに基づくノズルヘッドの試作を行い、加工領域全体における加工速度分布の変動が1%以内であるノズルヘッドを開発する。特に、本項目においては、2次元数値制御走査による形状修正を目的とした直径100～150 mm程度の大きさを有する円形状のノズルヘッドを最適設計する。

(2) 2段階数値制御修正加工プロセスの開発

本研究の加工対象である液晶用フォトマスク基板は1 mを越す大型サイズであるため、最初に加工対象基板の幅よりも長いライン状の加工領域を1次元の数値制御で走査することにより、長空間波長の形状誤差成分を高能率に除去し、次に円形ノズルヘッドの2次元走査によって短空間波長誤差成分を除去することがトータル加工時間の短縮において有効である。そこで、本項目では長尺ノズルヘッドの最適設計と試作ノズルにより、NC-LWEにおける2段階修正プロセスの有効性を実験的に検証する。

4. 研究成果

(1) 大口径円形ノズルヘッドの開発

本研究開発項目においては大型基板の加工における加工能率を向上するため、直径100 mm以上のノズル径で、安定に加工できる大口径ノズルヘッドの開発を目的とした。まず、直径80 mmのノズルを試作し、問題点

の抽出を行った。試作したノズルの外観写真を図1に示す。

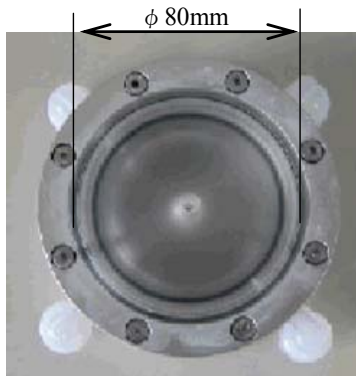


図1 $\phi 80\text{mm}$ ノズルの外観

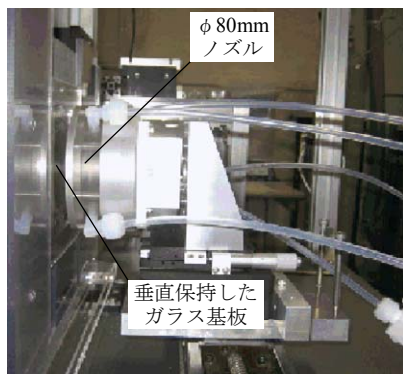
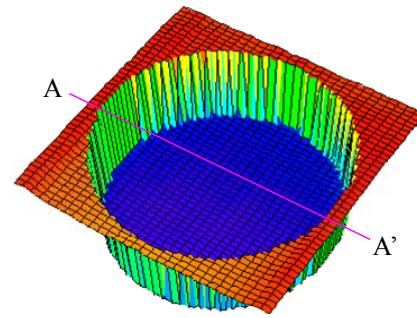


図2 ノズルとガラス基板の配置

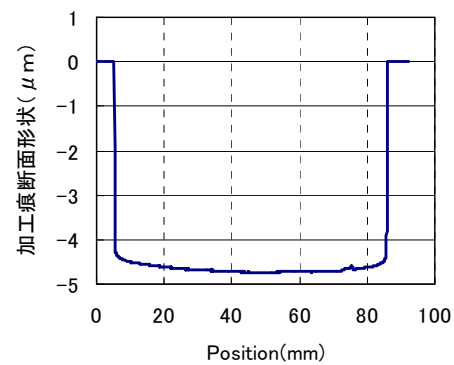
本ノズルは中央の供給口よりエッチャントを供給し、直径 80 mm の円周上に配置した吸引口よりエッチャントおよび揮発したエッチャント成分を吸引する構造となっており、図2に示すように垂直保持したガラス基板（被加工物）に対向して設置している。最終的に目標とする液晶用フォトマスク基板の大きさは $1500 \times 1300 \text{ mm}^2$ 以上を想定しており、加工時間の短縮と基板の自重変形による加工ギャップの変動を抑制するためには、加工ノズルの大口径化と基板の垂直保持は必要不可欠な技術開発項目である。

図3に試作ノズルを用いて得られた静止加工痕形状を示す。吸引口の位置よりも内側に規定された加工領域においては均一な加工

量が得られており、試作したノズルが期待通りの性能を発揮していることが確認できた。



(a) 加工痕形状

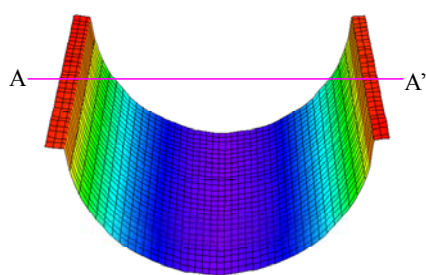


(b) A-A'断面

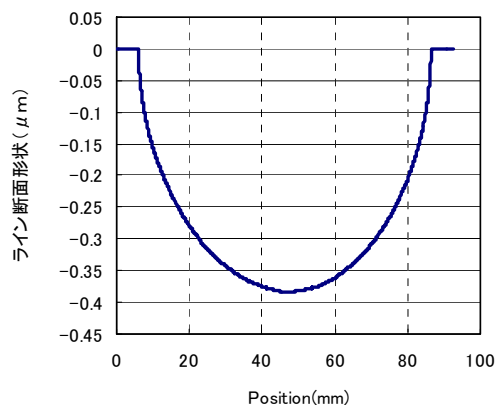
図3 $\phi 80 \text{ mm}$ ノズルを用いて得られた静止加工痕(加工基板：合成石英ガラス、エッチャント：HF 35wt%, 40°C, 加工時間：5分)

尚、図3(b)の断面プロファイルにおいて加工痕の底面が平らではなく、わずかに下向きの凸形状になっているのは、加工痕取得位置まで石英ガラス基板を移動する際に加工されたため、その加工量は計算通りの値となっている。図4は石英ガラス基板をノズルに対して 200 mm/min の一定速度で走査することによって形成された加工溝であるが、図3に示す加工痕の各断面を走査方向に対して積分したものと精確に一致していることが確認できた。ただし、図4におけるエッチャントの吸引条件(40 L/min)で走査速度を 1000 mm/min まで増加させると、吸引力不足によ

り走査方向の後方にエッチャントが尾を引いて（以後、液引きと表現）と接触時間が増加するために、加工量が増加するという現象が見られた。その対策として真空ポンプの排気能力を増加(120 L/min)させたところ、図5に示すように液引き現象を抑制でき、計算通りの加工溝形状を得ることができた。すなわち、吸引差圧の増加が液引き現象を抑制し、加工精度ならびに走査速度の向上に効果的であることが分かった。



(a) 走査加工溝形状



(b) AA'断面

図4 200mm/min で走査したときに形成された加工溝の形状

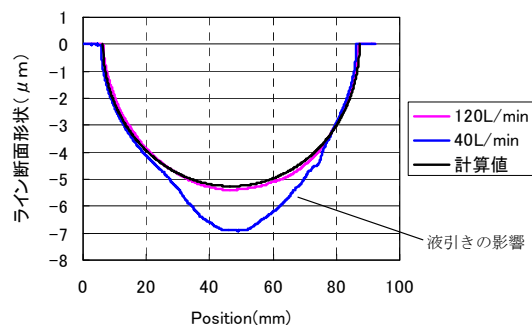


図5 1000 mm/min で走査したときに形成された加工溝の断面形状



図6 試作したφ125 mm ノズルの外観

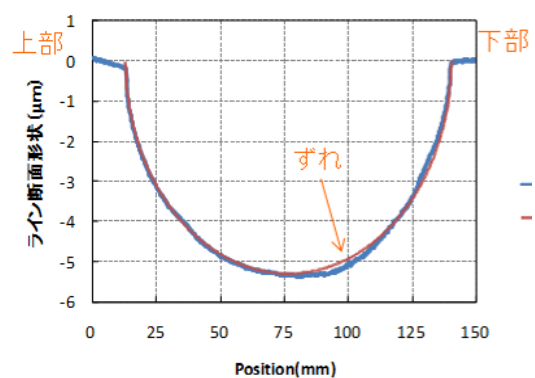
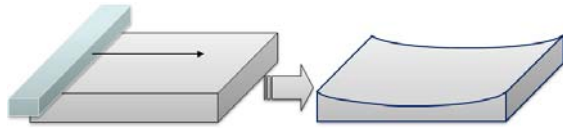


図7 φ125 mm ノズルで走査加工した結果 (HF 35 wt%, ギャップ 250 μm, 吸引流量 120 L/min, 走査速度 240 mm/min)

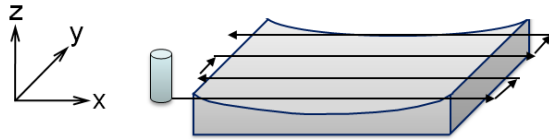
さらに、図6に示すように口径125 mm のノズルを試作し、加工特性を取得した。図7に長さ160 mmの範囲を走査加工し、その断面を測定した結果を示すが、液引きすることなくほぼ計算通りの加工溝形状が得られた。

(2) 2段階数値制御修正加工プロセス

本項目では、図8に示すように矩形ノズルの1次元走査により粗加工を行い、引き続き小径円形ノズルのラスタ走査により最終仕上げ加工を行う、2段階形状修正プロセスを提案し、その形状創成能力について評価した結果について述べる。本プロセスの利点は、小径ノズルのみによる2次元NC加工よりも加工時間が大幅に短縮出来ることと、ラスタ走査では原理的に生じてしまう送りマークの高さを低減出来ることである。



(a) 矩形ノズルを用いた 1次元 NC 走査による粗加工



(b) 小径円形ノズルを用いた NC ラスター走査による仕上げ加工

図 8 NC-LWE における 2 段階形状創成プロセス

本プロセスの有用性を、非球面基板を作製することにより実証した。作製した基板の大きさは $90 \times 40 \text{ mm}^2$ で、設計形状は光軸方向に平行な方向の断面形状が、

$$\frac{x^2}{(1050.31)^2} + \frac{z^2}{(25.66)^2} = 1 \quad (\text{unit : mm})$$

で表わされる楕円で、 90 mm の長さにおける平面からの最大深さは $23.56 \mu\text{m}$ である。また、短手方向における曲率は 0 の楕円筒面である。矩形ノズルを用いた 1次元粗加工に要した時間は 3 時間 50 分、形状誤差は $90 \times 40 \text{ mm}^2$ の領域において $2.4 \mu\text{m p-v}$ であった。形状誤差の空間波長は直径 15 mm の円形ノズルを用いた修正加工で充分修正できる低周波成分となっている。引き続き行った、円形ノズルの適用による仕上げ加工に要した時間は 1 時間 28 分で、形状誤差 $0.4 \mu\text{m p-v}$ を達成した。粗加工と仕上げ加工に要した総加工時間は 5 時間 18 分であった。仮に円形ノズルのみで加工した場合に要する加工時間は 12 時間 30 分であるため、2 段階数値制御修正加工プロセスを適用することにより、加工時間を大幅に短縮することに成功した。

以上(1)(2)の結果より、メートル超級のガラス基板を実用的な加工時間で仕上げる目途を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

以下すべて査読あり。

- (1) Mikinori Nagano, Hiroyuki Takai, Kazuya Yamamura, Dai Yamazaki, Ryuji Maruyama, Kazuhiko Soyama: Figuring of Elliptical Neutron Focusing Mirror Using Numerically Controlled Local Wet Etching, Key Engineering Materials, **407-408** (2009) 376-379.
- (2) Kazuya Yamamura, Hiroyuki Takai, Figuring of elliptical hard X-ray focusing mirror using 1-dimensional numerically controlled local wet etching, Surf. Interface Anal., **40** (2008) 1014-1018.
- (3) Kazuya Yamamura, Fabrication of Ultra Precision Optics by Numerically Controlled Local Wet Etching, Annals of the CIRP **56** (2007) 541-544.
- (4) Kazuya Yamamura, Development of numerically controlled local wet etching, Science and Technology of Advanced Materials **8** (2007) 158-161.

[学会発表] (計 7 件)

- (1) K. Yamamura, H. Takai ; Figuring of ultraprecision aspherical focusing mirror using numerically controlled local wet etching, 10th Anniversary International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (May 18-22, Zurich, Switzerland) (2008) 448-451.
- (2) Hiroyuki Takai and Kazuya Yamamura ; Figuring of Elliptical Hard X-ray

Focusing Mirror Using Numerically Controlled Local Wet Etching, Asian Symposium for Precision Engineering and Nanotechnology 2007 (November 6-9, Gwangju, Korea) (2007) 244-247.

- (3) K. Yamamura ; Fabrication of Ultra Precision Optics by Numerically Controlled Local Wet Etching, 57th CIRP General Assembly (August 19-25, Dresden, Germany) (2007)
- (4) 永野幹典, 高井宏之, 是津信行, 山村和也; ローカルウエットエッチングにより加工した表面の評価 -加工後表面の表面粗さ悪化の原因解明-, 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (2008) 317-318.
- (5) 永野幹典, 是津信行, 山村和也; ローカルウエットエッチングにより加工した表面の評価 -加工後残留物による表面粗さへの影響-, 精密工学会2008年度関西地方定期学術講演会講演論文集 (2008) 23-24.
- (6) 高井宏之, 山村和也; 数値制御ローカルウエットエッチング法による高精度光学素子の作製 -5軸制御NC加工装置の試作-, 2007年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (2007) 133-134.
- (7) 高井宏之, 三谷卓朗, 山村和也; 数値制御ローカルウエットエッチング (Numerically Controlled Local Wet Etching) 法による高精度光学素子の作製, 精密工学会2007年度関西地方定期学術講演会講演論文集 (2007) 15-16.

[図書] (計1件)

- (1) 山村和也; 第1章第10節 ローカルウエットエッチング法による光学素子の高精度加工, ウエットエッチングのメカニズムと処理パラメータの最適化, サイエンス&テクノロジー (2008) 139-153.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 勇蔵 (MORI YUZO)

大阪大学 名誉教授

研究者番号: 00029125

(2) 研究分担者

山村 和也 (YAMAMURA KAZUYA)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 60240074

佐野 泰久 (SANO YASUHISA)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 40252598

(3) 連携研究者

なし