

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05748

研究課題名(和文) 冷凍ピンチャックによる無反り薄型基板創成研磨に関する研究

研究課題名(英文) The study of polishing process to fabricate a nonwarped thin substrate using freezing pin chuck

研究代表者

吉富 健一郎 (Yoshitomi, Kenichiro)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・システム工学群・准教授)

研究者番号：40546149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：薄型基板の反りは製造プロセスに悪影響を与えるので、無反り基板の創成技術が求められている。そこで、我々は基板変形無しで基板を保持する冷凍ピンチャックを用いた研磨プロセスを提案している。この技術のキーテクノロジーは、霧化してピン上に塗布した冷凍液が凝固することによって基板を保持することである。本研究では、メニスカス力によって生じる基板変形を防ぐための新しい保持手順を確立し、また、新しい冷凍液の塗布方法によって保持特性を改善した。直径300mmの基板を用いた実験より、本技術が反りを除去する研削や研磨に使用できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：As the warpage of a thin substrate adversely affects manufacturing processes, it is required the technique to fabricate a nonwarped substrate. To meet this requirement, we have proposed the polishing process using the freezing pin chuck that holds a substrate without its deforming. The key of this technique is that a substrate is fixed by coagulating freezing liquid applied on the pins using an atomizer. In this research, the new holding process to avoid the deformation by meniscus force achieved the reduction of the deformation amount and the new applying method of freezing liquid improved the holding characteristics for the warpage amount of a substrate. As the experimental results for a wafer of 300 mm in diameter, it was clarified that this holding process can be used for the grinding and the polishing to remove the warpage.

研究分野：精密加工

キーワード：冷凍ピンチャック 反り 冷凍液 薄型基板 研削・研磨 石英ガラス基板

1. 研究開始当初の背景

半導体デバイス、液晶ディスプレイ、グリーンデバイス製造には多くの薄型基板が使用されている。薄型基板には基板サイズと厚みに依るが数十 μm から数百 μm の反りが製造工程によって生じることがあり、基板サイズが大型であるほど反りは大きくなる。反りは微細パターン転写や加工の精度に悪影響を及ぼすため、可能な限り小さくすることが要求される。

一例として、大型サイズの基板を用いる液晶ディスプレイの製造においては、液晶パネルへの微細パターン転写に石英ガラス基板のマスクが使用される。そのサイズは $0.85 \times 1.2\text{m}$ に達し、加えて基板に求められる精度も年々厳しくなっている。このような薄型基板に反りが生じた場合に、高精度かつ効率的に反りを除去する技術が要求されている。

2. 研究の目的

薄型基板の保持には用途に応じて様々な方式のチャックが使用され、代表的なものとして、水貼り式、ワックス式、冷凍チャック、真空チャック、静電チャックがある。これら従来方式の反りの除去加工に対する問題点は、基板吸着時にチャック表面形状に基板が倣うために基板を平面矯正することになり、加工後の取り外し時に反りが復元することである。反りの復元によりチャックからの基板取り外し前後の形状が変化するので、効率的に基板形状から反り成分を除去し、反りのない基板を創成することが非常に困難な加工といえるであり、これまでに実現されていない。

上記の問題を解決法として、反りを残したまま、すなわち変形させることなく基板を保持するチャックの使用が挙げられる。しかしながら、現状では基板を変形させないチャックは存在しない。そこで、申請者らの研究グループで開発した方式が、冷凍ピンチャックを用いた無変形保持技術である。極小ピン上に塗布した冷凍液の凝固固着力で基板保持することで、従来の冷凍チャックの変形要因を解決した。本方式による保持技術は実証しており、研磨加工へ本チャックを適用し無反り基板創成方法の技術開発を進めている。

本研究の目的は、冷凍ピンチャックを用いた高精度な基板保持を実現するために必要な研磨機の要素技術や基板保持手順を開発し、冷凍ピンチャックを用いた研削・研磨の加工特性を評価することである。

3. 研究の方法

(1) 冷凍ピンチャックを用いた加工システムの構築と加工条件の最適化

凝固冷凍液が十分な固着力を発生するためには、チャックを5以下にする必要がある。そのためのチャック内を循環させる冷却水流量を求めめるため、赤外線カメラによる温度変化の測定を行った。また、加工時に凝固

冷凍液を低温に維持するピン間冷却水について、基板回転に対して空気溜まりをつくらずに供給する流量を求めた。実用化に向けての技術として、試作した冷凍ピンチャックを真空ピンチャックとして使用する場合の性能評価、300mmのウエハとは異なる基板形状の保持の可能性について検討した。

(2) 基板の保持能力の向上

今までの基板保持手順では、基板を載置する際に液体状の冷凍液のメニスカス力により生じる基板変形を避けることができなかった。そこで、この影響を抑制する保持手順を考案し、その効果を確認した。さらに、冷凍液の塗布高さが保持可能な基板反り量を決定するため、塗布高さを向上させる冷凍塗布法を開発し、評価を行った。また、凝固冷凍液の高さに対するせん断方向の基板保持力を明らかにした。

(3) 冷凍ピンチャックを用いた研削・研磨加工

冷凍ピンチャックによる基板保持システムを加工機に導入して研削・研磨実験を行い、加工特性の評価を行った。

4. 研究成果

(1) 冷凍ピンチャックの回転時基本特性：

本研究で使用する冷凍ピンチャックは、冷却液を供給してチャックを冷却するための機構として、チャック内部に独立した2系統の配管を設けている。実使用条件でのチャック回転時における基本保持特性を調べ、チャック冷却システムについては、約20minでチャック全体を 5°C 以下に冷却可能であることを示した。ピン間冷却液供給システムについては、チャック 100min^{-1} の回転時においても冷却液流量を $100\text{ml}/\text{min}$ とすることにより、冷却液をピン間に空気層を生じさせることなく供給できることを実証し、実用的な回転数での加工が可能であることを示した。

加工実験により、本冷却システムが加工熱に対して凝固冷凍液を融解させない十分な冷却性能をもつことを確認した。

(2) 冷凍ピンチャックを用いた加工システムの構築：

無反り基板創成プロセスを実施するため、冷凍ピンチャックによる凝固保持と真空保持を切り替え可能な機構を構築した。また、異形ウエハの保持実験により、冷凍ピンチャックは、設計上のサイズである直径300mmの円形ウエハだけでなく、異なる形状のウエハにも使用可能であることを明らかにした。

(3) 基板載置時の変形要因の解明：

300mmの石英基板の載置時には、液体状態の冷凍液により生じるメニスカス力の影響(引張り力)により、初期反り量約 $120\mu\text{m}$ の基板に対して $90\mu\text{m}$ 以上の変形を起こすことを明らかにした。また、ピンと基板の間隙に対するメニスカス力の大きさを明らかにした(図1)。さらに、基板載置時に冷凍液が潰される過程を高倍率カメラで撮影し、直

径 0.5mm のピン上の凝固固着状態を明らかにした(図2)。

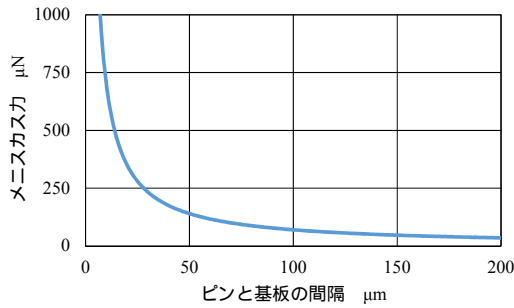


図1 冷凍液によるメニスカス力

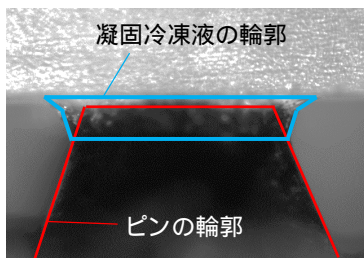


図2 ピン上の凝固固着状態

(4) 基板を変形させない保持手順：

メニスカス力の影響を最小限にするため、低温載置法と融解載置法を考案し、それぞれの方法での基板変形特性を調べた。低温載置法は、予め凝固させた冷凍液上に反り量分を融解するだけの温度に予熱した基板を載置する方法であり、基板変形は従来の約70%に抑制できた。融解載置法(図3)は、予め凝固させた冷凍液上に冷凍液が完全に融解する温度に予熱した基板を載置する方法であり、基板変形を従来の約30%まで抑制できた(図4)。

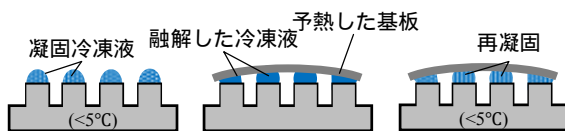


図3 融解載置法

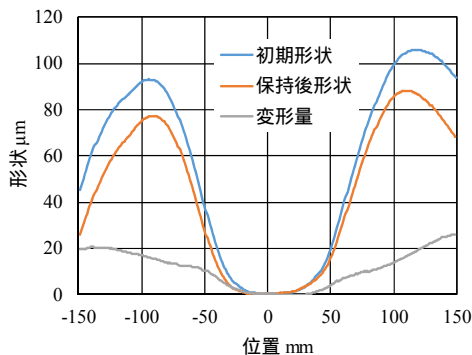


図4 融解載置法による基板変形量

(5) 保持可能反り量の拡大：

冷凍ピンチャックの直径 0.5mm のピン上に塗布した冷凍液の液滴高さを大きくでき

れば保持可能な基板の反り量が大きくなるが、従来の保持手順では、冷凍液の表面張力により、ピン上に形成可能な液滴高さが150μm程度となり、それ以上を塗布すると液滴がピン上から脱落する問題があった。そこで、150μm程度の冷凍液を液体状態で塗布した後に凝固させ、その上から冷凍液を噴霧し、凝固状態で液滴を大きくする冷凍塗布法を考案し、従来法の3倍の液滴高さを可能にした(図5)。

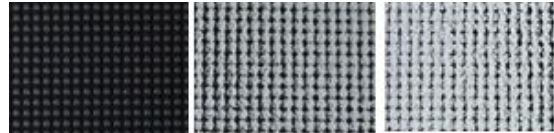


図5 冷凍塗布法の様子

(6) 凝固保持力の測定：

反ったウエハを保持する場合、ウエハ裏面とピン間の距離によって凝固冷凍液の形状やピンとの接触面積が変化し、凝固保持力に影響する。そこで、ウエハ裏面とピンとの距離と、せん断方向の凝固保持力との関係を実験的に求めた。距離約50μmで1200kPa、距離140μmで170kPa、距離320μmで10kPaの凝固保持力であることが示された(図6)。

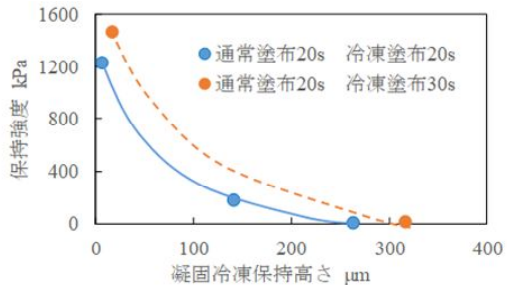


図6 凝固固着による保持強度

(6) 研削・研磨実験：

反り量30μmの直径300mm石英ガラスウエハを冷凍ピンチャックに固定し、粒度#100のダイヤモンド砥石、砥石回転数1200rpm、試料回転数100rpm、送り10μm/min、加工量30μmの条件で、インフィード研削実験を行った(図7)。冷凍ピンチャックは研削抵抗に対して十分な保持力を有し、ウエハを脱落させることなく、保持時の基板変形を抑制した状態での研削を可能にした。

反り量180μmの直径300mm石英ガラスウエハを冷凍ピンチャックに固定し、工具直径200mm、試料・工具回転数100rpm、研磨圧力10kPa、揺動速度100mm/minの研磨実験を行った(図8)。ピン間冷却液無しの場合、5minでウエハが脱落した。ピン間冷却液有りの場合、加工中の基板温度を5℃に維持した60minの研磨が可能となり、反りの除去研磨プロセス実現への見通しを得た。

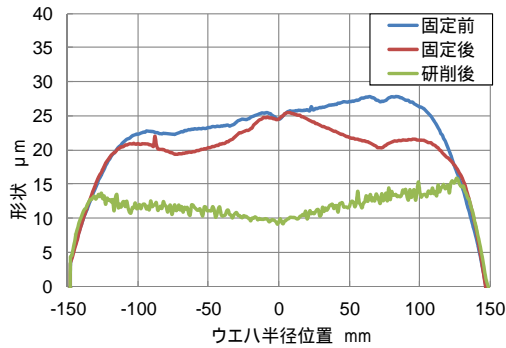


図7 冷凍ピンチャックを用いた研削実験

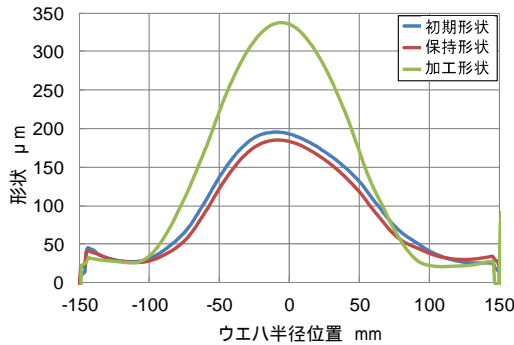


図8 冷凍ピンチャックを用いた研磨実験

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 1 件)

吉富健一郎, 竹鼻亮道, 宇根篤暢, 餅田正秋, 研磨用冷凍ピンチャックの開発 (第2報) - 試作冷凍ピンチャックの冷却特性と研磨への適用 -, 精密工学会誌, 査読有り, 82 巻, 2016, 82-86
DOI: 10.2493/jjspe.82.82

〔学会発表〕(計 6 件)

K. Yoshitomi, A. Une, M. Mochida, Grinding characteristics using a freezing pin chuck for a warped quartz glass wafer, The 20th International Symposium on Advances in Abrasive Technology, (2017)

吉富健一郎, 宇根篤暢, 餅田正秋, 冷凍ピンチャックを用いた石英ガラス基板の平坦化研磨ーピン間冷却液の効果ー, 2017 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, (2017)

K. Yoshitomi, K. Tada, A. Une, M. Mochida, Development of a freezing pin chuck system to prevent a thin substrate from deformation, The 19th International Symposium on Advances in Abrasive Technology, (2016)

吉富健一郎, 多田一生, 宇根篤暢, 餅田正秋, 冷凍ピンチャックを用いた基板保持手順の最適化, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, (2016)

K. Tada, K. Yoshitomi, M. Mochida, A. Une,

Development of a Freezing Pin Chuck for Fabricating a Nonwarped Substrate, Proceedings of LEM 21, (2015)

多田一生, 吉富健一郎, 餅田正秋, 宇根篤暢, 冷凍ピンチャックを用いた高平坦化研磨 (第1報) - メニスカス力の基板変形への影響 -, 2015 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2015)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 1 件)

名称: 冷凍ピンチャック装置および冷凍ピンチャック方法

発明者: 吉富健一郎, 宇根篤暢

権利者: 防衛装備庁長官

種類: 特許権

番号: 特許第 5953565 号

取得年月日: 平成 28 年 6 月 24 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉富健一郎 (YOSHITOMI, Kenichiro)

防衛大学校・システム工学群・准教授

研究者番号: 40546149

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

宇根篤暢 (Atsunobu, Une)

元防衛大学校

研究者番号: 10535371