

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06166

研究課題名(和文) 空気流による非接触把持機器の開発

研究課題名(英文) Development of Non-Contact Holders Using Air Flow

研究代表者

築地 徹浩 (Tsukiji, Tetsuhiro)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：40163779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：半導体ウエハーおよび食品製造プロセスにおける搬送工程では、接触による損傷を防止するためや衛生を向上するために直接接触を避けてものを把持する機器が望まれている。本研究では、空気流を利用した新たな構造を有する非接触でものを把持できる機器を開発した。本機器の特徴は、限られた形状のものを無回転で滑り落下することなく安定して把持できる点である。滑り落下を防止できる空気の流れのメカニズムの流体力学的検討も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後の産業界で益々の発展が予想される半導体ウエハーおよび食品製造において、ウエハーや食品に接触しないで搬送することは、品質向上や衛生面から重要なことである。ここで開発された技術を用いると、これらのものを非接触で搬送することが可能になる。さらに、この技術は他の類似の分野にも応用できる。この技術の特徴は、手軽に利用できる空気流れを工夫し利用した点と装置の構造が簡単でメンテナンスも容易なことである。

研究成果の概要(英文)：When products requiring careful handling such as semiconductor wafers and food (hereinafter called "workpieces") are transported in manufacturing processes, problems can occur due to malfunctions that degrade sanitary conditions during the transport of workpieces through contact. In the present study an excellent holder for transporting workpieces is developed using air flow to prevent the contact between the holder and workpieces. The workpieces are stable without sliding away from the holder during the transport of workpieces through non-contact. The air flow in the gap between the device and workpiece is calculated numerically using computational fluid mechanics to investigate the mechanism of the stable condition.

研究分野：流体工学

キーワード：空気圧機器 非接触搬送 空気流 エンドエフェクタ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、あらゆる業界、業種において、人手不足解消や人件費削減のため、工場の自動化（ファクトリーオートメーション化）が進んでいる。半導体製造プロセスにおける、ウェハ（以下、搬送対象物を総称してワークと称す）の搬送工程では、エンドエフェクタによる直接吸着やローラーに載せる方法が一般的であった。しかし、これらの方法では搬送機器とワークが直接接触するため、ワーク表面のひっかき傷などの損傷やパーティクル転写、金属汚染、静電気の発生などの問題が起こり得る。これらの問題を解決するため、非接触の搬送方法が考案されてきた。空気流を用いた非接触把持機器（以下ホルダーと称す）は、ホルダーとワークの間に生み出された負圧（大気圧よりも低い圧力）と、ワークピースの反対面の大気圧の圧力差によって生じる流体力によってワークピースを把持する。このとき、空気を流出するための層が必要であるため、ワークはホルダーに触れることなく非接触で把持される。負圧の発生方法は主に 2 種類あり、ベルヌーイの定理を利用した方法はベルヌーイ法、旋回流を用いた方法はボルテックス法と呼ばれている。また、そのホルダーのことをそれぞれベルヌーイ型ホルダー、ボルテックス型ホルダーと呼ぶ。ベルヌーイ型ホルダー、ボルテックス型ホルダー共に、様々な先行研究がなされてきている[1]~[3]。我々の研究室では、ベルヌーイ型ホルダー底面外側の面取り構造であるディフューザーを取り付けることにより、ガードを必要としない完全非接触把持を実現した[4]。しかしながら、ワークピースが不規則に回転してしまうことが問題であった。一方、1つの旋回流を用いたボルテックス型ホルダーに関する研究も行われてきた。2007年、黎しんらは、円柱状空間のホルダーの実験を行い、把持力特性、圧力分布、ノズルの流量特性などを測定した[1]。しかしながら、いずれの研究もワークが回転してしまうこと、横滑り力が強くガードなしでは落下を防止することができないことが問題であった。

本研究室では従来の1つの旋回流の外側にもう一つ逆回転の旋回流を追加した二重の旋回流でワークピースの回転を相殺することで無回転把持を実現した。しかし、依然として落下防止にはガードを必要とし点接触することが問題であった。この問題を解決するため、ディフューザー構造を取り付けた二重旋回流を用いたボルテックス型ホルダーを作成したが、落下を防止することはできなかった。以上のようにベルヌーイ型ホルダー、ボルテックス型ホルダーに関する従来の研究について述べたが、ベルヌーイ型ホルダーではワークの回転が、ボルテックス型ホルダーではワークの落下をガードなしでは防止できないことが問題であった。従って、ワークの回転を抑えながら、ガードなしで落下を防止できるホルダーの開発が望まれる。

### 2. 研究の目的

これまでの私たちの研究において、ディフューザー付きベルヌーイ型ホルダーでは、完全非接触でワークを把持することができたが、不規則に回転してしまう。それに対し、二重旋回流を用いたボルテックス型ホルダーでは、ワークを無回転で把持することはできたが、ディフューザーを取り付けても横滑り落下を抑制することはできず、把持にはガードを必要とし、厳密には非接触ではなかった。

そこで、本研究では、図1に示すようなディフューザー付きベルヌーイ型ホルダーと二重旋回流を用いたボルテックス型ホルダーを一体化し、完全非接触かつ無回転での把持を実現する新たな一体型ホルダーを開発することを目的とする。さらに、一体型ホルダーの実用化を目指して性能向上および低コスト化を図り、開発したホルダーを用いて、実際の搬送工程を模した試験を行い実用化への可能性も探る。同時に、数値解析(CFD: Computational Fluid Dynamics)を行い、横滑り落下防止のメカニズムの解明を試みる。

### 3. 研究の方法

本研究でのワークとして、DVD、CD等を想定して薄い円盤を取り扱う。まず、配管系の老朽化のため、先ずカップへの空気の供給装置を新たに製作する。空気の供給源にレシプロコンプレッサを使用し、装置はエアフィルタ、ミストセパレータ、手動弁、減圧弁、流量計、圧力計により構築される。本研究では実験条件を同一の状態と比較を行うために、コンプレッサからの供給流量を一定に保つ必要がある。コンプレッサから直接空気を供給すると、コンプレッサ内の圧力低下に伴い供給流量も減少してしまう。そのため、減圧弁を用いて供給圧力を一定にすることで供給流量を安定させる。さらに減圧弁により、供給圧力を抑えることでコンプレッサ内に発生する脈動もある程度取り除かれることが期待できる。また、内側と外側どちらの空気圧回路もコンプレッサを使用し圧縮空気

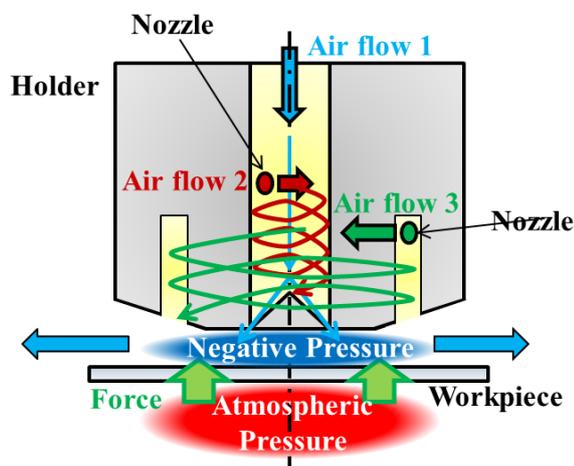


図1 一体型ホルダーの概念図

を供給し、エアフィルタ、ミストセパレータを用いてコンプレッサー内で発生する微粒子、水分を取り除いた状態で空気を供給している。これらの空気圧回路は、先に述べた上流に設置された減圧弁によりその供給圧力を調整することができ、供給圧力と流量はそれぞれ圧力計と流量計により計測することができる。また、手動弁を用いることで空気の供給を遮断することが可能である。使用する圧力計はブルドン管圧力計を用い、流量計は株式会社キーエンスの気体用流量センサ FD-V40 シリーズを用いる。この流量計は質量流量で測定しているため、温度や圧力の影響は受けない。そのため体積流量タイプに必要な調整や換算は不要であり、表示は 20°C、1 気圧の体積流量に換算している。従来の経験により、空気圧源からの最大供給エネルギーを 100W に設定して装置の設計を行う。最大流量は 1200l/min、最大圧力は 60kPa 程度である。

次に、これまでのベルヌーイ法によるディフューザー効果を持つカップによる実験結果と二重旋回流による無回転把持に関する実験結果をもとにカップの設計製作を行う。カップの二重旋回流を発生する内部流路の形状はこれまで使用してきたカップ形状を参考にして決め、ディフューザー角度 ( $\phi=5\sim 10^\circ$ ) が異なるカップを製作する。設計方針として、ディフューザー角度は剥離が生じない程度にして外径はこれまでに試作した二重旋回流方式のカップと同様にする。特に、流体力学的観点から剥離が生じない流れを得るためのディフューザーの最適設計が肝要になる。本研究で得られた最適な形状の外形を図 2 に示す。本研究では、カップの直径を 40mm として製作した。上側の左右二か所から空気が流入し下方方向へ流れ、下面から円周方向に流出する。図 2 の A 領域の詳細を図 3 に示す。噴出口付近の流路の角度や形状をいくつか変え実験を行った結果、この形状のカップがワークを持つ時間長く、ワークの回転もなく安定して非接触で把持できた。さらに、図 2 の XX 断面を図 4 に示す。この断面図の示すように、米粒が四つあるような流路の断面形状である。さらに、把持の様子を観察するためにカップを固定する装置を製作して、カップにワークを把持させワークの回転と横滑り落下を防止できた状態の把持の様子をビデオカメラで撮影して、カップとワークのギャップを計測し、ワークの振動の様子を撮影する。本実験では、把持を 1 分間出来たら把持可能とみなす。一方、吸引力を測定する装置をロードセルを用いて製作し、カップとワークのギャップを変化させ吸引力を測定する。以上の実験により、数種類のカップで、効率 (本研究では、把持力/供給エネルギー) [5] の良いものを見出す。

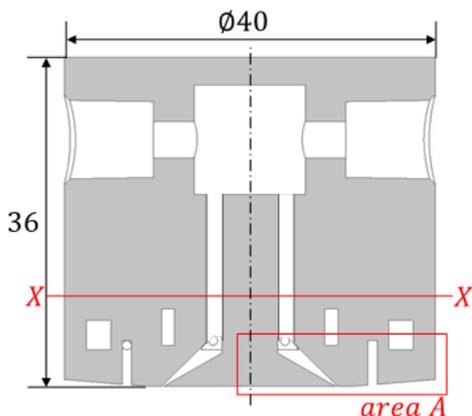


図 2 ホルダーの断面図

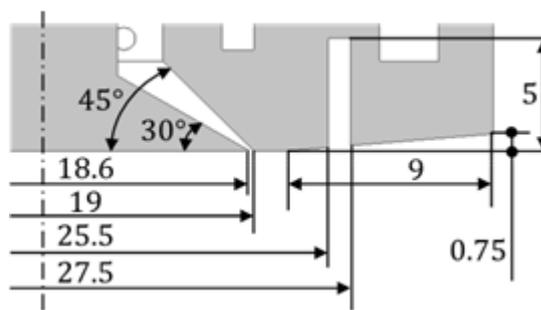


図 3 噴流の出口の詳細

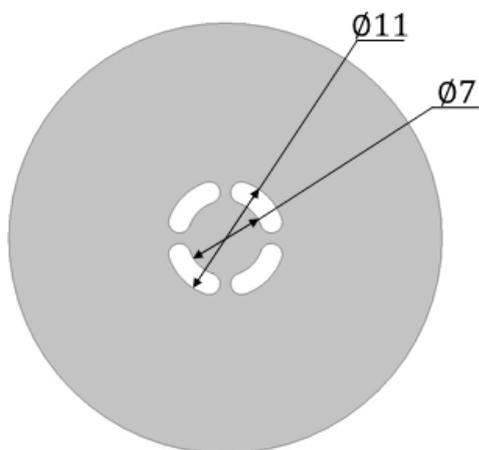


図 4 流路の断面図

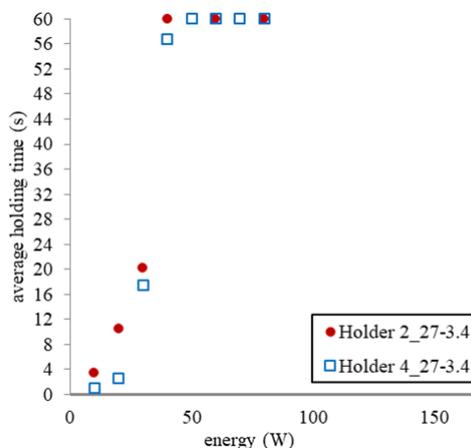


図 5 把持時間

把持時間を測定した一例を図5に示す。ワークの直径は27mm、重さは3.4gの場合で、底面形状は同じで高さが異なる二つのカップの結果である。両方のカップとも30-40W程度で、1分間は把持できている。

以上の結果をもとに、二重旋回流効果とディフューザー効果で無回転で横滑り落下が防止できたワークとカップとの隙間内の流れを簡略化した流路モデルを対象にCFD(Computational Fluid Dynamics)解析を行い、ワークが受ける力を求め、それからワークが受ける横方向の力を算出する。

#### 4. 研究成果

本論文では、非接触かつ無回転でワークを把持するホルダーの開発に向け、ディフューザー付きのベルヌーイ型ホルダーと二重旋回流を用いたボルテックス型ホルダーを一体化したホルダーを製作した。次に、性能向上とコストダウンに向けた設計変更を行い、結果の良かったホルダーを用いて、実際の搬送工程を模擬した搬送試験を行った。また、非接触で横滑り落下を防止するメカニズムの解明に向け、数値解析を行った[6]。

本論文で得られた主な結論を以下に示す。

(1) ディフューザー付きのベルヌーイ型ホルダーと二重旋回流を用いたボルテックス型ホルダーを一体化することで完全非接触かつ殆ど無回転でワークピースを把持することに成功した。従来のベルヌーイ型ホルダーの流れに旋回成分を与える新たな流れ(Air flow 2)を加えることで、ワークピースの回転方向を不規則な回転から所望の方向に変更できた。次に、新たにもう一つ、ベルヌーイ型ホルダーのような旋回流で、Air flow 2とは反対回転の流れを外側に設置することで、ワークピースの回転を相殺し、ワークピースを完全非接触かつ無回転で把持することに成功した。本論文では、ディフューザーの形状は半径方向9mm、高さ0.75mm、角度 $4.8^\circ$ 、Air flow 3の噴出口の内径が25.5mm、幅1mmのホルダーが最も良い把持性能を示した。

(2) 新たに作成した一体型ホルダーの実用化に向けた構造変更および実験を行った。形状を維持したままコンパクト化を行い、低コスト化に成功した。ワークピースの質量や供給エネルギーによって把持性能に差が生じた。また、ロボットでの搬送試験においては、実際に搬送することができた。

(3) 実験で最も結果の良かったホルダーがワークピースを実際に把持している様子をモデル化し、数値解析を行うことにより、横滑り落下防止のメカニズムに関する一考察を行った。横滑り落下は、ワークが傾くことによって生じるワーク上面の圧力による求心力とワーク側面に働く力の和である求心力が、ワークピース表面の摩擦力やその他の外乱によって生じる外向きの力の和である横滑り力より大きくなることによって防止される。

#### 引用文献

- [1] 黎しん, 徳永英幸, 蔡茂林, 船木達也, 川嶋健嗣, 香川利春, “旋回流を用いた非接触搬送系に関する研究(第一報ボルテックス・チャックの基礎特性),” 日本フルードパワーシステム学会論文集, 38巻1号 pp. 1-6, 2007.
- [2] X. F. Brun, S. N. Melkote, “Modeling and Prediction of the Flow, Pressure, and Holding Force Generated by a Bernoulli Handling Device,” Journal of Manufacturing Science and Engineering, 131(3), 031018, 2009.
- [3] 荒井一仁, “二つの旋回流による非接触把持機器に関する研究,” 上智大学修士論文, 2011.
- [4] T. Morisawa, Y. Yano, T. Tsukiji, R. Suzuki, “A Non-Contact Holder Using Airflow,” JFPS International Symposium on Fluid Power, Vol.10, 2D40, 2017.
- [5] 蔡茂林, 藤田壽憲, 香川利春, “空気圧駆動システムにおけるエネルギー消費とその評価,” 日本油空圧学会論文集 32巻5号 pp. 118-123, 2003.
- [6] T. Tsukiji, R. Kondo, “Development of the Pneumatic Non-Contact Holder,” Proceedings of the ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2018, 2018, Paper Number: IMECE 2018-86618.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tetsuhiro Tsukiji, Ryosuke Kondo	4. 巻 86618
2. 論文標題 DEVELOPMENT OF THE PNEUMATIC NON-CONTACT HOLDER	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition	6. 最初と最後の頁 1,8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----