

課題番号 : F-13-UT-0124  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名 (日本語) : 超音波支持ギャップ内圧力計測用センサの開発  
 Program Title (English) : Pressure distribution measurement for ultrasonic suspension gap  
 利用者名 (日本語) : 高崎正也  
 Username (English) : Masaya Takasaki  
 所属名 (日本語) : 埼玉大学大学院理工学研究科  
 Affiliation (English) : Graduate School of Science and Engineering , Saitama University

## 1. 概要 (Summary)

スクイーズ膜効果を利用したスクイーズ軸受はよく知られており、超音波振動板とわずかな空隙を持って対向した面に対して反発力が働く。我々は境界条件によっては逆に吸引力が働く（上方から支持する）ことを実験的に示した。今回のプロジェクトではこのメカニズム解明のための局所圧力センサの開発を目的としており、センサにより圧力分布の測定が可能となる。このような測定は未だ達成されておらず、関連分野の研究者に有益な情報を提供することができる。

超音波支持における圧力を測定するため、流体流れ等の境界条件を乱さないセンサが必要となる。今回のプロジェクトでは、ダイアフラムを用いた圧力センサを開発した。ダイアフラムが圧力を受け、たわんだ変位をレーザ変位計で計測し、圧力を測定する。ダイアフラムを用いることで、凹凸のない測定面を有した圧力センサとなる。しかし、ダイアフラムの質量は非常に小さいため、振動面近傍の圧力を測定する際にダイアフラムが大きく振動する。そこで振動を抑えるためダイアフラムの質量を増加させた慣性質量付きダイアフラム型圧力センサを製作した。概略図を Fig. 1 に示す。

## 2. 実験 (Experimental)

使用機器：

高速大面積電子線描画装置  
 マスク・ウェーハ自動現像装置群  
 光リソグラフィ装置  
 4インチ高真空 EB 蒸着装置  
 シリコン深掘りエッチング装置  
 クリーンドラフト潤沢超純水付 を利用した。

Fig. 2 にセンサの製作プロセスを示す。(a)両面研磨シリコンウエハの両面にアルミニウム膜を形成し、一

方にポリイミド膜を形成し、他方にフォトレジストをスピコートする。(b)上面のアルミニウム膜をエッチングし、深掘りエッチングのためのマスクとする。(c)シリコン基板エッチング。(d)フォトレジストを除去する。完成した圧力センサを Fig. 3 に示す。

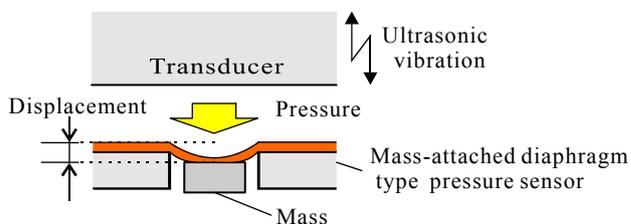


Fig. 1 Schematic illustration of measuring pressure

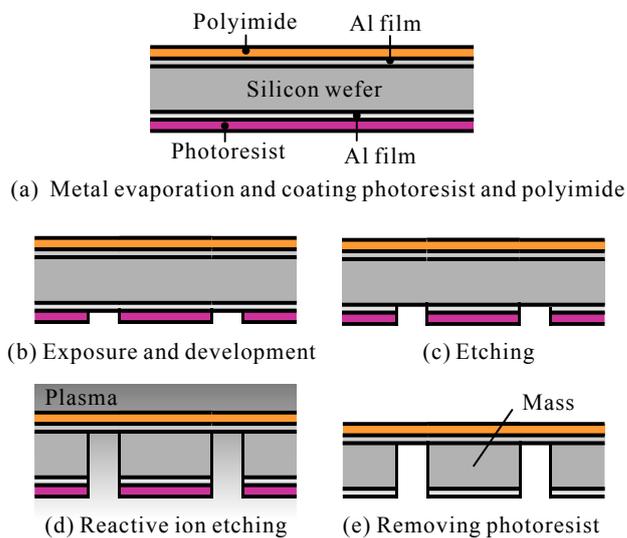


Fig. 2 Fabrication process of mass-attached

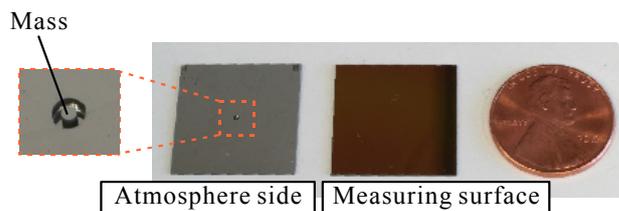


Fig. 3 Fabricated pressure sensor

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

製作したセンサの圧力校正を行った。圧力はマノメータを用いて測定した。正圧を受け、ダイアフラムが凹んだ変位を負とし、レーザ変位計は KEYENCE SI-F01 を使用した。その結果を Fig. 4 に示す。±6 [kPa]の範囲ではヒステリシスは見られず高い線形性を有していることを確認した。

超音波を発生させる振動子にはボルト締めレンジュバン型振動子を使用した。振動子の共振周波数は 28.5 [kHz]である。圧力分布測定に用いた実験装置を Fig. 5 に示す。超音波支持において、振動面と浮上体のギャップは 40 [μm]と非常に狭いため、圧力分布を測定するには振動面と測定面には高い平行度が求められる。そこで本装置では、ダイアフラム型圧力センサを装置に固定し、超音波を発生させる振動子を 6 自由度調節可能なステージに固定することで、圧力センサの測定面と振動面の平行を補償し、測定を行った。

超音波支持における圧力分布測定の実験条件を Fig. 6 に示す。振動面直径  $D = 6$  [mm]，振動振幅  $A = 7$  [μm<sub>p-p</sub>]とし、各ギャップにおける水平方向の圧力分布を取得した。その結果を Fig. 7 に示す。この結果より振動面中心部では正圧、振動面端部では負圧が発生することを確認した。ギャップが狭い範囲では発生する正圧が大きく、 $G = 30$  [μm]では  $G = 60$  [μm]に比べ約 5 倍となった。また、各測定点における圧力の絶対値はギャップが大きくなるに従い減少するが、いずれのギャップにおいても振動面中心部では正圧、振動面端部では負圧が発生する圧力分布となった。この正圧と負圧のバランスにより、超音波支持における吸引力と反発力が決定される。取得した圧力分布を面積分し作用力を算出した結果、ギャップが狭い範囲においては反発力、広い範囲においては吸引力となり先行研究と同様の傾向が得られた。

振動面直径、振動面の形状、超音波振動子の周波数、振動振幅など様々なパラメータを変化させた圧力分布を取得していく。

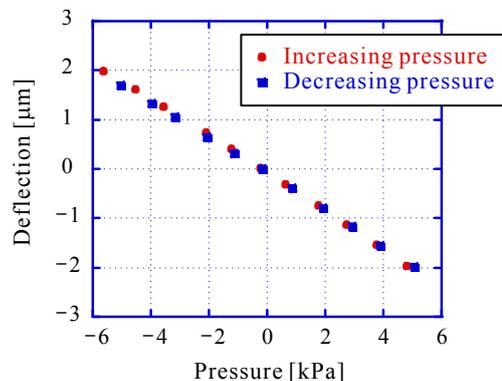


Fig. 4 Relationship between pressure and deflection

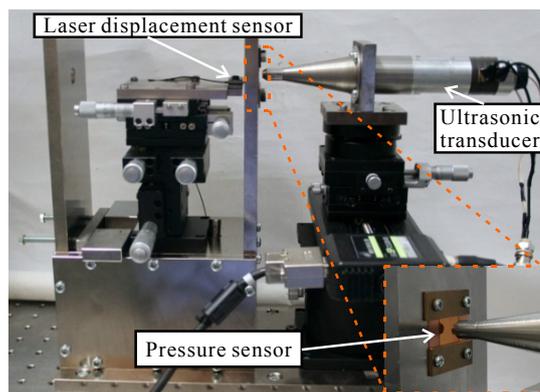


Fig. 5 Experimental setup

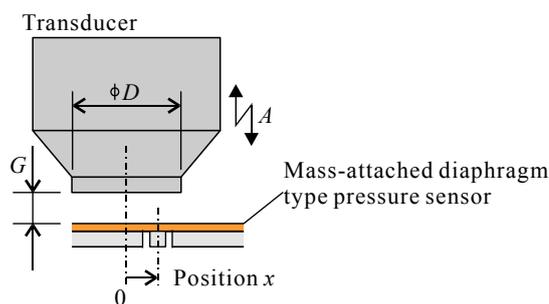


Fig. 6 Schematic illustration of experimental condition

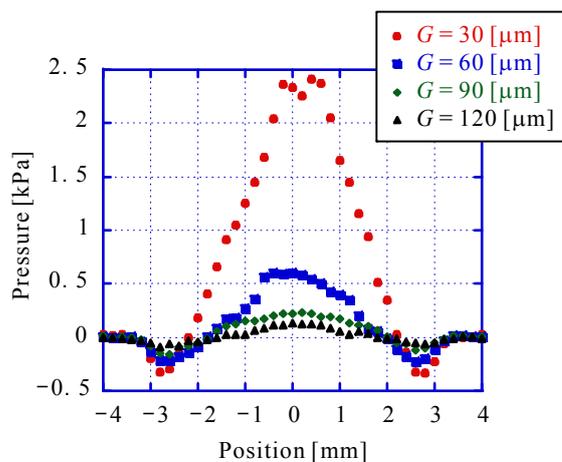


Fig. 7 Pressure distribution ( $A = 7$  [μm<sub>p-p</sub>])

#### 4. その他・特記事項 (Others)

##### 共同研究者等 (Coauthor) :

千田竜太郎 埼玉大学理工学研究科

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) 千田 竜太郎, 千野 翔太, 石野 裕二, 水野 毅, 高崎 正也, “超音波支持におけるギャップ内圧力測定 of 検討” 第 25 回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, (2013), pp.122-123, 平成 25 年 5 月 15 日.
- (2) 千田 竜太郎, 石野 裕二, 水野 毅, 高崎 正也, “超音波支持におけるギャップ内圧力測定” 第一報測定用センサ, 精密工学会秋季大会, (2013), pp.143-144, 平成 25 年 9 月 14 日.
- (3) 千田 竜太郎, 石野 裕二, 水野 毅, 高崎 正也, “超音波支持におけるギャップ内圧力測定” 第二報質量付きダイアフラムを用いた圧力センサ, 精密工学会 2014 年度春季大会, (2014), pp.219-220, 平成 26 年 3 月 19 日.

#### 6. 関連特許 (Patent)

特許出願済み