

# 베르누이 원리를 이용한 비접촉 이송장치에 관한 연구

## A Study of Non-Contact Transfer Handler Using Bernoulli Theory

\*고현준<sup>1</sup>, #김종형<sup>2</sup>, 김준현<sup>3</sup>

\*H. J. KO<sup>1</sup>, # J. H. Kim(johnkim@snut.ac.kr)<sup>2</sup>, J. H. Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 서울산업대학교 나노·마이크로로봇시스템, <sup>2</sup> 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

<sup>3</sup> 서울테크노파크 MSP기술지원센터

Key words : Wafer, Non-Contact, Chuck, Bernoulli, Transfer, FAB line

### 1. 서론

반도체 칩의 제조 과정에 있어서 웨이퍼의 이송 등을 위하여 웨이퍼를 홀딩(holding)한 후 웨이퍼를 이송하거나 장비의 트레이에 웨이퍼를 위치시킨다.<sup>(1)</sup> 웨이퍼를 홀딩 고정하기 위한 방식으로는 웨이퍼 척이 진공 흡착에 의해 웨이퍼를 흡착 홀딩 하는 진공 흡착 방식이나 정전기력에 의해 웨이퍼를 흡착 홀딩 하는 정전척 방식 그리고 베르누이의 원리를 이용한 웨이퍼 척 방식 등이 알려져 있다.<sup>(2)</sup> 이 중에서 베르누이의 원리를 이용한 웨이퍼 척은 웨이퍼가 수용되는 수용공간으로 서로 다른 방향에서 일정하게 기체를 유입시켜 인위적으로 고속의 기류를 발생시킨다. 일정한 기류는 웨이퍼 상에서 일정한 기체속도로 지나가면서 압력의 변화를 일으킨다.<sup>(3)</sup>

웨이퍼 표면에서 기체의 유속속도가 증가함으로 인해 압력이 내려가게 된다. 그리고 웨이퍼 밑면에서는 상대적으로 압력이 높아짐으로서 양력이 발생하게 되고 이로 인하여 웨이퍼가 부상하게 된다. 이러한 종래의 베르누이의 원리를 이용한 웨이퍼 척에서는 기체의 분사가 척의 상측에서 웨이퍼가 있는 하측으로 분사가 이루어졌다.<sup>(4)</sup> 이러한 경우 기체가 지나가는 동안 지연시간이 생겨 초기에 기체의 압력이 일정하지 않아 불안정해지는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 웨이퍼와의 접촉을 억제하고 웨이퍼를 안정적으로 부상시켜 소음과 진동, 분진을 원천적으로 발생시키지 않고, 아울러 이송속도 역시 기존 접촉식에 생산효율을 한층 높일 수 있는 베르누이의 원리를 이용한 웨이퍼 척을 연구 하는데 목적이 있다.

### 2. 시스템 구성

현재 상용중인 반도체 이송장치는 접촉식으로 진공을 이용한 Vacuum chuck이나 정전기력을 이용한 정전척이 많이 사용되고 있다. 위와 같은 방식과는 차별화 된 방식으로 베르누이 정리에 근거하여 발생하는 Negative 압력에 의한 비접촉 이송장치를 만드는데 목적이 있다. 공기압에 의해 지지하며 Wafer의 변형을 최소화 하는 지지 장치에 관한 것이다. 좁은 Nozzle에 고압의 압축공기를 불어 넣어 원통홀에 고속의 선회류를 만들어 선회류 가운데에 부압을 발생 Wafer를 부상시키는 원리이다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이 서로 다른 위치의 양 쪽에 노즐에서 나온 압축공기의 충돌로 와류가 생성되고 이 와류에 의해 벽 쪽의 공기의 유속이 급격히 빨라지면서 원통실 안의 압력이 저압이 되고 베르누이효과가 발생 부압에 의해 웨이퍼가 부상하는 원리이다.

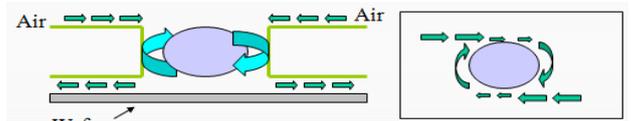


Fig.1 Principle of Bernoulli Chuck

#### 2.1 설계 방향 및 제한 조건

웨이퍼의 두께가 얇아짐에 따라 기계적인 강성이 약해진 웨이퍼의 피해를 최소화 하고, 압력을 균일하게 유지 할 수 있도록 설계 하여 일정 높이로 핸드와 웨이퍼 간의 간격을 유지 할 수 있게 설계한다. 또한 대기로 빠져나가는 기체가 에어커튼과 같은 효과를 발생시키며, Gripper 기능을 수행하며 웨이퍼 이탈방지 및 중심을 잡을 수 있도록 설계한다.

#### 2.2 시스템 구성

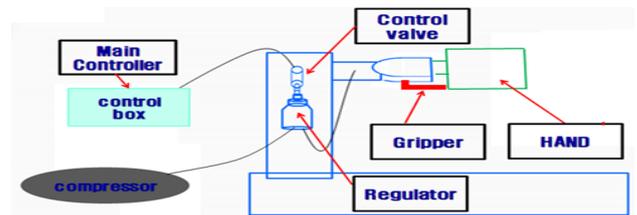


Fig.2 wafer transfer system process

위의 Fig.2 와 같이 Gripper 부분의 진동 발생 방지를 위하여 핸드부분 안쪽의 설계를 하였고 압력을 균일하게 하기 위해 압력조절기를 설계 하였고, control box를 바깥쪽에 설계 하여, 이송장치에는 피해가 없게 하였다. 또한, 압력의 장치 핸드 간격의 거리를 최소화하여 지연이 없게 하였다.

### 3. 개념 설계



Fig.3 wafer hand design (pressure design)

위의 Fig.3 와 같이 기존의 비접촉 Wafer 이송장치의 문제점은 Wafer에 진동이 발생하여 그 가진력에 의해 Wafer가 이탈하는 상황이 발생한다. 또한 진동이 발생하여 wafer가 중심을 잡지 못하고 흔들리게 되는 문제점이 있었다. 설계 변수인 와류 생성실의 Depth, Diameter 노즐의 Path Length, Width 등의 상호관계를 고려하여 최적의 조건을 구하는 일이 중요하다. 또, 와류생성실의 개수와 위치에 따른 균일한 압력 분포에 따라 flexible한 대상을 평평하게 해주

는 효과를 볼 수 있다. 또한, Path에 길이차이에 의한 손실 차이에 의해 압력전달이 균일하지 못하면 Wafer가 압력이 높은 쪽으로 더 많이 부압 되어 부분적으로 접촉이 일어날 수 있다. 기체가 나오는 방향을 반전 시키어 회전을 방지하였고 압력이 균일하게 target 방향으로 회전 할 수 있게 설계 하였다.

3.2 수치적 모델링 및 유한요소 해석

계산에 사용된 유체는 Newton유체로 가정하고 Phase의 변화는 무시하면 3차원 압축성, 난류유동을 적용했으며 해석을 위해 적용한 유체의 유동은 레이놀즈수 아래와 같이  $1.893 \times 10^5$  (0.5bar, 대기상태의 밀도  $1.184\text{kg/m}^3$ , 부양력 7.8N 적용 경우)가 적용되었다.

$$Re = \frac{vL}{\nu} = \frac{206.86 \times 0.014}{1.53 \times 10^{-5}} = 1.893 \times 10^5 \quad (1)$$

그리고 지배 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (pv) = 0 \quad (2)$$

$$p \frac{dv}{dt} = \rho g - \nabla_p + \nabla \tau_{ij} \quad (3)$$

위의 식 (2)과 (3)의 지배 방정식을 유한 요소 이산화하고 segregated velocity-pressure solution algorithm을 적용한 범용 코드인 ANSYS FLOTRAN (Fig.4)을 이용하여 수치계산을 수행하였다. 아래 Fig. 6에서 보여준 것과 같이 압력이 0.5 바일 경우를 가정하여 원통실 안의 기체의 유동을 판별해 보았다

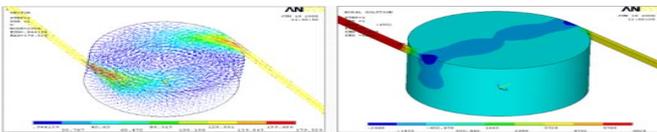


Fig.4 3D CFD analysis results for vertex

위 식(1)의 결과를 통해 공기가 경로를 통과 할 때 충분히 발달 된 난류가 발생 되는걸 알 수 있으며, 또한 Fig. 4에서의 결과처럼 발생된 난류기체가 발달된 와류가 생성되는 것을 알 수 있다. 노즐로 들어와서 압력이 한 곳에 집중되지 않고 전체적으로 균일하게 생성되는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결과 및 고찰

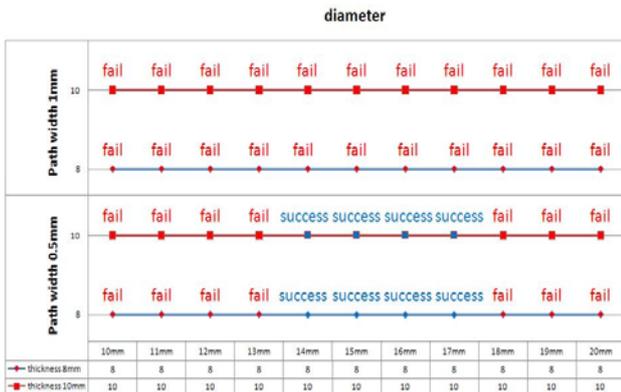


Fig.5 path parameter data

위의 Fig.5는 실험 data을 기준으로 최적의 조건을 선정하여 그에 따른 압력과 부력의 관계를 실험한 Data이다.

pass width 0.5mm에서 성공을 하였고 지름 10mm ~ 20mm 확인을 통한 14mm 고정을 하였다.

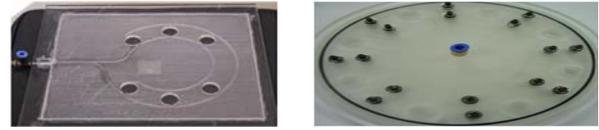


Fig.6 pressure test

위의 Fig.6은 압력의 균일 분포에 대한 설계이다. 좌측처럼 1차 테스트 이다. 입구에서의 압력 손실이 너무 커서 균일한 압력 전달이 잘 안되었지만 오른쪽처럼 중심에서 공기를 넣어서 path를 설계 하였다니 path길이가 균일, 압력손실에 대한 균일함을 볼 수 있다.



Fig.7 Wafer retaining for Gripper Design

위의 Fig.7의 첫 번째 실험에서는 노즐에서 분사되는 압력이 정확하게 전달이 안 되어서 두 번째처럼 측면에 압력 발생을 하였더니 측면에서 발생하는 압력이 물체에 정확하게 전달이 되지 않았다. 첫 번째 실험과 두 번째 실험을 토대로 측면에 단차를 주어 path를 생성하였더니 바깥쪽으로 빠져나가는 공기를 외부로 이탈시키지 않고 압력을 효율적으로 물체에 전달 할 수 있었다.

5. 결론

베르누이 정리에 근거하여 발생하는 Negative 압력에 의한 비접촉 이송장치를 공기압에 의해 지지하며 Wafer의 변형을 최소화 할 수 있다. 웨이퍼를 이송하는 기존의 기술에 비하여 웨이퍼 손상이나 파손의 문제를 제거할 수 있다.

또한 강성이 약하거나 두께가 얇은 물체의 진동 및 휨 발생을 줄일 수 있다. 향후 생산성 향상을 위해 고속 이동과 압력 손실 방지에 대해 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

후기

본 연구는 서울산업대학교의 서울시 산학협력사업 (10890)의 지원을 받았음.

참고문헌

1. S.B. Muller\*, L. Kleiser(2007, 10), "Large-eddy simulation of vortex breakdown in compressible swirling jet flow"
2. A. Une\*, K. Yoshitomi, M. Mochida(2004, 03) "Design of a new porous pin chuck with super high Flatness"
3. Uzsoy, R., Lee, C.Y., and Martin-vega, L.A., "A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry. part II: shop-floor control," IIE Transactions, Vol.26, pp.44-55, 1994
4. Hayashi, T. U.(e-CATS), "The Revolution of Semiconductor Manufacturer Required Next Generation," Semiconductor Industrial Newspaper Forum.2002