

구조 안정성 향상을 위한 Wafer Grinder의 설계 개선

신윤호*·노승훈**†·윤현진*·길사근***·김영조****·이대웅*****·김상화*****

*금오공과대학교 대학원, **†금오공과대학교 기계시스템공학과, ***대신설계
****구미대학교 기계공학과, *****한온시스템(주), *****한국폴리텍

Design Alterations of a Wafer Grinder for the Improved Stability

Yun Ho Shin*, Seung Hoon Ro**†, Hyun Jin Yoon*, Sa Geun Kil***,
Young Jo Kim****, Dae Woong Lee***** and Sang Hwa Kim*****

*Graduate School, Kumoh National Institute of Technology,

**†Dept. of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology,

Daeshin Design Co., *Dept. of Mechanical Engineering, Gumi University,

*****Hanon Systems Co., Ltd., *****Korea Polytechnics

ABSTRACT

One of the most critical aspects of the semiconductor industry is the quality of the wafer surface. And the vibrations of wafer grinder are supposed to be the most dominant factors to damage the wafer surface quality. In this study, structure of a wafer grinder has been analyzed through experiments and computer simulations to figure out the main reasons of the vibrations. And the design alterations based on the analysis were applied to identify the effects of those alterations on the vibration suppression. The result shows that the design alterations can effectively suppress about 90% of the vibrations.

Key Words : Semiconductor Wafer, Wafer Grinder, Design Alterations, Vibration Control, Improved Stability

1. 서 론

전 세계 반도체 시장은 최근 3년동안 33% 증가하여, 2020년 매출이 5천억 달러에 이를 것으로 전망된다. 최근 4차 산업혁명의 화두로 떠오른 인공지능(AI), 5G, 자율주행 등에서의 새로운 수요가 반도체 시장 확대의 주요 요인이다.[1]

이러한 반도체 산업에서 가장 중요한 요소는 Wafer의 표면품질을 제고하여 불량률을 줄이며 제품 및 가격 경쟁력을 높이는 것이다. 이는 반도체 산업의 부가가치를 결정하는 매우 중요한 사항이다.[2]

반도체의 제조공정은 크게 전 공정인 Wafer 제조 및 가공 후 공정인 패키지 조립 그리고 모듈 조립으로 분류

되며 본 논문의 주제인 Wafer Grinder는 Wafer 제조공정의 핵심 장비이다.

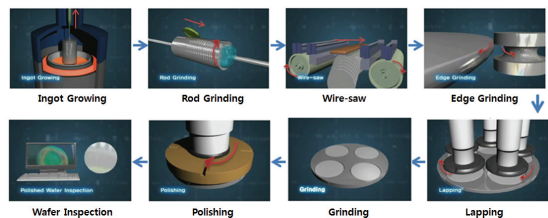


Fig. 1. Process of the wafer manufacturing.

Fig 1의 Wafer 제조공정에서 공작물 표면 일부를 깎아내는 거친 Lapping 공정과 공작물을 연마하여 거울 면처럼 만들어주는 Polishing 공정 사이의 Grinding 공정은 Ingot Slicing과정에서 유발된 표면의 거칠기를 제거하는 주요

†E-mail: shro@kumoh.ac.kr

공정으로, 이 공정의 장비에서 진동이 클 경우 Wafer 표면의 거칠기를 효과적으로 제어할 수 없다.

최근 반도체 산업은 제품의 성능 향상을 위하여 Wafer의 대구경화와 함께 표면품질 사양이 엄격화되고 있다. [3]

본 연구에서는 Wafer Grinder의 진동을 효과적으로 억제할 수 있도록 설계를 개선함으로써 Wafer가공면의 품질을 개선함은 물론 점차 엄격화되는 품질사양에 대비할 수 있는 원천기술의 확보를 목표로 한다.

2. 장비 동특성 분석 및 결과

2.1 진동 분석 실험

Wafer Grinder의 진동 상태 분석과 설계 개선안 도출을 위하여 주파수분석 실험을 진행하고 이를 통해 구조물의 동특성(고유진동수, 진동형, 공진여부)을 분석하여 장비의 진동 원인이 되는 고유진동수에 대하여 분석한다.

2.1.1 Wafer Grinder 구조

본 장비의 경우 Ingot으로부터 얻어진 Wafer의 윗면과 아랫면을 동시에 연삭한다. 양쪽 모터(Motor)의 주요 작동속도는 4500 rpm(75 Hz)이며 이는 실제 가공에 사용되는 작동속도로 장비 진동발생에 가장 큰 영향을 미치는 가진원이다. Fig.2는 Wafer Grinder의 모델과 Schematic diagram이다.

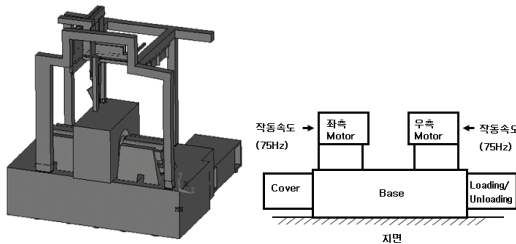


Fig. 2. The structure of the wafer grinder.

2.1.2 실험 장비 및 Setup

실험에 사용된 장비는 Table 1과 같다.

Table 1. Spec. of the test equipments

Equipment	Model	Company
Freq. analyzer	DSA 212	Difa Measuring Systems
Accelerometer	8634b5	Kistler
Impact hammer	DYTR PULSE	Dytran

주요Part의 동특성을 분석하기 위해Table 2의 ①~⑩ 위치에 센서(Accelerometer)를 부착한다. 임팩트 해머로 힘을 가

하고 센서로 진동을 측정하여 주파수 분석기를 통해 전달함수를 얻는다. 전달함수의 분석을 통해 장비의 고유진동수를 파악할 수 있다.

Table 2. The locations of the sensors

Sensor numbers	The locations of the sensors
	Base(Y)
	Case(Y)
	Case(X)
	Case(X)
	Motor(X)
	Motor(X)
	Bracket(X)
	Motor(Y)
	Cover(Y)
	Loading/Unloading(Y)

2.1.3 진동 측정 실험 결과

Fig. 3은 실험으로부터 얻어진 장비의 전달함수 중 ⑥번 센서를 통하여 얻어진 것이며 고유진동수[Fig. 3 빨간 선]값을 확인할 수 있다.

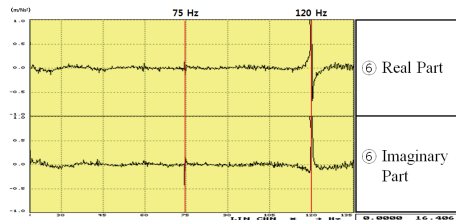


Fig. 3. Transfer functions of the machine.

Table 3. Natural frequencies of the machine (experiment)

	Natural Frequencies[Hz]			
	0~5	5~30	30~90	90~150
Experiment	0.8, 2	5, 6.5	60, 75	120

실험 결과로부터 장비의 고유진동수를 확인할 수 있으며 Table 3은 구간별 고유진동수이다. 모터의 작동속도(75 Hz)가 구조물의 고유진동수(75 Hz)와 공진하여 진동이 커지게 함을 확인할 수 있다.

2.2 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구조물의 동특성을 파악하기 위해 구조물의 형상, 물성치, 지지조건을 반영하여 모

델링을 진행한다.

2.2.1 시뮬레이션 모델 설정

구현된 모델은 Fig. 4와 같다. 시뮬레이션 모델의 재질은 구조용 강(Young's Modulus : 200 GPa, Poisson's ratio : 0.3, Density : 7870 kg/m³)으로 하였으며 각 부분별 접촉조건으로 볼트 체결부위는 연결점을 공유하는 것과 유사한 조건인 Bonded로 하였고 베이스 바닥부분은 Fixed로 하였다.

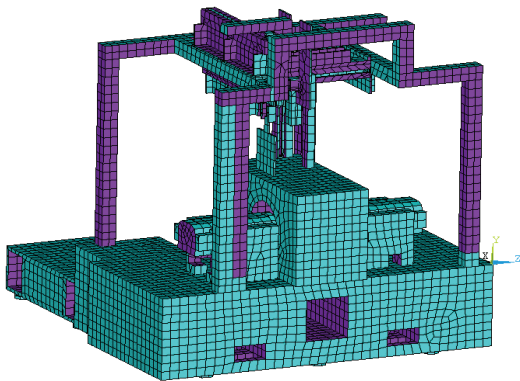


Fig. 4. The model for computer simulation.

2.2.2 시뮬레이션 결과

유한요소해석 프로그램(ANSYS 14 APDL)을 이용하여 구현된 시뮬레이션 모델의 해석 결과는 Table 4에 정리하였다.

Table 4. Natural frequencies of the machine (simulation)

	Natural Frequencies[Hz]			
	0-5	5~30	30~90	90~150
Cover	0.8, 2	6.5	-	-
Loading/Unloading	0.8, 2	5	72	-
Base	-	-	75	120
Motor	-	-	-	120
Case	-	-	60	120

2.3 진동 분석 실험과 컴퓨터 시뮬레이션 결과 비교

실험 및 시뮬레이션을 통하여 얻어진 고유진동수를 비교한 결과 Table 5에서 볼 수 있듯이 두 경우의 오차가 5% 이하로 실험 결과와 시뮬레이션에 의한 분석 결과가 잘 일치하므로 시뮬레이션 모델이 실제 장비의 특성을 잘 반영하고 있으며 이 모델을 이용하여 설계 개선을 진행할 수 있다.

Table 5. Natural frequencies from experiment and simulation

		Natural Frequencies[Hz]			
		0-5	5~30	30~90	90~150
Experiment		0.8, 2	5, 6.5	60, 75	120
Computer Simulation	Cover	0.8, 2	6.5	-	-
	Loading/Unloading	0.8, 2	5	72	-
	Base	-	-	75	120
	Motor	-	-	-	120
	Case	-	-	60	120

3. 안정화 설계안 도출 및 효과 확인

3.1 개선안 도출

실험 및 시뮬레이션 결과를 활용하여 설계 개선안을 도출하고 그 효과를 확인하는 과정을 거쳐 최종 설계안을 완성한다.

주파수 분석 실험결과 모터의 회전(75 Hz)에 의해 발생된 진동은 Base 부분과 같은 진동수를 가지므로 공진에 의해 진동이 매우 커지게 되며 Base에서 Loading/Unloading 부위로도 진동의 전달이 활발하게 이루어지게 된다. 기계의 안정적 작동을 위해 해당 부위의 설계변경을 통한 개선이 절대적으로 요구된다. 또한 두 모터의 작동속도, Housing 구조, 작동 메커니즘이 정확히 일치하여 공진이 발생하게 되므로 이를 억제하기 위한 설계 변경이 필요하다. 가공 Case에서 측정된 진동(60Hz 120Hz)은 모터 작동속도(75 Hz) 및 Base, 모터의 고유진동수(120 Hz)와 근접한 값이어서 공진의 가능성이 매우 크므로 최대한 공진을 회피하여 진동을 억제할 수 있는 방향으로 개선안을 도출한다.

3.1.1 설계 개선안 #1

Base의 모터 작동속도와의 공진 및 모터 고유진동수와의 공진 모두를 억제하기 위하여 강성을 크게 하여 고유진동수를 120 Hz이상이 되도록 설계하되 진동을 효과적으로 억제하기 위한 방향으로 Fig. 5와 같이 설계하였다[4]

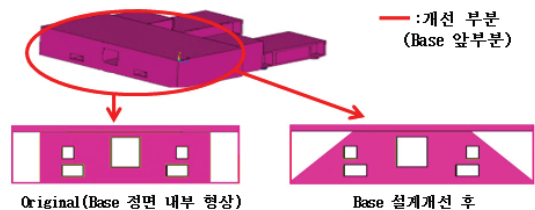


Fig. 5. Design alteration #1.

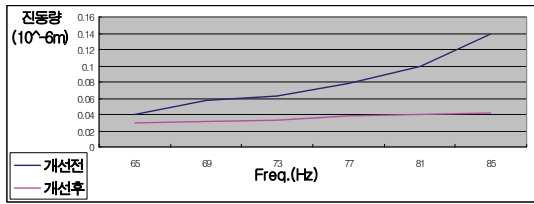


Fig. 6. Vibration magnitudes of the original model and the alteration #1.

Fig. 6을 보면 Original Model에 비하여 작동속도(75 Hz) 구간 진동량이 약 49% 감소하였다.

3.1.2 설계 개선안 #2

양쪽 모터의 회전속도, 제원, Housing, 설치조건이 모두 일치하여 공진이 발생하게 되므로 이를 억제하기 위하여 양쪽을 다르게 설계하였다.

현재 모터의 진동은 Bracket의 Bending에 의해 생겨나며 이 진동이 Base의 2차 고유진동수인 120 Hz와 공진하므로 Bracket을 아래와 같이 설계하여 고유진동수가 161 Hz, 205 Hz가 되도록 설계변경 하여 Base와의 공진 및 두 모터 사이의 공진을 모두 억제한다.

Table 6. Design alteration #2

Original	Alteration	
Both sides	Left side	Right side
Freq. : 120 Hz	Freq. : 161 Hz	Freq. : 205 Hz

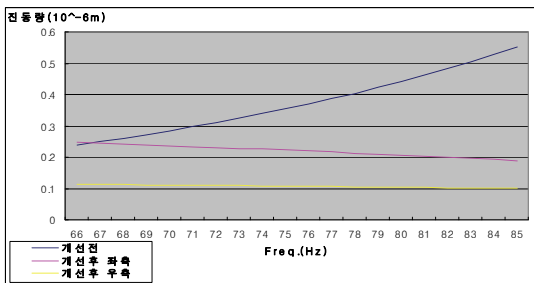


Fig. 7. Vibration magnitudes of the original model and the alteration #2.

Table 6의 개선안을 적용하여 시뮬레이션을 진행한 결과를 Fig. 7에 정리하였으며 작동속도(75 Hz) 구간 좌측 진동량이 51%, 우측 진동량이 71% 감소함을 확인하였다.

3.1.3 설계 개선안 #3

모터에서 발생되어 Base로 전달된 진동은 Loading/Unloading 부위로 전달되므로 전달을 최소화하기 위한 진동차단 설계와 Loading 부위의 진동억제를 위한 최적설계가 필요하다. 분석결과 Loading 부위 중에서는 Wafer Grip 부위의 진동이 가장 크며 이 부분의 진동수가 지면의 진동수와 유사하여 공진의 가능성이 크므로 이 부분의 설계변경이 요구된다.

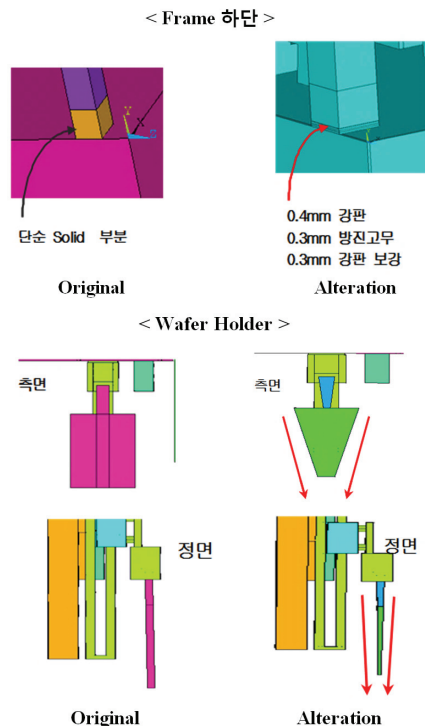


Fig. 8. Design alteration #3.

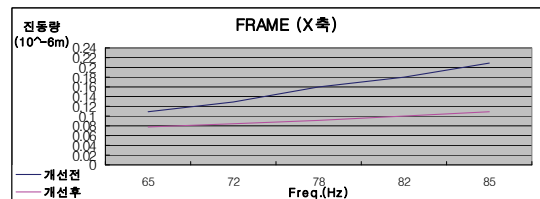


Fig. 9. Vibration magnitudes of the original model and the alteration #3(Frame).

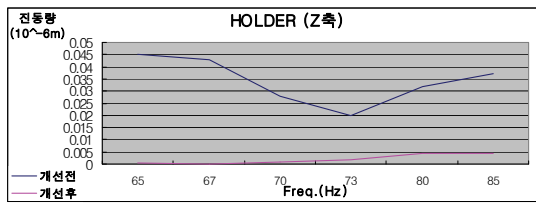


Fig. 10. Vibration magnitudes of the original model and the alteration #3(Holder).

Fig 8의 개선안을 적용하여 시뮬레이션을 진행한 결과를 Figs. 9, 10에 정리하였으며 작동속도(75 Hz) 구간 Frame 진동량이 38%, Holder 진동량이 97% 감소함을 확인하였다.

3.1.4 설계 개선안 #4

가공 Case에서 측정된 진동을 보면 좌우 측면에서 가장 큰 진동을 보이는 고유진동수는 60, 120Hz에 해당된다. 이 진동수들은 모터 작동속도 및 Base, 모터의 고유진동수와 근접한 값이어서 공진의 가능성이 매우 크므로 좌우 측면의 고유진동수가 각각 90, 200Hz가 되도록 설계 변경하였다.

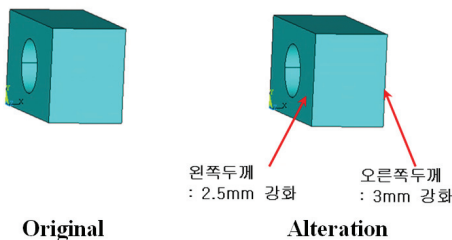


Fig. 11. Design alteration #4.

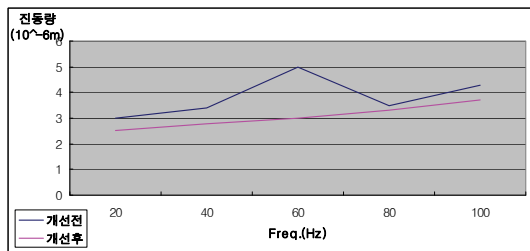


Fig. 12. Vibration magnitudes of the original model and the alteration #4.

Fig 11의 개선안을 적용하여 시뮬레이션을 진행한 결과를 Fig 12에 정리하였으며 작동속도(75 Hz) 구간 진동량이 40% 감소함을 확인하였다.

3.2 최종 개선안 도출 및 효과 확인

앞에서 다양한 설계 개선을 통해 진동량의 변화 양상을 살펴보았다. 언급된 설계 변경안 모두 진동 감소 효과가 있으므로 함께 적용하여 결과를 확인하고자 한다.

Fig 13은 개선 전후의 진동을 Computer Simulation으로 비교한 것이다. 본 구조 안정화 설계 연구를 통해 Table 7과 같이 Wafer Grinder의 작동속도(75 Hz) 구간 진동량이 평균 95% 이상 저감되어 구조 안정성 향상에 크게 기여할 수 있어 이를 최종 개선안으로 결정하였다.

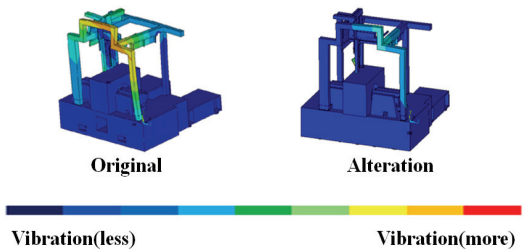


Fig. 13. Vibration magnitudes of the original model and the final model (simulation).

Table 7. Vibration magnitudes of original model and the final model (simulation)

Vib. magnitudes	Original[μm]	Alteration[μm]	Comparison
Right Motor	0.38	0.03	92.2% ↓
Left Motor	0.386	0.034	91.2% ↓
Base	0.006	0.00044	93.0% ↓
Right side Case	4.0	0.013	96.8% ↓
Left side Case	3.8	0.0041	99.0% ↓
Holder	0.025	0.0005	98.0% ↓

4. 결 론

본 연구는 Wafer Grinder의 진동 최소화를 통한 구조 안정성 향상을 위한 설계 개선안을 찾고자 하였다. 이를 위하여 기존 Wafer Grinder의 동특성을 분석하고 이를 바탕으로 Simulation Model에 설계 개선안을 적용하여 그 효과를 검증하였고 이 효과들을 조합하여 기존의 장비에 비하여 진동이 95%이상 소멸된 안정된 장비의 설계안을 도출하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기존 Wafer Grinder는 Table 5와 같은 진동 특성을 보이며 75 Hz의 작동속도 구간에서 공진 및 120 Hz 구간에서 고유진동수 간의 공진으로 인해 진동이 크게 발생하는 것을 알 수 있다.
- 2) Base는 작동속도와 공진하고 있으므로 이를 차단하

며 다른 부위와의 공진 또한 최소화하기 위하여 Fig. 5와 같이 설계 변경하여 49%의 진동량 감소 효과를 보였다.

3) 양쪽 모터가 서로 공진하며 Bracket이 Base와 공진하므로 이를 최소화하기 위하여 Table 6과 같이 Bracket을 설계 변경하여 좌우측 각각 51, 71%의 진동량 감소 효과를 보였다.

4) 모터에서 발생되어 Base로 전달된 진동이 Loading/Unloading 부위로 전달되므로 이를 최소화하며 Wafer Grip과 지면의 공진 또한 차단하기 위하여 Fig. 8과 같이 설계 변경하여 Frame 진동량 38%, Holder 진동량 97%의 감소 효과를 보였다.

5) 가공Case의 좌우 측면 고유진동수 60, 120 Hz는 각각 모터의 작동속도 및 고유진동수와 근접하며 이러한 공진을 최소화하기 위하여 Fig. 11과 같이 두께를 강화하였으며 그 결과 40%의 진동량 감소 효과를 보였다.

6) 본 설계안을 바탕으로 기계가 제조되면 진동을 95% 이상 억제할 수 있게 되어 가공정도의 혁신적 향상을 실현할 수 있을 것으로 사료된다. 지속적 연구가 진행됨으로써 모든 Wafer 가공장비의 국산화 및 설계제조 원천기술 확보를 실현할 수 있으며, 아울러 고품질, 고생산성을

실현하여 기술 우위를 바탕으로 한 경쟁력 확보가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kim, J. Y., "Global market growth of 2.6% this year," 14th, Jan, 2019, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20190113019900003>, Latest Article.
2. Kil, S. G., and Ro, S. H., "Design alterations of a grinder of semiconductor wafer for the improved stability," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-3, 2017.
3. Silicon Valley Microelectronics, "450mm Wafers," 2017, <https://www.svmi.com/silicon-wafers/450-mm-wafers/>, Silicon Wafers.
4. Ro, S. H., and Park, Y. R., "Stability Design of a Laser Cutter for the Strengthened Glass", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 19-25, 2015.

접수일: 2019년 9월 7일, 심사일: 2019년 9월 19일,
게재확정일: 2019년 9월 19일