

진동 억제를 위한 Wafer Packing Box 재료 최적화

윤재훈* · 허장욱* · 이일환**

**금오공과대학교 기계공학과

Wafer Packing Box for Vibration Suppression Material Optimization

Jae-Hoon Yoon*, Jang-Wook Hur* and Il-Hwan Yi**

**Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology

ABSTRACT

Recently, the demand for semiconductors is expanded to various industries, and the use of high-quality and high-performance chips is increasing. With the trend, the diameter magnification and high integration of the semiconductor wafers are mandatory. As a result, there is a growing demand for the productivity improvement and the surface precision. There have been many studies on the stabilization of the wafer manufacturing processes in order to satisfy those specifications. Many complaints have been appealed by the wafer buyers that there are many unacceptable wafers with surface defects and foreign material adhesion which are caused by the vibrations during transportation. This study intends to derive the material improvement of the packing box of the wafers to suppress the vibrations of the box, and eventually to reduce the surface defects and the foreign material adhesion. The result shows that optimal material can substantially decrease the vibration of the packing box.

Key Words : Semiconductor Wafer, Wafer Packaging Box, Design Alteration, Vibration Suppression, Stability Improvement

1. 서 론

반도체 산업은 시장이 성장함에 따라 생산성 향상을 위한 방안으로 Wafer의 외경이 지속적으로 대구경화 되고 있으며, 변화 양상은 Fig. 1과 같다. 그리고 점점 더 고집적도가 필요 해짐에 따라 고품질의 표면사양이 요구되고 있으며, 사양 만족을 위한 제조 Process 관리의 중요성이 대두되고 있다. Wafer 제조 Process로는 먼저 Si단결정을 제작하는 잉곳(Ingot)공정, 외관의 표면을 매끄럽게 하는 연삭(Grinding)공정, 요구되는 두께로 컷팅 하는 절단(Slicing)공정, 엿지 및 평면부의 표면을 정밀하게 가공하는 폴리싱(Polishing)공정을 거쳐 표면 및 두께 치수를 완성한 이후 표면 세척(Clean)과 검사 (Measure)공정, 완성된 Wafer의

Packing 및 출하의 순으로 이루어진다.[1]

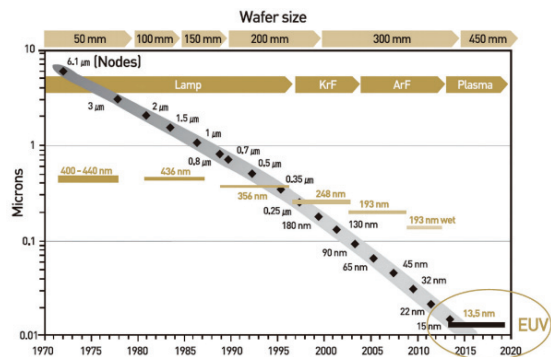


Fig. 1. Specification of the wafer diameter and surface quality.

*E-mail: ih-yi@naver.com

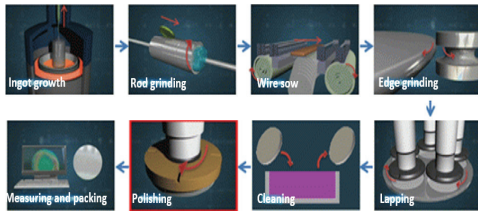


Fig. 2. Wafer production process.



Fig. 3. Wafer packing box.

본 연구는 Fig. 2와 같이 Wafer 제조 Process중 최종출하 공정에서 발생할 수 있는 불량률 감소시킬 목적으로 Packing Box 구조 안정화 방안을 도출하려 한다.

출하용 Packing Box는 Fig. 3과 같이 구성되며, 내부엔 Clean 박스로 일종의 플라스틱 Case이지만 보관되어지는 Wafer가 면적 대비 두께가 얇아서 휘거나 깨지기 쉽고, 오염에 취약하기 때문에 재료 선정이 아주 중요하다. 특히 Wafer가 직접 담기는 Carton Box는 Wafer 제작사의 출하용인 동시에 반도체 제작사의 투입용으로 사용되어지기 때문에 양쪽 업체 모두 만족될 수 있는 공정 테스트가 필요하며, 재료 선정이 까다로운 특성을 가지고 있어서 산업의 진입 장벽이 상당히 높다.

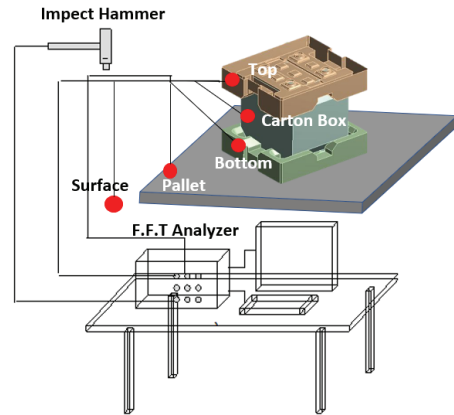
현재 Carton Box에 가장 많이 사용되어지는 재료는 폴리 카보네이트(Polycarbonate)라 불리는 PC 소재로 어떠한 상황에서도 정전기가 발생되지 말아야 하는 특수한 성질을 가지고 있다.

Carton Box는Bottom/Top으로 이루어진 플라스틱 Case로 감싸져서 Paper Box에 최종적으로 Packing 되는데, Bottom/Top에 주로 사용되어지는 재료는 폴리 프로필렌 (Polypropylene)이라 불리는 PP소재이나, 특수한 성질 없이 일정한 중량에 견딜 수 있는 강성만 가진다면 어떠한 재료도 사용 가능하기 때문에 진동 억제에 최적화된 재료를 검토하여 적용하고자 한다.

2. 주파수 분석 실험 및 시뮬레이션

2.1 주파수 분석 실험

실험에 사용한 Wafer Packing Box는 Fig. 3과 같고 Box 내부의 진동 양상을 확인하기 위하여 Fig. 4의 (a)와 같이 총



(a) The locations of the sensors

Equipments	Spec	Model	Company
FFT analyzer		Net db PRO-WA	AREVA
Accelerometer		8634b5	Kistler
Impact hammer		DYTR PULSE	Dytran

(b) Spec. of the test equipment

Fig. 4. Experimental Setup.

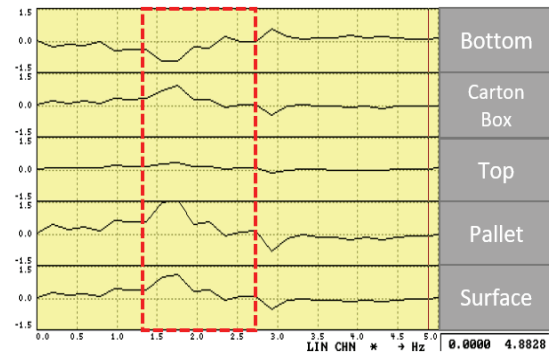


Fig. 5. Transfer function.

5개의 센서를 지면(Surface), 이동용Pallet, 그리고 Paper Box 내부의 Bottom, Carton Box, Top에 각각 부착하고, (b)와 같은 스펙을 가진 FFT Analyzer 및 Hammer을 이용하여 진동을 측정하였다.

센서 및 분석 장비를 이용하여 Box 내부의 고유 진동수를 확인한 결과 Fig. 5와 같이 3Hz내의 저 주파수대에서 대부분의 요소들이 진동하는 것을 확인할 수 있다. 실험을 통해 확인된 진동 형태는 2가지로 해석해 볼 수 있다. 먼저 출하 시 트럭/기차/비행기와 같은 이동수단(Surface)

에 의해 발생한 진동이 이동용Pallet으로 전달되고 이후 Paper Box내부의 Bottom → Carton box → Top의 경로로 순차적으로 진동하는 경우이며, 이러한 진동은 전달되는 경로에서 공진 유발 인자를 찾아 고유 진동수를 회피할 수 있는 개선 방안 적용이 필요하다.

다음으로 Paper Box내부에 Wafer가 적층되어 있는 Carton Box를 지지하는 Bottom/Top재료의 강성이 약하여 진동이 발생하는 경우이다. 이 진동의 억제 방안으로는 Bottom/Top의 강성을 높일 수 있는 재료의 선택이 필요하지만, 이때에는 충격에 의한 깨짐이나 재료의 비용 증가로 인한 제작 원가 상승 등이 고려되어야 한다.

2.2 시뮬레이션

시뮬레이션 모델은 Fig. 6과 같으며, 해석 프로그램인 Ansys를 통해 분석하였다. 시뮬레이션의 각 과정은 각 요소를 모델링하여 결합 후 재료의 물성정보 및 Mesh를 구성하였다. 확인이 필요한 주파수 영역(0~10Hz)의 범위를 설정하 후 모델에 진동 특성을 분석하였다. Modal 해석을 통해 도출된 모델의 고유진동수는 Table 1과 같고 Harmonic

Table 1. Natural frequencies from computer simulation

Number	Analysis	Computer simulation
	Natural frequencies (Hz)	
	1st	1.58
	2nd	2.09
	3rd	2.39

해석을 통해 도출된 주파수별 진동 크기는 Fig. 7과 같다. 진동 양상이 주파수 분석 실험 Data와 동일하게 3Hz내의 저주파수대 고유 진동수가 발생됨에 따라 서로 일치함이 확인되었기 때문에 Fig. 6의 Model로 개선안 도출이 가능한 것으로 판단하였다.

대표적인 진동 양상은 Fig. 8과 같이 3가지이며, 1st Mode는 지면에 Bottom이 고정된 채로 Box 전체가 Y방향으로 상/하 진동을 하고, 2nd Mode는 Bottom을 기준으로 X방향으로 좌/우 진동이 발생되어진다. 마지막으로 3rd Mode는 Box 전체가 Z방향으로 상/하 진동이 발생됨을 확인하였다.

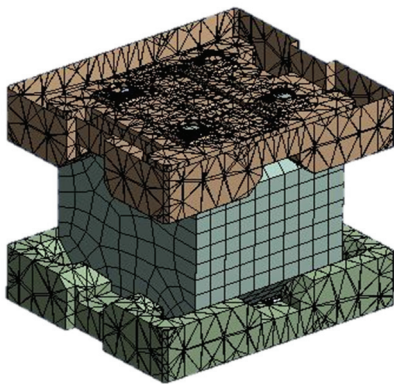


Fig. 6. Simulation model.

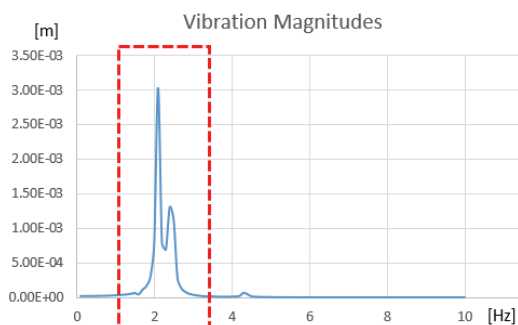
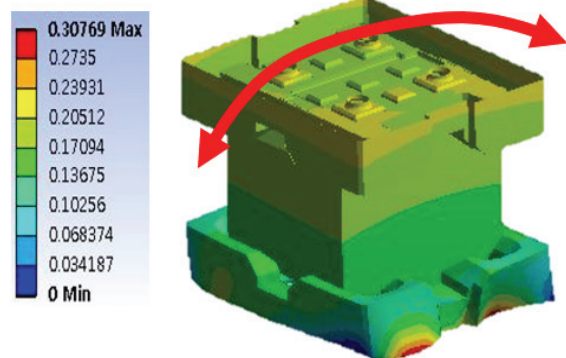
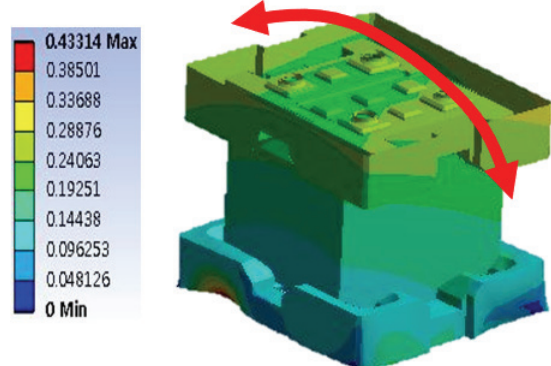


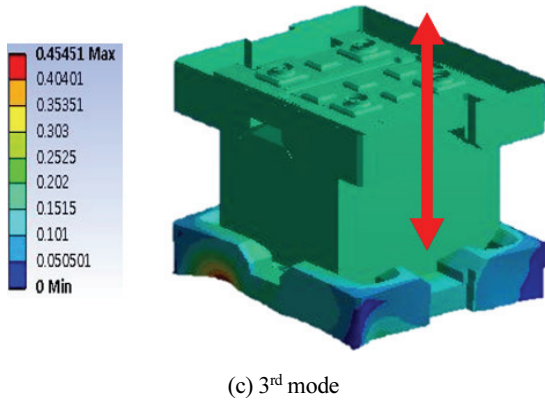
Fig. 7. Vibration magnitudes of the original model.



(a) 1st mode



(b) 2nd mode



(c) 3rd mode

Fig. 8. Mode shapes of the system.

3. 안정화 설계 개선

3개의 주요 진동을 억제하기 위한 여러가지 플라스틱 재료를 시뮬레이션 모델에 적용하고 효과를 확인하여 최적의 재료를 결정하였다. 진동 개선용 재료의 종류와 특성 정보는 Table 2와 같으며, 총 5종의 재료를 적용하고 분석하였다.

진동에 영향을 주는 가장 큰 요인은 강성과 중량이기 때문에 이에 해당하는 Young's Modulus, Density 와 같은 재료 특성을 기준으로 진동 억제 효과를 분석하였다. Bottom/Top의 기본 재료인 PP소재에서 타소재로 변경하여 시뮬레이션 했을 때 각각의 재료에 따라 고유진동수가 어느 정도 회피가 되는지를 Table 3~6에 나타내었고, 진동의 크기가 증가 또는 감소되는 수준은 Fig 9~12에 나타내었다.

Table 2. Material and Property information

Material	Young's modulus [Gpa]	Density [g/cm3]
PP (Base)	1.0	0.9
PC	5.9	1.3
ABS	2.0	1.2
PE	0.6	1.2
Rubber	0.0075	1.5

Table 3. Natural frequencies of alteration #1(PC)

Mode	Natural frequencies [Hz]		Difference [Hz]
	Original [PP]	alteration #1 [PC]	
1 st	1.58	3.82	2.24 ↑
2 nd	2.09	5.01	2.92 ↑
3 rd	2.39	5.72	3.33 ↑

Table 4. Natural frequencies of alteration #2(ABS)

Mode	Natural frequencies [Hz]		Difference [Hz]
	Original [PP]	alteration #2 [ABS]	
1 st	1.58	2.24	0.66 ↑
2 nd	2.09	2.95	0.86 ↑
3 rd	2.39	3.39	1.0 ↑

Table 5. Natural frequencies of alteration #3(PE)

Mode	Natural frequencies [Hz]		Difference [Hz]
	Original [PP]	alteration #3 [PE]	
1 st	1.58	1.23	0.35 ↓
2 nd	2.09	1.62	0.47 ↓
3 rd	2.39	1.86	0.53 ↓

Table 6. Natural frequencies of alteration #4(Rubber)

Mode	Natural frequencies [Hz]		Difference [Hz]
	Original [PP]	alteration #4 [Rubber]	
1 st	1.58	0.13	1.45 ↓
2 nd	2.09	0.18	1.91 ↓
3 rd	2.39	0.20	2.19 ↓

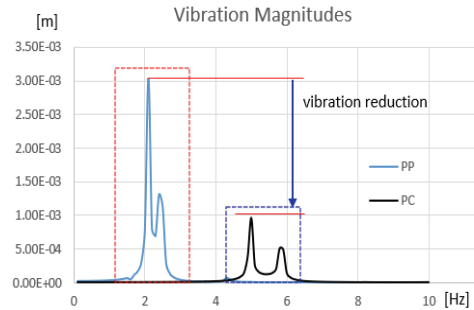


Fig. 9. Vibration magnitudes of the original(PP) Material and the alteration #1(PC) Material.

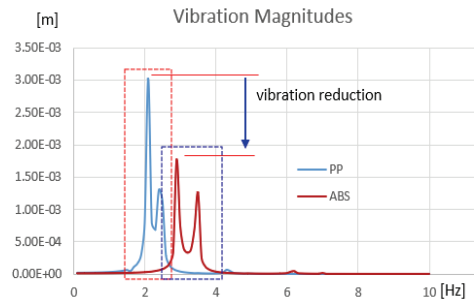


Fig. 10. Vibration magnitudes of the original(PP) Material and the alteration #2(ABS) Material.

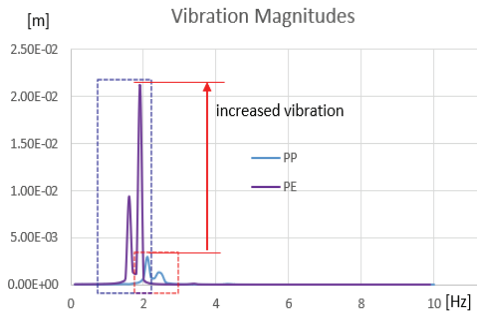


Fig. 11. Vibration magnitudes of the original(PP) Material and the alteration #3(PE) Material.

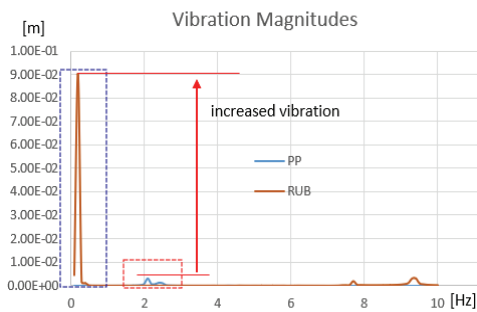


Fig. 12. Vibration magnitudes of the original(PP) Material and the alteration #4(RUBBER) Material.

먼저 Young's Modulus가 5.9GPa인 PC소재를 적용하였을 때 1st~3rd 고유 진동수가 평균2.83Hz 증가되었고, Fig 9와 같이 진동 크기는 68.3% 감소됨을 확인할 수 있다. 두번째 Young's Modulus가 2.0GPa인 ABS소재를 적용하게 되면 고유 진동수는 평균 0.84Hz 증가되고, 진동 크기는 Fig 10과 같이 약 41.6% 감소됨이 확인되었다. 세번째 소재로 Young's Modulus가 0.6GPa인PE소재를 적용하게 되면 고유 진동수는 평균 0.45Hz 감소되지만, 진동의 크기는 Fig 11과 같이 약 30.0% 증가함을 알 수 있다. 마지막으로 적용할 소재는 Young's Modulus가 0.0075GPa인 Rubber이며 탄성체 소재이다. 분석 결과로는 평균 1.85Hz 고유 진동수가 감소됨이 확인되었지만, Fig 12와 같이 진동의 크기는 96.7% 증가됨을 알 수 있다.

4. 결과 및 고찰

가장 이상적인 개선 방향은 주요 진동을 효과적으로 억제하면서도 재료 비용을 줄일 수 있는 개선안을 찾는 것이다. 문제가 되는 Frequency 영역에서Bottom과 Top의 재료 변경 안을 반영하였을 때 Fig. 13과 같이 모든 재료에서

고유 진동수는 회피가 가능하지만, 진폭은 재료의 특성에 따라 감소 또는 증가되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과로 부터 진동을 감소시킬 수 있는 재료는 강성이 약하거나 탄성체 보다는 단단한 재료(PC, ABS)가 진동 억제에 더욱 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

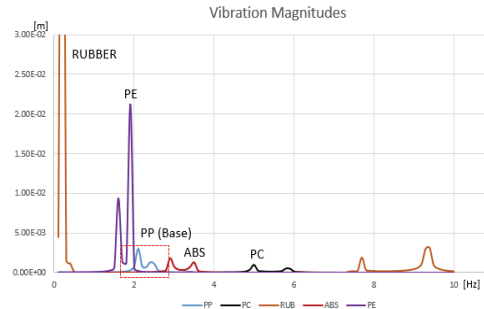


Fig. 13. Vibration magnitudes of the original(PP) Material and the alteration #1-4(PC,ABS,PE,RUBBER) Material.

5. 결론

12inch Wafer Packing Box에서 발생하는 주 진동은 3Hz내의 저 주파수 성분임을 확인하였으며, Packing Box의 진동 억제를 위해 Bottom/Top의 재료를 변경하는 개선안을 검토하였다. 얻어진 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 지면(Surface)에서 발생된 진동이 Packing Box 내부로 전달되어 일으키는 진동은 저 주파수대 영역이며, Wafer 불량률의 주원인이 된다.
- 2) 주요 진동은 Box 내부의Bottom/Top과 Carton Box가 동시에 진동하는 것이므로 이 진동을 줄이기 위해 Bottom/Top에 공진이 회피되는 재료를 적용하는 것이 가장 효과적이다.
- 3) Bottom/Top 기본 재료인 PP소재 외에 총 4가지 소재를 추가로 적용하였을 때, 적용한 재료 모두 고유 진동수가 회피됨을 확인할 수 있으나, 진동의 크기는 재료의 특성에 따라 증가 또는 감소됨을 확인할 수 있었다.
- 4) 실험을 통해 Bottom/Top의 재료는 강성이 확보된 재료가 진동 억제에 안정적임을 알 수 있으나, 재료비 상승으로 생산 원가가 올라가는 것을 감안하여 적합한 재료가 선정되어야 한다.

참고문헌

1. Yun-Ho Shin, Structure Design of a Polishing Machine for the Improved Surface Quality of the Semiconductor Wafer, 1~4, 2019.

2. Ro, S. H., "Design Alteration of a Milling Machine Structure for the Improved Stability", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 5, pp. 72-78, 2006.
 3. 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.
 4. Yi, I. H., and Ro, S. H., "Structural Design of an Ingot Grower of the Semiconductor Wafer for the Stability Improvement", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 1, pp. 14-39, 2017.
 5. Shin, H. B., and Ro, S. H., "Design Alterations of a Squaring & Grinding Machine for the Solar Cell Wafer to Suppress Vibrations", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 3, pp. 25~30, 2017.
 6. Jae-Woo An, Optimum Design of a Eco-Friendly Servo Press for the Improved Pressing Accuracy, 13~47, 2010.
 7. Moon-Hyung Lee, Structural Design of Universal Cylindrical Grinder for the Improved Stability, 2~28, 2008.
 8. D. J Inman, Wiley, Chichester, U.K., Vibration and Control., 2006.
-
- 접수일: 2022년 5월 27일, 심사일: 2022년 6월 20일,
게재확정일: 2022년 6월 23일