

화합물 반도체 본딩용 Spin Coater Module 의 동특성 평가

강재훈[#], 송준엽^{*}, 김옥구^{*}

Dynamic Characteristic Evaluation of Spin Coater Module for GaAs Wafer Bonding

Jae Hoon Kang [#], Jun Yeob Song ^{*} and Ok Koo Kim^{*}

ABSTRACT

Spin coater is regarded as a major module rotating at high speed to be used build up polymer resin thin film layer for bonding process of GaAs wafer. This module is consisted of spin unit for spreading uniformly, align device, resin spreading nozzle and et al. Specially, spin unit which is a component of module can cause to vibrate and finally affect to the uniformity of polymer resin film layer. For the stability prediction of rotation velocity and uniformity of polymer resin film layer, it is very important to understand the dynamic characteristics of assembled spin coater module and the dynamic response mode resulted from rotation behavior of spin chuck. In this paper, stress concentration mode and the deformed shape of spin chuck generated due to angular acceleration process are presented using analytical method for evaluation of structural safety according to the revolution speed variation of spin unit. And also, deformation form of GaAs wafer due to dynamic behavior of spin chuck is presented for the comparison of former simulated results.

Key Words : 화합물 반도체(Compound semiconductor), 갈륨비소(GaAs), 웨이퍼(Wafer), 코터 모듈(Coater module), 폴리머 레진(Polymer resin), 회전척(Spin chuck), 동특성(Dynamic characteristic)

기호설명

E = Young's modulus(Gpa)

v = Poisson's ratio

ρ = Density(Kg/m³)

1. 서론

화합물반도체는 초고속, 초고주파 디바이스에

적합한 재료인 갈륨비소(GaAs), 인듐-인산듐(InP) 등 2 개 이상의 원소로 구성되며, 실리콘에 비하여 결정내의 빠른 전하이동속도성과 발광성, 고속동작 및 고주파특성과 내열특성 등을 지니고 있어 발광소자(LED)와 이동통신(RF)소자 등의 소재로써 다양하게 적용되고 있다. 이와 같이 화합물 반도체는 고부가가치의 첨단산업부품들에 적용되는 만큼 생산제조공정에 해당하는 연마, 본딩, 디본딩에 관한 방법¹⁻³ 과 기술⁴⁻⁶ 에 대한 연구가 다양하게

¹⁾ 접수일: 2004 년 7 월 27 일; 게재승인일: 2005 년 4 월 15 일

[#] 교신저자: 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

E-mail jhkang@kimm.re.kr Tel. (042) 868-7138

^{*} 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

지속적으로 진행되고 있다.

GaAs 와 같은 소재로 이루어진 화합물반도체는 일반적인 반도체제조공정에 의하여 우선 웨이퍼의 초기화가 이뤄진 후, 제품특성상 약 20 여회의 반복적인 전·후면 연삭공정을 통해 약 650 μm 의 초기 두께로부터 약 95 μm 정도의 박막화를 실현한다. 이때 박막화 과정에서는 두께가 매우 얇아져 웨이퍼의 핸들링이 어려워므로 양면 가공작업의 편의성을 도모하기 위하여 사파이어 기관과의 본딩 공정을 수행한다. 그러나, 국내에서는 아직까지 이러한 본딩공정이 수작업에 의하여 이루어지고 있어 생산성과 트러블발생에 적지 않은 영향을 미치고 있다. 따라서, 본 연구에서는 화합물반도체 웨이퍼와 사파이어 기관간의 본딩 공정의 자동화를 구현하기 위해 Fig. 1 에 나타낸 바와 같은 본딩 단계를 실행하는 본딩시스템을 모델링⁷⁻⁹ 하였다.

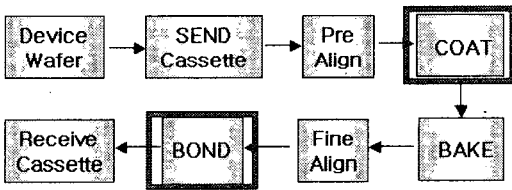


Fig. 1 GaAs Wafer bonding process

스핀코터(Spin coater)는 Fig. 1 의 자동화 본딩시스템을 구성하는 핵심모듈로서 본딩용액을 도포하는 기능을 지니며, 본딩층의 형성과 밀접한 관계를 지닌다고 할 수 있다. 본딩용액의 점도 및 온도 등과 스핀코터의 회전속도, 웨이퍼 표면상태 등의 인자에 의해 본딩층의 균일도가 지배 받으며 특히, 스핀기구의 회전속도에 의한 동적거동특성은 레진왁스(Polymer resin)를 도포하는데 있어서 균일한 박막화 형성을 저하시킬 뿐만 아니라 구조적 안전성에 영향을 미칠 가능성이 높다.

따라서, 본 연구에서는 모델링화한 스핀코터의 설계사양이 적용된 모듈과 핵심구성 유니트인 스핀기구를 대상으로 하여 해석적인 방법에 의한 동특성, 변형 모드와 응력 집중 현상 등을 평가하고, 웨이퍼가 로딩된 정렬 상태에 따른 변형 형태를 고찰하여 설계안에 대한 검증을 수행하였다.

2. Spin Coater 모듈의 구조 및 설계사양

2.1 코터모듈의 구조

본 연구에서 모델링한 스핀코터 모듈은 크게 핵심 유니트들로 구성된 상부와 구동 유니트들로 구성된 하부구조로 구분되며, 상부의 구조는 사파이어 기관 위에 박막의 본딩층을 균일하게 형성하기 위한 부위로서 웨이퍼의 중심을 정렬하는 기구와 본딩용액의 공급용 노즐, 균일한 도포층의 형성을 위한 스핀기구 등으로 구성하였다. 정렬기구에 의하여 웨이퍼가 센터링되며, 미세조정기구 및 스탭 모터, N₂ 공급압을 이용하여 위치를 조정한 후, 본딩용액을 분사하여 웨이퍼 표면에 도포가 이뤄지게 된다.

또한, 하부의 구조는 웨이퍼를 고속회전 시키기 위한 AC 서보모터와 웨이퍼 흡착용 진공장치, 모터를 이용한 상하이송 장치들로 구성되며, 웨이퍼의 Loading /Unloading 시에는 Up/Down 용 실린더에 의하여 상승 및 하강이 이루어지고, 스핀척(Spin chuck)의 상면에 웨이퍼가 고정되도록 진공흡인라인을 이용하여 흡착이 이루어지도록 한다. Fig. 2 에는 이와 같은 상부 및 하부 구성장치들로 조립된 스핀 코터모듈의 3D 형태를 나타내었다.

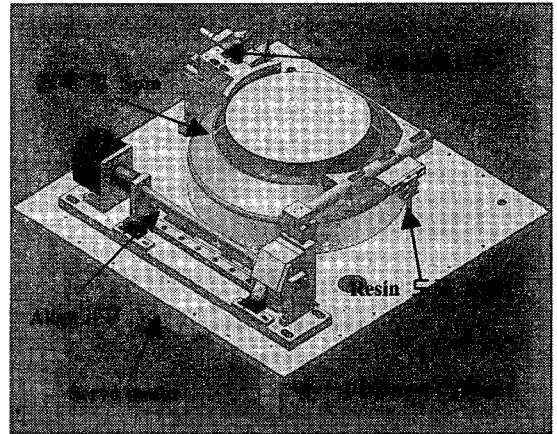


Fig. 2 3D modeling of spin coater module

2.2 설계사양

기존의 수작업 방식에 의한 본딩공정에 있어서 본딩층의 두께는 평균 8 μm (약 5~10 μm 의 범위)정도로 형성되는 것이 바람직하다고 판명되어, 이를 기준으로 하여 균일한 본딩층이 형성될 수 있도록 코터 기구의 회전속도 범위와 정렬 및 구동기구를 설정한 설계사양을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 Spec. of designed coater module

Items	Specifications
Bonding layer thickness	5~10 μm , (Avg. 8 μm)
Polymer resin viscosity	30 cp at 25 $^{\circ}\text{C}$ 3000 cp at 150 $^{\circ}\text{C}$
Polymer resin specific gravity	0.95 at 25 $^{\circ}\text{C}$
Spin revolution speed	Avg. 1,500 rpm Max. 5,000 rpm
Nozzle no.	1
Alignment accuracy	$\pm 100 \mu\text{m}$
Supply method of polymer resin	N ₂ pressure
Wafer	6" GaAs wafer
Actuators	Spin Moter rot. Scan Arm rot. Coater Cup up/down Spin Chuck on/off N2 pressure on/off

3. Spin Coater 모듈의 특성 해석

3.1 해석방법

스핀코터 모듈은 본딩공정을 위하여 고속회전 동작을 이용하여 웨이퍼의 표면에 박막형태의 본딩층을 형성하는 장비이다. 따라서, 고속회전 동작시의 회전력으로 인하여 진동이 발생 될 수 있고, 궁극적으로는 장비의 신뢰성과 공정에 영향을 미치게 되므로 고속 회전 동작시의 진동특성에 대한 확인이 요구된다. 그러나 각 구성 유니트들과 스핀코터 모듈이 조립된 본딩시스템을 대상으로 진동발생의 형태를 실험적으로 파악한다는 것은 곤란하므로 본 연구에서는 해석적인 방식에 의하여 동특성을 평가하였다.

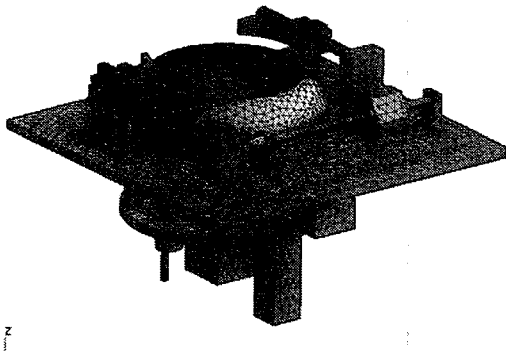


Fig. 3 FE model of spin coater module

Table 2 Mechanical properties of coater module

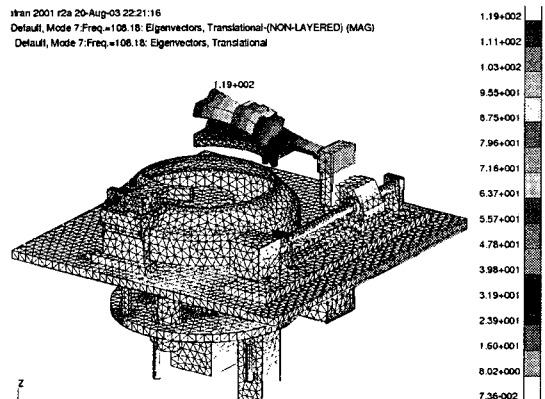
(Unit : GPa, Kg/m³)

Material	E	ν	ρ
STS304	210	0.3	7960
Al6061	73	0.33	2690
Poly Oxy Methylene	2.5	0.45	1410
Poly Propylene	2	0.45	910
Poly Ethylene	0.26	0.45	910
GaAs	82.68	0.31	1200

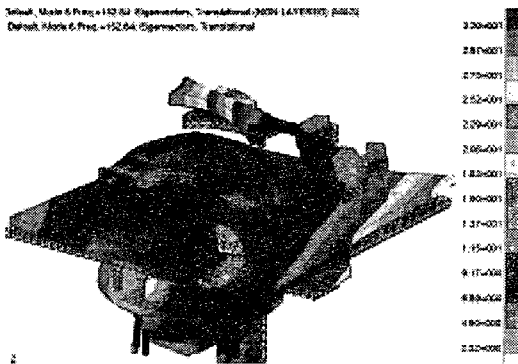
스핀코터 모듈의 진동특성을 효과적으로 구현할 수 있도록 3 차원 모델링을 하였고, 67,424 개의 사면체 요소와 118,870 개의 절점을 이용하여 Fig. 3 과 같은 유한요소 모델을 구성하였다. 또한, 경계조건을 위하여 모듈 전체를 지지하는 플레이트 하단 부위를 구속하였다. 해석에 사용된 구성소재들의 물성치는 Table 2 에 나타내었다.

3.2 해석결과 및 고찰

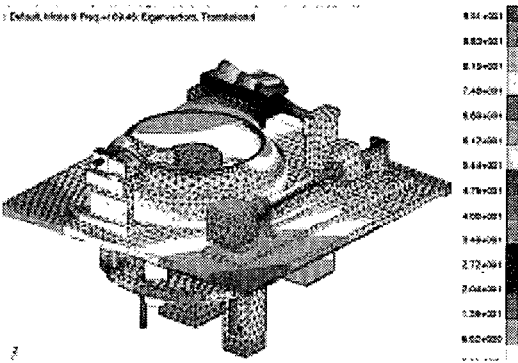
스핀코터 모듈의 고유진동수는 Table 3 에 나타내었다. 모드형상은 Fig.4 의 (a)~(d)에 나타낸 바와 같이 첫 번째 모드는 폴리머레진 도포용 노즐이 탑재되어 이동되는 Scan Arm 이 위쪽으로 움직임을 나타내고, 두 번째 모드는 스핀코터 모듈의 중간평판의 한 모서리가 위쪽으로 휨을 나타낸다. 그리고 세 번째와 네 번째 모드는 Scan Arm 이 각각 모듈의 바깥쪽과 안쪽으로 휘어짐을 나타내 강성이 약한 곳에서 특히, 형상의 변화가 두드러지게 나타난다는 것을 확인 할 수 있다.



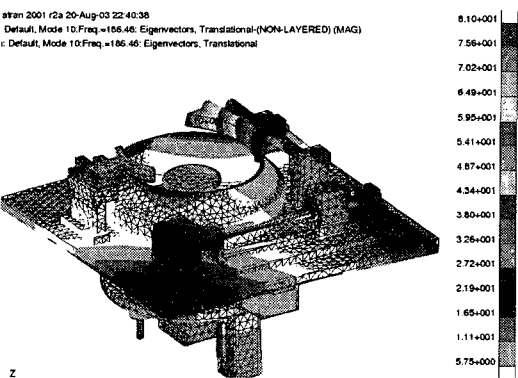
(a) The 1st deflection mode shape



(b) The 2nd deflection mode shape



(c) The 3rd deflection mode shape



(d) The 4th deflection mode shape

Fig. 4 Simulated dynamic deflection modes

한편, 고유진동수는 108~186Hz 의 범위로 나타나며 스핀코터 모듈의 평균회전속도가 25 Hz, 최대회전속도가 83 Hz 이므로 첫 번째 진동 모드인 108 Hz 보다 작기 때문에 공진은 발생하지 않을 것으로 예상된다.

Table 3 Modal analysis results of coater module

Mode	Frequency(Hz)	RPM	
		Average	Maximum
1	108	1500 (25Hz)	5000 (83Hz)
2	153		
3	169		
4	186		

4. Spin Chuck 의 동적응답해석

4.1 해석방법

균일하고 안정화된 본딩용 도포층의 형성을 위하여 스핀코터의 회전속도는 단계별로 변화가 이뤄질 필요가 있게 된다. 즉, 웨이퍼를 스핀척에 로딩한 후 초기의 정지상태에서 공급노즐에 의하여 정량의 본딩액을 떨어뜨리고 약 500rpm 의 회전속도로 가동하며, 약 1000~1500rpm 의 회전 속도를 증가하여 단계적으로 본딩액이 웨이퍼 위에 균일하게 퍼지도록 도포를 하는 공정이 요구된다. 그러나, 이와 같은 실제의 도포과정(약 500~1500 rpm)과 설계시 최대 5000rpm 까지의 회전속도가 가능하도록 적용된 기구부를 조립한 모델 전체를 대상으로 거동상태를 파악한다는 것은 매우 곤란하므로 스핀코터 모듈의 핵심 부품인 스핀척의 거동성과 신뢰성을 평가하기 위해 최대속도가 적용된 상태에서 실제의 거동이 정확히 표현 될 수 있도록 Fig. 5 와 같이 3 차원의 서브모델링을 수행하여 유한요소 모델을 생성하였다.

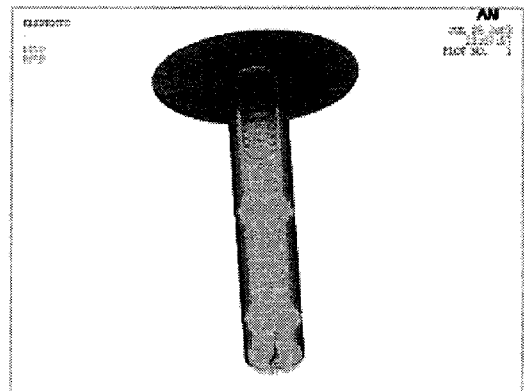


Fig. 5 B.C and FE model of spin chuck

또한, 스핀코터 모듈의 센터정렬공차는 최대 0.1

mm 이하가 되도록 설계하였으므로 스펀척 위에 웨이퍼가 로딩된 후 정렬상태에 따른 거동현상을 관찰하기 위해 정렬정도가 $\pm 100 \mu\text{m}$ 이내에서 일치된 상태와 $100 \mu\text{m}$ 의 편심을 주어 불일치한 상태의 모델링을 각각 하였다. Fig. 6 에는 스펀척 위에 웨이퍼가 로딩된 유한요소모델을 나타낸다.

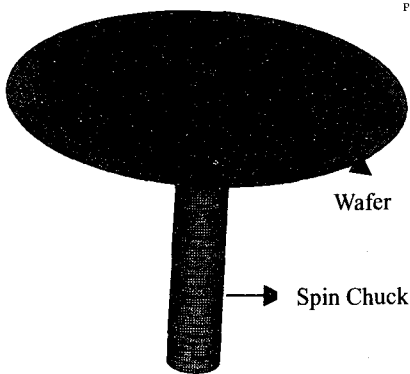


Fig. 6 FE model of spin chuck with loaded wafer

4.2 경계조건

폴리머수지로 이루어진 외부와 진공흡입을 위하여 스테인레스강으로 이뤄진 원통형 관이 내부에 연결되어 있는 스펀척은 모터에 의해 고속회전을 하는 부품이므로 내부 원통관을 강체로 가정하여 Fig.5 에 나타낸 바와 같이 폴리머수지의 내부면을 모두 구속하였다.

8 절점 3 자유도를 지니는 약 11,400 개의 사면체 요소와 15,300 개의 절점을 모델의 해석에 사용하였으며, 본딩액의 도포를 시작할 때 스펀척에서 웨이퍼의 미끄러짐은 없다고 가정하였다. 약 2,491 개의 사면체 요소와 5,044 개의 절점을 이용하여 웨이퍼를 모델링하였고, 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS 를 사용하여 해석을 수행하였다.

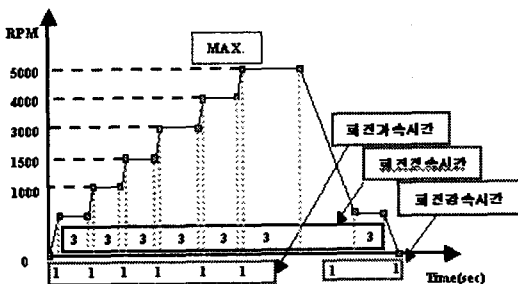


Fig. 7 Speed step variation of spin chuck

해석에 적용된 시간은 본딩액의 도포를 위한 실제의 운용조건과 거의 유사하게 설정하였으며, 최대 5000rpm 까지의 회전속도를 단계적으로 가속·정속·감속구간으로 나누어 설정하였다. Fig.7 에는 해석을 위하여 설정한 회전속도와 해당 구간의 시간을 비교하여 나타내었다.

4.3 회전 속도에 따른 동적응답해석 결과

모델링한 스펀척터 모듈의 회전속도에 대한 안전성을 검토하기 위해 실제의 운용속도와 최대 작동 회전속도를 적용하여 전체적인 구간에 대한 과도적인 해석을 수행하였다.

Fig. 8 에 나타낸 바와 같이 전체적인 해석결과에 의하면 도포공정 구간(500~1500rpm) 이후의 최고 속도에 도달할 때까지 회전속도의 증분에 따라 발생하는 변위량이 비선형적으로 급속히 증가함을 알 수 있었다.

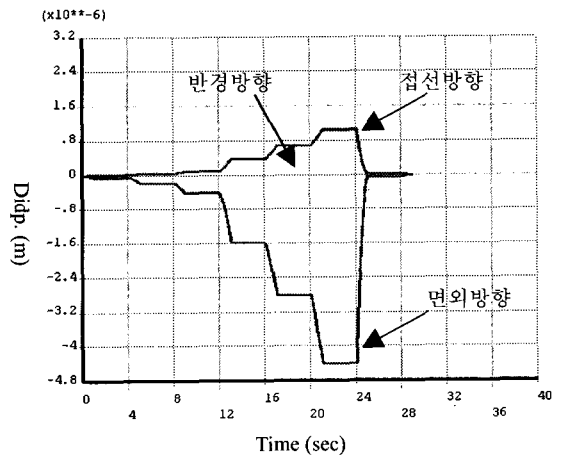


Fig. 8 Comparison of dynamic response with respect to variation of spinning speed

실제적인 본딩층의 형성공정인 0~1500rpm 의 회전속도 구간에 있어서는 2 차 도포공정에 해당하는 약 9.1sec 이후에 1500rpm 의 정속구간으로 유지될 때 스펀척의 원판에 있어서 반경방향(r)과 접선방향(θ)으로의 변위량은 $0.01 \mu\text{m}$ 이하로 미소하게 발생한 한편, 면외방향(z)으로는 강성이 상대적으로 약한 스펀척의 끝 단에서 처짐 변형량이 약 $0.407 \mu\text{m}$ 정도로 발생한 것을 확인할 수 있었다.

또한, 도포공정 이후에 최대 5000rpm 의 회전속도에서는 스펀척 끝단의 최대 처짐 변형량이 면외 방향으로 약 $4.52 \mu\text{m}$ 정도가 발생하는 것을 역

시 확인 할 수 있었다. 이와 같은 결과는 도포공정의 이후에 있어서 회전속도의 고속화에 따라 스펀치의 가속 현상이 급격하게 증가하기 때문에 나타난 것으로 판단된다. Fig.9 와 Fig.10 에는 실제적인 운용속도와 최대 회전속도에 대한 스펀치의 변위 분포를 각각 나타내었다.

결과적으로, 이와 같은 현상은 실제적으로 외부적인 요인보다는 스펀치 자체의 자중과 고속 회전력에 의한 가속현상에 의한 것으로 추정 할 수 있다.

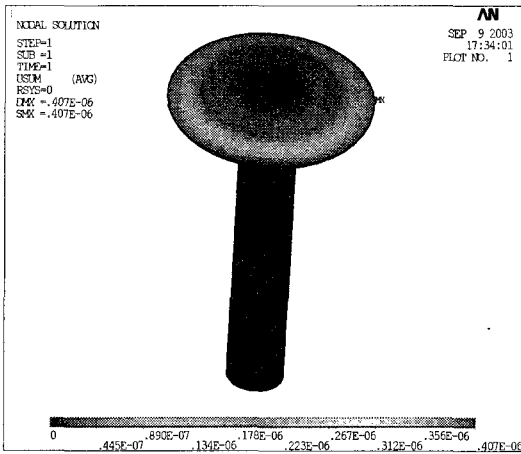


Fig. 9 Displacement status of spin chuck to the operating spinning speed

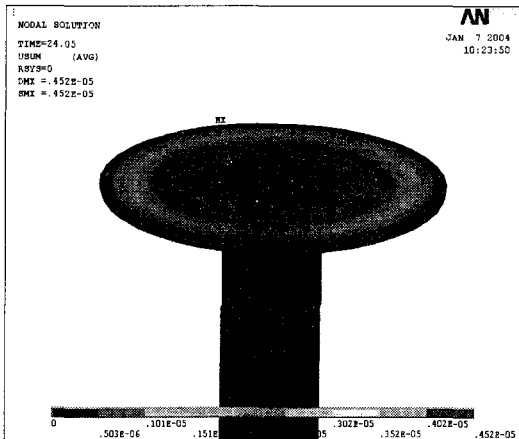


Fig. 10 Displacement status of spin chuck to the maximum spinning speed

Fig. 11 에 나타낸 바와 같이 실제적인 운용속도 이후부터 최대회전속도까지 증가할 때에 스펀치의 응력 분포가 상대적으로 크게 선형적으로 증가하는 것을 확인 할 수 있으며, 이와 같은 현상은 회전력에 의한 모멘트로 인하여 원판과 바의 연계부위의 수직 방향에 대한 원판 부위에서 최대응력이 집중적으로 분포되기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, Fig. 12 와 Fig. 13 에 나타낸 바와 같이 최대 등가응력 분포(224.2 kPa) 가 폴리머수지의 고유 항복강도인 71 MPa 의 범위 이내에서 유지되므로 최대 작동 회전력에 대해 구조적으로 안전한 설계가 이루어 졌다고 할 수 있다.

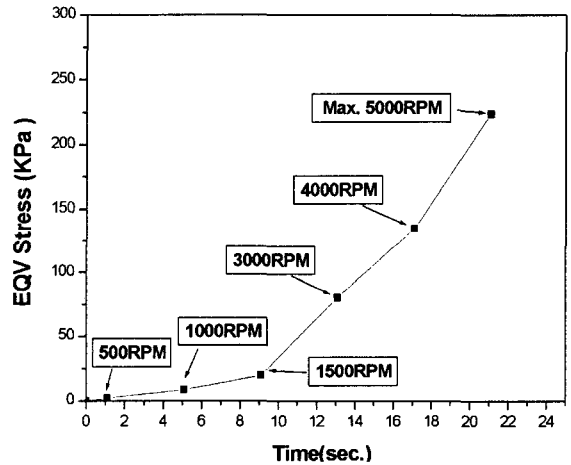


Fig. 11 EQV Stress distribution according to the variation of spinning speed

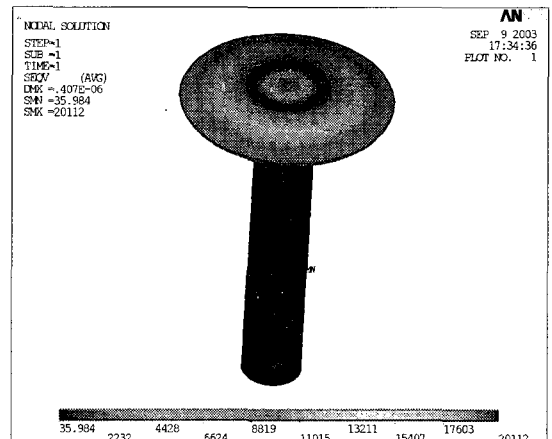


Fig. 12 EQV Stress distribution status of spin chuck to the operating spinning speed

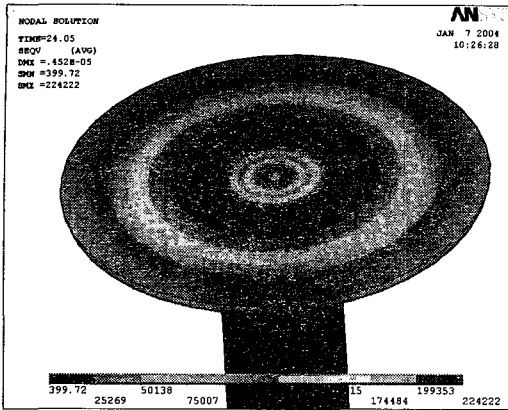


Fig. 13 EQV Stress distribution status of spin chuck to the maximum spinning speed

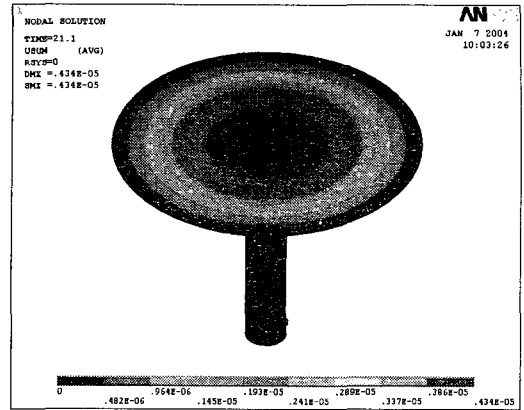


Fig. 15 Displacement mode of wafer to the maximum spinning speed in aligned status

4.4 Wafer 정렬에 따른 과도해석결과

스핀척 위에 웨이퍼가 로딩 될 때에 있어서 최대 0.1 mm 이하의 정렬 공차가 이뤄지도록 모듈이 설계되었으므로 웨이퍼가 일치된 상태와 100 μm의 편심량을 설정한 로딩 상태에 대해서 과도해석을 각각 수행하여 응답을 알아 보았다.

Fig.14 에 나타낸 바와 같이 웨이퍼가 일치된 상태에 있어서는 웨이퍼가 로딩되어 본딩층이 도포되는 실제적인 과정에 비하여 2 차 도포 이후의 최고 회전력에 도달할 때까지 급속한 변위량의 증가형태가 나타나며, 이와 같은 현상은 스핀척의 동적응답 해석결과에 의한 변위량의 결과와 매우 유사한 형태를 지니는 것으로서 확인 할 수 있었다.

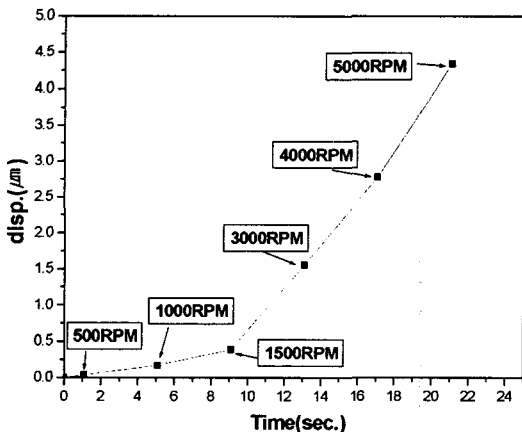


Fig. 14 Displacement variation to the spinning speed step in aligned status

또한, 최고 회전속도에 도달할 때에는 웨이퍼의 끝단에서 면의 방향으로 약 4.34 μm의 변위량이 발생함을 알 수 있었다. Fig.15 에는 최대 회전속도에 있어서 발생한 웨이퍼의 변위량 상태를 나타내었다. 스핀척의 자중이 고속회전력에 따른 탄성거동으로 인하여 발생한 변위량으로써 웨이퍼가 로딩된 후 일치된 상태에서는 외부적인 요인 보다 스핀척의 회전상태에 따라 나타날 수 있는 현상이라고 예측 할 수가 있다.

Fig.16 에는 웨이퍼가 로딩될 때에 0.1 mm의 편심량을 설정한 경우에 대하여 수행한 해석결과를 나타내었다.

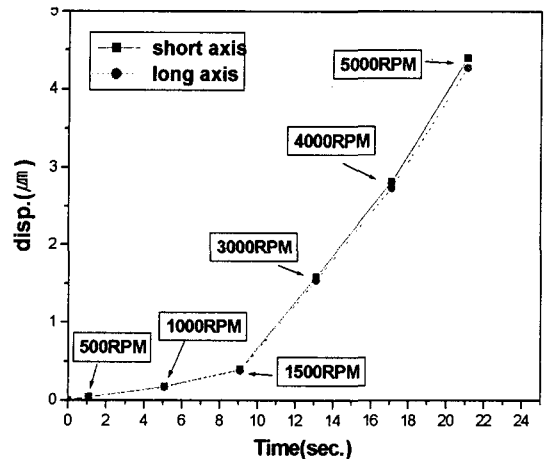


Fig. 16 Displacement variation to the spinning speed in misaligned status

웨이퍼가 로딩되어 본딩층이 도포되는 1, 2 차 과정의 작동 회전속도에 있어서는 편심이 없는 축의 양끝 단의 변위량은 약 0.39 μm 로 발생하여 일치된 정렬 상태의 결과와 동일하였으며, 편심으로 인하여 센터와 가까운 단축의 변위량은 약 0.396 μm 정도였으나 센터와 먼 장축은 약 0.384 μm 정도의 변위량이 발생하므로 변위량의 차이가 다소 발생한다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 최대 회전속도까지 도달할 때에는 급격하게 4.34 μm 의 단축 변위량과 4.27 μm 의 장축 변위량이 형성되어 0.07 μm 정도의 차이를 나타내고 있지만, 그 차이가 매우 미소하므로 정렬 허용공차 이하의 범위 내에서는 편심에 대한 영향이 매우 적을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 모델링한 GaAs 웨이퍼의 본딩용 자동화 시스템의 설계사양이 적용된 스피너 모듈에 대한 동특성 평가를 해석적인 방법에 의하여 수행하였으며, 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

- 1) 진동해석 결과에 의하면 스피너 모듈은 최대 회전속도가 5000 rpm 이므로 회전속도가 약 6000 rpm 이하에서 사용될 경우에 공진이 발생하지 않을 것으로 판단된다.
- 2) 회전속도에 따른 스피너의 동적응답해석을 수행한 결과에 의하면 최대 회전속도에서 발생하는 변형은 고속회전력과 자중에 의한 탄성거동으로 인하여 나타나는 현상으로 판단되고, 응력 분포는 소재의 항복강도(71 MPa) 이내에 분포하고 있으므로 작동 회전력 범위 내에서는 안전할 것으로 판단된다.
- 3) 웨이퍼가 로딩된 상태에 대한 동적응답해석 결과에 의하면 웨이퍼와 스피너의 원판이 일치한 경우는 웨이퍼의 속도에 따른 거동상태(4.34 μm)가 스피너의 경우와 매우 흡사하게 나타나며 스피너의 거동상태(4.52 μm)에 따라 나타나는 연동현상으로 판단된다. 또한, 편심이 이루어진 경우에는 위치에 따른 다소 다른 동적거동을 나타내지만 발생량의 차이가 0.07 μm 정도로 미소하여 허용하는 정렬범위에서 웨이퍼의 로딩은 안전하다고 판단된다.

- 4) 이와 같은 해석결과들에 의하면, 본 연구에서 모델링한 스피너 모듈의 설계사양인 최대 회전속도가 적용된 회전기구와 $\pm 100 \mu\text{m}$ 이내의 정렬정도 조건하에서 본딩공정이 안전하게 이루어질 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. Chung, T. R., Yang, L., "Wafer direct bonding of compound semiconductors and silicon at room temperature by the surface activated bonding method," Applied surface Science, Vol.117, Elsevier, pp. 808-812, 1997
2. Chung, T. R., Yang, L., "Room temperature GaAs-Si and InP-Si wafer direct binding by the surface activated bonding method," NIMB, Research B 121, Elsevier, pp. 203-206, 1997
3. Arokiaraj, J., Soga, T., "SeS₂ assisted bonding of GaAs to Si-A new method for wafer bonding," Applied surface Science, Vol.159, Elsevier, pp. 282-287, 2000
4. Takamori, T., Wada, S., Kamijoh, T., "GaAs side-by-side wafer bonding and formation of lateral pn junction," Applied surface Science, Vol.117, Elsevier, pp. 798-807, 1997
5. Kopperschmidt, P., Senz, S., Scholz, R., "Interface defects in integrated hybrid semiconductors by wafer," Physica B, Vol.308, Elsevier, pp. 1205-1208, 2001
6. Birnie, D. P., Vogt, R. N., "Coating uniformity and device applicability of spin coated sol-gel PZT films," Microelectronic Engineering, Vol.29, pp. 189-192, 1995
7. Ji, W. H., Song, J. Y., "Optimum design of bonding module of GaAs wafer," Proc. of KSPE, pp. 860-863, 2003
8. Song, J. Y., Kim, O. K., "Characteristic analysis of spin coater for GaAs wafer bonding system," Proc. of KSPE, pp. 476-479, 2003
9. Kim, O. K., Song, J. Y., "Dynamic characteristic evaluation of spin coater for GaAs bonding system," Proc. of KSPE, pp. 720-723, 2004