

## GaAs 웨이퍼 본딩모듈의 최적화 설계

지원호\*(실리콘테크), 송준엽\*\*, 강제훈\*\*, 한승우\*\*(한국기계연구원)

### Design Optimization of GaAs Wafer Bonding Module

W. H. Jee(Silicon Tech), J.Y. Song, J.H. Kang, S.W. Han(KIMM)

#### ABSTRACT

Recently, use of compound semiconductor is widely increasing in the area of LED and RF device. In this study, wafer bonding module is designed and optimized to bond 6 inches device wafer and carrier wafer. Bonding process is performed in vacuum environment and resin is used to bond two wafers. Load spreader and double heating mechanisms are adopted to minimize wafer warpage and void. Structure and heat transfer analyses show the designed mechanisms are very effective in performance improvement.

**Key Words** : Compound semiconductor(화합물 반도체), Bonding(본딩), GaAs(갈륨비소), Load Spreader, Double Heating(상하가열), Heat transfer(열전달), Structure analysis(구조해석)

#### 1. 서론

화합물 반도체는 실리콘 반도체에 비해 발광성, 고속동작, 고주파특성, 내열특성이 뛰어나 발광소자(LED)와 이동통신(RF)소자 개발에 이용되는 전략 품목이다. 화합물 반도체는 갈륨비소(GaAs), 인듐-인산듐(InP) 등과 같이 2 개 이상의 원소로 구성되며 초기의 Device 웨이퍼(두께 670 μm)를 전·후면 가공을 통해 100 μm 미만의 얇게 만들어 양면에 회로를 생성해야 하는 특성을 갖고 있어 가공작업의 편의성을 제공하기 위해 Carrier 웨이퍼와 본딩시키는 공정이 필수적으로 적용되고 있다. 하지만 화합물 반도체의 기계적 강도가 취약해 쉽게 파손되고, 본딩시 고온상태(120 °C 이상)에서 온도특성을 유지해야 하는 등 까다로운 공정조건 및 취급상의 난제로 본딩 공정을 자동화 장비시스템으로 발전시키지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 코터(Coater) 모듈, 본딩 챔버(Bonding Chamber) 모듈, 베이킹(Bake) 모듈, 정렬(Pre-Aligner)모듈, 웨이퍼 핸들링(Wafer handling) 등으로 구성된 본딩 자동화 시스템 개발을 목표로 1 차적으로 진행시킨 핵심 모듈인 본딩 모듈의 최적화 설계 및 해석연구에 대해 기술코자 한다.

한편 본딩 공정의 요구사항(파손 및 버블의 최

소화, 공정시간 단축 등)을 최적화할 수 있는 구조로 고안, 채용한 Load Spreader, 상하 가열방식 등에 대한 구조해석 및 챔버 내에서의 열전달(온도분위기) 해석을 실시하여 이론적인 설계검증과 최적화 방안을 모색하였다.

#### 2. 본딩 모듈의 설계

##### 2.1 개요

본 화합물반도체 본딩 장비는 6 인치 갈륨비소(GaAs) 웨이퍼용으로 개발되었다. 본딩 장비의 설계를 위한 주요 사양은 다음과 같다.

Device Wafer	: GaAs 6"
Diameter	: 150 mm ? 150 μm
Thickness	: 670 ? 25 μm
Carrier Wafer	: Sapphire
Diameter	: 159 mm ? 150 μm
Thickness	: 500 ? 25 μm
Bonding Material	: Resin
Position	: Wafer Upside, Sapphire Downside

본 연구의 1 차년도 목표는 Fig.1 과 같은 본딩 자동화 시스템의 핵심 모듈인 본딩 챔버(Bonding Chamber) 모듈을 개발하는 것이다. 본딩 챔버 모듈

은 진공 챔버로 구성되어 있으며, 상하 열변형 차이에 의한 웨이퍼의 파손을 막기 위해 상하 모두 Hot Plate 로 구성하였고, PC 를 통해 상하 Hot Plate 의 온도를 독립적으로 제어할 수 있도록 Recipe 에 반영하고 있다. Fig.2 는 본딩 챔버 모듈에 대한 구성을 나타내고 있으며 진공형성부, 가압부, 가열부, 정렬부, 제어부 등으로 구성된다. 구동부는 챔버 개폐 실린더, 가압 실린더, 정렬 실린더로 구성된다.

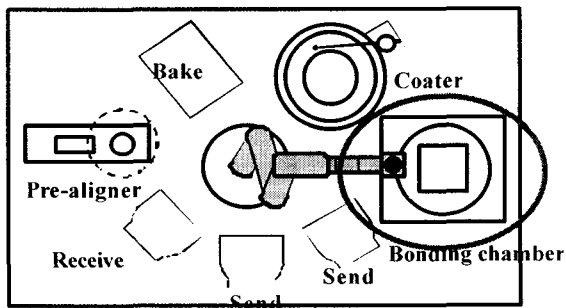


Fig. 1 Layout of automatic bonding system

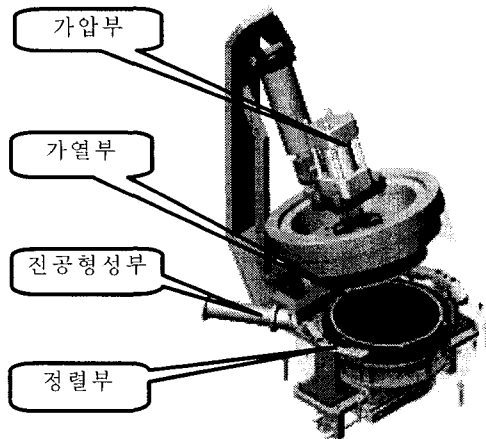


Fig. 2 Designed bonding module for GaAs wafer

## 2.2 정렬부

본딩 공정시에는 먼저 Resin 이 코팅된 Carrier 웨이퍼가 놓여지고 다음에 Device 웨이퍼가 놓여진다. 정렬부는 Device 웨이퍼와 Carrier 웨이퍼의 중심을 정렬정도  $\pm 100 \mu\text{m}$  이내에서 일치시킬 수 있도록 고안되었으며 정렬 실린더, 실린더 브라켓, Grip 등으로 구성된다.

웨이퍼가 로딩되기 전에는 Grip 이 벌려져 있다. Carrier 웨이퍼가 Hot Plate 위에 놓여지면 Grip 을 좁혀 정렬 준비를 하고 그 Grip 위에 Device 웨이퍼가 놓여진다. Grip 에는 스프링이 내장되어 있어 웨이퍼가 Grip 에 닿으면 스프링이 압축되면서 충격

을 흡수하도록 되어 있다.

## 2.3 진공형성부

기포(void)가 형성되는 것을 방지하기 위하여 진공 환경하에서 본딩이 이루어지도록 고안하였다. 진공형성부는 챔버, 커버, 챔버 개폐 실린더, 진공 펌프, 3-way 솔레노이드 밸브, 게이지 등으로 구성된다. 먼저 2 개의 웨이퍼를 정렬후 챔버 커버를 닫고 진공펌프를 이용하여 챔버내의 진공을 형성하며, 본딩이 완료된 후에는 3 방향 밸브를 통해 대기압으로 회복시킬 수 있다. 커버와 하부 챔버 사이에는 테프론 기밀재료가 위치하고 있으며, 공차를 흡수할 수 있는 구조로 설계하였다.

## 2.4 가압부

본딩 챔버내에서 Carrier 웨이퍼와 Device 웨이퍼가 정렬되고 진공이 형성된 다음에 가압 실린더가 2 개의 웨이퍼를 눌러 본딩이 이루어진다. 본 연구에서는 Resin 의 접합성을 향상시키기 위해 일정한 압력을 가하도록 고안하였는데, 가압력 60N 이상, 최대 600 N의 하중이 균일하게 전달되도록 설계하였다. 가압 실린더의 앞단에는 진공 레귤레이터 (Regulator)를 장착해 PC의 Recipe 상에서 공기압력을 조절함으로써 가압력을 조절할 수 있도록 하였다. 실린더 로드 끝단에는 플로팅 (Floating) 조인트가 달려있는데 이는 상하의 Hot Plate 들끼리 정확히 평행하지 않을 때도 웨이퍼에 골고루 하중이 분포될 수 있도록 하기 위함이다.

## 2.5 가열부

GaAs 웨이퍼의 Warpage 특성을 고려하여 본딩 중에 웨이퍼 전면을 균일하게 가열시키도록 상하구조(Double Heating)의 가열부를 구상하였다. 웨이퍼와 접촉하는 상부 Hot Plate의 밑면에는 테프론으로 만든 Load Spreader를 정밀 가공하여 부착하고, Hot Plate 중앙과 Load Spreader 중앙에는 핀을 두어 중심을 일치시켰다. Load Spreader의 중앙부는 원주 바깥부분에 비해  $50 \mu\text{m}$  정도가 튀어나와 있는데, 이러한 설계의 목적은 본딩 공정시 Load Spreader와 웨이퍼가 중앙부터 먼저 접촉되고 점차 접촉면이 원주 방향으로 확대되도록 함으로써 기포없이 접착이 이루어지도록 하기 위한 것이다.

## 2.6 제어부

제어부는 크게 2 부분으로 나뉘는데 먼저 공압 제어부에서는 챔버 개폐 실린더, 정렬 실린더, 가압 실린더 등 3 개의 공압 실린더를 구동시키고, 온도 제어부에서는 Thermo-couple 을 이용해 상하 Hot Plate 의 온도를 감지하고 상하 Hot Plate 의 온도를

독립적으로 제어한다.

본딩 모듈의 모든 신호는 DeviceNet 을 이용해 PC 로 입출력되고 제어기능을 수행토록 하였는데, 이는 향후 전자동 장비가 갖춰질 경우의 확장성에 대비하기 위해서이다.

완성된 본딩 모듈은 모듈만으로도 웨이퍼 본딩로서의 기능을 수행할 수 있도록 Stand Alone 형태로 구성하였으며, GUI 환경하에서 제어와 Recipe 를 수행하도록 함으로써 편의성을 향상시켰다.

### 3. 본딩 모듈의 해석과 최적화

#### 3.1 Load Spreader 구조해석

##### 3.1.1 해석 조건

본딩이 제대로 이루어지기 위해서는 압축력을 부가하는 Hot Plate 와 웨이퍼의 접촉력이 균등하게 발생되어야 한다. 이를 위하여 Upper Hot Plate 에 Fig.3 과 같이 Load Spreader 를 부착하였다.

본 연구에서는 Upper Hot Plate 에 부착된 Load Spreader 가 접촉력을 균등하게 발생시키는데 효과적인 역할을 하는지를 평가하고, 또한 Load Spreader 의 소재 물성을 평가하여 본딩에 유리한 소재를 선정하고자 한다.

Table 1 은 Load Spreader 에 사용한 PTFE 소재의 물성을 보여준다.

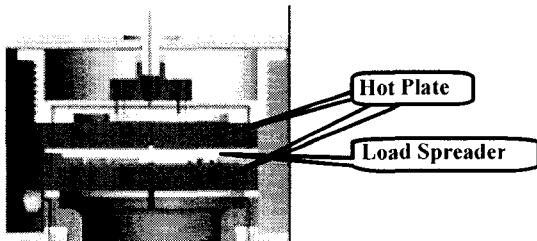


Fig. 3 Load spreader

Table 1 Physical characteristics of PTFE

Modulus of Elasticity	402 ~549 MPa
Tensile Strength	25 MPa
Elongation	500 %
Ball Indentation Hardness	28 MPa
Density	2.18 g/cm <sup>3</sup>
Thermal Conductivity	0.25 W/(K.m)
Specific Heat	1 J/(g.K)

Load Spreader 는 원형으로 형상과 경계조건이 축대칭이므로 유한요소 모델을 Axi-Symmetric 으로 구성하였다. 전체 모델은 1,307 개의 요소와 1,441 개의 절점으로 이루어진다. Hot Plate 와 Load Spreader

는 사각형요소, 웨이퍼는 Beam 요소를 사용하였으며, 접촉력을 평가하기 위하여 Load Spreader 와 웨이퍼는 Contact 요소를 사용하였다.

압축력은 실린더에서부터 발생하여 Fig.3 의 화살표와 같은 경로를 통하여 Hot Plate 의 가장자리로 전달된다. 이때 실린더의 사용하중은 60 N 이다.

경계조건은 Hot Plate 의 가장자리에 60 N 의 하중을 부가하였으며, Hot Plate 와 Load Spreader 의 볼트 연결부는 고정하였다. Contact 조건으로는 Hot Plate 와 Load Spreader 는 Deform-Deform Contact 을, Load Spreader 와 웨이퍼는 Deform-Rigid Contact 을 설정하였다.

##### 3.1.2 해석결과 및 고찰

해석 결과는 Table 2 에 나타내었다. 최대응력은 Load Spreader 유무에 관계없이 매우 작다. 그러므로 60 N 의 실린더 하중에 의해 Load Spreader 가 압축됨으로써 발생하는 응력에 대한 강도는 문제되지 않는다. Load Spreader 의 변형량 또한 매우 작으므로 본딩 공정에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

Fig.4-Fig.6 은 각각 von Mises 등가응력, 주응력, 변형량의 분포를 보여준다.

Table 2 Structure analysis results

	최대 등가응력 (MPa)	최대 주응력 (MPa)	최대 변형량 (mm)
With Load Spreader	0.0316	0.0313	6.01×10 <sup>-5</sup>
Without Load Spreader	0.0245	0.00575	2.75×10 <sup>-5</sup>

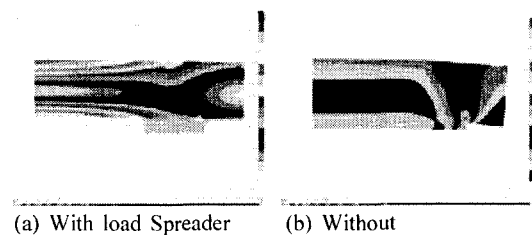


Fig.4 Equivalent stress distribution

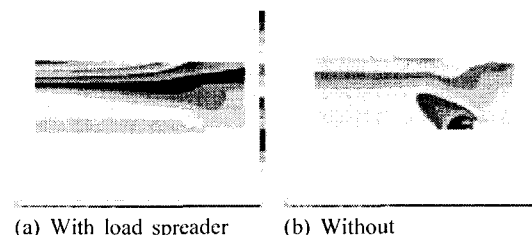


Fig.5 Principal stress distribution

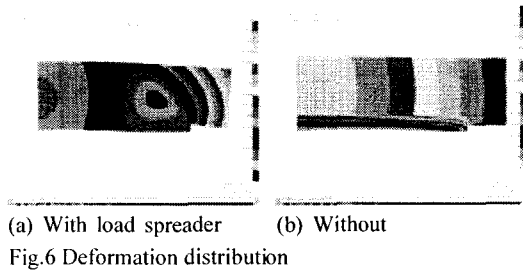


Fig.7 은 Load Spreader 또는 Hot Plate 와 웨이퍼 사이의 접촉력 분포를 보여준다. 그래프의 x 축은 Load Spreader 의 중심으로부터의 거리이다.

먼저 Load Spreader 가 없는 경우인 삼각형 데이터(▲)를 살펴보면, Hot Plate 의 중앙부가 웨이퍼와 접촉되지 않고 있다. 사각형 데이터(■)는 Load Spreader 를 부착한 경우로서 웨이퍼의 중앙부에서도 접촉이 잘 이루어짐을 볼 수 있다. 따라서 Load Spreader 는 균일한 접촉력을 발생시키는 효과가 있음을 알 수 있다. 하지만 웨이퍼의 중앙부보다는 가장자리에서 더 큰 접촉력이 작용하고 있어 전체적으로 균등한 접촉이 이루어지지 않을 수도 있다.

다음으로 Load Spreader 소재의 탄성계수를 50 kg/mm<sup>2</sup> 에서 1 kg/mm<sup>2</sup> 로 변화시켜 해석해 본 결과, 원형 데이터(●)와 같이 웨이퍼의 중앙에서 가장자리까지 모두 균일하게 접촉력이 발생하였다. 따라서 연성 소재의 Load Spreader 를 사용하는 경우 본딩이 더욱 견고해질 것으로 기대된다.

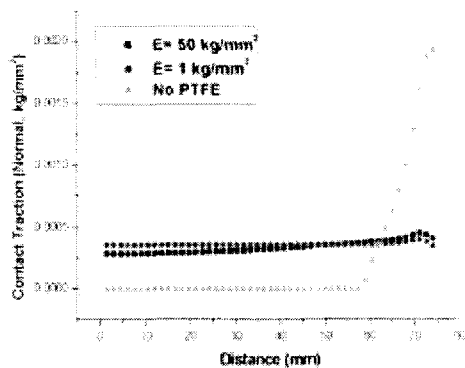


Fig.7 Contact traction distribution

### 3.2 본딩 모듈의 열전달 해석

상용프로그램인 COSMOS/Design star 를 이용하여 시간의 변화에 따라 열전달 과정을 계산하였다. 상하의 Hot Plate 온도는 각각 150 °C이며, 챔버내 체적량은 약 4.1 리터 정도로 하였으며 챔버 내부는 단일 조건으로 설정하였다. 열전달 해석 조건은 다음과 같다.

- ? 초기온도 : 25 °C (298 ?K)
- ? 열원 : 상하 Hot Plate, 150 °C (423 ?K)
- ? 시간 : t ~ 200 sec 동안 열전달 계산(?t = 5 sec)
- ? 챔버벽으로부터의 열전달은 없는 것으로 가정
- ? Mesh : air 부분의 mesh size 를 세밀하게 설정함.

Fig.8 은 열전달 해석을 위한 Mesh 설정을 보여주고 있으며, Fig.9 는 시간 변화에 따른 챔버 내부의 온도 변화의 해석 결과이다.

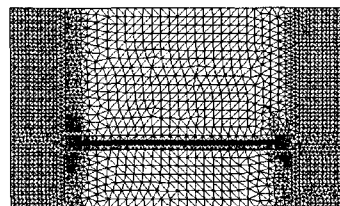


Fig.8 Mesh for bonding module analysis

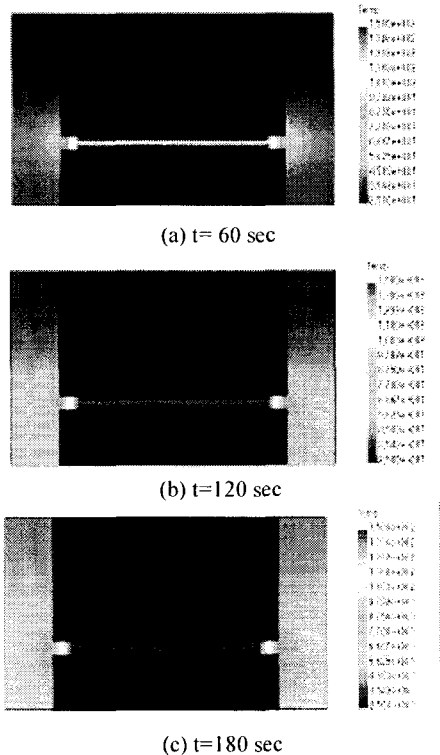


Fig.9 Results of heat transfer analysis

Fig.10 은 Double Hot Plate 를 사용하는 경우와 Single Hot Plate 를 사용하는 경우를 비교한 해석 결과이다. 약 200 초 경과 후 초기보다 최대 115 °C까지 상승하지만 이후에는 거의 변화가 없으며, 시간이 경과할수록 내부 지점의 온도가 최대 10 °C까지

상대적으로 높아지지만 위치와는 거의 무관함을 보여준다.

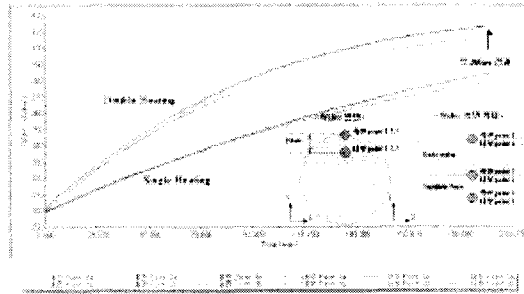


Fig.10 Comparison of double and single heating

#### 4. 결론

본딩 자동화 시스템의 핵심모듈로 고안된 본딩 모듈은 정렬부, 가열부, 진공형성부, 가압부, 제어부로 구성된다. 상기 주요 구성부 중 정렬부는 본딩 시 Device 웨이퍼와 Carrier 웨이퍼의 중심을 정렬 정도  $\pm 100 \mu\text{m}$  이내에서 일치시킬 수 있도록 고안되었으며, GaAs 웨이퍼의 Warpage 특성을 고려하여 웨이퍼 전면을 균일하게 가열시키도록 상하구조 (Double Heating)의 가열부를 구상하였다. 또한 Device 와 Carrier 웨이퍼 사이에 기포(Void)가 생기지 않도록 진공도 5 mbar를 유지시키는 진공형성부와, 가압력 60 N 이상 최대 600 N의 하중을 균일하게 전달시키기 위해 PTFE 재질의 Load Spreader를 채용한 가압부를 구상하였다.

한편 본딩 공정의 요구사항의 최적화를 위한 해석으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 하중 60 N 일 때 Load Spreader의 정적강도는 충분하고 변형도 적었으며, PTFE 탄성계수가 작을수록 접촉압력이 균일한 분포를 보임을 확인할 수 있었다. 2) 본 연구에서 채택한 Double Heating 방식이 기존의 Single Heating 방식보다 단시간 내에 균일한 온도특성 (약 200 초 경과 후 115 °C까지 상승/유지)을 발휘함을 검증하였다.

#### 참고문헌

1. 송준엽, 지원호 외, “반도체 공정?장비의 웹기반 정보체계 구축 및 고도화 기술” 연차보고서, 한국기계연구원/과학기술부, 2002. 11.
2. 엄운용, 송준엽, 지원호 외, “화합물 반도체의 가역웨이퍼 접합기술에서의 열응력 최소화 방법.” 특허출원 제 10-2002-0047297 호, 2002. 8. 10.

3. Dragoi, V., Thallner, E. et al, “Si/GaAs heterostructure fabricated by direct wafer bonding.” MRS 2001 Spring meeting, 2001. 4
4. Dragoi, V., Glinsner, T. et al, “Temporary and permanent wafer bonding for reliable backside processing of compound semiconductor wafers,” 28<sup>th</sup> Int. symposium on compound semiconductors (ISCS2001), 2001. 10.
5. Glinsner, T., Luxbacher, T. et al, “Reversible and permanent wafer bonding for GaAs processing,” 2001 GaAs MANTECH Conference, 2001. 5.