

# Wire Bonding Head Horn 설계 및 유한요소해석 Finite Element Analysis of an Ultrasonic Horn for Wire Bonding

김원종<sup>1</sup>, 황은하<sup>2</sup>  
Won-Jong Kim<sup>1</sup>, Eun-Ha Hwang<sup>2</sup>

## <Abstract>

Ultrasonic meching technology has been developed over recent years for wire bonding. In this study, ultrasonic welding horn is analysed and designed with FEM, then manufactured based on it. The wire bonding mechine has been designed by conical horn model with very easy to come by and is readily accessible. The analysis is carried out by SoldEdge & Ansys software.

**Keywords :** Wire Bonding, Ultrasonic Horn, Finite Elements Analysis

## 1. 서 론

반도체 부품의 접합공정의 하나인 초음파 접합을 이용한 Wire Bonding은 최초 수동 장비에서 시작되어 고속, 고정도, 고안정성, 고성능을 가진 Wire Bonding Machine으로 개발이 이루어지고 있다.

초기 수동 장비는 반도체의 Chip 설계 기술 및 제조 기술이 뛰어나지 못하여 단순히 Chip의 Pad Lead Frame의 Lead 사이를 연결만 한다는 수준의 장비로 사람의 눈과 손에 의존하여 Bonding하는 장비였다.

그러나 시간이 가며 Chip의 형상이 복잡해지고, 집적화와 대형화에 따라 Wire Bonding 기술도 발전하여 왔다.

본 개발에서는 이러한 Wire bonding 장비의

핵심 부품인 초음파 Horn Head를 개발하고자 한다.

## 2. 관 련 이 론

### 2.1 Wire Bonding 공정

Wire Bonding 공정은 반도체 생산 공정중의 일부로서 Die Bonding 공정 이후 필요한 공정이다.

### 2.2 Wire Bonding의 정의

반도체 제조 공정중 Die Bonding이 완료되면 Lead Frame이라는 Substrate에 Die가 접촉된 상태가 되는데 이후 Die가 가지고 있는 기능을 외부로 연결 사용하기 위하여 Die의 전극 Pad라는 부분과 외부단자 부분인 Lead 사이를 연결해야 하는데 이를 연결하는 공정을 Wire

<sup>1</sup> 종신회원, 금오공과대학교 대학원 기계설계공학과 박사수료 工博, LG-Display, E-mail : [gcrow@hanmail.net](mailto:gcrow@hanmail.net)

<sup>2</sup> 종신회원, 교신저자, 금오공과대학교 기계설계공학과 교수 工博, 한국과학기술원

<sup>1</sup> Graduate Student, Department of Engineering Science & Mechanics, Graduate School, KIT

<sup>2</sup> Corresponding Author, Professor, Department of Mechanical Design Engineering, KIT, Ph.D., KAIST

Bonding 이라 한다.

Wire Bonding은 Die가 가지고 있는 여러 개의 Pad전극과 Lead 단자 사이를 정확하게 연결하기 위하여 영상인식 장치를 사용하여 Bonding 위치를 정확하게 결정할 수 있어야 하고 Bonding을 해야 할 위치가 되면 전기 Torch (고진압 발생장치)의 방전에 의하여 Gold Wire에 Ball을 생성하고 이것을 Capillary 라는 Tool을 이용하여 원하는 위치로(Bonding 위치) 이동시키고 열과 초음파, 그리고 압력을 가하여 Bonding을 행한다.

이때 Pad와 Lead 사이를 연결하는 Gold wire의 모양은 Package가 요구하는 다양한 형태로 Bonding 할 수 있어야 하며 Wire가 접착된 상태가 안정적으로 유지할 수 있는 접착정도를 가져야 한다. Fig2.1은 Die(Chip)위에 Wire Bonding된 예이다.

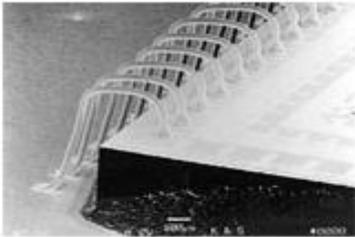


Fig.2.1 Wire bonding.

### 2.3 초음파 금속접합

Horn은 초음파 에너지를 이용하는 금속접합에 사용되어지고 있다. 초음파 금속접합은 초음파의 횡진동을 이용하여 물리적인 확산작용(Diffusion)에 의해 금속을 접합하게 된다.

금속접합면에 산화피막을 제거하여 높은 기계적 강도를 얻을 수 있는 초음파 금속접합은 국부적으로 열과 압력이 가해지므로 열에 의한 변형이 없어 금속재료의 전기적인 연결이 가능하다.

초음파 금속접합 장비는 발전기(Power Supply), 진동자(Converter), 부스터(Booster) 및 혼(Horn)으로 구성된다. 발전기를 통해 전기적 에너지는 고주파 에너지로 변환되어 진동자에 공급되면 진동자를 통해 기계적 진동에너지

로 다시 변환된다. 이렇게 변환된 기계적 진동 에너지는 부스터로 그 진폭을 증감시켜 혼을 통해 직접 금속표면에 전달되어 결합이 이루어진다. Fig2.2은 Ultrasonic metal welding mechanism이다.

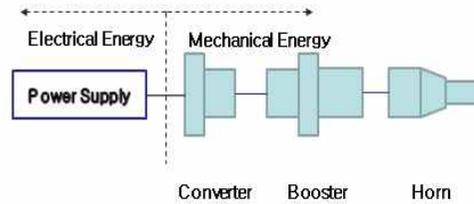


Fig.2.2. Ultrasonic metal welding mechanism.

## 3. Wire Bonding Machine 설계

Wire Bonding Machine Head 메커니즘은 초음파 Actuator와 Transducer를 장착하여  $\pm 6^\circ$  범위를 상하 운동하는 Arm과 Frame 및 Arm 구동용 Servo 모터 그리고 모터의 위치, 속도 검출을 위한 Encoder로 설계 하였다.

### 3.1 Wire Bonding Machine Head Motor

모터의 구동은 Servo Amp에 의하여 이루어지며 Servo Amp의 조정영역을 만족하여야 하는 특성을 내도록 설계 제작 되어야 한다.

따라서 모터의 설계변수에 대한 면밀한 분석이 요구 되어져야 한다.

이에 Wire Bonding Machine Head에 사용되는 모터의 요구사양은 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Motor specification

항목	사양
Control Current	Max 25 A
Control Voltage	Max $\pm 60$ VDC
Bonding Force	25 ~ 300 gf
Repeatable accuracy	$\pm 2 \mu\text{m}$
Stroke	12 mm ( $\pm 6^\circ$ )
Bonding cycle	0.1 sec/cycle

Fig.3.1은 Wire Bonding Head Horn과 ServoMotor의 3D Modeling이다.

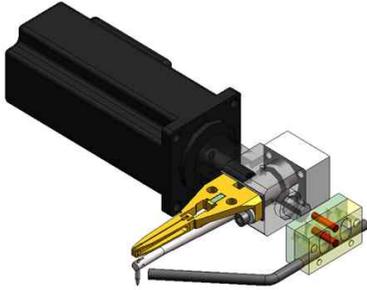


Fig.3.1. Wire bonding head motor.

### 3.2 Wire Bonding Machine의 Frame

Frame부는 상하운동을 위한 Motor, 회전 Spool, 초음파 Transducer, CCD Camera 및 Lens등이 부착되어 X-Y Table위에 고정되어 구동 Table과 함께 운동하므로 최대한 경량화 되어야 하고, Transducer의 운동속도가 0.1 Sec/cycle의 고속이므로 베어링 조립부분의 정밀도가 중요시 된다.

또한 타부분과의 간섭여부, Bonding시 Transducer와 Pad부 또는 Lead Fram부와의 높이등이 고려되어야 한다.

따라서 Frame부의 재질은 Al6061로 하였고 강성을 약화시키지 않는 범위에서 불필요한 부분을 제거하여 최대한 경량화 하였다.

### 3.3 Wire Bonding Machine의 Head

Machine의 Head구조가 회전형 모터를 채용하였기에 축에 수직인 방향으로 큰 하중이 작용하게 된다.

일반적으로 축방향 하중을 지지하고 회전을 원활하게 하기 위해서는 트리스트 베어링을 사용하여야 하지만 Encoder의 조립을 위하여 트리스트 베어링을 사용할수 없는 구조이므로 본 Wire Bonding Machine에서는 고정축은 Angular Ball Bearing (7001, NSK, P4급)을 지지축은 Ball Bearing (6001ZZ, NSK, P4급)을 사용하여 축방향 하중을 지지하도록 하였다.

Table3.2는 Frame과 Bearing, Servo Motor가 적용된 Wire Bonding Machine Head이다.

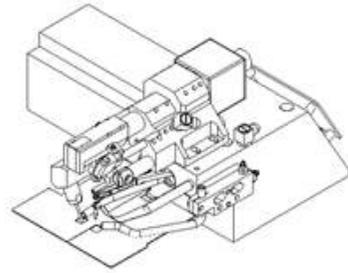


Fig.3.2. Wire bonding head.

Fig. 3.3은 Loader, Unloader, Head, Feeder Unit이 적용된 Wire Bonding Machine 이다.

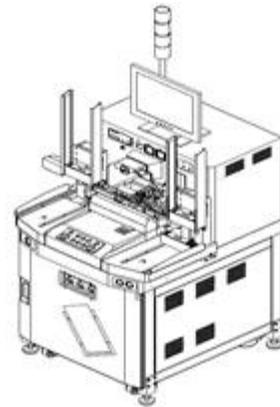


Fig.3.3. Wire bonding machine.

### 3.4 Wire Bonding 초음파 Horn 설계

초음파 Head Horn의 공진주파수는 초음파 발진앰프의 가진 주파수가 일치해야하며, 공진 상태에서 초음파 진동에너지가 가장 효율적으로 혼의 출력단에 전달된다.

Horn의 입력면과 출력면사이의 거리가 음파의 1/2 파장에서 진폭이 최대가 되며, 혼의 길이도 음파의 반파장 길이가 된다.

초음파 Horn은 1/2 파장의 길이에서 공진이 되므로 대부분 Horn의 길이는 다음과 같은 1차원 파동방정식으로 결정하게 된다.

$$L = \frac{1}{2} \frac{c}{f}$$

여기서 c는 재질내의 파동의 전파속도(음속도), f는 주파수이며 c는 밀도(Density) $\rho$ 와 탄성

계수(Elastic modulus)E로 아래와 같이 결정된다.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

공구의 단면적이 크지 않고 입력단과 출력단의 진폭비를 증폭할 필요가 없는 경우에는 원추형(Conical type)과 지수형(Exponential Type) 혼을 사용한다.

본 연구에서는 비교적 제작이 쉬운 원추형 Horn을 설계 하였다.

#### 4. Wire Bonding Head Horn 해석

1차원 파동방정식에 의해 결정된 치수로 FEM 모델링후 Horn에 대한 고유진동수와 진동 모드 형상을 유한요소해석법을 통하여 예측하고 실제 초음파 Horn 형상 설계에 적용 하였다.

Fig.4.1은 Wire Bonding Head Horn의 Modeling이다.



Fig. 4.1. Wire bonding head horn.

##### 4.1 Head Horn 고유 진동수 해석

Horn의 끝단에 공구를 부착하지 않은 원추형 혼은 종진동의 진동모드에 따라 공구에 전달하여 초음파 진동을 하게 된다.

원추형 혼의 1차원 파동 방정식에 의하여 결정된 혼의 치수로 모델링하여 실제 혼의 종진동 모드와 고유 진동수를 FEM해석을 통하여 검증 후 공진설계에 적용하였다.

FEM에 사용된 모델은 혼의 출력부에 공구를

장착하지 않은 3차원 원추형 혼의 고유 진동수와 Ansys의 모드해석결과를 나타내었다.

Fig.4.2 Head Horn의 frequency결과이다.

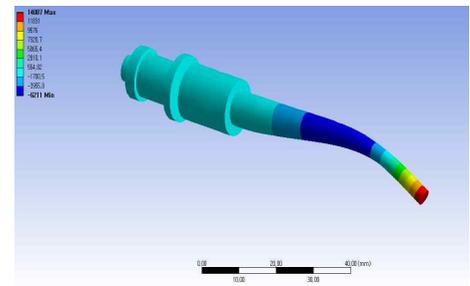
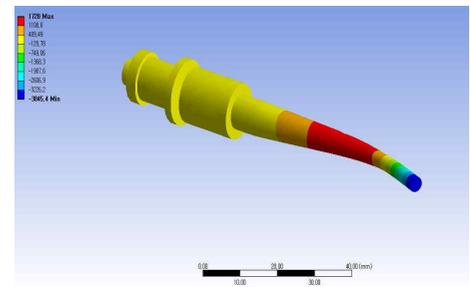
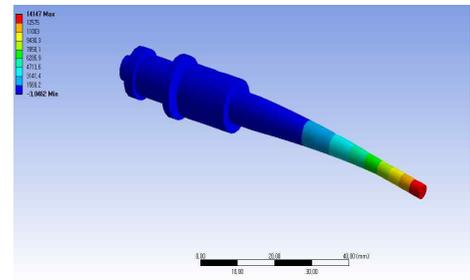
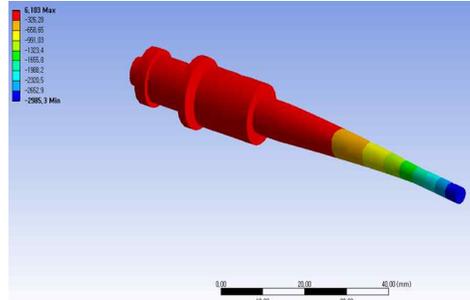


Fig 4.2. Frequency analysis for horn.

**Table4.1 frequency of Horn**

	Mode	Frequency [Hz]
1st Frequency Mode	1	22419
2nd Frequency Mode	2	22467
3rd Frequency Mode	3	69776
4th Frequency Mode	4	69982

**5. 결 론**

본 연구에서는 Wire Bonding Machine에 이용되는 Horn의 설계를 위해 1차원 파동방정식을 이용하여 공구흔의 형상을 계산하고 공진 주파수 70kHz의 원추형흔을 제작하였다.

또한 원추형흔에 작용하는 진동모드 특성을 FEM 해석을 통하여 예측하였다.

초음파흔에 사용되는 모드 형상은 1/2파장의 중진동 모드이며, 입력부와 출력부에서 최대 진폭이 발생하는 모드로 FEM 모델링 및 해석을 통하여 진동모드 형상을 해석하고 예측하였다.

Wire Bonding Machine의 Head에 사용하는 Motor, CCD, Bearing은 기성품을 최대한 활용하여 설계하였다.

**참 고 문 헌**

- 1) 신종계, “LOGAN의 유한요소법 칩걸음” pp.471-526, (1986)
- 2) ANSYS와 유한요소법 [3판], (2009)
- 3) 양보석, “기계설비의 진동 상태 감시 및 진단”, pp. 3-63, (2006)
- 4) 이봉구, “유한요소법을 이용한 초음파 진동 공구흔 설계에 관한 연구”, 한국공작기계학회 논문집 No.6 (2008)
- 5) 김선락, “초음파 용접용 실린더 흔의 설계”, (2009)
- 6) 서정석, “초음파 진동주파수 분석시스템을 이용한 최적 흔 설계”, (2009)

---

(접수:2012.10.09, 수정:2012.11.12, 게재 확정:2012.11.22)