

# Wire bonding

## 1.Wirebonding 이란?

집적회로를 패키지의 리드에 매우 가는 고순도 금(Au),알루미늄(Al),구리(Cu)선으로 연결하는 공정을 wirebonding 이라한다.

반도체 칩은 제대로 동작하기 위해서는 외부와 전기적으로 연결 되어야 한다.

이것은 미세한 금속선으로 반도체 칩의 끝부분과 다른 전기적 연결단자와 연결하게 된다.반도체 칩의 표면에 선을 붙이는 것은 어려운 작업이다.

칩 연결에 쓰이는 wire 는 시간이 지나도 재 성능을 내도록 전기적 연결이 좋아야 한다.

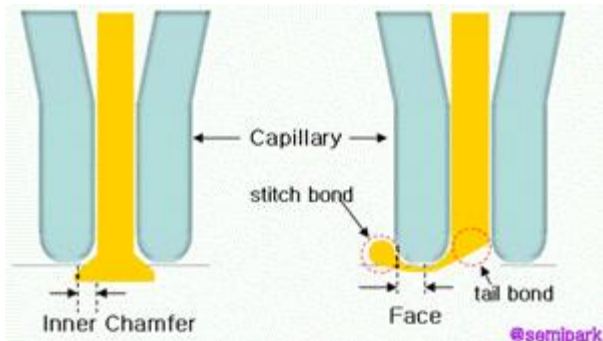


초창기 상업적인 wirebonding 방법은 칩에 직접 납땜을 하는 방법이었다. 이러한 납 땜법은 생산성이 좋지 않았다.

반도체 물질과 접합하는 다이오드 부분이 약해져서 성능을 떨어뜨리는 결과를 가져 오기도 했다. 왼쪽의 그림은 bonding 용 금 wire 를 보여주고 있다.

기본적으로 wirebonding 의 형태는 wedge bond 와 ball bond 로 나눌 수 있다.

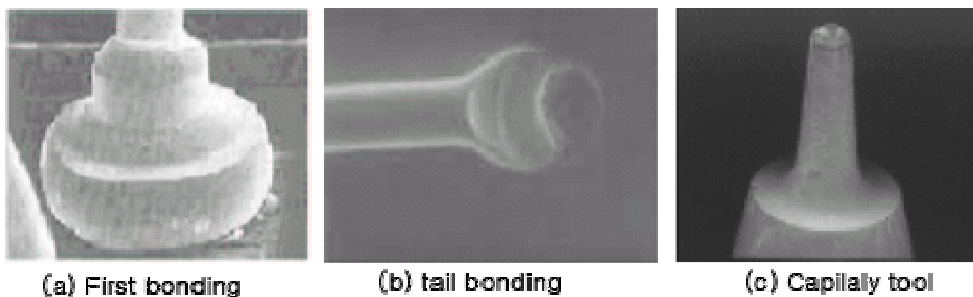
### - Ball-bonding



Ball-bonding 은 금(Au) wire 의 끝단에 작은 전기 스파크를 가해 녹여서 금속 볼 모양을 만든다. 이때 wire 로 찬 가는 모세관이 칩의 표면에 찍게 되면 wire 가 붙게 되고 모세관을 들어 올려지게 된다. 모세관이 들어 올려 지면 bonding pad 면 가장 자리가 잘려지게 되며 wire 가 붙게 된다.

Fig.1 에 Ball-bonding 구조를 보이고 있다.

Fig.1 Ball Bonding tip



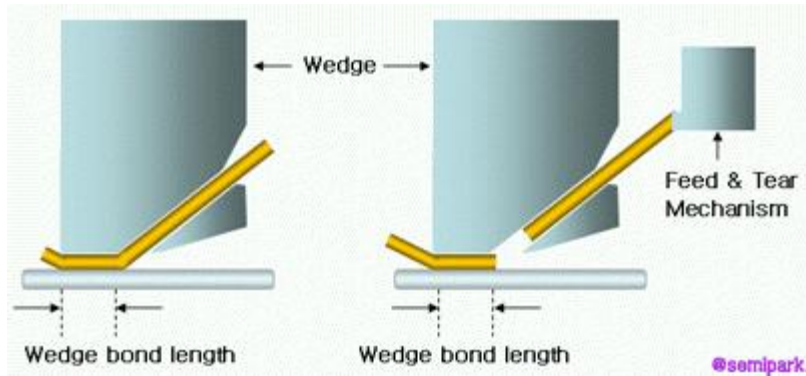
(a) First bonding

(b) tail bonding

(c) Capillary tool

Fig.2 Bonding tools

## - Wedge bonding



Wedge bonding 은 반도체 pad 에 수평적으로 찍히게 되고 wedge 를 들어 올리면 wire 를 잡아 당겨 접착부분을 끊어주게 된다.그 다음 다시 wire 가 공급되어 찍히고 자르고하는 과정이 반복된다. 이 방법의 장점은 여러 지점의 접착점을 wire 를 일일이 끊지 않고 연속적으로 붙일 수 있다는 것이다.

Fig.3 Wedge Bonding

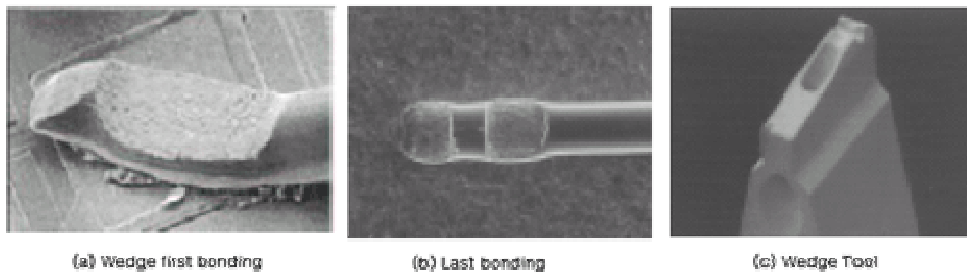


Fig.4 Wedge Tool

오늘날 90%이상 칩들은 Ball-bonding 기법이 사용 되고 10%는 Wedge-bonding 이 사용 되지만 디바이스가 점점 소형화 되고 연결 밀도가 커짐에 따라 Wedge-bonding 기법도 증가하고 있다.

40x50 $\mu\text{m}$  의 크기를 갖는 FET 트랜지스터나, 임피던스를 50  $\Omega$  정도 까지 되게 요구되는 MMIC 들에 대해서는 Ball-bonding 보다 Wedge-bonding 이 쓰여야만 할것이다.

때로는 신호연결을 강화하기 위해서 wire 대신 gold 리본이 사용 되기도 한다. [그림 5]에서 보는 바와 같이 MMIC 는 Wedge-bonding 을 일반적으로 사용하지만 DC 전압을 인가할때 Ball-bonding 기술이 사용된다.



(a) A TRW MMIC for 0.5W at 24GHz

where ribbon bonding is used for the

signal and ball bonding is used for the (b) ball-bonding

(c) testing welding & reflowing

DC connections (magnified 40X , foto

by CT1DMK)

Fig.5 Bonding examples

## 2.접합 방법

공정중 용접될 때는 wire 와 패드 사이에 수천 원자크기 정도의 두께를 갖는 중간 영역이 있어야 한다. 이 얇은 접촉면에 온도를 높일 수 있는 에너지는 온도,압력,초음파진동을 이용하거나 여러 가지를 요소를 혼합하여 온도를 올린다.

가장 많이 쓰이는 방법은 아래와 같다.

### - Thermocompression

1955~1958 년대에 Bell 연구소의 O. L. Anderson, H.Christensen,P. Andreatch 3 명의 과학자에 의해 개발되었다. 연구팀이 이와 같은 기술을 발표하자 수많은 반도체 제조회사들이 thermocompression bonder 를 구축하였다.

최초의 상업용 thermocompression bonder 는 1959 년말 Kulicke ,Soffa 에 의해 제공 되었다. 제품의 수요가 너무 많아서 1 년 매출이 \$1 백만을 기록했다.

K&S 는 1958 년 Western Electric 반도체 공장에서 운용중인 thermocompression bonder 생산 설비를 관찰하고 나서 약간의 기계적 수정을 하여 상업화 한것이다. Thermocompression-bonding 은 1960 년대에 초음파 기술이 나오기전까지 널리 쓰였다.

이 기술은 칩의 표면을 예열(250~500 ℃)시켜 5000~10000 lb/sq 압력으로 wire 를 ball 형태로 만들어 붙이는 방법이다. Wire 재질은 금이고 반도체 패드는 금이나 알루미늄이 사용 되었다.

### - Ultrasonic

Ultrasonic-bonding 은 디지털, 아날로그,반도체에는 매우 적합하였으나 극 초단파를 사용할 때는 적합하지 못했다. 이 방법은 칩에 상대적으로 적은 힘으로 wire 를 찍고 나서 상온에서 초음파를 쏘아 접착 시킨다.

Wire 재질은 금이나 알루미늄이 쓰였고 반도체 패드면 역시 금이나 알루미늄이 쓰였다. 알루미늄을 사용하여 상온에서 공정을 할 수 있음에도 불구하고 thermo-sonic 에 비하여 접합 강도가 좋지 않아 반도체 산업계에서는 많이 쓰이지 않았다.

#### - Thermosonic

Thermosonic-bonding 은 가장 많이 쓰는 방법이다. 이 방법은 앞서 설명한 Thermocompression 과 Ultrasonic 방법을 혼합하여 사용한다. 상온 100~200 °C 에서 수행된다.

패드 접촉면에 압력을 가하고 초음파를 쏘는 것이다. Wire 재질은 금,알루미늄,구리가 사용 되었고 반도체 패드 면은 금이나 알루미늄이 사용 되었다. 이 방법은 극 초단파를 사용하는 디바이스에 가장 많이 쓰였다.

### 3.고려사항

Wirebonding 기술은 매우 작은 접착 공간(fine-fitch bonding)에서의 작업과 같은 진보된 패키징 기술에 있어서

접착하는 선의 적절한 선택은 매우 중요 하게 된다.

1. Wire 를 선택할때 먼저 고려해야 할 사항은 사용될 패키지의 종류이다.

예를 들어 Gold wire 는 hermetic 패키지에서는 고온을 견디지 못하므로 사용할 수 없다. 알루미늄 wire 는 hermetic 조립에서는 표준으로 쓰인다. 플라스틱 패키지 에서는 gold wire 가 더 빠르고, 사용하기 쉽고, 가격대비 성능이 우수하므로 이상적인 선택이 될수 있다.

2. 다음은 고려해야 할 사항은 wire 의 직경이다.

칩의 wire 접착점이 작을수록 더욱 가느다란 wire 가 필요하지만, 높은 전류를 흘린다든지 발열이 중요한 회로의 경우 두꺼운 wire 가 더 효율적이다.

3.또 다른 고려사항으로 인장 강도가 있다.

인장 강도가 크면 클수록 좋은 것이다.

4. 신장성(elongation property)도 중요하다.

Wirebonding 시 신장성이 크면 모양을 만드는데 어렵기 때문이다. 그렇기 때문에 wirebonding 시 신장성이 크지 않은것을 골라야 한다.

5. 마지막으로 고려해야 할 사항은 열에 영향을 받는 영역의 범위이다. Wire 를 붙이기에 앞서 wire 의 끝부분이 녹으면서 볼 모양이 되었을 때 고온으로 인해 끝부분의 볼에 가까운 부분은 나뭇결 구조를 확대시킨다. Wire 의 그 부분은 쓸 수 없으므로 버려야 한다. 일반적으로 생산공장에서는 wire 가 low-loop 용인지 high-loop 용인지 표시하여 출시한다.

		17μm Au Wire	25μm Au Wire	50μm Au Ribbon	25μm Al Wire
Thermo-compression	Stage temp.	220° C	235° C	250° C	--
	Force	15-25 g	25-35 g	30-50 g	--
	Bond time	<0.3 s	<0.5 s	<1 s	--
Thermo-sonic	Stage temp.	125° C	150° C	150° C	≈20° C
	Force	5-10 g	10-18 g	20-30 g	10-15 g
	US Power	80-120 mW	150-250 mW	300-400 mW	100-200 mW
	Pulse duration	100-150 ms	200-500 ms	up to 1 s	200-500 ms

[표 1] Typical bonding parameters for wire bonding, indicative figures only as actual values to be used may depend also on other aspects not mentioned.

#### 4.실전 TIP

실전 정보를 담지 않는 이론이나 문서들은 초보자들에게는 기대 이하의 것이 될 수 있다.

Wirebonding 은 첫 초보자들에게는 매우 힘든 공정이 될 수 있다. 만족할 만한 공정 결과는 많은 조건들이 충족되어야 하고 많은 시행착오를 거쳐 얻어진 parameter 들이 필요하다. 매년 Wirebonding 시에 쓰인 parameter 들을 일일이 기록하면 좋다.

공정시 사용한 사용 톨, 압력,파워,실행횟수,실행온도 등 을 적어 두면 공정이 잘못되었을 때 유용하게 쓰일 수 있다.

공정시 서로다른 종류의 bond wire 의 직경과 재질에 대해서 특히 압력과 파워 부분에서 bonding parameter 는 많은 부분이 다르다.

예를 들어 17μm 금 wire 는 일반적인 25μm 를 사용할 때 보다 매우 적은 압력을 필요로 한다.

FET 나 Bipolar 트랜지스터 같은 디바이스들은 bonding 패드면이 매우 작아 17μm wire 가 적합하지만 MMIC 의 경우 입출력단에 패드 면적이 50μm 짜리 리본을 쓸 수 있을 정도로 면적이 충분하다. 50μm 리본타입을 쓰지 못할 경우 25μm 짜리 두개의 wire 를 쓰는 것은 좋은 해결책이 될것이다. 25μm wire 에 전압 인가하는것은 큰 문제가 되지 않지만 MMIC 같은 경우 마지막 공정에서 800mA 이상이 가해지면 소자 자체가 망가지므로 VDD 연결 공정에 더 얇은 wire 를 쓰거나 두개의 wire 를 병렬로 연결하는것이 바람직하다.

[표 2] Properties of Various Wire Types

Property	Cu	Au	Al	Ag
Electric Conductivity (%IACS)	103.1	73.4	64.5	108.4
Thermal Conductivity (W/m K)	398.0	317.9	243.0	428.0
Thermal Expansion Coeff (mm/m K)	16.5	14.2	23.6	19.0
Tensile Elastic Modulus (GPa)	115	78	62	71

[표 3] Properties of Copper Wires from Semiconductor Packaging Materials

Diameter (in.)	Hard Wire		Annealed Wire	
	Elongation (%)	Tensile Strength (g)	Elongation (%)	Tensile Strength (g)
0.0007	0.5 – 4	10 – 20	6 – 20	5 – 12
0.001	0.5 – 4	20 – 30	10 – 25	10 – 20
0.00125	0.5 – 4	35 – 45	10 – 25	15 – 25
0.0015	0.5 – 4	45 – 75	10 – 25	25 – 35
0.002	0.5 – 4	80 – 120	10 – 25	45 – 55
0.003	0.5 – 4	200 – 270	10 – 30	95 – 115
0.004	0.5 – 4	350 – 450	10 – 30	175 – 225
0.005	0.5 – 4	600 – 700	10 – 30	260 – 310
0.010	0.5 – 4	2200 – 2600	10 – 30	1040 – 1240

[표 4.5.6] [Bonding Wires from Various Manufacturers](#)