

반도체 패키징용 Gold Bonding Wire의 변형특성 및 해석

김경섭 · 홍순형*

Deformation Properties of Gold Bonding Wire for VLSI Packaging Applications

K. Kim and S. H. Hong

Abstract

Mechanical properties of gold bonding wire for VLSI packaging have been studied. The diameters of gold wires are about 20-30 micrometer and fracture loads are 8-20 gram force. The elastic modulus, yield strength, fracture strength and elongation properties have been evaluated by micro-tensile test method. This work discusses for an appropriate selection of micro-force testing system and grip design in micro testing. The best method to determine gauge length of wire and to measure tensile properties has been proposed. The mechanical properties such as strength and elastic modulus of current gold bonding wire are higher than pure those of gold wire.

Key Words : Gold Bonding Wire, Elastic Modulus, Yield Strength, VLSI Packaging.

1. 서 론

반도체 패키징에 사용되는 gold bonding wire는 실리 콘 반도체 칩과 구리로 된 리드프레임을 연결시켜 주는 것으로 30~20 μ m 정도의 직경을 가지고 있다. 현재는 24 μ m 직경의 1.0 mil wire가 주로 많이 사용되고 있으며, 앞으로는 0.8mil 20 μ m wire가 대부분의 수요를 차지할 것이다. Gold bonding wire에서 중요한 물성은 열전도도, 전기전도도, 항복강도, 파괴강도, 연신율, 불 퍼짐 특성 등이다. 근래에는 Cu를 이용한 VLSI 용 wire가 개발되고 있지만 본딩의 고속화 및 부식 문제에 대응이 미흡하여 아직은 Au를 이용한 wire가 주류를 이루고 있다.

Gold bonding wire의 개발에 있어서 본딩의 고속화 및 VLSI로 인한 패드 피치의 감소는 와이어에 커다란

영향을 주었다. 고속으로 본딩해도 단선되지 않는 기계적 강도와, 패드 피치 감소로 인한 불 퍼짐의 감소 필요 및 wire의 굵기 감소, 24 μ m이하의 wire의 사용으로 인한 전기 전도도 및 열 전도도가 높은 wire의 필요성, 봉지재료로 인한 sweep 저항성을 개선하기 위한 높은 탄성계수를 가진 wire의 필요 등 여러 가지 새로운 물성이 요구되고 있다. 이런 새로운 물성의 요구로 인해서 과거에는 4N 이상의 gold를 재료로 한 wire가 반도체 패키징에 사용되었지만, 현재는 2N 정도로 gold를 합금화한 wire가 개발되어 실제 사용되고 있다.⁽¹⁾

Gold bonding wire에서 항복강도, 파괴인성, 연신율, 탄성계수 등을 정확하게 측정하는 것은 wire의 개발 및 제품 사용시 현장에서 한계조건을 아는데 매우 중요한 것으로 wire의 기계적 물성의 정확한 측정기법을 연구주

* 한국과학기술원 재료공학과
Korea Advanced Institute of Science and Technology,
Dept. of Materials Science and Engineering

제로 삼게 되었다.

2. 미세 구조물의 시험방법

2.1 미세 시험법

미세한 구조물의 기계적 특성은 수 mm대의 재료의 특성과는 큰 차이가 있다. 기계적 특성의 차이는 입계의 수가 구조물의 크기가 작아짐에 따라 줄어들기 때문에, 입자와 입자사이에 간섭이 증가하여 기계적 성질의 특성이 바뀌게 되며, 미세한 구조물을 성형하기 위해서는 높은 응력을 가해야 하는데 이때 성형 후 구조물에는 벌크 재료와는 다르게 높은 잔류응력이 남아있게 되기 때문이다.

이러한 미세구조물의 실제 기계적 특성을 벌크 재료를 측정하는 기존의 방법으로 측정하는 것은 매우 힘들다. 현재 미세 성형구조물의 기계적 특성을 측정하는 방법으로는 나노 인덴테이션 테스트(Nano Indentation Test), 미세인장시험(Micro-tensile Test), Cantilever Beam Test, Bulge Test 등의 재료에 응력을 가해서 변형률을 측정하는 시험이 있다.⁽¹⁾ 이외에 MEMS 와 같이 제조후 높은 잔류응력이 남게되는 경우는 잔류응력을 측정할 수 있는 Bridge, Cantilever, Rotating, Spirals, T Structure 와 같은 구조를 만들어서 응력을 측정하는 시험도 있다. 이외에 X-ray Diffraction, Raman Spectroscopy, Neutron Diffraction 등을 이용하여 재료의 응력을 실시간으로 직접 관찰하는 시험도 있다. 이러한 미세 시험중 구동력을 가하는 기계적 특성 실험법을 Table 1 에 비교하였다.

Table 1 Comparison of micro mechanical test⁽²⁾

측정방법	측정값	장 단 점
Micro-tensile Test	Elastic modulus, Yield Strength, Tensile Strength, Elongation	장점 : 측정값의 해석이 쉽다. 단점 : 시편의 제작이 어렵다. 시험시 edge effects가 있다.
Indentation Test	Hardness, Elastic modulus, Strain rate sensitivity, Stress relaxation	장점 : In-situ로 측정이 가능하다. 시편을 제작하기 쉽다. 단점 : 측정값의 해석이 어렵다. 시편의 표면효과가 크게 나타난다.
Biaxial Bulge Test	Biaxial elastic and plastic properties	장점 : Edge effects가 없다. 단점 : 시편의 제작이 어렵다. 측정값의 해석이 추가로 필요하다.
Micro-bending Test	Elastic modulus, Yield Strength, Bending Strength	장점 : 측정값의 해석이 간단하다. 단점 : 시편 제작이 아주 어렵다.

2.2 인장시험용 장비

재료의 인장시험은 재료의 기계적 물성을 측정하는 가장 쉬운 방법 중의 하나이다. 인장시험에서는 하중-변형량 결과로부터 어려운 변환없이 재료의 기계적 물성인 인장강도(Ultimate Tensile Strength), 항복강도(Yield Strength), 인장률(Elongation)을 얻을 수 있다. 미세인장 시험은 벌크재료의 인장시험에 비해서 하중 값은 1/10 0~1/10,000 수준, 변형량 값은 1/10정도로 작은 값이 얻어진다. 즉 변형량 값은 기존의 인장시험에 비해서 약간 작은 정도지만, 하중 값은 기존의 시험에 비해서 매우 작은 값을 측정해야만 한다. 또한 재료에 변형을 가하는 구동에서도 기존의 하중 값보다 작은 양을 제어해야 하기 때문에 특수한 제어 기구를 사용하여야만 정확한 인장시험을 할 수 있다.

미세인장시험을 위한 장비는 여러 회사에서 개발중이거나 생산중에 있으며, 이 중에서 미국의 Instron사와 MTS사의 제품이 현재 가장 좋은 성능을 보여주고 있다. Table 2 에서는 이 장비 2개를 간략하게 비교하였다.⁽³⁾

Table 2 상용 미세인장시험 측정장비의 비교

	Instron 8848	MTS Tytron 250
Load (standard type)	0.01N-1kN	0.01N-250N
5N load cell	0.0001N*5N	0.0001N*5N
Position resolution	5nm	1 μm
Stroke	110mm	450mm
Speed	10mm/sec-5nm/s	16.7mm/min-0.27nec m/sec
Cyclic drive	0.001-5 Hz	0.001-50Hz
Position sensor	LVDT	LVDT
Drive type	Belt type servo motor	Direct drive servo motor
Drive signal	Velocity	Force
Data resolution	19bit	16bit

2.3 인장 시험용 그림

미세선을 인장시험하기 위해서는 특별한 모양의 그림이 필요하다. 본 실험에서는 INSTRON 사에서 상용으로 판매하는 5N pneumatic grip을 개조하여 사용하였다.

Gold bonding wire의 굵기는 가장 가는 선이 20 μm 까지였다. 그림의 선택에서 가장 중요한 것은 그림과 미세선이 닿는 면의 roughness가 1 μm 이하가 되어야 한다

는 것이다. 만약 미세선이 그립의 접촉면의 roughness에 빠지게 된다면 압력이 제대로 전달이 되지 않아서 마찰력이 생기지 않으므로 시험중 미끄러지는 일이 발생하였다. 미세선용 그립에서 선을 잡는 힘은 그립과 미세선 사이의 마찰력에만 의존한다. 마찰력은 닿는 면적에는 관계하지 않고, 압력에만 의존하는 힘이므로 미세선에 경우는 그립에 닿기만 하면 인장강도를 넘어서는 마찰력을 얻을 수 있다. 시험에 사용한 INSTRON 사의 상용 공압 그립은 25mm의 내경을 가진 것으로 그립의 접촉면에 인가되는 하중은 50N 정도이다. 금속과 금속의 마찰계수는 0.1-0.4 정도로 매우 크다. 미세선의 파단 하중은 100 mN - 1 N 정도로 매우 작기 때문에 50N의 압력을 가하는 그립에서는 마찰력 만으로도 5N 정도의 파단 하중을 가지는 재료를 시험할 수 있다. 그러므로 마찰면의 roughness를 통한 미끄러짐만 없다면 5N 정도의 파단하중까지 시험이 가능하다. 미세선의 인장시험에서 그립의 가장 중요한 조건은 접촉면에 인가되는 하중과 미세선의 압축강도를 넘지않도록 적당히 넓은 접촉면적이라고 할 수 있다.

3. Gold Bonding Wire의 인장시험

3.1 탄성계수 측정

Gold bonding wire의 탄성계수를 측정하기 위하여 인장시험 장비로 Instron 8848 micro-force testing machine을 선택하였고, 그립으로는 Instron 5N 공압 그립을 선택하였다. 그립과 wire가 닿는 마찰면에는 평탄화 처리를 하여 미세한 굽기의 선이 마찰면의 평탄하지 않은 면을 따라서 미끄러져 빠져나가지 않도록 하였다. 탄성계수의 측정에서 가장 중요한 것은 wire의 접촉면을 고려하여 gage length를 계산하는 것이다. 미세선의 경우 미세선 자체에 extensometer나 strain gage를 부착하는 것이 불가능 하다. 그러므로 실제 gage length를 측정하는 방법은 없다고 할 수 있다. 그립에서 미세선이 잡히게 될 때는 그립의 접촉면의 곡률에 의해서 접촉면이 넓어지기 때문에 정확한 접촉지점을 알 수 없다. 만약 정확한 접촉지점을 알 수 있다면 gage length를 이 접촉지점으로부터 환산할 수 있을 것이다. 이 접촉지점을 계산하기 위해서 자를 이용해서 측정한 결보기 접촉지점 사이의 거리를 35, 45, 55, 75, 105mm 로 하여서 각각의 gage length에서 탄성계수 측정시험을 행하였다. 만약 결보기 gage length가 실제 gage length와 같다면 탄성계수는 일정하게 나올 것이다. 이 실험을 통하여 측정한 결과 Fig. 1에서 105mm라고 같이 결보기 gage

length가 증가할수록 탄성계수가 감소하는 것으로 나타났다. 이 결보기 gage length에서 3mm를 뺀 후 탄성계수를 계산한 결과 탄성계수는 gage length에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이것으로 자를 이용해서 측정한 결보기 gage length는 그립에서 접촉 때문에 발생하는 gage length의 감소를 고려하지 않은 것을 알 수 있고, 현재 사용중인 그립은 각 그립당 1.5mm 정도의 접촉 길이를 가지는 것을 알 수 있었다.

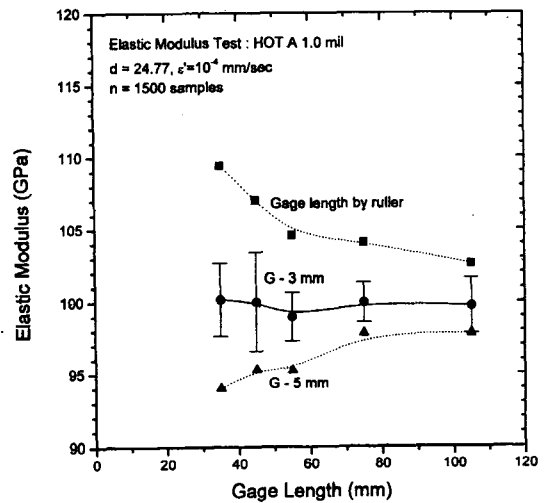


Fig. 1 Determination of gage length

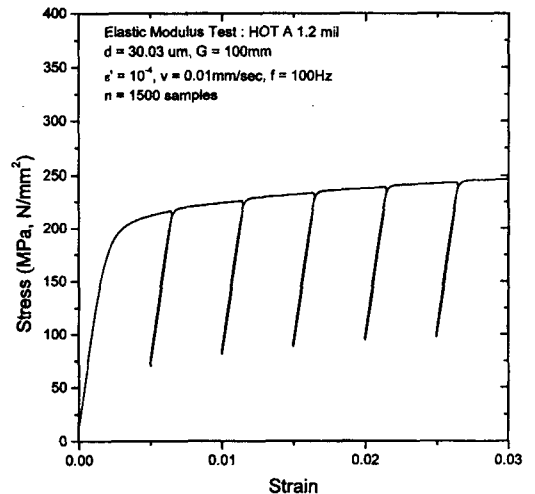


Fig. 2 Test curve for Young's modulus

이 실험을 통해서 계산된 gage length를 통하여 탄성계수 측정 실험을 실시하였다. 탄성계수의 측정은 인장시험에서 항복강도 이전에 상승곡선에서 1회 측정을 하는 방법과 항복강도 이후에 피로시험과 비슷한 방식으로 하중을 풀었다가 다시 주는 방식으로 실시하는 것 2가지 방식이 사용되었다. 미세선의 탄성계수 측정 시험에서는 항복점 이후 0.5 % strain 상승시마다 하중을 풀어서 0.15 % strain을 줄였다가 다시 하중을 주는 방식을 사용하였다. 응력곡선은 Fig. 2 와 같은 모양을 가지게 된다.

3.2 항복강도 및 인장강도 측정

항복강도 및 인장강도 측정 시험에서 탄성계수의 측정에서 사용된 것과 같은 gage length 측정법을 통하여 gage length를 결정하였다. 항복강도와 인장강도의 측정은 탄성계수의 측정법에 비하여 간단한 편에 속하는 것으로 이 시험법에서 가장 문제가 되는 것은 load cell의 영점 조정과 노이즈 문제이다. 항복강도의 경우 strain rate가 증가하면 항복강도도 증가하는 경향을 보인다. 하지만 10-20g 정도의 작은 파단강도를 가지는 재료에서 strain rate 차이에 의한 항복강도의 차이는 0.2g 이하로 매우 작다. 이 차이를 측정하기 위해서 장비에서 Fig. 3과 같이 strain을 바꾸면서 실험을 하는 방법을 사용하였고 이 측정결과를 통해서 각 strain마다 항복강도의 차이를 정확하게 구해낼 수 있다.

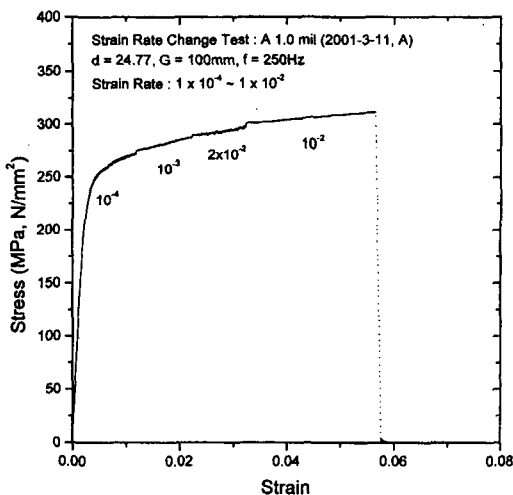


Fig. 3 Strain rate change test curve

3.3 Gold bonding wire의 특성

Gold bonding wire를 실험한 결과 반도체 패키징용으로 사용되는 gold bonding wire는 pure gold와 물성의 차이가 크게 나타나는 것을 확인하였다. 아래의 Table 3은 측정에 사용된 헤라우스 오리엔탈 하이텍의 A-type 1.0mil (24 μ m) 상용 gold bonding wire의 물성과 pure gold 물성의 비교로 반도체 패키징용으로 사용된 wire는 탄성계수, 항복강도, 인장강도가 크게 높아져 있고 연신율은 감소하였음을 알 수 있다. 반도체 패키징에 사용되는 용도에 따라서 gold wire의 열처리 조건을 달리하게 되는데 열처리 온도가 증가하거나 시간이 길어질수록 항복강도 및 인장강도는 떨어지고 연신율은 증가하는 경향을 보인다.

Table 3 Mechanical properties of gold wires

	Pure gold, wrought then annealed	Gold bonding wire (HOT A-type 1.0mil)
탄성계수	79.9 GPa	99.7 \pm 1.9 GPa
항복강도	115 MPa	251 \pm 2.8 MPa
인장강도	130 MPa	279 \pm 5.1 MPa
연신율	45 %	7.2 \pm 1.6 %

4. 결론

미세한 굵기의 gold bonding wire를 미소 인장시험장비를 통하여 인장시험을 하고 이 결과 탄성계수 및 항복강도, 인장강도, 연신율을 측정할 수 있었다. 탄성계수를 측정하기 위하여 gage length 계산 방법을 개발하여 사용하였으며 본 실험에서 유효성을 검증하였다.

참고 문헌

- (1) K. Busch, H. U. Künzi and B. Ilchner, 1988, Annealing and recrystallization kinetics of ultrathin gold wires: Modulus and resistivity measurements, Scripta Met., vol. 22, pp. 501~505.
- (2) F. R. Brotzen, 1994, "Mechanical testing of thin films", Int. Mat. Rev., vol. 39, pp. 24~45.
- (3) K. T. Tasi, 1999, "New developments in testing for microelectronics", Proc. of 13th conf. on mechanical behaviors of materials, KOREA, pp. 5~6.