

2 축 힘센서를 이용한 스크래치 테스트 개발

김종호* (한국표준과학연구원), 박연규 (한국표준과학연구원), 이호영 (한국표준과학연구원), 박강식 (아토이엔지㈜), 오희근 (아토이엔지㈜)

Development of a scratch tester using a two-component force sensor

J.H. Kim(KRISS), Y.K. Park(KRISS), H.Y. Lee(KRISS), K.S. Park(Atto ENG CO.), H.G. Oh(Atto ENG CO.)

ABSTRACT

A scratch tester was developed to evaluate the adhesive strength at interface between thin film and substrate(silicon wafer). Under force control, the scratch tester can measure the normal and the horizontal forces simultaneously as the probe tip of the equipment approaches to the interface between thin film and substrate of wafer. The capacity of each component of force sensor is 0.1 N ~ 100 N. In addition, the tester can detect the signal of elastic wave from AE sensor(frequency range of 900 kHz) attached to the probe tip and evaluate the bonding strength of interface. Using the developed scratch tester, the feasibility test was performed to evaluate the adhesive strength of semiconductor wafer.

Key Words : Scratch tester(스크래치 장치), Adhesive strength(접착강도), Normal force(수직력), Horizontal force(수평력), Probe tip(탐침), Elastic wave(탄성파)

1. 서론

산업이 급속하게 발달함으로써 의료, 산업계측, 반도체, 정밀전자, 정보통신, 우주항공 등의 분야에서 전자, 기계적 기능을 복합적으로 수행하는 고집적, 미세화 된 소형가공 부품에 대한 요구가 증대되고 있다. 기술적 측면에서 이런 산업의 요구를 충족시키기 위해서는 박막(thin film)을 다층으로 적층하는 고집적화기술 개발과 적층된 박막에 대한 내구성 평가가 매우 중요하다. 예를 들어 여러 층의 박막을 적층할 경우 유전막에 균열이 일어나거나 부풀어오르면서 급속 도선이 지지층으로부터 박리 혹은 변형되는 현상을 쉽게 볼 수 있다. 이것은 반도체 제품의 열적, 기계적 안정성에 치명적인 영향을 미친다. 따라서 수 마이크로 이하의 박막에 대한 기계적 물성치를 평가하는 것은 제품의 신뢰성 측면에서 매우 중요하다. 한편 자동차 산업에 필요한 도장(Paint) 기술 개발에서도 페인트의 접착강도 평가는 자동차의 품질 보장 및 소비자의 자동차 구매욕구에 있어서 매우 중요하다.

일반적으로 재료표면의 기계적 물성치 즉 경도, 탄성계수, 마모에 대한 저항, 균열(cracking), 계

면(interface)에서의 박리(delamination) 등을 측정하는 장비에는 만능시험기인 재료 시험기를 포함하여 경도계, 마모 시험기, 스크래치 테스트(scratch tester) 등을 들 수 있다. 특히 최근 반도체 산업의 발달로 수 μm 혹은 그 이하 두께를 가지는 각종 박막의 기계적 물성치를 비교적 간단하게 평가할 수 있는 스크래치 테스트 장비 및 나노인덴테이션 방법(nanoindentation 혹은 depth sensing indentation 방법)의 이용도가 급증하고 있는 상황이다. 이 들 장비는 뾰족한 압자를 수 N 이하의 크기로 박막에 압입 또는 긁음으로써 박막을 나노미터 수준으로 변형시켜서 박막의 경도와 탄성계수, 접합강도 등 기계적 특성을 평가하는 방법이다.

한편 국내 굴지의 반도체 회사에서 사용하고 있는 고가의 스크래치 테스트 장비는 주로 스위스의 CSEM 회사 장비⁽¹⁾로 전면 수입하고 있는 현실이다. 따라서 선진국에 주로 의존하는 반도체 관련 측정장비개발은 수입대체 효과 및 박막 평가와 관련된 기타 산업으로의 파급효과 측면에서 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 스크래치 테스트 장비의 원리를 이해하고 기존 장비의 지적재산권을 피하기

위하여 아토이엔지(주) 회사와 공동으로 2 축 로드셀을 사용한 스크래치 테스트 장비 개발 하고자 한다.

2. 스크래치 테스트 장비의 원리

스크래치 테스트는 서론에서도 언급한 바와 같이 실리콘웨이퍼 기판위에 PVD, CVD 등의 방법으로 증착된 경질막, 도금막 등의 표면을 다이아몬드 프로브를 사용하여 기판과 박막의 접착강도, 박리 하중을 평가하는 장비이다. 그림 1(a)는 스크래치 압입자(scratching stylus)를 수직으로 압입하면서 시편을 일정한 속도로 이동시키면서 수직하중(normal load), 수평하중(tangential force)을 측정하는 것을 보여준다. 또한 음향방출(acoustic emission detector) 감출기를 압입자에 부착하여 박막이 기판에서 박리되는 때를 체크하도록 한다. 그림 1(b)에서는 하중의 기울기가 갑작스럽게 변화는 임계하중 즉 박리하중 L_c 를 찾고 음향 방출 센서를 통하여 이를 확인하는 것을 보여준다.

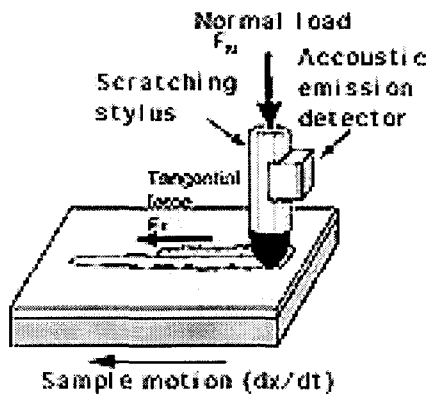


Fig. 1(a) Schematic diagram of scratch tester for evaluating the bonding strength of thin film⁽¹⁾.

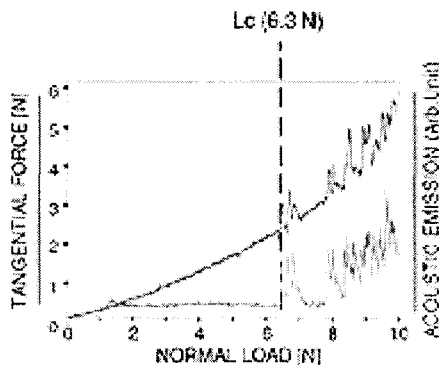


Fig. 1(b) The evaluation method of bonding strength using critical force L_c based on tangential force, normal load and acoustic emission data⁽¹⁾.

3. 스크래치 테스트 장비 개발

3.1 스크래치 테스트 장비 설계

기존의 스크래치 테스트 장비는 수직력과 수평력을 독립적으로 측정을 하기 때문에 제작이 용이하지 못하고 공간 활용도가 비효율적이다. 그러나 수직력과 수평력을 동시에 측정할 수 있는 2 축 로드셀을 사용하면 장비를 좀 더 소형화시킬 수 있는 장점이 있다. 그림 2는 본 연구에서 개발하고자 하는 스크래치 테스트 장비의 개념도로 수직력과 수평력을 작용시키기 위하여 2 개의 모터 제어를 사용한다. 그리고 팁에 발생하는 수직력 및 수평력을 동시에 측정할 수 있는 2 축 로드셀과 기존의 장비와 같이 AE 센서를 사용하여 좀 더 정확한 박막의 박리 하중을 제공하고자 한다. 또한 탐침봉의 변위 및 가압력을 제어함에 있어서 보다 미세한 힘의 제어가 가능하도록 한다.

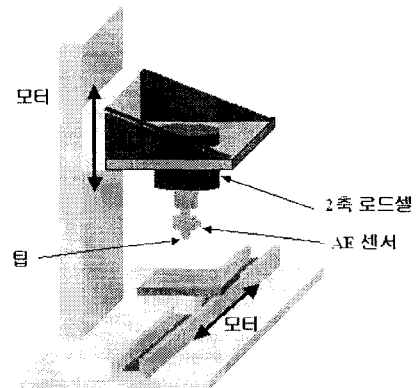


Fig. 2 Schematic diagram of scratch tester using two-axis loadcell, AE sensor and diamond tip.

스크래치 테스트 장비에서 사용하고자 하는 2 축 로드셀의 모양은 그림 3 과 같으며 각 축의 용량은 0.1 - 100 N으로 0.5%의 선형도와 0.5%의 히스테리시스를 갖는다⁽²⁾.

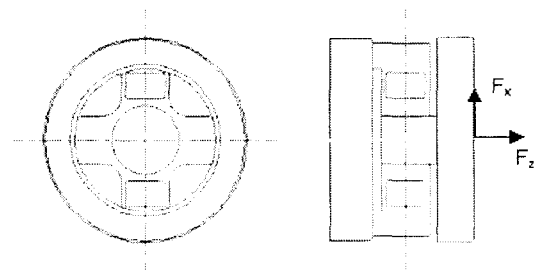


Fig. 3 Schematic diagram of two-axis loadcell (capacity : 0.1 - 100 N).

스크래치 테스트 장비에서 수직으로 승강되는 이송대와 수평으로 이송대는 베드에 사용되는 서보모터의 최대속도는 3000rev/min 그리고 분해능은 131072p/rev입니다. 한편 Table/Linear motion guide의 분해능은 0.05 mm 입니다.

그림 2 에서 보는 바와 같이 미세한 힘 측정 및 제어를 위한 탐침부의 설계는 매우 중요하다. 본 연구에서 설계한 탐침부의 개략도는 그림 4 와 같으며 구성은 다음과 같다⁽³⁾. 스크래치 측정장치는 이송대에 부착되는 2 축 힘센서, 힘센서 내측으로 원통형의 슬리브가 구비되는 하우징 그리고 슬리브의 내측에 삽입되어 수직으로 승강 가능하게 고정되는 탐침봉으로 구성되었다. 또한 탐침봉의 아랫면에 탈, 부착 가능하게 고정되는 다이아몬드 팁으로 구성되었다. 한편 음향방출센서는 900 kHz의 주파수 대역대를 가지며 해당하는 필터 영역은 50 - 1000 kHz 이다. 다이아몬드 팁의 반경 크기는 20, 50, 100, 200, 500 μm 이다.

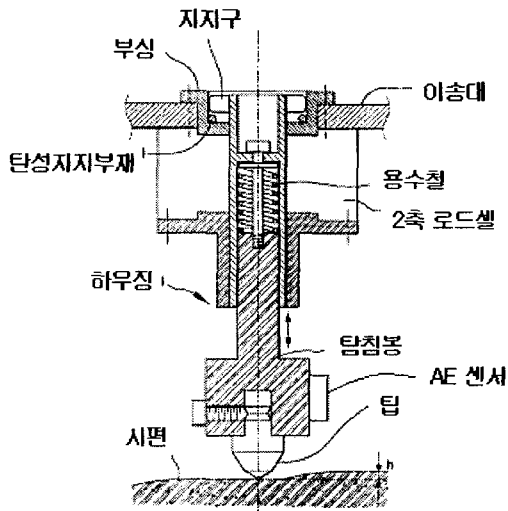


Fig. 4 Schematic diagram of detection probe design based on 2-axis loadcell, AE sensor.

스크래치 테스트 장비를 사용하는 사용자의 편의를 위하여 GUI 환경에 기반을 둔 S/W 를 개발하였다. 예를 들어 목표 하중에 도달하면 자동으로 초기 위치와 원래의 하중(0 N)으로 복귀한다. 그리고 Normal load speed, Scratch speed, 접촉 시점의 거리에 대하여 조작자의 임의의 설정이 가능하며 또한 Data 는 RS-232C 통신으로 MS-Window 상의 모니터에 보이도록 하였으며 MS Excel 에서 자동으로 Graph 화 할 수 있도록 하였다.

그림 5 는 제작된 스크래치 테스트의 장비를 보

여 주며 그림 6 과 7 은 두 축의 힘센서 신호와 AE 센서 신호 측정을 위한 개발된 프로그램의 초기 화면 및 실리콘웨이퍼에 대한 측정데이터를 보여준다.

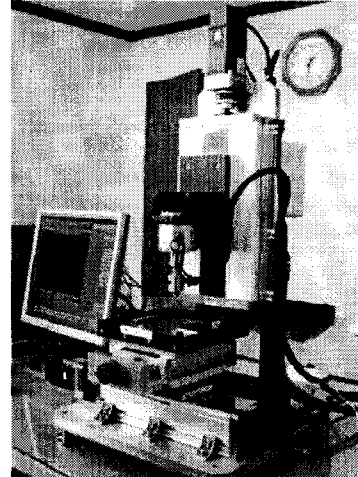


Fig. 5 Scratch tester based on GUI environment for evaluation of bonding strength of thin film.

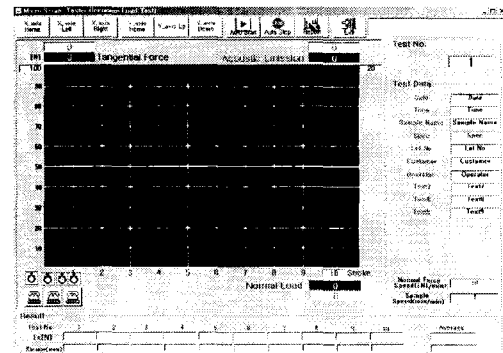


Fig. 6 The developed software for measurement of loadcell and AE sensor signals.

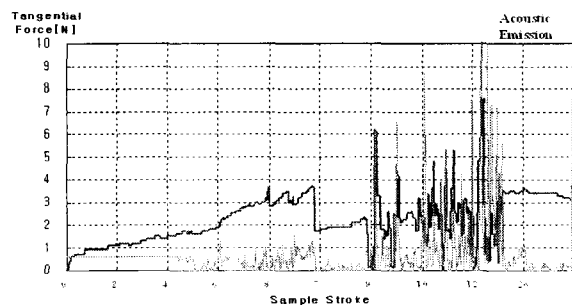


Fig. 7 Data obtained from two-component force sensor and AE sensor (dark brown : force signal; pink : acoustic signal).

현재 개발된 2 축 힘센서를 이용한 스크래치 테스트 장비는 아토 이엔지(주)에서 제품화하였으며 반도체 관련 박막 평가 장비 및 자동차 등 박막 코팅 관련 업체에 납품하고 있다.

4. 결론

박막의 접착 강도를 측정하기 위하여 수직력과 수평력을 동시에 측정할 수 있는 0.1- 100 N 용량의 2 축 로드셀에 기반을 둔 스크래치 테스트 장비를 개발하였으며 반도체 박막을 포함한 다양한 코팅재의 접착강도 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국표준과학연구원 기관고유 사업인 신기술대응력 과제의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. CSEM, <http://www.csm-instruments.com/index1.html>)
2. 큐리오텍(주), www.curiotec.com
3. 김종호, 박연규, 강대임, 3 축 힘센서를 이용한 스크래치 장치, 특허출원번호 10-2002-0075703