

2 축 로드셀을 이용한 박막평가장치의 설계 및 개발

이정일[†] · 김종호* · 박연규* · 오희근**

Design & development of a device for thin-film evaluation using a two-component loadcell

Jeong-Il Lee, Jong-Ho Kim, Yon-Kyu Park and Hee-Geun Oh

Key Words : Scratch tester(스크래치 테스트 장치), Loadcell(로드셀), Adhesive strength(접착 강도), Thin-film(박막), Force sensor(힘 센서)

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 tangential 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 thin-film.

1. 서 론

현대 산업의 발달과 더불어 박막 적층 기술도 급속히 발달하여 왔다. 박막(thin-film)이란 여러 가지 금속이나 절연물 등을 재료로 삼아 진공증착법, 전기도금법, 화학물 열분해법, 전자빔 증착법 등에 의해 만들어진 표면의 얇은 막(μm 이하)을 말한다. 물질은 박막상태가 되면 물리적, 화학적 성질이 크게 변한다. 일반적으로 점성이 커지고 표면장력이 작아지며, 빛의 간섭에 의해 착색현상이 일어난다. 이러한 특성은 각종 이화학기계 제작에 적용되고 있으며, 전자장치의 초소형화 경향에 힘입어, 초소형 박막 전자회로의 제조 및 전자 부품의 박막화가 활발히 추진되고 있다. 특히 의료, 산업계측, 반도체, 정밀전자, 정보통신, 우주

항공 등의 산업 분야에서 전자, 기계적 기능을 복합적으로 수행하는 고집적, 미세화 된 소형가공 부품에 대한 요구가 증가하고 있다. 기술적 측면에서 이런 산업의 요구를 충족시키기 위해서는 박막을 다층으로 적층하는 고집적화 기술 개발과 적층된 박막에 대한 내구성 평가가 매우 중요하다. 예를 들어 여러 층의 박막을 적층할 경우 균열이 일어나거나 부풀어 오르면서 금속 도선이 지지층으로부터 박리 혹은 변형되는 현상을 쉽게 볼 수 있다. 이것은 제품의 전자, 기계적 안정성에 치명적인 영향을 미친다. 따라서 수 μm 이하의 박막에 대해 기계적 물성치를 평가하는 것은 제품의 신뢰성 측면에서 볼 때 필수적이다.

스크래치 테스트 장치는 반도체 기판 위에 증착된 경질막, 도금막 등의 표면 특성을 평가하는 장치이다. 반도체 기판 표면에 박막이 코팅된 제품을 테이블에 고정시킨 후, 다이아몬드 팁에 하중을 가하여 시료의 표면을 긁음(scratch)으로써 기판과 박막 사이의 표면 특성 및 역학적 내구성을 측정할 수 있게 된다. 국내 굴지의 반도체 회사에서 기판과 박막 경계면의 접착강도(adhesive strength) 평가에 사용하고 있는 스크래치 테스트 장치는 주로 스위스의 CSEM 회사의 고가 장치⁽¹⁾로 전면 수입에 의존하고 있는 현실이다. 따라서

[†] 한국표준과학연구원 물리표준부

E-mail : junke@kriss.re.kr

TEL : (042)868-5641 FAX : (042)868-5249

* 한국표준과학연구원 물리표준부

** (주) 그랜드텍

선진국에 주로 의존하는 반도체 관련 측정장치의 개발은 수입대체 효과 및 박막 평가와 관련된 기타 산업으로의 파급효과가 클 것으로 기대된다.

본 연구에서는 박막 평가용 스크래치 테스트 장치의 원리를 이해하고, 기존 장치의 지적재산권을 피하여 2 축 로드셀을 적용한 스크래치 테스트 장치를 산업체-(주)그랜드텍-와 공동으로 개발하고자 한다.

2. 연구 배경

2.1 기존의 연구 결과

재료표면의 기계적 물성치, 즉 경도(hardness), 탄성계수(elasticity), 마모에 대한 저항, 균열(cracking), 계면에서의 박리(delamination) 등을 측정하는 장치에는 만능시험기인 재료 시험기(tribometer)를 포함하여 경도계(hardness tester), 마모 시험기(abrasion tester), 스크래치 테스트 장치(scratch tester) 등이 있다. 특히 최근 반도체 산업에서는 수 μm 혹은 그 이하 두께를 가지는 각종 박막의 기계적 물성치를 비교적 간단하게 평가할 수 있는 스크래치 테스트 장치 및 나노인덴테이션 방법(nanoindentation)의 이용도가 급증하고 있다. 이 장치들은 뽀족한 압자를 수 N 이하 크기의 힘으로 박막에 압입 또는 긁음으로써 박막을 나노미터 수준으로 변형시켜 박막의 경도와 탄성계수, 접합강도 등의 기계적 특성을 평가하는 방법을 사용하고 있다.

일반적으로 스크래치 테스트 장치란 각종 센서가 부착된 탐침봉을 이용하여 측정 대상의 표면을 스크래칭하는 과정을 통해 수직력, 수평력, 음향방사량등의 각종 데이터를 검출한 후, 이를 컴퓨터를 통해 변환 및 연산처리하여 박막의 접착강도나 마찰력 및 경도 등을 효과적으로 측정할 수 있는 측정방법의 일종이다. 이와 같은 스크래치 테스트 장치가 상용으로 출시되어 있으며, 그 원리는 다음과 같다.

스크래치 테스트 장치는 측정하고자 하는 시편이 고정된 스테이지와 그 위에 다이아몬드 팁이 부착된 탐침봉이 위치하도록 구성된다. 탐침봉을 수직방향으로 하강시켜 다이아몬드 팁이 시편의 표면을 누르도록 하면서 시편을 액츄에이터(actuator) 의해 수평방향으로 이송시키면, 시편의 표면에는 스크래치 및 이에 따른 음향이 발생되고, 팁에는 수직력(Normal force)과 수평력

(Tangential force) 등이 가해진다. 탐침봉에는 음향검출(Acoustic Emission) 센서가 부착되어 스크래치 과정에서 방출되는 음향을 검출하고, 팁에 발생하는 수직력 및 수평력 등은 각각 이에 대응하는 검출센서에 의해 검출되어 컴퓨터로 전송되며, 전송된 각종 데이터는 컴퓨터에 내장된 변환기와 연산프로그램의 처리과정을 거쳐 사용자가 얻고자 하는 시편의 특성으로 측정된다.

2.2 개선된 박막평가장치

기존의 스크래치 테스트 장치에는 다이아몬드 팁에 발생하는 수직력 및 수평력을 검출하기 위해서 각각 독립적인 검출센서 및 이에 따른 주변 장치가 설치되어 있으므로, 측정장치가 대형화되고, 이에 따라서 공간이용의 효율성 및 경제성이 저하되는 문제점이 있었다. 또한, 탐침봉과 팁은 모터와 같은 액츄에이터에 의해 그 변위 및 가압력이 제어되는데, 모터에 의한 변위제어는 미세한 힘의 제어에 한계가 있으므로, 특히 두께가 수 μm 정도인 박막의 접착강도 등을 측정함에 있어서는 정밀한 측정값을 얻을 수 없었다.

이에, 본 연구에서는 기존 연구에서의 제반 문제점을 해소하기 위해, 팁에 발생하는 수직력 및 수평력을 동시에 측정할 수 있는 2 축 로드셀을 이용하였다. 측정장치를 소형화할 수 있게 되어 제조가 간편해지고 경제적인 뿐만 아니라 공간을 효율적으로 이용할 수 있는 효과를 가진다. 아울러 탐침봉의 변위 및 가압력을 제어함에 있어서 스프링을 이용하여 보다 미세한 힘의 제어가 가능하도록 함으로써, 박막의 접착강도 등을 측정함에 있어서 보다 정밀한 측정값을 용이하게 얻을 수 있는 장점도 있다. 또한, 탄성지지부재를 이용하여 2 축 로드셀을 제외한 검출부의 자중을 보상하여, 측정과정에서 보다 정밀한 데이터를 검출할 수 있도록 하였고, 팁을 탐침봉에 원터치 방식으로 신속하고 간편하게 분리 및 결합할 수 있도록 하였다. 이와 같은 목적을 이루기 위한 본체는 시편과 함께 수평으로 이동 가능한 베드와, 2 축 로드셀이 장착되어 있는 수직 승강이 가능한 이송대로 구성된다. 탐침봉은 2 축 로드셀의 하부에 고정되어 수직으로 승강이 가능하도록 되어있고, 탐침봉의 상단을 탄성 지지하는 스프링과 탈,부착 가능하게 고정되는 다이아몬드 팁으로 구성된 검출부를 포함한다.

3. 설계 및 제조

3.1 장치의 원리

Fig.1 은 본 연구에서 개발하고자 하는 스크래치 테스트 장치의 개념도이다. 수직력과 수평력을 작용시키기 위하여 2 개의 모터 제어를 사용하고 팁에 발생하는 수직력 및 수평력을 동시에 측정할 수 있는 2 축 로드셀과 음향진동을 감지하는 AE 센서를 사용한다. 또한 탐침봉의 변위 및 가압력을 제어함에 있어서 보다 미세한 힘의 제어가 가능하도록 하여 좀 더 정확한 박막의 박리 하중을 제공하고자 한다. 2 축의(2-axis: z, x) 감도를 가진 하중센서의 끝에 다이아몬드 팁을 장착하여 시료(기판과 박막)에 수직으로(z-축 방향) 하중을 증가시키며, 시료를 수평으로(x-축 방향) 이동시키면서 scratch 한다. 박막이 벗겨져 다이아몬드 팁이 기판에 닿을 때 서로 다른 경도 차에 의해 진동이 발생하게 되고, 음향검출 센서에서 이 진동을 감지하여 균열발생 시점을 찾아낼 수 있다.

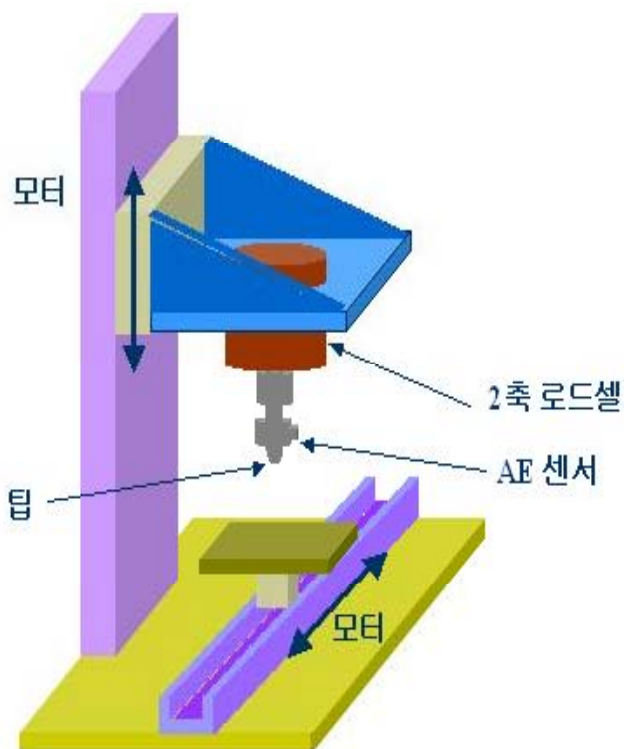


Fig. 1 Schematic diagram of scratch tester using two component loadcell, AE sensor and diamond tip.

3.2 장치의 특성

현재 개발된 제품은 100 N 까지 하중을 인가할 수 있고, 목표 하중에 도달하면 자동으로 초기 위치와 원래의 하중(0 N)으로 복귀한다. Normal load speed, Scratch speed, 접촉 시점의 거리 등의 변수는 개발된 프로그램에 의해 조작자가 임의로 설정이 가능하다. Data 는 RS-232C 통신으로 MS-Windows 상의 모니터에 표시되면 Excel program 과 연동되어 자동으로 Graph 화 할 수 있다. 스크래치 테스트 장치에서 사용하고자 하는 2 축 로드셀의 모양은 Fig.2 와 같으며 각 축의 용량은 0.1 - 100 N 으로 0.5 %의 선형성과 0.5 %의 히스테리시스를 갖는다⁽²⁾. 스크래치 테스트 장치에서 수직으로 승강되는 이송대와 수평으로 이송대는 베드에 사용되는 서보모터의 최대속도는 3000 rev/min, 분해능은 131072 p/rev 이고, Table/Linear motion guide 의 분해능은 0.05 mm 이다.

미세한 힘 측정 및 제어를 위한 탐침부의 설계는 매우 중요하다. 본 연구에서 설계한 탐침부의 개략도는 Fig.3 과 같으며 구성은 다음과 같다⁽³⁾. 스크래치 테스트 장치는 이송대에 부착되는 2 축 로드셀, 로드셀 내측으로 원통형의 슬리브가 구비되는 하우징, 그리고 슬리브의 내측에 삽입되어 수직으로 승강 가능하게 고정되는 탐침봉으로 구성된다.

탐침봉의 아랫면에는 탈, 부착이 가능한 다이아몬드 팁이 있다. 다이아몬드 팁의 반경 크기는 20, 50, 100, 200, 500 μm 이다. 음향방출센서는 900 kHz 의 주파수 대역대를 가지며 해당하는 필터 영역은 50 - 1000 kHz 이다.

Fig.4 는 제작된 스크래치 테스트 장치를 보여준다. 현재 개발된 2 축 로드셀을 이용한 스크래치 테스트 장치는 (주)그랜드텍 에서 제품화하였으며 반도체 관련 박막 평가 장치 및 자동차 등 박막 코팅 관련 업체에 납품하고 있다.

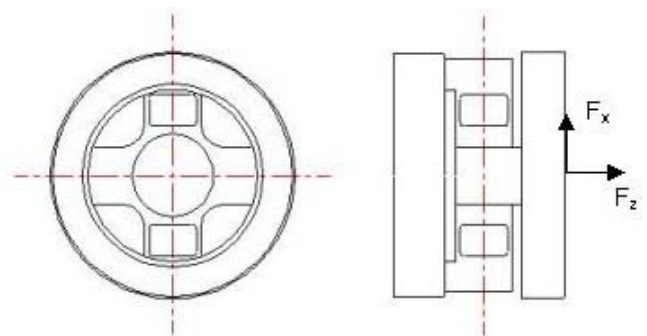


Fig. 2 Schematic diagram of two component loadcell (capacity : 0.1 - 100 N).

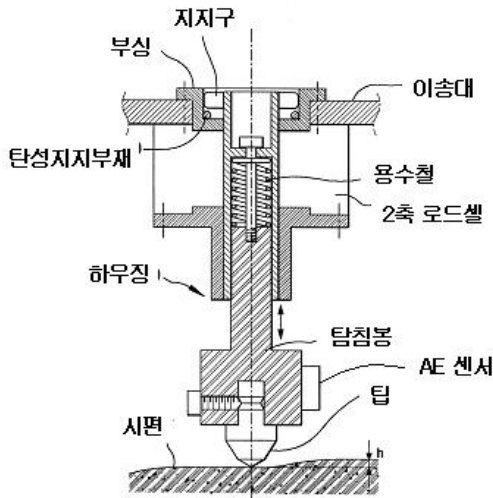


Fig. 3 Schematic diagram of detection probe design based on 2-component loadcell, AE sensor



Fig. 4 Scratch tester

3.3 장치의 동작

2 축 로드셀은 2 방향의 힘 성분(F_x , F_z)을 동시에 측정할 수 있는 센서로서 스크래치 과정에서 시편의 표면에 발생하는 수직력과 수평력을 동시에 측정한 후 이를 컴퓨터로 송신한다. 또한, 탐침봉의 옆에는 팁과 시편의 박막 사이에서 발생하는 음향을 검출하기 위한 음향검출 센서가 부착되어 있다. 이송대를 하강시켜 팁이 시편에 밀착되도록 한 후, 시편을 수평방향으로 이송시킴과 동시에 탐침봉에 수직력을 발생시켜 상호간에 상대운동을 야기시키고, 이때의 수직력 및 수평력을 2 축 로드셀로 동시에 검출함으로써, 시편의 박막에 대한 스크래치 테스트가 이루어지게 된다. 이때, 팁이 장착된 탐침봉은 그 상단이 스프링에 의해 탄성지지되므로, 액추에이터에 의해 탐침봉의 변위가 제어되어 팁이 시편에 접촉하여 가압하는 과정에서, 스프링의 완충작용에 의해 미세한 힘의 제어가 가

능하게 된다. 즉, 미세한 힘의 제어에 한계가 있는 액추에이터의 변위제어에 따른 단점을, 스프링의 탄성계수를 이용한 미세제어를 통해 보상함으로써, 종래와는 달리 두께가 수 μm 에 달하는 박막의 접착강도 등을 측정함에 있어서도 보다 정밀한 측정값을 얻을 수 있게 된다. 또한, 시편의 표면에 미세한 굴곡이 있는 경우에도 굴곡에 의해 팁의 밀착력에 변동이 발생하는 것을 방지할 수 있게 되며, 이에 따라 검출되는 데이터에 발생가능한 오차를 최소한으로 감소시킬 수 있게 된다. 그리고, 지지구와 부상 사이에 지지구의 하면을 지지하는 탄성지지부재가 있어서, 이송대에 부착된 2 축 로드셀을 제외한 검출부의 자중을 보상함으로써, 탐침봉에 가하는 압력에 탐침봉의 자중이 포함되지 않도록 하여 보다 정밀한 데이터를 검출할 수 있게 된다.

4. 측정 및 고찰

Fig.5 는 니켈-바나듐(Ni-V) 합금이 3000 Å 증착된 실리콘웨이퍼에 대한 측정데이터이다. sample stroke 는 탐침봉으로 샘플을 긁으면서 이동한 거리로, 총 37.31 mm 를 30 mm/min 의 속도로 이동하며, sample stroke 의 변화에 따라 수직력, 수평력 및 음향신호가 변화하는 모습이 나타나있다. 그림에 화살표로 나타난 지점은 모든 측정자료가 갑자기 불규칙하게 변화하는 부분으로서 이때가 박막이 기판에서 분리되는 지점이라는 것을 알 수 있다. 수평력, 수직력의 측정 결과와 음향신호 측정결과에서 신호가 급격히 변하는 지점이 서로 정확히 일치하지 않을 때도 있다.

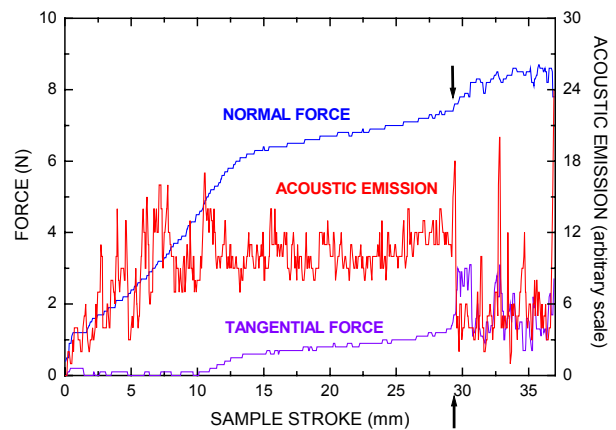


Fig. 5 Data obtained from two-component force sensor and AE sensor .

위와 같이 박막이 분리된 지점을 찾기 어려울 때를 위하여, 이송대 부분에 Pixel 크기 : 640 x 480 이상, Pixel 분해능 : 0.5 μm 미만, 배율 : 480 배 이상의 성능을 지닌 vision inspection system 을 설치할 예정이다.

5. 결론

박막의 접착 강도를 측정하기 위하여 수직력과 수평력을 동시에 측정할 수 있는 0.1- 100 N 용량의 2 축 로드셀에 기반을 둔 스크래치 테스트 장치를 개발하였으며 반도체 박막을 포함한 다양한 코팅제의 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>
- (2) www.curiotec.com
- (3) J.H.Kim, Y.K.Park, D.I.Kang, A scratch tester using three axis-load cell, Patent number 10-2002-0075703