

전도성 박막의 두께 측정기 개발

강전홍*, 유광민*, 김한준*, 한상옥**
한국표준과학연구원*, 충남대학교**

A Development of Thickness Meter for Conductive Thin Film

Jeon Hong Kang*, Kwang Min Yu*, Han Jun Kim*, Sang Ok Han**
KRISS*, Chungnam National University**,

Abstract - 반도체 및 평판표시장치(Flat Panel Display) 공정에서 필수적으로 사용되는 박막 두께 측정기를 개발하였다. 측정방식은 FPP법의 dual configuration 측정원리를 적용하였으며 측정범위는 수 nm ~ 수십 μm이다. 순수한 금속 박막에 대하여 측정이 가능하며 박막 시료의 표면에 probe를 접촉시키면 두께가 자동 측정 되므로 박막 시료의 측정위치에 관계없이 누구나 쉽고 정확하게 사용할 수 있다. 저항 측정기능에서 재현성과 반복성 및 직선성은 0.1 % 이하의 불확도 범위에서 우수한 특성을 나타냈다.

1. 서 론

반도체 및 평판표시장치(Flat Panel Display)의 공정은 유전체 박막, 반도체 박막, 금속 박막 등을 반도체 기판과 유리 및 절연물 위에 형성시키는 과정이다. 특히 FPD 산업의 급속한 발전으로 새로운 공정 개발 뿐만 아니라 누가 더 짧은 시간에 더 많은 양을 생산하고 불량률을 낮추는가에 따라 기업의 매출에 큰 영향을 미치게 된다. FPD 공정에서도 품질을 결정하는 여러 가지 요인 가운데 박막의 두께 제어가 차지하는 비중이 크기 때문에 이를 공정 중에서 실시간 관리하는 것이 필수적이다. 최근에는 반도체 소자의 집적도를 높이기 위해서 기판위에 형성되는 박막을 더 얇고 다층화하는 추세이다. 이러한 소자를 개발하기 위해서는 박막의 두께 정밀 측정이 매우 중요하다. 현재 사용되고 있는 박막 두께 측정방법은 탐침(stylus)을 이용한 기계적인 방법, 현미경적인 방법, 광학(optical)적인 방법 등이 가장 일반적이다. 기계적인 방법은 탐침이 박막의 표면을 긁고 지나감으로서 표면 단차의 변화로 발생하는 압력을 감지하여 그 단차의 두께를 측정하는 방법으로 시료와 직접 접촉하므로 유기막은 물론 금속 박막의 두께도 측정할 수 있는 장점이 있으나 접촉에 의한 시료의 파괴와 오염이 발생한다. 또한 측정 속도가 매우 느리고 측정자의 주관에 따라 측정오차가 발생할 수 있으며, 측정하고자 하는 곳에 미리 단차를 만들어야 하는 단점이 있다. 현미경적인 방법은 시료를 절단하여 단면을 보아야 하므로 시료의 준비과정에서 기계적인 방법보다 더 많은 시간과 시료를 가공하는 특별한 기술이 요구되는 단점이 있지만 육안으로 확인할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 광학적인 방법은 분광 반사 광도계(Spectral Reflectometer)와 엘립소미터(Ellipsometer)가 광범위하게 사용된다. 이들 방법은 박막의 표면에서 반사광과 하부의 계면으로부터 반사광들에 의한 간섭현상 또는 광의 위상차를 이용하여 박막의 두께를 측정할 수 있으며, 탐침을 이용한 방법에 비해 보다 정확하며 측정 속도 또한 우수하지만 박막이 투명하고 광 간섭성을 유지하는 유기물에 국한되는 단점이 있다. 이들 세 가지 방법들은 모두 측정 장치가 매우 고가이며, 전문적인 지식이 필요할 뿐만 아니라 사용하기에 불편하며, 국부적인 위치에서만 두께 측정이 가능한 단점이 있다[1]. 그러나 본 여구에서 개발된 두께 측정기는 전기저항식 측정방법으로 일부의 유전체 및 금속 박막의 모든 재료에 대하여 두께 측정기 가능하며, 박막 재료의 위치에 관계없이 측정이 가능하고, 누구나 쉽고 정확하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 외국산에 비해 훨씬 저렴하고, 측정 정확도, 반복성, 재현성 등에서도 우수한 특성을 나타냈다.

2. 본 론

2.1 전기 저항식의 FPP측정법

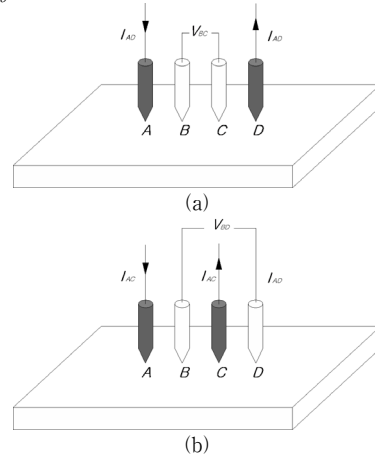
전기저항식 측정법은 박막(thin film) 및 반도체 재료의 면저항을 측정하는데 가장 널리 사용되고 있는 FPP(Four-Point Probe) 방법으로 동일선상에 놓인 4개의 핀을 시료의 표면에 접촉시켜 저항을 측정하고, 기하학적 보정계수를 적용하여 면저항을 측정하는 방식이다[2]. 측정방식은 single 및 dual 방식이 있으며, 본 연구에서 적용한 dual 방식은 single 방식에 비해 보정계수를 적용할 필요가 없으며, 가장자리 효과가 거의 없는 장점이 있다[3]. Single 방식의 측정원리는 그림 1의 (a)에서 핀 A, D에 전류

(I_{AD})를 흘리고 핀 B, C에서 전압(V_{BC})을 측정하여 저항 $R_a = V_{BC}/I_{AD}$ 를 구하고, 면저항($R_s = k_a \times R_a$)을 구하는 방법이다.

여기서, $k_a = F_2(D/S) \times F(t/S)$ 이며, $F_2(D/S)$: 핀 간격에 대한 시료크기 보정인자, $F(t/S)$: 핀 간격에 대한 시료의 두께 보정인자이다.

Dual 방식의 측정원리는 그림 1의 (b)에서 핀 A, C에 전류(I_{AC})를 흘리고, 핀 B, D에서 전압(V_{BD})을 측정하여 저항 $R_b = V_{BD}/I_{AC}$ 를 구하고, 그림 (a)의 R_a 와 (b)의 R_b 로부터 면저항($R_s = k_a \times R_a$)을 구하는 방법이다.

여기서, $k_a = -14.696 + 25.173(R_b/R_a) - 7.872(R_b/R_a)^2$ 이며, $1.20 \leq R_d/R_b \leq 1.32$ 일 때에 적용이 가능한 방식이다.



〈그림 1〉 Configuration (a)(b)

2.2 두께 측정원리

전기 저항식의 FPP 방법에 의한 박막의 두께측정 원리는 식 (1)에 의해 간단하게 표현된다. 즉 박막의 두께는 금속 박막의 비저항(ρ)을 FPP방법에서 측정된 면저항(R_s)으로 나눈 값이다.

$$t = \frac{\rho}{R_s} [m] \quad (1)$$

이와 같은 원리를 이용하여 개발된 전도성 박막 두께 측정기는 금속 박막의 비저항을 입력만 하면 상기의 식(1)에 의해 자동으로 두께가 지시되므로 쉽고 간단하게 측정할 수 있다.

2.3 두께 측정기의 설계 및 제작

FPP방법에 의한 면저항 측정원리를 바탕으로 전원부, 제어부, 구동부로 나누어 설계 제작하였다. 또한 가장자리 효과가 거의 없도록 하기 위하여 dual configuration 기술을 적용하였으며, 전류원은 10 μA ~ 100 mA 범위이고, 전압계의 측정범위는 0.01 mV ~ 100 mV이다. 설계 및 제작된 측정기는 그림 2와 같으며, auto 및 manual 측정기능, calibration 기능, 금속 비저항 입력기능, 저항 및 면저항 측정기능 등이 있어서 조작이 간편하여 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. Probe head는 정밀 측정을 하기 위하여 probe station을 제작하였으며, 두께 측정시 probe의 흔들림으로부터 발생하는 접촉저항의 영향을 줄이기 위하여 probe head를 고정시키고 상하로 수직 운동할 수

있는 가능하다. 또한 probe의 하중은 측정의 불확도 및 재현성과 반복성에 큰 영향을 주므로 50 g ~ 300 g 범위에서 하중을 조절할 수 있도록 하였다. 측정방법은 auto mode의 경우 박막 시료의 표면에 probe가 접촉되면 두께를 나타내며 다음 측정시 까지 연속해서 반복하여 측정하며, manual mode에서 측정시는 다음 측정시 까지 측정값이 유지되도록 하였다. 그리고 접촉하고 있는 동안에는 측정을 계속하여 매 측정시마다 측정값의 안정도와 반복성을 확인할 수 있다.



〈그림 2〉 개발된 박막 두께 측정기

2.4 성능평가

모든 측정기들의 성능은 측정의 정확도도 중요하지만 측정기의 안정도, 반복성, 재현성, 직선성 등의 특성이 좋아야 한다. 따라서 개발된 박막 두께 측정기의 성능 평가를 위해 국가측정표준으로부터 소급성이 유지된 표준저항(standard resistors, model: L&N, 불확도: 0.001 %)과 분할저항기(decade resistor, model: ESI DB62, 불확도: 0.01 %)를 사용하여 저항기능을 평가하였다. 안정도 평가는 박막 두께 측정기의 probe 4단자와 표준저항과 분할저항기의 4단자에 연결한 후 측정을 반복하여 안정된 저항값이 지시되는지 평가하였다. 그 결과 1 mΩ range에서는 1.0 % 이하, 10 mΩ range에서는 0.5 %이하, 100 mΩ ~ 100 Ω range에서는 0.1 %이하에서 안정도와 재현성을 나타냈으며, 표 1과 같다. 직선성 평가는 분할저항기의 0.1 Ω ~ 100 Ω 범위에서 저항을 변화시켜가며 지시값을 확인하였으며, 그 결과 0.1 % 이하의 불확도 범위에서 직선성을 보였다.

〈표 1〉 저항 기능의 안정도 및 재현성 평가

Current Range	Std. Input Values	Display	Uncertainty (k=2)
100 mA	1.0000 mΩ	0.997 mΩ	0.010 mΩ
	10.000 mΩ	10.00 mΩ	0.05 mΩ
	100.00 mΩ	100.0 mΩ	0.1 mΩ
	1.0000 Ω	1.000 Ω	0.001 Ω
10 mA	1.1000 Ω	1.100 Ω	0.001 Ω
	2.0000 Ω	2.000 Ω	0.001 Ω
	3.0000 Ω	3.000 Ω	0.001 Ω
	4.0000 Ω	4.000 Ω	0.001 Ω
	5.0000 Ω	5.000 Ω	0.001 Ω
	7.0000 Ω	7.000 Ω	0.001 Ω
	8.0000 Ω	8.000 Ω	0.001 Ω
	10.000 Ω	10.00 Ω	0.01 Ω
1 mA	11.000 Ω	11.00 Ω	0.01 Ω
	20.000 Ω	20.00 Ω	0.01 Ω
	50.000 Ω	50.00 Ω	0.01 Ω
	70.000 Ω	70.00 Ω	0.01 Ω
	90.000 Ω	90.00 Ω	0.01 Ω

2.5 박막 시료의 두께 측정결과

개발된 전도성 박막 두께 측정기의 성능을 확인하기 위하여 알루미늄 박막 표준시료와 동 박막 표준시료에 대하여 두께를 평가한 결과 표 2와 같이 나타났다.

〈표 2〉 박막 두께 측정결과

Std. Input Thin Film Thickness (μm)	Meter Display (μm)	Uncertainty (k=2) (μm)
0.0400	0.040	0.001
0.066	0.066	0.001
0.096	0.096	0.001
0.206	0.206	0.001
0.423	0.423	0.001
7.37	7.35	0.02
10.5	10.5	0.2

2.6 개발된 박막 두께 측정기의 특징

- (1) 측정 범위(range)는 auto 및 manual 기능이 있어 누구나 사용하기에 편리하다.
- (2) Auto mode 에서는 박막 시료에 probe를 접촉시키면 연속적으로 측정하지만 manual mode에서 측정시 측정된 두께 측정값을 LCD창에 표시하고 다음 측정시 까지 측정값을 유지한다.
- (3) Dual방식의 적용으로 보정계수를 적용할 필요가 없다.
- (4) Dual방식의 적용으로 가장자리 효과가 거의 없으므로 균질한 시료의 경우 측정위치에 관계없이 일정한 두께 측정값을 나타낸다.
- (5) 박막 시료의 원하는 위치에서 박막 두께 측정이 가능하다.
- (6) 전원은 220 V이며, 내부에 온도조절 챔버를 채용하여 외부 온도에 따른 영향이 없으므로 측정의 안정도와 재현성, 반복성 등이 우수하다.

2.6.1 측정기의 사양

- ◇ 측정방식 : Dual configuration
- ◇ 두께 측정범위 : 수 nm ~ 수십 μm
- ◇ 측정 분해능: 3½ digits
- ◇ 측정 정확도: 지시값의 0.5 % ~ 5.0 %이하
- ◇ Pin 간격: 1.59 mm, pin 반경 : 150 ~ 500 μm
- ◇ 측정 시간: 1 s

3. 결 론

개발된 전도성 박막 두께 측정기는 전도성 박막의 두께를 누구나 쉽고 정확하게 사용할 수 있는 FPP법의 dual configuration을 적용하여 개발하였다. 이 dual configuration 기술은 별도의 보정계수를 고려할 필요가 없고, 가장자리 효과가 거의 없는 장점이 있다. 두께 측정범위는 수 nm ~ 수십 μm이며, 측정기의 성능은 국가표준으로부터 소급성이 유지된 표준저항과 분할저항기를 사용하여 안정도, 재현성, 직선성 등을 평가한 결과 0.1 %이하의 특성을 나타냈다. 박막 두께 측정범위(range) 및 측정시간 등은 맞춤형으로 제작이 가능하고, 박막 시료의 표면에 접촉하면 두께 측정값이 지시되므로 사용에 편리하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 디스플레이 공정과 박막두께 측정, 케이맥(주)
- [2] ASTM F84. Test Method for Measuring Resistivity of Silicon Wafers with an In-Line Four-Point Probe.
- [3] J. R. Ehrstein and M. C. Croarkin, NIST Special Publication 260-131, 1999Ed.