

## 박막 재료의 면저항 측정기 개발

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

### A Development of Sheet Resistance Meter for Thin Film Materials

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

**Abstract :** 박막 재료의 면저항 측정은 일반적으로 FPP(Four-Point Probe)원리를 적용한 측정기를 사용하고 있다. 개발된 면저항 측정기의 특징은 dual configuration 기술을 적용하여 탐침 간격에 대한 시료의 크기 및 두께에 대한 보정계수를 고려하지 않아도 되므로 누구나 쉽고 정확하게 사용할 수 있다. 측정범위는  $1 \text{ m}\Omega/\square \sim 1 \text{ G}\Omega/\square$ 이며, 반복성과 재현성 및 직선성은 0.1 %이하로서 우수한 특성을 나타냈다. 또한 기존의 면저항 측정기에 적용된 single configuration 기술에서 나타나는 가장자리 효과의 단점을 dual configuration 기술을 적용하여 해결하였고 정밀·정확도를 향상시켰다. 개발된 면저항 측정기의 특성평가는 국가측정표준으로부터 소급성이 유지된 표준저항, 분할저항기, 면저항 인증표준물질 등을 사용하였다.

**Key Words :** Sheet Resistance, Four-Point Probe, Single Configuration, Dual Configuration, Thin Film

### 1. 서 론

LCD, PDP, 휴대폰 등 디스플레이 산업의 급속한 발달과 태양광 발전 및 각종 신소재 개발에 대한 연구의 필요성으로 면저항 측정기의 수요는 점차 증가하는 추세이다.

현재 국내에서 사용되고 있는 면저항 측정기는 대부분 Four-Point Probe 원리[1]의 single configuration 기술이 적용된 외산 제품을 주로 사용하고 있으나 탐침 간격에 대한 시료의 크기 및 두께에 대한 보정계수를 반드시 적용해야하며, 가장자리 효과가 크게 나타나는 단점이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 매우 고가여서 경제적인 부담과 측정기에 문제가 발생한 경우 신속한 대응이 어려우므로 외산에 비해 저렴하고 동등 이상의 성능을 갖는 면저항 측정기의 국산화 개발이 절실히 요구된다. 따라서 누구나 쉽고 정확하게 사용할 수 있는 dual configuration 기술을 적용한 면저항 측정기를 개발하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 측정원리 및 실험준비

Valdes에 의해 개발된 FPP법은 박막 재료의 면저항을 측정하는데 널리 사용되는 기법으로 동일선상에 놓인 4개의 핀을 시료의 표면에 접촉시켜 저항을 측정하고, 기하학적 보정계수를 곱하여 면저항을 측정하는 방식이다[2].

측정은 single 및 dual configuration 기술이 있으며, single configuration 기술의 측정원리는 그림 1의 (a)에서 핀 A, D에 전류( $I_{AD}$ )를 흘려주고, 핀 B, C에서 전압( $V_{BC}$ )을 측정하면 후, 저항( $R_b = V_{BC}/I_{AD}$ )을 구하고, 면저항( $R_s = k_a \times R_b$ )을 계산하는 원리이다.

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 두

께 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)와 (b)로부터 면저항( $R_s = k_a \times R_b$ )을 계산하는 방법이다[3]. 여기서,  $k_a = -14.696 + 25.173(R_a/R_b) - 7.872(R_a/R_b)^2$ 이며,  $1.20 \leq R_a/R_b \leq 1.32$ 일 때에만 적용이 가능한 방식이다. 이들 single 과 dual configuration 기술은 각각 장단점이 있다. Single configuration 기술은 박막 및 벌크 재료의 면저항 정밀측정이 가능한 장점이 있으나 가장자리 효과가 크고, 보정계수를 반드시 적용해야 하는 단점이 있다. Dual configuration 기술은 박막재료의 면저항 정밀측정이 가능하고, 보정계수를 적용할 필요가 없으며, 가장자리 효과가 적은 장점이 있는 반면에 프로브 핀 간격의 0.5 배 이상의 두께를 갖는 재료는 측정 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 그러므로 시료의 형상에 따라 single 및 dual configuration 기술을 적용하여 사용할 수 있는 측정기가 필요하다[4].

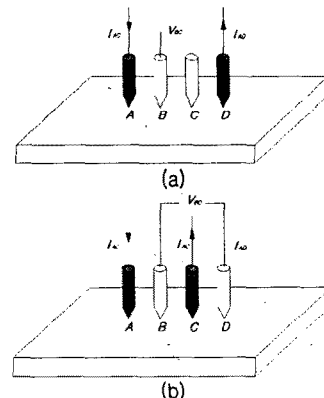


그림 1. Configuration (a)(b)

## 2.2 면저항 측정기의 설계 및 제작

Four-Point Probe법의 원리를 바탕으로 single 및 dual configuration 기술을 적용하여 설계 제작하였다. 측정기의 전류원은 10 nA, 100 nA, 1  $\mu$ A, 10  $\mu$ A, 100  $\mu$ A, 1 mA, 10 mA, 100 mA 이며, 측정 전압은 10 mV ~ 100 mV 범위에서 측정되도록 하였다. 측정기능은 저항(R), 면저항( $\Omega$ /sq.), 비저항( $\Omega$ ·cm)이며, 면저항의 측정범위는 1 m $\Omega$ /sq. ~ 1 G $\Omega$ /sq.이다.

## 3. 결과 및 고찰

모든 측정기들의 성능은 측정의 정확도도 중요하지만 측정기의 반복성, 안정도, 재현성, 직선성 등의 특성이 우수해야 한다. 따라서 개발된 면저항 측정기의 성능 평가를 위해 국가측정표준으로부터 저항의 소급성이 유지된 분할저항기(decade resistor, model: ESI DB62, 불확도: 0.005 %)를 사용하여 저항(R)기능을 평가하였다. 반복성, 안정도 및 재현성 평가는 면저항 측정기 probe의 4단자와 분할저항기의 4단자에 연결한 후 측정을 반복하여 특성을 확인하였으며, 그 결과 0.1 %이하의 정확도를 나타냈다. 또한 측정 정확도는 국가 측정표준의 소급성이 유지된 면저항 표준기준물을 이용하여 특성을 확인하였으며, 그 결과 0.2 %이하의 측정 불확도를 나타냈다. 직선성 평가는 표준저항과 분할저항기를 이용하여 1 m $\Omega$  ~ 200 M $\Omega$ 의 범위까지 저항을 변화시켜 지시값을 확인하였으며, 그 결과 그림 2처럼 0.1 %이하의 불확도를 갖는 직선성을 나타냈다. 또한 측정기의 범위별 면저항 측정값과 측정 불확도는 표 1에 나타냈으며, 측정기의 불확도는 0.3 %이하로서 외국산(0.5 %이하)에 비해 성능이 우수한 것으로 평가되었다.

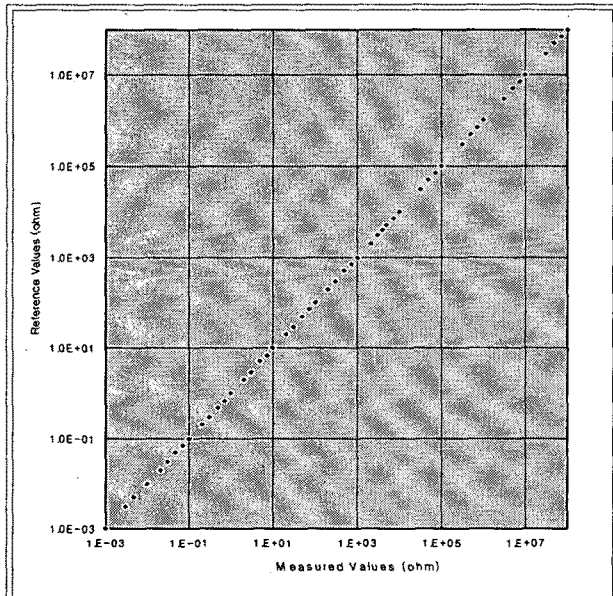


그림 2. 개발된 면저항 측정기의 직선성

표 1. 측정기의 범위별 면저항 측정값과 측정불확도

면저항 표준기준물	측정값	측정불확도(k=2)
10.070 $\Omega$ /sq.	10.07 $\Omega$ /sq.	0.2 %
103.5 $\Omega$ /sq.	103.5 $\Omega$ /sq.	0.2 %
9.995 k $\Omega$ /sq.	9.993 k $\Omega$ /sq.	0.2 %
99.96 k $\Omega$ /sq.	99.94 k $\Omega$ /sq.	0.2 %
0.9975 M $\Omega$ /sq.	0.9975 M $\Omega$ /sq.	0.2 %
10.014 M $\Omega$ /sq.	10.01 M $\Omega$ /sq.	0.2 %
128.1 M $\Omega$ /sq.	130.0 M $\Omega$ /sq.	0.3 %
1.035 G $\Omega$ /sq.	1.037 G $\Omega$ /sq.	0.5 %

개발된 면저항 측정기를 사용하여 면저항 인증표준 물질의 가장자리 효과를 평가한 결과 그림 3과 같이 나타났으며, single configuration 기술이 가장자리효과가 크게 나타남을 알 수 있다.

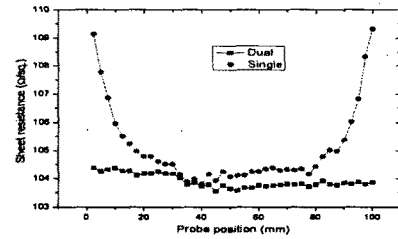


그림 3. Single & dual configuration의 가장자리 효과

## 4. 결론

박막재료의 면저항을 누구나 쉽고 정확하게 측정할 수 있는 면저항 측정기를 개발하였다. 측정기능은 저항(R), 면저항( $\Omega$ /sq.), 비저항( $\Omega$ ·cm)이며, 면저항의 측정범위는 1 m $\Omega$ /sq. ~ 1 G $\Omega$ /sq.으로 동종 외국산에 비해 측정범위가 넓고 정확도가 좋다. 측정기의 안정도, 반복성, 재현성 및 직선성의 성능은 0.1 % 이하이며, 측정 정확도는 0.3 %이하로서 성능이 우수한 것으로 평가되어 면저항 측정기 수요에 대한 보급과 수입 대체효과가 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] F.M. SMITS, Measurement of Sheet Resistivities with the Four-Point Probe. 1957
- [2] ASTM F84. Test Method for Measuring Resistivity of Silicon Wafers with an In-Line Four-Point Probe.
- [3] Masato YAMASHITA, "Resistivity Measurement by Dual-Configuration Four-Point Probe Method". The Japan Society of Applied Physics, Vol.42, No. 2A, pp 695-699, Feb., 2003.
- [4] ASTM F1529-97, "Standard Test Method for Sheet Resistance Uniformity Evaluation by In-Line Four-Point Probe with the Dual-Configuration Procedure", 1997.