

**반도체 웨이퍼 면저항 측정기의 설계제작**

강전홍, 김한준, 한상옥\*, 김종석\*\*, 류제천\*\*\*  
 한국표준과학연구원, 충남대학교\*, 한밭대학교\*\*, (주)KMC\*\*\*

**A Design and Manufacture on Sheet Resistance Measure Instrument of Semiconductor Wafers**

Jeon Hong Kang, Han Jun Kim, Sang Ok Han\*, Jong Suk Kim\*\*, Je Cheon Ryu\*\*\*  
 KRISS, ChungNam Univ.\*, HanBat Univ.\*\*

**Abstract** - Four Point Probe 방법을 이용한 반도체 wafer의 면저항 측정을 위하여 single configuration 기술을 적용한 회로를 설계 제작하였으며, 제작된 FPP장치의 면저항 측정범위는 10-3000 Ω/sq.이고 측정의 정확도는 약 0.5 %이하이다.

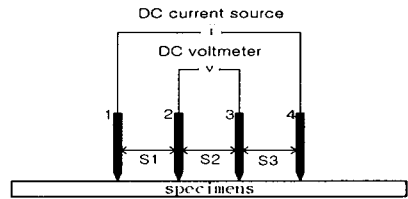


그림 1. FPP (Four-Point Probe)

**1. 서 론**

Four-Point Probe(이하 FPP)방법은 일반적으로 반도체 웨이퍼나 박막재료 등의 비저항(ρ) 및 면저항(R<sub>s</sub>)을 측정하는데 주로 사용된다. 비저항 및 면저항은 반도체 생산 공정의 모든 설계에 있어서 중요한 물성이므로 정확한 측정이 요구되며, 특히 박막 증착과 불순물 주입 및 확산공정에 따른 박막의 두께(t)와 저항(R)을 측정하는 일은 매우 중요하다. FPP 측정방법은 반도체 wafer의 국부적인 면저항 측정이 용이하고, 전체 면에 대한 면저항 균일도 측정에도 널리 적용된다. 그리고 silicon 기판위에 입혀진 확산층, 에피택셜층, 이온 주입층, 화학 증착층 등의 특성을 평가하는데 사용되며, 반도체 소자 제조에 사용되는 실리콘 결정, 각종 금속박막, GaAs 웨이퍼, TFT LCD공정, 반도체 생산라인의 metallization 공정 등에서 많이 사용되고 있다. 오늘날 반도체 산업이 급속도로 발전함에 따라 이에 관련한 산업체 및 대학 등에서 FPP 측정 장비의 사용빈도는 점점 증가하는 추세에 있다. 또한, 측정 장비는 주로 수입 장비(정확도: 1.0 %)들이 사용되고 있으나 고가이므로 비교적 저가이면서 높은 정확도의 장비들이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 사용이 간편하고 기존의 제품들에 비해 훨씬 저가이며, 측정 정확도는 범용으로 사용되는 외국장비에 비해 크게 향상된 0.5 %의 측정 시스템을 설계 제작하였다.

**2. 본 론**

**2.1 Four Point Probe Method**

**2.1.1 Single configuration 기술**

Valdes에 의해 개발된 FPP 방법은 반도체의 비저항, 특히 박막의 면저항을 측정하는데 가장 널리 사용되는 방법이며, 그림 1에서처럼 동일선상에 놓인 4개의 텅스텐 probe pin을 적절한 힘으로 시료(specimens)의 표면에 접촉시켜 저항을 측정한다. 현재 사용되고 있는 FPP 측정 장치는 대부분 single configuration 기술을 적용하고 있으며, 이 방법은 바깥쪽 probe의 양단에 전류(I)를 공급하고 안쪽 probe 양단에서 전압(V)을 측정하여 저항을 계산하는 기술이다[1].

**2.1.2 벌크 시료의 비저항(ρ) 측정**

FPP 방법을 이용한 비저항 측정은 무한한 부피를 가지고 있는 벌크 시료가 있다고 가정할 때 비저항은 다음의 식(1)로 나타낸다[1].

$$\rho = 2\pi \left( \frac{V}{I} \right) \left( \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_2+S_3} - \frac{1}{S_1+S_2} \right) \Omega \text{cm} \quad (1)$$

여기서, probe의 간격(S)이 S1= S2 = S3 = S라고 가정하면 비저항(ρ)은 다음 식(2)로 정리된다.

$$\rho = 2\pi S \left( \frac{V}{I} \right) \Omega \text{cm} \quad (2)$$

**2.1.3. 유한 두께와 직경을 갖는 시료(slices, layers)의 비저항(ρ) 측정**

Slices(wafers)와 layers(확산층, 에피택셜층, 이온주입층 및 박막 등)시료의 비저항 측정은 probe pin 간격, 시료의 크기, 두께, 형상 및 측정위치에 따라 측정값에 영향을 주기 때문에 이를 보정한 C.F.(Correction Factor)를 고려해야 한다. 따라서 어느 정도 유한한 두께와 직경을 갖는 시료의 비저항은 다음 식(3)으로 나타낼 수 있으며, 여기서 R<sub>s</sub>는 면저항(sheet resistance), t는 시료의 두께이다.

$$\rho = 4.532 \left( \frac{V}{I} \right) C.F. \cdot t (\Omega \text{cm}) = R_s \cdot t (\Omega \text{cm}) \quad (3)$$

그리고 유한 두께를 갖는 시료의 두께(t)와 probe pin 간격(S)에 따른 C.F.는 표 1과 같다[2].

표 1. 시료의 두께(t)와 probe pin 간격에 따른 C.F.

t/S	C.F.
1.0	0.9215
0.6	0.9916
0.5	0.9974
0.4	0.9995
0.3	1.0000

2.1.4 FPP 방법에 의한 면저항( $R_s$ )의 측정

면저항 측정에 사용되는 probe pin 간격은 1 mm, 1.59 mm 를 주로 사용하며, probe pin 간격에 비해 시료의 크기가 어느 정도 유한하다고 가정하면 식(3)에서 면저항(sheet resistance,  $R_s$ )은 식(4)로 나타낼 수 있다. 이 식에서 C.F.는 시료의 크기, 두께, 형상과 probe pin 간격에 따른 보정요소로서 이들 요소들은 측정값에 영향을 미치게 되므로 반드시 보정해 주어야 한다.

따라서 이들 보정 요소와 관련한 면저항  $R_s = K_a \times R_a$  과 같이 나타낼 수 있으며,  $K_a$ 는 시료에 대한 보정인자로서  $K_a = F(D/S) \times F(t/S) \times F_{sp}$ 이다. 여기서,  $F(D/S)$ : probe pin 간격에 대한 시료의 직경보정인자,  $F(t/S)$ : probe pin 간격에 대한 시료의 두께 보정인자,  $F_{sp}$ : probe pin 간격에 대한 보정인자들이며  $R_a$ 는 그림 1에서  $R_a = \frac{V_{23}}{I_{14}}$ 이다. 따라서 probe pin 간격에 대한 시료의 직경보정인자  $F(D/S)$ 가 고려되었을 때 표 1을 적용하여 면저항( $R_s$ )을 계산한다[2].

$$R_s = 4.532 \frac{V}{I} C.F. \Omega/\square \quad (4)$$

2.1.4.1 원형시료와 C.F.

그림 2는 원형시료에 대한 FPP의 측정모형을 나타냈으며, probe pin 간격(S)과 직경(d)에 따른 C.F.를 표 2에 나타냈다.

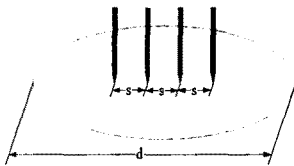


그림 2. 원형시료와 FPP

표 2. 원형시료의 probe pin 간격(S)과 직경(d)에 대한 C.F.

d/S	C.F.
3.0	2.2662
4.0	2.9289
5.0	3.3625
7.5	3.9273
10	4.1716
20	4.4364
30	4.4892
40	4.5076
∞	4.5324

2.1.4.2 사각형시료와 C.F.

그림 3은 사각형 시료와 FPP의 관계를 나타냈으며, probe의 pin 간격(S)과 시료의 크기에 따른 C.F.를 표 3에 나타냈다.

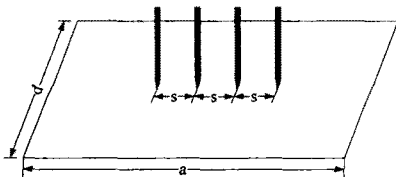


그림 3. 사각형 시료와 FPP

표 3. 사각형 시료의 probe pin 간격(S)과 크기에 대한 C.F.

d/S	a/d = 1	a/d = 2	a/d = 3	a/d ≥ 4
1.0			0.9988	0.9994
1.25			1.2467	1.2248
1.3		1.4788	1.4893	1.4893
1.75		1.7196	1.7238	1.7238
2.0		1.9454	1.9475	1.9475
2.5		2.3532	2.3541	2.3541
3.0	2.4575	2.7000	2.7005	2.7005
4.0	3.1137	3.2246	3.2248	3.2248
5.0	3.5098	3.5749	3.5750	3.5750
7.5	4.0095	4.0361	4.0362	4.0362
10.0	4.2209	4.2357	4.2357	4.2357
15.0	4.3882	4.3947	4.3947	4.3947
20.0	4.4516	4.4553	4.4553	4.4553
40.0	4.5120	4.5129	4.5129	4.5129
∞	4.5324	4.5324	4.5325	4.5321

2.2 회로의 설계 및 제작

회로의 설계 및 제작은 그림 4와 같이 FPP head부, 전원부, 회로의 구동부, 연산장치, 표시장치 등으로 구성하였다. 또한 고성능의 부품을 사용하여 main board 1장에 회로를 구현하고 측정 및 구동이 가능하도록 하였으며, 이에 따라 성능은 향상되고 제작비용은 감소하는 효과가 나타났다.

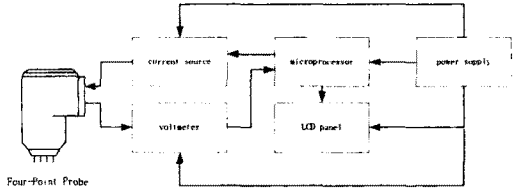


그림 4. 회로의 구성도

2.3 성능평가

2.3.1 FPP 측정기의 안정도와 직선성 평가

제작된 FPP 측정기의 전류원은 10 μA, 100 μA, 1 mA, 10 mA, 100 mA 등 다섯 범위로 설계하여 측정회로를 구성하였으며, 각각의 전류범위에 대한 출력전류의 안정도를 평가한 결과 0.1 % 이하로 나타났다. 안정도 평가는 교정된 decade resistor (ESI DB62, 불확도: 0.01 %)와 DMM(digital multimeter)(Wavetek 1281, DCI 불확도: 0.01 %)를 사용하였다. 측정은 FPP 측정기를 그림 5와 같이 연결하여 각 출력전류 범위에서 적절한 저항을 단계적으로 변화시켜 DMM에 지시되는 전류를 읽어 측정된 전류로부터 안정도를 평가하였다.

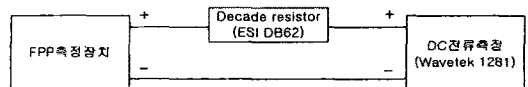


그림 5. FPP 측정기의 안정도와 직선성평가 연결도

또한, FPP 측정기의 직선성 평가는 decade resistor의 두 단자에 FPP 측정기의 측정 probe로 연결되는 4 wire를 4단자 방식으로 연결한 후 적절한 저항을 단계적으로 변화시켜 FPP 측정기에서 표시되는 저항(R)값을 읽어 측정된 저항값으로부터 직선성을 확인하였다.

직선성의 평가결과는 전체범위에서 약 0.1 %로 나타났으며, 100 μA 범위에서 평가한 결과를 대표적으로

그림 6에 나타났다.

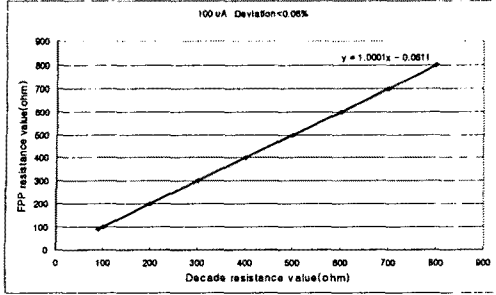


그림 6. 100  $\mu$  출력전류 범위에서의 직선성

### 2.3.2. FPP 측정기기의 재현성 평가 및 사용범위

이미 표준과학연구원에서 개발된 면저항 인증표준물질(CRM: Certified Reference Material)을 기준값으로 하여 각 측정범위에서 10 회씩 반복 측정한 결과 약 0.1 %이하의 뛰어난 성능을 나타냈으며, 사용범위는 10~3000  $\Omega$ /sq이다.

### 2.4 제작된 FPP측정기와 성능

설계 제작된 FPP측정기와 표시장치를 그림 7,8에 나타냈다.

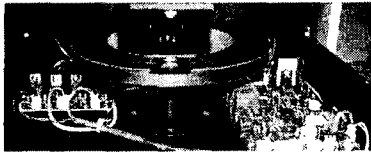


그림 7. 제작된 FPP측정기

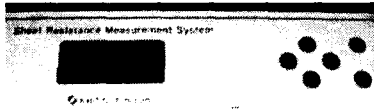


그림 8. 면저항 측정 표시장치

또한, 국가표준으로부터 소급성이 유지된 면저항 인증표준물질을 기준값으로 하여 제작된 FPP측정기로 면저항을 측정한 결과 면저항(10~3000  $\Omega$ /sq)범위에서 표준편차는 최대 0.07 %, 기준값과의 차이: 최대 0.5 %, 측정 불확도: 최대 0.5 %, ( $k=2$ )로 나타났으며, 그 결과를 표 5에 나타냈다[3].

표 5. FPP측정기의 성능평가 결과

Reference value ( $\Omega$ /sq)	10.040	103.30	204.30	1006.4	3204.5
10회 측정된 평균값	10.049	103.47	203.67	1004.2	3188.4
표준편차(%)	0.02	0.03	0.05	0.03	0.07
Error(%)	0.09	0.16	-0.31	0.22	-0.50
확장불확도( $k=2$ )	0.30	0.40	0.40	0.50	0.50

## 3. 결 론

면저항 측정기는 일반적으로 FPP(Four Point Probe)방법에 의한 접촉식 측정기와 와전류에 방법에 의한 비접촉식 측정기가 있다. 측정의 정확도는 FPP방법이 비접촉식 방법보다 3배 이상 좋은 것으로 알려지고 있으며 현재 보급되고 있는 면저항 측정기의 정확도는 외국장비의 경우 0.5 %~1.0 %범위로서 대부분 고가이다. 이에 비하

여 본 연구에서 설계 제작된 FPP측정기의 재현성과 직선성은 약 0.1 %이하이며, 표준값으로부터 평가된 측정정확도는 0.5 %이하로서 외국장비에 비해 우수한 성능을 나타냈으며, 제작비용도 약 30 %이상 낮출 수 있을 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 고가의 외국장비에 대한 수입대체효과와 국내 반도체 산업 및 관련분야의 발전에 기여할 수 있을 것으로 보여진다. 또한 본 연구에서의 내용을 기반으로 고저항 영역에서의 면저항 측정기 개발을 검토하고 있으며, 이러한 면저항 측정기의 성능을 평가할 수 있는 광대역(0.001  $\Omega$ /sq ~ 1 G $\Omega$ /sq)의 면저항 인증표준물질 개발을 진행하고 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] ASTM F84. Test Method for Measuring Resistivity of Silicon Wafers with an In-Line Four-Point Probe.
- [2] J. R. Ehrstein and M. C. Croarkin, NIST Special Publication 260-131, 1999Ed.
- [3] European cooperation for Accreditation, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", Publication Reference EA-4/02, December, 1999.