

4탐침 측정기술이 비저항 측정 정밀 정확도에 미치는 영향

강전홍, 유광민, 김한준, 한상옥*, 김종석**

한국표준과학연구원, 충남대학교*, 한밭대학교**

The Effects of the Four Point Probe Measurement Technique on the Precision and Accuracy in Electrical Resistivity Measurements.

Jeon Hong Kang, Kwang Min Yu, Han Jun Kim, Sang Ok Han*, and Jong Suk Kim**

KRISS, Chungnam Univ.*, Hanbat Univ.**

Abstract

반도체 웨이퍼 및 각종 박막의 면/비저항(sheet/resistivity resistance)의 측정에 비교적 간단히 측정할 수 있고 측정정확도가 높은 4탐침(four-point probe)방법이 널리 사용되고 있다. 또한 4탐침 측정방법은 높은 분해능의 contour map작성과 ion implantation의 doping accuracy 및 doping uniformity의 측정에도 사용된다. 최근 재료의 소형, 박막화 경향으로 볼 때 정확한 비저항 측정의 필요성이 요구되고 있으며 이에 따라 4탐침 측정기술인 single 및 dual configuration method로 실리콘 웨이퍼에 대한 비저항의 측정 정확도를 고찰한 결과 dual configuration 측정방법이 single configuration 측정 방법에 비하여 정밀 정확도가 더 좋은 것으로 고찰되었다.

Key Words : Four-point probe, 비저항, 면저항, silicon wafer, single configuration, dual configuration

1. 서론

반도체 산업이 급속도로 발전하면서 반도체 소자의 생산공정에 필수적인 실리콘 웨이퍼의 면/비저항 측정에 대한 중요성이 대두되고 있다. 또한 측정의 정밀 정확도에 따라서 생산 수율이 크게 증가 또는 감소할 수 있으므로 경제적인 측면에서도 매우 중요하게 취급된다. 따라서 측정장비 또한 점차 정확도가 높은 성능의 장비들이 보급되고 있으며 이들 장비는 대부분 4탐침(Four Point Probe) 측정방법에 의한 측정 시스템으로 구성되어 있다. 반도체 소자의 용도에 따른 저항범위는 생산공정에 따라 각각 다르므로 범위별 측정의 중요도가 높게 인식되고 있으며, 이는 반도체 생산라인에 직접적인 영향을 미치게 되므로 측정 시스템의 정밀 정확도를 지속적으로 유지 및 향상시켜야 한다. 일반적으로 4탐침 측정방법에 의한 측정 시스템은 표준기준물(CRM: Certificate Reference Material)로서 성능을 검증 및 유지하고 있다. 현재 KRISS

의 경우는 미국 NIST의 실리콘 웨이퍼 6종을 CRM으로 보유하고 있으며 상호 비교측정을 통하여 측정 시스템의 성능을 유지 및 향상시키고 있다. 또한 국내의 산업체에서 보유 및 사용하고 있는 CRM에 대하여 원하는 시기에 CRM 인증이 가능하므로 업체의 많은 호응을 얻고 있다. KRISS의 면/비저항 시스템은 2000년도에 측정 시스템을 개발하여 운용하고 있으며 시스템의 정밀 정확도는 0.1 %를 유지하고 있다. 또한 국내의 반도체 관련 업체를 대상으로 순회측정을 실시하여 보유장비의 신뢰성과 측정 정확도를 확인하는 절차를 2차례에 걸쳐 실시하였으며 측정 정확도에 대한 인식을 새롭게 다지고 있다. 순회 측정결과 대부분 1.0 %이하에서 측정의 일치도를 보이고 있으며 0.5 %이하의 측정능력을 보유하고 있는 것으로 나타나 비교적 반도체 웨이퍼의 면/비저항 측정능력이 양호함을 확인할 수 있었다. 향후 순회측정평가를 통하여 측정능력을 향상시키고 시스템의 성능을 확인하는 절차를 지속적으로 추진할 계획이다. 현재 국내의

반도체 관련기관에서 사용하고 있는 반도체 웨이퍼의 면/비저항 측정 시스템 대부분이 single 및 dual configuration method에 의한 측정방법을 적용하여 사용하고 있으나 측정방식에 따른 정밀 정확도에 대한 성능의 구분 및 불확도에 대한 평가가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구는 single 및 dual configuration 측정방식에 따른 정밀 정확도를 확인 및 검증하여 측정의 정확도를 향상시키고자 하였다.

2. 측정 시스템 및 기술

본 연구에 사용된 측정시스템은 KRISS에서 2000년도에 개발하여 국내 반도체 업체들의 보유 CRM 웨이퍼에 대한 면/비저항 인증을 실시하고 있으며, 2003년 현재는 반도체 웨이퍼의 면저항 CRM 6종을 개발하여 보급하는 과제가 진행 중에 있다. 또한 2004년도에는 CRM 보급이 가능할 것으로 추정되어 그 동안 고가에도 불구하고 수입에 의존해왔던 부분을 저가의 가격으로 국내수요의 일정부분을 해결할 수 있을 것으로 보인다. 그림 1은 KRISS에서 개발된 측정 시스템을 나타냈으며 이 시스템은 외부 노이즈에 의한 영향을 줄일 수 있도록 noise chamber를 설계 제작하여 내부에 probe station을 장착시키고 4탐침을 상하로 자유롭게 조절할 수 있는 조작부와 측정장비인 정전류원(정확도 0.01%), digital voltmeter(정확도 0.01%) 그리고 single 및 dual configuration method를 간단히 적용할 수 있는 스위칭 박스, chamber 내부 온도를 21.0℃~25.0℃범위에서 사용온도 ±0.1℃이하로 조절할 수 있는 온도 조절장치를 장착하여 시스템을 구성하였다. 또한 측정은 웨이퍼의 특성에 따라 전류원의 범위를 결정한 후 공급하여 DVM으로 측정전압을 읽어 계산하는 방식으로 이루어지며 측정결과는 컴퓨터와 interfacing하여 계산되도록 하였으며 측정전압이 10 mV범위에서 측정될 때 정밀 정확도를 높일 수 있다[1].

측정방식은 single 및 dual configuration method의 두 방식[1][2]을 채택하도록 설계되었으며 그 측정기술을 그림 2에 나타냈다.

그 동안 4탐침 방법에 의한 single configuration 기술은 probe spacing을 정확히 측정하여야 하는 어려움 때문에 KRISS 측정시스템의 측정불확도가 0.4%수준이었다.

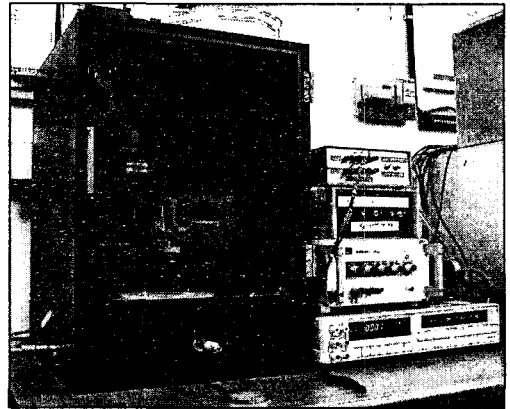


그림 1. 측정 시스템.

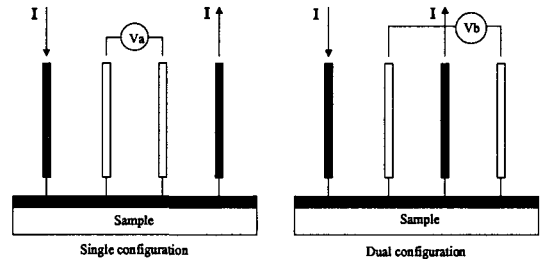


그림 2. Measurement technique.

그러나 현재는 probe spacing 변화나 가장자리 영향이 자동적으로 보상되는 dual configuration 기술을 적용하여 측정불확도를 0.1%이하에서 유지하고 있으며 측정의 정확도를 향상시키고 있다. Single 및 dual configuration method에 의한 면/비저항의 계산은 다음 식으로 표현되며 single configuration method의 산출수식은 면저항 $R_s = k_a R_a$ 이다. 또한 비저항(ρ)은 면저항(R_s)과 웨이퍼 두께(t)의 곱이며, 비저항 ρ 는 다음과 같이 정의되어 있다[3, 4].

$$\rho = (V/I) \cdot t \cdot F_2(D) \cdot F(t/S) \cdot F_{SP} \cdot F_T$$
 이다. 여기서 R_s 는 면저항, k_a 는 기하학적인 보정인자로서 상기 비저항식에서 t 는 웨이퍼 두께의 보정인자, $F_2(D)$ 는 직경 보정인자, $F(t/S)$ 는 probe 간격에 대한 두께 보정인자, F_{SP} 는 probe 간격에 대한 보정인자, F_T 는 측정 온도에 대한 보정인자이다. 또한 R_a 는 저항 측정값으로서 그림 2에서

$R_a = V_d/I$ 이다. Dual configuration method의 면저항 산출수식은 $R_s = k_a R_a$ 이며, 그림 2에서 $R_b = V_d/I$ 이다. 여기서 R_a 의 값과 R_b 값의 크기는 비슷하며, 직경이 크고 probe spacing이 같은 경우에 R_d/R_b 는 1.262이다. 그리고 probe spacing이 웨이퍼의 직경과 평행할 때 기하학적인 보정인자 k_a 는 다음과 같이 정의된다[1, 4].

$$k_a = -14.696 + 25.173(R_d/R_b) - 7.872(R_d/R_b)^2$$

이며, $1.20 \leq R_d/R_b \leq 1.32$ 이다.

또한 웨이퍼의 가장자리 효과에 의한 영향은 probe tip들이 원형 웨이퍼의 가장자리로부터 약 5S(S: probe spacing)이상이면 가장자리 효과는 dual configuration method의 경우에는 약 0.1 %, single configuration method의 경우에는 3 %의 정확도를 갖는다[3].

3. 측정결과 및 분석

자체 개발한 반도체 웨이퍼 면/비저항 측정시스템에 의해 single 및 dual configuration method의 정밀 정확도를 NIST의 표준시편을 대상으로 비교 평가한 결과 single configuration method의 경우 최대 0.59 %, dual configuration method의 경우에는 약 0.2 %이하의 측정편차를 보이고 있으며 표 1에 나타났다. 이 결과로서 알 수 있는 것처럼 dual configuration 측정기술이 측정의 정밀 정확도를 좋게 할 수 있는 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과는 웨이퍼의 가장자리 효과와 측정할 때 probe spacing 변화 및 probe 진동에 의한 측정불확도의 영향이 없기 때문으로 분석된다.

표 1. 측정기술에 따른 결과

Average value($\Omega \cdot \text{cm}$)			NIST값과 비교(%)	
NIST	single	dual	single	dual
불확도	불확도	불확도		
1.0041	1.0084	1.0059	0.43	0.18
0.35 %	0.65 %	0.32 %		
10.425	10.484	10.424		
0.16 %	0.62 %	0.14 %	0.56	0.01
95.36	95.93	95.49	0.59	0.13
0.15 %	0.62 %	0.16 %		
200.57	201.50	200.65		
0.23 %	0.93 %	0.25 %	0.46	0.04

표 1은 NIST CRM wafer의 불확도를 기준으로 KRISS에서 측정한 single 및 dual configuration 방법에 의한 측정불확도 및 측정편차를 나타냈다. 대부분 dual configuration 방법에 의한 측정결과가 NIST CRM[4]의 불확도 범위 내에서 일치하고 있으며 0.2 %이하의 범위에 분포하고 있다.

4. 결론

반도체 웨이퍼의 4탐침 방법에 의한 측정기술은 일반적으로 single 및 dual configuration method에 의하여 측정되고 있으나 본 연구에서 비교 측정한 결과 single configuration method에 비하여 dual configuration method에 의한 측정의 정확도가 더 좋은 것으로 나타났다. 또한 이 측정방법은 probe spacing과 시편에 대한 가장자리의 영향이 없기 때문에 시편의 면/비저항의 균일도 평가나 plant 산업의 현장에서 기존의 측정방식에 비하여 보다 쉽고 비파괴적으로 평가하는 데에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 KRISS에서는 이러한 4탐침 방법에 의한 측정기술을 적용하여 측정의 정확도를 유지 및 향상시키고 산업체의 기술지원을 물론 향후 순수한 국내의 기술로 생산된 CRM 재료를 이용하여 반도체 웨이퍼의 면/비저항 CRM을 개발 및 보급하고자 한다.

참고 문헌

- [1] ASTM F84
- [2] ASTM F1529
- [3] D.S. Perloff, etc., Solid State Tech., 24(2), pp 112-120 (1981)
- [4] J. R. Ehrstein and M. C. Croarkin, NIST Special Publication 260-131, 1999 Ed.