

반도체 및 금속의 면저항, 비저항 측정시스템의 자동화

류제천, \*김동진, 강전홍, 김규태, 송양섭, 유광민  
한국표준과학연구원, \*\* : 부산대학교 물리학과

The automatic measurement system of sheet resistance and resistivity of semiconductor and metals

Je Cheon Ryu, \*Dong Jin Kim, Jeong Hong Kang, Kyu-Tae Kim, Yang Sup, Kwang Min Yu  
Korea Res. Inst. of Sci. and Stand., \*\* : Physics Dept. of Pusan Nati. Univ.

**Abstract** - We were made the automatic measurement system of sheet resistance and resistivity of semiconductor and metals with accuracy. The use of this system measured SRM(Standard Reference Materials) silicon wafers which calibrated by NIST. From this result, this system operated with the standard deviation within maximum  $\pm 1\%$  error.

1. 서 론

각종 전기재료의 저항값을 측정하여 많은 유용한 정보를 얻을 수 있다. 특히 공정중의 실리콘 웨이퍼와 implanted 박막에서는 면저항을 측정하여 doping profile을 결정<sup>[1]</sup>할 수가 있으며, 금속에서는 비저항 값으로부터 전기전도도를 환산하여 금속의 열처리특성, 경화, 풀림, 시효경화등과 같은 물리적 특성을 결정하는데 널리 사용된다. 또한 최근에는 화력발전소 로터의 수명평가에도 연구가 진행되고 있다<sup>[2]</sup>. 이러한 특성으로 인해 현재 저항을 측정할 수 있는 많은 장비가 시판되어 활용되고 있다. 그러나 이러한 기존 장비를 이용하여 정밀측정시에는 각각 단점이 있다. 첫째, 반도체 공정에 널리 사용되는 면저항 측정시스템은 측정부분들이 모두 하나의 시스템으로 구성되어 있어, 측정시 시스템의 측정불확도를 줄일수가 없다는 것이다. 즉 기존 장비는 측정프루브, 전류원, 전압미터등이 모두 하나의 모듈화가 되어 표준시편을 이용하여 시스템의 불확도를 보정할 수는 있으나 이를 줄일수는 없기에 정밀한 측정을 하기가 힘들다. 또한 implanted 박막의 저항값은 아주 커서 기존의 장치를 이용한 four-point probe method로는 측정이 어렵다. 둘째 금속의 비저항 측정시, 금속은 다양한 형태의 시편이 있다. 이를 특정한 형태의 시편으로 가공을 하기도 힘들며, 하더라도 전기적 특성이 변해버리는 경우가 많다. 이를 위해 금속 시편 그대로 비저항을 측정해야할 필요성이 많이 요구된다. 셋째, 와전류 방식에 의한 금속의 전기전도도 측정시 측정오차의 가장 큰 요인은 프루브와 시료간의 접촉시 발생하는 lift off 효과에 의한 것이다. 이러한 오차를 줄이고 반복적으로 정밀한 측정을 위한 probe station은 정밀측정에서 필수적이라 할 것이다. 본 연구는 이와 같은 이유로 반도체나 금속의 저항(면저항 및 비저항)특성을 정밀하게 측정할 수 있는 시스템을 제작하는 것이다. 이 시스템을 사용하여 저항을 측정할 수 있는 재료는 각종 금속을 비롯하여 반도체 및 박막재료이다. 특히 기존에 측정이 어려웠던 implanted 박막도 측정할 수가 있다. 또한 측정치구만을 교체함으로써 재료의 형상에 구애받지 않고 다양한 형상의 재료도 측정이 가능하게 되었다.

본 연구에서 제작한 저항 측정 자동화 시스템은 3차원 이송 스테이션 및 다양한 측정 프루브, 부착치구, 두께

측정기, 정밀급 저항 측정기기(전류원, 전압미터등)로 구성되어 있다. 그러므로 측정기기의 정확도만 고정하므로써 측정결과의 불확도를 작게 하여 정밀측정을 할 수 있게 되었다.

2. 본 론

2.1 측정원리

Four-point probe에 의한 비저항 측정원리는 그림 1과 같다. 그림 1에서 바깥쪽 두 개의 probe를 통하여 일정한 전류를 흘려주고 안쪽 두 probe의 전위차를 측정하여 비저항을 계산한다<sup>[1]</sup>.

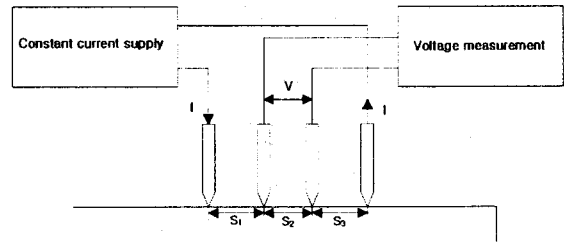


그림 1. Four-point probe법에 의한 면저항 측정원리

이때 측정시료가 무한직경, 무한 두께를 가지는 bulk의 형태의 금속일 경우 비저항은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho = 2\pi S \frac{V}{I} (\Omega \cdot cm) : \text{Bulk specimens}$$

$$S = S_1 = S_2 = S_3 \quad (\text{두 probe편 사이의 거리}) \quad (1)$$

또한 측정시료가 유한두께, 유한직경을 가지는 시편인 slices(wafers)나 layers(and ion implanted layers and thin films)와 같은 경우의 면저항은 식 (2)와 같이 표현된다<sup>[1]</sup>. 식(2)에서 C.F는 시료

$$R_S = 4.532 \frac{V}{I} \cdot CF (\Omega/\square) : \text{wafers} \quad (2)$$

크기와 probe 간격간의 비에 대한 보정계수이다. 이때 정밀한 측정을 위하여 주의해야 할 점은 프루브와 시료간의 접촉저항, 측정기기의 정확도, 전체 시스템의 shield 처리에 의한 잡음대책 등이다.

2.2 측정시스템

본 측정시스템의 구성도는 그림 2와 같다. 측정자동화를 위하여 컴퓨터의 motion control board를 이용하여

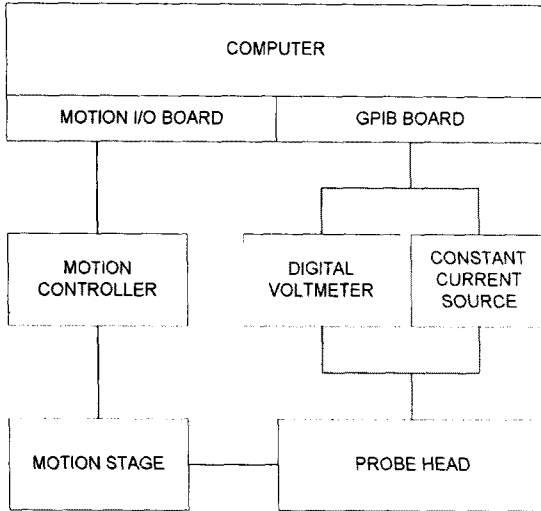


그림 2 측정시스템 구성 개략도

스테이션의 위치제어를 하고, 동시에 GPIB board로 시료의 저항값을 측정하였다. Motion station 부의 구동축은 볼스크류 방식을 채택하였다. 구동기기는 VEXTA사의 stepping motor를 사용하였으며, x-,z-축은 a-step 모터를 사용하였고, y-축은 magnet brake 부착 모터를 사용하였다. 선정기준은 각 축의 정밀도 및 이송하중을 고려하였다. 각 축의 정밀도는 식 (3)으로 계산하였다.

$$\text{필요분해능 } \theta_s = \frac{360^\circ \times \text{요구분해능}(\Delta l)}{\text{BALL SCREW의 PITCH}(P_B)} \quad (3)$$

x-,z-축의 분해능은 0.4 μm, y-축의 분해능은 0.04 μm 까지 이론적으로 가능하나 볼 스크류 구동방식상 1 μm 까지를 분해능의 한계로 제한하였다. Motion control board는 National Instrument 사의 PCI 7344를 사용하였다. NI사의 motion controller는 step/servo 모터 4축 제어용으로 모터의 구동방식에 제한받지 않고 다양하게 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다.

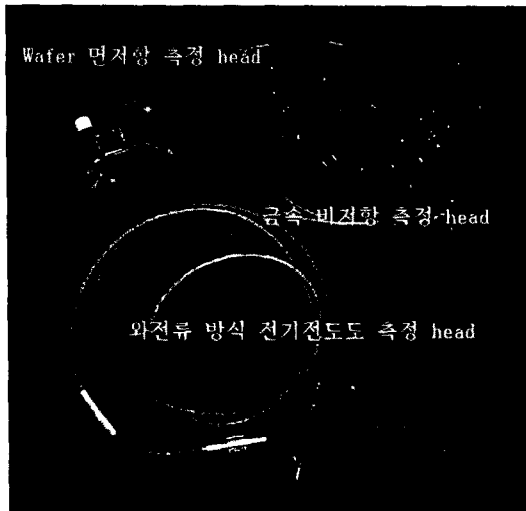


그림 3 각종 재료의 저항 측정용 프루브 head



그림 4 연구실에 설치된 저항 측정자동화 시스템

측정시 시료표면에 접촉하는 probe head는 반도체 웨이퍼용, 금속용으로 구분하였다. 반도체 웨이퍼용 probe head는 TENCOR사의 head(PROMETRIX TYPE B), 금속용은 본 연구실에서 직접 제작하였다(그림 3의 우측상단). 와전류 방식용 프루브 헤드는 Sigmatest D사의 제품을 사용하였다. 이와 같이 제작한 저항 측정 자동화 시스템의 전체적인 개략도는 그림 4와 같다. 중앙사각 박스 내에 스테이션과 모터 콘트롤 박스가 있으며, 그 우측에 반도체 면저항 측정용 기기(정전류원, 전압미터)와 금속저항 측정용 기기등이 있다.

### 2.3. 측정결과

본 기기의 성능을 확인하기 위해 NIST(National Institute of Standards & Technology)에서 제작한 4 inch 실리콘 웨이퍼 SRM(Standard Reference Material)중 일반적으로 공정에서 사용되는 웨이퍼 비저항(resistivity)의 상·하한값인 100 ohm.cm 와 0.01 ohm.cm를 선택하여 가장자리에서부터 1 mm 간격으로 면저항을 측정하여 SRM data sheet와 비교하였다.

첫째, 비저항 값이 100 ohm.cm 인 시료의 면저항 측정결과는 그림 5와 같다. Data sheet에 기재된 값은 23°C에서 중심의 면저항이 1527±1.8 ohms/sq 이다. 측정결과는 그림 5와 같이 edge 효과에 의해 전체적으로 2

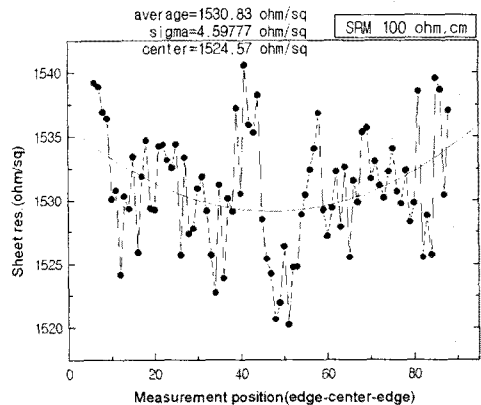


그림 5 SRM-100 ohm.cm를 측정한 결과

차 포물선 형태를 나타낸다. 이는 식 (2)의 C.F (Correction Factor)를 고려해주으로써 보정할 수 있다. 그리고 중심에서의 측정값은  $1524.57 \pm 4.5978$  ohm/sq 로써 SRM data sheet 기재된 값과 오차범위에서 잘 일치함을 알 수 있다. 그리고 편차도  $\pm 0.5\%$  이내에서 안정된 값을 나타내었다. 두 번째로 비저항 값이 0.01 ohm.cm 인 시료의 면저항 측정결과는 그림 6 과 같다. Data sheet에 기재된 값은 23°C에서 중심의 면저항이  $0.16508 \pm 0.00020$  ohms/sq 이다. 그림 5와 마찬가지로 edge 효과에 의해 전체적으로 2차 포물선 형태를 나타내므로 C.F로 보정해 주어야 한다. 그리고 중심에서의 측정값은  $0.16361 \pm 0.00159$  ohms/sq 로 오차범위에서 data sheet 와 잘 일치하였다. 그러나 편차가  $\pm 1\%$ 로 앞 결과보다 크게 나왔다. 이는 저저항에서 흘려주는 전류가 100 mA로 앞서 100 ohm.cm에서 1 mA를 흘려줄 때 보다 훨씬 작은 측정전압에 따른 노이즈 전압의 효과가 크게 나타난 것으로 보인다. 이는 시스템 전체의 차폐에 따른 실드로 전체적인 불확도를 낮출 수 있을 것이다.

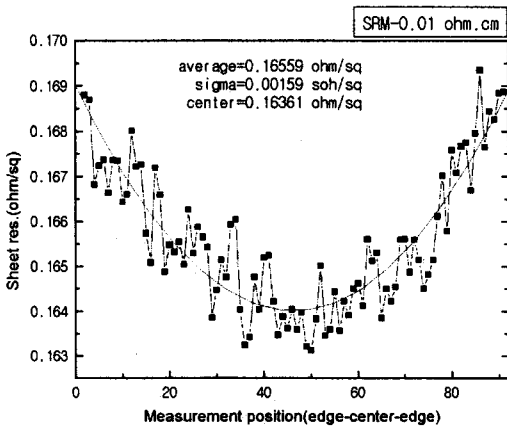


그림 6 SRM-0.01 ohm.cm를 측정된 결과

### 3. 결 론

본 연구실에서 실리콘 웨이퍼, 금속등의 전기저항을 정밀하게 측정하며, 와전류 방식의 전기전도도 측정을 안정적으로 할 수 있는 자동화 측정시스템을 제작하였다. 본 시스템을 이용하여 SRM 웨이퍼중에서 비저항이 상.하한 값인 100, 0.01 ohm.cm 두 개를 선택하여 면저항을 측정후 비교한 결과 오차 범위내에서 SRM data sheet와 서로 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 이로써 본 기기로 실리콘 웨이퍼 면저항을 정밀하게 측정할 수 있을뿐만 아니라, 차후 노이즈 대책만 보완되면 CRM (Certified Reference Material)교정을 할 수 있을 것이며, 또한 앞으로 LCD 기판과 같은 고저항 박막의 면저항도 정밀측정하기 위한 연구가 진행될 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] David S. Peloff, Frederick E. Wahl, and James Conragan, " Four - Point Sheet Resistance Measurements Of Semiconductor Doping Uniformity", J.Electrochem. Soc., Vol 124, No.4, P582, April 1977
- [2] 남승훈, 김임기, 유광민, "전기비저항을 이용한 1Cr-1Mo-0.25V 강의 인성열화의 비파괴적 평가", 대한기계학회 논문집 A권, 제22권, 제5호, pp814-820, 1998