

Full auto 4-Point probe system

2013. 12

Hae Ra Kang

UNIST Central Research Facilities (UCRF)



★ 4-Point probe system “표면 저항 측정기”

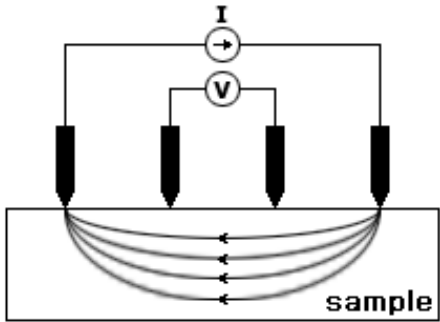


모델명 : CMT-SR2000N
 제조사 : (주)에이아이티
www.fpp.co.kr

1. 표면저항측정범위 : 1 mohm/sq ~ 2 Mohm/sq
2. 측정가능 단위 : ohm, ohm/sq, ohm.cm(두께입력)
3. 전류원 : 10nA ~ 100mA
4. 전압계 : 0 ~ 2,000mV
5. 오차율(정밀저항) : ± 0.5 % 이하
6. 오차율(표준시편) : ± 1.0 % 이하
7. 4탐침 규격 : 1.59mm 간격 / 200g 압력 / 100um (JANDEL社 제품)
8. 운영 프로그램 : 윈도우(비스타)버전/장비 원격제어/데이터분석/원형 및 사각샘플 지원
9. 프로그램 기능 : ASTM, SEMI 기본패턴 및 사용자 디자인 가능/측정결과의 2D, 3D구현
10. 최대측정가능시편 : 200mm 웨이퍼 또는 140X140mm 사각시편
11. Stage 디자인 : 3, 6, 8" wafer 및 125X125mm 사각시편의 centering 기능.

※ 주의사항

1. Probe tip 과 sample chuck 과의 distance 를 확실히 숙지하고, 4mm 이상의 sample 로딩을 금지한다.
2. Probe tip 이 오염 될 수 있는 Metal particle 및 powder, 깨지기 쉬운 sample 의 사용은 금지한다.
3. Contact Measurement 가 이루어 지는 면적을 잘 맞추어 바닥에 Probe tip 이 Contact 되지 않게 한다.



$$R_s = 4.53 \text{ V/I (ohm/sq)}$$

$$\rho = R_s t \quad (\text{ohm}\cdot\text{cm})$$

조건 : 1. 박막 및 sample의 두께가 탐침거리 보다 작을 것.
2. sample의 크기가 탐침거리에 40배 이상일 것.

1. 면저항 (ohm/sq = Ω/\square = Sheet resistance)이란?

면저항은 단위 ohm/sq로 표시된다. 여기서 sq는 \square 로도 표시되며, 미터법(cm^2 등)이 아닌 별도의 단위로서, 무한대의 면적으로 해석하는 것이 일반적이다. 선저항은 두개의 probe로 임의의 거리에 대한 저항을 측정하지만, 면저항의 경우에는 동일한 간격의 4개탐침으로 측정하게 된다. 이때 쓰이는 Probe가 4 point probe이고, 일반적으로 탐침은 1mm간격으로 일렬구성된 probe를 사용하며, 4개의 탐침으로 전류와 전압을 측정하여, 저항값을 구한 후, 면저항 단위인 ohm/sq로 계산하기 위해 보정계수(C.F)를 적용한다. 면저항 값은 Wafer, LCD, 태양전지(Solar cell), 연료전지, OLED 등의 벌크 및 박막의 전도성을 검사하기 위하여 쓰인다.

$$V/I = \text{ohm}$$

$$\text{ohm} \times \text{C.F} = \text{ohm/sq}$$

2. 비저항(ohm·cm)이란?

비저항은 물질의 고유저항으로서 순수물질의 경우에는 그 비저항값이 알려져 있지만, 혼합물의 경우 여러 가지 방법에 의하여 구할 수 있다. 4 point probe방식의 면저항측정기를 이용할 경우 박막의 두께를 알고 있어야 하고, 다음식으로 구할 수 있다.

$$\text{ohm/sq} \times \text{Thickness(cm)} = \text{ohm}\cdot\text{cm}$$

3. 금속의 박막두께측정도 가능한가?

금속의 박막두께를 측정하는 데에는 여러가지 방식이 있지만, 면저항값(ohm/sq)을 이용한 금속박막두께 계산법은 위의 비저항(ohm·cm)값을 이용하는 것인데, 이는 이미 비저항값을 알고 있는 순도 높은 재료일 경우에 가능하다.

$$\text{Thickness(cm)} = \text{ohm}\cdot\text{cm} \div \text{ohm/sq}$$

4. 보정계수(Correction Factor)란?

면저항값을 계산하기 위해서는 4 point probe로 측정한 저항값(ohm)에 보정계수를 적용해야한다. 보정계수는 Sample size와 박막의 두께, 그리고 측정 시 온도까지 3가지 계수를 이용하여 산출된다. Sample size 계수는 40mm이상의 직경의 Sample일 경우 4.532이고, 박막두께계수는 박막두께가 약400um이하 일 때 1이며, 온도는 Sample의 온도계수에 따라 약간의 변화가 있지만 약23°C일 때 1에 가깝다. 이 조건으로 보정계수를 계산하여 보면 다음과 같다. 물론 위 조건에 적합하지 않을 경우에는 그에 해당하는 적절한 보정계수를 적용해야 하며, CMT시리즈는 S/W를 이용하여 적절한 보정계수를 적용할 수 있다.

$$\begin{aligned} C.F &= cf1 \times cf2 \times cf3 \\ 4.532 &= 4.532 \times 1 \times 1 \end{aligned}$$

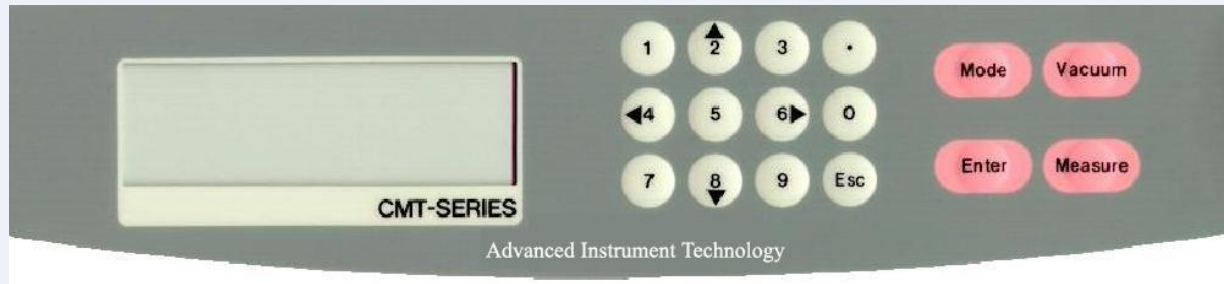
5. 4 Point Probe Head는?

Four point probe Head는 4 point probe, 4탐침 등의 이름으로 불리우며, 탐침이 4개가 달린 면저항측정용으로 사용하는 probe를 일컫는 말이다. 보통은 1mm간격이며, 일렬(Linear type)로 탐침을 정렬시킨 것을 이용한다. 이외에는 탐침을 정방형으로 나열시킨 Squire type의 Hall probe와 고온까지 견딜 수 있도록 특수제작 된 고온용Probe가 있다. 세계적으로 영국 JANDEL(잔델)社의 Probe Head가 타사 제품에 비해 고가지만, 내구성과 안정성 및 정확성에 있어서 인정받고 있다.

6. 절연체 고저항 측정은?

여기서 절연체라 함은 대전방지소재 및 플라스틱 가공물 등의 저항값이 10^7 ohm/sq 이상 되는 Sample을 의미한다. 10^7 ohm/sq 이상의 고저항은 높은 전압을 이용하기 때문에 4 point probe 방식으로는 측정이 힘들어, 보통은 rail type 이나 2 probe방식 또는 Circle type의 Probe를 이용한다. 4 Point probe system과 같이 표면저항측정기라 불리기도하지만 고저항 측정기라고도 불린다.

3. keyboard 사용 설명



- "1" Key** : 각종 숫자를 입력할 때 쓰이며(0~9 까지 동일), 그 외 전원이 켜져 있을 때 누르면 Z 축을 Down 시키는 역할. 이 키를 이용해서 Z 축이 약간이라도 내려와 있는 상태라면 다른 키를 이용하여 X, 축을 이동 시키지 못하며 측정 역시 불가능하다.
- "2" Key** : 숫자기능 외에 Z축을 Home Position 쪽으로 이동시키는 역할. 누르고 있는 동안에만 작동한다.
- "3" Key** : 숫자기능 외에 Z 축을 위로 올리는 역할. "1"Key를 눌러서 내려와있는 Z 축을 다시 올릴 때 사용한다.
- "4" Key** : 숫자기능 외에 sample stage 를 오른쪽(시계방향)으로 회전시키는 역할. 누르고 있는 동안에만 작동한다.
- "5" Key** : 숫자기능 외에 Z 축과 Sample Stage를 Home Position으로 이동 시키는 역할. (수동으로 이동시키며, 측정을 하고 난 뒤, 이 키를 이용해서 Z 축을 Home Position 위치로 보내면, Stage 위의 Sample을 Handling 하기 편리하다.) 한번만 누르는 것으로 이동한다.
- "6" Key** : 숫자기능 외에 sample stage 를 왼쪽(시계 반대방향)으로 회전시키는 역할. 누르고 있는 동안에만 작동한다.
- "7" Key** : 숫자기능 외에 Manual 측정 Mode 일 때 Range 를 내리는 역할. 한번 누를 때 마다 Range가 한 단계씩 내려간다.

3. keyboard 사용 설명



"8" Key : 숫자기능 외에 Z 축을 앞으로 이동시키는 역할. 누르고 있는 동안만 작동한다.

"9" Key : 숫자기능 외에 Manual 측정 Mode 일 때 Range 를 올리는 역할. 한번 누를 때 마다 Range 가 한 단계씩 올라간다.

"Esc" Key : 이전 Mode 로 되돌아 갈 때와 숫자입력을 취소할 때 사용. 숫자 입력 시, 이 키를 이용하면, 먼저 입력되어 있는 값을 유지한다.

"Mode" Key : 여러 가지 측정환경을 설정하기 위한 Menu를 이용 할 때 사용한다.
(4.측정환경 설정 방법 참조)

"Vacuum" Key : Sample 의 이동을 방지하기 위해 Stage 위에 sample을 고정시키는 역할.

"Enter" Key : 숫자입력 후 측정환경으로 적용시키는 역할.
(반대로 숫자입력 후 적용시키고 싶지 않을 때는 "Esc" Key를 눌러 기존의 값을 유지한다)

"Measure" Key : 사용자가 Sample을 Stage위에 올려 놓은 뒤 Probe를 측정위치로 이동 시키고 누르면, 측정!

4. 측정 방법

- * 장비 뒷면의 전원 스위치의 "I" 을 누르면 전원이 인가되며 장비 전면의 액정화면에 Fig. 1 과 같이 표시되며, 장비가 초기화 된다.
- * 초기화 후 약 5 초간 현재 장비의 설정되어 있는 내용을 Fig. 2와 같이 보여준 후 Fig. 3과 같이 측정 준비 상태가 된다.



Fig. 1

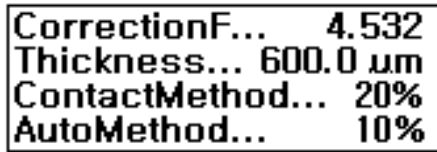


Fig. 2

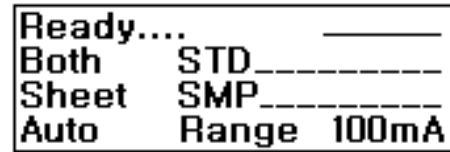


Fig. 3

- * 측정하고자 하는 Wafer 를 stage 의 중앙에 위치시키고, Vacuum 을 사용한다면 Vacuum key 를 눌러서 Wafer를 stage에 고정시킨다. Measure Key를 눌러서 측정을 하면 Probe 가 Wafer 와 접촉을 하게 되고, LCD 창에는 Fig. 4 와 같은 메시지를 보여준다. 측정이 끝나게 되면 LCD 화면에 Fig. 5와 같이 측정결과를 보여준다.

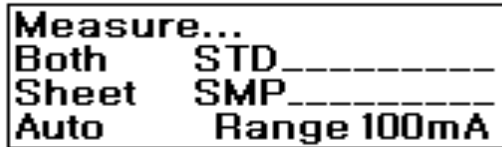


Fig. 4

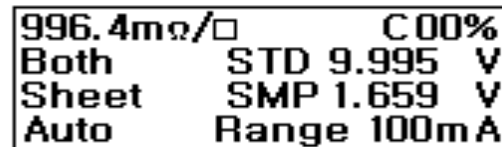


Fig. 5

- * Wafer 의 다른 부분을 측정하기 위해서는 ▲▼◀▶ key를 이용해서 측정위치를 이동시킨 후 Measure Key 를 누르면, 다시 반복하여 측정한다.

4. 측정 방법

* 장비 뒷면의 전원 스위치의 "I" 을 누르면 전원이 인가되며 장비 전면의 액정화면에 Fig. 1 과 같이 표시되며, 장비가 초기화 된다. 초기화 후 약 5 초간 현재 장비의 설정되어 있는 내용을 Fig. 2와 같이 보여준 후 Fig. 3과 같이 측정 준비 상태가 된다.



Fig. 1



Fig. 2

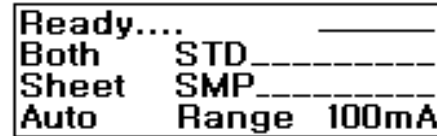


Fig. 3

* 측정하고자 하는 Wafer 를 stage 의 중앙에 위치시키고, Vacuum 을 사용한다면 Vacuum key 를 눌러서 Wafer를 stage에 고정시킨다. Measure Key를 눌러서 측정을 하면 Probe 가 Wafer 와 접촉을 하게 되고, LCD 창에는 Fig. 4 와 같은 메시지를 보여준다. 측정이 끝나게 되면 LCD 화면에 Fig. 5와 같이 측정결과를 보여준다.

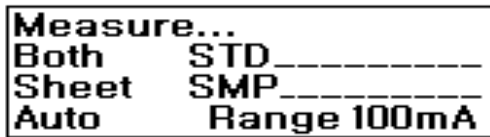


Fig. 4

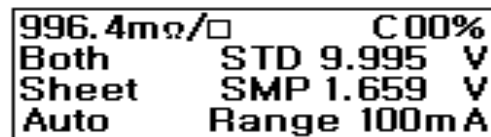


Fig. 5

* Wafer 의 다른 부분을 측정하기 위해서는 ▲▼◀▶ key를 이용해서 측정위치를 이동시킨 후 Measure Key 를 누르면, 다시 반복하여 측정한다.

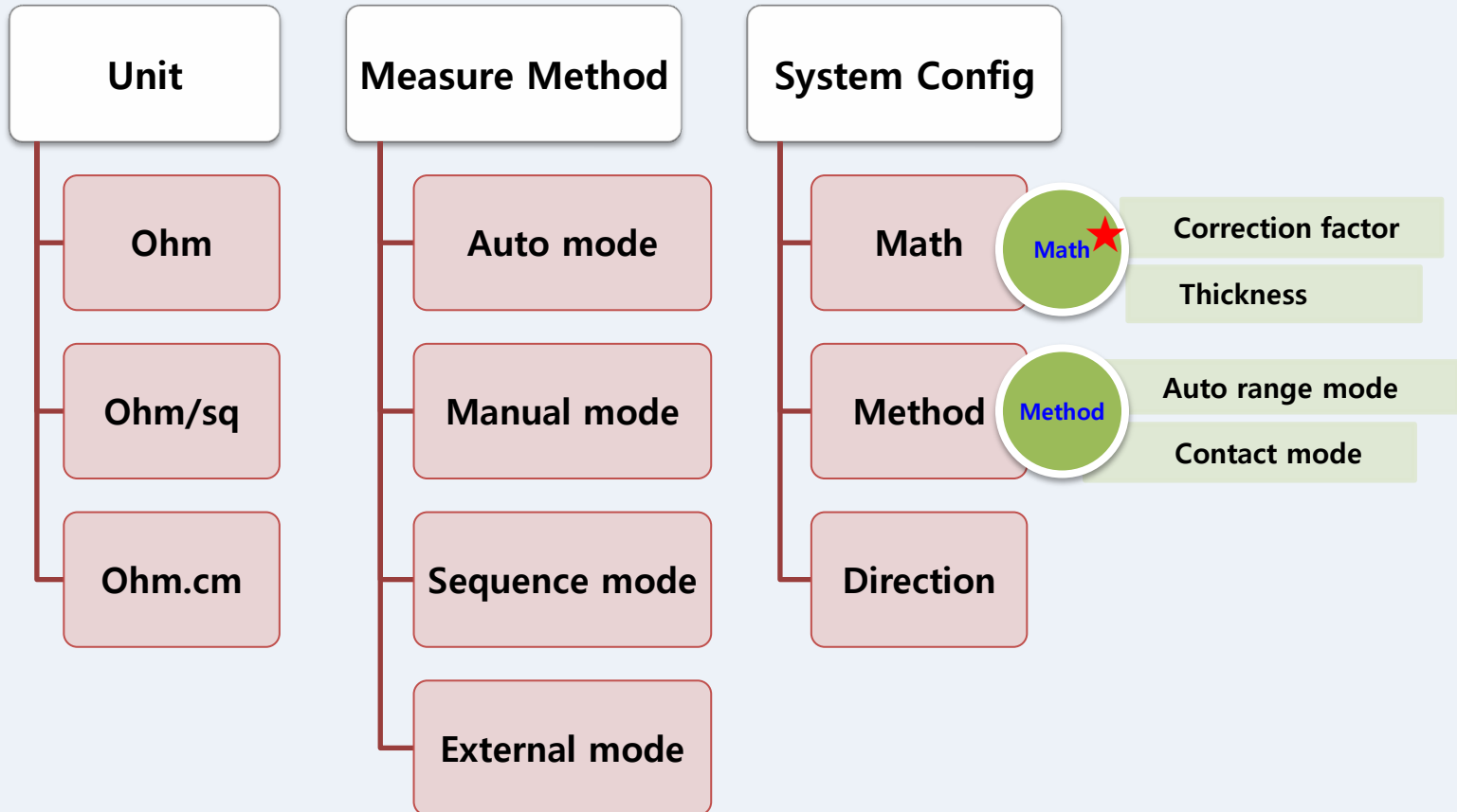
측정 결과 보기 ★



996.4 Ω/□	측정된 면저항 값
C00%	접촉 오차율
STD 9.995 V	표준저항에 걸리는 전압
SMP 1.659 V	측정하는 Wafer에 걸리는 전압
Both	측정 시 탐침의 전류 방향성
Auto	측정 방법
Range 100mA	측정 시 사용된 Range

※ Range 는 Auto Mode일 때 10nA, 100nA, 1uA, 10uA, 100uA, 1mA, 10mA, 100mA 중에서 자동으로 선택하며, Manual Mode에서는 사용자가 변경할 수 있음.

* Mode 개략도



5. 측정환경 설정 방법

• Mode key를 누르면 Fig. 6과 같은 message 가 나온다.

[1] Unit

- **Unit Mode** : 측정하고자 하는 측정단위를 설정할 수 있는 Mode. Fig.6 상태에서 1번 키를 누르면 Fig.7과 같이 3 개의 단위가 나오며, 해당 번호를 누르면 선택한 단위로 설정이 변경된다. 단 [3]ohm.cm를 선택하였을 경우에는 박막의 두께 값이 필요하므로 Fig.8 과 같이 두께 값을 입력할 수 있는 화면이 나오고, 알고 있는 두께 값을 μm 단위로 입력 해 주어야 한다. 기본 값은 $600 \mu\text{m}$ 이고 별도로 입력하지 않고 Enter Key 를 누르면 기본값으로 계산한다.

```
Set Menu...
[1] Unit
[2] Measure Method
[3] System Config
```

Fig. 6

```
Set Unit... [2]
[1] Ohm
[2] Ohm/sq
[3] Ohm.Cm
```

Fig. 7

```
Thickness...
Unit : [um]
Def. : 600.0 [600.0]
>_
```

Fig. 8

[2] Measure Method

- **Auto Mode** : 최적의 측정 Range를 선택하여 측정하는 Mode. (LCD 창에 좌측하단에 "Auto" 표시 확인)
- **Manual Mode**: 사용자가 측정 Range를 선택할 수 있고, 7, 9번 키를 이용해서 변경 가능하다.("Auto"확인)
- **Sequence Mode** : 장비의 시험 및 점검 목적으로 사용하는 제조사 전용 mode. (일반 사용자 사용 금지)
- **External Mode** : 장비의 시험 및 점검 목적으로 사용하는 제조사 전용 mode. (일반 사용자 사용 금지)

```
Set Measure... [1]
[1] Auto [2] Manual
[3] Sequence
[4] External
```

Fig. 9

```
Interval Time...
Range : 1,,9999 [sec]
Def. : 3600 [3600]
>_
```

Fig. 10

[3] System Config

1) Math

- **Correction Factor:** Fig. 13과 같이 Correction Factor 를 변경한다. (기본값은 4.532)
- **Thickness:** 시료의 박막 두께 값 변경한다. (Fig. 8 참조)

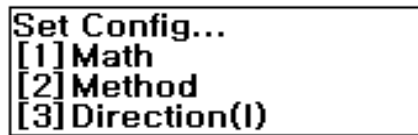


Fig. 11

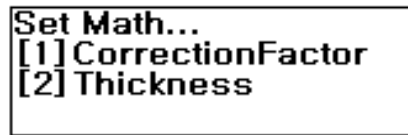


Fig. 12

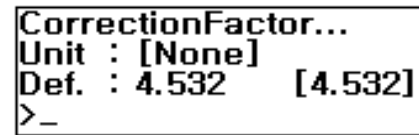


Fig. 13

2) Method

- **Auto Range Mode:** Fig. 15과 같이 1부터 20까지 입력, 자동으로 최적의 측정 Range 를 찾는데 있어서, 그 정밀도를 변경할 수 있다. (기본값은 10%이며, 기본값을 유지토록 권장)
- **Contact Mode:** Fig. 16과 같이 1부터 99까지 입력, Probe와 sample의 접촉 오차율을 설정하는 Mode. 이 수치가 높으면, 측정 Error 율은 낮아지지만, 측정 Data 의 재연성이 낮아질 수 있으며, 수치가 낮으면 정확한 측정값을 얻을 수 있지만, 측정 Error 율이 높아진다. Probe 의 마모 정도나 측정 시료의 거칠기에 따라 변경할 수 있다. (잘 연마된 시료의 경우 20% 권장)



Fig. 14

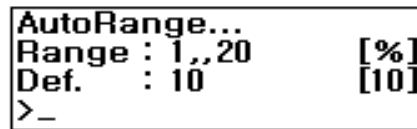


Fig. 15

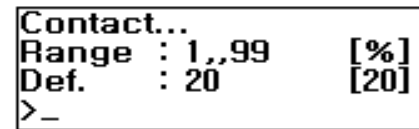


Fig. 16

3) Direction(I)

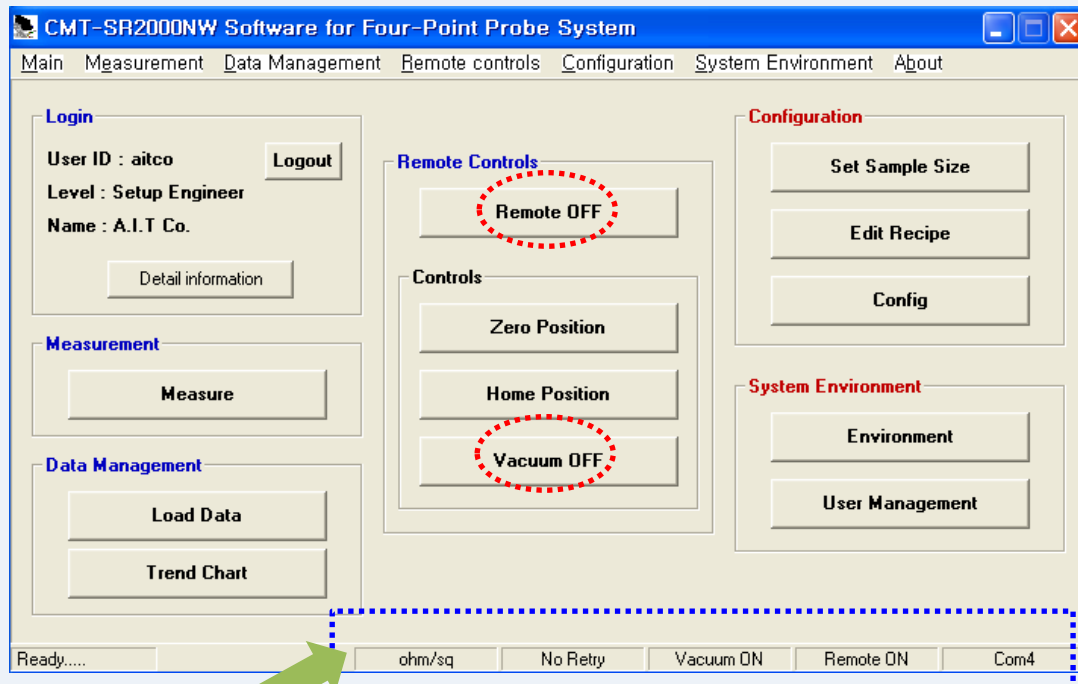
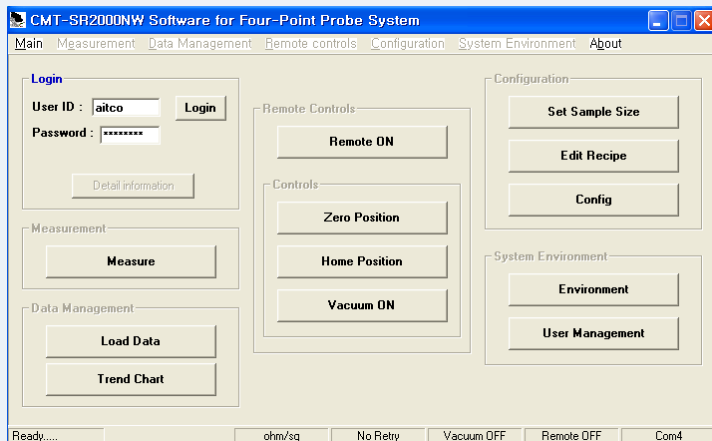
- 4 개의 Probe 탐침 간에 전류를 흘리는 방향성을 선택하는 Mode. 4개의 탐침 중에서 양단에 두 탐침으로 전류를 주고 받지만, Both Mode 일 경우엔 탐침 1번에서 4번으로 또 4번에서 1번으로 변경을 하면서 측정을 하게 된다. "+" mode 일 경우엔 1 번에서 4 번으로만 전류를 흘려서 측정하게 되고, "-" Mode 일 경우엔 4번에서 1번으로만 전류를 흘려 측정하게 된다. 방향성이 없는 Sample 일 경우엔 관계가 없으나 어떤 방향성을 지닌 Sample 이나, 특수한 목적이 아닌 이상은 "Both" Mode로 측정을 권장한다.

6. 프로그램을 이용한 측정방법



1. 바탕화면의 바로가기 클릭

* sr2000nw70 : circle 용, sr2000nwR70 : rectangle 용

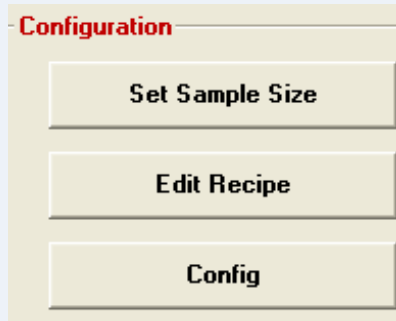


2. User ID : aitco, P/W : 00000000 입력

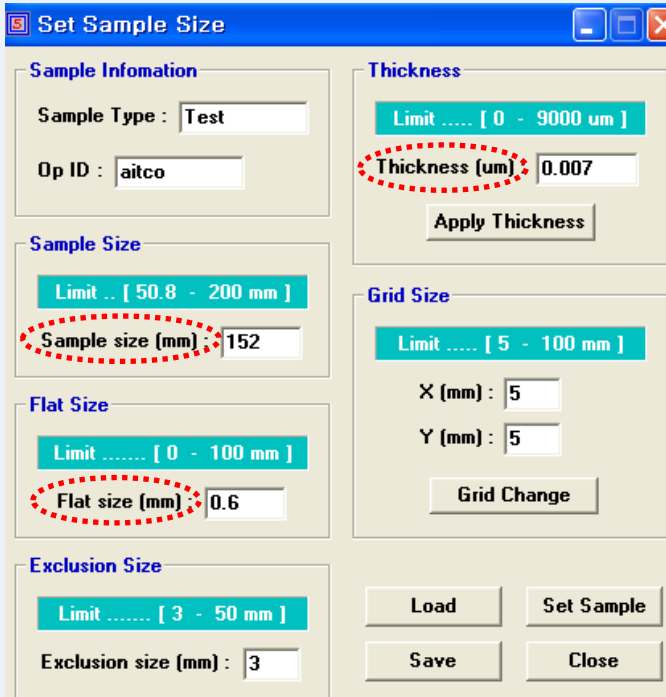
* 로그인 후, Remote ON, Vacuum ON 시킨다. 현재 설정 상태는 여기서 확인할 수 있다.

6. 프로그램을 이용한 측정방법

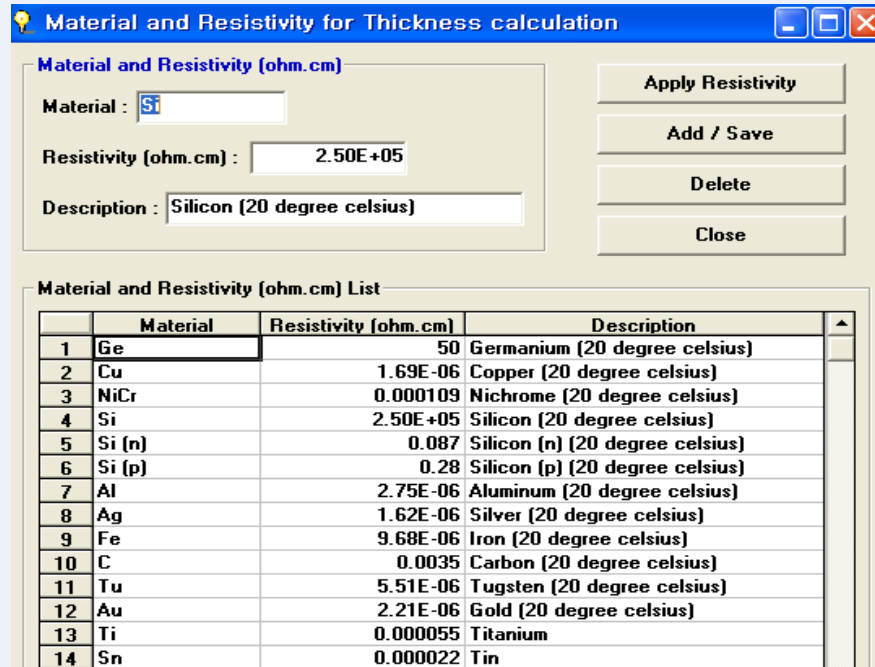
<측정하기 전 recipe 설정>



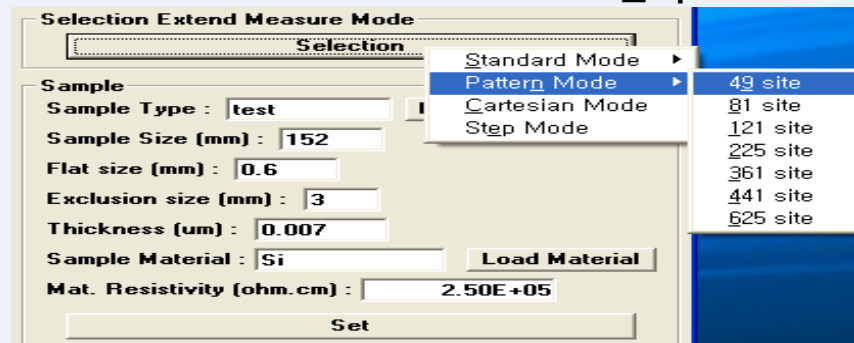
3. Configuration → Set sample size



4. Set sample size → Edit recipe → Load Material 선택

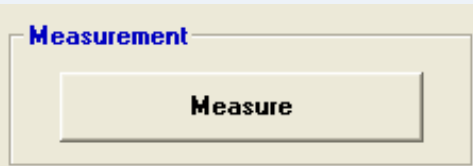


& Selection Extend Measure Mode 선택

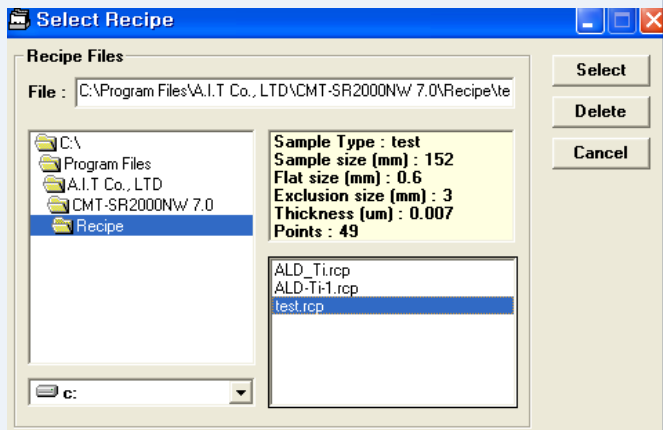
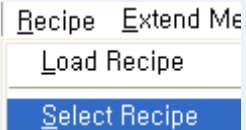


6. 프로그램을 이용한 측정방법

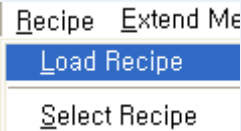
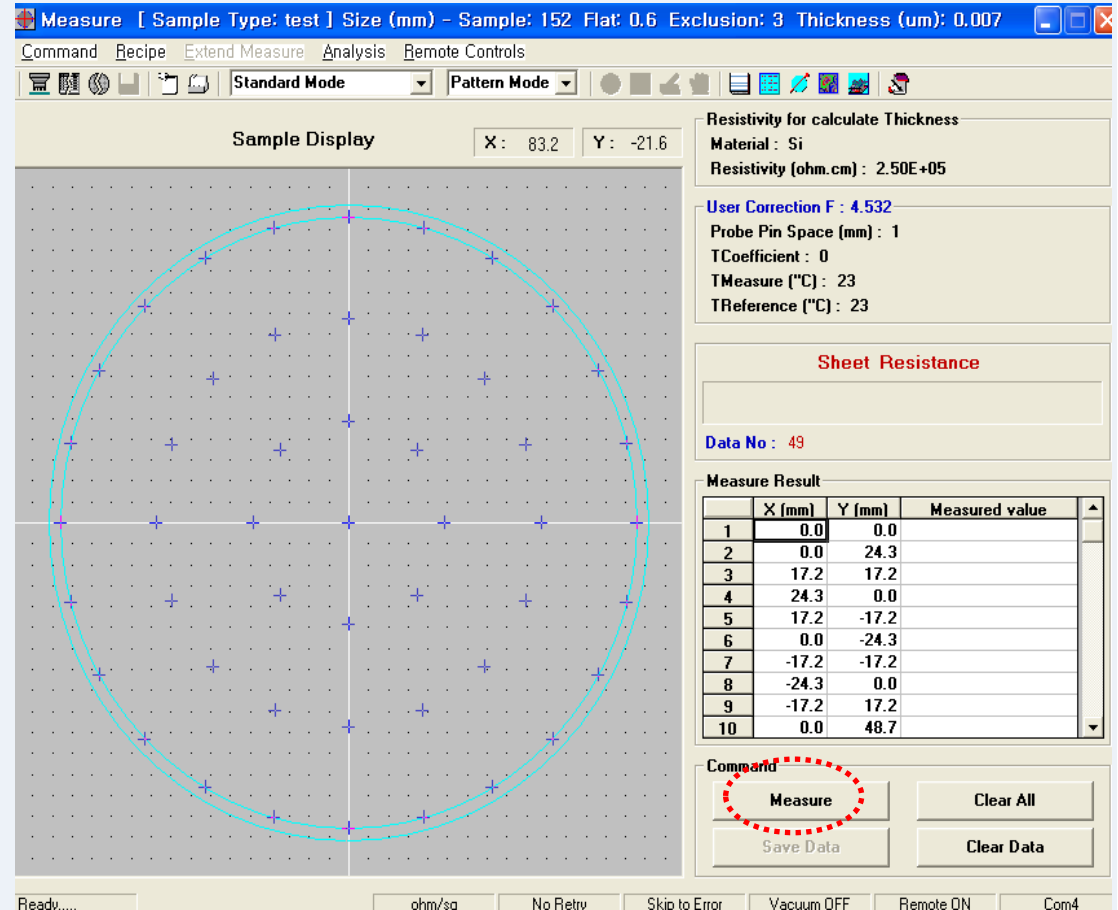
<Measurement>



5. Recipe → Select Recipe



6. Recipe → Road Recipe → Measure

Measure [Sample Type: test] Size (mm) - Sample: 152 Flat: 0.6 Exclusion: 3 Thickness (um): 0.007

Command Recipe Extend Measure Analysis Remote Controls

Standard Mode Pattern Mode

Sample Display X: 83.2 Y: -21.6

Resistivity to calculate Thickness
 Material : Si
 Resistivity (ohm.cm) : 2.50E+05

User Correction F : 4.532
 Probe Pin Space (mm) : 1
 TCoefficient : 0
 TMeasure (°C) : 23
 TReference (°C) : 23

Sheet Resistance

Data No : 49

Measure Result

	X (mm)	Y (mm)	Measured value
1	0.0	0.0	
2	0.0	24.3	
3	17.2	17.2	
4	24.3	0.0	
5	17.2	-17.2	
6	0.0	-24.3	
7	-17.2	-17.2	
8	-24.3	0.0	
9	-17.2	17.2	
10	0.0	48.7	

Command

Measure (circled in red)

Clear All

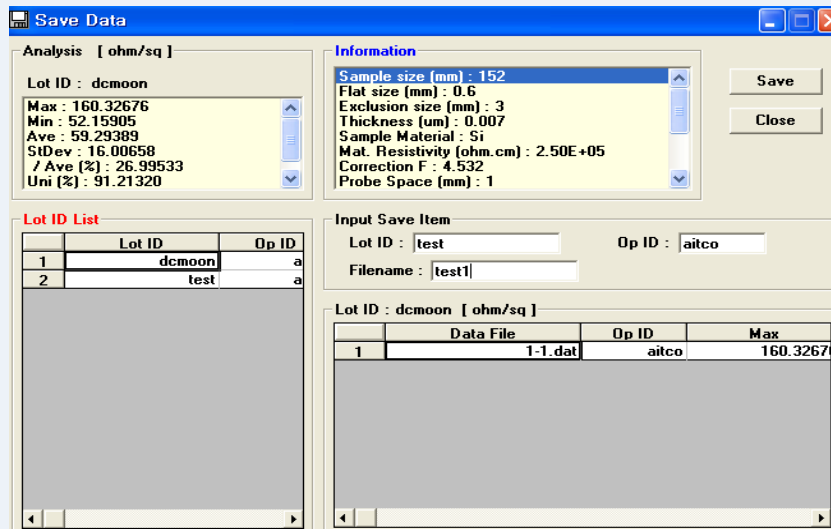
Save Data

Clear Data

Ready..... ohm/5a No Retrv Skio to Error Vacuum OFF Remote ON Com4

6. 프로그램을 이용한 측정방법

7. 측정이 끝나면 Save Data → Save → Main 으로 돌아와서 → Load Data



Save Data

Analysis [ohm/sq]

Lot ID : dcmoon

Max : 160.32676
Min : 52.15905
Ave : 59.29389
StDev : 16.00658
/ Ave [%] : 26.99533
Uni [%] : 91.21320

Information

Sample size (mm) : 152
Flat size (mm) : 0.6
Exclusion size (mm) : 3
Thickness (um) : 0.007
Sample Material : Si
Mat. Resistivity (ohm.cm) : 2.50E+05
Correction F : 4.532
Probe Space (mm) : 1

Input Save Item

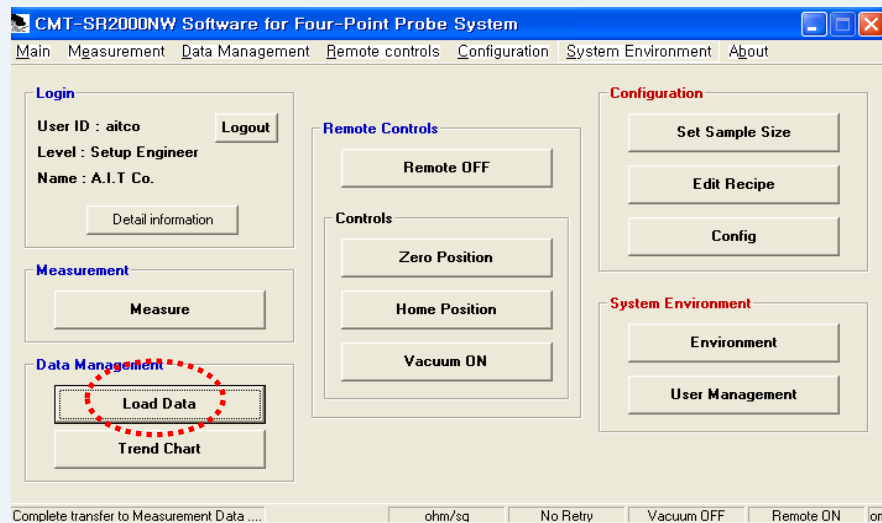
Lot ID : test Op ID : aitco
Filename : test1

Lot ID List

	Lot ID	Op ID
1	dcmoon	a
2	test	a

Lot ID : dcmoon [ohm/sq]

	Data File	Op ID	Max
1	1-1.dat	aitco	160.32676



CMT-SR2000NW Software for Four-Point Probe System

Main Measurement Data Management Remote controls Configuration System Environment About

Login

User ID : aitco Logout
Level : Setup Engineer
Name : A.I.T Co.

Remote Controls

Remote OFF

Controls

Zero Position
Home Position
Vacuum ON

Configuration

Set Sample Size
Edit Recipe
Config

System Environment

Environment
User Management

Measurement

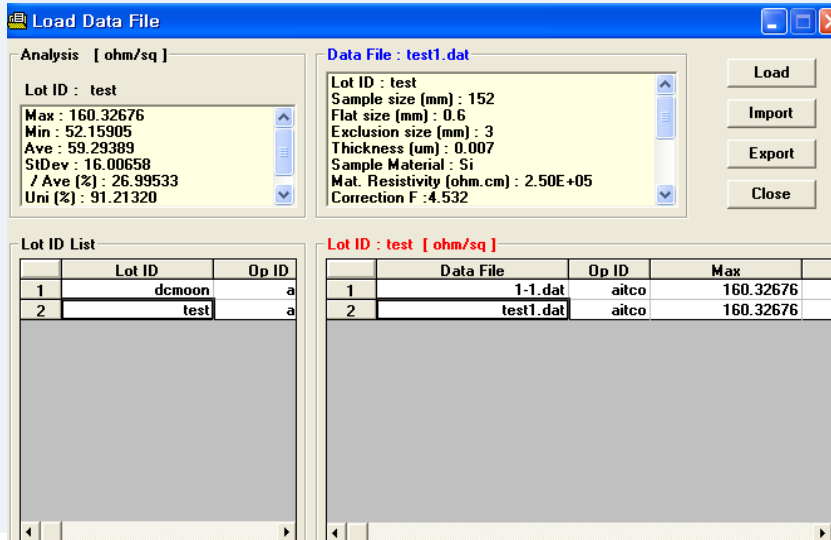
Measure

Data Management

Load Data (circled in red)
Trend Chart

Complete transfer to Measurement Data ... ohm/sq No Retry Vacuum OFF Remote ON on

8. Load Data → Export → View



Load Data File

Analysis [ohm/sq]

Lot ID : test

Max : 160.32676
Min : 52.15905
Ave : 59.29389
StDev : 16.00658
/ Ave [%] : 26.99533
Uni [%] : 91.21320

Data File : test1.dat

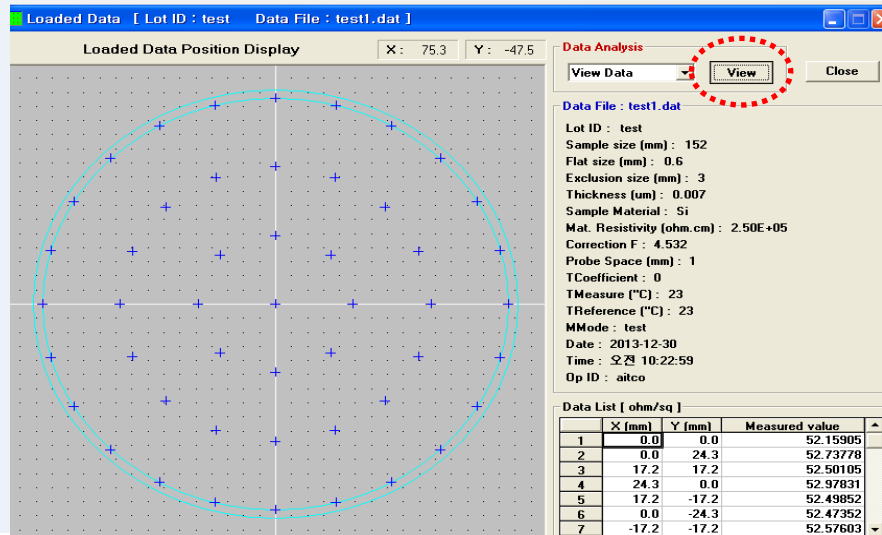
Lot ID : test
Sample size (mm) : 152
Flat size (mm) : 0.6
Exclusion size (mm) : 3
Thickness (um) : 0.007
Sample Material : Si
Mat. Resistivity (ohm.cm) : 2.50E+05
Correction F : 4.532

Lot ID List

	Lot ID	Op ID
1	dcmoon	a
2	test	a

Lot ID : test [ohm/sq]

	Data File	Op ID	Max
1	1-1.dat	aitco	160.32676
2	test1.dat	aitco	160.32676



Loaded Data [Lot ID : test Data File : test1.dat]

Loaded Data Position Display X : 75.3 Y : -47.5

Data Analysis

View Data View (circled in red) Close

Data File : test1.dat

Lot ID : test
Sample size (mm) : 152
Flat size (mm) : 0.6
Exclusion size (mm) : 3
Thickness (um) : 0.007
Sample Material : Si
Mat. Resistivity (ohm.cm) : 2.50E+05
Correction F : 4.532
Probe Space (mm) : 1
TCoefficient : 0
TMeasure (°C) : 23
TReference (°C) : 23
MMode : test
Date : 2013-12-30
Time : 오전 10:22:59
Op ID : aitco

Data List [ohm/sq]

	X (mm)	Y (mm)	Measured value
1	0.0	0.0	52.15905
2	0.0	24.3	52.73778
3	17.2	17.2	52.50105
4	24.3	0.0	52.97831
5	17.2	-17.2	52.49852
6	0.0	-24.3	52.47352
7	-17.2	-17.2	52.57603

6. 프로그램을 이용한 측정방법

9. View → Export → 엑셀 파일 저장 확인

View Data [Lot ID : test Data File : test1.dat]

Data File : test1.dat

Lot ID : test Sample size (mm) : 152
 Flat size (mm) : 0.6 Exclusion size (mm) : 3
 Thickness (um) : 0.007 Sample Material : Si
 Mat. Resistivity (ohm.cm) : 2.50E+05
 Correction F : 4.532 Probe Space (mm) : 1
 TCoefficient : 0 TMeasure ("C) : 23
 TReference ("C) : 23 MMode : test
 Date : 2013-12-30 Time : 오전 10:22:59
 Op ID : aitco

Analysis [ohm/sq] : 3 Sigma=Max : 66.45225 Min : 52.13553
 Max : 64.40860 Min : 52.15905 Ave : 56.99769
 StDev : 4.97687 Uni (%) : 10.74566 Max-Min : 12.24955 (Range)
 / Ave (%) : 8.73171

Data List [ohm/sq]

	X (mm)	Y (mm)	Sheet R (ohm/sq)	Resistivity (ohm.cm)
1	0.0	0.0	52.15905	3.65113E-05
2	0.0	24.3	52.73778	3.69164E-05
3	17.2	17.2	52.50105	3.67507E-05
4	24.3	0.0	52.97831	3.70848E-05
5	17.2	-17.2	52.49852	3.67490E-05
6	0.0	-24.3	52.47352	3.67315E-05
7	-17.2	-17.2	52.57603	3.68032E-05
8	-24.3	0.0	52.67432	3.68720E-05
9	-17.2	17.2	52.50637	3.67545E-05
10	0.0	48.7	52.76178	3.69332E-05
11	18.6	45.0	53.13659	3.71956E-05
12	34.4	34.4	52.63260	3.68428E-05
13	45.0	18.6	52.51697	3.67619E-05
14	48.7	0.0	52.64141	3.68490E-05
15	45.0	-18.6	52.83743	3.69862E-05

test1.xls - Microsoft Excel

1. Lot ID : test
 2. Data File : test1.dat
 3. Sample size (mm) : 152
 4. Flat size (mm) : 0.6
 5. Exclusion size (mm) : 3
 6. Thickness (um) : 0.007
 7. Sample Material : Si
 8. Mat. Resistivity (ohm.cm) : 2.50E+05
 9. Correction F : 4.532
 10. Probe Space (mm) : 1
 11. TCoefficient : 0
 12. TMeasure ("C) : 23
 13. TReference ("C) : 23
 14. MMode : test
 15. Date : 2013-12-30
 16. Time : 오전 10:22:59
 17. Op ID : aitco
 18. Analysis [ohm/sq] : 3 Sigma=Max : 66.45225 Min : 52.13553
 19. 1) Max : 64.40860 2) Min : 52.15905 3) Ave : 56.99769
 20. 4) StDev : 4.97687 5) Uni (%) : 10.74566 6) Max-Min (Range) : 12.24955
 21. StDev/Ave (%) : 8.73171

No	X (mm)	Y (mm)	Sheet R (ohm/sq)	Resistivity (ohm.cm)
1	0.0	0.0	52.15905	3.65113E-05
2	0.0	24.3	52.73778	3.69164E-05
3	17.2	17.2	52.50105	3.67507E-05
4	24.3	0.0	52.97831	3.70848E-05
5	17.2	-17.2	52.49852	3.67490E-05

감사합니다.

문의 : 강해라 (052-217-4167)

haera@unist.ac.kr