

## 박막의 전기적 특성평가를 위한 측정 시스템의 구성 및 자동화

구경완 · 황문수\* · 천희곤\*\*

충청전문대 전자과, \*신원 반도체(주), \*\*울산대학교 재료공학과  
(1992년 8월 26일 접수)

### Composition and Automation of Electrical Property Measurement System for Thin Films

Kyung-Wan Koo, Moon-Soo Hwang\* and Hui-Gon Chun\*\*

Dept. of Electronics, Chungcheong College, \*ShinWon Semiconductor Co., Ltd.

\*\*Dept. of Materials Science and Engineering, University of Ulsan

(Received August 26, 1992)

**요 약**—본 연구는 박막의 전기적 특성을 정밀하게 측정하기 위하여 필수적인 고가의 측정시스템을 구매하는 대신에, 현재 보유하고 있거나 적은 비용으로 구매된 단위 계측기들과 범용 PC를 조합, 자동화시킴으로서 동등한 수준의 고정밀도의 재현성을 얻고자 하였다. 이를 조합한 측정 시스템으로 I-V, C-V, C-t 및 미소 전류를 측정할 수 있었으며, 이들을 범용 PC로 제어하므로서 측정 시스템의 자동화를 시도하였다. 이를 위하여 측정 장비와 컴퓨터의 인터페이스로 국제 표준 버스(IEC Bus, GPIB)를 제작하여 사용하였고, 제어 및 분석 프로그램은 C언어로 작성하였다.

**Abstract**—Low cost, PC controlled electrical property measurement systems were constructed to study thin film characteristics such as; I-V, C-V, C-t, and low current. In addition, a GPIB card and C language program for data control and analysis were made for this study.

## 1. 서 론

최근 측정기의 제어, 계측 데이터의 컴퓨터 처리가 측정 시스템에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다. 복잡한 계측에 있어서 수동으로 하는 경우 데이터 엔트리가 오프 라인이고, 에러가 발생하기 쉽고, 또 비능률적이라고 하는 단점이 있다. 이것에 비해서 측정된 데이터를 직접 컴퓨터로 받아들이면, 데이터 매체의 수집, 전송, 데이터 입력을 위한 조작 등이 필요없게 된다. 이것을 실현한 것이 소위 Lab Automation(LA)으로 컴퓨터를 이용한 계측이라고 부른다.

본 연구는 산학협동재단의 1991년도 연구비 지원에 의해 수행되었음

한편 디지털 계측기 사이의 인터페이스로 국제 표준 버스(IEC Bus, GPIB)가 도입되었고[1] 또 마이크로 프로세서를 사용한 개인용 컴퓨터(PC)에도 이와같은 GPIB가 부착될 수 있다. 이 때문에 연구실 단위로 컴퓨터를 이용한 계측이 널리 실시되고 있다.

현재 반도체 생산 공장이나 연구소에서 널리 사용되고 있는 HP 4145B 반도체 파라미터 분석기(semiconductor parameter analyzer)는 반도체 프로세스나 디바이스의 직류특성을 평가하는데 있어서 측정, 해석, plot 등 일련의 작업을 완전 자동화한 고성능 시스템이다[2]. 측정 단자의 절환도 자동화되어 있기 때문에 측정의 재현성이 높고, 안정하고 높은 신뢰도의 평가가 가능하다. 반도체는 물론 비정질, 태양

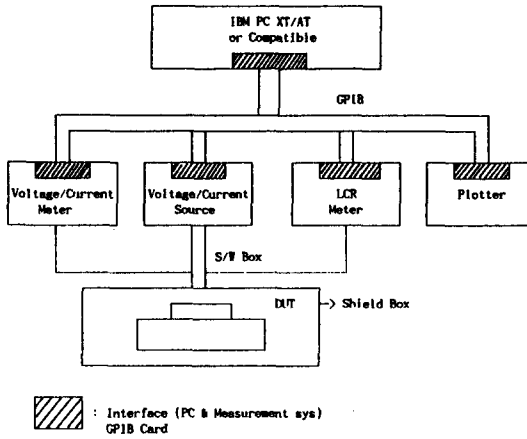


Fig. 1. Block diagram of I-V & C-V measurement systems.

전지 등의 신재료, 신소자의 연구 개발에도 사용되고, 여러가지 복잡한 해석도 가능하기 때문에 그대로 반도체의 기본평가가 대부분 이루어지고 있다. 그러나 반도체 평가의 기본이 되는 C-V 특성을 평가할 수 없다.

본 연구에서는 Keithley 228A Voltage Source, 617 Programmable Electrometer, HP 4194A Impedance/Gain Phase Analyzer 등으로 측정 시스템을 구성하고, PC로 제어하는 프로그램을 작성하여 I-V[2, 3], C-V[4-6] 측정을 자동화하여, 간단하고 경제적이면서 높은 신뢰성을 갖는, 능률적인 평가를 실현하였다. TI사에서 발표되고 있는 GPIB용 전용 LSI TMS 9914(controller)와 드라이버 IC SN75160, SN75162를 사용해서 국제규격의 전기능을 갖는 GPIB controller를 제작하였고 이것을 사용하여 컴퓨터를 이용한 반도체 측정 시스템에 적용하여 측정된 결과 및 제어 프로그램 및 분석 프로그램 등 소프트웨어에 대하여 간단하게 소개하고자 한다.

### 2. 측정 시스템의 구성

반도체 물성 평가의 기본이 되는 I-V, C-V, C-t 및 미소전류 측정 등을 구현할 수 있는 측정 시스템을 구성하고, 이 시스템을 보편적으로 사용되고 있는 개인용 컴퓨터(IBM PC XT/AT)로 제어함으로써 측정 시스템의 자동화를 이룩하였다. 본 측정 시스템의

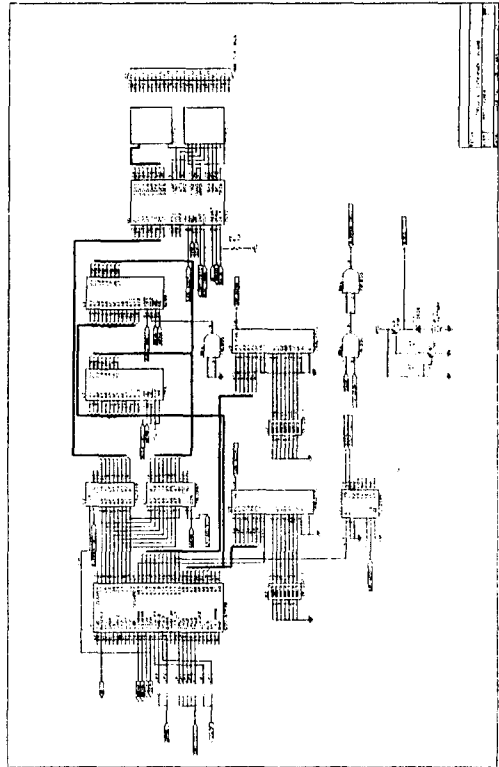


Fig. 2. Circuit of GPIB card.

구성은 Fig. 1과 같다. 측정 장비로서는 프로그램이 가능한 장비로 전압/전류 소스와 전압/전류/C-미터 등이면 가능하고, PC로는 IBM PC XT/AT 또는 그 호환 기종이면 가능하다. 본 실험실에서는 Keithley 228A Voltage Source, 617 Programmable Electrometer, HP 4194A Impedance/Gain Phase Analyzer 등으로 측정 시스템을 구성하고, IBM PC AT 호환 기종으로 제어하도록 하였다. 각종 계측기와 컴퓨터 사이의 인터페이스는 국제규격의 GPIB(General Purpose Interface Bus) 카드로 GPIB 전용 LSI TMS 9914(TI사)/μPD7210(NEC사)와 드라이버 IC SN75160, SN75162(TI사)를 사용해서 제작하였고, GPIB 제어 프로그램은 ROM writing하였다. Fig. 2는 제작한 GPIB 카드의 회로도이고, 양면 기판으로 제작하였다.

### 3. Software 및 측정결과

2장에서 시술한 반도체 측정 시스템을 구동하기

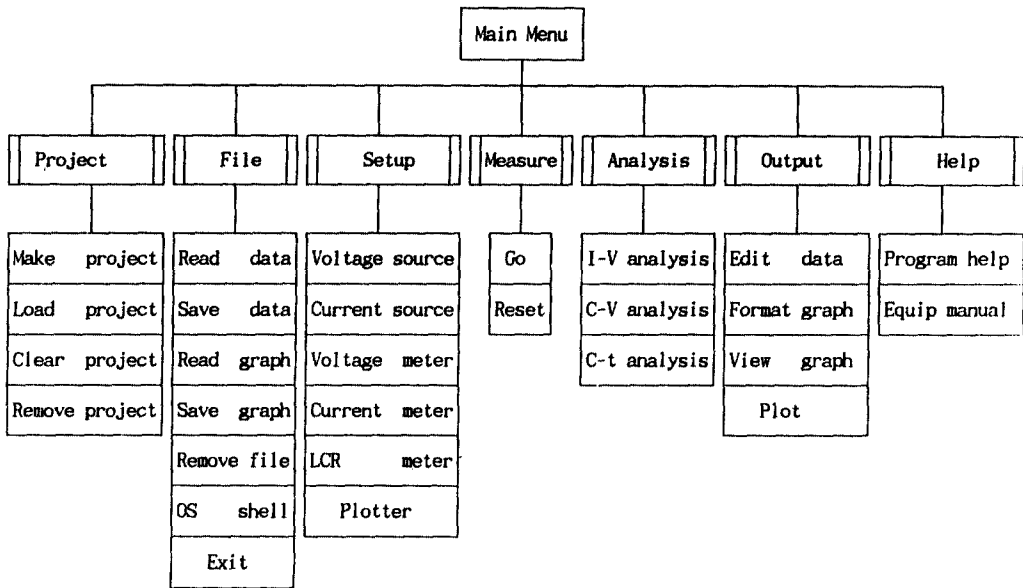


Fig. 3. Software of semiconductor measurement system.

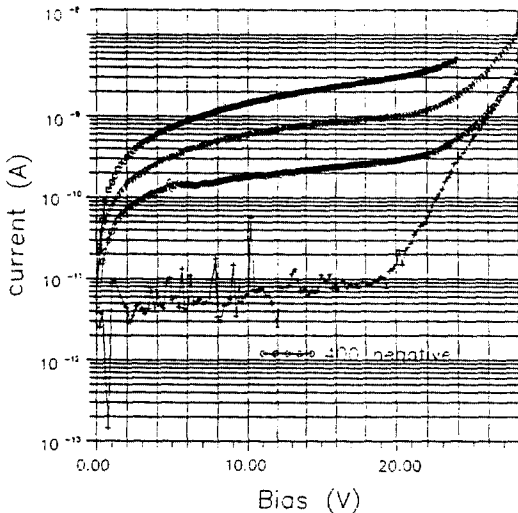


Fig. 4. Example plot of I-V characteristics.

위한 software를 C 언어를 사용하여 작성하였다. 본 프로그램은 각종 측정 장비들을 제어하고, 강력한 분석기능을 갖추고 있음에도 불구하고 pop window를 이용한 full down menu 방식을 사용하고 있어 프로그램의 구성을 한눈에 알 수 있고, 언제든지 적절한 도움말을 볼 수 있어 시스템 사용이 용이하게 구성하였다. Fig. 3에 시스템 소프트웨어의 개요를 나타내었다. 프로그램 구성은 크게 프로젝트, 파일, 조건,

설정, 분석, 출력, 도움말 메뉴 등으로 되어 있다. 대략적으로 살펴보면 다음과 같다.

1) Project menu : 대부분의 실험실에서는 측정한 반복적으로 실시되는 경향이 있다. 이러한 경우의 측정 절차를 프로젝트 파일에 저장시켜 두면, 다음부터는 장비 선택에서 출력까지 내용을 다시 설정할 필요없이 프로젝트 파일에서 자동적으로 불러와 수행시키므로 측정이 용이하다.

- make project : 현재 프로그램 안에 기술된 모든 측정 환경을 파일로 저장한다.
- load project : 파일에 저장되어 있는 측정 환경을 읽어온다.
- clear project : 현재 프로그램 안에 있는 모든 환경을 default로 바꾸고 data 및 graph를 지운다.
- remove project : 파일로 저장된 project를 없앤다.

2) File menu

- read data : 측정결과 혹은 분석결과를 file로부터 읽어온다.
- save data : 현재의 측정결과 혹은 분석결과를 file로 저장한다.
- read graph : 파일로 저장되어 있는 graph를 편집하기 위해 불러온다.

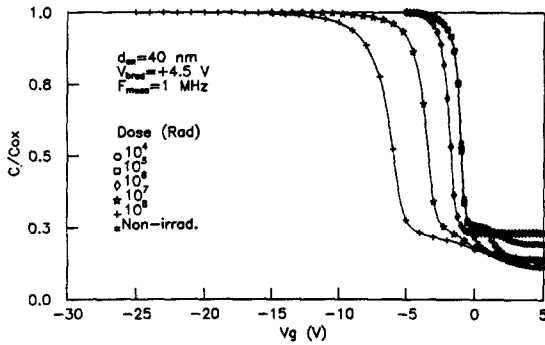


Fig. 5. Example plot of C-V characteristics.

TOX=3.78099E-06	cox=3.944E-11
cmin=1.0263E-11	DATA(1)=4.8949E-11
P=-.2899901	LD(cm)=1.585216E-05
CSFB=4.07559E-11	CFB=2.00459E-11
DIV(I)=.4492758	DATA(V)=-1.5
VFB=.4095262	QSS=-5.749433E-8
PMS=-.9049901	pmsl=-.2332024
NSS=3.593396E-08	VT=.8114188
wm(cm)=3.292973E-05	

Fig. 6. Example for the list of C-V analysis data.

- save graph : 현재의 graph를 파일로 저장한다.
- remove file : 필요없는 파일을 지운다.
- os shell : 잠시 도스 상태로 나간다.
- exit : 프로그램을 종료한다.

3) Set up menu

사용할 장비를 선정하고 측정조건을 설정한다.

4) Measure menu

- go : 측정을 시작한다.
- reset : 측정을 중지하고 초기상태로 간다.

5) Analysis menu : 측정장비로부터 오는 data를 받아 분석을 해내는 부분으로 현재는 C-V, I-V 분석 기능만을 갖추고 있으나, 앞으로 계속 추가할 예정이다. 만일, 현재 갖추고 있지 않은 분석을 하고 싶은 경우에는 분석에 필요한 수식을 '수식' 메뉴에서 입력하든지 아니면 데이터를 출력메뉴에서 파일로 저장하여 다른 패키지나 분석프로그램을 이용하면 된다.

- I-V 측정에 관한 분석 menu
- C-V 측정에 관한 분석 menu
- C-t 측정에 관한 분석 menu

6) Output menu : 계측기에서 나오는 low data나 분석결과를 list 형태로 혹은 graph 형태로 format하여

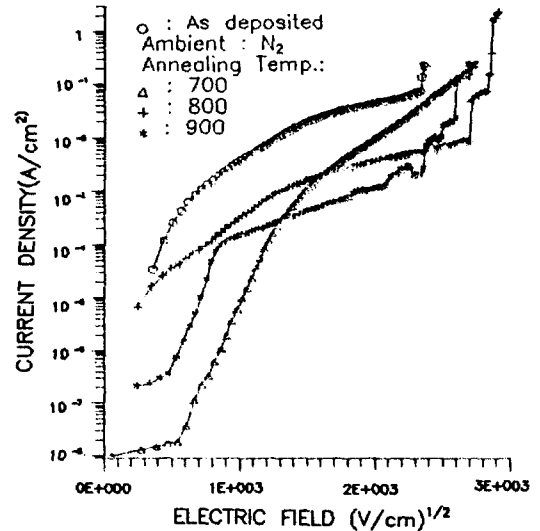
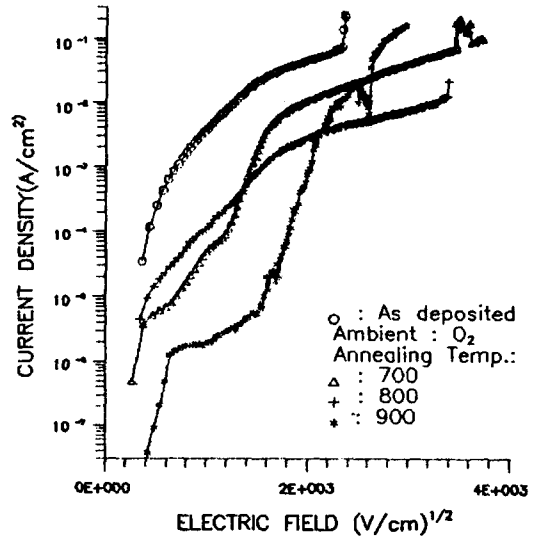


Fig. 7. Example plot of  $\ln(J/E)$  vs  $E^{1/2}$  characteristics.

기록장치(plotter or printer)나 화면 혹은 파일로 출력한다. 사용가능한 출력 device는 100여종에 이르는 데 이것은 출력과정을 본 프로그램에서 직접 관장하지 않고 많은 실험실에서 실험보고서 작성에 grapher라는 graph를 작성하는 프로그램을 이용하기 때문에 grapher에서 출력 가능한 장치는 모두 그대로 이용할 수가 있다. 이때 본 프로그램에서 grapher를 제어하는 방법은 PC의 key-board buffer에 조작 명령을 직접 써줌으로서 grapher는 자신이 직접 사용자로부터 명

령을 받고 있는 것처럼 동작을 한다. 따라서, 사용자는 grapher의 사용법을 몰라도 전혀 지장을 받지 않고 오히려 grapher를 조작하는 번거로움에서 해방될 수 있다.

- edit data : 여러가지 측정 및 분석 data를 연계 편집한다.

- format grapher : graph를 그리기 위한 형식을 알려준다.

- view graph : graph를 화면으로 본다.

- plot : graph를 plotter(혹은 printer)로 본다.

7) Help menu

- program help : 프로그램에 대한 도움말을 준다.

- equipment manual : 사용 장비의 manual을 본다.

위와같은 하드웨어 구성 및 소프트웨어 환경에서 측정된 I-V, C-V 측정결과를 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다. MOS 구조에서  $Co^{60}\gamma$  선을 조사한 후 측정된 I-V 및 C-V 데이터를 조사선량 별로 출력한 것이다. 측정된 데이터를 파일 단위로 저장하고 출력 메뉴에서 측정 및 분석 데이터를 연계 편집한 결과이다. 측정에서 결과 분석 및 출력까지가 일관작업으로 빠르고 용이하게 수행됨을 알 수 있다. Fig. 6은 C-V 분석 결과를 list 형태로 출력한 예이고, Fig. 7은 I-V 측정 데이터를 분석 및 편집한 것이다.  $Ta_2O_5$ 의 누설전류 특성을 측정하여 전도기구를 살펴보기 위한 것으로 측정 데이터를 파일 형태로 저장하고 분석에 필요한 수식(F-N 및 P-F 전도기구에 관련된 수식)을 수식 메뉴에서 입력하여 편집한 결과를 출력한 것이다.

#### 4. 결 론

범용 PC로 제어되는 C-V, I-V, C-t 및 미소전류 등을 적은 비용으로 자동화된 시스템을 조합 구성함으로써 고가의 측정시스템과 동등한 측정결과를 얻을 수 있었다. 각 미세 전압값에 대한 커패시턴스 및

미소전류 값을 정확히 구할 수 있었고, 디지털 방법에 의한 전압제어 오차범위를 줄일 수 있었다. 또한, 측정한 C-V 곡선의 해석방법으로 delta-depletion method를 이용하여 컴퓨터 프로그램을 C 언어로 작성하였다. 측정된 각 미세 전압값 및 커패시턴스의 자료를 이용하여 플랫밴드 전압 및 문턱전압, 그리고 산화막 내의 전하량 계산 등을 정확하게 처리할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. IEEE Std 488-1987 (IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation). Institute of Electronical and Electronics Engineer, Inc.
2. Application Note 238: Semiconductor Measurements with the HP4140B Pico Ammeter/DC Voltage Source.
3. Application Note 238-1: Ultra Low Current Semiconductor DC Parameter Measurement System using HP4141B.
4. Application Note 322: 3280A 1 MHz C Meter/C-P plotter의 응용[반도체 디바이스의 용량 특성 해석].
5. Application Note 322: analysis of Semiconductor Capacitance Characteristics Using the HP4280A 1 MHz C Meter/C-V Plotter.
6. Application Note 369-5: Multi-frequency C-V Measurements of Semiconductor-HP4284A precision LCR meter.
7. S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices," Wiley-Interscience, 1969.
8. A.S. Grove, "Physics and Technology of Semiconductor Devices," John Wiley and Sons, 1967.
9. I. Getreu, "Modeling the Bipolar Transistor," Electronics, 1974.
10. W.N. Carr & J.P. Mize, "MOS/LSI Design and Application," McGraw-Hill, 1972.
11. M. Kuhn, "A Quasi-static Technique for MOS C-V and Surface State Measurements," Solid-State Electron., 13, 873, 1970.