เอกสารอ้างอิง

1. Nicollian, E.H.; Brew, J.R., MOS Physics and Technology, Wiley-Interscience, New York, 1982.

2. Moll, J.L., "Variable Capacitance with large Capacity Change," Wescon Convention Record, Part 3, p. 32, 1957.

3. Pfann, W.G.; Grarette, C.G.B., "Semiconductor Varactor Using Space-Charge Layers," Proc. IRE, 47, 2011, 1959.

4. Frankl, D.R., "Some effects of Material Parameters on the Design of Surface Space-Charge Varactor," Solid State Electron, 2, 71, 1961.

5. Lindner, R., "Semiconductor Surface Varactor," Bell Syst. Tech. J., 41, 803, 1962.

6. Terman, L.M., "An Investigation of Surface States at a Silicon/Silicon Dioxide Interface Employing Metal-Oxide-Silicon Diodes," Solid State Electron, 5, 285, 1962.

7. Lehovec, K.L.; Sloboskoy, A., "Field-Effect Capacitance Analysis of Surface States on Silicon," Phy. Stat. Solidi, 3, 447, 1963.

8. Shay, J.L. and Wernick, J.H., Ternary Chalcopyrite Semiconductor, pp. 1-78, Pergamon Press, London, 1975.

9. Miller, G.L.; Lang, D.V.; Kimerling, L.C., "Capacitance Transient Spectroscopy," Ann. Rev. Mater. Sci., pp. 377-448, 1977.

10. Hofstien, S.R.; Warfield, G., "Physical Limitation on the Frequency Response of a Semiconductor Surface Inversion Layer," Solid State Electron, 8, 321, 1965.

11. Grove, A.S.; Deal, E.H.; Show, E.H.; Sah, C.T., "Investigation of Thermally Oxidized Silicon Surface Using Metal-Oxide-Semiconductor Structures," Solid State Electron, 8, 145, 1965.

12. Hilebrand, J.H.; Gold, R.D., "Determination of the Impurity Distribution in Junction Diodes from Capacitance-Voltage Measurements," RCA Rev., 27, pp. 249-252, 1969.

13. Grosvalet, J.; Jund, C., "Experimental Study of Semiconductor Surface Conductivity," Surface Sciences, 5, p. 49, 1966.

14. Heimon, F.P., "On Determination of Minority Carrier Lifetime from Transient Response of a MOS Capacitor," IEEE Trans. Electr. Dev., Vol. ED-14, P. 781, 1967.

15. Boonton Electronics Corp., Boonton 72A Capacitance Meter Instruction Manual, Boonton Electronics Corperation.

16. Kepco, Inc., Voltage Regulated DC Power Supply Model ABC 425M Instruction Manual, Kepco Inc., 1965.

17. Sze, S.M., Physics of Semiconductor Device, Wiley Interscience, New York, 1968.

18. Grove, A.S., Physics and Technology of Semiconductor Devices, John Wiley, New York, 1967.

19. Michael, R.B. and Paul, K.W., Scientific Plotter Version 2 Instruction Manual, Interactive Microware, Inc., PA, 1983.

20. Blakemore, J., Semiconductor Statistics, Pergamon Press, New York, 1962.

21. Amron, I., "Error in Dopant Concentration Profiles Determined by Differential Capacitance Measuremetns," Electronchem. Technol., 5, pp. 94-97, 1967.

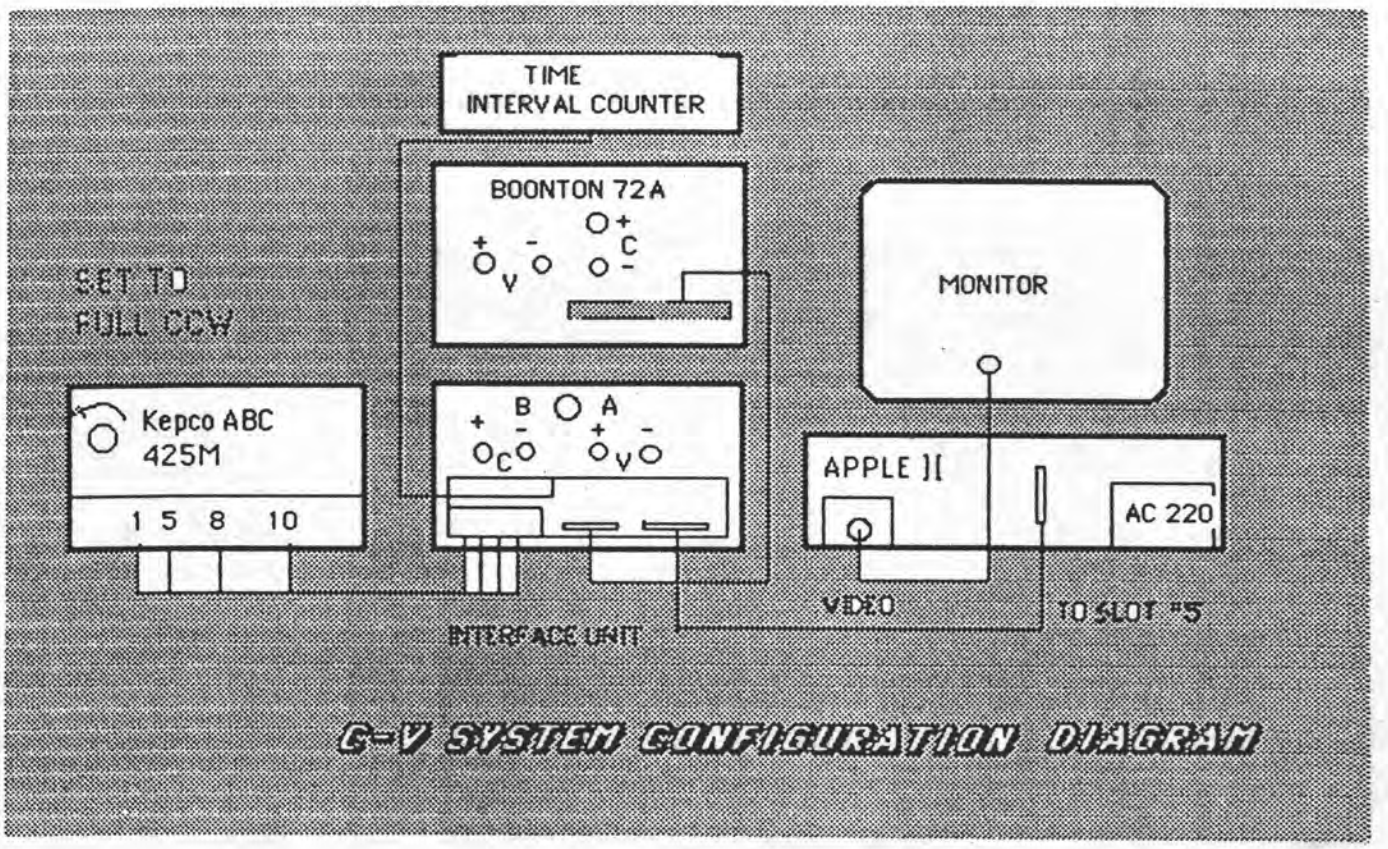
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการปฏิบัติการกับระบบ ซี-วี

1. การติดตั้งและประกอบภาคต่าง ๆ เป็นระบบ ซี-วี

แผนผังการเชื่อมต่อส่วนต่าง ๆ และสายสัญญาณต่าง ๆ เป็นดังรูปข้างล่าง



2. การเปิดและปิดการทำงานระบบ ซี-วี

2.1 ขั้นตอนการเปิดการทำงานระบบ ซี-วี เป็นดังนี้

1. ก่อนเปิดสวิทช์จ่ายไฟให้แต่ละส่วนของระบบ ซี-วี ควรตรวจสอบระบบไฟ AC ว่าเสียบปลั๊กถูกต้องหรือไม่ (220 V_{AC})
2. เปิดเครื่องแอปเปิลทูและจอภาพ
3. เปิดเครื่อง Boonton 72A ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
4. เปิดเครื่องอินเตอร์เฟส
5. เปิดเครื่อง Kepco หลังจากโปรแกรมสั่งให้เปิดได้

2.2 ขั้นตอนการปิดการทำงานระบบ ซี-วี เป็นดังนี้

1. ปิดเครื่อง Kepco
2. ปิดเครื่องอินเตอร์เฟส
3. ปิดเครื่อง
4. ปิดเครื่องแอปเปิลทูและจอภาพ

*หากปิดเครื่องแอปเปิลทูก่อนเครื่อง Kepco จะหลุดพ้นออกจากการควบคุมโดยโปรแกรมควบคุม แรงดันไฟตรงเอาท์พุทจากเครื่อง Kepco อาจจะสูงถึง 400 - 500 โวลท์ ถ้าต่อตัวอย่างที่ทดสอบไว้บนเครื่อง Boonton ตัวอย่างจะพังทันที (ชั้นฉนวนทะลุ) อย่างไรก็ตามส่วนอินเตอร์เฟสและเครื่อง Boonton จะไม่ได้รับอันตรายจากกรณีนี้เนื่องจากในส่วนอินเตอร์เฟสมีรีดรีเลย์ขนาดเล็กตัดต่ออินพุทที่ป้อนให้กับ ADC1210 ทันทีเมื่อปิดเครื่องแอปเปิลทู ส่วนเครื่อง Boonton ค่าแรงดันไบแอสสามารถป้อนได้สูงถึงประมาณ 600 โวลท์ ถ้าไม่จำเป็นต้องปิดเครื่องแอปเปิลทูก่อนควรจะปฏิบัติตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 2.2 อย่างเคร่งครัด

3. การเก็บข้อมูลความจุ-แรงดันไฟฟ้า

เริ่มเปิดเครื่องตามขั้นตอน ในหัวข้อ 2.1 ก่อนขั้นที่ 2 ให้ใส่แผ่นดิสค์ CVMASTER++++ แล้วทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. พิมพ์]RUN CVMASTER++++ < ; < หมายถึงกด RETURN

```
**********************************
* C-V master control program     *
**********************************

      (1) MIS C-V PLOT

      (2) MS  C-V PLOT

      (3) plot C-V curve

      (4) print C-V data

      (5) manual data reading

   Request:
                  MANUAL

Range              Full scale (pF)

  0                      1
  1                      3
  2                     10
  3                     30
  4                    100
  5                    300
  6                   1000
  7                   3000

KEY A ----->UP
KEY Z ---->DOWN
KEY Q ---->QUIT

Select range :7
**********************************
* C-V master control program     *
**********************************

      (1) MIS C-V PLOT

      (2) MS  C-V PLOT

      (3) plot C-V curve

      (4) print C-V data

      (5) manual data reading
```

2. เลือก 5 เพื่อปรับ ZERO

3. กดคีย์ Z จนกระทั่งถึงช่วงการวัด 1 PF จากนั้นให้ปรับ ZERO ที่เครื่อง BOONTON จนกระทั่งเข็มชี้ 0 PF ต่อ sample ที่ใช้วัด

4. กดคีย์ Q เพื่อกลับสู่เมนูหลัก

5. เลือก 1 เพื่อทำการเก็บข้อมูล C-V

```
   Request:9 volts
```

6. เลือกช่วงแรงดันไบแอส

```
on Kepco..set switch to REV position
52.6pF          -.058volt
51.9pF          -.24volt
51.4pF          -.435volt
50.9pF          -.624volt
50.7pF          -.811volt
50.3pF          -.993volt
49.8pF          -1.192volt
49.5pF          -1.367volt
48.9pF          -1.571volt
```

7. เปิดเครื่อง Kepco รอประมาณ 1 นาที, เลือกตำแหน่ง REVERSE, กด SP

8. เครื่องจะเริ่มเก็บข้อมูล C-V อัตโนมัติ

```
set switch to FOR position
52.6pF          .058volt
51.9pF          .235volt
51.4pF          .435volt
53.4pF          .622volt
52.7pF          .809volt
51.2pF          .993volt
48.1pF          1.192volt
44.4pF          1.367volt
45.9pF          4.41volt
51.5pF          4.654volt
55.7pF          4.829volt
60.7pF          5.021volt
65.3pF          5.219volt
70.2pF          5.402volt
74.6pF          5.579volt
79.8pF          5.757volt
84.3pF          5.968volt
89.1pF          6.163volt
93.4pF          6.349volt
98.1pF          6.544volt
104.7pF         6.722volt
109.2pF         6.917volt
113.7pF         7.11volt
117.9pF         7.308volt
121.9pF         7.49volt
126.1pF         7.698volt
129.9pF         7.865volt
134pF           8.06volt
137.8pF         8.245volt
141.8pF         8.445volt
145.2pF         8.623volt
149.2pF         8.826volt
152.7pF         9.002volt
C(MAX)= 152.7
C(MIN)= 10.51
```

9. เลือกตำแหน่ง FORWARD กด SP

10. เครื่องจะเก็บข้อมูล C-V ต่อ

11. กด Y เพื่อทำการนอมอลไรซ์ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้กับค่า C(MAX) หรือกด N เพื่อผ่านไป

```
Normalized to C(max) (Y OR N):
```

```
Save data (Y OR N)
```

12. กด Y เพื่อทำการบันทึกข้อมูล C-V ลงดิสค์ หรือ N เพื่อผ่านไป

```
DATA FILE NAME RAW1
```

13. ป้อนชื่อไฟล์ที่ใช้เก็บข้อมูล C-V

```
NEXT DATA READING (Y OR N)
```

14. กด Y เพื่อเก็บข้อมูล C-V ต่อ หรือกด N เพื่อกลับสู่เมนูหลัก

4. การเก็บข้อมูลความจุ-แรงดันไฟฟ้าสำหรับการทำโปรไฟล์

มีขั้นตอนเริ่มแรกเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3 จากนั้นให้ทำตามขั้นตอนดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. พิมพ์]RUN CVMASTER++++ <

```
]RUN CVMASTER++++
**********************************
* C-V master control program     *
**********************************

     (1) MIS C-V PLOT
     (2) MS  C-V PLOT
     (3) plot C-V curve
     (4) print C-V data
     (5) manual data reading

Request:
```

2. ปรับ ZERO โดยการเลือก 5 เช่นเดียวกับการเก็บข้อมูล C

3. เลือก 2 เพื่อทำการเก็บข้อมูลเพื่อทำโปรไฟล์

4. เปิดเครื่อง Kepco, ต่อ sample ที่ใช้วัด, กด SP

```
ON KEPCO...CONNECT SAMPLE TO BOONTON..
20.23pF          .058volts
2.27385072
19.77pF          .083volts
3.43955488
19.09pF          .129volts
4.97642747
18.14pF          .205volts
4.35501654
17.35pF          .278volts
3.63112394
16.72pF          .354volts
3.28947367
16.17pF          .43volts
3.09214597
15.67pF          .508volts
2.61646456
15.26pF          .579volts
2.55570118
14.87pF          .654volts
2.42098186
14.51pF          .73volts
2.27429358
14.18pF          .806volts
2.04513398
13.89pF          .887volts
```

5. เครื่องจะเริ่มเก็บข้อมูล C-V โดยที่ค่าความจุไฟฟ้าค่าถัดไปจะลดลง 2-10%

```
2.6637869
13.52pF          .991volts
2.66272189
13.16pF          1.11volts
2.35562309
12.85pF          1.217volts
2.25680933
12.56pF          1.339volts
2.78662422
12.21pF          1.489volts
2.45700246
11.91pF          1.639volts
2.35096555
11.63pF          1.789volts
2.06362856
11.39pF          1.942volts
2.19490781
11.14pF          2.105volts
2.24416517
10.89pF          2.283volts
2.29568415
10.64pF          2.492volts
2.34962403
10.39pF          2.708volts
4.61982676
9.91pF           2.932volts
2.21997981
9.69pF           3.158volts
2.06398348
9.49pF           3.394volts
2.0021075
9.3pF            3.644volts
2.15053767
9.1pF            3.921volts
2.19780219
8.9pF            4.223volts
2.35955053
8.51pF           4.897volts
2.23266747
8.32pF           5.277volts
2.04326925
8.15pF           5.655volts
2.20858893
7.97pF           6.077volts
2.00752823
7.81pF           6.488volts
2.0486556
7.65pF           6.998volts
2.09150325
7.49pF           7.457volts
2.00267023
7.34pF           7.898volts
2.04359671
7.19pF           8.461volts
2.08623091
7.04pF           9.109volts

42 POINTS IS RAED

DATA FILE NAME  RAW1
NEXT DATA READING (Y OR N)
```

6. ป้อนชื่อไฟล์ที่ใช้เก็บข้อมูล C-V สำหรับคำนวณโปรไฟล์

7. เลือก Y เพื่อทำการเก็บข้อมูลต่อ หรือกด N เพื่อกลับสู่เมนูหลัก

8. กด CTRL และ RESET เพื่อออกจากโปรแกรม CVMASTER++++

```
]RUN
 DATA FILE NAME K122

2.4076405E-03
2.51506777E-03
2.62446251E-03
2.7440255E-03
2.86887327E-03
2.99259273E-03
3.12100121E-03
3.26157753E-03
3.40788769E-03
3.5515349E-03
3.70897319E-03
3.87229331E-03
4.03636604E-03
4.20563184E-03
4.38577255E-03

 N-D CURVE FOR MS DIODE

ENTER CONTACT AREA 1E-2

.15              4.3 MICRON
.2               4.4 MICRON
.25              4.5 MICRON
.3               4.6 MICRON
.33              4.7 MICRON
.39              4.8 MICRON
.45              4.9 MICRON
.51              5 MICRON
.55              5.1 MICRON
.63              5.2 MICRON
.71              5.3 MICRON
.87              5.5 MICRON
.95              5.6 MICRON
1.09             5.7 MICRON

 WRITE N-D PROFILE
```

9. พิมพ์]RUN ND PROFILE

10. ป้อนชื่อไฟล์ที่ใช้เก็บข้อมูล C-V เพื่อคำนวณโปรไฟล์

11. ป้อนพื้นที่ของขั้วโลหะหรือพื้นที่ของรอยต่อ

12. โปรแกรมจะคำนวณ N(X), X

13. ป้อนชื่อไฟล์เพื่อเก็บข้อมูล N-D

5. การเก็บข้อมูล ความจุไฟฟ้า-เวลา

เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3 จากนั้นให้ทำตามขั้นตอนดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. พิมพ์]RUN TRANSIENT2 <
2. ต่อ sample ที่ใช้วัด
3. เลือกช่วงที่ใช้วัด
4. ป้อนค่าหน่วงเวลา
5. เปิดเครื่องวัดคาบเวลา บิดสวิทช์มาที่ตำแหน่ง 1. กด RES แล้วปล่อย
6. กด SP เพื่อเริ่มทำการเก็บข้อมูล
7. เครื่องจะแสดงลำดับของข้อมูล

```
SELECT RANGE (0-7):4
DELAY PARAMETER100
TOGGLE RES SWITCH
PRESS SPACE BAR TO START PULSE
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
```

93
94
95
96
97
98
99
100

8. ป้อนค่าที่นับได้จากเครื่องวัดคาบเวลา จากนั้นกด RETURN

```
TIME COUNTER IS=6590
1                0 SEC
.9933            .48 SEC
.9933            .96 SEC
.9933            1.44 SEC
.9933            1.92 SEC
.9933            2.4 SEC
.9933            2.88 SEC
.9933            3.36 SEC
.9933            3.84 SEC
.9933            4.32 SEC
.212             10.08 SEC
.212             10.56 SEC
.212             11.04 SEC
.212             11.52 SEC
.212             12 SEC
.212             12.48 SEC
.212             12.96 SEC
.212             13.44 SEC
.212             13.92 SEC
.212             14.4 SEC
.212             14.88 SEC
.212             15.36 SEC
.212             15.84 SEC
.212             16.32 SEC
.212             16.8 SEC
.2098            37.92 SEC
.212             38.4 SEC
.212             38.88 SEC
.2098            39.36 SEC
.2098            39.84 SEC
.212             40.32 SEC
.212             40.8 SEC
.212             41.28 SEC
.2098            41.76 SEC
.212             42.24 SEC
.212             42.72 SEC
.212             43.2 SEC
.2098            43.68 SEC
.2098            44.16 SEC
.212             44.64 SEC
.212             45.12 SEC
.212             45.6 SEC
.2098            46.0800001 SEC
.212             46.5600001 SEC
.212             47.0400001 SEC
.212             47.5200001 SEC
.212             48.0000001 SEC
```

9. โปรแกรมจะคำนวณข้อมูล C-t

```
WRITE DATA FILE NAME :CT1
```

10. ป้อนชื่อไฟล์ข้อมูล C-t

```
NEXT DATA SAMPLING? (Y OR N)
```

11. กด Y เพื่อทำการเก็บข้อมูลต่อ หรือกด N เพื่อหยุดการวัด

6. การใช้โปรแกรมวิเคราะห์เพื่อคำนวณปริมาณความเข้มข้นสารเจือปน

1. พิมพ์]RUN CVANALYSIS

```
]RUN CVANALYSIS
        CV-PLOT ANALYSIS
ENTER CMAX(PF) 96.5
ENTER CMIN(PF) 18.8
ENTER DOT AREA(SQ CM) 1E-2
ENTER GATE MATERIAL AL
SUBSTRATE TYPE N

********* DATA INPUT **********
SUBSTRATE TYPE: N
DOT AREA       : .01 SQ CM
CMAX           : 96.5 pF
CMIN           : 18.8 pF
GATE MATERIAL  : AL
********** DATA OUTPUT **********
DOPING CONCENTRATION=.05x1E+15 CM-3
C  JUNCTION(Cj)      =23.34 pF
C  FLATBAND(CFB)     =65.83 pF
DEPLETION WIDTH(MAX)=5.1 MICRON

]
```

2. ป้อนค่าความจุไฟฟ้ามากที่สุด
3. ป้อนค่าความจุไฟฟ้าต่ำที่สุด
4. ป้อนพื้นที่ของขั้วโลหะ
5. ป้อนชนิดของขั้วโลหะ
6. ป้อนชนิดของพาหะข้างมาก
7. โปรแกรมจะทำการคำนวณความเข้มข้นสารเจือปน

ภาคผนวก ข.

โปรแกรม CVMASTER++++

```
]LIST

1  GOTO 2500
5  IF F = 1 THEN  HOME : GOTO 10
6  DIM D(200): HOME
7 F = 1
10 CD$ =  CHR$ (4): INPUT "DATA FILE NAME ";F$
20  PRINT CD$"OPEN "F$: PRINT CD$"READ ";F$
30  FOR I = 0 TO 192: INPUT A:D(I) = A: NEXT
40  PRINT CD$"CLOSE "F$
41  PR# 1: PRINT  CHR$ (27);"E";" DATA NAME ";F$
42  PRINT : PRINT  CHR$ (15)
44  PRINT  CHR$ (9);"C(pF)"; CHR$ (9);"V(volts)"; CHR$ (9);"C(pF)"; CHR$
    (9);"V(volts)"
46  PRINT : PRINT  CHR$ (27);"F"
50  FOR I = 1 TO 96 STEP 2
60  PRINT  CHR$ (9);D(I + 1); CHR$ (9);D(I); CHR$ (9); CHR$ (9);D(I + 97)
    ; CHR$ (9);D(I + 96)
70  NEXT : PRINT  CHR$ (18): PR# 0
75  GOTO 2500
80  PRINT  CHR$ (4);"BLOADSUBCV2"
90  DIM D(200):D(0) = 192
95 L = 1
100  REM  MAIN CONTROL
101  PRINT : PRINT "Select bias range "
102  PRINT : PRINT "  (1) 0-2 volts    "
103  PRINT : PRINT "  (2) 0-4 volts    "
104  PRINT : PRINT "  (3) 0-9 volts    "
105  PRINT : PRINT "     Request:";: GET A$
106  IF A$ = "1" THEN M = 59:S = 1: PRINT "2 volts"
107  IF A$ = "2" THEN M = 107:S = 2: PRINT "4 volts"
108  IF A$ = "3" THEN M = 250:S = 5: PRINT "9 volts"
110 RANGE = 7: POKE  - 15358,RANGE: POKE 24576,RANGE
115  POKE  - 15360,11
120  POKE  - 15359,254
121  PRINT : INPUT "DELAY TIME (SECOND) ";Y
125  PRINT : PRINT "on Kepco..set switch to REV position": GET A$
126  IF A$ = " " THEN 130
127  GOTO 125
130  FOR J = 11 TO M STEP S
140  POKE  - 15360,J
141  FOR Z = 0 TO Y
142  FOR K = 0 TO 100: NEXT K
143  NEXT Z
150  CALL 28822
160  CALL 28784
170  GOSUB 500
180  GOSUB 610
190  IF FLAG = 1 THEN 140
200 C = DEC
210  GOSUB 855
220  GOSUB 881
240  CALL 28803
250  GOSUB 500
260 V = DEC
270  GOSUB 905
271 VBIAS = VBIAS *  - .1
280  PRINT C;"pF",VBIAS;"volt"
285 D(L) = VBIAS:D(L + 1) = C
286 L = L + 2
290  NEXT J
300  POKE  - 15360,11: POKE  - 15358,7
301  REM  now forward bias
302  PRINT : PRINT "set switch to FOR position": GET A$
303  IF A$ = " " THEN 310
304  GOTO 302
310 RANGE = 119: POKE  - 15358,RANGE: POKE 24576,RANGE
315  FOR J = 11 TO M STEP S
320  POKE  - 15360,J
```

```
321  FOR Z = 0 TO Y
322  FOR K = 0 TO 100: NEXT K
323  NEXT Z
325  CALL 28822
330  CALL 28784
335  GOSUB 500
340  GOSUB 610
345  IF FLAG = 1 THEN 320
350 C = DEC
355  GOSUB 855
360  GOSUB 967
365  CALL 28803
370  GOSUB 500
380 V = DEC
385  GOSUB 905
390  PRINT C;"pF",VBIAS;"volt"
395 D(L) = VBIAS:D(L + 1) = C
400 L = L + 2
405  NEXT J
410  POKE  - 15360,11: POKE  - 15358,119
420  GOSUB 425: PRINT "C(MAX)= ";MAX: PRINT
421  GOSUB 437: PRINT "C(MIN)= ";MIN: PRINT
423  GOTO 976
425 MAX = 0
426  FOR L = 2 TO 192 STEP 2
427  IF MAX > D(L) THEN 429
428 MAX = D(L)
429  NEXT L
430  RETURN
431  REM  subroutine normalized c to 1
432  GOSUB 426
433  FOR L = 2 TO 192 STEP 2
434 D(L) = D(L) / MAX
435  NEXT L
436  RETURN
437  REM  subroutine find min
438 MIN = 3000
439  FOR L = 2 TO 192 STEP 2
440  IF MIN < D(L) THEN 442
441 MIN = D(L)
442  NEXT L
443  RETURN
500 DEC = 0
510  FOR K = 0 TO 18
520  CALL 28672
530  IF  PEEK (24583) = 0 THEN 545
540 DEC = DEC + 2 ^ K
545  NEXT K
550 DEC =  INT (DEC / 100)
560  RETURN
600  REM  subroutine auto ranger
605  REM  flag=0 ok : flag=1 outof range
610  GOSUB 810
620  IF FULL = 2476 THEN 655
625  IF F1 = 1 AND F2 = 1 THEN 651
630  IF DEC < 203 THEN 685
640  IF DEC > 823 THEN 695
650 FLAG = 0: RETURN
651 FLAG = 0:F1 = 0:F2 = 0: CALL 28822: CALL 28784: GOSUB 500
652  RETURN
655  IF F1 = 1 AND F2 = 1 THEN 681
660  IF DEC < 595 THEN 685
670  IF DEC > 2476 THEN 695
680 FLAG = 0: RETURN
681 FLAG = 0:F1 = 0:F2 = 0: CALL 28822: CALL 28784: GOSUB 500
682  RETURN
685  IF RANGE = 0 OR RANGE = 112 THEN 845
690 RANGE = RANGE - 1: POKE  - 15358,RANGE: POKE 24576,RANGE:FLAG = 1:F1
    1: RETURN
695  IF RANGE = 7 OR RANGE = 119 THEN 845
700 RANGE = RANGE + 1: POKE  - 15358,RANGE: POKE 24576,RANGE:FLAG = 1:F2
    1: RETURN
800  REM  subroutine check full scale
810 A = RANGE / 2 -  INT (RANGE / 2)
820  IF A = 0 THEN FULL = 823: GOTO 840
830 FULL = 2476
840  RETURN
845  PRINT  CHR$ (7): PRINT "CHECK SAMPLE !!": GOTO 95
850  REM  subroutine convert c-->volt
855  IF C > 823 THEN A = .0195528422:B = 1.20944044E - 3: GOTO 865
860 A = 1.76473975E - 4:B = 1.2045525E - 3
865 C = A + (B * C)
870 C =  INT (C * 1000) / 1000
875  RETURN
880  REM  subroutine volt-->c(pF)
881  IF RANGE = 0 OR RANGE = 1 THEN MUL = 1: GOTO 885
882  IF RANGE = 2 OR RANGE = 3 THEN MUL = 10: GOTO 885
883  IF RANGE = 4 OR RANGE = 5 THEN MUL = 100: GOTO 885
884 MUL = 1000
885 C = MUL * C
886  RETURN
```

```
900  REM  subroutine compute biasing voltage
905  IF V < 374 THEN A = .0586844653:B = 2.52673124E - 3: GOTO 955
910  IF V < 753 THEN A = .0527044:B = 2.54348258E - 3: GOTO 955
915  IF V < 1145 THEN A = .0490706829:B = 2.54513818E - 3: GOTO 955
920  IF V < 1527 THEN A = .0658087995:B = 2.53298339E - 3: GOTO 955
925  IF V < 1931 THEN A = .0646513977:B = 2.53558985E - 3: GOTO 955
930  IF V < 2230 THEN A =  - .308304988:B = 2.7232288E - 3: GOTO 955
935  IF V < 2637 THEN A = .0681892308:B = 2.53774872E - 3: GOTO 955
940  IF V < 3024 THEN A = .0759024563:B = 2.53496067E - 3: GOTO 955
945  IF V < 3413 THEN A = .079059924:B = 2.53466067E - 3: GOTO 955
950 A = .038254044:B = 2.54597919E - 3
955 VBIAS = A + (B * V)
960 VBIAS =  INT (VBIAS * 1000) / 1000
965  RETURN
966  REM  subroutine volt--->c(pF)
967  IF RANGE = 112 OR RANGE = 113 THEN MUL = 1: GOTO 971
968  IF RANGE = 114 OR RANGE = 115 THEN MUL = 10: GOTO 971
969  IF RANGE = 116 OR RANGE = 117 THEN MUL = 100: GOTO 971
970 MUL = 1000
971 C = MUL * C
972  RETURN
976  PRINT : PRINT "Save data (Y OR N) ": GET A$
977  IF A$ = "N" THEN 1035
978  PRINT : GOTO 1000
1000 CD$ =  CHR$ (4): PRINT : INPUT "DATA FILE NAME ";F$
1010  PRINT CD$"OPEN "F$: PRINT CD$"WRITE "F$
1020  FOR I = 0 TO D(0): PRINT D(I): NEXT
1030  PRINT CD$"CLOSE "F$
1035  PRINT : PRINT "NEXT DATA READING (Y OR N) ": GET A$
1040  IF A$ = "Y" THEN 95
1041  GOTO 2500
1045  PRINT : PRINT "PLOT CURVE"
1050  PRINT  CHR$ (4);"RUN SCIPLOT"
1600  HOME : FLASH
1601  HTAB (18): PRINT "MANUAL"
1602  NORMAL : PRINT
1610  PRINT "Range","Full scale (pF)": PRINT
1611  PRINT "   0   ","       1"
1612  PRINT "   1   ","       3"
1613  PRINT "   2   ","      10"
1614  PRINT "   3   ","      30"
1615  PRINT "   4   ","     100"
1616  PRINT "   5   ","     300"
1617  PRINT "   6   ","    1000"
1618  PRINT "   7   ","    3000": PRINT
1619  PRINT "KEY A ---->UP"
1620  PRINT "KEY Z --->DOWN"
1621  PRINT "KEY Q --->QUIT"
2000  REM  Manual c reading
2010  POKE  - 15358,7:RANGE = 7
2011  HTAB (5): VTAB (17)
2015  PRINT : PRINT "Select range :";RANGE
2016  GET A$
2020  IF A$ = "A" THEN RANGE = RANGE + 1: GOTO 2050
2030  IF A$ = "Z" THEN RANGE = RANGE - 1: GOTO 2050
2040  IF A$ = "Q" THEN 2500
2045  PRINT  CHR$ (7): GOTO 2011
2050  IF RANGE < 0 THEN RANGE = 0
2060  IF RANGE > 7 THEN RANGE = 7
2070  POKE  - 15358,RANGE
2080  GOTO 2011
2500  HOME
2510  PRINT "*********************************"
2511  PRINT "* C-V master control program  *"
2512  PRINT "*********************************"
2513  PRINT : PRINT
2524  PRINT "       (1) MIS C-V PLOT"
2525  PRINT
2526  PRINT "       (2) MS  C-V PLOT"
2527  PRINT
2528  PRINT "       (3) plot C-V curve"
2529  PRINT
2530  PRINT "       (4) print C-V data"
2531  PRINT
2532  PRINT "       (5) manual data reading"
2533  PRINT : PRINT : PRINT "     Request:";: GET A$
2534 A =  VAL (A$): PRINT : ON A GOTO 80,3100,3050,5,1600
2536  PRINT  CHR$ (7): GOTO 2500
3050  HOME
3051  PRINT "Please wait"
3052  PRINT  CHR$ (4);"RUNSCIPLOT"
3100  DIM (300):D(0) = 255
3110 L = 1
3120 RANGE = 7: POKE  - 15358,RANGE: POKE 24576,RANGE
3130  POKE  - 15360,11
3140  POKE  - 15359,254
```

```
3050  HOME
3051  PRINT "Please wait"
3052  PRINT  CHR$ (4);"RUNSCIPLOT"
3100  DIM D(250):D(0) = 200
3101  PRINT  CHR$ (4);"BLOAD SUBCV2"
3110 L = 1:F3 = 0:N = 0:O = 0
3120 RANGE = 7: POKE  - 15358,RANGE: POKE 24576,RANGE
3130  POKE  - 15360,11
3140  POKE  - 15359,254
3150  PRINT : PRINT "ON KEPCO...CONNECT SAMPLE TO BOONTON..": GET A$
3160  IF A$ = " " THEN 3180
3170  GOTO 3150
3180 J = 11
3190  IF J > 255 THEN 3360
3191  POKE  - 15360,J: FOR K = 0 TO 100: NEXT
3200  CALL 28822
3210  CALL 28784
3220  GOSUB 500
3230  GOSUB 610
3240  IF FLAG = 1 THEN 3190
3250 C = DEC
3260  GOSUB 855
3270  GOSUB 881
3271  IF F3 = 0 THEN D(L + 1) = C:F3 = 1: GOTO 3280
3272 D(L + 1) = C
3273 DC = ((D(N) - D(N + 2)) / D(N)) * 100
3274  IF DC < 5 THEN J = J + 1: GOTO 3190
3275  PRINT DC
3280  CALL 28803
3290  GOSUB 500
3300 V = DEC
3310  GOSUB 905
3320  PRINT C;"pF",VBIAS;"volts"
3330 D(L) = VBIAS:D(L + 1) = C
3340 L = L + 2:N = N + 2
3350  IF O = 100 THEN 3360
3355 J = J + 1:O = O + 1: GOTO 3190
3360  POKE  - 15360,11: POKE  - 15358,7
3365 D(0) = O * 2: PRINT : PRINT O;" POINTS IS RAED"
3370 CD$ =  CHR$ (4): PRINT : INPUT "DATA FILE NAME ";F$
3380  PRINT CD$"OPEN "F$: PRINT CD$"WRITE "F$
3390  FOR I = 0 TO D(0): PRINT D(I): NEXT
3400  PRINT CD$"CLOSE "F$
3410  PRINT : PRINT "NEXT DATA READING (Y OR N) ": GET A$
3420  IF A$ = "Y" THEN 3110
3430  GOTO 3410

]
```

ภาคผนวก ค.

โปรแกรม N-D PROFILE

```
LIST

5 . DIM D(100),C(100),N(100),X(100)
10  HOME
20 CD$ =  CHR$ (4): INPUT " DATA FILE NAME ";F$
25  PRINT
30  PRINT CD$"OPEN "F$: PRINT CD$"READ ";F$
40  INPUT A:D(0) = A
50  FOR I = 1 TO D(0): INPUT A:D(I) = A: NEXT
60  PRINT CD$"CLOSE "F$
80  FOR I = 2 TO D(0) STEP 2
90 C(I) = 1 / (D(I) ^ 2)
95  PRINT C(I)
100 . NEXT
105  GOTO 170
110  INPUT "WRITE 1/C^2 FILE NAME ";F$
120  PRINT CD$"OPEN "F$: PRINT CD$"WRITE "F$
130  FOR I = 0 TO D(0): PRINT C(I): NEXT
140  PRINT CD$"CLOSE "F$
150  PRINT : PRINT "NEXT DATA CONVERSION (Y OR N) ": GET A$
160  IF A$ = "Y" THEN 10
170  PRINT : PRINT " N-D CURVE FOR MS DIODE"
175  PRINT
180  INPUT "ENTER CONTACT AREA ";AREA
185  PRINT
190 M = 2:L = 1
195 K = D(0) / 2 - 1
200  FOR I = 1 TO K
210 TEMP = (D(L + 2) - D(L)) / (D(M) - D(M + 2))
220 N(M) = (7045369.3 * (D(M) ^ 3) * TEMP) / AREA ^ 2
230 N(L) = AREA * .886 / D(M)
235 N(L) = N(L) * 1E4
240  PRINT N(M),N(L);" MICRON"
250 L = L + 2:M = M + 2
260  NEXT
265 N(0) = D(0) - 1
270  PRINT : INPUT "WRITE N-D PROFILE ";F$
280  PRINT CD$"OPEN "F$: PRINT CD$"WRITE "F$
290  FOR I = 0 TO D(0): PRINT N(I): NEXT
300  PRINT CD$"CLOSE "F$

]
```

ภาคผนวก ฆ.

โปรแกรม TRANSIENT2

```
LIST

4000  PRINT  CHR$ (4);"BLOAD SUBCV2"
4002  POKE  - 15360,0: POKE  - 15359,0
4003  INPUT " SELECT RANGE (0-7):";A
4004  POKE  - 15358,A: POKE 24576,A
4005  INPUT " DELAY PARAMETER";N
4006  PRINT " TOGGLE RES SWITCH ": GET A$: POKE  - 15359,2: POKE  - 15359
   ,0
4010  PRINT "PRESS SPACE BAR TO START PULSE": GET A$
4020  IF A$ = " " THEN 4031
4025  GOTO 4010
4031  POKE  - 15359,4
4035 MEM = 8192:F = 0
4040  FOR I = 0 TO 100
4041  IF I = 10 THEN  POKE  - 15360,255
4045  CALL 28822
4050  POKE MEM, PEEK (24584): POKE MEM + 1, PEEK (24585): POKE MEM + 2, PEEK
   (24586)
4055  FOR J = 0 TO N: NEXT J
4060 MEM = MEM + 3
4061  PRINT I
4065  NEXT I
4066  POKE  - 15359,0: POKE  - 15359,2: POKE  - 15359,0
4068  INPUT "TIME COUNTER IS=";T
4069 TIME = (T / 135) * .01:TIME =  INT (TIME * 100) * .01
4070 MEM = 8192: DIM D(300):D(0) = 200:M = 1
4075  FOR I = 0 TO 100
4080  POKE 24584, PEEK (MEM): POKE 24585, PEEK (MEM + 1): POKE 24586, PEEK
   (MEM + 2)
4085  CALL 28784
4090 DEC = 0
4095  FOR K = 0 TO 18
4100  CALL 28672
4105  IF  PEEK (24583) = 0 THEN 4115
4110 DEC = DEC + 2 ^ K
4115  NEXT K
4120 DEC =  INT (DEC / 100):D(M) = DEC
4121 D(M + 1) = TAL:TAL = TAL + TIME
4122  IF F = 1 THEN 4124
4123 F = 1:N = D(1):D(M) = DEC / D(1): GOTO 4125
4124 D(M) = DEC / N:D(M) =  INT (D(M) * 10000) * .0001
4125 REV = D(M):D(M) = D(M + 1):D(M + 1) = REV
4126  PRINT D(M + 1),D(M);" SEC":M = M + 2:MEM = MEM + 3
4130  NEXT I
4235  PRINT
4250  TEXT : INPUT "WRITE DATA FILE NAME :";F$
4260 CD$ =  CHR$ (4)
4270  PRINT CD$"OPEN "F$: PRINT CD$"WRITE "F$
4280  FOR I = 0 TO D(0): PRINT D(I): NEXT
4290  PRINT CD$"CLOSE "F$
4300  PRINT : PRINT " NEXT DATA SAMPLING? (Y OR N) ": GET A$
4310  IF A$ = "Y" THEN 4002

]
```

ภาคผนวก ง.

โปรแกรม CVANALYSIS

```
LIST

1  HOME : INVERSE
2  PRINT "              CV-PLOT ANALYSIS              "
3  PRINT : NORMAL
10  INPUT "ENTER CMAX(PF) ";CO
15  PRINT
20  INPUT "ENTER CMIN(PF) ";CM
30  PRINT : INPUT "ENTER DOT AREA(SQ CM) ";AREA
35  PRINT : INPUT "ENTER GATE MATERIAL ";G$
36  PRINT : INPUT "SUBSTRATE TYPE ";S$
37  PRINT : INPUT " ENERGY.GAP (eV) ";EG
38  PRINT : INPUT " DIELECTRIC CONSTANT ";DI
40 TEMP = 1 / CM - 1 / CO
50 CJ = 1 / TEMP
55 CJ =  INT (CJ * 100) * .01
56  PR# 1
60  PRINT : PRINT : PRINT "********** DATA INPUT ***********"
65  PRINT : PRINT "SUBSTRATE TYPE: ";S$
66  PRINT : PRINT "DOT AREA       : ";AREA;" SQ CM"
67  PRINT : PRINT "CMAX           : ";CO;" pF"
68  PRINT : PRINT "CMIN           : ";CM;" pF"
69  PRINT : PRINT "GATE MATERIAL  : ";G$
70 ND = 1.4090739E32 * (EG / DI) * (CJ * 1E - 12) ^ 2 / (AREA) ^ 2
75 CSFB = (2.7300316E - 15 *  SQR (ND)) * AREA / 1E - 12
80 CFB = (CSFB * CO) / (CO + CSFB)
81 CFB =  INT (CFB * 100) * .01
82 ND =  INT ((ND / 1E + 15) * 100) * .01
85 XDMAX = 886 * DI * AREA / CJ
86 XDMAX = .001 *  INT (XDMAX * 1000)
90  PRINT : PRINT "********** DATA OUTPUT **********"
91  PRINT
95  PRINT "DOPING CONCENTRATION=";ND"x1E+15 CM-3"
96  PRINT
100  PRINT "C  JUNCTION(Cj)     =";CJ;" pF"
102  PRINT
110  PRINT "C  FLATBAND(CFB)    =";CFB;" pF"
120  PRINT : PRINT "DEPLETION WIDTH(MAX)=";XDMAX;" MICRON"
130  PR# 0

]
```

ภาคผนวก จ.

โปรแกรมย่อย SUBCV2

```
]CALL-151

*7000L

7000-  A9 00     LDA  #$00
7002-  8D 07 60  STA  $6007
7005-  4E 10 60  LSR  $6010
7008-  6E 0F 60  ROR  $600F
700B-  6E 0E 60  ROR  $600E
700E-  90 05     BCC  $7015
7010-  A9 FF     LDA  #$FF
7012-  8D 07 60  STA  $6007
7015-  60        RTS
7016-  48        PHA
7017-  29 0F     AND  #$0F
7019-  8D 05 60  STA  $6005
701C-  A9 FF     LDA  #$FF
701E-  ED 05 60  SBC  $6005
7021-  4C 60 70  JMP  $7060
7024-  AD 00 60  LDA  $6000
7027-  29 07     AND  #$07
7029-  8D 00 60  STA  $6000
702C-  8D 02 C4  STA  $C402
702F-  60        RTS
*L

7030-  AD 00 60  LDA  $6000
7033-  09 80     ORA  #$80
7035-  8D 02 C4  STA  $C402
7038-  A2 02     LDX  #$02
703A-  CA        DEX
703B-  D0 FD     BNE  $703A
703D-  29 7F     AND  #$7F
703F-  8D 02 C4  STA  $C402
7042-  8D 00 60  STA  $6000
7045-  A2 1E     LDX  #$1E
7047-  CA        DEX
7048-  D0 FD     BNE  $7047
704A-  18        CLC
704B-  AD C2 C0  LDA  $C0C2
704E-  8D 01 60  STA  $6001
7051-  AD C0 C0  LDA  $C0C0
7054-  49 FF     EOR  #$FF
7056-  8D 03 60  STA  $6003
7059-  EA        NOP
705A-  AD C1 C0  LDA  $C0C1
*L

705D-  48        PHA
705E-  EA        NOP
705F-  09 F0     ORA  #$F0
7061-  49 FF     EOR  #$FF
7063-  8D 04 60  STA  $6004
7066-  68        PLA
7067-  4A        LSR
7068-  4A        LSR
7069-  4A        LSR
706A-  4A        LSR
706B-  8D 02 60  STA  $6002
706E-  60        RTS
706F-  0A        ASL
7070-  AD 08 60  LDA  $6008
7073-  8D 0E 60  STA  $600E
7076-  AD 09 60  LDA  $6009
7079-  8D 0F 60  STA  $600F
707C-  AD 0A 60  LDA  $600A
707F-  8D 10 60  STA  $6010
7082-  60        RTS
*L

7083-  AD 0B 60  LDA  $600B
7086-  8D 0E 60  STA  $600E
7089-  AD 0C 60  LDA  $600C
708C-  8D 0F 60  STA  $600F
708F-  AD 0D 60  LDA  $600D
7092-  8D 10 60  STA  $6010
7095-  60        RTS
7096-  D8        CLD
7097-  A9 00     LDA  #$00
7099-  8D 08 60  STA  $6008
709C-  8D 09 60  STA  $6009
709F-  8D 0A 60  STA  $600A
70A2-  8D 0B 60  STA  $600B
70A5-  8D 0C 60  STA  $600C
70A8-  8D 0D 60  STA  $600D
70AB-  A0 64     LDY  #$64
70AD-  20 30 70  JSR  $7030
70B0-  18        CLC
70B1-  AD 01 60  LDA  $6001
70B4-  6D 08 60  ADC  $6008
*L

70B7-  8D 08 60  STA  $6008
70BA-  AD 02 60  LDA  $6002
70BD-  6D 09 60  ADC  $6009
70C0-  8D 09 60  STA  $6009
70C3-  A9 00     LDA  #$00
70C5-  6D 0A 60  ADC  $600A
70C8-  8D 0A 60  STA  $600A
70CB-  18        CLC
70CC-  AD 03 60  LDA  $6003
70CF-  6D 0B 60  ADC  $600B
70D2-  8D 0B 60  STA  $600B
70D5-  AD 04 60  LDA  $6004
70D8-  6D 0C 60  ADC  $600C
70DB-  8D 0C 60  STA  $600C
70DE-  A9 00     LDA  #$00
70E0-  6D 0D 60  ADC  $600D
70E3-  8D 0D 60  STA  $600D
70E6-  88        DEY
70E7-  D0 C4     BNE  $70AD
70E9-  60        RTS
```

ประวัติผู้เขียน

นายวิชิต ศิริโชติ เกิดเมื่อวันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2507 ที่ อ. สีคิ้ว จ. นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง เมื่อ พ.ศ. 2528 ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาตรี ได้รับรางวัลในการประกวดสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ จากสมาคมอิเล็กโตรนิกส์แห่งประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2526 ในผลงานเรื่อง "Computerized Stroboscope", พ.ศ. 2527 ในผลงานเรื่อง "8039 Singlechip Microcomputer System Design Kit", พ.ศ. 2528 ในผลงานเรื่อง "iAPX-88 Microprocessor Development System" และในปี พ.ศ. 2528 ได้รับทุนนักศึกษาดีเด่น จากสมาคมศิษย์เก่าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในระหว่างการศึกษาได้รับทุนการศึกษาของโครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนา (STDB) ในสาขาอิเล็คโทรนิคส์ประยุกต์และคอมพิวเตอร์ จากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี พ.ศ. 2529 - 30 และในปี พ.ศ. 2530 เป็นอาจารย์พิเศษภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง