

เอกสารอ้างอิง

1. Smith, R.A. Semiconductors pp. 1-20., Cambridge University Press, London, 1964.
2. Nicollion, E.H.; Brew, J.A. MOS Physics and Technology, pp. 1-100., Wiley- Interscience, New York, 1982.
3. Tell, B.; Shay, J.L.; and Kasper, H.M. "Room temperature Electrical Properties of I-III-VI<sub>2</sub> Semiconductors", J. Appl. Phys., 43, 2496 (1972).
4. Sze, S.M., Semiconductor Device Physics and Technology, Wiley - Interscience, New York, 1985, pp.1-10
5. ชรรมศักดิ์ สิงคเสลิต "ค่าคงที่ของโครงผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำ  $AgGa_y In_{(1-y)} Te_{(1-z)} Se_{2z}$  เมื่อ  $y=0.2$ " วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2526.
6. Kittel, C., Introduction to Solid State Physics, 5th ed., p.190, Wiley & Sons, New Delhi, 1983.
7. Many, A.; Golstein, Y.; and Grover, N.B., Semiconductor Surfaces, 2nd ed., pp. 19-22, North-Holland Publishing Company, Amsterdam and London, 1971.
8. Shay, J.L.; and Wernick, J.H., Ternary Chalcopyrite Semiconductor pp. 1-78, Pergamon Press, London, 1975.
9. ธงชัย พันธุ์เมฆาฤกษ์ "ค่าคงที่ของโครงผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำ  $AgGa Te_{2(1-z)} Se_{2z}$ " วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2526.
10. ชีระพันธุ์ สันติเทวกุล "การศึกษาโครงสร้างแถบพลังงานของ  $AgGaTe_2$  โดยสภานำไฟฟ้าเชิงแสง" วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2528.
11. จูตินัย แก้วแดง "การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ ( $CuInSe_2$ )" วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2530.

12. วิรุฬห์ สายคณิต " ทฤษฎีพฤติกรรมของอิเล็กทรอนิกส์ในสารไร้ระเบียบ " หนังสือที่ระลึกในงาน รางวัลนักวิทยาศาสตร์ดีเด่น ประจำปี พ.ศ. 2525 หน้า 17-31
13. Sze, S.M., Physics of Semiconductor Devices, 2 nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981, p. 5, p.54
14. Yooder, K., Ph.D. Thesis (1985), University of Ottawa, Canada.
15. Von Bardeleben, H.J., "The Chemistry of Structural Defects in  $\text{CuInSe}_2$ " Solar Cells, 16 (1986) : 381-389.
16. Hannay, N.B., SEMICONDUCTORS, Reinhold Publishing Corporation, New York, (1959) pp. 87-140.
17. De Kok, A.J.R., "Crystal Growth of Bulk Crystals : Purification, Doping and Defects" Handbook on semiconductor Vol. 3, North-Holland Publishing Company, 1980, pp. 247-333.
18. Fearheiley, M.L., "The phase relations in the Cu,In,Se system and the grown of  $\text{CuInSe}_2$  single crystals", Solar Cells, 16 (1986), pp. 91-100.
19. Neelkanth, G.D.; hourenco; M.C.; and Ramesh, G.D. "Preparation and Characterization of Vacuum Deposited  $\text{CuInSe}_2$  Thin films" Solar cells, 16 (1986) : 369-380.
20. Manca, P.; and Garbato, L., "Phase Relationships, Crystal Growth And Stoichiometry Defects In  $\text{A}^{\text{I}} \text{C}^{\text{III}} \text{D}^{\text{VI}}/\text{B}^{\text{II}} \text{D}^{\text{VI}}$  Heterojunction-forming systems" Solar Cells, 16 (1986) : 101-121.
21. Becker, K.D.; and Wagner, S., "Temperature-dependent nuclear magnetic resonance in  $\text{CuInX}_2$  (X = S, Se, Te) "chalcopyrite-structure compounds" Phys. Rev.B, Vol. 27, No.9, 1983.
22. Wasim, S.M., "Transport properties of  $\text{CuInSe}_2$ " Solar cells, 16 (1986) : 289-316.
23. Haupt, H; and Hess, K., "Growth of large  $\text{CuInSe}_2$  single Crystals" Ternary compound pp. 5-12, The Institute of Physics Conference Series; No. 35, Bristol, 1977.

24. Matthes, H.; Viehmann, R.; Marshall, N.; Korozak, F., "Bridgman growth of  $\text{AgGaSe}_2$  with improved optical properties" JOURNAL DE PHYSIQUE, Colloque C3, Supplement au n° 9, Tome 36, (1975): C3-105-C3-108.
25. Haworth, L.; Tomlinson, R.D.; Al-Saffar, I.S., "Growth and Characterization of  $\text{CuInTe}_2$  single Crystals" Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 19, (1980) supplement 19-3, pp. 77-80.
26. Tomlinson, R.D.; "Fabrication of  $\text{CuInSe}_2$  single crystals using melt-growth techniques" Solar Cells, 16(1986): 17-26.
27. Endo, S.; Irie, T.; and Nakanishi, H., "Preparation and some properties of  $\text{CuInSe}_2$  single crystals" solar Cells 16 (1986): 1-15.
28. Feigelson, R.S., "The growth of ternary semiconductor crystals suitable for device applications" JOURNAL DE PHYSIQUE Colloque C3, supplement au n° 9, Tome 36, (1975): C3-57-C3-66.
29. Romeo, N.; Canevari, V.; Sberveglieri, G; Bosio, A; and Zanotti, L., "Growth of large-grain  $\text{CuInSe}_2$  thin films by flash-evaporation and sputtering" Solar cells, 16(1986): 155-164.
30. Shih, I.; Champness, C.H.; and Vahidshahidi, A., "Growth by directional freezing of  $\text{CuInSe}_2$  and diffused homojunctions in bulk material" Solar cells, 16(1986): 27-41.
31. Neumann, H.; and Tomlinson, R.D., "Band-Gap Narrowing in n-type  $\text{CuInSe}_2$  Single Crystals" Solid State Communications, Vol. 57, No.8, 1988, pp. 591-594.
32. Rincón, C.; and Sánchez Pérez, G., "Degeneracy effect on the optical Properties of  $\text{CuInSe}_2$ " Solar cells, 16(1986): 363-368.
33. Datta, T.; Noufi, R.; and Dbe, K., "Electrical conductivity of p-type  $\text{CuInSe}_2$  thin films" Appl. Phys. Lett. Vol. 47, No.10, 1985: 1102-1104.

34. Von Bardeleben, H.J., "Selenium Self-diffusion study in I-III-VI<sub>2</sub> semiconductor : CuInSe<sub>2</sub>" "J.Appl. Phys. Vol. 16, No.2, 1984: 321-326.
35. Rincón, C.; Bellabarba, c.; González, J.; and Sánchez Pérez., "Optical Properties and Characterization of CuInSe<sub>2</sub>" Solar cells, 16(1986): 335-349.
36. Neumann, H., "Optical properties and electronic band structure of CuInSe<sub>2</sub>" Solar cells, 16(1986): 317-320.
37. Brillson, L.J., "The Structure and Properties of Metal-Semiconductor interface" Surface Science Reports, Vol. 2, No.2, 1982: 123-166.
38. Milnes, A.G.; Feucht, D.L., Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions, Academic Press, Inc., New York, 1972: 156-190.
39. Bube, R.H., Photoconductivity of Solids, pp. 110-115, Wiley & Sons, New York and London, 1960.
40. Many, A.; Golstein, Y. and Grover, N.B., Semiconductor Surfaces, 2nd ed., pp. 128-136. North-Holland Publishing Company, Amsterdam and London, 1971.
41. Newman, N.; Schilfgaarde, M.V., Kendelwicz, T., "Electrical study of schottky on atomically clean GaAs (110) surface" Phys. Rev.B, Vol. 33, No.2, 1986: 1146-1159.
42. Tan, H.S.; Yan, K.Y., "A comparative study on the production of ohmic contacts on Si by pulsed laser irradiation and by furnace heating" Sing. J. Phys., Vol. 3, No.1, 1986: 63-73.
43. Tantraporn, W., "Determination of low Barrier Heights in Metal-Semiconductor Contacts" J. Appl. Phys., Vol. 41, No.11, 1970: 4669-4671.
44. Hayden, H.W., Moffatt, W.G.; and Wulff, J., The Structure and Property of Materials, Vol. III, Wiley Eastern Private limited, New Delhi, 1974: pp. 61-65, pp. 111-116.
45. สิ่งสิทธิ์ ตรีสุวรรณ พฤติกรรมทางโครงสร้าง เล่ม 1 หน้า 1-100 สำนักพิมพ์  
นิสิตส์เซ็นเตอร์การพิมพ์ 2529.

46. Ong, D.G., Modern MOS Technology : Process, Devices, and Design, pp. 19-20., Printed in Singapore by Chong Moh offset Printing Pte. Ltd., 1986.
47. Runyan, W.R., Semiconductor Measurements and Instrumentation McGraw-Hill Book Company, New York, 1975: 65-75.
48. Van der Pauw, L.J., "A method of measuring the resistivity and Hall Coefficient on lamellae of arbitrary Shape" Philips technical review. Vol. 20, No.8, 1958, pp. 220-224.
49. Van der Pauw, L.J., "A method of measuring specific resistivity and Hall effect of disc of arbitrary shape", Philips Res. Reports, 13, 1958: pp. 1-9.
50. Takenoshita, H., Nakau, T.; and Nakao, I., "Preparation and Some Properties of  $\text{CuInSe}_2$  on  $\text{ZnSe}$  Heterojunction Grown by LPE", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.9, (1980) supplement 19-3, pp. 33-41.
51. Thornton, J.A.; Lomasson, T.C., "Magnetron Reactive Sputtering of Copper-Indium-Selenide" Solar Cells, 16 (1986): 165-179.
52. Ong, D.G., Modern MOS Technology : Processes, Devices, and Design, Printed in Singapore by Chong Moh offset Printing Pte. Ltd., 1986, p. 37. pp. 39-40, pp. 50-79, pp. 60-62.
53. Marczewski, J., "Practical Aspects of the Measurements of C-V Curves on MOS Structures" Prace Instytutu Technologi Elektronowej, Z.8,S. 9-17, Warszawa, 1983.
54. Sze, S.M., Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc. New York, 1981., p. 100, p. 196, pp. 362-375, pp. 379-407.
55. Nicollion. E.H.; and Brew, J.R., MOS Physics and Technology, Wiley-Interscience, New York, 1982., pp. 58-64, pp.170-172, p. 178, pp. 232-233, p. 285, pp. 375-380, pp. 385-387, pp. 424-435, p. 465, p. 492, pp. 496-498, p.506.
56. Sze, S.M., Semiconductor Device Physics and Technology, Wiley-Interscience, New York, 1985, pp. 196-200.

57. Bouchikhi, B; Michel, C; Valmont, G.; Ravelet, R. : and Lepley, B., "Interface properties of MIS structures prepared by plasma oxidation of n-InP" Semicond. Sci. Technol., 1(1986); pp. 143-149.
58. Goodge, M.E., Semiconductor Device Technology, Howard W. Sams & Co., Inc., Indiana, U.S.A., 1983, pp. 329-417.
59. Ohhata, T; and Yoshimi, M., "Band Bending And Interface State Density In CdS Thin-film MIS STRUCTURES" Solid-State Electronics, Vol. 29, No.9, 1986, pp. 994-995.
60. Ling. C.H.; Kwok, C.Y.; Chan, E.G.; and Tay, T.M., "Frequency Dependence of MOS Capacitance In Strong Inversion And At Elevated Temperatures" Solid-State Electronics, Vol. 29, No. 9, 1986, pp. 995-997.
61. Aspnes, D.E.; Studna, A.A., "Chemical etching and Cleaning procedures for Si, Ge, and some III-V Compound Semiconductors" Appl. Phys. Lett., 39(4), 1981, pp. 316-318.
62. Rubenstein, M., "The Oxidation of GaP and GaAs" J. Electrochem. Soc., Vol. 113, No.6, 1966, pp. 540-542.
63. Blood, F., "Capacitance-Voltage profiling and the characterization of III-V semiconductors using electrolyte barriers." Semicond. Sci. Technol.; 1(1986); pp. 7-27.
64. Zaininger, K.H.; Heiman, F.P., "The C-V Technique as an Analytical Tool Part 2." Solid State Technology, June, 1970, pp. 46-55.
65. Nakhmanson, R.S.; and Sevastianov, S.B., "Investigation of Metal-Insulator-Semiconductor Structure Inhomogeneities Using A Small-Size Mercury Probe" Solid-State Electronics, Vol. 27, No.10, 1984, pp. 881-891.
66. Beck, J.D.; Kinch, M.A.; Esposito, E.J.; and Chapmon, R.A., "The MIS Physics of the native oxide-Hg<sub>1-x</sub> Cd<sub>x</sub> Te interface" J. Vac. Sci. Technol., 21(1), May/June 1982, pp. 172-177.
67. โภศล เพ็ชรสุวรรณ และ มาชามอริ อิดะ เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ จัดพิมพ์โดย สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ พ.ศ. 2522 หน้า 175-178.

68. วิชิต ศิริโชติ " ระบบ ซี-วี ความคมโดยคอมพิวเตอร์ สำหรับศึกษาสมบัติของ รอยต่อกิ่งตัวนำ" วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2531.

ภาคผนวก

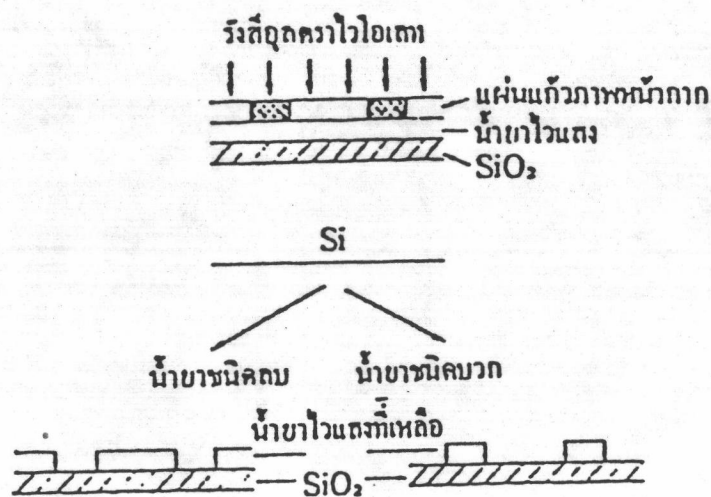




ภาคผนวก ข

น้ำยาไวต่อแสง (Photo resist)

น้ำยาไวแสงเป็นสารที่เปลี่ยนสมบัติได้ (polymerization reaction) เมื่อถูก รังสีอุลตราไวโอเลต น้ำยานี้แบ่งออกเป็นสองประเภทกล่าวคือ น้ำยาชนิดลบ (negative photo resist) และน้ำยาชนิดบวก (positive photoresist) สมบัติของน้ำยาชนิดลบ คือ ส่วนที่ไม่ถูกฉายด้วยแสงอุลตราไวโอเลตจะล้างออกได้ด้วยน้ำยาล้าง (developer) ซึ่งเป็นสารละลาย ประเภทออร์แกนิก เช่น สารผสมระหว่าง J-100 และเบซิลีนคลอไรด์ เป็นต้น แต่ส่วนที่ถูกแสง จะแข็งตัวล้างออกด้วยน้ำยาล้างไม่ได้ จำเป็นต้องล้างด้วยกรดเฉพาะอย่างได้แก่ กรดซัลฟูริก เข้มข้นร้อน แต่จะใช้กับน้ำยาบนผิว Al ไม่ได้ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่น เช่น หากจะใช้สารละลาย ประเภทออร์แกนิก ดังกล่าวข้างต้น ต้องทำดังนี้คือ หลังจากจุ่มลงไปในสารผสมระหว่าง J-100 และเบซิลีนคลอไรด์ แล้วให้ล้างสารผสมนี้ด้วยไตรคลอโรเอธิลีน สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดบวกจะมีสมบัติในการถูกแสงในลักษณะตรงกันข้ามกับน้ำยาชนิดลบ จากรูปที่ 1 จะพบว่าหลังจากให้แสง ตกกระทบบนน้ำยาผ่านแผ่นภาชนะที่อากาศ และนำไปล้างแล้ว น้ำยาชนิดลบส่วนที่ถูกแสงและน้ำยา ชนิดบวก ส่วนที่ไม่ถูกแสงจะยังเหลืออยู่

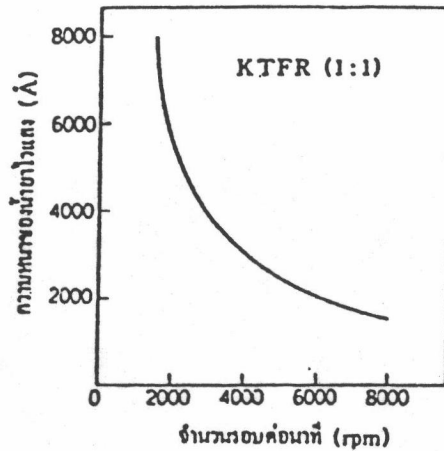


รูปที่ 1 ความแตกต่างระหว่างน้ำยาชนิดลบและชนิดบวก

สารประกอบของน้ำยาไวแสงอาจเป็นยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ (natural or synthetic rubber) ซึ่งเป็นพวกโพลีไวนิล ซินนามเมท (polyvinyl cinnamate) ในน้ำยาลบ และเป็นพวก โนโวแลก ควินนอน ไดอะโซเนียม (novolac quinon diazonium) ในน้ำยาบวม ส่วนชื่อที่เรียกในการซื้อขายตามท้องตลาดได้แก่ KPA (ใช้สำหรับ  $\text{SiO}_2$  กับ Al) KTRF (ใช้สำหรับ  $\text{SiO}_2$  และแผ่นฟิล์มโลหะทั่วไป) KMEA (ใช้สำหรับโลหะแก้ว) KOA (ใช้สำหรับโลหะ) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นน้ำยาชนิดลบ ผลิตจำหน่ายโดยบริษัทโกดัก (Kodak) ส่วนน้ำยาชนิดบวมนั้นได้แก่ AZ-1350 และ AZ-111 ผลิตโดยบริษัทชิปส์ (Shiplay)

### การเคลือบน้ำยาไวแสง (Coating of resist)

โดยทั่วไปการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นสารกึ่งตัวนำนั้น เราใช้เครื่องสปินเนอร์ (spinner) โดยอาศัยหลักการของแรงสู่ศูนย์กลาง ทำให้น้ำยาเคลือบลงบนผิวสารกึ่งตัวนำด้วยความสม่ำเสมอ วิธีการคือวางแผ่นสารกึ่งตัวนำลงบนแกนซึ่งอยู่ตรงกลางของเครื่องสปินเนอร์ แผ่นสารกึ่งตัวนำจะถูกดูดให้ติดแน่นกับแกนนี้ โดยระบบสุญญากาศ ต่อไปจึงหยดน้ำยาลงบนแผ่นซิลิกอน แล้วจึงกดปุ่มให้แกนหมุนรอบตัวเอง น้ำยาจะถูกเหวี่ยงด้วยแรงสู่ศูนย์กลางจนสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า ความหนาของน้ำยาเหนือผิวเนื้อสารกึ่งตัวนำ หรือเหนือผิวออกไซด์ จึงขึ้นอยู่กับความเร็วเชิงมุมของแกน (โดยปกติ 500-1000 rpm) และความหนืด (viscosity) ของน้ำยาเอง นอกจากนี้ น้ำยาจะเคลือบสม่ำเสมอยิ่งขึ้น หากแกนมีความเจือปนน้อย กล่าวคือมีความเร่งเชิงมุมสูงมากเท่าที่ทนได้ก็กดปุ่มให้เครื่องทำงาน หากน้ำยาที่เคลือบบางจนเกินไป และถ้าผิวของสารกึ่งตัวนำไม่เรียบสม่ำเสมอก็จะมีโอกาสเกิดรูเข็มเล็ก (pin holes) มากขึ้น ถ้าเคลือบหนาเกินไปจะมีความคมของน้ำยาที่ขอบลดน้อยลง ฉะนั้นเราจำเป็นต้องเลือกความหนาของการเคลือบให้พอเหมาะกับจุดประสงค์ รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำยาไวแสง และความเร็วเชิงมุม หรือจำนวนรอบต่อนาที (rpm) ของเครื่องสปินเนอร์ ความสัมพันธ์นี้เป็นเพียงตัวอย่างเฉพาะเครื่องเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ของเครื่องที่ใช้เองเสมอ



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำยากับจำนวนรอบต่อนาทีของเครื่องสปินเนอร์

การเคลือบแผ่นสารกึ่งตัวนำด้วยน้ำยาไวแสงนั้น อาจใช้วิธีอื่น ๆ เช่น จุ่มแผ่นสารกึ่งตัวนำลงไปใต้น้ำยาโดยตรง (dipping method) ฉีดละอองน้ำยาลงบนแผ่นสารกึ่งตัวนำ (spray method) ใช้ลูกกลิ้งบนแผ่นสารกึ่งตัวนำ (roller method) ซึ่งในปัจจุบันการใช้เครื่องสปินเนอร์ ดังกล่าวมาข้างต้นจะเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลายกว่าวิธีอื่น ๆ

สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้น้ำยาไวแสงประเภท KPR ของบริษัทโกดัก ซึ่งเป็นน้ำยาชนิดลบ หมายเลขทะเบียน 1892074 ที่ต้องเก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  ถึง  $27^{\circ}\text{C}$  แต่ก่อนอื่นต้องทำให้ น้ำยาไวแสงเจือจางเสียก่อน เพื่อสะดวกต่อการควบคุมความหนาของน้ำยาบนผิวหน้าสารกึ่งตัวนำ  $\text{CuInSe}_2$  หรือ  $\text{GaAs}$  โดยการเติมทินเนอร์ที่ใช้สำหรับผสมกับน้ำยาไวแสงของบริษัทโกดักหมายเลขทะเบียน 1536531 ที่ต้องเก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ  $5^{\circ}\text{C}$  ถึง  $27^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตราส่วนผสมของน้ำยาไวแสงต่อทินเนอร์มีค่าเท่ากับ 1 : 20 โดยปริมาตร แล้วจึงนำมารองด้วยกระดาษกรองประมาณ 6-8 ครั้ง เพื่อให้ได้ น้ำยาไวแสงเจือจางที่สะอาดไม่เป็นวันกันเหมือนก่อนนำมากรอง และจะเลือกใช้วิธีจุ่มแผ่นสารกึ่งตัวนำลงไปใต้น้ำยาโดยตรง แล้วปล่อยให้แห้งเองบนจานแก้วที่แบนราบ ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วด้วย TCE อะซีโตน เมทานอล น้ำดีไอออไนซ์ และเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ ตามลำดับ ซึ่งโดยการใช้เทคนิคเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้น้ำยาเคลือบสม่ำเสมอดีกว่าใช้เครื่องสปินเนอร์ เนื่องจากเครื่องสปินเนอร์ที่ห้องวิจัยมีใช้อยู่ไม่มีระบบสุญญากาศ เมื่อมีแรงเหวี่ยงแผ่นสารจะหลุดหายได้ง่าย ถึงแม้จะใช้วิธีสุดอื่น มาฉีดให้แผ่นสารติดกับแกนของสปินเนอร์ก็ตาม ก็ยังมีข้อเสียคือ

เมื่อแกะแผ่นสารออก แผ่นสารจะแตกร้าวเนื่องจากแผ่นสารกึ่งตัวนำ  $\text{CuInSe}_2$  และ  $\text{GaAs}$  มีลักษณะบางเปราะอยู่แล้ว นอกจากนี้ถ้ายาไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าแผ่นสารกึ่งตัวนำก็ยังมีลักษณะไม่เรียบ และหนาไม่สม่ำเสมอด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจาก แกนของเครื่องสปีนเนอร์ มีความเฉื่อยมาก จึงไม่สามารถเร่งให้มีความเร็วเชิงมุมสูงมากทันทีที่กดปุ่มให้เครื่องทำงาน (สังเกตได้ว่าเมื่อเริ่มกดปุ่มแล้วแกนจะเริ่มหมุนช้ามาก แล้วจึงค่อย ๆ เร็วขึ้นในเวลาต่อไป) นอกจากนี้การขาดหลุดหยดขนาดเล็กรวม ๆ ทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณหยดเพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ ซึ่งต่างกับการใช้วิธีจุ่ม จะสามารถควบคุมความหนาของน้ำยาบนผิวแผ่นสารกึ่งตัวนำได้ง่ายกว่าด้วยการนับเวลาขณะจุ่มให้พอเหมาะ

#### อันตรายและข้อควรระวังขณะปฏิบัติงาน

ในการเก็บรักษารวมทั้งเวลาใช้น้ำยาไวแสงและกินเนอร์นั้นต้องระมัดระวังให้พ้นจากฝุ่นละออง อีกทั้งต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ที่ค่าพอเหมาะตามฉลากที่ระบุติดไว้ข้างภาชนะ เนื่องจากน้ำยาทั้ง 2 อย่าง มีอันตรายต่อระบบประสาทและระบบเลือดในร่างกายของมนุษย์ โดยทั่วไป จึงจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้คือ

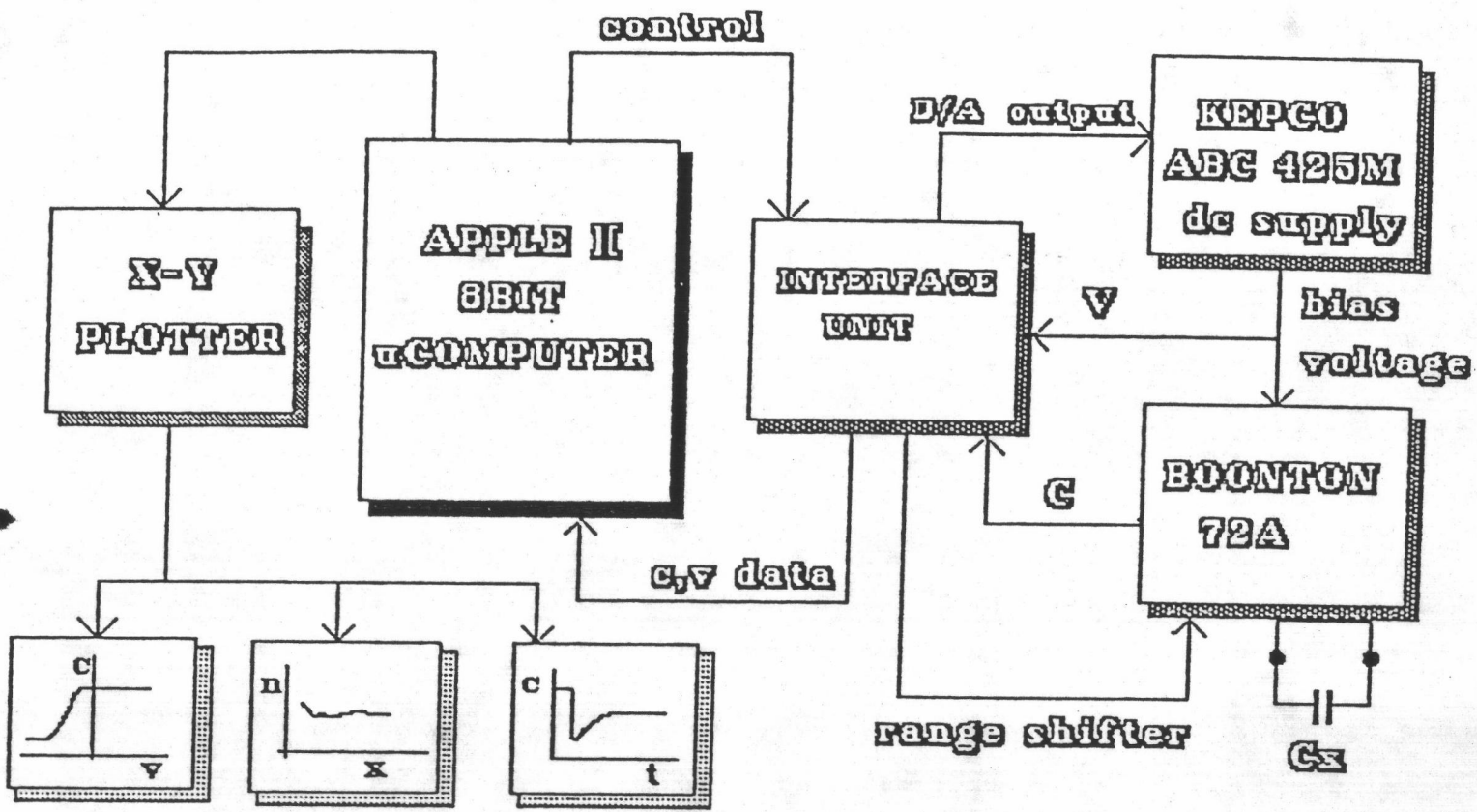
1. การสูดหายใจเอาไอระเหยของน้ำยาเข้าไป
2. การทำหกเปื้อนเปื้อนเสื้อผ้า ผิวหนัง หรือกระเด็นเข้าตา
3. การวางไว้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเกินขีดจำกัดที่ระบุไว้ข้างภาชนะ
4. การวางไว้ใกล้เปลวไฟ เนื่องจากสารที่ใช้ทำน้ำยาพวกนี้ติดไฟได้ง่าย
5. เมื่อถูกต้องผิวหนังส่วนใดของร่างกายก็ตามต้องรีบล้างน้ำสะอาดมาก ๆทันที

หลักการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ของรอยต่อแบบ MIS

การวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ค่าความต่างศักย์ของรอยต่อแบบ MIS เพื่อศึกษาสมบัติของตัวเก็บประจุ MIS ที่มีฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำ Si และ GaAs เป็นวิธีการที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายนานมาแล้ว ปัจจุบันนี้ ได้ขยายเพิ่มเติมขึ้นมาเป็นการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-เวลาที่ผ่านไป และค่าความจุ-ความต่างศักย์ ที่ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับสมบัติของตัวเก็บประจุ MIS หรือสมบัติของสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้นอีกมากมาย เช่น นอกจากจะทราบค่าความหนาแน่นพาหะที่ระยะลึกต่าง ๆ ในเนื้อสารกึ่งตัวนำแล้วยังทราบถึงช่วงชีวิตพาหะ ค่าระดับพลังงานกระตุ้นของพาหะด้วย เป็นต้น โดยทั่วไปจะนิยามการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ ออกเป็น 2 กรณีคือ

1. การวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ที่ใช้ค่าความถี่สูง (the high frequency C-V curve)
2. การวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ ที่ใช้ค่าความถี่ต่ำ (the low frequency C-V curve)

สำหรับงานวิจัยนี้ จะนิยามเฉพาะ หลักการวัดความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ ที่ใช้ค่าความถี่สูง 1 MHz เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง โดยการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู ขั้นตอนแรกสุดจะกล่าวถึงหลักการขั้นพื้นฐานของการวัด แล้วจึงกล่าวถึง หลักการทำงานของระบบ เครื่องมืออื่น ๆ ที่นำมาประกอบกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู เพื่อใช้วัดความสัมพันธ์ ระบบเหล่านี้ได้ออกแบบและประกอบขึ้นเองที่ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [68] กล่าวคือ เป็นการนำอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมได้แก่ เครื่องมือวัดค่าความจุขนาด 72 เอ (Boonton 72 A capacitance meter) และแหล่งจ่ายไฟแบบโปรแกรมได้ เคปโท เอบีซี 425 เอ็ม (Kepco ABC 425 M) มาเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู โดยใช้เครื่องอินเตอร์เฟซยูนิท (Interface Unit) เป็นเครื่องมือเชื่อมการทำงานของระบบทั้งหมดเข้าด้วยกัน เป็นระบบอัตโนมัติ ตามที่ได้แสดงลักษณะการจัดอุปกรณ์ไว้ ดังรูปที่ 3



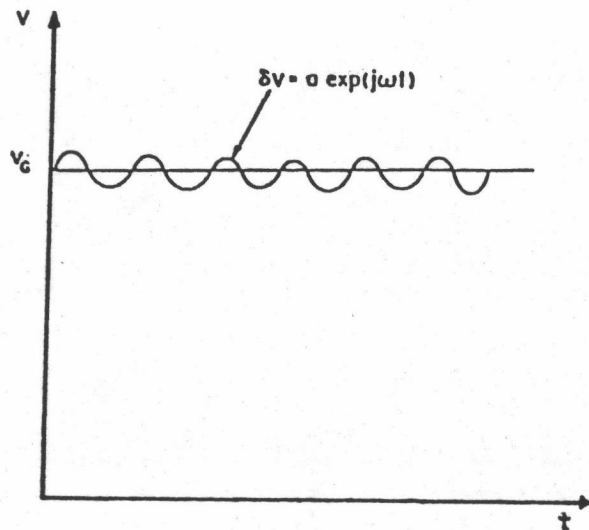
## COMPUTERIZED C-V SYSTEM

รูปที่ 3 แสดงการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ ที่ดัดแปลงให้เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู เพื่อใช้ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการขั้นพื้นฐานของการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ ของรอยต่อแบบ MIS

หลักการขั้นพื้นฐาน ของการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ของ รอยต่อแบบ MIS นั้นจะอาศัยการใช้เทคนิคของวงจร บริดจ์ (Bridge circuit) กล่าวคือ เป็นการป้อนสัญญาณไฟสลับที่มีค่าความถี่ 1 MHz และแอมพลิจูด เท่ากับ  $15 \text{ mV}_{\text{rms}}$  [เมื่อ  $V_{\text{rms}} = 0.707$  (ค่าสัญญาณไฟสลับจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด)] ซึ่งถูกป้อนมาจากออสซิลเลเตอร์ที่อยู่

ภายในเครื่องบนต้น เข้าผสมกับ (modulate) กับสัญญาณไฟตรง ( $V_{DC}$ ) โดยที่สัญญาณไฟสลับ จะซึ่คร่อมอยู่บนสัญญาณไฟตรง ดังแสดงในรูปที่ 4



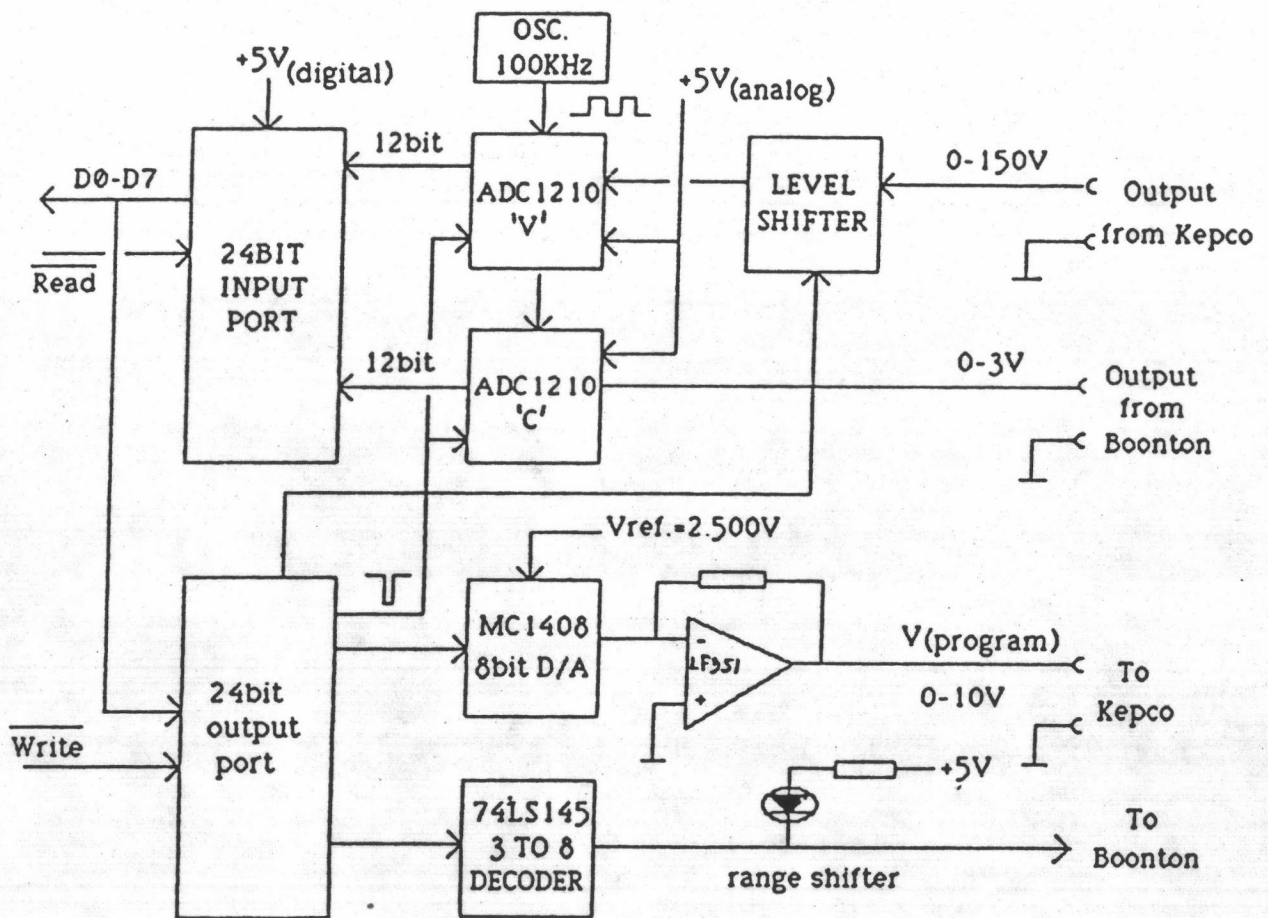
รูปที่ 4 แสดงความต่างศักย์ที่ใช้ไบอัสแก่ตัวเก็บประจุ MIS ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณไฟตรงและสัญญาณไฟสลับ ความถี่ 1 MHz แอมพลิจูด 15 m V<sub>r.m.s.</sub> ผสมกัน

สัญญาณไฟสลับจะตกคร่อมรอยต่อแบบ MIS และเป็นตัววัดค่าความจุของรอยต่อนี้ ส่วนสัญญาณไฟตรงจะตกคร่อมรอยต่อนี้และเป็นตัวทำให้เกิดการสะสมของพาหะตรงบริเวณผิวสารกึ่งตัวนำอันเป็นสาเหตุการเกิดกรณีต่าง ๆ เช่น เกิดแหล่งขุมพาหะช่วงคลื่นสั้น ขึ้นกลับกลาย เป็นต้น เมื่อสัญญาณผสมนี้ผ่านตัวเก็บประจุ MIS แล้วจะวัดค่าออกมาเป็น ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ MIS และจะผ่านเข้าสู่วงจรถ่ายแบบ แอลซี (LC Resonance) เกิดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจรถ่าย ต่อจากนั้นสัญญาณไฟสลับก็จะผ่านเข้าไปยังวงจรถ่ายแอมพลิไฟเออร์ (Junc Amplifier) เพื่อขยายค่าสัญญาณไฟสลับที่มีความสัมพันธ์กับค่าความจุที่วัดได้จากรอยต่อแบบ MIS ให้สูงขึ้นแล้วจึงผ่านเข้าสู่วงจรถ่ายแบบ ซิงโครนัส (Synchronous detector) จะเปลี่ยนสัญญาณไฟสลับให้เป็นสัญญาณไฟตรงที่ยังมีความสัมพันธ์กับค่าความจุที่วัดได้ จากนั้นสัญญาณนี้จะป้อนเข้าสู่เครื่องขยายสัญญาณไฟตรง (DC Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณไฟตรงนี้ให้สูงขึ้นอีก แล้วสัญญาณไฟตรงที่ถูกขยายออกมานี้จะไปเข้าเครื่องวัดชนิดเข็มของเครื่องบนต้น ในขณะที่เดียวกันก็จะป้อนเข้าเครื่อง อินเทอร์เฟส ยูนิต เพื่อแปลงสัญญาณให้เป็นดิจิทัลแล้วเข้าเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู ต่อไป



หลักการทํางานของระบบเครื่องมือต่าง ๆ ที่ถูกนำมาประกอบเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู เพื่อใช้วัดค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความจุ-ความต่างศักย์

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงหลักการวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ ของรอยต่อแบบ MIS ด้วยระบบวัดอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดความจุไฟฟ้า บนต้น 72 เอ เครื่องไม้อัสค่าความต่างศักย์ เคปโก เอบีซี 425 เอ็ม เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู ที่เชื่อมต่อถึงกันโดยผ่านเครื่องอินเตอร์เฟส ยูนิต ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 5



## INTERFACE UNIT

รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอินเตอร์เฟส ยูนิต

โปรแกรมควบคุม ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อควบคุมการวัดการเก็บข้อมูลการคำนวณ และ แสดงผลเชิงกราฟ พร้อมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากค่าความจุ-ความต่างศักย์ที่วัดได้ ซึ่งทำให้ การวัดและการวิเคราะห์ ค่าความผลเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำ หลักการทำงานของระบบมีความสัมพันธ์กันดังนี้

1. การควบคุมการเลือกช่วงค่าความต่างศักย์ ที่นำไปใช้ไบอัสแก่รอยต่อแบบ MIS ทำโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู ที่เป็นข้อมูลดิจิทัลเข้ามายัง อินเตอร์เฟสยูนิททางเอาท์พุทพอกขนาด 24 บิต (24 BIT output port) แล้วจะถูกส่งต่อ เข้ามายังวงจร D/A เบอร์ เอ็มซี 1408 ขนาด 8 บิต (MC 1408 8 bit D/A) เพื่อแปลง สัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก ซึ่งให้เอาท์พุทเป็นกระแสไฟฟ้าแล้วอปแอมป์เบอร์ LF 351 จะแปลง ค่ากระแสไฟฟ้าที่ถูกส่งเข้ามา เป็นค่าความต่างศักย์ที่ถูกโปรแกรมให้มีขนาดเท่ากับ 0-10 V, 0-20 V, 0-50 V เป็นต้น เข้าสู่เครื่องเคปโก เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้เคปโก ไบอัสค่า ความต่างศักย์ขนาดต่าง ๆ ดังกล่าวให้แก่รอยต่อแบบ MIS โดยผ่านออกทางเครื่องบนต้นต่อไป ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้ค่าไบอัสความต่างศักย์ขนาด 0-10 V และ 0-20 V ในกรณีของ สารกึ่งตัวนำ  $\text{CuInSe}_2$ , GaAs ตามลำดับ

2. การควบคุมการเลือกช่วงวัดค่าความจุ กระทำได้โดยป้อนความต่างศักย์ขนาด ประมาณ 0.5 V เข้าที่ขั้วต่อขยายระบบด้านหลังเครื่องบนต้น ข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมเป็นข้อมูล ขนาด 3 บิต จะถูกส่งมาจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู จะเข้ามายังอินเตอร์เฟสยูนิท ทางเอาท์พุทขนาด 24 บิต ป้อนให้กับ 74LS145 3TO8 DECODER ซึ่งจะให้เอาท์พุทขนาด 0.5 V ขนาด 8 ช่วง ป้อนเข้ามาควบคุมบนต้นที่ตามปรกติสามารถวัดค่าความจุได้ในช่วง 0.1-3000 pF ให้เลือกวัดค่าความจุได้ในช่วงที่ต้องการ (range shifter) คือ จะวัดค่าความจุเต็มสเกล เฉพาะช่วง 1, 3, 10, 100, 300, 1000, 3000 pF

3. ค่าความต่างศักย์เอาท์พุท ขนาด 0-10 V และ 0-20 V ที่ได้จากข้อ 1 เมื่อ ผ่านเข้าเครื่องบนต้น ก็จะผสมเข้ากับสัญญาณไฟสลับความถี่ 1 MHz และแอมพลิจูด เท่ากับ 15 mVrms ดังรูปที่ 4 แล้วจึงถูกส่งออกมาไบอัสให้แก่รอยต่อแบบ MIS ของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CuInSe}_2$  และ GaAs ตามลำดับ แล้วจะป้อนค่าความต่างศักย์นี้ไปยังวงจร A/D เบอร์ ADC 1210 V' ซึ่งทำงานที่ความถี่ 100 KHz เพื่อแปลงสัญญาณนี้เป็นสัญญาณไฟตรงที่เป็นดิจิทัลขนาด 12 บิต เข้าสู่ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แอปเปิลทู ทางอินพุทพอกขนาด 24 บิต (24 BIT input port)

4. ค่าความจุที่วัดโดยบนต้นจะให้เอาท์พุทออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ กับค่าความจุที่วัดได้จากรอยต่อแบบ MIS สัญญาณค่าความต่างศักย์ที่เป็นอนาลอกนี้ จะถูกส่งมาที่ วงจร A/D เบอร์ ADC1210 C' และจะถูกแปลงเป็นข้อมูล ดิจิตอลขนาด 12 บิต ซึ่งจะถูกรับ เข้าไปยังหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แอปเปิลทู โดยผ่านออกจากเครื่อง อินเตอร์เฟสยูนิททางอินพุทพอกขนาด 24 บิต

5. โปรแกรมจะแปลงค่าความต่างศักย์ให้อยู่ในหน่วย V และแปลงค่าความต่างศักย์ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความจุที่วัดได้เป็นค่าความจุในหน่วย pF ซึ่งกระทำโดยการสอบเทียบข้อมูลที่แปลงมากับเครื่องดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ขนาด  $4 \frac{1}{2}$  หลัก ยี่ห้อ FLUKE 720 ปรากฏ

ผลการทดลองบนจอภาพที่สอดคล้องกับค่าที่อ่านจากเข็มบนหน้าปัดของเครื่องเคปโก และบนต้นขณะเดียวกันค่าทั้งสองนี้จะถูกเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แอปเปิลทู และสร้างแฟ้มข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ-ความต่างศักย์ เพื่อใช้เขียนกราฟ และคำนวณหาค่าสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CuInSe}_2$  และ GaAs ต่อไป

ภาคผนวก ง.

โปรแกรม CVMASTER + + + +

```

)LIST
1 GOTO 2500
5 IF F = 1 THEN HOME : GOTO 10
6 DIM D(200): HOME
7 F = 1
10 CDS = CHR$ (4): INPUT "DATA FILE NAME ";Fs
20 PRINT CDS"OPEN "Fs: PRINT CDS"READ ";Fs
30 FOR I = 0 TO 192: INPUT A:D(I) = A: NEXT
40 PRINT CDS"CLOSE "Fs
41 PR# 1: PRINT CHR$ (27);"E";" DATA NAME ";Fs
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 AS
106 IF AS = "1" THEN M = 59:S = 1: PRINT "2 volts"
107 IF AS = "2" THEN M = 107:S = 2: PRINT "4 volts"
108 IF AS = "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 AS
126 IF AS = " " 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 AS
303 IF AS = " " 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 425
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 range
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 AS
977 IF AS = "N" THEN 1035
978 PRINT : GOTO 1000
1000 CDS = CHR$(4): PRINT : INPUT "DATA FILE NAME ";Fs
1010 PRINT CDS"OPEN "Fs: PRINT CDS"WRITE "Fs
1020 FOR I = 0 TO D(0): PRINT D(I): NEXT
1030 PRINT CDS"CLOSE "Fs
1035 PRINT : PRINT "NEXT DATA READING (Y OR N) ": GET AS
1040 IF AS = "Y" THEN 95
1041 GOTO 2500
1045 PRINT : PRINT "PLOT CURVE"
1050 PRINT CHR$(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 "Select range ":RANGE
2016 GET AS
2020 IF AS = "A" THEN RANGE = RANGE + 1: GOTO 2050
2030 IF AS = "Z" THEN RANGE = RANGE - 1: GOTO 2050
2040 IF AS = "Q" THEN 2500
2045 PRINT CHR$(7): GOTO 2011
2050 IF RANGE < 0 THEN RANGE = 0
2060 IF RANGE > 7 THEN RANGE = 7
2070 POKE - 15358,RANGE
2080 GOTO 2011
2500 HOME
2510 PRINT "*****"
2511 PRINT "C-V master control program"
2512 PRINT "*****"
2513 PRINT : PRINT
2524 PRINT " (1) HIS C-V PLOT"
2525 PRINT
2526 PRINT " (2) MS C-V PLOT"
2527 PRINT
2528 PRINT " (3) plot C-V curve"
2529 PRINT
2530 PRINT " (4) print C-V data"
2531 PRINT
2532 PRINT " (5) manual data reading"
2533 PRINT : PRINT : PRINT " Request:"; GET AS
2534 A = VAL (AS): PRINT : ON A GOTO 80,3100,3050,5,1600
2536 PRINT CHR$(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);"HLOAD SUBCVZ"
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 HOONTON..": GET AS
3160 IF AS = " " 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 CDS = CHR$(4): PRINT : INPUT "DATA FILE NAME ";FS
3380 PRINT CDS"OPEN "FS: PRINT CDS"WRITE "FS
3390 FOR I = 0 TO D(0): PRINT D(I): NEXT
3400 PRINT CDS"CLOSE "FS
3410 PRINT : PRINT "NEXT DATA READING (Y OR N) ": GET AS
3420 IF AS = "Y" THEN 3110
3430 GOTO 3410

```

ภาคผนวก จ.

## 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 " ;Gs
36 PRINT : INPUT "SUBSTRATE TYPE " ;Ss
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: " ;Ss
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 : " ;Gs
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" * 1E+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

```





## ประวัติผู้เขียน

นางสาว งามนิตย์ วงษ์เจริญ เกิดเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2501 ที่อำเภอ ตะพานหิน จังหวัด พิจิตร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัย ศิลปากร ที่จังหวัดนครปฐม เมื่อ พ.ศ. 2525 ในระหว่างการศึกษา ได้รับทุนจากมูลนิธิ จอห์น เอฟ. เคนเนดี แห่งประเทศไทยในปีการศึกษา 2522 และผ่านการฝึกงานเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ที่แผนกรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ และที่กองสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการปรมาณูเพื่อสันติ ปีการศึกษา 2524 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ในระหว่างการศึกษารับทุน จากโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ ในปีการศึกษา 2528-2529