สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

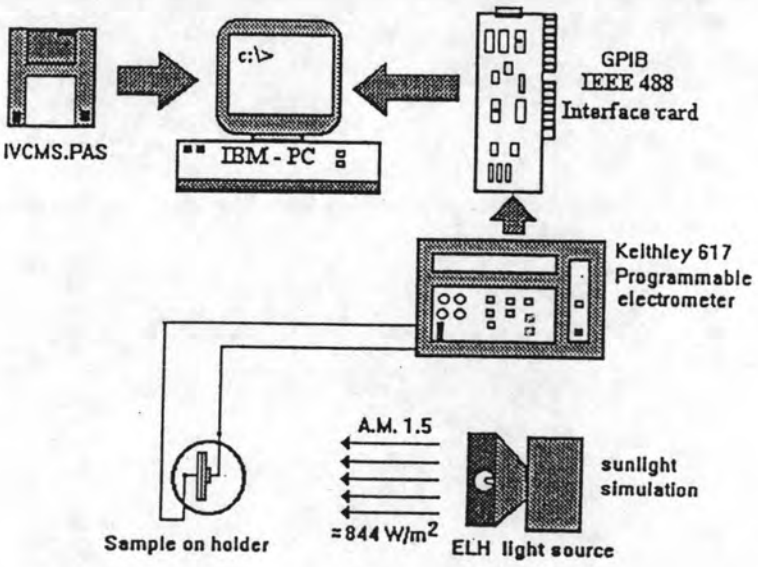
บทที่ 5
ระบบวัดลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า

ในการวิจัยศึกษาลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์ $CuInSe_2$ / CdS นี้ ได้มีการจัดสร้างระบบวัดลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า ซึ่งสั่งงานควบคุมและบันทึกผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ เพื่อให้การวัดและเก็บข้อมูลมีความแม่นยำ สะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งระบบนี้ยังสามารถที่จะดัดแปลงไปใช้กับการวัดในลักษณะอื่นได้โดยง่าย ซึ่งรายละเอียดของระบบวัดทั้งระบบวัดลักษณะเฉพาะ กระแส - ความต่างศักย์ และระบบวัดลักษณะเฉพาะความจุไฟฟ้า - ความต่างศักย์ ทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์ (hardware) และซอฟแวร์ (software) มีดังต่อไปนี้

ภาคฮาร์ดแวร์

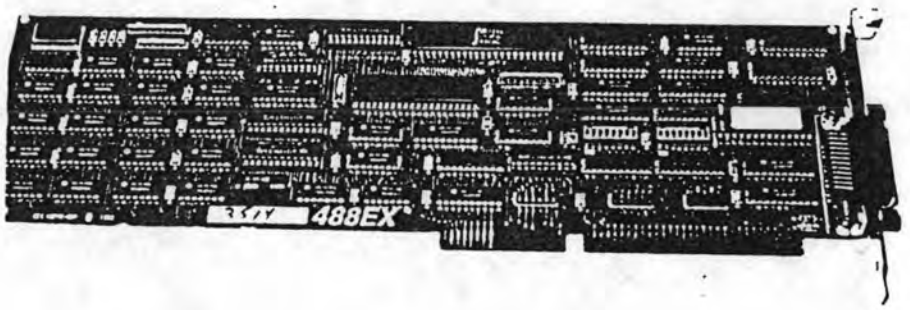
1. ระบบวัดลักษณะเฉพาะกระแส - ความต่างศักย์ (I-V characteristic measurement system)

เป็นระบบวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ โดยระบบวัดความสัมพันธ์กระแส - ความต่างศักย์นี้ จะเป็นระบบที่มีการเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะสามารถสั่งงานและควบคุมระบบวัดทั้งหมดได้ และข้อมูลที่ทำการวัดได้ สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ผลกับโปรแกรมอื่นๆได้ทันที ระบบวัดทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



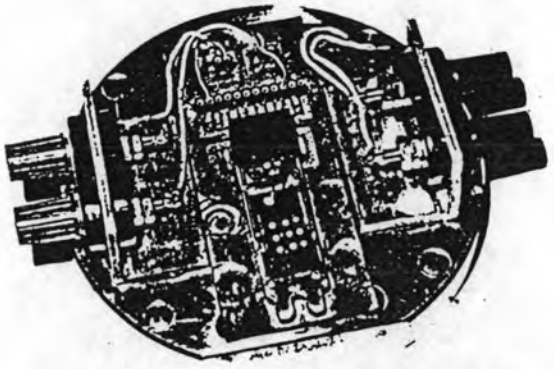
รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงระบบวัดลักษณะเฉพาะกระแส - ความต่างศักย์

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าระบบวัดกระแส - ความต่างศักย์นี้ จะประกอบด้วย อิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดโปรแกรมได้ Keithley รุ่น 617 (Keithley617 programable electrometer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของระบบวัด โดยจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายความต่างศักย์คงที่ (constant bias voltage.) ให้แก่รอยต่อวิวิธพันธุ์ ตามคำสั่งที่มาจากโปรแกรมควบคุมและจะทำหน้าที่วัดความ สัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ ณ บริเวณรอยต่อ ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งผ่านสายเคเบิลพิเศษไปยังระบบคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางแผงวงจรเชื่อมโยง (interface card) แบบ GPIB IEEE 488 ซึ่งติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ IBM compatable ทางสลอต (slot) ขนาด 16 บิต โดยแผงวงจรเชื่อมโยง GPIB IEEE 488 นี้จะทำหน้าที่รับ - ส่ง และแปลงข้อมูลจากอะนาลอกไปเป็น ดิจิตอล (analog to digital) และ ดิจิตอลเป็นอะนาลอก (digital to analog) ซึ่งจะส่งคำสั่งต่างๆ จากโปรแกรมควบคุมไปให้กับอิเล็กโตรมิเตอร์ Keithley 617 ให้ทำการวัด และจะทำการรับค่าที่วัดได้ มาทำการคำนวณและบันทึกผลต่อไป



รูปที่ 5.2 รูปถ่ายแสดงแผงวงจรเชื่อมโยง GPIB IEEE 488

ระบบคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้เชื่อมต่อนี้เป็นคอมพิวเตอร์แบบ 486 SLC ที่มีสลอตขนาด 16 บิต ทั่วไป (IBM Compatable 80486 SLC) โดยรอยต่อวิวิธพันธุ์ที่เตรียมขึ้น จะถูกติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ที่เสียบอยู่กับฐานรองรับสเตนเลส ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถเลือกวัดได้ถึง 6 จุด โดยฐานรองรับนี้จะต่ออยู่กับอิเล็กโตรมิเตอร์

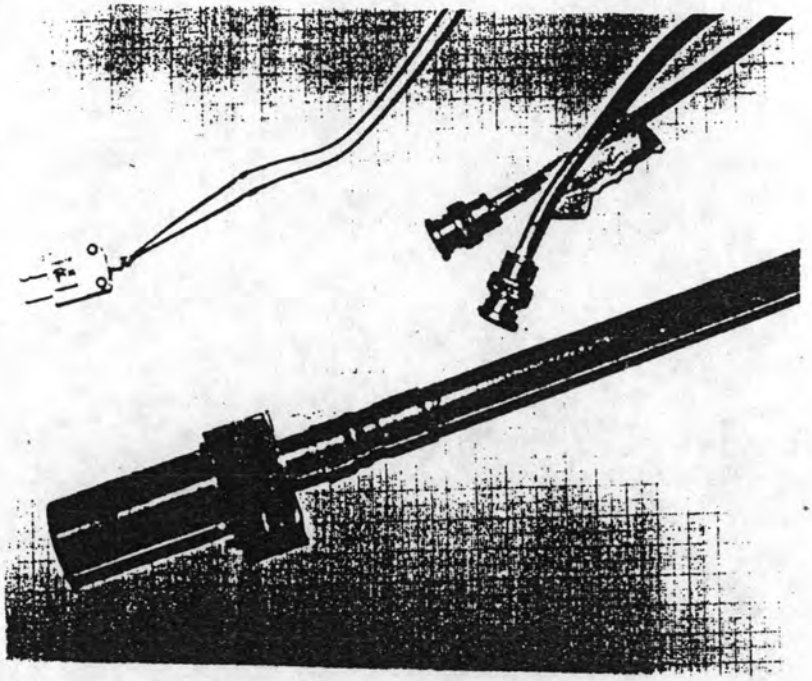


รูปที่ 5.3 รูปถ่ายแสดงการติดตั้งรอยต่อวิวิธพันธุ์ที่เตรียมได้
ลงบนฐานรองรับ

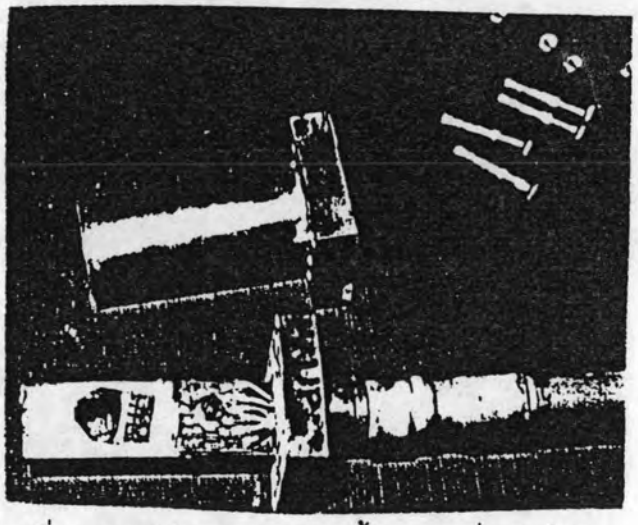
ในการวัดลักษณะเฉพาะกระแส - ความต่างศักย์ ภายใต้สภาวะที่มีแสง เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อแสงในเชิงของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น กระทำโดยอาศัยแสงอาทิตย์จำลอง ซึ่งสร้างขึ้นจากแสงที่ได้จากหลอดไฟบรรจุแกส (ELH lamp) โดยตั้งระยะห่างให้แสงที่ตกลงบนรอยต่อมีความเข้มแสงประมาณ 844 W/m^2 หรือขนาดเท่ากับ AM 1.5 ซึ่งเป็นความเข้มแสงเฉลี่ยที่เซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับในสภาวะใช้งานปกติ

ซึ่งการตั้งระยะนั้นกระทำโดยอาศัยการวัดการความเข้มแห่งการส่องสว่างของหลอดไฟ ELH ด้วย ลักซ์มิเตอร์ (lux meter) โดยความเข้มแห่งการส่องสว่างจะแปรผกผันกับระยะห่างกำลังสอง และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของหลอดไส้ทังสเตนบรรจุกาซ เช่น หลอด ELH นี้ กับพลังงานแสงที่ตกจะมีค่าเท่ากับ 20 lumen / W

ส่วนการวัดลักษณะเฉพาะกระแส - ความต่างศักย์ ที่อุณหภูมิต่างๆนั้น ต้องอาศัยอุปกรณ์ต่อร่วม อันได้แก่ ฐานรองรับรอยต่อ ซึ่งเป็นลักษณะท่อทองแดงปิดสำหรับแช่ลงในภาชนะซึ่งภายในบรรจุ ไนโตรเจนเหลว เพื่อการลดอุณหภูมิ โดยมีการเชื่อมต่อสายวัดสัญญาณทางไฟฟ้าไปยังรอยต่อจาก ภายในท่อ ซึ่งจะเชื่อมต่อไปยังระบบวัดอีกทีหนึ่ง



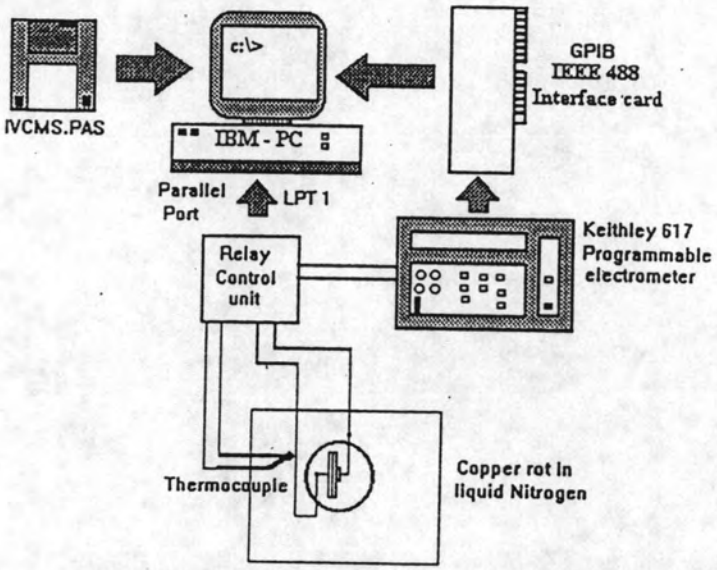
รูปที่ 5.4 รูปถ่ายแสดงท่อรองรับรอยต่อสำหรับวัดที่อุณหภูมิต่ำ



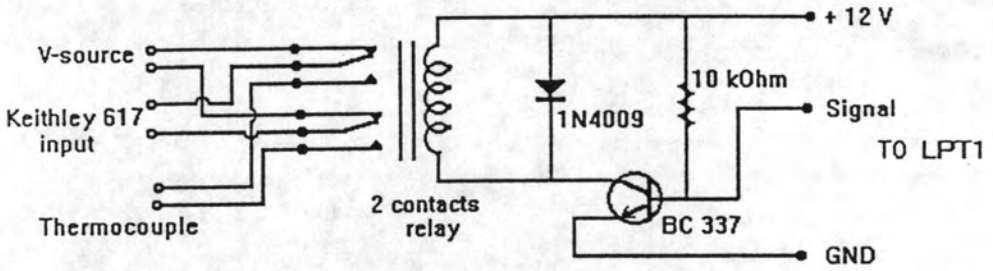
รูปที่ 5.5 รูปถ่ายแสดงการติดตั้งรอยต่อที่เตรียมได้
ลงบนแท่นรองรับ

อุปกรณ์ต่อร่วมเพื่อใช้ในการวัดลักษณะเฉพาะกระแส-ความต่างศักย์ อีกชิ้นหนึ่ง คือ วงจรควบคุมรีเลย์ โดยจะผ่านทางพอร์ตสื่อสารแบบขนาน (paralel port , LPT1) ของระบบ คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่คอยวัดและบันทึกค่าความต่างศักย์ ซึ่งได้จากคู่ควบความร้อน

(thermocouple) มาคำนวณให้เป็นค่าของอุณหภูมิขณะวัดในภายหลังดังแผนภาพแสดงระบบวัดลักษณะเฉพาะกระแส - ความต่างศักย์ ที่อุณหภูมิต่างๆ ในรูปที่ 5.6



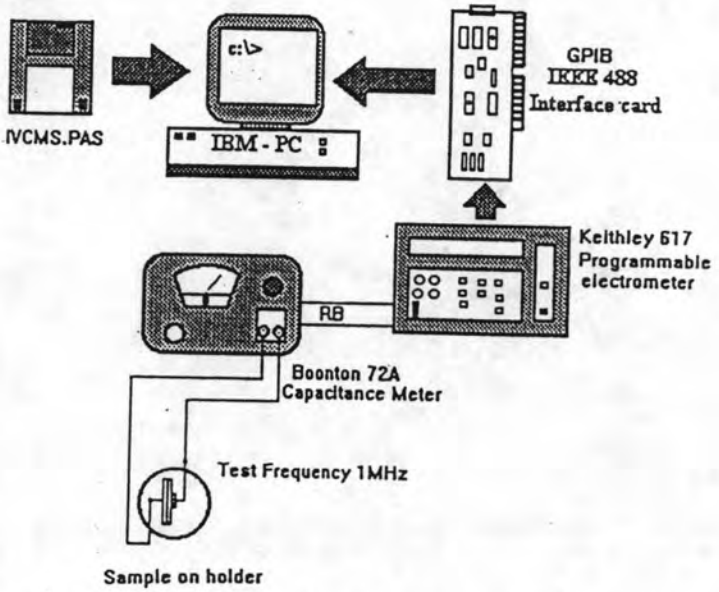
รูปที่ 5.6 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบวัดความสัมพันธ์กระแส - ความต่างศักย์ ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 5.7 แสดงวงจรควบคุมรีเลย์ผ่านทางพอร์ตสื่อสารแบบขนานของคอมพิวเตอร์

2. ระบบวัดลักษณะเฉพาะความจุไฟฟ้า - ความต่างศักย์ (C - V characteristic measurement system)

แผนภาพแสดงระบบวัดลักษณะเฉพาะความจุไฟฟ้า - ความต่างศักย์ (C - V) แสดงดังรูปที่ 5.8

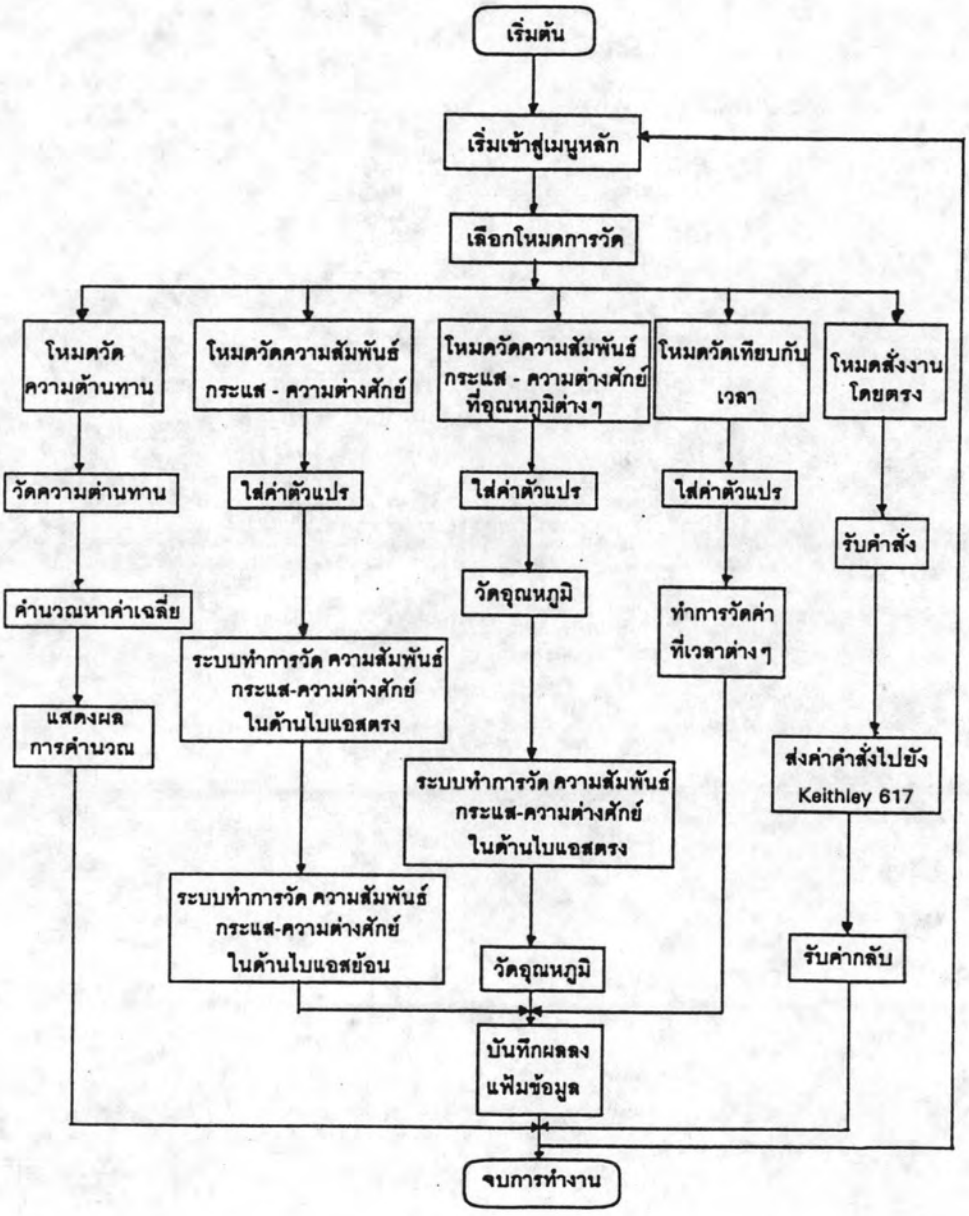


รูปที่ 5.8 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบวัด C - V

จากรูป อิเล็กโตรมิเตอร์ชนิดโปรแกรมได้ Keithley 617 จะทำหน้าที่จ่ายไบแอสย้อนทางให้กับคาพาซิแตนซ์มิเตอร์ Boonton 72A ซึ่งจะทำหน้าที่วัดความจุไฟฟ้าของรอยต่อที่ความถี่ทดสอบ 1 MHz โดยค่าความต่างศักย์ไบแอสย้อนนั้นสามารถที่จะควบคุมผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์ได้

ภาคซอฟแวร์

ในการควบคุมระบบวัด ทั้งระบบวัดลักษณะเฉพาะกระแส - ความต่างศักย์ และระบบวัดลักษณะเฉพาะความจุไฟฟ้า - ความต่างศักย์ สามารถที่จะทำการสั่งงานและควบคุมผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการ์ดเชื่อมโยง GPIB IEEE 488 ติดตั้งอยู่ โดยได้มีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการใช้งานและควบคุมระบบทั้งหมดด้วยภาษาปาสคาล (pascal) โดยโปรแกรมหลักจะอยู่ในแฟ้มข้อมูล (files) IVCMS2.PAS ซึ่งโครงโปรแกรมหลักได้แสดงอยู่ในภาคผนวก



รูปที่ 5.9 แสดงผังการทำงานของโปรแกรม IVCMS2.PAS

ซึ่งลักษณะการทำงานของโปรแกรม IVCMS2.PAS นี้ จะมีด้วยกันทั้งหมด 6 โหมดการทำงาน ให้ผู้ใช้เลือกตามลักษณะงานที่ต้องการ โดยเลือกตัวเลขที่ต้องการในเมนูหลัก (main manu) ดัง รูปที่ 5.10

```
                    [ MAIN MENU ]

    [1] Measure Resistance (R) of the Sample.
    [2] Measure I-V Characteristic (FB & RB Scan).
    [3] Measure I-V Forward Bias Characteristic vs. Temperature.
    [4] Time Dependent Measurement .
    [5] Direct Command by Send & Recieve GPIB Code.
    [6] Relay Control and Checking.

    [0] Exit the System.

  Enter the Number =>
```

รูปที่ 5.10 แสดงเมนูหลักของโปรแกรม IVCMS2.PAS

โหมดการทำงานต่างๆมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

[1] Measure Resistance (R) of the sample :

เป็นโหมดสำหรับวัดความต้านทานไฟฟ้าของรอยต่อ โดยจะทำการวัดความต้านทานไฟฟ้าได้ถึง 30 ครั้ง ในเวลาเพียง 3 วินาที พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยของความต้านทานที่ได้

[2] Measure I - V Characteristic (FB & RB Scan) :

โหมดนี้สำหรับใช้ในการวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - ความต่างศักย์ที่อุณหภูมิห้อง ทั้งในสภาวะมืดและสภาวะที่มีแสง โดยระบบจะทำการไบแอสรอยต่อพร้อมทั้งวัดค่าความสัมพันธ์กระแส - ความต่างศักย์ ทั้งในด้านไบแอสตรงและในด้านไบแอสย้อน โดยในการไบแอสที่แต่ละค่าความต่างศักย์นั้น ระบบจะทำการวัดข้อมูลของกระแส - ความต่างศักย์ 20 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลและบันทึกลงแฟ้มข้อมูลก่อนที่จะเปลี่ยนค่าของความต่างศักย์ไบแอส ซึ่งระบบจะทำการวัดเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงค่าความต่างศักย์สูงสุดหรือต่ำสุด ตามที่ได้มีการตั้งไว้

โดยค่าเฉลี่ยที่ได้นั้น จะมีค่าเบี่ยงเบนไม่เกิน 1.0 % ข้อมูลที่ได้บันทึกลงในแฟ้มข้อมูลนั้น สามารถนำไปใช้กับโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลและเขียนกราฟ ทั่วๆไป เช่น Lotus 123 , Quattro pro หรือ Microsoft Excell ได้ทันที โดยในแฟ้มข้อมูลจะมีการบันทึกชื่อ , รหัสของรอยต่อ และสภาวะแวดล้อมที่ทำการทดลองไว้ ด้วย

[3] Measure I - V Forward Bias Characteristic v.s. Temperature :

โดยในโหมดนี้ ระบบจะทำหน้าที่วัดความสัมพันธ์กระแส - ความต่างศักย์แต่ในด้านไบแอสตรงที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งระบบจะทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากคู่ควบความร้อน จากการตัดต่อของวงจรควบคุมรีเลย์มาวัดที่คู่ควบความร้อน ทั้งในช่วงก่อนทำการวัดและหลังการวัด ของการวัดความสัมพันธ์กระแส - ความต่างศักย์ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ลงในแฟ้มข้อมูล คู่กับข้อมูลความสัมพันธ์กระแส - ความต่างศักย์ โดยในการวัดจะต้องจัดระบบวัด ดังในรูปที่ 5.6

[4] Time Dependent Measurement :

เป็นโหมดที่ใช้วัดค่าของกระแส, ความต่างศักย์ หรือความต้านทาน โดยเป็นฟังก์ชันกับเวลา การทำงานในโหมดนี้ จะมีลักษณะคล้ายกับเครื่องเขียนกราฟ (graph recorder) โดยผู้ใช้สามารถจะกำหนดคาบในการวัดได้

[5] Direct Command by Send & Recieve GPIB Code :

โหมดนี้เป็นการสั่งงานและควบคุมอิเล็กโตรมิเตอร์ Keithley 617 โดยตรง ด้วยการสั่งงานเป็นรหัส ASCII ผ่านวงจรเชื่อมโยง GPIB โดยรหัสการสั่งงานนั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก

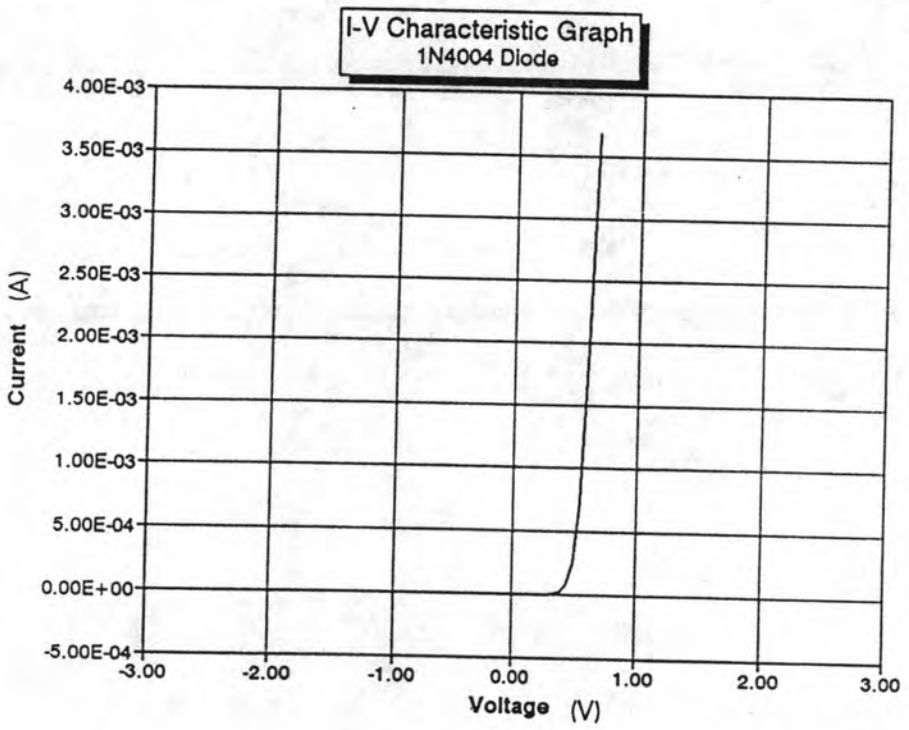
[6] Relay Control and Checking :

โหมดการทำงานนี้จะเป็นการควบคุมและตรวจสอบการทำงานของวงจรควบคุมรีเลย์ ซึ่งต่ออยู่กับพอร์ตสื่อสารแบบขนาน ซึ่งวงจรนี้จะเป็นอุปกรณ์ต่อร่วมในระบบการวัด I - V ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังในรูปที่ 5.6

ในการใช้งานโปรแกรมควบคุมระบบการวัดลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของรอยต่อนี้ เพียงแต่ผู้ใช้เลือกหมายเลขโหมดการใช้งานตามความต้องการ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบระบบแล้วจะให้ผู้ใช้ใส่ค่าตัวแปรต่างๆ พร้อมทั้งชื่อของแฟ้มข้อมูลที่จะบันทึกผล ตามที่ปรากฏบนจอภาพ เมื่อใส่ค่าต่างๆครบถ้วน โปรแกรมก็จะเริ่มการทำงานจนเสร็จ แล้วจะกลับคืนสู่เมนูหลักอีกครั้งหนึ่ง

การทดสอบระบบ

ภายหลังจากที่สร้างระบบแล้ว ได้มีการทดสอบการทำงานของระบบ โดยได้มีการทดสอบคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนของข้อมูลที่วัดได้ จากจำนวนข้อมูลที่ได้จากการวัดทั้งหมด 50 ข้อมูล พบว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณไม่เกิน 1.0 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จากการวัดด้วยระบบวัดที่สร้างขึ้นนี้ มีความแม่นยำ และเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง จากนั้นได้นำไปทดสอบกับการวัดลักษณะเฉพาะกระแส-ความต่างศักย์ของไดโอด เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป และทดสอบการใช้งานในโหมดต่างๆ ของโปรแกรมควบคุม ซึ่งก็ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงลักษณะเฉพาะกระแส - ความต่างศักย์
ของไดโอด ที่นำมาทำการทดสอบระบบวัด