สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการประยุกต์ใช้งานฟิล์มบางเพชรในการระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

STUDY ON THE APPLICATION OF DIAMOND THIN FILM AS HEAT SINK FOR SEMICONDUCTOR DEVICES

T046198

โดย

นายซายูตี สะมะแอ

นายสุริยา สามแก้ว

2/ก
ส219ก
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46198
วัน, เดือน, ปี 21 มี.ค. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการประยุกต์ใช้งานฟิล์มบางเพชรในการระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

STUDY ON THE APPLICATION OF DIAMOND THIN FILM AS HEAT SINK FOR SEMICONDUCTOR DEVICES

โดย

นายซายูตี สะมะแอ รหัส 42515721

นายสุริยา สามแก้ว รหัส 42515752

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการประยุกต์ใช้งานฟิล์มบางเพชรในการระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

Study on the Application of Diamond Thin Film as Heat Sink for Semiconductor Devices

จัดทำโดย

1. นายซายูตี สะมะแอ รหัสประจำตัว 42515721
2. นายสุริยา สามแก้ว รหัสประจำตัว 42515752

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการประยุกต์ใช้งานฟิล์มบางเพชรในการระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ซายูตี สะมะแอ
สุริยา สามแก้ว
ผศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาการประยุกต์ใช้งานฟิล์มบางเพชรในการระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งในการศึกษาการทดลองในครั้งนี้ เราใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นไดโอดมาเป็นอุปกรณ์สำหรับการทดลอง อีกทั้งได้นำเสนอทฤษฎีของไดโอด กระบวนการสร้างไดโอด กระบวนการสร้างเพชร และกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด การสร้างฟิล์มเพชรจะใช้วิธีการ CVD แบบขดลวดความร้อน โดยจะสร้างบนอุปกรณ์ที่เป็นไดโอด ฟิล์มเพชรจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นอัตราส่วนต่อพื้นที่ ซึ่งผลการทดลองเราจะนำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติจากผลของอุณหภูมิ กับไดโอดที่ใช้แผ่นไมก้าในการระบายความร้อนภายใต้สภาวะอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นโดยอุปกรณ์ทั้งสองแบบจะกระจายความร้อนบนแผ่นโลหะระบายความร้อน (Heat Sink) จากการทดลองในครั้งนี้ พบว่าอุปกรณ์ไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าโดยมีที่การเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรจะมีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งสภาวะการให้ไบอัสตรง และสภาวะการให้ไบอัสย้อนกลับนั้นน้อยกว่า ซึ่งเป็นการรักษาให้ไดโอดทำงานได้ในสภาวะคงที่ มีเสถียรภาพ และจากการทดลองในครั้งนี้ทำให้เราสามารถที่จะนำฟิล์มเพชรมาประยุกต์ใช้งานในการระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งก็เพราะว่ากระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำนั้น เป็นวิธีการที่สะดวกและไม่ซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON THE APPLICATION OF DIAMOND THIN FILM AS HEAT SINK FOR SEMICONDUCTOR DEVICES

Sayutee Samaair

Suriya Samkaew

Toempong Phetchakul Adviser

Abstract

This paper presents about the application of diamond thin film. Use as a heat sink for semiconductor devices. This experiment , We use a diode and presents theory and fabrication of diode, the process of making diode , the process of making diamond , and the process of making diode film. The contraction diamond film , will use the method of CVD with thermal coil style. This tool was constructed from diode. Diamond film will have the thermal changing by proportion of Area . It will be taken to look for the differentiation of temperature and diode , that was used Mica plate. The thermal expansion in normal thermal state. And the higher temperature. By two instruments will expand the thermal pass the heat sink. From the experimental to show you about diode instruments than made from diamond film. It is deter to deflect the thermal. By changing the thermal from low to high temperature. Diode , that was made from diamond. It will have the property of adaptation of the wings between current , the adaptation is more less. It is the method to protect diode to work in stable stage and have stability. And from the result for disexperiment. We have sound . We can use diamond thin film to apply to be the heat sink for semiconductor devices for the development of electronic technology . Because the fabrication of diamond thin film is easy , convenience and not complicate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.2 ประโยชน์จากโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีของไดโอด	3
2.1 คุณลักษณะของไดโอดในอุดมคติ	3
2.2 ไดโอดชนิดรอยต่อ	4
2.3 การพังทะลายของรอยต่อพี-เอ็น	5
2.2.1 การพังทะลายแบบอาวาลานซ์	6
2.2.2 การพังทะลายแบบซีเนอร์	6
2.2.3 การพังทะลายแบบพั้นซ์ทรู	6
2.4 ผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี-เอ็น	7
2.4.1 ผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี-เอ็นขณะไบอัสตรง	7
2.4.2 ผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี-เอ็นขณะไบอัสย้อนกลับ	8
2.5 คุณสมบัติของฟิล์มเพชร	11
2.5.1. โครงสร้างผลึกของเพชร	11
2.5.2 คุณสมบัติทางความร้อนของเพชร	11
2.5.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเพชร	12
บทที่ 3 กระบวนการสร้างไดโอดและกระบวนการสร้างฟิล์มเพชร	14
3.1 กระบวนการสร้างไดโอด	14
3.2 กระบวนการสร้างฟิล์มเพชร	21
3.2.1 เทคนิคที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร	21
3.2.2 การเตรียมฐานรองซิลิกอน	22
3.2.3 เงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร	22
3.2.4 ขั้นตอนการสร้างฟิล์มเพชร	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 กระบวนการสร้างไดโอดและทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด 24

บทที่ 4 การวัดผลการวัดคุณสมบัติของไดโอด 27

4.1 การวัดคุณสมบัติค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน 27

4.2 การวัดผลการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ 28

4.2.1แสดงลักษณะการวัดโปรแกรม HPVEE 28

4.2.2แสดงลักษณะการออกแบบตัวอุปกรณ์ไดโอดที่ใช้ในการทดลอง 29

4.2.3 แสดงการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังตัวอุปกรณ์ไดโอด 30

4.2.4แสดงลักษณะการวางอุปกรณ์ที่จะใช้ทำการวัดลงในกล่อง 30

4.3 ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับที่อุณหภูมิต่างๆ 31

4.3.1ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสตรง 32

4.3.2ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสย้อนกลับ 40

บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ 49

ภาคผนวก ก. 52

ภาคผนวก ข. 53

ภาคผนวก ค. 56

กิตติกรรมประกาศ 74

หนังสืออ้างอิง 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติไดโอดอุดมคติ	3
รูปที่ 2.2 แสดงไดโอดชนิดรอยต่อ	4
รูปที่ 2.3กราฟคุณสมบัติของไดโอดแสดงให้เห็นการเกิดการพัง ทลาย	5
รูปที่ 2.4 แสดงผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี-เอ็นขณะไบอัสตรง	8
รูปที่ 2.5 แสดงค่ากระแสรั่วที่อุณหภูมิต่างๆ กัน	9
รูปที่ 2.6 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการพัง ทะลาย	10
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างผลึกของเพชร	11
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องสร้างฟิล์มบางเพชร	21
รูปที่ 4.1 แสดงการวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน	27
รูปที่4.2 แสดงลักษณะการวัดด้วยโปรแกรม HPVEE	28
รูปที่4.3 แสดงโครงสร้างของไดโอดแบบมีขั้วคาโทด 4 ขั้ว และ ขั้วอาโนด 3 ขั้ว	29
รูปที่4.4 แสดงโครงสร้างของบริเวณที่ใช้สร้างรอยต่อ พี - เอ็น	29
รูปที่4.5 แสดงการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังตัวอุปกรณ์ไดโอด	30
รูปที่4.6 แสดงลักษณะการวางอุปกรณ์ที่จะใช้ทำการวัดลงในกล่อง	30
รูปที่4.7 แสดงกราฟกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจาก ผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)	32
รูปที่4.8 แสดงกราฟกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจาก ผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2)	33
รูปที่4.9 แสดงกราฟกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจาก ผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 3)	34
รูปที่4.10 แสดงกราฟลอการิทึมของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจาก ผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)	35
รูปที่4.11 แสดงกราฟลอการิทึมของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจาก ผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2)	36
รูปที่4.12 แสดงกราฟลอการิทึมของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจาก ผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 3)	37
รูปที่4.13 แสดงกราฟผลของกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลของกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2) 41

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟผลของกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 3) 42

รูปภาคผนวก ข. (รูปอุปกรณ์และ เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการสร้างไดโอดและ กระบวนการสร้างฟิล์มเพชร) 53

รูปภาคผนวก ค. (ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ ที่อุณหภูมิต่างๆ) 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของเพชรเทียบกับ ไมล่าร์ ซิลิกอน และแกลเลี่ยมอาเซไนด์ 13
ตารางที่ 4.1 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรง จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1) 38
ตารางที่ 4.2 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรง จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2) 38
ตารางที่ 4.3 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรง จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 3) 39
ตารางที่ 4.4 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1) 43
ตารางที่ 4.5 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2) 44
ตารางที่ 4.6 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ จากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 3) 44
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอด ช่วงให้ไบอัสตรงอุณหภูมิ 50 ^{o}C 46
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอด ช่วงให้ไบอัสตรงอุณหภูมิ 90 ^{o}C 46
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอด ช่วงให้ไบอัสย้อนกลับอุณหภูมิ 50 ^{o}C 47
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอด ช่วงให้ไบอัสย้อนกลับอุณหภูมิ 90 ^{o}C 48
ตารางภาคผนวก ค. (ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ ที่อุณหภูมิต่างๆ) 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

คุณสมบัติในการระบายความร้อนของฟิล์มเพชรเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในโครงงานนี้จะเป็นการนำเสนอถึงกระบวนการสร้างและการศึกษาการทำงานของสิ่งประดิษฐ์สารเป็นตัวนำที่เป็นไดโอด ซึ่งจะทำงานภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีฟิล์มเพชรเป็นตัวระบายความร้อนในการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ไดโอดที่ใช้งานที่สภาวะสูง ๆ นั้นจะต้องคำนึงถึงหลักคุณสมบัติในการระบายความร้อนของอุปกรณ์ดังกล่าว จากการศึกษาคุณสมบัติของเพชรจะพบว่าแถบพลังงานต้องห้ามของเพชรนั้นเท่ากับ 5.5 ev ซึ่งจะทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูง ๆ คุณสมบัติของเพชรสามารถควบคุมปริมาณพาหะทั้งโฮลและอิเล็กตรอนได้อย่างเหมาะสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิค่าสูงที่ต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้เกิดการแตกตัวของพาหะทั้งโฮลและอิเล็กตรอนนอกจากนี้เพชรยังมีค่าความคล่องตัวของโฮลสูงและมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำในโครงงานนี้กระบวนการสร้างเพชรบนแผ่นผลิตเพื่อใช้ในการระบายความร้อนนั้นจะทำการสร้างฟิล์มเพชรขึ้นด้วยวิธีการ CVD แบบความร้อน การประยุกต์ใช้งานของเพชรเพื่อช่วยในการระบายความร้อนของอุปกรณ์ไดโอดจะให้คุณสมบัติที่ดีในการทำงาน ดังนั้นคุณสมบัติดังกล่าวจึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งเพื่อที่จะได้นำอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เราได้ศึกษานำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ต่อไป

1.1 ขอบเขตของโครงงาน

ในกระบวนการสร้างไดโอด และกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอดเป็นตัวระบายความร้อน เพื่อการศึกษาการประยุกต์ใช้งานฟิล์มบางเพชรในการระบายความร้อนของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำนั้นจะมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. กระบวนการสร้าง
   - กระบวนการสร้างไดโอด
   - กระบวนการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด
   - การสร้างกล่องที่ใช้ในการวัด ผลการทดลองสภาวะอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (Temp Box) พร้อมทั้งส่วนให้ความร้อน(Heater)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การศึกษาคุณสมบัติการทำงาน

- วัดคุณสมบัติสภาวะการทำงานเมื่อได้รับไบอัสตรง
- วัดคุณสมบัติสภาวะการทำงานเมื่อได้รับไบอัสกลับ
- วัดคุณสมบัติสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิปกติ
- วัดคุณสมบัติสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
- วัดเปรียบเทียบคุณสมบัติการทำงานในการระบายความร้อนระหว่างไดโอดที่ได้สร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ กับไดโอดที่มีแผ่นไมก้าในการระบายความร้อน

3. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาถึงคุณสมบัติการทำงานของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ การทดลองในครั้งนี้ผู้ทดลองได้ทำการสร้างอุปกรณ์ไดโอด ทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด และได้ทำการสร้างกล่องที่ใช้ในการวัดผลการทดลองสภาวะอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (Temp Box) พร้อมทั้งส่วนให้ความร้อน(Heater) เมื่อเสร็จกระบวนการสร้างแล้ว ผู้ทดลองได้นำอุปกรณ์ดังกล่าว มาวัดค่าเพื่อศึกษาคุณสมบัติของการทำงานของไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับไดโอดที่มีแผ่นไมก้าในการช่วยระบายความร้อนที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น และจะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ว่า ผลทางอุณหภูมิของการระบายความร้อนของไดโอดที่สร้างฟิล์มบางเพชร กับไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มบางเพชรว่ามีผลต่างอย่างไร และคุณสมบัติใดเหมาะแก่การใช้งานพร้อมทั้งบอกถึงปัญหาของการทดลองในครั้งนี้ก็เพื่อจะได้นำจุดบกพร่องมาแก้ไขในงานต่อๆไป

1.2 ประโยชน์จากโครงงาน

การศึกษาถึงคุณสมบัติการทำงานของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำเป็นประโยชน์เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ จากการศึกษาทดลองในครั้งนี้ทำให้ผู้ทดลองได้รู้ถึงกระบวนการสร้างอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการสร้าง รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด และที่สำคัญทำให้ผู้ทดลองได้รู้คุณสมบัติการทำงานของไดโอด และอีกทั้งได้รู้ถึงคุณสมบัติการทำงานของไดโอดที่สร้างฟิล์มบางเพชรที่สามารถระบายความร้อนที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งประโยชน์ดังกล่าวมานี้ จึงเป็นข้อดีของการพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำอีกต่อๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีของไดโอด (Diode)

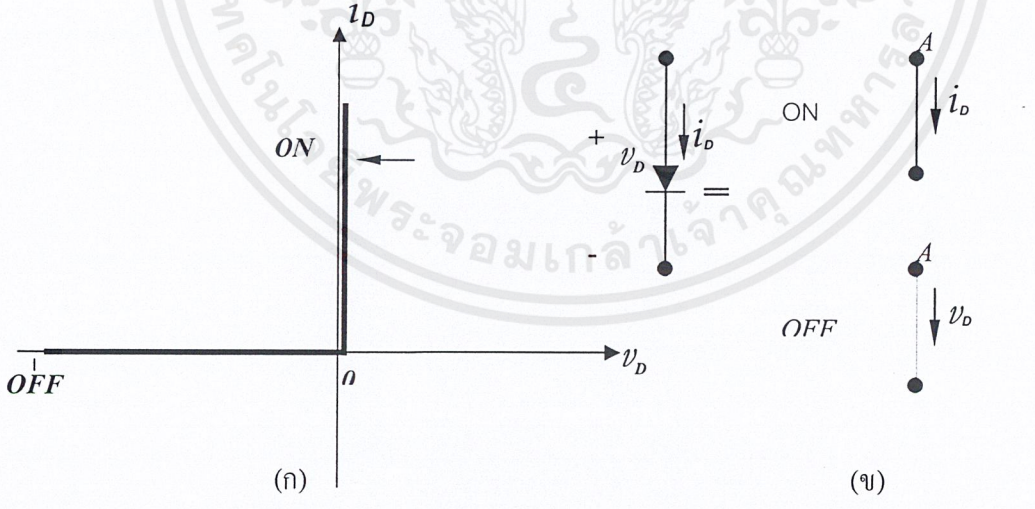
2.1 คุณลักษณะของไดโอดในอุดมคติ

ไดโอดในอุดมคติเป็นไดโอดที่มีคุณลักษณะที่ดีมาก ๆ การทำงานที่สำคัญของไดโอดแบบนี้คือ เมื่อไบอัสไปข้างหน้ามันจะมีคุณสมบัติเหมือนการลัดวงจรและกลับกันเมื่อได้รับการไบอัสย้อนกลับจะมีคุณสมบัติเหมือนเปิดวงจรซึ่งนิยามได้ดังนี้

VD = 0 เมื่อ ID < 0

ID = 0 เมื่อ VD < 0

สำหรับไดโอดในอุดมคติมีกราฟโวลต์-แอมป์ดังรูปที่ 2.1 ก. เมื่อไดโอดนำกระแสเรียกว่าไดโอดออน(ON) หรืออยู่ในสถานะ ON และถ้ามันไม่นำกระแส เราเรียกว่าไดโอดออฟ (OFF) หรืออยู่ในสถานะ OFF หรือสอดคล้องกับวงจรปิดและวงจรเปิดตามลำดับ ดังรูปที่ 2.1 ข. อย่างไรก็ตามใน วงจรสมมูลในอุดมคติของไดโอดเป็นวงจรที่ง่ายสำหรับการวิเคราะห์แต่เป็นการวิเคราะห์โดยการประมาณเท่านั้น เพราะในทางปฏิบัติมิได้เป็นวงจรสมมูลในอุดมคติเช่น ที่ ID > 0 ในทางปฏิบัติจะต้องมีแรงดันตกคร่อมที่ตัวไดโอดด้วยเป็นต้น



รูปที่ 2.1 คุณสมบัติไดโอดในอุดมคติ
(ก) กราฟโวลต์-แอมป์ของไดโอดในอุดมคติ (ข) วงจรสมมูลสำหรับไดโอดในอุดมคติ

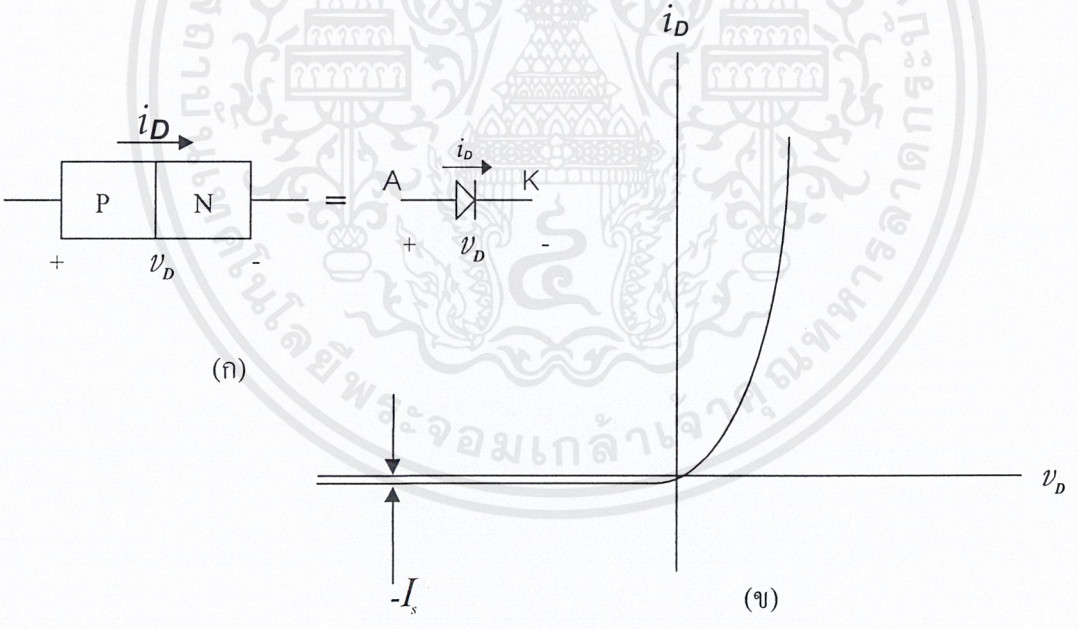
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไดโอดชนิดรอยต่อ

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ชนิดทิศทางเดียวไม่เป็นเชิงเส้นไดโอดจะสามารถยอมให้กระแสไหลผ่านได้ดีมากเมื่อได้รับไบอัสด้านหน้าและแทบจะไม่มีกระแสไหลเมื่อได้รับไบอัสย้อนกลับซึ่งโดยทั่วไปจะใช้งานกลุ่มวงจรไม่เชิงเส้นนั้นคือจะใช้งานที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณ การตรวจจากสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ AC เป็น DC เป็นต้น

รูปที่ 2.2 ก. แสดงโครงสร้างทางกายภาพและสัญลักษณ์ของวงจรไดโอดและเรียกด้านที่เป็นสาร P ของไดโอดว่า แอโนด และด้านที่เป็นสาร N ว่าแคโทด สัญลักษณ์จะนิยามอ้างอิงกับทิศทางกระแส ID และแรงดัน VD ของไดโอดเป็นบวกสำหรับคุณสมบัติทางไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.2 ข. ส่วนสมการจะเขียนได้ดังนี้

$$i_D = I_S\,(e^{V_D/V_T} - 1) \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.2 ไดโอดรอยต่อ

(ก) โครงสร้างทางกายภาพและสัญลักษณ์ของวงจรไดโอด (ข) คุณลักษณ์โวลต์-แอมป์

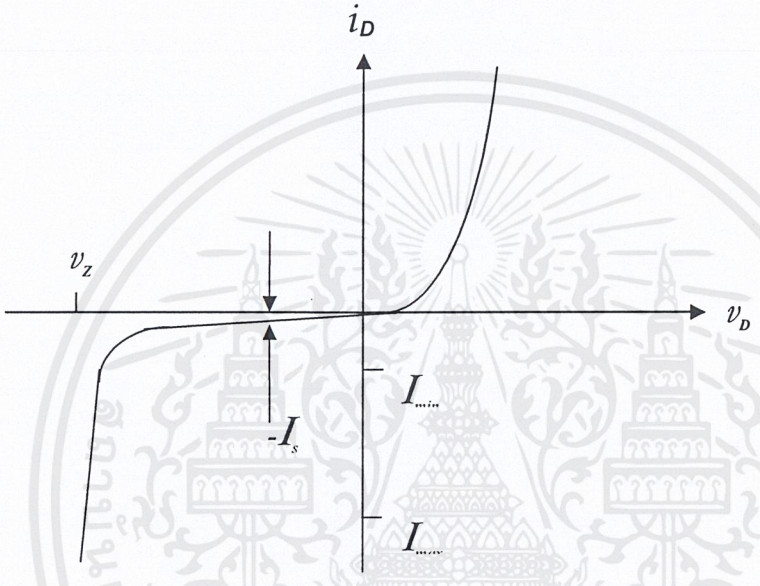
โดยที่ VT = kT / q เป็นแรงดันเชิงความร้อน

Is คือกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ(reverse saturation current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การพังทลายของรอยต่อพีเอ็น

จากสมการกระแส-แรงดันของไดโอดกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเมื่อถูกไบอัสย้อนกลับจะมีค่าต่ำมากและคงที่ ไม่ขึ้นกับแรงดันไบอัส ถ้าเราเอาไดโอดจริงมาวัดคุณสมบัติกระแส-แรงดันขณะถูกไบอัสย้อนกลับเมื่อแรงดันไบอัสสูงถึงค่าหนึ่งจะเกิดกระแสไหลผ่านไดโอดอย่างมากดังในรูปที่ 2.3 เราเรียก ปรากฏการณ์เช่นนี้ว่าการพังทลายของรอยต่อพีเอ็น (Break down)



รูปที่ 2.3 กราฟคุณสมบัติของไดโอดแสดงให้เห็นการเกิดการพังทลาย

สาเหตุที่ทำให้กระแสที่ผ่านตัวไดโอดในขณะที่ถูกไบอัสย้อนกลับ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก มีอยู่ 3 สาเหตุ

1. การพังทลายแบบอาวาลานซ์ (Avalanche Break down)
2. การพังทลายแบบซีเนอร์ (Zener Break down)
3. การพังทลายแบบพั้นซ์ทรู (Punch Break down)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การพังทลายแบบอาวาลานซ์ (Avalanche Break down)

การพังทลายแบบอาวาลานซ์ ในขณะที่ไดโอดได้รับไบอัสย้อนกลับ ประจุพาหะส่วนน้อยเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปได้ประจุเหล่านี้จะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ประจุเหล่านี้จะชนอะตอมของสารกึ่งตัวนำ ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าไม่สูงนักเมื่อประจุเหล่านี้ชนอะตอมก็จะสูญเสียความเร็วแต่เนื่องจากอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุก็จะถูกเร่งจนผ่านบริเวณปลอดพาหะออกมา (สภาวะปกติที่เกิดขึ้น) เมื่อเราเพิ่มค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับขึ้นอีกเมื่อถึงแรงดันค่าหนึ่ง ประจุพาหะส่วนน้อยที่ถูกแรงจากสนามไฟฟ้าจะมีพลังงานสูงเพียงพอที่เมื่อชนอะตอมสารกึ่งตัวนำแล้ว จะทำให้อะตอมนั้นเกิดไอออนไนซ์ ให้ประจุพาหะเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวประจุพาหะตัวเดิม (ที่ชนอะตอม) และประจุพาหะตัวใหม่ (เกิดหลังถูกชน) ต่างก็อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าก็จะชนอะตอมอื่น ๆ จำนวนประจุพาหะจะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดประจุพาหะใหม่ขึ้นจำนวนมากมายทำให้เกิดกระแสค่ามากไหลผ่านไดโอด

2.3.2. การพังทลายแบบซีเนอร์ (Zener Break down)

การพังทลายแบบซีเนอร์ จะเกิดขึ้นกับรอยต่อพีเอ็นที่มีการเติมสารเจือปริมาณมาก ๆ ในไดโอดที่มีการเติมสารเจือสูงมากความกว้างของบริเวณปลอดพาหะจะมีความแคบมาก ซึ่งจะเป็นผลทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่รอยต่อมีค่าสูงมาก ซึ่งถ้ามีค่าสูงพอที่จะดึงเอาอิเล็กตรอนออกมาจากพันธะได้ ซึ่งจะทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่มาจากการสลายของพันธะโควาเลน์ ไม่เกี่ยวข้องกับการชนของประจุพาหะส่วนน้อยกับอะตรอมเลยค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ทำให้พันธะโควาเลน์ของผลึกซิลิกอนสลายจะมีค่าประมาณ 30 MV/m ซึ่งโดยทั่วไปการพังทลายแบบซีเนอร์นี้จะเกิดขึ้นที่แรงดันไบอัสย้อนกลับต่ำกว่า 6 V

2.3.3 การพังทลายแบบพั้นซ์ทรู (Punch Break down)

การพังทลายแบบพันช์ทรู จะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันไบอัสย้อนกลับมีค่าสูงขึ้นถ้าอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีโครงสร้างในลักษณะระยะที่มีชิ้นส่วนใดส่วนหนึ่งมีความบางมากความกว้างบริเวณปลอดพาหะจะกินบริเวณกว้างทั้งหมดของชิ้นสารกึ่งตัวนำที่มีความบางมากนั้น เสมือนหนึ่งไม่มีชิ้นส่วนนั้นจะทำให้เกิดกระแสไหลได้อย่างมาก ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า การพังทลายแบบ พันช์ทรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี – เอ็น (Temperature effect in P – N junction)

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อรอยต่อพี – เอ็นนั้น จะคล้ายกับผลในสารกึ่งตัวนำ คือเมื่ออุณหภูมิในสารกึ่งตัวนำสูงขึ้นค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำจะมีค่าลดลง ดังนั้นในไดโอดก็เช่นกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานจะมีค่าลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อขนาดของกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ พี-เอ็นทั้งในสภาวะการให้ไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ

2.4.1 ผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี-เอ็นขณะไบอัสตรง

ขณะที่รอยต่อพี-เอ็น ได้รับไบอัสตรง แรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อจะมีค่าเท่ากับแรงดันภายใน (Vo) และหากอุณหภูมิที่รอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อมีค่าลดลงดังแสดงได้ตามสมการของแรงดันภายในคือ

$$v_o = \frac{KT}{q} \ln\left[\frac{N_a N_d}{n_i^{\,2}}\right] \qquad V. \tag{2.2}$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของโบทต์มันน์

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน

Na คือ ความหนาแน่นอะตอมสารเจือด้านพี

Nd คือ ความหนาแน่นอะตอมสารเจือด้านเอ็น

ni คือ ความหนาแน่นประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

ซึ่ง n_i หาได้จาก

$$n_i = N_o T^{3/2} \exp\left(\frac{-E_{go}}{2KT}\right) \qquad cm^{-3} \tag{2.3}$$

เมื่อ No คือ Ionization constant เป็นค่าคงที่ของสารแต่ละชนิด (ดูภาคผนวก ก.)

Ego คือ ค่าช่องว่างแบพลังงานของวัสดุที่ 0 K (ดูภาคผนวก ก.)

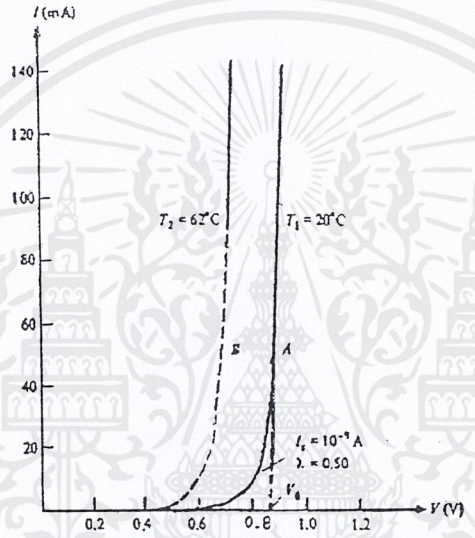
จากสมการที่ (2.2) จะพบว่าพจน์ที่มีนัยสำคัญหรือมีผลต่อค่าแรงดันภายในที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิคือ n_i ซึ่งจากสมการ (2.3) ก็จะพบว่าค่าของ n_i จะมีค่าเพิ่มขึ้นทุก $10.^{o}c$ มีผลทำให้ค่าของแรงดันภายในมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ การที่แรงดันตกคร่อมรอยต่อพี-เอ็นมีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น เราจะนิยามได้ว่า รอยต่อพี-เอ็น มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเชิงลบ (Negative temperature ccoefficients) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งสำหรับซิลิกอนและเยอรมันเนียมแล้วมีค่าโดยประมาณ $-2.\ \mathrm{mV}/^{o}c$

ดังนั้น สูตรในการคำนวณค่าแรงดันภายในที่อุณหภูมิ T ใดๆ กล่าวคือ

$$V_o T \cong V_o(27^{o}c) - 0.002(T - 27^{o}c) \qquad V. \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.4 แสดงผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี-เอ็นขณะไบอัสตรง

2.4.2 ผลของอุณหภูมิในรอยต่อพี-เอ็นขณะไบอัสย้อนกลับ

ขณะที่รอยต่อพี-เอ็น ได้รับไบอัสกลับและหากอุณหภูมิที่รอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ 2 อย่างที่สำคัญ คือ

1). กระแสรั่ว (Leakage current) โดยค่าของกระแสรั่วจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งกระแสรั่วของไบโอดจะประกอบด้วยกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse saturation current) และกระแสรั่ว Generation-Recombination โดยค่าของกระแสอิ่มตัวย้อนกลับหาได้จากสมการ (2.5) คือ

$$I_O = qAn_i^{\,2}\left[\frac{D_p}{L_p N_d} + \frac{D_n}{L_n N_a}\right] \qquad A. \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดจองรอยต่อพี-เอ็น

D_p คือ ค่าคงที่ในการแพร่ของโฮล

D_n คือ ค่าคงที่ในการแพร่ของอิเล็กตรอน

L_p คือ ระยะการแพร่ของพาหะส่วนน้อยในพี

L_n คือ ระยะการแพร่ของพาหะส่วนน้อยในเอ็น

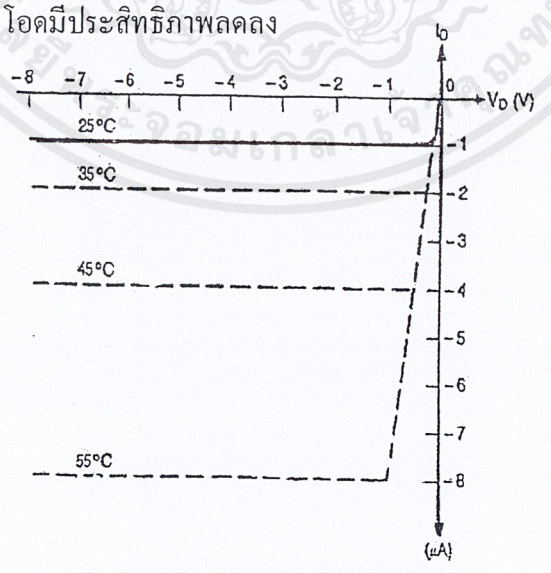
และค่ากระแสรั่ว Generation-Recombination หาได้จากสมการ (2.6) คือ

$$I_{R\text{-}G} = qA\frac{n_i}{2\tau}W \qquad A. \tag{2.6}$$

เมื่อ W คือ ความกว้างบริเวณปลอกพาหะ (ขึ้นกับค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับ)

τ คือ อายุของพาหะส่วนน้อย (Life time)

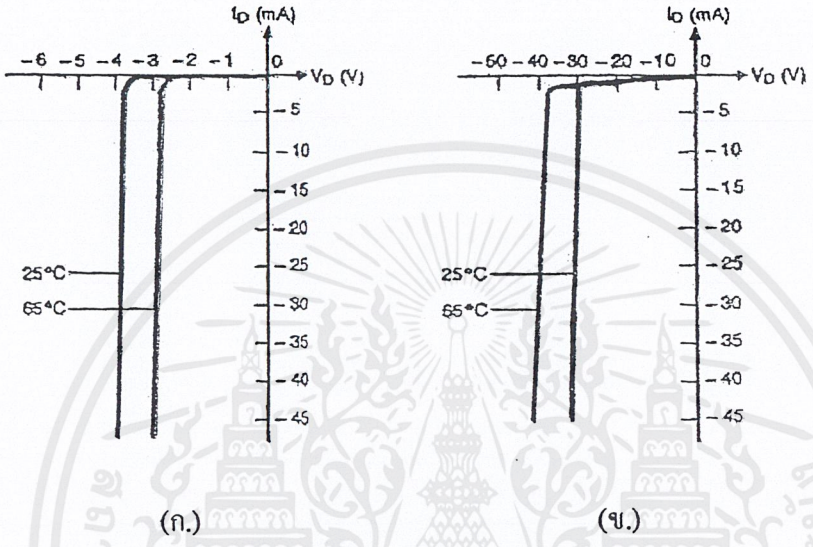
และจะพบว่าค่าของกระแสรั่วส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับค่ากระแสรั่ว Generation-Recombination เพราะมีค่ามากกว่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับจากทั้งสองสมการข้างบนนี้ เห็นได้ว่ากระแสรั่วทั้งสองจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย จากค่าของ n_i ที่ปรากฏในสมการทั้งสอง ซึ่งจากสมการที่ใช้หาค่า n_i (สมการ 2.3) พบว่า n_i จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าโดยประมาณ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทุก 10 ^oc ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า สำหรับรอยต่อพี-เอ็นใดๆ แล้ว กระแสรั่วจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าโดยประมาณ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 ^oc (ตามค่า n_i ที่เพิ่มขึ้น) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ลักษณะเช่นนี้มีผลทำให้ไดโอดมีประสิทธิภาพลดลง



รูปที่ 2.5 แสดงค่ากระแสรั่วที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). แรงดันพัง ทะลาย (Breakdown voltage) โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับชนิดของการพัง ทะลายด้วย กล่าวคือ ถ้าเป็นการพัง ทะลายแบบซีเนอร์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าแรงดันพัง ทะลายจะมีค่าลดลง ส่วนการพัง ทะลายแบบอะวาลานซ์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าแรงดันพัง ทะลายจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยรูปที่ 2.6 ก. แสดงการพัง ทะลายแบบซีเนอร์ และรูปที่ 2.6 ข. แสดงการพังทะลายแบบอะวาลานซ์



รูปที่ 2.6 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการพัง ทะลาย

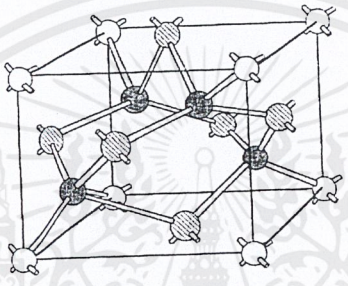
จากคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ เราจะนำมาเป็นหลักการในการออกแบบและทดลองเกี่ยวกับอุปกรณ์ไดโอด และหลักการดังที่กล่าวมาข้างต้นนี้ก็สามารถใช้กับ อุปกรณ์ประเภทอื่นๆได้ หากการทดลองประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คุณสมบัติของฟิล์มเพชร (Properties of Diamond Film)

2.5.1.โครงสร้างผลึกของเพชร (Crystalline structure of diamond)

รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างผลึกของเพชรใน 1 ยูนิตเซล (Unit cell) ซึ่ง เพชรมีโครงสร้างผลึกแบบ Face-Center Cubic (FCC)



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างผลึกของเพชร

จากรูปที่ 2.7 จะพบว่าในยูนิตเซลประกอบด้วยอะตอม 8 อะตอมอยู่ที่มุมทั้ง 8 ของยูนิตเซล และ 6 อะตอมอยู่ตรงกลางของแต่ละด้าน (Face-Center) และอีก 4 อะตอมที่กระจายอยู่ภายในโครงร่างสามมิติ (Space Lattices) ทั้ง 4 อะตอมเรียงกันอยู่ในลักษณะสมมาตรในแนวมุมของรูปทรงเหลี่ยมสี่หน้า ซึ่งลักษณะการจัดโครงสร้างดังกล่าวเรียกว่า ทรงเหลี่ยมสี่หน้าไฮบริดแบบ sp^3 (Four equivalent sp^3 hybrid orbital) แต่ละอะตอมของเพชรจะยึดกันด้วยพันธะโคเวเลนซ์ (Covalent bonds) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันของแต่ละอะตอม ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวขึ้น เมื่อนำโครงสร้างดังกล่าวมาประกอบเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่แล้ว เป็นผลทำให้เพชรมีความแข็งสูงมาก ทั้งยังมีความแข็งแรงของพันธะและจุดหลอมตัวสูงด้วย พลังงานพันธะของเพชรมีค่าเท่ากับ 711 KJ/mol (170 Kcal/mol) และจุดหลอมตัวจะอยู่ที่ 3550 ^0C

2.5.2 คุณสมบัติทางความร้อนของเพชร (Heat properties of diamond)

1. ความนำความร้อน (Thermal conductivity)

คุณสมบัติการนำความร้อนนี้ สำหรับเพชรแล้ว จะไม่เหมือนกับตัวนำความร้อนทั่วๆไป จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติในข้อนี้ของเพชรกับวัสดุอื่นๆ พบว่าเพชรจะมีค่าความนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงกว่าสารชนิดอื่นๆคือ 20 watt/cm. ^0C และยังพบอีกด้วยว่าถ้าฟิล์มเพชรที่สร้างขึ้นมีโครงสร้างแบบผลึกหลายรูป (Polycrystalline structure) ที่สมบูรณ์ดี ซึ่งปกติจะแสดงค่าความนำความร้อนที่ขึ้นกับวิธีการปลูก(หรือสร้าง)ได้ดีกว่าถึง 55 % ของฟิล์มเพชรที่โครงสร้างแบบผลึกเดี่ยว (Single crystals) นอกจากนี้แล้ว 25 % ของค่าที่ได้จากโครงสร้างแบบผลึกเดี่ยวจะมากกว่าจากที่ได้กล่าวมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเกรน (Grain size) ที่เราสร้างเป็นฟิล์มเพชรด้วย

2 . ความจุความร้อนโมลาร์ (Molar heat capacity)

ความร้อนจำเพาะของวัสดุใดๆ คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวมันเองขึ้น 1 องศา สำหรับความจุความร้อนโมลาร์ของวัสดุใดๆ คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับ 1 น้ำหนักโมเลกุลของวัสดุชนิดนั้นให้สูงขึ้น 1 องศา โดยถ้าหากประกอบด้วยมวลโมเลกุลของคาร์บอนเพียงเล็กน้อยอย่างเดียว เพชรจะแสดงคุณสมบัติพิเศษนี้ออกมา โดยเปรียบเทียบแล้วมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงเป็นการดีมากหากจะใช้เพชรเป็นตัวกระจายความร้อนแทน ฮีทซิ้งค์ (Heat sink)

3. การกระจายความร้อน (Thermal expansion)

ลักษณะการกระจายความร้อน คือ อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความยาวต่อ ^0C ต่อความยาวที่ 0^0C ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความจุความร้อนโมลาร์ สำหรับของแข็งสัมประสิทธิ์ของการกระจายเชิงปริมาตรจะประมาณว่าเท่ากับ 3 เท่าของสัมประสิทธิ์ของการกระจายเชิงเส้น

2.5.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเพชร (Electrical properties of diamond)

เมื่อนำเพชรมาทำเป็นสารกึ่งตัวนำ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเพชร(ยกเว้นความคล่องตัวของอิเล็กตรอน : Electron mobility)ไม่ได้ดีเลิศอย่างแท้จริง สัมประสิทธิ์ของฮอลล์(Hall coefficient)ของเพชรตามธรรมชาติจะมีค่าได้ตั้งแต่ 10^{12} ที่140 K ถึง 10^5 ที่อุณหภูมิห้อง (300 K) ค่าความคล่องตัวของโฮล (Hole mobility) มีค่าสูงถึง 1800 cm^2 /volt-sec ส่วน อิเล็กตรอนก็มีค่าสูงเช่นกันคือ 2000 cm^2 /volt-sec

แต่สำหรับฟิล์มเพชรที่สร้างขึ้นแบบโฮโมอิพิทาเซียล(Homoepitaxial) ที่อุณหภูมิ 500 ^{0} C สามารถวัดค่าความคล่องตัวโฮลได้ 850 cm^2 /volt-sec สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ มีเพียงเยอรมันเนียมและแร่พลวง(Germanium & Indium)เท่านั้น ที่มีค่าความคล่องตัวของโฮลที่ดีกว่านอกนั้น วัสดุต่างๆก็มีค่าความคล่องตัวโฮลที่ต่ำกว่านี้ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่า 10^4 volt/cm ค่าความเร็วดริฟท์(Drift velocity) ของทั้งโฮลและอิเล็กตรอนมีค่าเกือบอิ่มตัว คือสำหรับโฮลจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสูงสุดที่ 10^7 cm/sec และอิเล็กตรอนจะมีค่าสูงสุดที่ 2×10^7 cm/sec และสำหรับค่าความต้านทานทางไฟฟ้า(Electrical resistively) ของเพชร ก็จะมีค่าสูง คือ 10^{15} Ω-cm ซึ่งค่าของคุณสมบัติต่างๆของเพชร จะแสดงได้ดังในตารางที่ 2.1 โดยจะเปรียบเทียบกับของไมก้า ซิลิกอน และ แกลเลี่ยมอาเซไนด์

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของเพชรเทียบกับ ไมก้า ซิลิกอนและแกลเลี่ยมอาเซไนด์

Property	**Diamond**	Mica	Silicon	GaAs	Unit
Band gap	5450	-	1100	1430	meV.
Electron mobility	2000	-	1500	8500	$cm.^2/sec$
Hole mobility	1800	-	600	400	$cm.^2/sec$
Breakdown	10	-	5	6	$V./cm. \times 10^6$
Resistively	10^{16}	10^{16}	10^3	10^9	Ohm-cm.
High field electron velocity	2.7	-	1	1	$cm./sec \times 10^7$
Dielectric constant	5.7	6.5 - 8.7	11	12.5	-
Thermal conductivity	20.00	0.00588	1.50	0.46	$Watt/cm.-^0C$
Thermal expansion coefficient	0.80	-	2.60	5.90	$\times 10^{-6}/^0C$

จากค่าต่างๆในตารางจะพบว่า เพชรมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง แต่ในที่นี้เราสนใจค่าของการนำความร้อนของเพชร ซึ่งมีค่าสูงกว่า ไมก้า ซิลิกอนและแกลเลี่ยมอาเซไนด์อย่างเห็นได้ชัด เราจึงอาศัยคุณสมบัติที่เด่นชัดในข้อนี้ นำเพชรมาทำเป็นตัวระบายความร้อนให้กับไดโอด (Diode) ที่เราสร้างขึ้น แทนการติดฮีทซิ้งค์จากภายนอก ซึ่งจะทำให้พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์มีขนาดเล็กลง โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่ว่าการติดฟิล์มเพชรจะทำให้ไดโอดสามารถทำงานได้ดี มีประสิทธิภาพที่ดี ถึงแม้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็ตาม อีกทั้งเรายังสามารถที่จะพัฒนา นำคุณสมบัติดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ประเภทต่างๆได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
กระบวนการสร้างไดโอดและกระบวนการสร้างฟิล์มเพชร

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงกระบวนการสร้างไดโอด และกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรที่นำมาใช้เป็นการทดลองในครั้งนี้ อีกทั้งจะกล่าวถึงกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรบนหลังตัวอุปกรณ์ไดโอดเพื่อที่เราจะได้นำอุปกรณ์ที่ได้มาจากการสร้าง มาใช้ในการทดลอง เพื่อการศึกษาการประยุกต์ใช้งานฟิล์มบางเพชรในการระบายความร้อนของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำว่ามีผลดีในการระบายความร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างไร ซึ่งลำดับขั้นตอนของกระบวนการสร้างจะขอกล่าวดังต่อไปนี้

3.1 กระบวนการสร้างไดโอด (Fabrication of Diode)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในกระบวนการสร้างไดโอดซึ่งจะมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1.ขั้นตอนการเตรียมแผ่นและตรวจสอบคุณสมบัติ โดยใช้อุปกรณ์วัดคุณสมบัติ

- เตรียมแผ่นซิลิกอนชนิดพีระนาบ (100)
- พิกัดความต้านทาน 6 – 12 Ω-cm
- ความหนา 350 μm

2. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิกอนครั้งแรก

- Ulrasonic . ในน้ำบริสุทธิ์ (Deionized Water) 2 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในกรด HNO_3 10 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์ (น้ำ DI)
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์ แก้วที่ 1
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์ แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย N_2

3. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นแบบมาตรฐาน

- ต้มใน Trichoethylene 5 นาที
- Ultrasonic ใน Acetone 5 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์ แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์ แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทำ Slice etching
   - จุ่มในสารละลาย HF 5% 10 วินาที
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์ แก้วที่ 1
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์ แก้วที่ 2
   - เป่าแห้งด้วย N_2
5. กระบวนการออกซิเดชั่น (ใช้อุณหภูมิเตา 1150 ^oC อุณหภูมิน้ำ 90 ^oC)
   - Dry Oxidation ด้วย O_2 1200 cc/min 3 ซม.
   - Wet Oxidation ด้วย O_2 1000 cc/min 1 ซม.
   - Dry Oxidation ด้วย O_2 1200 cc/min 2 ซม.
6. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟี มาส์คที่ 1
   - อบไล่แผ่นความชื้นที่ 120 ^oC 30 นาที
   - เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (Way coat) spinner ที่ 5000 รอบต่อนาที
   - อบฟิล์มที่ 95 ^oC 30 นาที
   - ฉายแสง UV โดยใช้กระจกโฟโตมาส์คที่เป็นภาพแบบแผน (Alignment Expose)
   - Develop ฟิล์มที่โดย
     - จุ่มลงใน Xylem แก้วที่หนึ่ง 90 นาที
     - จุ่มลงใน Xylem แก้วที่สอง 90 นาที
     - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 1 30 วินาที
     - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 2 30 วินาที
     - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 3 30 วินาที
     - จุ่มลงในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
     - จุ่มลงในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
     - เป่าแห้งด้วย N_2
   - อบฟิล์มที่ 95 ^oC 10 นาที
   - เคลือบฟิล์มด้านหลัง
   - อบฟิล์มที่ 95 ^oC 30 นาที
7. การใช้สารละลายสกัดชั้นออกไซด์ (Oxide Etching)
   - จุ่มในสารละลาย Buffer for oxides 4.40 นาที
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
   - เป่าแห้งด้วย N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กระบวนการลอกฟิล์ม
   - ต้มในน้ำ H_2SO_4 แก้วที่ 1 5 นาที
   - ต้มในน้ำ H_2SO_4 แก้วที่ 2 5 นาที
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1 5 นาที
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2 5 นาที
   - เป่าแห้งด้วย N_2
9. การทำความสะอาดผิวหน้า
   - ต้มใน Tricholoethylene 5 นาที
   - Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
   - เป่าแห้งด้วย N_2
10. การ Slice etching
   - จุ่มในสารละลาย HF 5% 10 วินาที
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
   - เป่าแห้งด้วย N_2
11. กระบวนการ Pre-deposition
   - Phosphorus deposition Temp 1000°C
   - deposit ด้วย N_2 700 cc/min 20 นาที
12. ลอกชั้น Phosphorus glass
   - จุ่มในสารละลาย HF 5% 10 วินาที
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
   - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
   - เป่าแห้งด้วย N_2
13. กระบวนการ Drive-in
   - Phosphorus drive-in Temp 1100 ^{O}C
   - Dry O_2 1200 cc/min 10 นาที
   - Wet O_2 1000 cc/min 20 นาที
   - Dry O_2 1200 cc/min 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

14. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟี่
    - อบแผ่นไล่ความชื้นที่ 120 ^{o}C 30 นาที
    - เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก spin 5000 rpm
    - อบฟิล์มที่ 95 ^{o}C 30 นาที (Probate)
15. Oxide Etching
    - จุ่มในสารละลาย Buffer for phosphorus
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
    - เป่าแห้งด้วย N_2
16. กระบวนการลอกฟิล์ม
    - จุ่มใน Acetone 5 นาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
    - เป่าแห้งด้วย N_2
17. การทำความสะอาดผิวหน้า
    - ต้มใน Trichoelthylene 5 นาที
    - ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
    - เป่าแห้งด้วย N_2
18. ทำ Slice Etching
    - จุ่มใน HF for phosphorus 5% 10 วินาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
    - เป่าแห้งด้วย N_2
19. ขบวนการ Pre – deposition
    - Boron deposition Temp 980 ^{o}C
    - Activate ด้วย O_2 700 cc/min 30 นาที
    - Stabilize ด้วย N_2 700 cc/min 20 นาที
    - Deposit ด้วย N_2 700 cc/min 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46198

20. ลอกชั้น Boron glass
    - ต้มน้ำใน HF 5% 10 วินาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
    - เป่าแห้งด้วย N_2
21. กระบวนการ Drive in
    - Boron drive – in Temp 1100 ^{o}C
    - Dry O_2 1200 cc/min 10 นาที
    - Wet O_2 1000 cc/min 20 นาที
    - Dry O_2 1200 cc/min 10
22. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟี่ มาส์ค 2 (ช่อง Contact)
    - อบแผ่นไล่ความชื้นที่ 120 ^{o}C 30 นาที
    - เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (way coat) spin 5000 rpm
    - อบฟิล์มที่ 95 ^{o}C 30 นาที (Probate)
    - Alignment Expose
    - Develop ฟิล์ม โดย
        - จุ่มลงใน Xylem แก้วที่ 1 90 วินาที
        - จุ่มลงใน Xylem แก้วที่ 2 90 วินาที
        - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 1 30 วินาที
        - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 2 30 วินาที
        - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 3 30 วินาที
        - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
        - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
        - เป่าแห้งด้วย N_2
        - อบฟิล์ม ที่ 95 ^{o}C 30 นาที (post bake)
23. Oxide Etching
        - จุ่มในสารละลาย Buffer
        - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
        - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
        - เป่าแห้งด้วย N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. กระบวนการลอกฟิล์ม
    - ต้มน้ำใน H_2SO_2 แก้วที่ 1 5 นาที
    - ต้มน้ำใน H_2SO_2 แก้วที่ 2 5 นาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1 5 นาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2 5 นาที
    - เป่าแห้งด้วย N_2
25. การทำความสะอาดผิวหน้า
    - ต้มน้ำใน Tricholoethylene 5 นาที
    - Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
    - เป่าแห้งด้วย N_2
26. ทำ Slice Etching
    - จุ่มในสารละลาย HF 10% for oxide 10 วินาที
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
    - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
    - เป่าแห้งด้วย N_2
27. การเคลือบชั้นอลูมิเนียมในสูญญากาศด้วยเครื่อง Evaporator ที่ความดัน Torr
28. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟี่ มาส์คที่ 3 (ลวดลายอลูมิเนียม)
    - เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก (AZ) spin 5000 rpm
    - อบฟิล์มที่ 85 ^oC 20 นาที (probate)
    - Alignment Expose
    - Develop ฟิล์ม โดย
        - Az Developer แก้วที่ 1 30 วินาที
        - Az Developer แก้วที่ 2 30 วินาที
        - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
        - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
        - เป่าแห้งด้วย N_2
        - อบฟิล์มที่ 85 ^oC 20 นาที (post bake)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. การสกัดชั้นอลูมิเนียม (Al – etching)

- จุ่มสารละลาย Al - etching ที่อุณหภูมิประมาณ 40 ^{o}C
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย N_2

30. กระบวนการลอกฟิล์ม

- จุ่มลงใน Acetone แก้วที่ 1 1 นาที
- จุ่มลงใน Acetone แก้วที่ 2 1 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย N_2

31. กระบวนการ Sintering Temp 500 ^{o}C

- Dry N_2 1000 cc/min 12 นาที

โดยที่รูปภาพของเครื่องที่ใช้ในกระบวนการสร้างไดโอดจะแสดงในภาคผนวก ข.

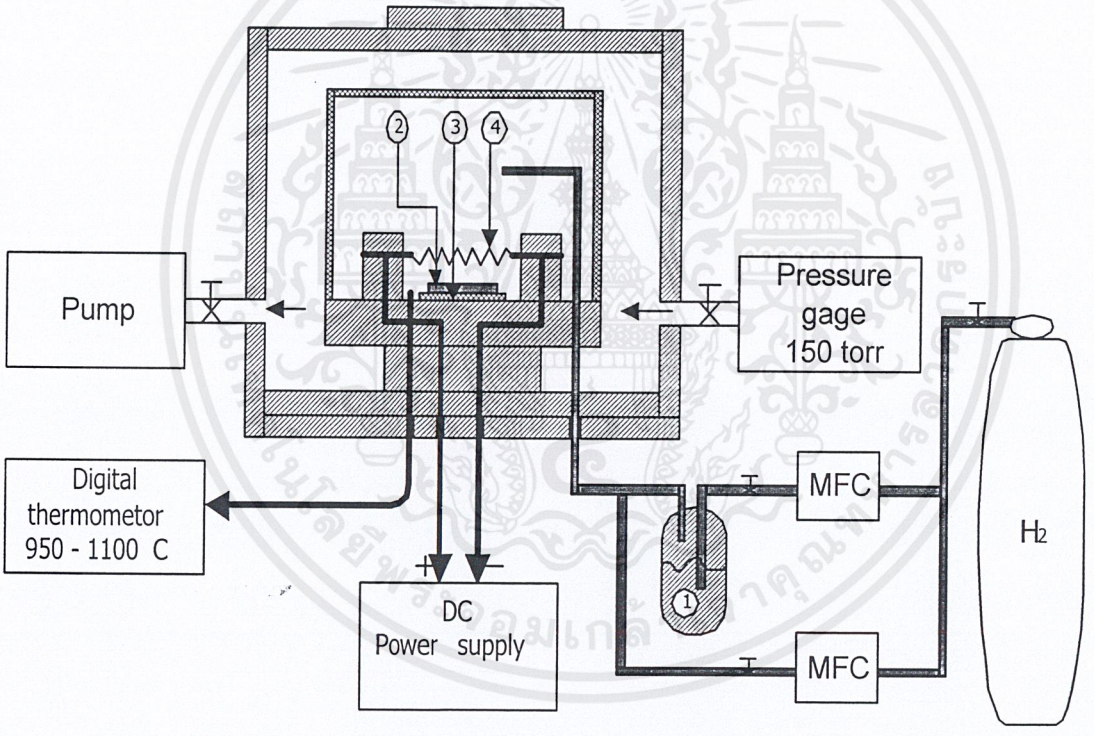
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการสร้างฟิล์มเพชร (Fabrication of Diamond Film)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการสร้างฟิล์มเพชร ซึ่งในกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรมาเพื่อการทดลองนั้น เราจะทำการสร้างด้านหลังของตัวอุปกรณ์ไดโอด ซึ่งจะมีลำดับขั้นตอนดังนี้

3.2.1 เทคนิคที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร

ในการสร้างฟิล์มเพชรเพื่อใช้ในการทดลองนี้ เราจะใช้วิธีการ CVD (Chemical Vapor deposition) แบบความร้อนซึ่งมีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องสร้างฟิล์มบางเพชร

หมายเหตุ 1) เอธิลแอลกอฮอล์ผสมโบรอนไดรออกไซด์ (C2H5OH + B2O3) = 10 PPM

2) แผ่นซิลิกอน

3) ฐานรองโมลิบดินัม

4) ไส้ทังสเตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ CVD แบบความร้อนที่ใช้ในการสร้างจริง ซึ่งประกอบด้วย Chamber ที่ใช้สำหรับควบคุมความดันอากาศ ภายใน Chamber มีไส้หลอดทังสเตนที่เป็นไส้ขดกันเป็นเกลียวความยาวประมาณ 1.5 cm. ที่ใช้เป็นตัวให้ความร้อน โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากภายนอกให้กับไส้หลอดทังสเตน ส่วนฐานรอง จะเป็นฐานรองโมลิบดินัม ซึ่งจะ ใช้สำหรับวางฐานรองซิลิกอนในระหว่างการสร้าง ซึ่งฐานรองโมลิบดินัมจะทนความร้อนได้สูงมาก วางอยู่ใต้ไส้หลอดทังสเตนระยะห่างจากไส้หลอดทังสเตนประมาณ 3.5 mm. ซึ่งไส้หลอดทังสเตนและจะถูกยึดให้แน่นโดยไม่ให้ไส้งอโค้ง เพราะจะมีผลกับการเกิดของฟิล์มเพชรด้วย เพราะถ้าเกิดการโค้งงอของไส้หลอดทังสเตนก็จะทำให้อุณหภูมิของแผ่นสูงกว่าที่กำหนดไว้ซึ่งอยู่ประมาณ 980 $^{\circ}C$ บริเวณผิวของซิลิกอน นอกจากนี้ยังมีช่องทางเข้าของก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซไฮโดรเจนที่ผ่านเอททิลแอลกอฮอร์และมีอะตอมสารเจือโบรอนเจือปนอยู่ด้วย เพื่อให้ภายในเครื่องมีไอของก๊าซทั้ง 2 ผสมกันได้พอเหมาะกับการเกิดการระเหยทำให้เกิดฟิล์มเพชรได้ง่าย และสุดท้ายจะมีช่องทางเพื่อให้ก๊าซได้ไหลออกและควบคุมความดันให้ได้ค่าคงที่ตามที่เราต้องการ

3.2.2 การเตรียมฐานรองซิลิกอน

การเตรียมฐานรองซิลิกอนเพื่อใช้ในการสร้างฟิล์มเพชรนั้น มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. วิธีการชุบด้วยสารละลายของเอททิลแอลกอฮอร์กับผงเพชร (Diamond powder)
2. วิธีการฝนผิวหน้าซิลิกอนด้วยครีมเพชร (Diamond paste)

ซึ่งใน 2 วิธีนี้จะขอกล่าวถึงวิธีที่ 2 คือวิธีการฝนผิวหน้าซิลิกอนด้วยครีมเพชร (Diamond paste) เนื่องจากการทดลองนี้ใช้วิธีนี้ในการเตรียมฐานรองซิลิกอน เมื่อนำครีมเพชรมาฝนหรือถูกับผิวหน้าของฐานรองซิลิกอน จะทำให้ผิวหน้าของฐานรองซิลิกอนมีรอยของการขีดข่วนจากครีมเพชร มีลักษณะเป็นตาข่ายทั่วทั้งผิวหน้า รอยของการขีดข่วนจะมีขนาดเท่ากับขนาดของเมล็ดเพชรที่อยู่ในครีมเพชร ซึ่งผิวหน้าที่มีรอยขีดข่วนนี้จะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของการก่อตัวเป็นฟิล์มบางของเพชร และถ้ารอยของการขีดข่วนน้อยจะทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยลงทำให้ต้องใช้เวลาในการที่จะทำให้เกิดฟิล์มเพชรนานขึ้นเพราะเพชรจะเกิดช้ามากหรือโอกาศที่ไม่เกิดก็มี

3.2.3 เงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร

การสังเคราะห์หรือสร้างฟิล์มเพชรที่เจืออะตอมโบรอน จะใช้แหล่งจ่ายที่เป็นสารละลายของผงโบรอนไตรออกไซด์ในเอททิลแอลกอฮอร์ โดยก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวพาไอระเหยของแหล่งจ่ายมายังระบบ ไส้หลอดทังสเตนเป็นตัวให้ความร้อนทำให้พันธะของโมเลกุลก๊าซแตกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำปฏิกิริยากับฐานรองซิลิกอนที่อยู่ใต้ไส้หลอดทังสเตน เกิดเป็นฟิล์มเพชรขึ้นมา เงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชรในครั้งนี้คือ

ก.) เตรียมแผ่นฐานรองซิลิกอน เนื่องจากฐานรองซิลิกอนที่นำมาใช้นี้ เราได้ทำการสร้างอุปกรณ์ (Devices) ที่ด้านหน้าของฐานรองซิลิกอนแล้ว ดังนั้นในการเตรียมแผ่นในครั้งนี้เราจะใช้ครีมเพชรฝนด้านหลังของแผ่นฐานรองซิลิกอนแทน และก็จะสร้างฟิล์มเพชรที่ด้านหลังของฐานรองซิลิกอนเพื่อทำเป็นตัวระบายความร้อนเลย

ข.) เตรียมสารละลายโบรอนไตรออกไซด์ในเอททิลแอลกอฮอร์ ที่อัตราส่วนโบรอนต่อคาร์บอนมีค่า 1000 ppm.

ค.) อัตราส่วนของไอระเหยของแหล่งจ่ายต่อก๊าซไฮโดรเจน มีค่าประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ง.) อุณหภูมิของไส้หลอดทังสเตน ประมาณ 950 - 1100 ^{0}C และอุณหภูมิของฐานรองซิลิกอน ประมาณ 980 ^{0}C

จ.) ระยะห่างระหว่างไส้หลอดทังสเตนกับฐานรองซิลิกอน ประมาณ 3.5 mm.

ฉ.) ความกดอากาศภายใน Chamber มีค่า 150 Torr

ช.) ระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างประมาณ 4 ชั่วโมง

3.2.4 ขั้นตอนการสร้างฟิล์มเพชร

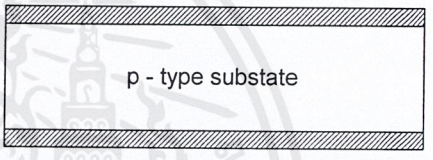
สำหรับขั้นตอนการสร้างฟิล์มเพชร สามารถอธิบายโดยคร่าวๆได้ดังนี้ คือ หลังจากที่เตรียมฐานรองซิลิกอนโดยวิธีฝนด้วยครีมเพชรเป็นเวลา 40 นาทีเรียบร้อยแล้ว นำฐานรองซิลิกอนที่ได้วางบนฐานรองโมลิบดินัมที่อยู่ใน Chamber หลังจากนั้นปิดฝา Chamber ลงและทำการดูดอากาศภายในออกให้หมด จึงค่อยๆปล่อยก๊าซไฮโดรเจนที่มีอัตราการไหล 100 cm.และไอระเหยจากเอททิลแอลกอฮอร์มีอัตราการไหลเป็น 2 % ของก๊าซไฮโดรเจนออกมา เมื่อทำการควบคุมความดันภายใน Chamber ได้แล้ว คือ มีค่า 150 Torr หลังจากนั้นจึงค่อยๆจ่ายกระแสไบอัสให้กับไส้หลอดทังสเตนจนได้ค่ากระแสที่วัดได้มีค่า 2.5 A. เมื่อได้ค่าต่างๆตามที่ได้ตั้งไว้แล้ว ใช้เวลาในการสร้างทั้งหมด 4 ชม. เมื่อครบตามเวลาต้องรอให้อุณหภูมิที่ฐานรองซิลิกอนเย็นลงก่อนจึงค่อยๆนำฐานรองซิลิกอนออกจาก Chamber โดยต้องระวังไม่ให้ถูกกับไส้หลอดทังสเตน เพราะจะทำให้ไส้หลอดได้รับความเสียหายได้ หลังจากนั้นจึงนำฐานรองซิลิกอนที่สร้างฟิล์มเพชรเสร็จเรียบร้อยแล้วไปตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

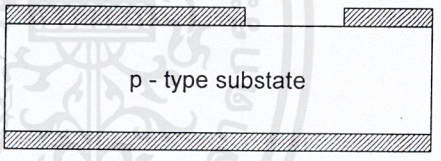
3.3 กระบวนการสร้างไดโอด และทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด

ส่วนในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในกระบวนการสร้างไดโอด และทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด ในกระบวนการสร้างไดโอดนี้เรามิอาจที่จะสร้างได้ให้แล้วเสร็จก่อนที่จะนำมาสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอดได้ สาเหตุก็เพราะว่าในกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรนั้นจะต้องใช้อุณหภูมิในกระบวนการสร้างประมาณ 1000 °C ซึ่งในขั้นตอนการสร้างขั้วอะลูมิเนียมของไดโอดจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสร้างฟิล์มเพชรมาก ถ้าเราทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมของไดโอดก่อนที่จะนำมาสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอดแล้วจะทำให้ไดโอดได้รับความเสียหาย ดังนั้นเราจะขอกล่าวถึงลำดับขั้นตอนในกระบวนการสร้างดังกล่าวอย่างคร่าวๆ ดังนี้

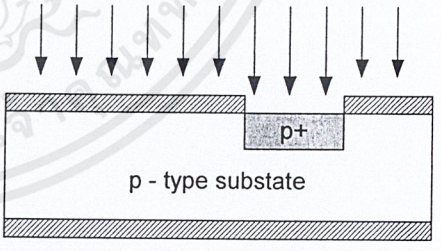
1. นำแผ่นซิลิกอนที่ต้องการสร้างไดโอดไปสร้าง ออกไซด์ก่อนทั้งแผ่น



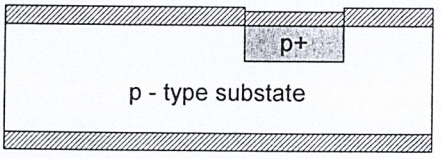
2. ทำการเปิด Mask กัดออกไซด์ เพื่อโด๊ปอะตอมสารเจือโบรอนทำชั้น P^+



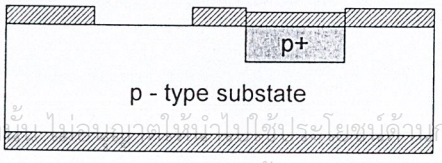
3. โด๊ปอะตอมสารเจือโบรอน



4. หลังจากโด๊ปอะตอมสารเจือโบรอนแล้ว จะเกิดชั้นออกไซด์บางๆขึ้นด้วย

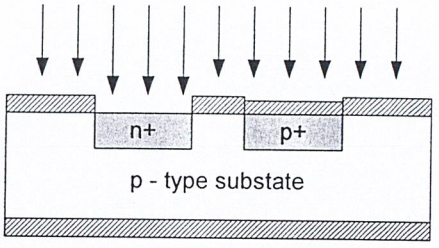


5. ทำการเปิด Mask กัดออกไซด์อีกฝั่งหนึ่ง เพื่อโด๊ปอะตอมสารเจือฟอสฟอรัสทำชั้น N^+

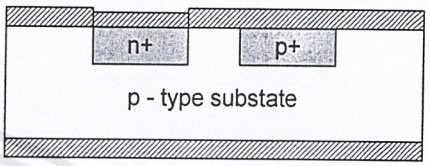


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โด๊ปอะตอมสารเจือฟอสฟอรัส

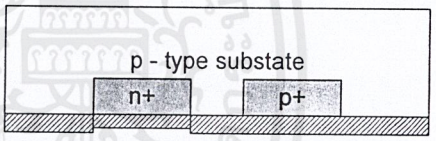


7. หลังจากโด๊ปอะตอมสารเจือฟอสฟอรัสแล้ว จะเกิดชั้นออกไซด์บางๆขึ้นอีกชั้นหนึ่งด้วย

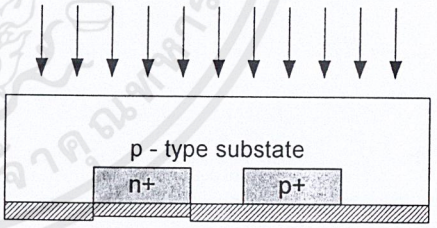


เมื่อเสร็จจากขั้นตอนนี้แล้ว จะนำแผ่นซิลิกอนที่มีชิ้นงานอยู่ด้านหน้า ไปสร้างฟิล์มเพชรที่ด้านหลังอุปกรณ์ ก่อนที่จะต่อขั้วอะลูมิเนียม เพื่อใช้เป็นฮีทซิงค์ระบายความร้อนให้กับไดโอดของที่เราสร้าง ซึ่งลำดับขั้นตอนของการสร้างฟิล์มเพชรก็มีดังนี้

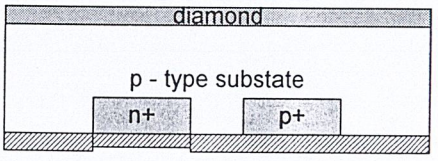
8. นำชิ้นงานไปกัดออกไซด์ด้านหลังออก แล้วนำไปฝนด้วยครีมเพชรเพื่อให้เกิดรอย



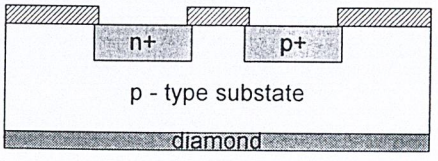
9. นำชิ้นงานที่ฝนครีมเพชรแล้ว ไปสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังตามที่ต้องการ



10. หลังจากสร้างฟิล์มเพชรเสร็จแล้ว ก็จะนำชิ้นงานนี้ไปต่อขั้วอะลูมิเนียมต่อไป

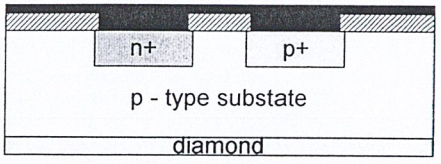


11. ทำการเปิด Mask กัดออกไซด์อีกทีหนึ่ง เพื่อใช้สำหรับเป็นช่องขั้วอะลูมิเนียม

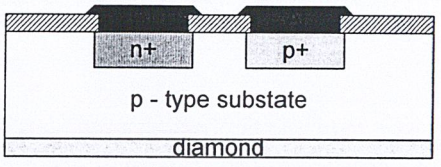


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

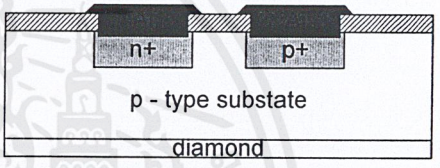
1.2ทำการเคลือบอะลูมิเนียมที่สุญญากาศ



13. ทำการเปิด Mask เพื่อกัดลวดลายอะลูมิเนียมที่ใช้ทำขั้ว



14. ขั้นตอนสุดท้ายก็คือการ Sintering เพื่อทำให้อะลูมิเนียมประสานเป็นเนื้อเดียวกับซิลิกอน



โดยที่รูปภาพของเครื่องที่ใช้ในกระบวนการสร้างไดโอดและทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอดซึ่งจะแสดงในภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

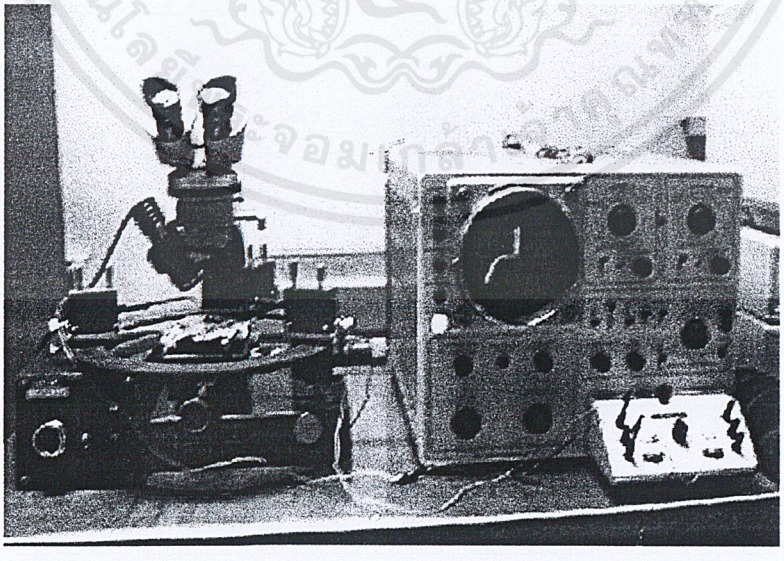
บทที่ 4
การวัดและผลการวัดคุณสมบัติของไดโอด

การวัดคุณสมบัติต่างๆของไดโอด สามารถทำให้เราทราบถึงคุณสมบัติ สภาวะการทำงานของไดโอดในสภาวะต่างๆ และจากการทดลองในครั้งนี้จะเป็นการวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ในขณะที่ได้รับไบอัสตรง และไบอัสย้อนกลับ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งของตัวอุปกรณ์ไดโอด

4.1 การวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน

ในการวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน(I-V Characteristic)นั้น จะใช้อุปกรณ์ในการวัดก็คือ Curve Tracer ซึ่งการใช้อุปกรณ์ Curve Tracer ในการวัด ก็เพื่อจะดูว่าไดโอดที่สร้างมามีคุณสมบัติเป็นไดโอดอย่างคร่าวๆ ซึ่งในการวัดอย่างละเอียดนั้น เราจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เป็นส่วนของแสดงผลร่วมกับอุปกรณ์ในการวัด ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ก็คือ HPVEE ในการทำการวัดนี้จะสามารถอ่านค่าต่างๆได้จากกราฟคุณสมบัติซึ่งจะบ่งบอกได้ถึงค่าแรงดันภายใน(Cut-in voltage) ของรอยต่อที่เกิดขึ้นในสภาวะสมดุล ค่าแรงดันพังทลาย(Breakdown Voltage) ที่เกิดขึ้นจากการที่ไดโอดได้รับแรงดันไบอัสกลับ เป็นต้น

จากการวัดคุณสมบัติของไดโอด แสดงผลดังในรูปที่4.1 ซึ่งการวัดในครั้งนี้ผู้ทดลองได้ใช้อุปกรณ์ในการวัดก็คือ Curve Tracer โดยใช้ Current / DIV = 2 mA. และใช้ Voltage / DIV = 2 V.



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดคุณสมบัติของไดโอด แสดงผลดังในรูปที่4.1 เป็นการวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน(I-V Characteristic) โดยใช้อุปกรณ์ในการวัดก็คือ Curve Tracer ซึ่งการใช้อุปกรณ์ Curve Tracer ในการวัด ก็เพื่อจะดูว่า ไดโอดที่สร้างมามีคุณสมบัติเป็นไดโอดอย่างคร่าวๆ และจากการวัดไดโอดที่เราสร้างในลำดับแรกสามารถสรุปได้ดังนี้

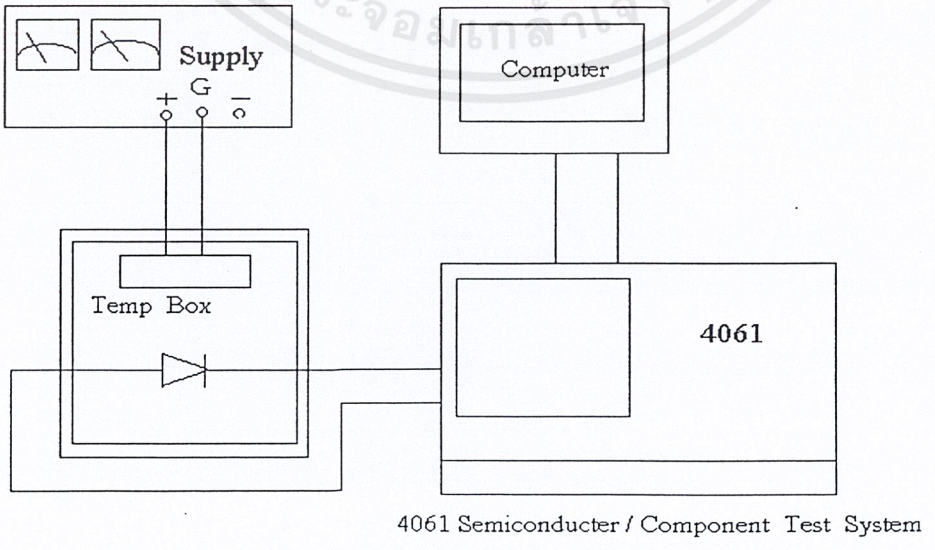
1. ค่าแรงดันภายใน มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.7 โวลต์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้
2. ค่าแรงดันพังทลาย มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ -10 ถึง -20 โวลต์ ซึ่งค่าที่วัดได้นี้ถือว่ายังน้อยและไม่ถูกต้อง เพราะค่าแรงดันพังทลาย ควรจะอยู่ในช่วงที่มากกว่า100 โวลต์
3. กระแสรั่วจะมีค่ามาก เมื่อมองดูจากกราฟ ซึ่งค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้องนัก

4.2 การวัดผลการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ

การวัดผลการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิจะทำให้เราทราบถึงการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามค่าคือที่สภาวะอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส , 50 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส เพื่อที่เราจะได้นำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติการทำงานของไดโอดที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นซึ่งจะใช้เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิคือ กล่อง Temp Box โดยโปรแกรมที่ใช้ในการวัดคือโปรแกรม HPVEE การวัดจะแบ่งไดโอดที่ใช้วัดเป็น 3 ตัว แต่ละตัวจะมี 2 แบบคือไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด กับไดโอดชนิดที่ไม่มีฟิล์มเพชรในการระบายความร้อน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดคุณสมบัติของไดโอดมีดังนี้

4.2.1. แสดงลักษณะการวัดโปรแกรม HPVEE

โปรแกรม HPVEE เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เป็นส่วนของการแสดงผลในการวัดผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้



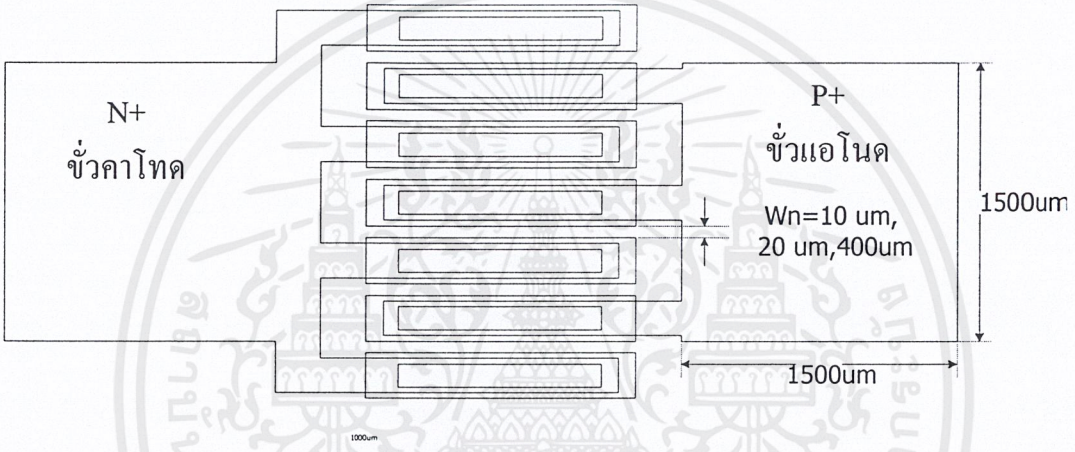
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการวัดด้วยโปรแกรม HPVEE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

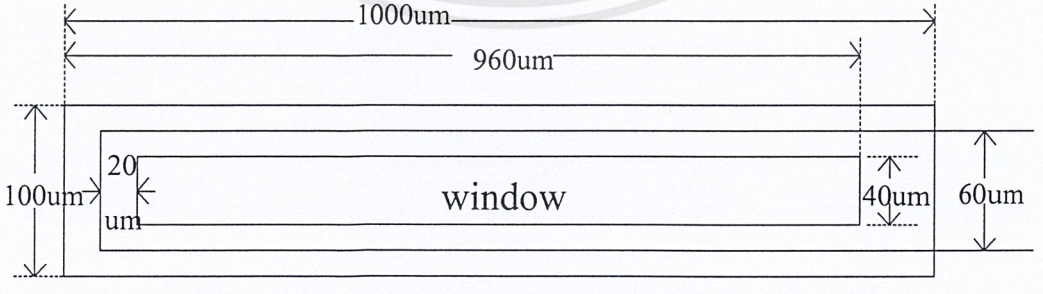
4.2.2 แสดงลักษณะการออกแบบตัวอุปกรณ์ไดโอดที่ใช้ในการทดลอง

เราจะทำการออกแบบไดโอดออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามเงื่อนไข โดยที่ไดโอดแบบมีขั้วคาโทด 4 ขั้ว และขั้วแอโนด 3 ขั้ว โดยจะแบ่งออกเป็นสามกรณี คือ

- กรณีระยะความยาวบริเวณเอ็น (Wn) = 10 μm (ใช้เป็นตัวที่ 1)
- กรณีระยะความยาวบริเวณเอ็น (Wn) = 20 μm (ใช้เป็นตัวที่ 2)
- กรณีระยะความยาวบริเวณเอ็น (Wn) = 400 μm (ใช้เป็นตัวที่ 3)



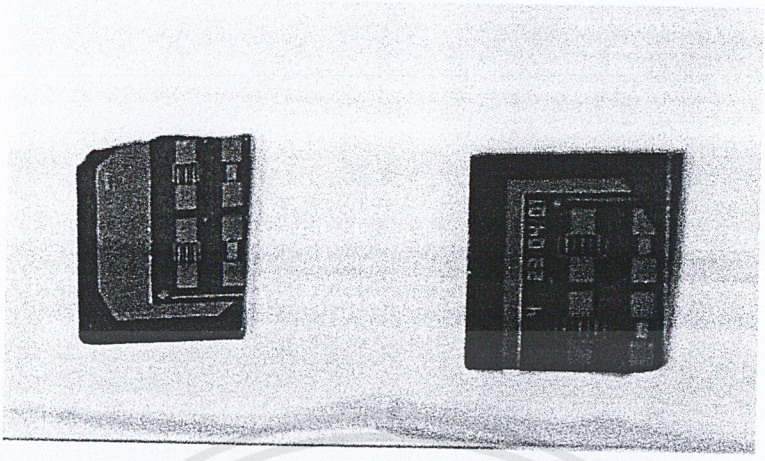
รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างของไดโอดแบบมีขั้วคาโทด 4 ขั้ว และ ขั้วอาโนด 3 ขั้ว



รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างของบริเวณที่ใช้สร้างรอยต่อ พี - เอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

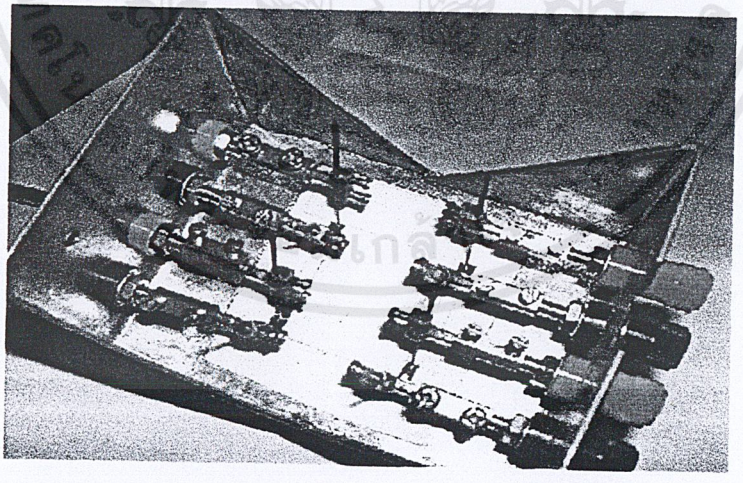
4.2.3 แสดงตัวอุปกรณ์ไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังเพื่อใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.5 แสดงตัวอุปกรณ์ไดโอดที่มีการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังตัวอุปกรณ์

4.2.3 แสดงลักษณะการวางอุปกรณ์ที่จะใช้ทำการวัดผลการทดลองลงในกล่อง

ทำการวางอุปกรณ์ไดโอตกำลังลงในกล่อง Temp Box ให้หน้าสัมผัสด้านฐานของอุปกรณ์สัมผัสของแผ่นโลหะระบายความร้อน (Heat sink) ซึ่งแผ่นที่ไม่มีการสร้างฟิล์มเพชรจะใช้แผ่นไมลาร์ในการกระจายความร้อนเพื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่สร้างเพชร ดังรูป



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการวางอุปกรณ์ที่จะใช้ทำการวัดลงในกล่องการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์การวัดจะแบ่งไดโอดที่ใช้วัดเป็น 3 ตัว แต่ละ ตัวจะมี 2 แบบคือไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด กับไดโอดชนิดที่ไม่มีฟิล์มเพชรด้านหลังจะใช้แผ่นไมล่าร์ในการระบายความร้อนแทน ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างกัน เราได้ทำการวัดที่ค่าอุณหภูมิสามค่าคือ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส , 50 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองนี้เราได้ทำการวัด ไดโอดในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง และแรงดันไบย้อนกลับดังนั้นการที่เราพิจรณาผลทางอุณหภูมิที่เปรียบเทียบกันระหว่างคุณสมบัติไดโอดที่ไม่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรกับคุณสมบัติไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรเราจะพิจรณาผลจากสภาวะทางอุณหภูมิในลักษณะต่างๆดังนี้

1.ค่าแรงดันภายใน (Cut-in voltage)
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิปกติ
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

2.ค่าความชันของกระแสต่อแรงดัน
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิปกติ
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

3.ค่ากระแสรั่ว
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิปกติ
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

4..ค่าแรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage)
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิปกติ
- ที่สภาวะทางอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

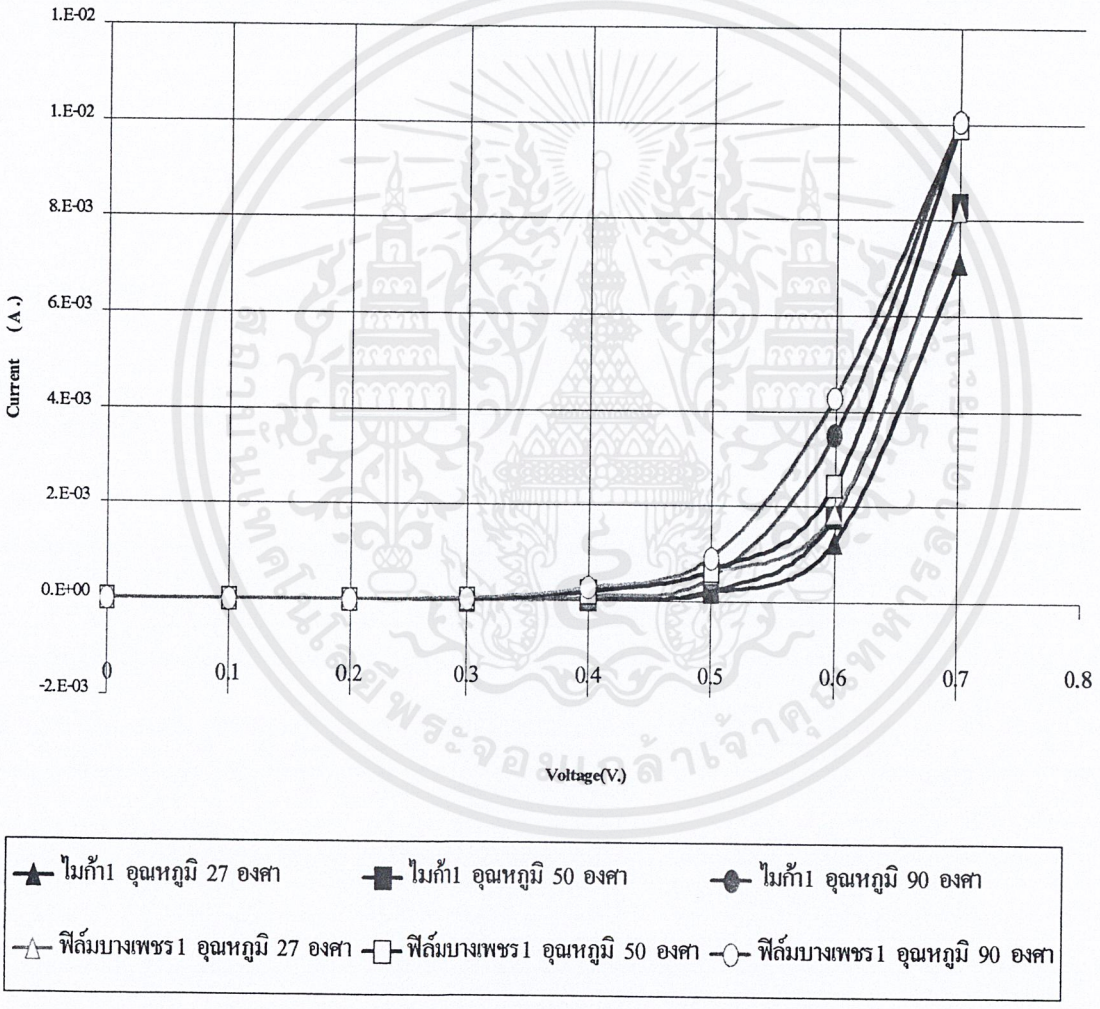
4.3 ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับที่อุณหภูมิต่างๆ

จากกระบวนการสร้างไดโอดเราได้ทำการสร้างไดโอดมา 2 แบบ คือ ไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรในการระบายความร้อนโดยทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด กับไดโอดชนิดที่ไม่มีฟิล์มเพชร แต่ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างจะเหมือนกันทุกอย่าง การที่เราสร้างไดโอด 2 แบบ ก็เพื่อที่เราจะได้นำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติของการทำงานที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อุปกรณ์ที่เรานำมาเปรียบเทียบนี้จะอยู่ในตำแหน่งเดียวกันตามกระจกมาส์คในขั้นตอนกระบวนการสร้าง ในการวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างกัน เราได้ทำการวัดที่ค่าอุณหภูมิสามค่าคือ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส , 50 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองนี้เราได้ทำการวัด ในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง และแรงดันไบย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

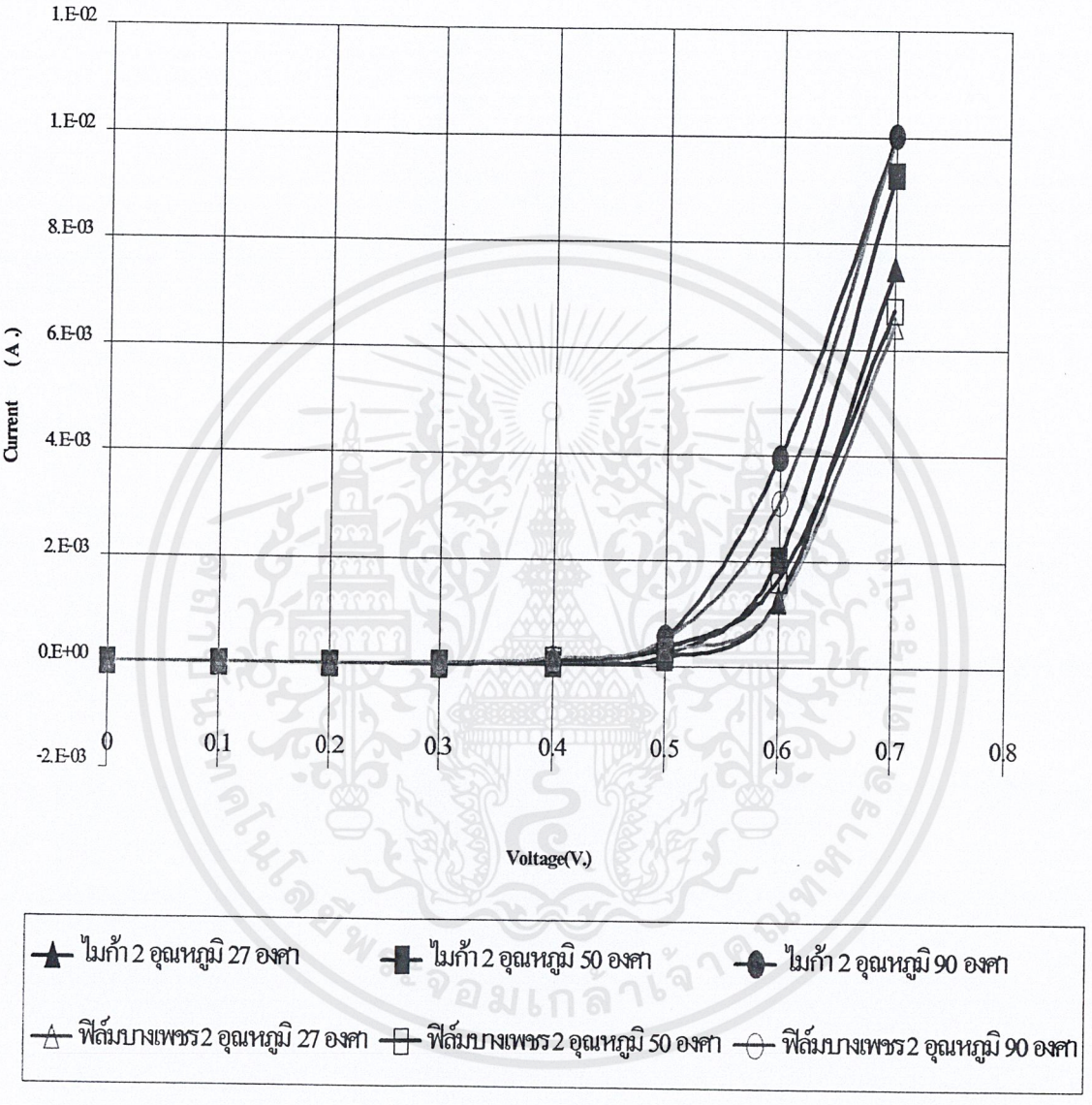
4.3.1 ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสตรง

ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดเมื่อทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างไดโอดที่สร้างฟิล์มเพชรกับไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ซึ่งเราสามารถแสดงผลจากตารางมาเป็นกราฟได้ดังนี้



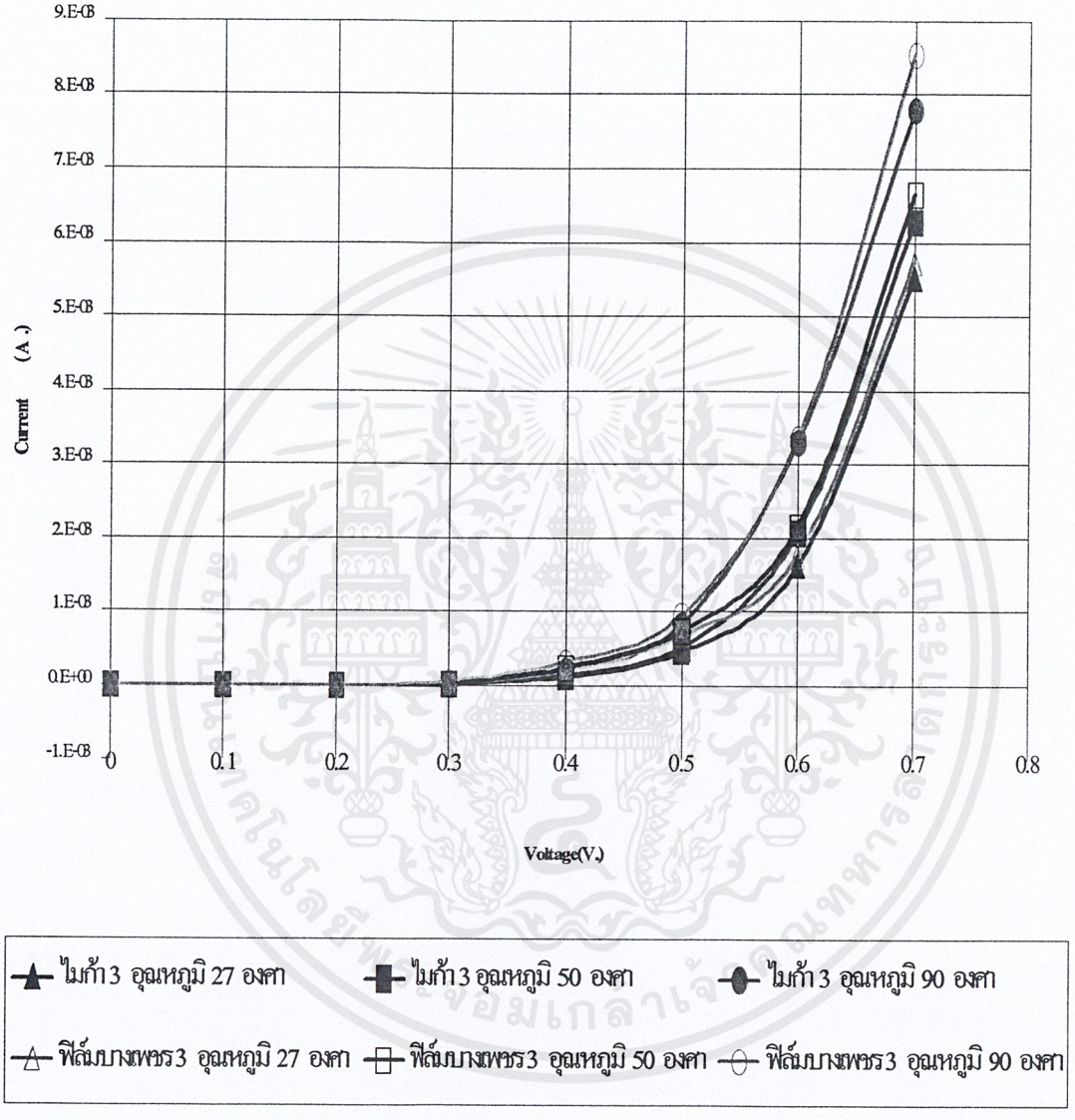
รูปที่4.7 แสดงกราฟกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.8 แสดงกราฟกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2)

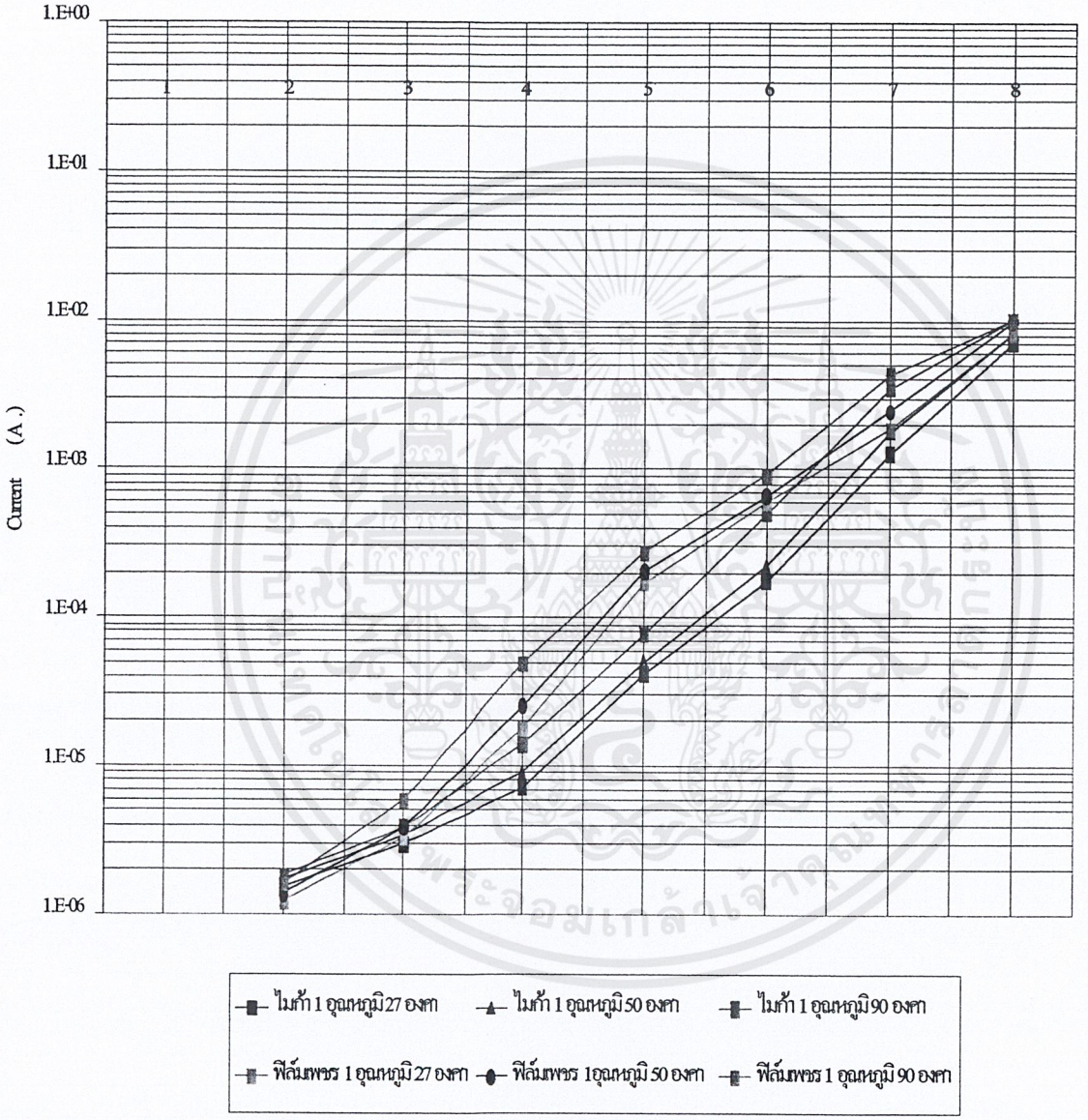
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.9 แสดงกราฟกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 3)

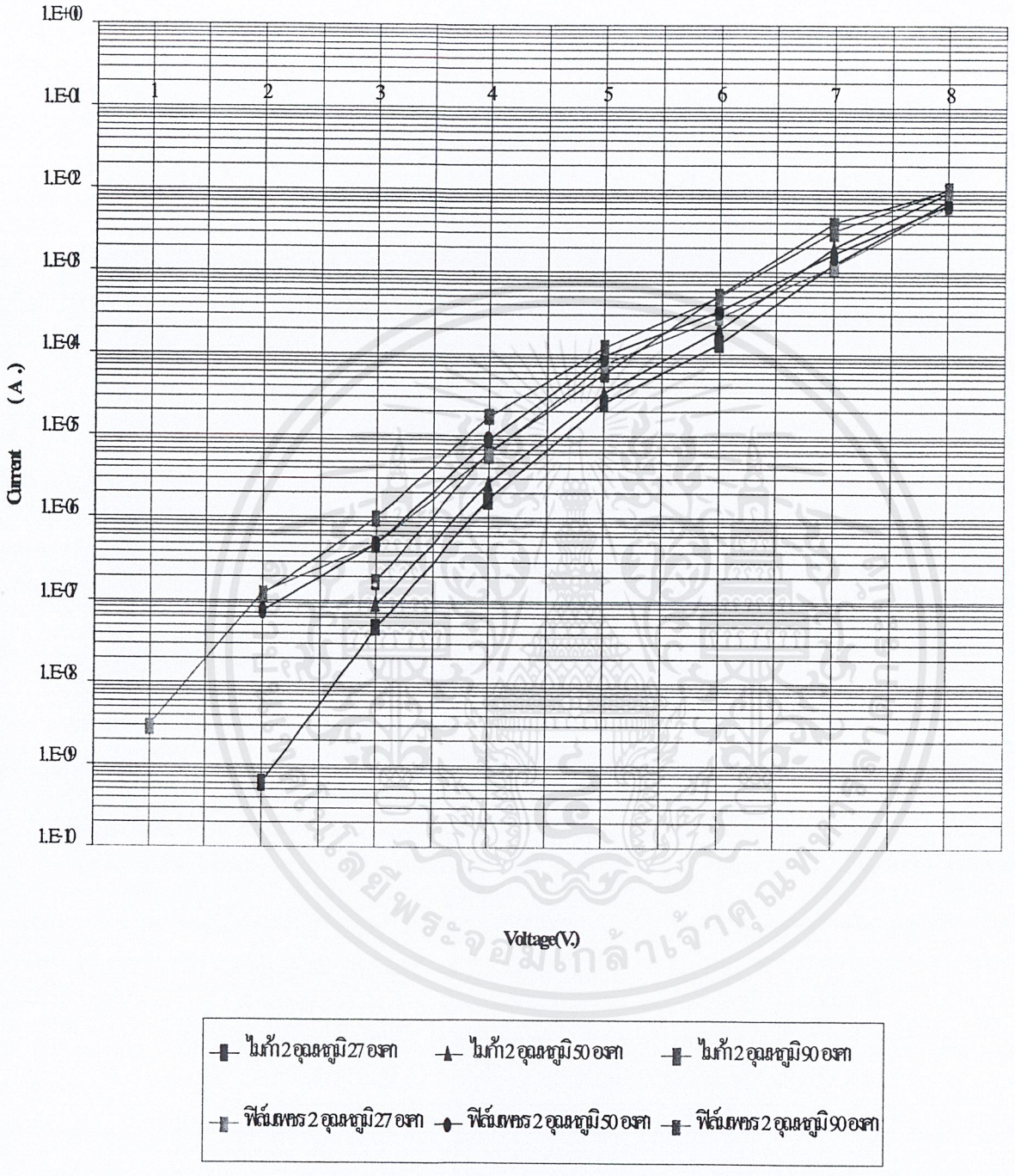
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอด เมื่อทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างไดโอดที่สร้างฟิล์มเพชรกับไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ซึ่งเราสามารถแสดงผลจากตารางมาเป็นกราฟลอการิทึมได้ดังนี้



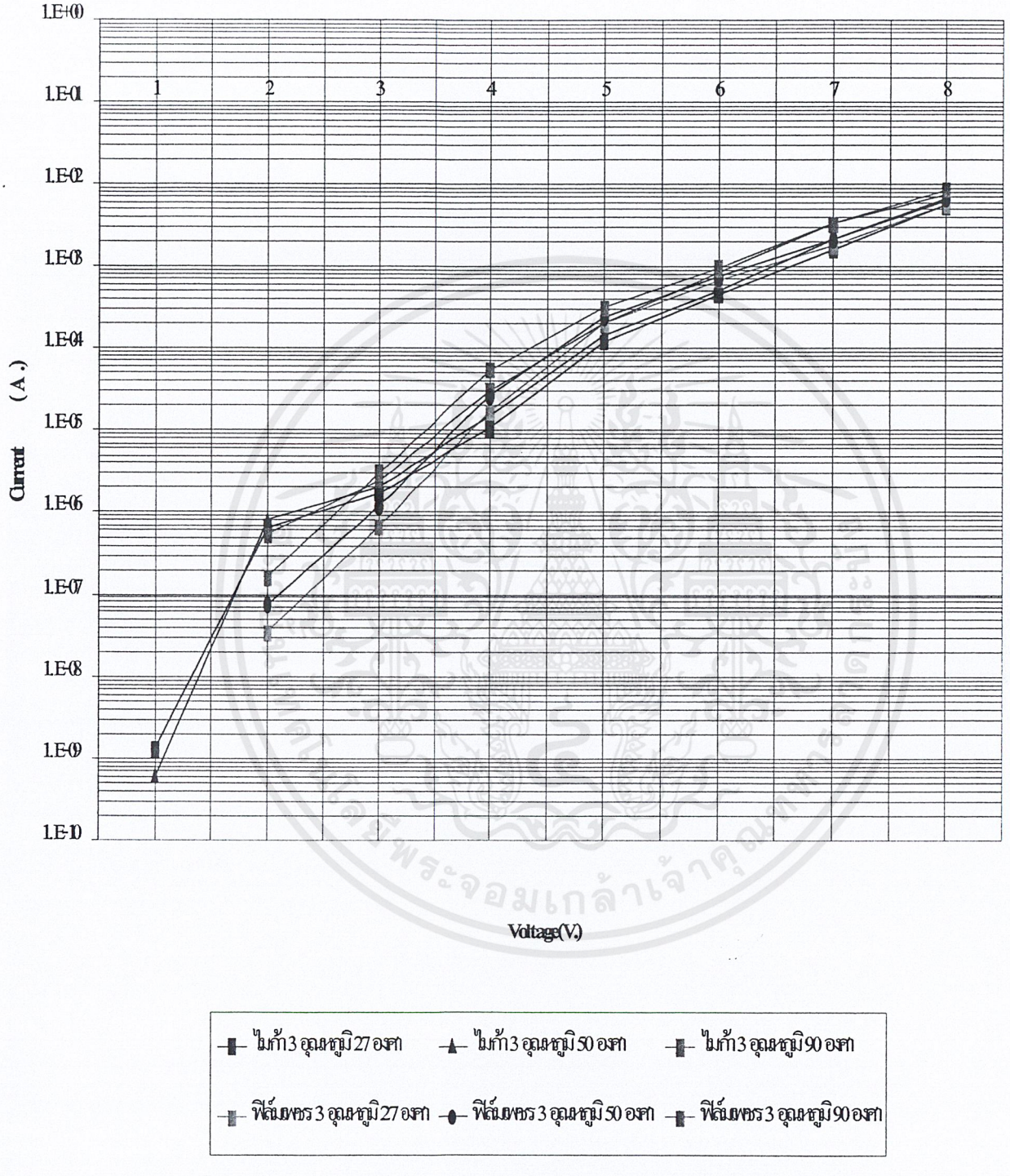
รูปที่4.10 แสดงกราฟลอการิทึมของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.11 แสดงกราฟลอการิทึมของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.12 แสดงกราฟลอการิทึมของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดเมื่อทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างไดโอดที่สร้างฟิล์มเพชรกับไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิซึ่งเราสามารถแสดงผลจากตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)

ตัวที่1	ID ไมก้า			ID ฟิล์มบางเพชร		
VD	27 °C	50 °C	90 °C	27 °C	50 °C	90 °C
0	-8.48E-09	-7.39E-09	-8.53E-09	-1.72E-08	-1.44E-08	-8.87E-08
0.1	1.55E-06	1.71E-06	1.82E-06	1.23E-06	1.38E-06	1.62E-06
0.2	2.98E-06	3.41E-06	3.87E-06	3.27E-06	3.90E-06	5.86E-06
0.3	7.21E-06	9.03E-06	1.39E-05	1.77E-05	2.54E-05	4.91E-05
0.4	4.15E-05	5.00E-05	7.68E-05	0.000172	0.000205	0.000276
0.5	0.000176	0.000222	0.000502	0.000601	0.000663	0.000919
0.6	0.001262	0.00178	0.0035	0.001864	0.00245	0.00428
0.7	0.0071	0.00832	0.01005	0.00821	0.00995	0.01005
Voltage.	Amp.			Amp.		

ตารางที่ 4.2 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่2)

ตัวที่ 2	ID ไมก้า			ID ฟิล์มบางเพชร		
VD	27 °C	50 °C	90 °C	27 °C	50 °C	90 °C
0	-8.00E-10	-7.80E-09	-1.20E-07	2.90E-09	-2.20E-09	-4.22E-08
0.1	6.00E-10	-4.70E-09	-1.10E-07	1.20E-07	7.43E-08	1.18E-07
0.2	4.74E-08	8.98E-08	1.70E-07	4.91E-07	4.83E-07	1.00E-06
0.3	1.68E-06	2.71E-06	6.38E-06	6.06E-06	9.29E-06	1.77E-05
0.4	2.62E-05	3.40E-05	5.87E-05	7.67E-05	9.36E-05	0.000123
0.5	0.000139	0.000206	0.000529	0.000291	0.000337	0.000505
0.6	0.001267	0.00202	0.00395	0.001198	0.001656	0.00311
0.7	0.0075	0.00931	0.01005	0.00644	0.00674	0.01005
Voltage.	Amp.			Amp.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่3)

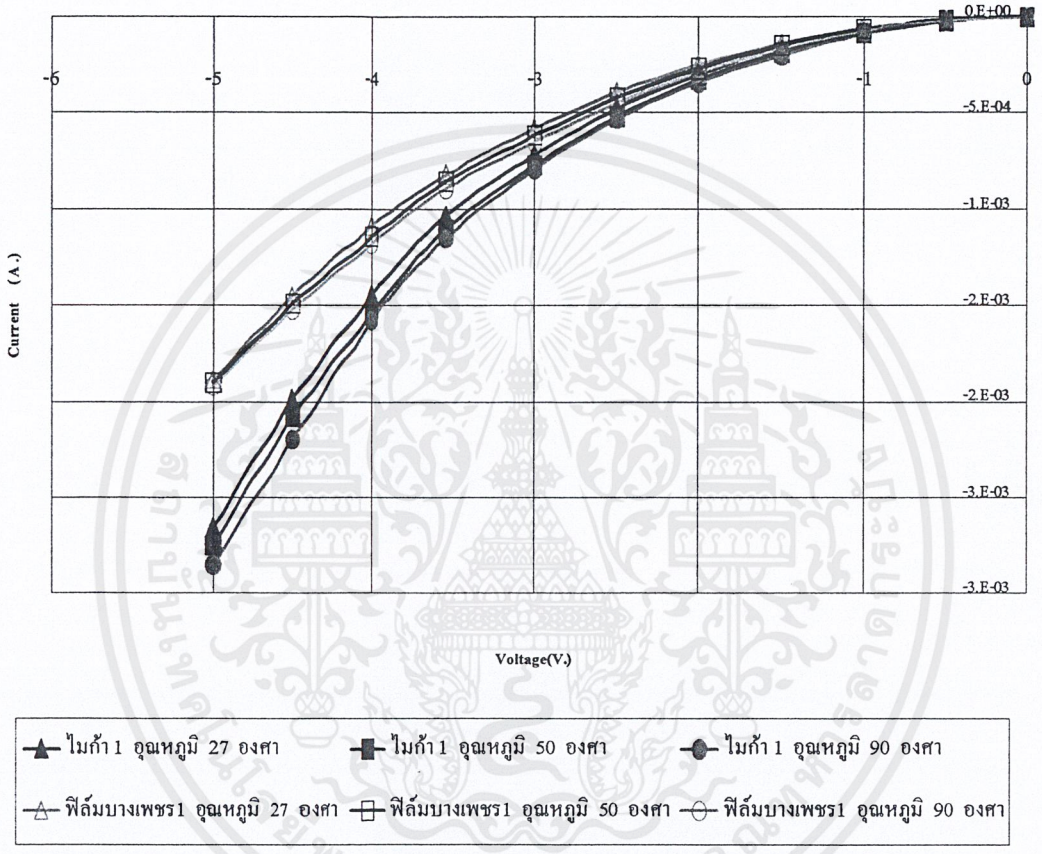
ตัวที่ 3	ID ไมก้า			ID ฟิล์มบางเพชร		
VD	27 °C	50 °C	90 °C	27 °C	50 °C	90 °C
0	1.30E-09	6.00E-10	-5.00E-10	-1.03E-08	-1.40E-09	-2.67E-08
0.1	6.57E-07	7.96E-07	5.44E-07	3.44E-08	7.49E-08	1.61E-07
0.2	1.71E-06	2.10E-06	2.50E-06	6.77E-07	1.19E-06	3.10E-06
0.3	1.06E-05	1.53E-05	3.13E-05	1.69E-05	2.65E-05	5.51E-05
0.4	0.000119	0.000143	0.000205	0.000199	0.000238	0.000317
0.5	0.000452	0.000518	0.000833	0.000685	0.000742	0.000956
0.6	0.001615	0.00207	0.00329	0.001768	0.00216	0.00334
0.7	0.00551	0.00629	0.00778	0.00573	0.00666	0.00855
Voltage.	Amp.			Amp.		

จากค่าในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 เป็นผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอด เมื่อทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างไดโอดที่สร้างฟิล์มเพชรกับไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ เราสามารถดูผลการเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์ไดโอดตามการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิได้จากกราฟกระแสและแรงดันแต่ถ้าจะดูผลการเปลี่ยนแปลงให้ชัดเจนยิ่งขึ้นก็สามารถดูผลได้จากกราฟลอการิทึม ซึ่งจากกราฟลอการิทึมเราสังเกตผลได้คือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 27 °C เป็น 50 °C และ 90 °C ระยะห่างระหว่างกระแสที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นอุปกรณ์ไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าอุปกรณ์ไดโอดที่ไม่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชร เพราะอุปกรณ์ไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรจะมีระยะแคบกว่า ซึ่งถือว่าการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ซึ่งเป็นการรักษาให้ไดโอดทำงานได้ในสภาวะคงที่และมีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสย้อนกลับ

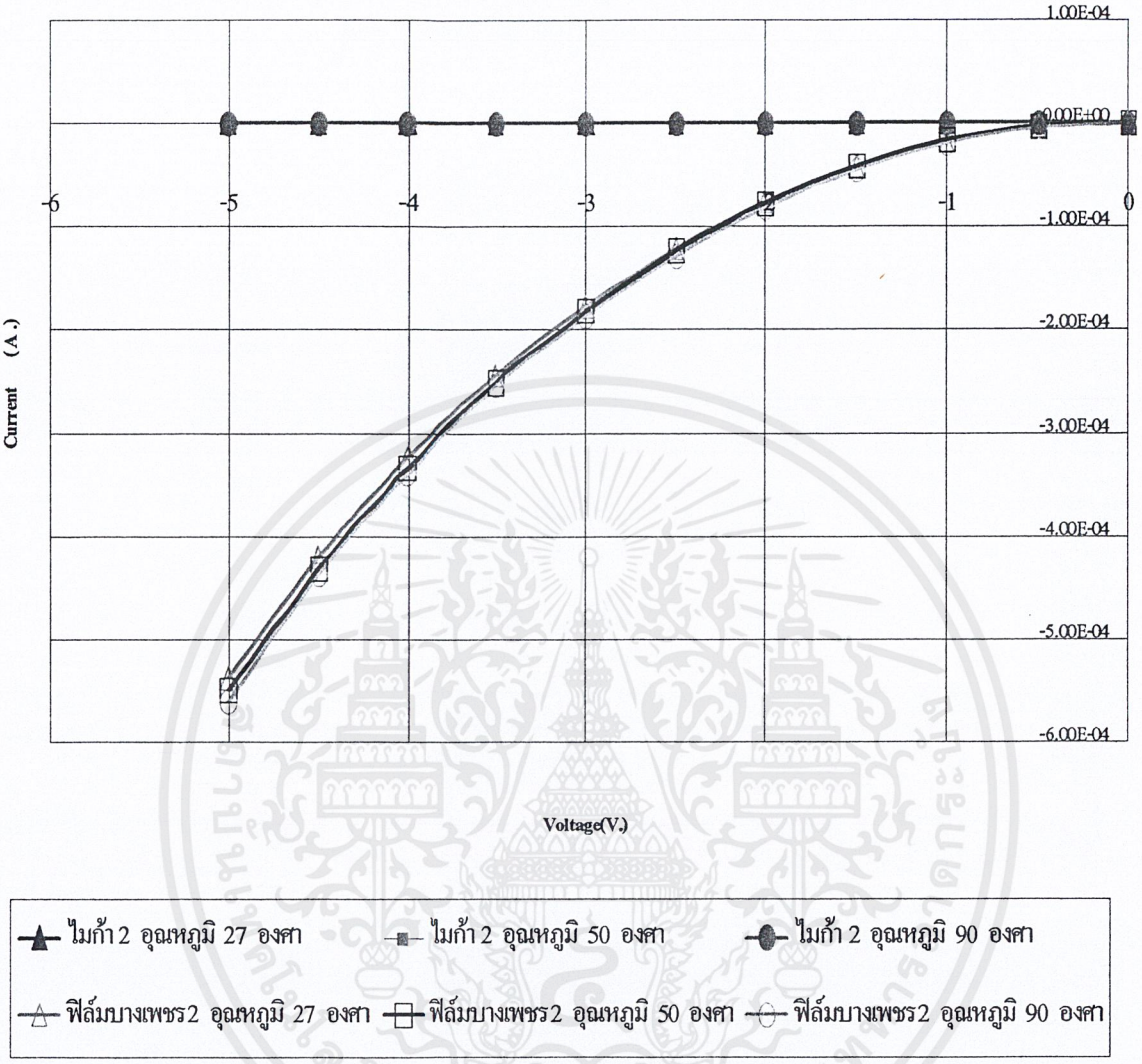
จากผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดเมื่อทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างไดโอดที่สร้างฟิล์มเพชรกับไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ซึ่งเราสามารถแสดงผลจากตารางมาเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่4.13 แสดงกราฟผลของกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)

จากคุณสมบัติของผลในการทดลองดังแสดงดังรูป 4.13 เราจะได้เห็นถึงความแตกต่างของไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ กับไดโอดชนิดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชร กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 27 $^{\circ}C$ เป็น 50 $^{\circ}C$ และ 90 $^{\circ}C$ ระยะห่างระหว่างกระแสที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าอุปกรณ์ไดโอดที่ไม่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชร เพราะอุปกรณ์ไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรจะมีระยะแคบกว่า ซึ่งถือว่าการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ซึ่งเป็นการรักษาให้ไดโอดทำงานได้ในสภาวะคงที่และมีเสถียรภาพ

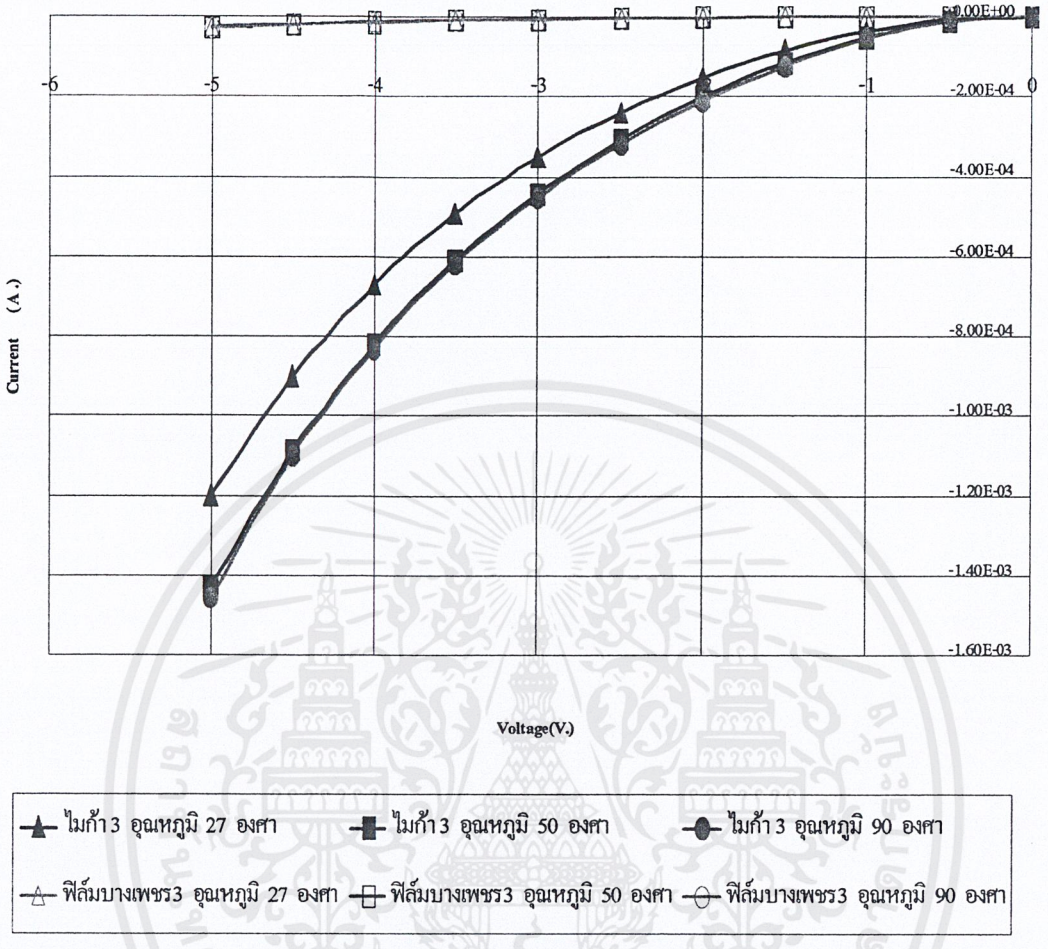
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.14 แสดงกราฟผลของกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่2)

จากคุณสมบัติของผลในการทดลองดังแสดงดังรูป 4.14 เราจะได้ว่า ไดโอดชนิดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ กับไดโอดชนิดที่ไม่มีฟิล์มเพชร จะให้ผลคุณสมบัติต่างกันทั้งนี้ก็เพราะว่า ไดโอดที่นำมาเปรียบเทียบนั้นจะเป็นต่างชนิดกัน แต่ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างจะเหมือนกันและอุปกรณ์อยู่ในตำแหน่งเดียวกันตามกระจกมาส์คในขั้นตอนกระบวนการสร้าง ซึ่งเหตุผลดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลคุณสมบัติต่างกัน ซึ่งในกราฟดังกล่าวนี้เราไม่สามารถทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติได้ และเราจะแสดงผลคุณสมบัติกราฟแต่ละชนิดของการทดลองในหัวข้อนี้ดังภาคผนวก ค. (รูปที่ 6 กับ รูปที่ 8) และจากกราฟของไดโอดชนิดที่ไม่มีฟิล์มเพชรเป็นเส้นตรงนั้นก็เพราะว่ากระแสของไดโอดดังกล่าวมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสของไดโอดชนิดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.15 แสดงกราฟผลของกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่3)

จากคุณสมบัติของผลในการทดลองดังแสดงดังรูป 4.15 จะเป็นเหตุผลเดียวกันกับผลในการทดลองดังแสดงดังรูป 4.14 (แต่ค่ากระแสของไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระแสของไดโอดชนิดที่ไม่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชร)แต่ถ้าเปรียบเทียบคุณสมบัติในกราฟแต่ละชนิดของการทดลองในหัวข้อนี้ดังภาคผนวก ค. (รูปที่ 10 กับ รูปที่ 12) จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 27 °C เป็น 50 °C และ 90 °C ระยะห่างระหว่างกระแสที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าอุปกรณ์ไดโอดที่ไม่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชร เพราะอุปกรณ์ไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรจะมีระยะแคบกว่า ซึ่งถือว่าการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ซึ่งเป็นการรักษาให้ไดโอดทำงานได้ในสภาวะคงที่และมีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดเมื่อทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างไดโอดที่สร้างฟิล์มเพชรกับไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ

ตารางที่4.4 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่1

ตัวที่1	ID ไมก้า A			ID ฟิล์มบางเพชร A		
VD	27 °C	50 °C	90 °C	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-0.00266	-0.00275	-0.00285	-0.00189	-0.0019	-0.00192
-4.5	-0.00199	-0.00208	-0.0022	-0.00149	-0.00149	-0.00152
-4	-0.00145	-0.00154	-0.00158	-0.00114	-0.00115	-0.00118
-3.5	-0.00103	-0.0011	-0.00115	-0.00085	-0.00086	-0.00089
-3	-0.00072	-0.00077	-0.00079	-0.00061	-0.00062	-0.00065
-2.5	-0.00048	-0.00052	-0.00053	-0.00041	-0.00042	-0.00045
-2	-0.0003	-0.00033	-0.00034	-0.00026	-0.00027	-0.00029
-1.5	-0.00017	-0.00019	-0.00021	-0.00014	-0.00015	-0.00017
-1	-8.09E-05	-8.86E-05	-8.92E-05	-6.46E-05	-6.78E-05	-7.50E-05
-0.5	-2.51E-05	-2.75E-05	-2.76E-05	-1.76E-05	-1.86E-05	-2.09E-05
0	-1.02E-08	-1.04E-08	-1.06E-08	-1.73E-08	-1.74E-08	-9.63E-08
Voltage.	Amp.			Amp.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.5 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่ 2

ตัวที่2	ID ไมก้า B			ID ฟิล์มบางเพชร B		
VD	27 °C	50 °C	90 °C	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-7.50E-09	-1.89E-08	-1.40E-07	-0.00054	-0.00055	-0.00056
-4.5	-5.00E-09	-1.50E-08	-1.40E-07	-0.00042	-0.00043	-0.00044
-4	-3.50E-09	-1.24E-08	-1.30E-07	-0.00032	-0.00033	-0.00034
-3.5	-2.80E-09	-1.18E-08	-1.30E-07	-0.00024	-0.00025	-0.00025
-3	-2.30E-09	-1.03E-08	-1.30E-07	-0.00018	-0.00018	-0.00019
-2.5	-1.60E-09	-9.50E-09	-1.30E-07	-0.00012	-0.00012	-0.00013
-2	-1.30E-09	-9.30E-09	-1.30E-07	-7.64E-05	-7.72E-05	-8.18E-05
-1.5	-1.40E-09	-7.80E-09	-1.30E-07	-4.18E-05	-4.15E-05	-4.52E-05
-1	-1.10E-09	-7.80E-09	-1.30E-07	-1.74E-05	-1.71E-05	-1.93E-05
-0.5	-4.00E-10	-7.20E-09	-1.30E-07	-3.93E-06	-3.81E-06	-4.56E-06
0	1.00E-10	-5.10E-09	-1.20E-07	1.70E-09	-2.40E-09	-4.45E-08
Voltage.	Amp.			Amp.		

ตารางที่4.6 ผลกระแสและแรงดันของไดโอดขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่3

ตัวที่3	ID ไมก้า C			ID ฟิล์มบางเพชร C		
VD	27 °C	50 °C	90 °C	27 °C	50 °C	90 °C
-10	-0.00756	-0.00835	-0.00919	-0.0004	-0.0004	-0.0004
-9	-0.00588	-0.00649	-0.00713	-0.00028	-0.00029	-0.00029
-8	-0.00449	-0.00494	-0.00543	-0.00018	-0.00018	-0.00019
-7	-0.00313	-0.00354	-0.00388	-9.55E-05	-0.0001	-0.0001
-6	-0.00199	-0.00225	-0.00248	-5.02E-05	-5.37E-05	-5.37E-05
-5	-0.00116	-0.00132	-0.00148	-2.84E-05	-3.02E-05	-2.87E-05
-4	-0.00064	-0.00081	-0.00084	-1.58E-05	-1.68E-05	-1.51E-05
-3	-0.00033	-0.00044	-0.00045	-8.11E-06	-8.86E-06	-7.11E-06
-2	-0.00014	-0.00016	-0.0002	-3.69E-06	-3.99E-06	-2.96E-06
-1	-3.51E-05	-5.12E-05	-5.20E-05	-1.14E-06	-1.19E-06	-7.80E-07
0	-1.80E-09	-1.00E-09	-1.66E-08	-5.00E-09	-1.80E-09	-2.76E-08
Voltage.	Amp.			Amp.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในครั้งนี้ เพื่อที่จะดูอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอดในช่วงให้ไบอัสตรง และในช่วงให้ไบอัสย้อนกลับ โดยที่เราผลการทดลองจากไดโอดที่ได้สร้างมาในการทดลองนี้ว่า แต่ละตัวมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นเท่าใด เราจะทำการหาอัตราเพิ่มขึ้นของกระแสแบบนอร์มอลไลซ์ โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$Ia1 = (I(50\ ^{\circ}C) - I(27\ ^{\circ}C)) / I(27\ ^{\circ}C)$$

$$Ia1 = (I(90\ ^{\circ}C) - I(27\ ^{\circ}C)) / I(27\ ^{\circ}C)$$

$$Ib1 = (I(50\ ^{\circ}C) - I(27\ ^{\circ}C)) / I(27\ ^{\circ}C)$$

$$Ib1 = (I(90\ ^{\circ}C) - I(27\ ^{\circ}C)) / I(27\ ^{\circ}C)$$

โดยที่ $I(27\ ^{\circ}C)$ คือ กระแสที่อุณหภูมิ $27\ ^{\circ}C$

$I(50\ ^{\circ}C)$ คือ กระแสที่อุณหภูมิ $50\ ^{\circ}C$

$I(90\ ^{\circ}C)$ คือ กระแสที่อุณหภูมิ $90\ ^{\circ}C$

Ia1 คือ กระแสที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ $27\ ^{\circ}C$ ไปยัง $50^{\circ}C$ (ช่วงให้ไบอัสตรง)

Ia2 คือ กระแสที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ $27\ ^{\circ}C$ ไปยัง $90^{\circ}C$ (ช่วงให้ไบอัสตรง)

Ib1 คือ กระแสที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ $27\ ^{\circ}C$ ไปยัง $50^{\circ}C$ (ช่วงให้ไบอัสย้อนกลับ)

Ib2 คือ กระแสที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ $27\ ^{\circ}C$ ไปยัง $90^{\circ}C$ (ช่วงให้ไบอัสย้อนกลับ)

จากผลการคำนวนในครั้งนี้ เพื่อที่จะดูอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอดในช่วงให้ไบอัสตรง และในช่วงให้ไบอัสย้อนกลับ ทั้งนี้ก็เพื่อดูว่าไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด กับไดโอดชนิดที่ไม่มีฟิล์มเพชร ตัวใดจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสมากกว่ากันเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากทฤษฎีแล้วกระแสจะเพิ่มขึ้นสองเท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 $^{\circ}C$ จากผลการทดลองในครั้งนี้ เมื่อดูผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของ ไดโอดในช่วงให้ไบอัสตรง และในช่วงให้ไบอัสย้อนกลับนั้น จะพบว่าผลที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งผลการคำนวนจะแสดงในตารางที่4.7 ถึง 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอดช่วงให้ไบอัสตรง อุณหภูมิ 50 ^{o}C

VD	Ia1					
	DA	DB	DC	MA	MB	MC
0	-16.28	-175.86	-86.41	-12.85	875	-53.85
0.1	12.19	-38.08	117.73	10.32	-883.3	21.2
0.2	19.27	-1.63	75.77	14.43	89.45	22.8
0.3	43.5	53.3	56.8	25.24	61.3	44.34
0.4	19.19	22.03	19.6	20.48	29.77	20.17
0.5	10.32	15.81	8.32	26.14	48.2	14.6
0.6	31.44	38.23	22.17	41.05	59.43	28.17
0.7	21.19	4.66	16.23	17.18	24.13	14.16
Voltage	Percent (%)					

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอดช่วงให้ไบอัสตรง อุณหภูมิ 90 ^{o}C

VD	Ia2					
	DA	DB	DC	MA	MB	MC
0	416.7	-1555.1	160.2	0.59	149000	-138.47
0.1	-86.83	-1.66	368	17.42	-18433	-17.199
0.2	79.2	103.6	357.9	29.87	258.6	46.2
0.3	177.4	193.1	226	92.79	243	195.3
0.4	60.47	60.4	59.27	85.06	124	72.27
0.5	52.91	73.54	39.56	185.23	280.5	84.25
0.6	129.6	159.6	88.9	177.34	21.76	103.7
0.7	22.4	56.1	49.21	41.55	34	41.1
Voltage	Percent (%)					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอดช่วงให้ไบอัสย้อนกลับ อุณหภูมิ 50 °C

VD	Ib1					
	DA	DB	DC	MA	MB	MC
-5	0.53	1.85	8.95	3.38	152	19.17
-4.5	0	2.38	7.25	4.52	200	21.1
-4	0.87	3.13	7.1	6.21	254	22.34
-3.5	1.18	4.17	3.96	6.79	321.4	24.4
-3	1.64	0	5.1	6.94	347.8	25.7
-2.5	2.44	0	1.95	8.33	493.7	29.1
-2	3.85	-0.26	-0.35	10	615.4	33.33
-1.5	7.14	-0.72	0.64	11.76	4.57	40.35
-1	4.95	-7.21	3	9.52	6.09	43.09
-0.5	5.68	-31	17.92	9.56	1700	58.75
0	0.58	-241	16.66	1.96	5000	9.1
Voltage	Percent (%)					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอดช่วงให้ไบอัสย้อนกลับอุณหภูมิ 90 °C

VD	Ib2					
	DA	DB	DC	MA	MB	MC
-5	1.59	3.7	9.34	7.14	1766	21.66
-4.5	2	4.76	9.33	10.55	2700	22.22
-4	3.5	6.25	7.8	8.97	3614	23.88
-3.5	4.7	4.16	5.94	11.65	4542	26.53
-3	6.55	5.55	5.25	9.72	5552	28.57
-2.5	9.76	8.33	2.38	10.42	8025	33.33
-2	11.54	7.07	1.05	13.53	9900	40
-1.5	21.4	8.13	1.28	23.53	9185	52
-1	16	10.92	3.15	10.26	11718	43.62
-0.5	18.75	16.03	18.4	9.96	32400	59.83
0	456.6	2717	2200	3.92	120100	1272
Voltage	Percent (%)					

โดยที่ MA คือ ไดโอดชนิดที่ใช้แผ่นไมก้า (ตัวที่ 1)

MB คือ ไดโอดชนิดที่ใช้แผ่นไมก้า (ตัวที่ 2)

MC คือ ไดโอดชนิดที่ใช้แผ่นไมก้า (ตัวที่ 3)

DA คือ ไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด (ตัวที่ 1)

DB คือ ไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด (ตัวที่ 2)

DC คือ ไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด (ตัวที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

เราทราบถึงคุณสมบัติของเพชรที่มีการนำความร้อนและการกระจายความร้อนได้ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันและในอนาคตได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้จะสามารถสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถระบายความร้อนจากตัวอุปกรณ์เองได้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวนั้นมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีขึ้นด้วยและมีอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้นเพราะสามารถระบายความร้อนออกได้รวดเร็ว ไม่ทำให้ความร้อนถึงจุดที่อุปกรณ์นั้นทนไม่ได้ก็จะเกิดความเสียหายหรือเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น การนำเพชรมาใช้งานนี้จะกล่าวถึงการนำมาใช้งานเพื่อระบายความร้อนโดยทำเป็นฟิล์มเพชรบางๆ เคลือบติดกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งาน การระบายความร้อนจะช่วยลดอุณหภูมิภายในตัวอุปกรณ์ ซึ่งการสร้างฟิล์มเพชรลงบนตัวอุปกรณ์นั้นสามารถสร้างได้โดยวิธีการ CVD แบบขดลวดความร้อนความดันต่ำ วิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งซึ่งใช้สร้างเพชรที่เป็นฟิล์มบางได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมการสร้างเพชรได้ตามที่ต้องการ แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับขั้นตอนการเตรียมฐานรองซิลิกอนและขึ้นอยู่กับการควบคุมความดันอากาศ ขนาดของไส้หลอดทังสเตน กระแสไฟฟ้าภายนอกที่จ่ายให้ไส้หลอดทังสเตนว่ามีปริมาณพอเหมาะหรือไม่ อุณหภูมิภายในเครื่องไส้หลอดทังสเตนและปริมาณผิวของแผ่นมีปริมาณพอเหมาะหรือไม่ สิ่งต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการเกิดฟิล์มเพชร

จากกระบวนการสร้างไดโอดเราได้ทำการสร้างไดโอดมา 2 ชนิด คือ ไดโอดชนิดที่มีฟิล์มเพชรในการระบายความร้อนโดยทำการสร้างฟิล์มเพชรด้านหลังอุปกรณ์ไดโอด กับไดโอดชนิดที่ไม่มีฟิล์มเพชร แต่ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างจะเหมือนกันทุกอย่าง การที่เราสร้างไดโอด 2 ชนิด ก็เพื่อที่เราจะได้นำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติของการทำงานที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อุปกรณ์ที่เรานำมาเปรียบเทียบนี้จะอยู่ในตำแหน่งเดียวกันตามกระจกมาส์คในขั้นตอนกระบวนการสร้าง ในการวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างกัน เราได้ทำการวัดที่ค่าอุณหภูมิสามค่าคือที่สภาวะอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส , 50 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองนี้เราได้ทำการวัด ในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง และแรงดันไบย้อนกลับ ดังนั้นการที่เราพิจารณาผลทางอุณหภูมิที่เปรียบเทียบกันระหว่างคุณสมบัติไดโอดที่ไม่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรกับคุณสมบัติไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มเพชรเราจะพิจารณาผลจากสภาวะทางอุณหภูมิในลักษณะต่างๆ เช่น .ค่า Cut in Voltage ค่าความชันของกระแสต่อแรงดัน ค่ากระแสรั่ว ค่าแรงดันพังทลาย

จากผลการทดลองที่ได้จากคุณสมบัติของไดโอดจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างไดโอดที่ได้ทำการสร้างฟิล์มบางเพชรและไดโอดที่ใช้แผ่นไมก้าในการระบายความร้อนโดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิสามารถสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ของผลการระบายความร้อนของฟิล์มบางเพชรกราฟทาง Forward – bias จะเห็นว่ากราฟมีความชันของกระแสได้มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิปกติและอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น การระบายความร้อนของฟิล์มบางเพชรจะมีผลในช่วงการได้รับไบอัสค่าสูงๆซึ่งอุณหภูมิมีค่าสูง ฟิล์มบางเพชรจะช่วยในการรักษาระดับของกระแสให้มีค่าคงที่ได้เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การระบายความร้อนของฟิล์มบางเพชรจะช่วยทำให้ค่าแรงดันภายนอกมีค่ามากกว่าแรงดันภายในแต่ไดโอดที่มีฟิล์มบางเพชรจะไม่สามารถช่วยให้แรงดันภายในคงที่ได้ซึ่งแรงดันภายในมีค่าลดลงเปลี่ยนแปลงผันตามค่าของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไดโอดที่ใช้แผ่นไมก้าในการระบายความร้อนจะเห็นว่ากราฟของไดโอดที่มีฟิล์มบางเพชรจะมีจุดของการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าแผ่นไมก้าในการระบายความร้อนการเปลี่ยนแปลงจะมากกว่าและค่าความชันของกราฟมีค่ามากกว่า

การระบายความร้อนของฟิล์มบางเพชรจะช่วยในการระบายความร้อนได้ดีขึ้นทำให้กราฟความชันของไดโอดมีความชันต่างกับกราฟที่ใช้แผ่นไมก้าในการระบายความร้อนจะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบภาพโดยรวมกราฟของไดโอดที่มีฟิล์มบางเพชรจะมีจุดการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มความชันน้อยกว่าแผ่นไมก้าที่มีความชันมากกว่าเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากกราฟแสดงว่าฟิล์มบางเพชรจะช่วยในการระบายความร้อนได้ดีกว่าแผ่นไมก้าทำให้จุดการทำงานไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ไดโอดที่ได้สร้างมาจากการทดลองนี้มีค่ากระแสรั่วสูงพอสมควรแต่เราสามารถเปรียบเทียบผลที่ได้จากอุณหภูมิที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นของไดโอดที่มีฟิล์มบางเพชรและไดโอดที่ใช้แผ่นไมก้าในการระบายความร้อนว่ากระแสรั่วของไดโอดฟิล์มบางเพชรมีค่าน้อยกว่าไดโอดที่ใช้แผ่นไมก้าที่มีค่ามากและสามารถเปรียบเทียบกราฟและตารางเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแรงดันมีผลเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นกราฟที่ได้จากไดโอดฟิล์มบางเพชรจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าแผ่นไมก้าที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าจะเห็นความแตกต่างได้ดีต้องมีอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นมากๆดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฟิล์มบางเพชรจะช่วยในการระบายความร้อนได้ดีกว่าแผ่นไมก้าทำให้กระแสรั้วมีค่าน้อยการเปลี่ยนแปลงของกระแสมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแผ่นไมก้า

แรงดันพังทลาย (Break down voltage) ของไดโอดที่นำมาทดลองในครั้งนี้เราไม่สามารถสรุปได้ เพราะว่าจากผลของการทดลองมีค่าแรงดันพัง ทะลายต่ำและไม่ถูกต้อง เราจึงไม่สามารถนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบและแสดงให้เห็นความแตกต่างที่ถูกต้องได้

จากผลที่ได้จากการทดลองของไดโอดที่ได้ทำการสร้างอาจมีข้อผิดพลาดบ้างแต่ไม่มากนักอาจเนื่องมาจากขบวนการสร้างตัวไดโอดไดโอดที่มีคุณสมบัติที่ไม่ดีมากนักแต่ก็พอใช้ในการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของไดโอดที่ใช้ฟิล์มบางเพชรและไดโอดที่ใช้แผ่นไมก้าในการระบายความร้อนและผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มในทางที่เราตั้งสมมุติฐานไว้ในตอนแรกที่ว่าฟิล์มบางเพชรจะช่วยระบายความร้อนได้ดีกว่าแผ่นไมก้าแต่ข้อแตกต่างที่ได้จากการทดลองยังเห็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลไม่ชัดเจนมากนักซึ่งค่าจะมีความแตกต่างกันมากจะเห็นได้ที่อุณหภูมิสูงๆแต่เมื่อเทียบผลที่ได้กับไดโอดที่ใช้แผ่นไมก้าระบายความร้อนแล้วจากกราฟ I-V Characteristic และกราฟล็อกการิทึมและตารางเปอร์เซ็นต์การเปรียนแปลงของกระแสต่ออุณหภูมิของไดโอดทำให้ได้ข้อมูลที่จะพอสรุปได้ว่าฟิล์มบางเพชรจะช่วยระบายความร้อนได้ดีกว่าแผ่นไมก้าระบายความร้อน

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาและทดลองนี้เราสามารถที่จะนำเอาคุณสมบัติของฟิล์มบางเพชรไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆได้ ซึ่งความสามารถของฟิล์มบางเพชรจะช่วยเป็นตัวระบายความร้อนได้ดีทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ฟิล์มบางเพชรมีเสถียรภาพในการทำงานมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและขบวนการสร้างก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถสร้างได้ง่ายและช่วยทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำนั้นมีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

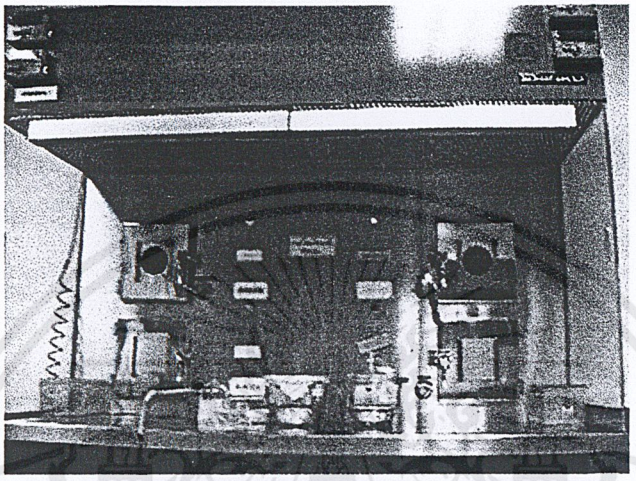
ค่าคงที่ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณสำหรับซิลิกอน

E_g : ความกว้างช่องว่างพลังงานที่ (Energy band gap)		
ที่ 0 K	1.21	eV
ที่ 300 K	1.12	eV
ϵ_O : ค่าคงที่ไดเล็กตริกในสารกึ่งตัวนำ (Dielectic constant of vacuum)	8.854×10^{-14}	F/cm
K_S : ค่าคงที่ไดเล็กตริกในสารกึ่งตัวนำ (Dielectic constant of semiconductor)	11.8	
μ_N : ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (Electron mobility)	1350	cm^2/V-sec
μ_P : ความคล่องตัวของโฮล (Hold mobility)	480	cm^2/V-sec
D_N : ค่าคงที่การแพร่ของอิเล็กตรอน (Electron diffusion constant)	34.65	cm^2/sec
D_P : ค่าคงที่การแพร่ของโฮล (Hold diffusion constant)	12.4	cm^2/sec
n_i : ความเข้มของอะตอมสารเจืออินทรินซิกที่ 300 K (Intrinsic carrier concentration)	1.43×10^{10}	Atom/cm^3
k : ค่าคงที่ของโบสต์มันน์ (Boltzmann's constant)	8.617×10^{-15}	eV / K
q : ประจุอิเล็กตรอนหรือโฮล (Magnitude of electron charge)	1.602×10^{-19}	C.
No : ค่าคงตัวการไอออไนซ์ (Ionize constant)	4.01×10^{16}	cm^{-3}

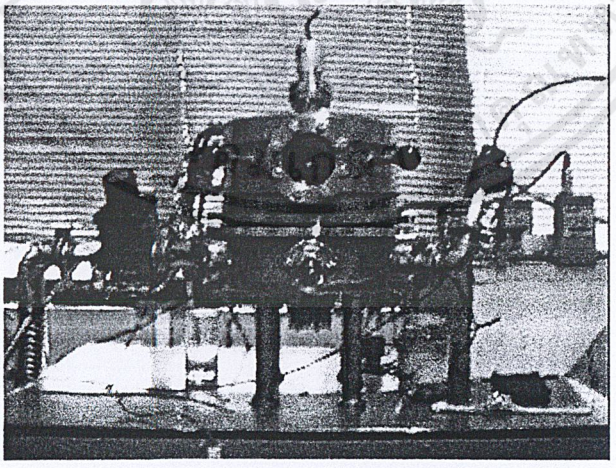
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงรูปเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างไดโอดฟิล์มบางเพชรและเครื่องมือวัด

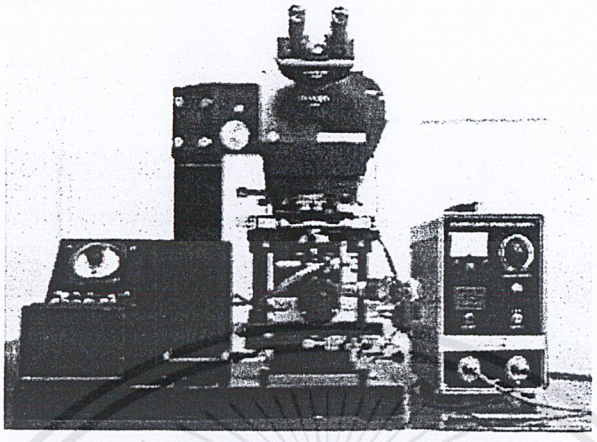


รูปเครื่อง Diffusion Fernance (เตาแพร่อะตอมสารเจือ)

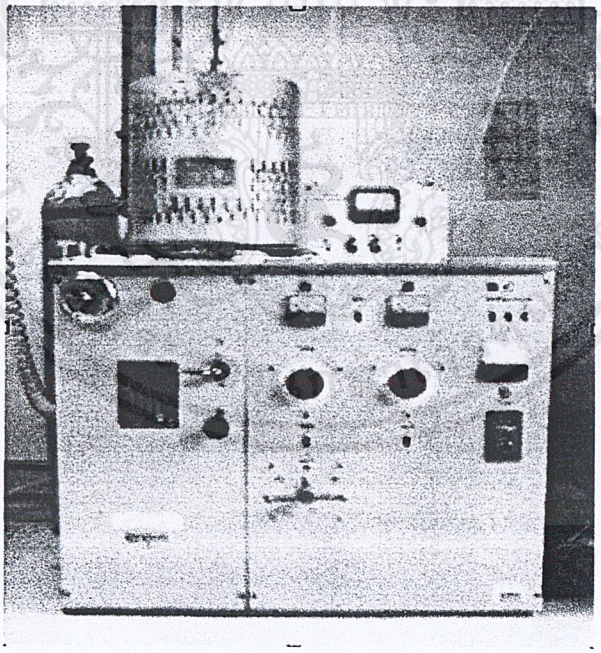


รูปเครื่องสร้างฟิล์มบางเพชรด้วยวิธี CVD ขดลวดความร้อนความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

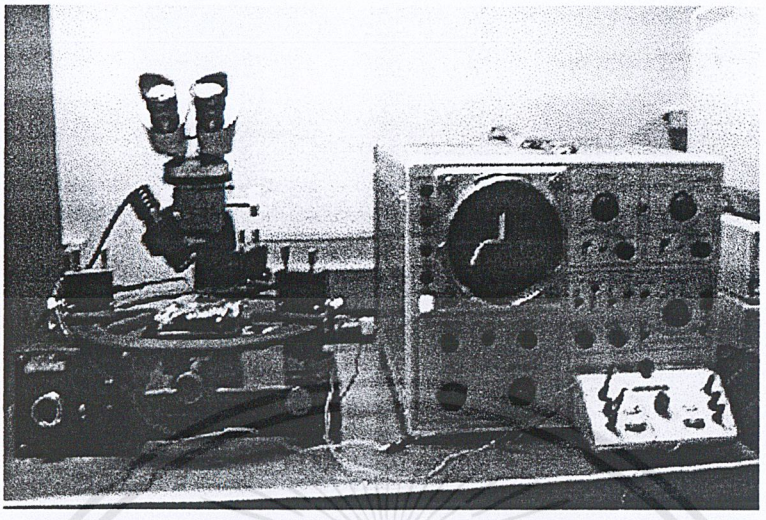


รูปเครื่องปรับซ้อนมาร์สและฉายแสง UV

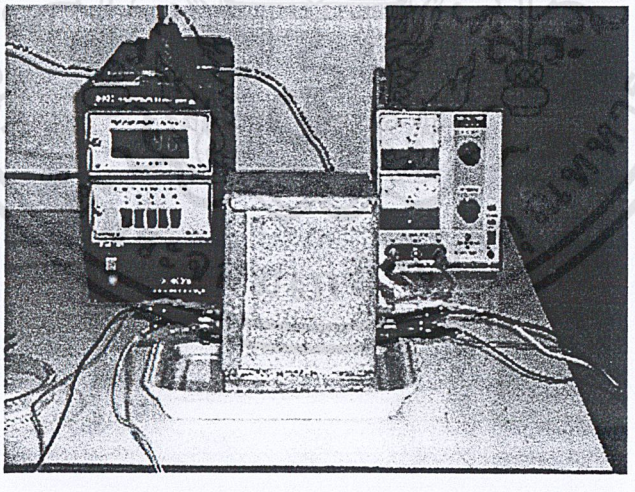


รูปเครื่อง Evaporator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปเครื่องมือคุณสมบัติ (Curve Testcer)



รูปแสดงการวางอุปกรณ์ในการวัด

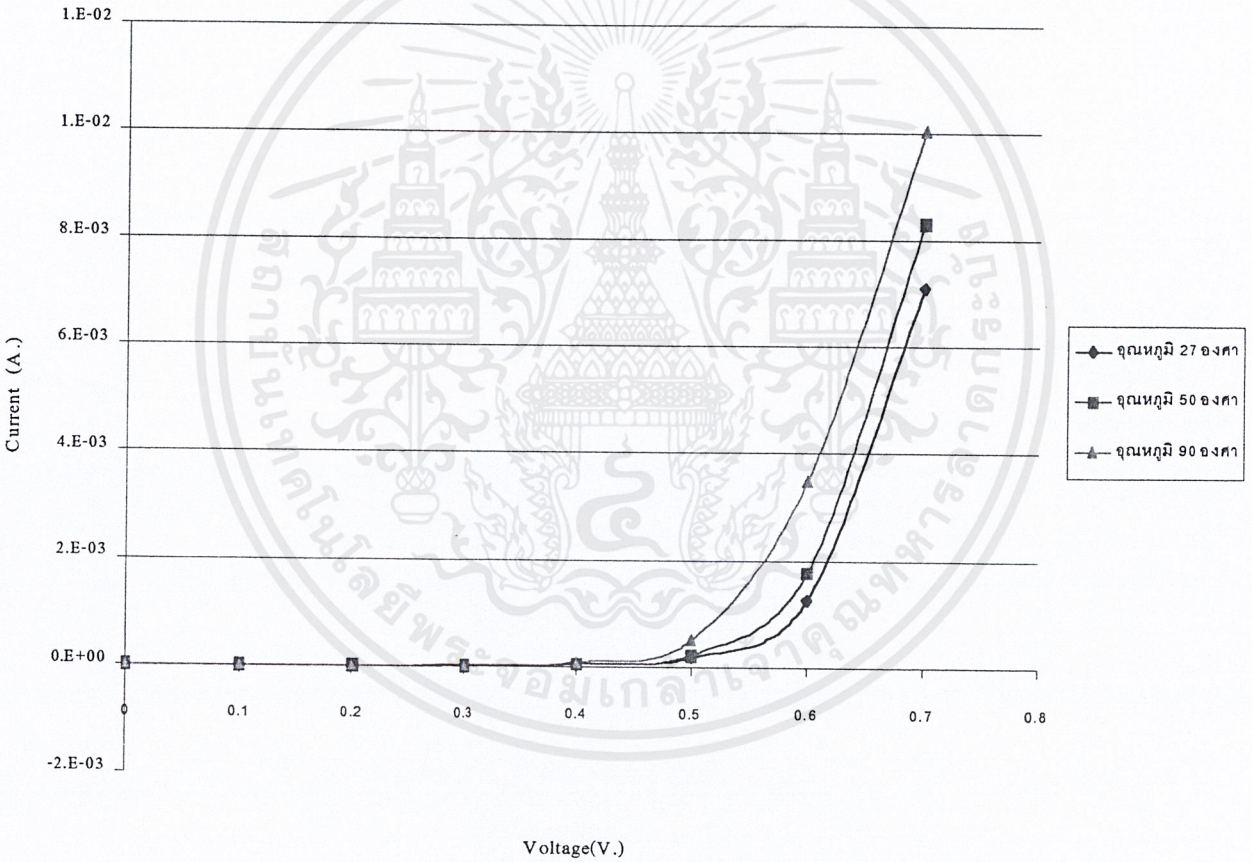
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลการวัดคุณสมบัติในสภาวะไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับที่อุณหภูมิต่างๆ

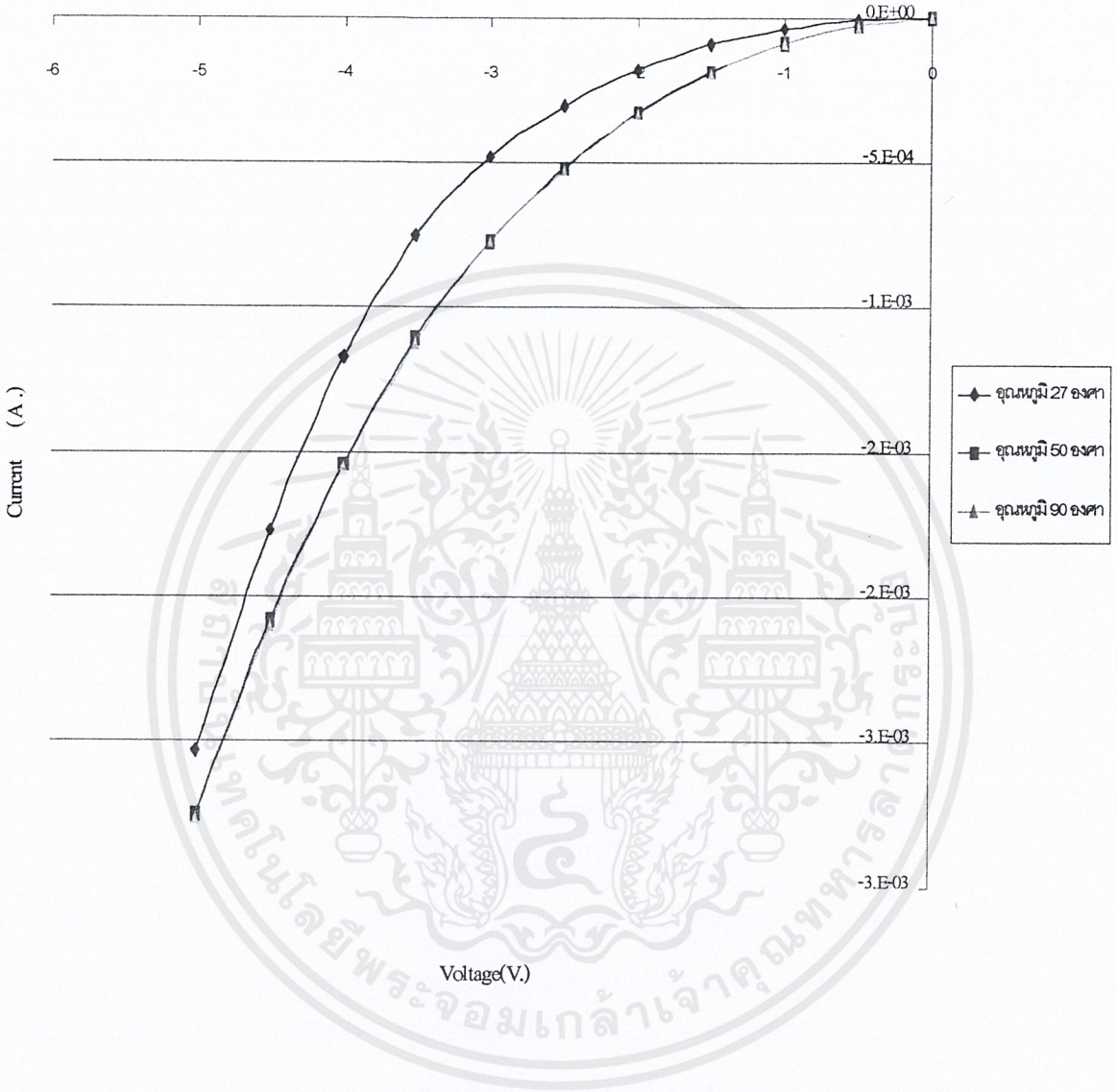
ในการวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างกัน เราได้ทำการวัดที่ค่าอุณหภูมิสามค่าคือ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส , 50 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองนี้เราได้ทำการวัด ในขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง และแรงดันไบย้อนกลับ

จากผลในการทดลองเราสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่เกิดจากผลของอุณหภูมิที่ 27,50,90 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าต่างๆที่ได้ สามารถแสดงเป็นกราฟดังนี้



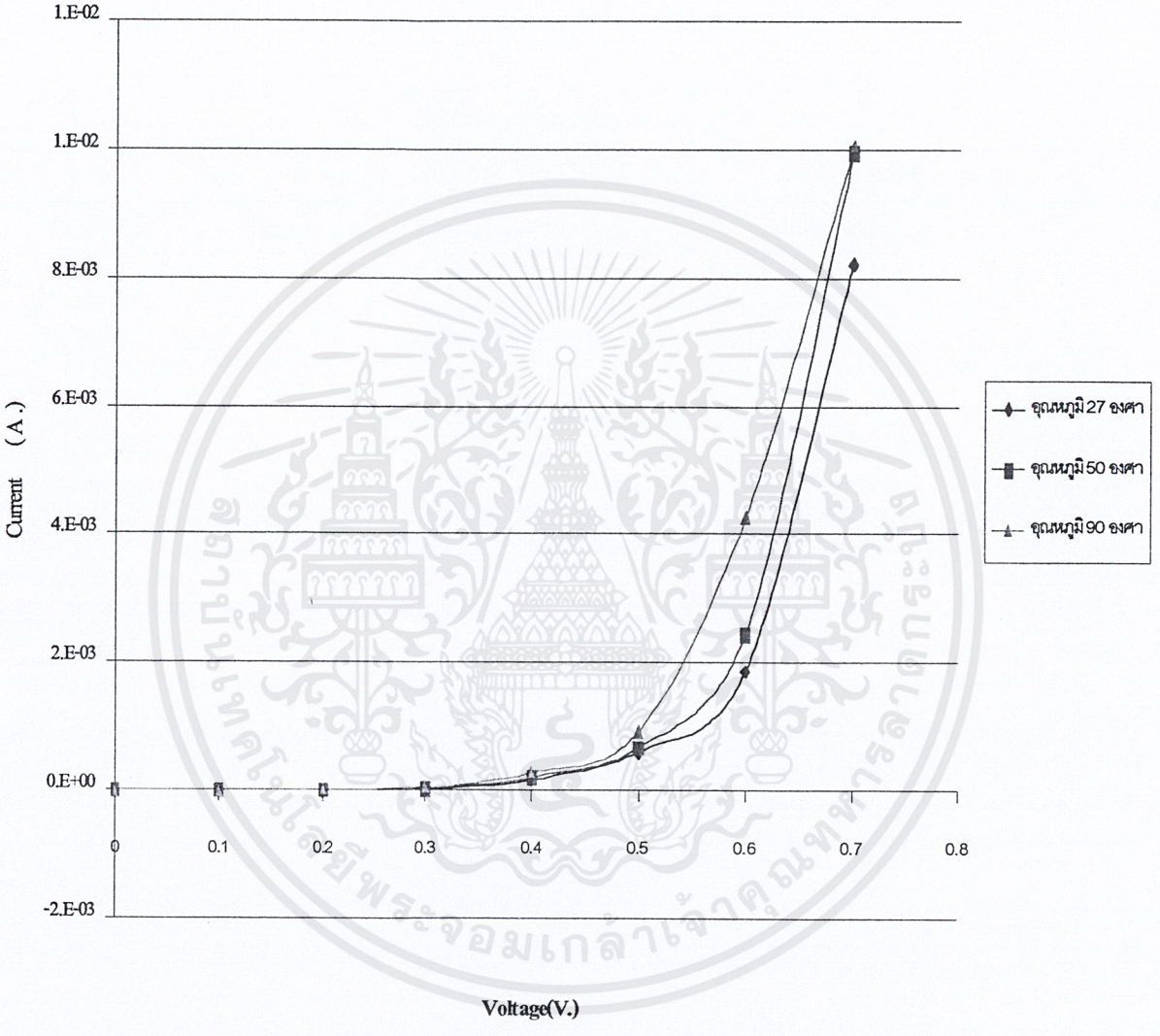
รูปที่1 ผลการวัดไดโอดที่ไม่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



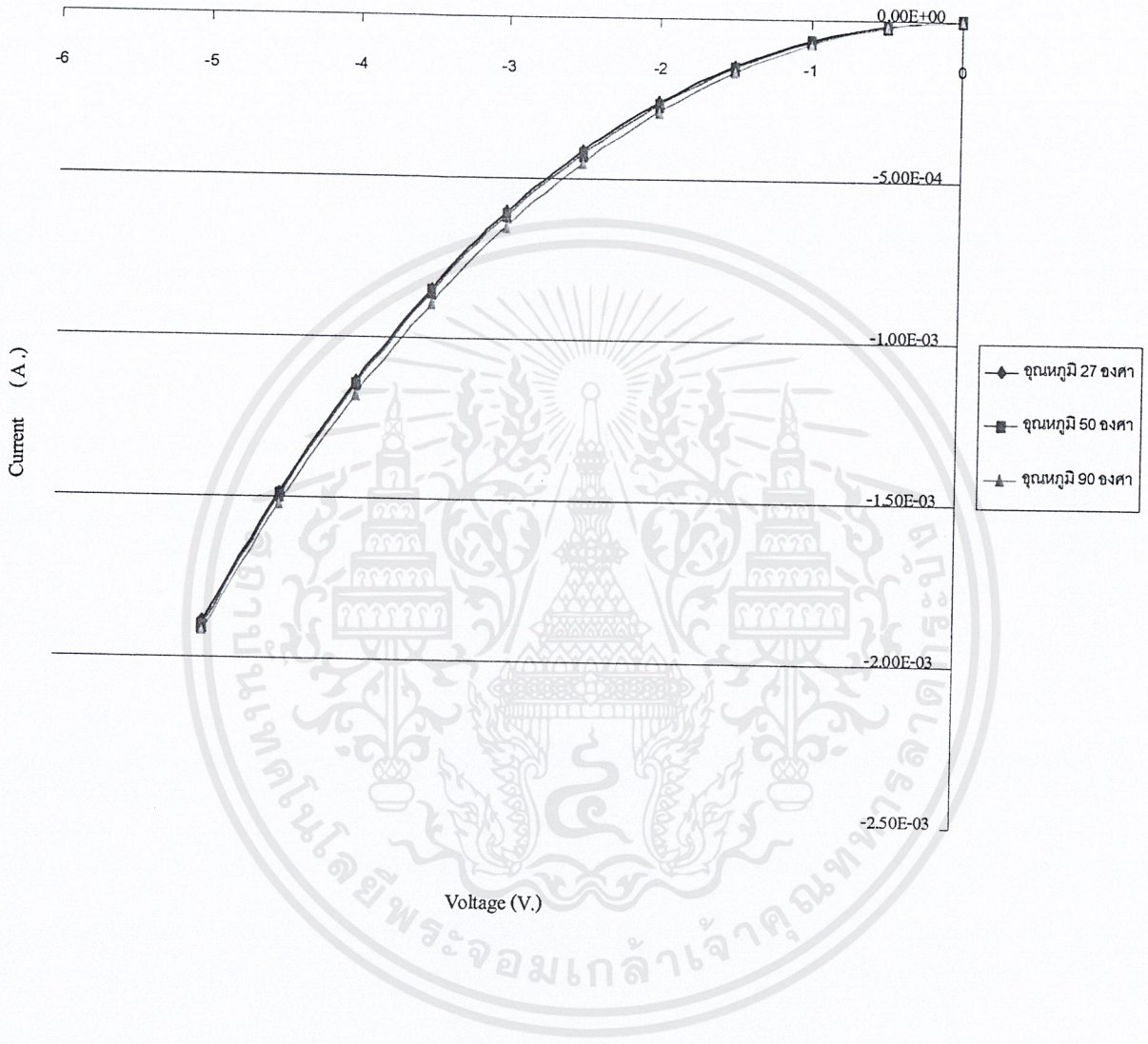
รูปที่2 ผลการวัดไดโอดที่ไม่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



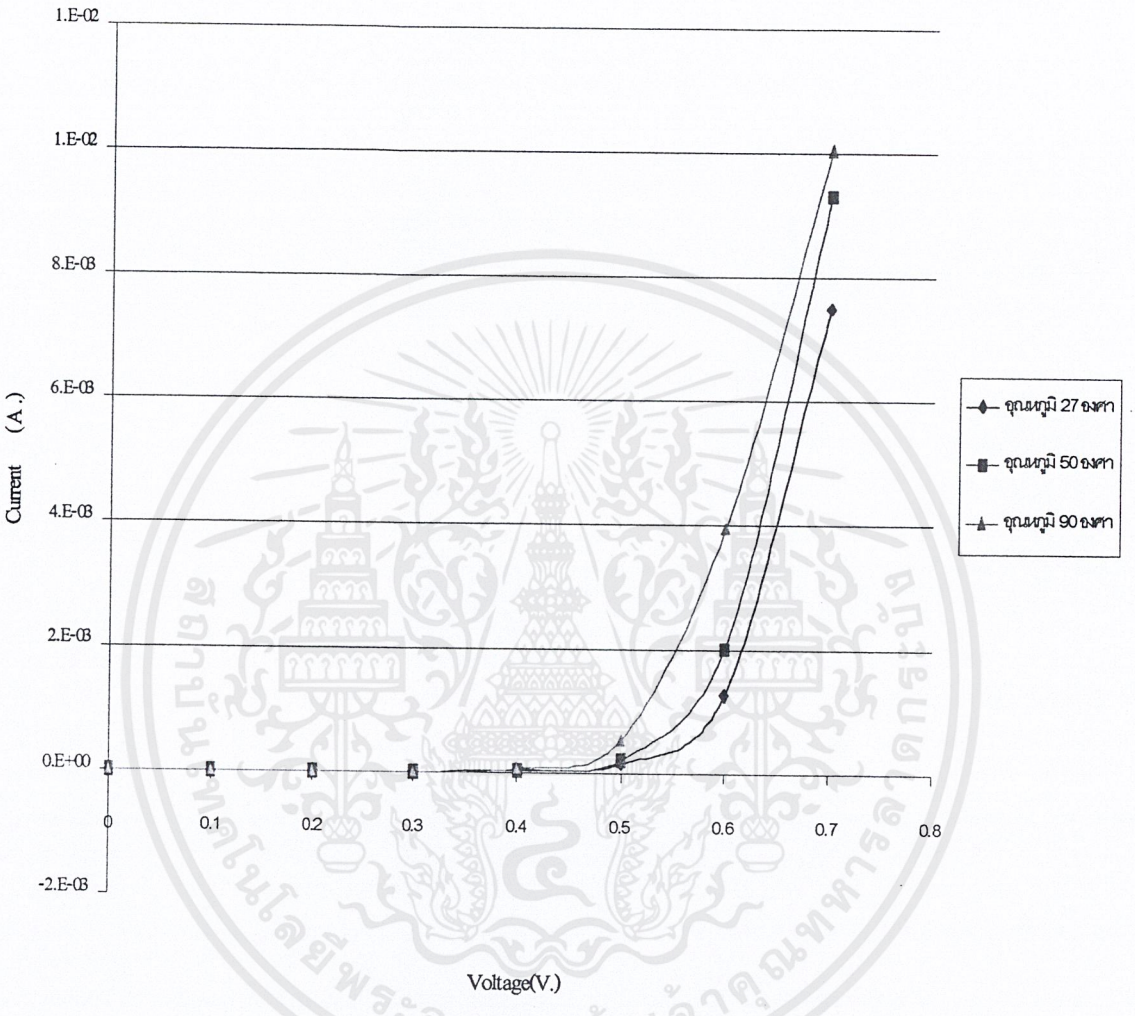
รูปที่3 ผลการวัดไดโอดที่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



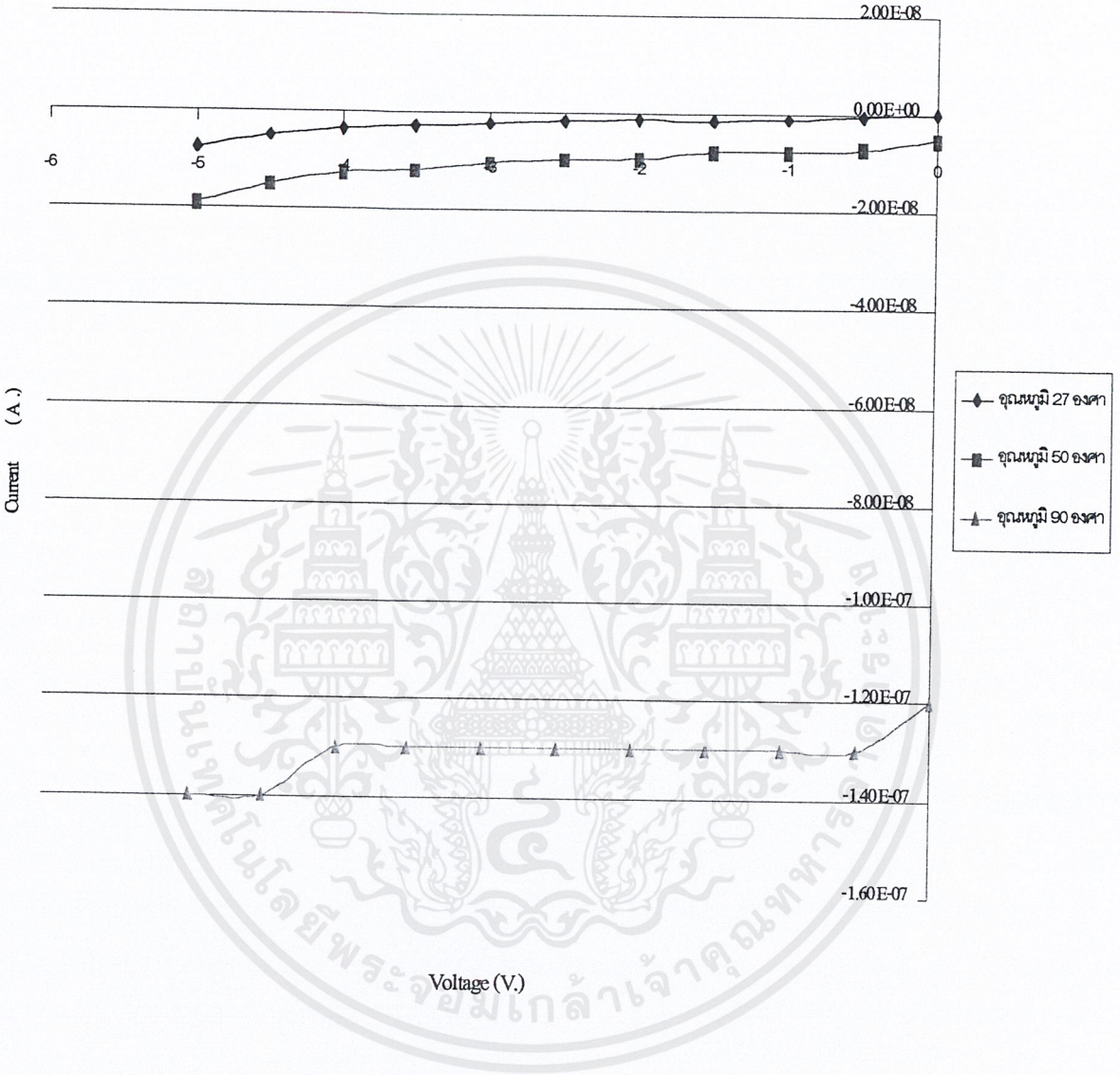
รูปที่4 ผลการวัดไดโอดที่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



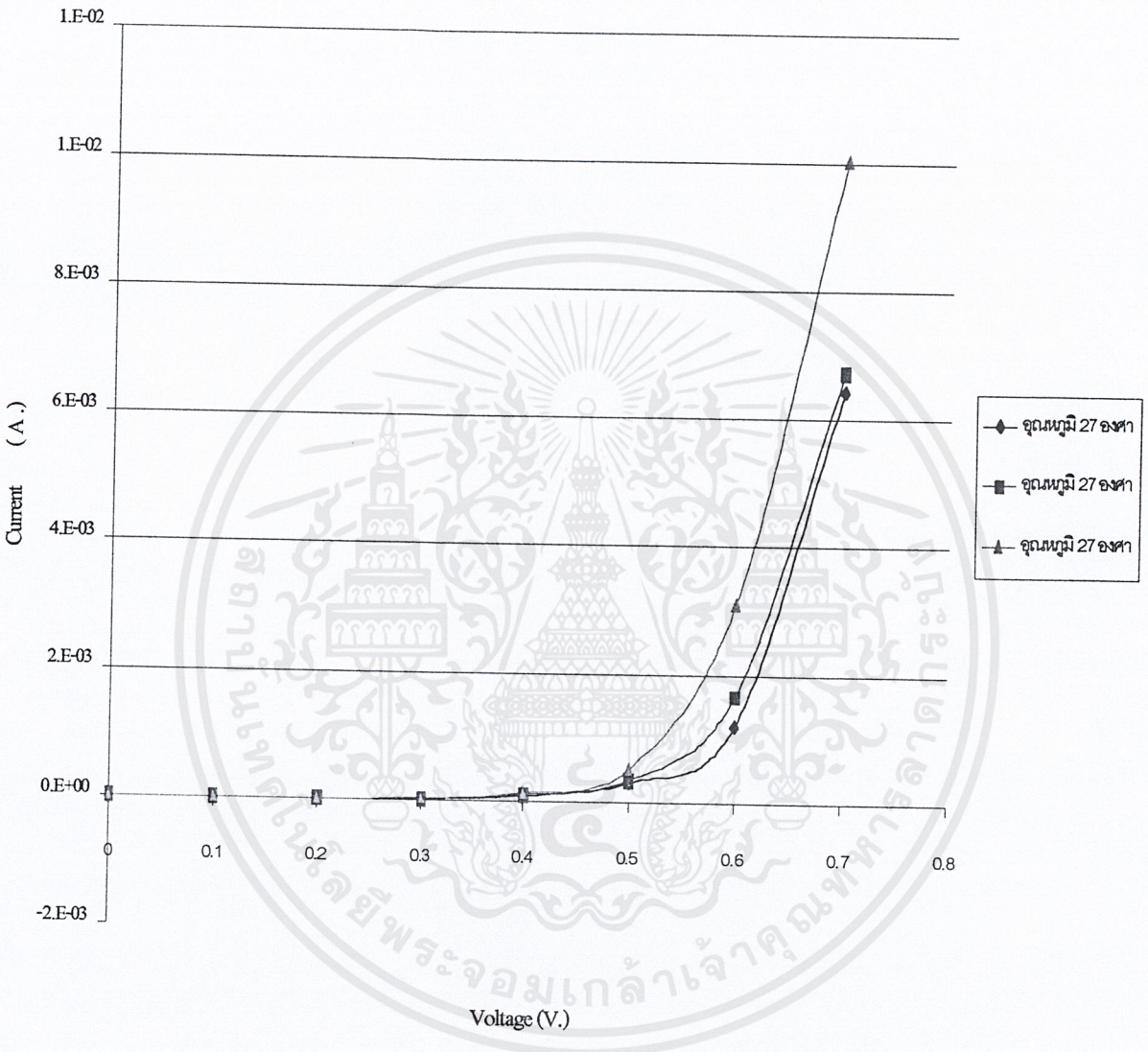
รูปที่5 ผลการวัดไดโอดที่ไม่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



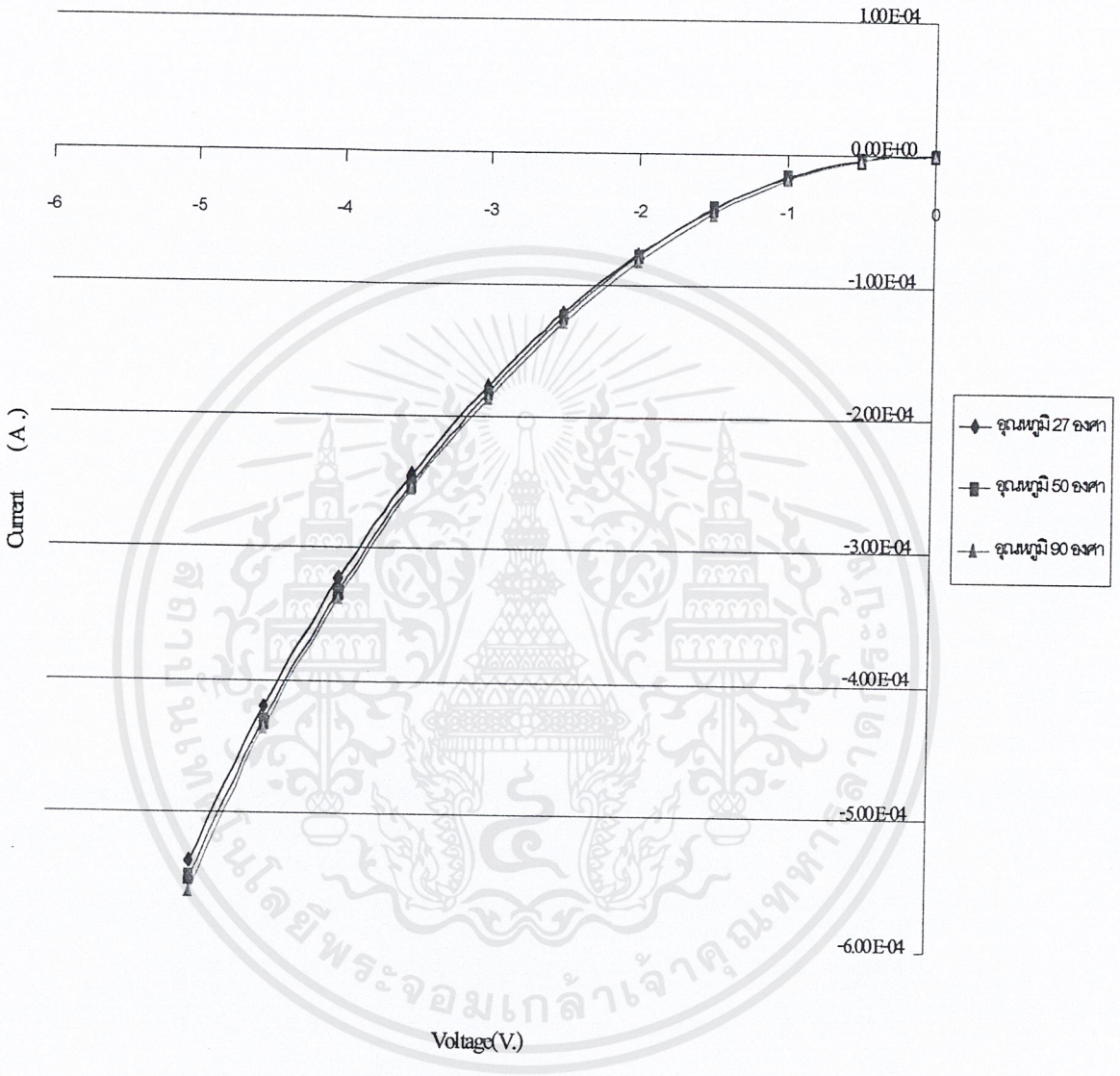
รูปที่6 ผลการวัดไดโอดที่ไม่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



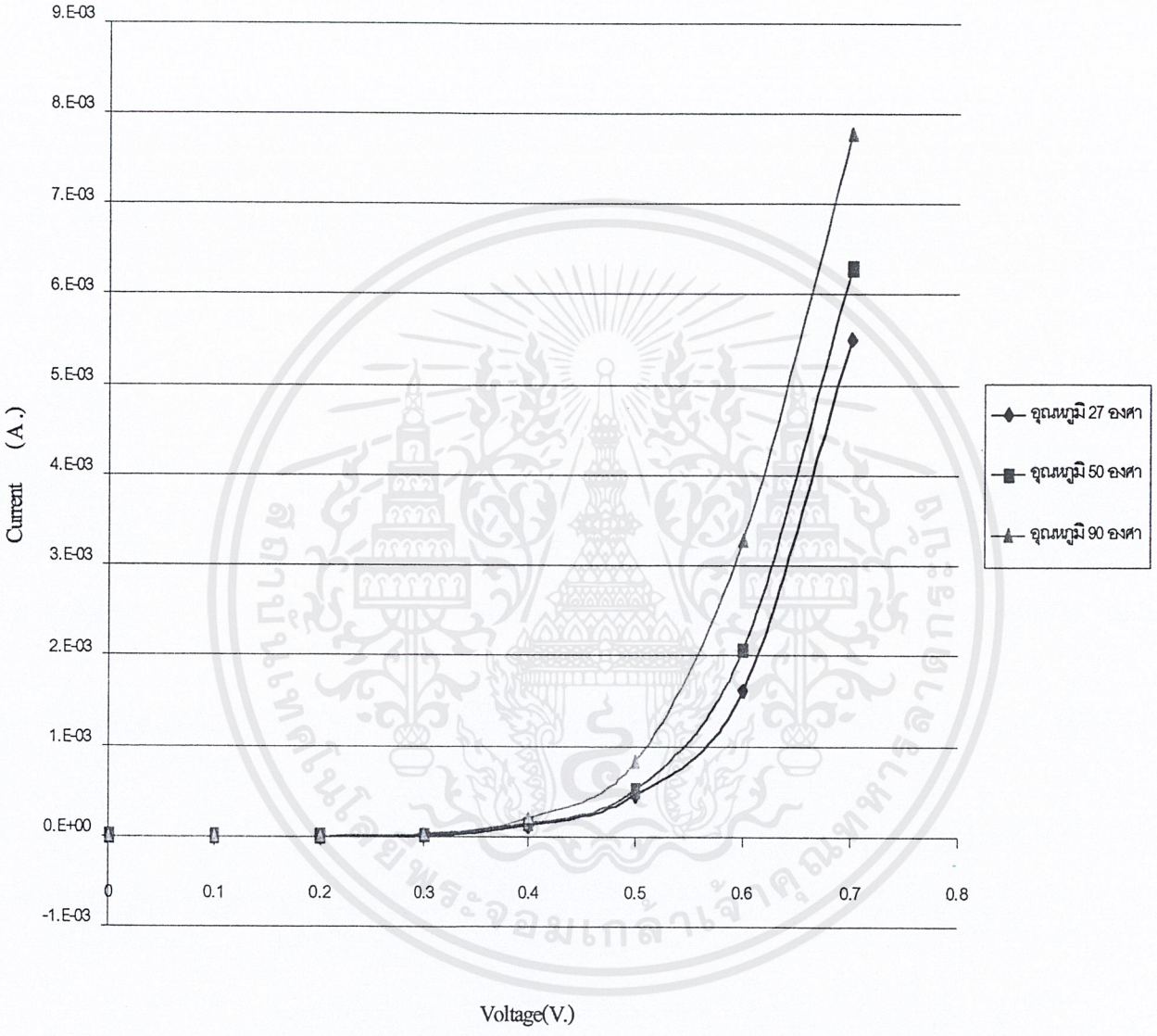
รูปที่7 ผลการวัดไดโอดที่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ (ตัวที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



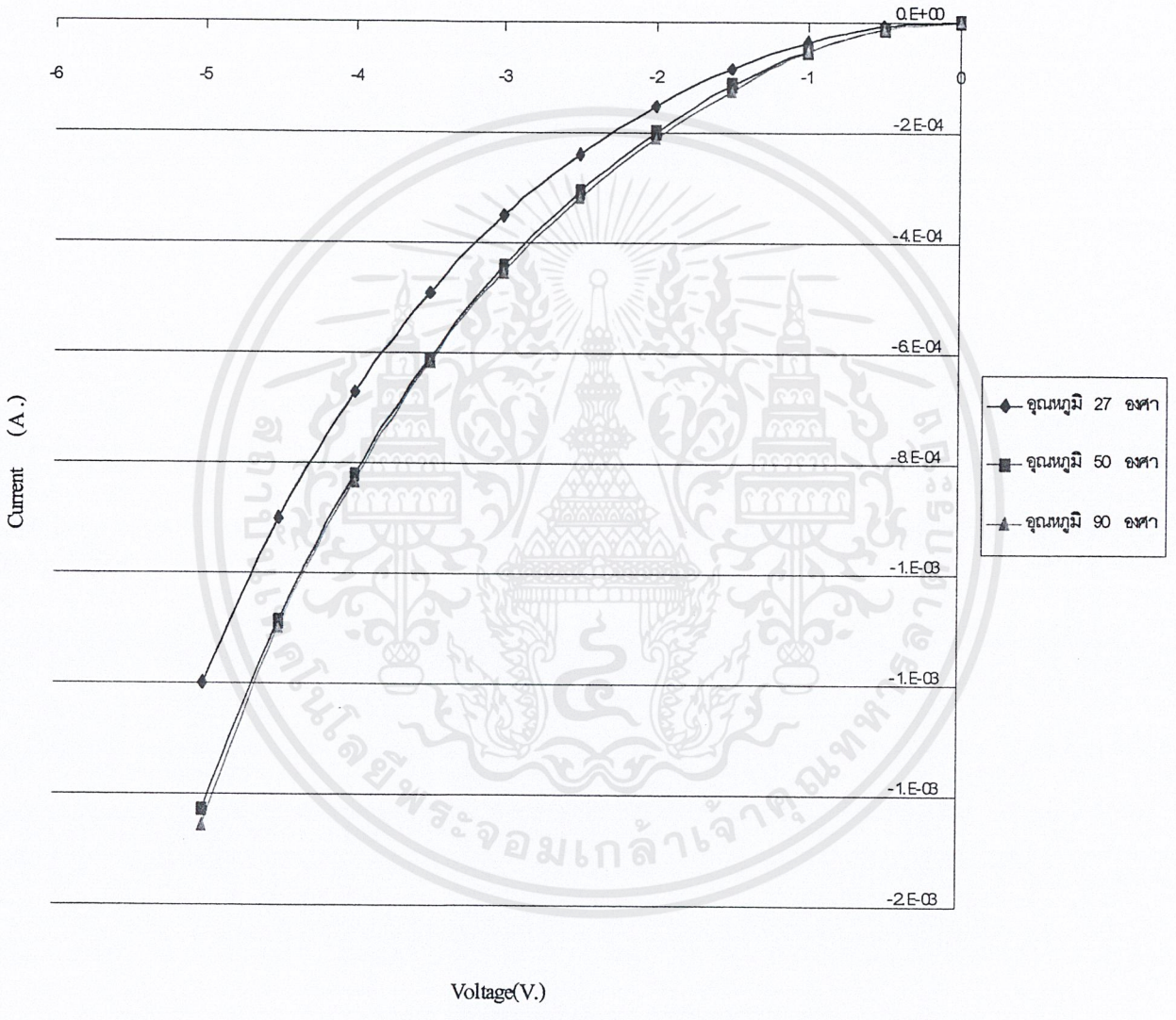
รูปที่8 ผลการวัดไดโอดที่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



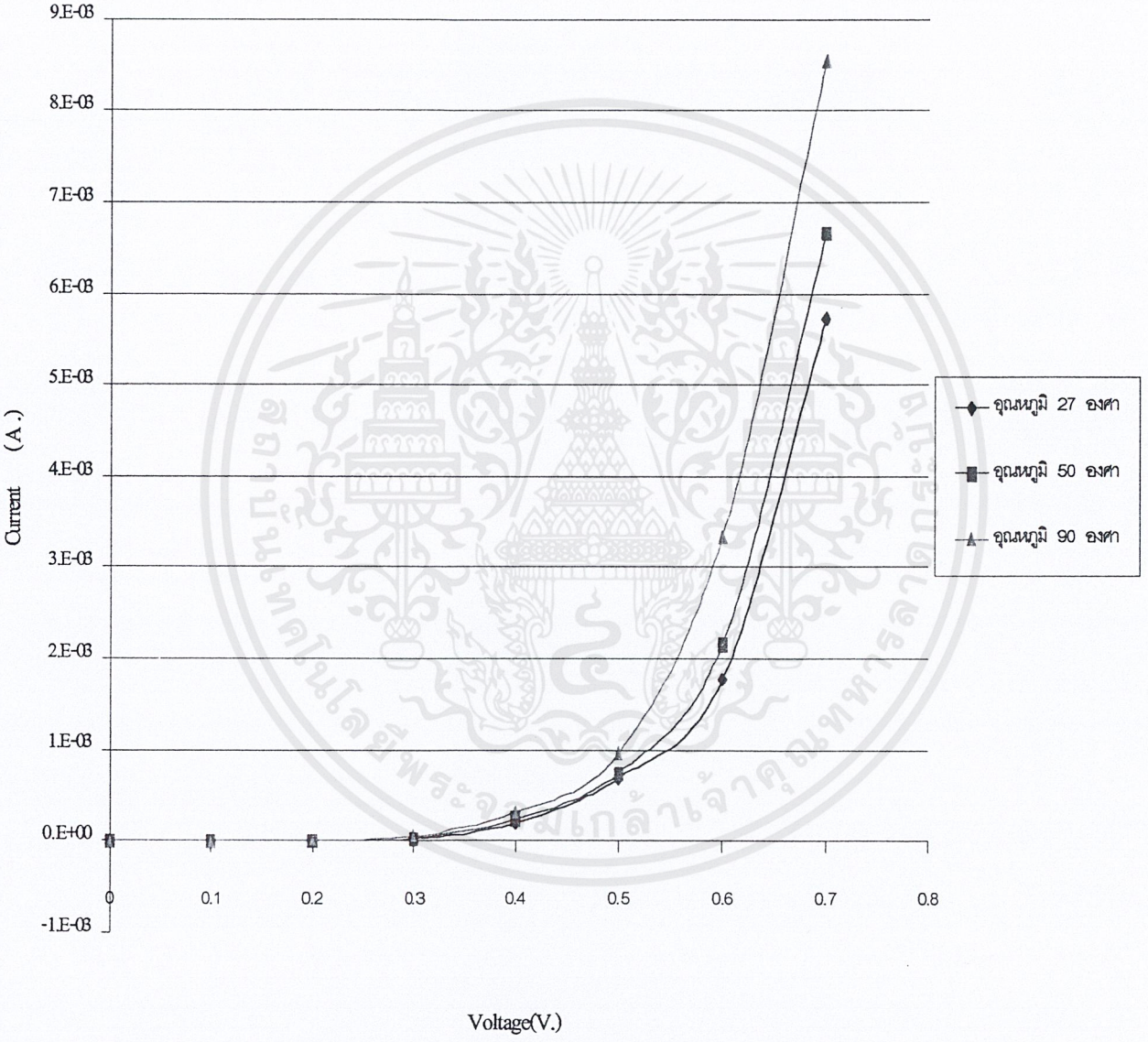
รูปที่9 ผลการวัดไดโอดที่ไม่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



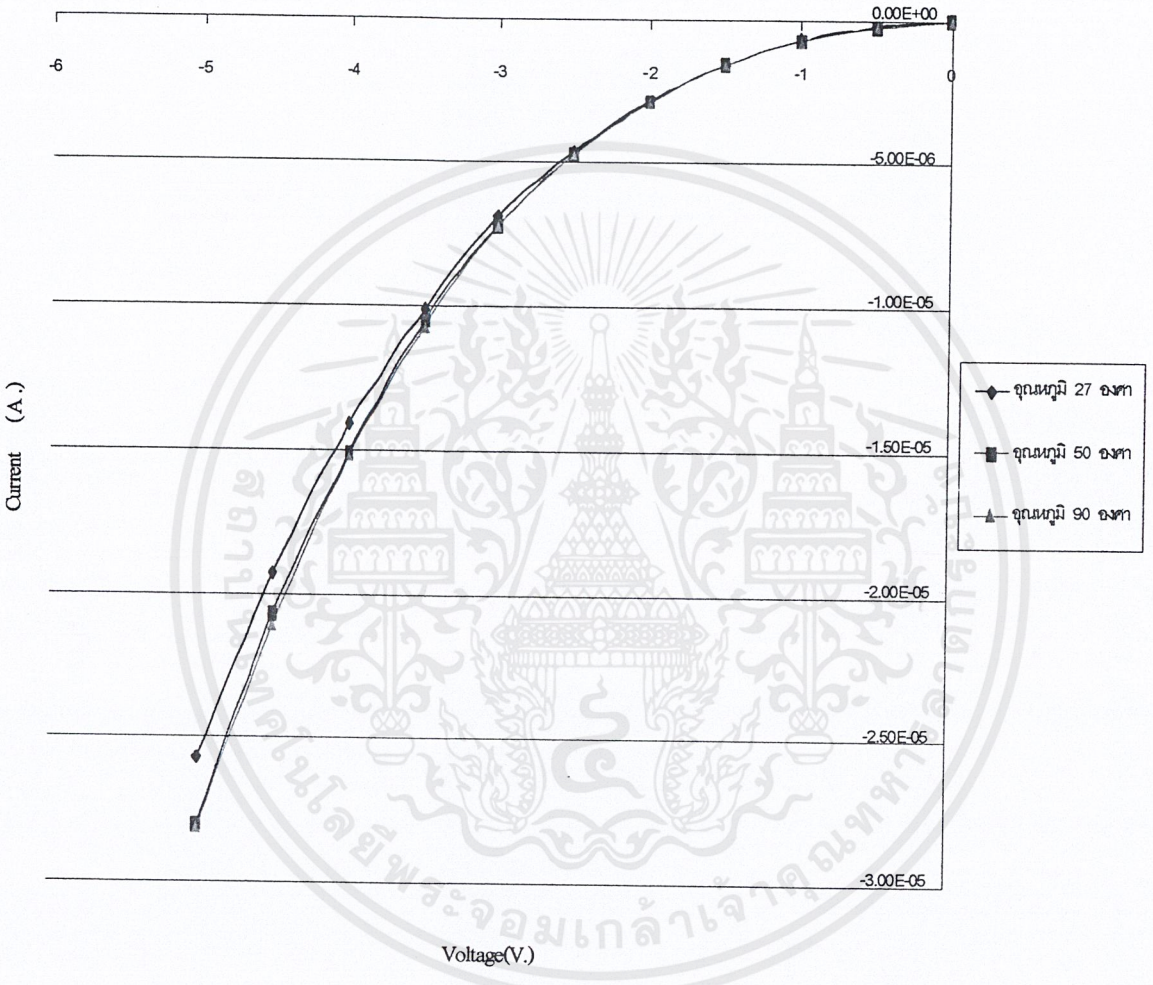
รูปที่10 ผลการวัดไดโอดที่ไม่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่11 ผลการวัดไดโอดที่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่12 ผลการวัดไดโอดที่มีฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ(ตัวที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่1

ตัวที่1	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
0	-8.48E-09	-7.39E-09	-8.53E-09
0.1	1.55E-06	1.71E-06	1.82E-06
0.2	2.98E-06	3.41E-06	3.87E-06
0.3	7.21E-06	9.03E-06	1.39E-05
0.4	4.15E-05	5.00E-05	7.68E-05
0.5	0.000176	0.000222	0.000502
0.6	0.001262	0.00178	0.0035
0.7	0.0071	0.00832	0.01005
V.	A.	A.	A.

ตารางที่ 2 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่1

ตัวที่1	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-0.00266	-0.00275	-0.00285
-4.5	-0.00199	-0.00208	-0.0022
-4	-0.00145	-0.00154	-0.00158
-3.5	-0.00103	-0.0011	-0.00115
-3	-0.00072	-0.00077	-0.00079
-2.5	-0.00048	-0.00052	-0.00053
-2	-0.0003	-0.00033	-0.00034
-1.5	-0.00017	-0.00019	-0.00021
-1	-8.09E-05	-8.86E-05	-8.92E-05
-0.5	-2.51E-05	-2.75E-05	-2.76E-05
0	-1.02E-08	-1.04E-08	-1.06E-08
V.	A.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่1

ตัวที่1	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
0	-1.72E-08	-1.44E-08	-8.87E-08
0.1	1.23E-06	1.38E-06	1.62E-06
0.2	3.27E-06	3.90E-06	5.86E-06
0.3	1.77E-05	2.54E-05	4.91E-05
0.4	0.000172	0.000205	0.000276
0.5	0.000601	0.000663	0.000919
0.6	0.001864	0.00245	0.00428
0.7	0.00821	0.00995	0.01005
V.	A.		

ตารางที่ 4 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่1

ตัวที่1	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-0.00189	-0.0019	-0.00192
-4.5	-0.00149	-0.00149	-0.00152
-4	-0.00114	-0.00115	-0.00118
-3.5	-0.00085	-0.00086	-0.00089
-3	-0.00061	-0.00062	-0.00065
-2.5	-0.00041	-0.00042	-0.00045
-2	-0.00026	-0.00027	-0.00029
-1.5	-0.00014	-0.00015	-0.00017
-1	-6.46E-05	-6.78E-05	-7.50E-05
-0.5	-1.76E-05	-1.86E-05	-2.09E-05
0	-1.87E-08	-1.74E-08	-9.63E-08
V.	A.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่2

ตัวที่ 2	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
0	-8.00E-10	-7.80E-09	-1.20E-07
0.1	6.00E-10	-4.70E-09	-1.10E-07
0.2	4.74E-08	8.98E-08	1.70E-07
0.3	1.68E-06	2.71E-06	6.38E-06
0.4	2.62E-05	3.40E-05	5.87E-05
0.5	0.000139	0.000206	0.000529
0.6	0.001267	0.00202	0.00395
0.7	0.0075	0.00931	0.01005
V.	A.		

ตารางที่ 6 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่ 2

ตัวที่ 2	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-7.50E-09	-1.89E-08	-1.40E-07
-4.5	-5.00E-09	-1.50E-08	-1.40E-07
-4	-3.50E-09	-1.24E-08	-1.30E-07
-3.5	-2.80E-09	-1.18E-08	-1.30E-07
-3	-2.30E-09	-1.03E-08	-1.30E-07
-2.5	-1.60E-09	-9.50E-09	-1.30E-07
-2	-1.30E-09	-9.30E-09	-1.30E-07
-1.5	-1.40E-09	-7.80E-09	-1.30E-07
-1	-1.10E-09	-7.80E-09	-1.30E-07
-0.5	-4.00E-10	-7.20E-09	-1.30E-07
0	1.00E-10	-5.10E-09	-1.20E-07
V.	A.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่2

ตัวที่2	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
0	2.90E-09	-2.20E-09	-4.22E-08
0.1	1.20E-07	7.43E-08	1.18E-07
0.2	4.91E-07	4.83E-07	1.00E-06
0.3	6.06E-06	9.29E-06	1.77E-05
0.4	7.67E-05	9.36E-05	0.000123
0.5	0.000291	0.000337	0.000505
0.6	0.001198	0.001656	0.00311
0.7	0.00644	0.00674	0.01005
V.	A.		

ตารางที่ 8 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่ 2

ตัวที่ 2	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-0.00054	-0.00055	-0.00056
-4.5	-0.00042	-0.00043	-0.00044
-4	-0.00032	-0.00033	-0.00034
-3.5	-0.00024	-0.00025	-0.00025
-3	-0.00018	-0.00018	-0.00019
-2.5	-0.00012	-0.00012	-0.00013
-2	-7.64E-05	-7.72E-05	-8.18E-05
-1.5	-4.18E-05	-4.15E-05	-4.52E-05
-1	-1.74E-05	-1.71E-05	-1.93E-05
-0.5	-3.93E-06	-3.81E-06	-4.56E-06
0	1.70E-09	-2.40E-09	-4.45E-08
V.	A.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่ 3

ตัวที่ 3	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
0	1.30E-09	6.00E-10	-5.00E-10
0.1	6.57E-07	7.96E-07	5.44E-07
0.2	1.71E-06	2.10E-06	2.50E-06
0.3	1.06E-05	1.53E-05	3.13E-05
0.4	0.000119	0.000143	0.000205
0.5	0.000452	0.000518	0.000833
0.6	0.001615	0.00207	0.00329
0.7	0.00551	0.00629	0.00778
V.	A.		

ตารางที่ 10 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ไม่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่ 3

ตัวที่ 3	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-0.0012	-0.00143	-0.00146
-4.5	-0.0009	-0.00109	-0.0011
-4	-0.00067	-0.00082	-0.00083
-3.5	-0.00049	-0.00061	-0.00062
-3	-0.00035	-0.00044	-0.00045
-2.5	-0.00024	-0.00031	-0.00032
-2	-0.00015	-0.0002	-0.00021
-1.5	-8.55E-05	-0.00012	-0.00013
-1	-3.76E-05	-5.38E-05	-5.40E-05
-0.5	-9.26E-06	-1.47E-05	-1.48E-05
0	-1.10E-09	-1.20E-09	-1.51E-08
V.	A.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสตรงจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่ 3

ตัวที่ 3	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
0	-1.03E-08	-1.40E-09	-2.67E-08
0.1	3.44E-08	7.49E-08	1.61E-07
0.2	6.77E-07	1.19E-06	3.10E-06
0.3	1.69E-05	2.65E-05	5.51E-05
0.4	0.000199	0.000238	0.000317
0.5	0.000685	0.000742	0.000956
0.6	0.001768	0.00216	0.00334
0.7	0.00573	0.00666	0.00855
V.	A.		

ตารางที่ 12 ผลการวัดกระแสและแรงดันของไดโอดที่ได้สร้างฟิล์มเพชรขณะได้รับไบอัสย้อนกลับจากผลทางอุณหภูมิ ตัวที่ 3

ตัวที่ 3	ID		
VD	27 °C	50 °C	90 °C
-5	-2.57E-05	-2.80E-05	-2.81E-05
-4.5	-1.93E-05	-2.07E-05	-2.11E-05
-4	-1.41E-05	-1.51E-05	-1.52E-05
-3.5	-1.01E-05	-1.05E-05	-1.07E-05
-3	-6.86E-06	-7.21E-06	-7.22E-06
-2.5	-4.62E-06	-4.71E-06	-4.73E-06
-2	-2.85E-06	-2.84E-06	-2.88E-06
-1.5	-1.56E-06	-1.57E-06	-1.58E-06
-1	-6.98E-07	-7.19E-07	-7.20E-07
-0.5	-2.12E-07	-2.50E-07	-2.51E-07
0	-1.20E-09	-1.40E-09	-2.76E-08
V.	A.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

จากการศึกษาทดลองในโครงงานครั้งนี้โดยรายงานฉบับนี้ต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เติมพงษ์ เพ็ชรกูล ที่ได้ช่วยในการศึกษาทดลองทั้งทางด้านทฤษฎีจนกระทั่งปฏิบัติงานตลอดโครงงานและขอขอบคุณ รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล ที่อำนวยความสะดวกในการให้ใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อการสร้างฟิล์มเพชร และคุณ เอกราช รัตนอุดมพิสุทธ์ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยในการสร้างฟิล์มเพชร และ คุณโสภณ พรหมชัย ที่มีส่วนช่วยในการสร้างไดโอดให้ประสบความสำเร็จ และทั้งนี้ก็ต้องขอขอบคุณทุกๆท่านภายในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการปฏิบัติโครงงานในครั้งนี้ ทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติรวมถึงการให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ อีกทั้งแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการปฏิบัติงานด้วย จึงขอกล่าวคำขอบคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

.....

(นายซายูตี สะมะแอ)

.....

(นายสุริยา สามแก้ว)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ผศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล , " ฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
2. ผศ.ดร. เติมพงษ์ เพ็ชรกูล , " อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
3. รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช , "สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ 2540
4. เอกราช รัตนอุดมพิสุทธ์ , รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช , รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกูล " การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรบน Si ด้วยวิธี CVD แบบลวดความร้อน โดยใช้ C_2H_5OH "การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 20 Vol.3 หน้า 495-500
   คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
5. อาณัติ พงษ์สุทธิรักษ์, "เคล็ดลับในการระบายความร้อนให้ดีที่สุดแก่อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ" "เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์" 2532 ฉบับที่ 90-93 (ม.ค. – ก.ค.)
6. Abraham Pallas ,"Electronic Device and Circuit Analysis",Delma Publishing Inc.,1986
7. Jayant B.Baliga , "power semiconductor devices",PWS Publishing Company, 1996
8. Anders Soderbarg , Bengt Edholm , Jorgen Olsson , Stefan Tiensuu and Erik Johansson*, "Silicon on diamond heat sinks by bonding and etch back" This Paper Appears in: SOI Conference, 1993. Proceeding., 1993 IEEE international on Pages: 58-59
   This Conference was Held: 5-7 Oct. 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้