

แมกนีโตทรานซิสเตอร์

MAGNETOTRANSISTORS



โดย
นายนิสิต นະชาตรี
นายอนุวัฒน์ สุวรรณผล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

พ.ศ.
๒๕๔๕
๒๕๔๕

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50315

วัน,เดือน,ปี 29 เม.ย. 2547

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

ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยให้ะไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒๕๔๕

แมกนีโตทรานซิสเตอร์
MAGNETOTRANSISTORS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีโตทรานซิสเตอร์

Magnetotransistors

นายนิสิต นະชาตรี 43515917

นายอนุวัฒน์ สุวรรณผล 43515946

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แมกนีโตทรานซิสเตอร์

Magnetotransistors

ผู้จัดทำ

นายนิสิต นະชาตรี 43515917

นายอนุวัฒน์ สุวรรณผล 43515946



(ผศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีโตทรานซิสเตอร์

นายนิสิต นະชาติรี

นายอนุวัฒน์ สุวรรณผล

ผศ.ดร.เต็มพงษ์ เพชรภูถ

(อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ศึกษาการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์เป็นโครงสร้างไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ซึ่งเป็นคู่คอลเลคเตอร์ เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก จากปรากฏการณ์ฮอลล์สนามแม่เหล็กทำให้กระแสคอลเลคเตอร์ทั้งสองไหลไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถจับสัญญาณทางด้านเข้าพุทได้จากความแตกต่างระหว่างโวลต์ที่ต่อกับขาของคอลเลคเตอร์ทั้งสอง (ΔV_c) ซึ่ง ΔV_c จะเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กที่รับเข้ามา ในทางอุดมคติแล้วเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก $\Delta V_c = 0$

จากนั้นทำการออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือระยะห่างระหว่างขาคอลเลคเตอร์และระยะห่างระหว่างขาอิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์โดยเริ่มจากการออกแบบมาส์คถ่ายมาส์คและสร้างเป็นตัวแมกนีโตทรานซิสเตอร์จากนั้นทำการทดลองและวิเคราะห์การทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Magnetotransistors

Mr.Nisit Nachatree

Mr.Anuwat Suwanphon

Asist.Pro.Dr.Toempong Petchkul

(Advisor)

2002

Abtract

In the project study operation of magnetotransistor .Which dual-collector bipolars transistor structures have been evaluated and found to sensitive to an applied perpendicular magnetic field Form hall effect , magnetic field results in unequal currents to dual-collectors. The output signal is taken as differential voltage between load resistor connect to dual-collectoros(ΔV_c).Which ΔV_c to change follow magnetic field. In idea when no magnetic field ΔV_c to be equal to zero.

Then , the magnetototransistors was designed as consider between length dual collector and between length dual collector to emitter. After that design mask and fabricate magnetotransistors. Finally , test magnetotransistors and analyze experimental results.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่1 บทนำ	1-3
1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท	3
1.2 ขอบเขตของปริญญาโท	3
บทที่2 ทฤษฎีแมกนีโตทรานซิสเตอร์	4-33
2.1 การไหลของกระแสในสารกึ่งตัวนำ	4
2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็น	7
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์	14
2.4 หลักการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็ก	20
2.5 แมกนีโตทรานซิสเตอร์	28
บทที่3 ทฤษฎีการสร้างสารกึ่งตัวนำ	34-39
3.1 กระบวนการออกซิเดชัน	34
3.2 กระบวนการได้บสารเจือด้วยกระบวนการแพร่	36
3.3 การบวนการโฟโวลีโทกราฟี	37
3.4 ฟิสิกส์โพซิชั่น	39
3.5 กระบวนการอิวาไปเลชั่น	39
บทที่4 การออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์	40-46
4.1 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์	40
4.2 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์	41
4.3 การออกแบบมาส์ค	44
บทที่5 กระบวนการสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์	47-60
บทที่6 การวัดคุณสมบัติของแมกนีโตทรานซิสเตอร์	61-83
6.1 การวัดคุณสมบัติรอยต่อพีเอ็นของแมกนีโตทรานซิสเตอร์	61
6.2 วัดคุณสมบัติรอยต่อไบโพลาร์	66
6.3 การไบอัสและวิธีทดสอบ	71
6.4 ผลตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก	73
แบบที่7 สรุปผลสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	84-85

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาพนก ก ตารางผลการทดลอง	86-127
ภาพนก ข คุณสมบัติรอยต่อที่วัดจากเครื่องเทอร์เซอร์	128-134
ภาพนก ค เครื่องมือที่ใช้สร้างและทดสอบแมกนีโตทรานซิสเตอร์	135-141
กิตติกรรมประกาศ	142
บรรณานุกรม	143



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 a) แสดงโครงสร้างตัดขวางของแมกนีโตทรานซิสเตอร์	2
b) แสดงโครงสร้างด้านบนของแมกนีโตทรานซิสเตอร์	
รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดกระแสครีพท์ ของกระแสอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำ	4
รูปที่ 2.2 แสดงการแพร่และกระแสแพร่ของอิเล็กตรอนและ โฮลในสารกึ่งตัวนำที่กระจายพาหะอย่างสม่ำเสมอ	5
รูปที่ 2.3 แสดงรอยต่อในสถานะสมดุล (Equilibrium $V_A = 0$)	7
รูปที่ 2.4 แสดงรอยต่อพีเอ็นขณะ ได้รับ ไป้อตรง ($V_A > 0$)	8
รูปที่ 2.5 แสดงรอยต่อพีเอ็นขณะ ไป้อกลับ ($V_A < 0$)	8
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสรอยต่อพี-เอ็น	9
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดและรวมตัวของพาหะ โดยระดับพลังงาน Deep level ขณะ ไป้อตรง	11
รูปที่ 2.8 การเกิดการรวมตัวของพาหะ โดยระดับพลังงาน Deep level ขณะ ไป้อกลับ	11
รูปที่ 2.9 กราฟคุณสมบัติของไดโอดแสดงให้เห็นการพังทลาย	12
รูปที่ 2.10 ไดอะแกรมอย่างง่ายและสัญลักษณ์ของวงจรรไฟฟ้า	14
(ก) ทรานซิสเตอร์ไบ โพล่าชนิด npn	
(ข) ทรานซิสเตอร์ไบ โพลาร์ pnp	
รูปที่ 2.11 การโค้งในทางอุดมคติของทรานซิสเตอร์ไบ โพลาร์ npn ที่ถูกโค้งอย่างสม่ำเสมอ	15
รูปที่ 2.12 การกระจายในพาหะส่วนน้อยในทรานซิสเตอร์ไบ โพลาร์ npn ที่ทำงานในโหมด ไป้อตรง	15
รูปที่ 2.13 ภาพตัดขวางของทรานซิสเตอร์ไบ โพลาร์ npn แสดงการการฉีดการสะสมของอิเล็กตรอนในแบบการทำงานแบบ ฟอ์เวิร์คแอกทิฟ	16
รูปที่ 2.14 ทรานซิสเตอร์ไบ โพลาร์ npn ในรูปแบบของวงจรมิตเตอร์ร่วม	17
รูปที่ 2.15 โครงสร้างและทิศทางการไหลของกระแสทรานซิสเตอร์ npn	19
รูปที่ 2.16 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำหน้าทีจากรูปโฮลพาหะส่วนมาก	21
รูปที่ 2.17 แสดงแรงดันฮอลล์ ระหว่างขั้ว 1 กับ 2 และทิศทางการไหลของกระแส	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่2.18 แสดงแมกนีโตทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ	28
รูปที่2.19 เป็นแมกนีโตทรานซิสเตอร์ในแนวตั้ง	29
รูปที่2.20 แมกนีโตทรานซิสเตอร์กระแสไหลตามขวางที่ใช้หลักการหักเหของประจุพาหะ	30
รูปที่2.21 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในโรงงาน	32
รูปที่2.22 การไบอัสให้กับแมกนีโตทรานซิสเตอร์	33
รูปที่3.1 แสดงการเกิดออกไซด์ เปรียบเทียบกันระหว่างไอน้ำและออกซิเจนที่อุณหภูมิต่างๆ	34
รูปที่3.2 แสดงอัตราการเกิดออกไซด์ของการทำออกซิเดชันแบบขึ้นและแบบแห้งบนแผ่นซิลิกอนระนาบ 100	35
รูปที่3.3 แสดงเตาที่ใช้ในกระบวนการทำออกซิเดชัน	36
รูปที่3.4 แสดงการแพร่โดยใส่แผ่นซิลิกอนเข้าในเตาแพร่สารเจือ	37
รูปที่3.5 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography)	38
รูปที่3.6 แสดงหลอดสูญญากาศที่ใช้ในกระบวนการเคลือบโลหะในสูญญากาศ(Evapolation)	39
รูปที่4.1 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ออกแบบสร้าง	40
รูปที่4.2 แสดงภาพแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีความกว้าง W และมีความยาว L	41
รูปที่4.3 พารามิเตอร์ระยะ $W=20 \mu m$ และ ระยะ $L=20 \mu m$	42
รูปที่4.4 พารามิเตอร์ระยะ $W=10 \mu m$ และ ระยะ $L=20 \mu m$	42
รูปที่4.5 พารามิเตอร์ระยะ $W=20 \mu m$ และ ระยะ $L=10 \mu m$	43
รูปที่4.6 พารามิเตอร์ระยะ $W=10 \mu m$ และ ระยะ $L=10 \mu m$	43
รูปที่4.7 มาส์คที่1 มาส์คเบส	44
รูปที่4.8 มาส์คที่2มาส์คคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์	45
รูปที่4.9 มาส์ควินโดว์	45
รูปที่4.10 มาส์ค อลูมิเนียม	46
รูปที่5.1 แผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่5.2	แผ่นซีลิกอนชนิดพีหลังผ่านการออกซิเดชัน	48
รูปที่5.3	แผ่นซีลิกอนขณะถ่ายมาส์คที่ 1	49
รูปที่5.4	แผ่นซีลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว	50
รูปที่5.5	การแพร่สารเจือ โบรอนชนิดเหลว	51
รูปที่5.6	แผ่นซีลิกอนหลังการ ไดรว์อินแล้ว	52
รูปที่5.7	แผ่นซีลิกอนขณะถ่ายมาส์คที่ 2	53
รูปที่5.8	แผ่นซีลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว	54
รูปที่5.9	การแพร่สารเจือฟอสฟอรัสชนิดเหลว	55
รูปที่5.10	แผ่นซีลิกอนหลังการ ไดรว์อินแล้ว	56
รูปที่5.11	แผ่นซีลิกอนขณะถ่ายมาส์คที่ 3	57
รูปที่5.12	แผ่นซีลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว	58
รูปที่5.13	หลังจากเคลือบอบลูมิเนียมแล้ว	58
รูปที่5.14	แผ่นซีลิกอนขณะถ่ายมาส์คที่ 4	59
รูปที่5.15	แผ่นซีลิกอนหลังการซินเตอร์แล้ว	60
รูปที่6.2	แสดงผลการวัดรอยต่อB1-B2	62
รูปที่6.3	แสดงผลการวัดรอยต่อB1-C1	62
รูปที่6.4	แสดงผลการวัดรอยต่อB1-C2	63
รูปที่6.5	แสดงผลการวัดรอยต่อB1-E	63
รูปที่6.6	แสดงผลการวัดรอยต่อB2-C1	64
รูปที่6.7	แสดงผลการวัดรอยต่อB2-C2	64
รูปที่ 6.8	แสดงผลการวัดรอยต่อB2-E	65
รูปที่6.9	แสดงผลการวัดรอยต่อC1-C2	65
รูปที่6.10	แสดงผลการวัดรอยต่อC1-E	66
รูปที่6.11	แสดงผลการวัดรอยต่อC2-E	66
รูปที่6.12	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C1-E	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่6.13	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C2-E	67
รูปที่6.14	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B2-C1-E	68
รูปที่6.15	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B2-C1-E	68
รูปที่6.16	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C1-E	69
รูปที่6.17	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C2-E	69
รูปที่6.18	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B2-C1-E	70
รูปที่6.19	แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B2-C2-E	70
รูปที่6.20	แสดงวงจรไบอัสแมกนีโตทรานซิสเตอร์	71
รูปที่6.21	วงจรสมมูลและสัญลักษณ์ของวงจรจ่ายกระแสคงที่	72
รูปที่6.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$	73
รูปที่6.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=200 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$	74
รูปที่6.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=300 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$	74
รูปที่6.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=20 \mu m$	75
รูปที่6.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=200 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=20 \mu m$	75
รูปที่6.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=300 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=20 \mu m$	76
รูปที่6.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$	77
รูปที่6.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=200 \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$	78
รูปที่6.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=300 \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=300 \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่6.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $IE=100 \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ ระยะ $L=20 \mu m$	79
รูปที่6.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $IE=200 \mu A$ ที่ระยะห่าง $W=20 \mu m$ ระยะ $L=20 \mu m$	79
รูปที่6.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $IE=300 \mu A$ ที่ระยะห่าง $W=20 \mu m$ $L=20 \mu m$	80
รูปที่6.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดันกับ ΔV ความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์ต่างกันขณะจ่ายกระแส $IE = 100 \mu A$ $VB2= 5V$	81
รูปที่6.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์ต่างกันขณะจ่ายกระแส $IE= 100 \mu A$ $VB2= 7.5V$	82
รูปที่6.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่น สนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์ต่างกันขณะจ่ายกระแส $IE =100 \mu A$ $VB2 = 10V$	83
รูปภาคผนวก ข. คุณสมบัติรอยต่อที่วัดจากจากเครื่องเทอร์เซอร์	128
รูปภาคผนวก ค. แสดงรูปเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและทดสอบแมกนีโตทรานซิสเตอร์	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ผลการทดลองที่ 1	86
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=5.55\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 2	87
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=38.9\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 3	87
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=70\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 4	88
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=2.37\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 5	88
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=42.435\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 6	89
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=90\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 7	89
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.21\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 8	90
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=150\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 9	90
เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$	
เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=48.72\text{mv}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ปฏิบัติงานเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ผลการทดลองที่ 10	91
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=9.877\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 11	91
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=7.2\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 12	92
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.420\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 13	92
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.120\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 14	93
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=30\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 15	93
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=0.72\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 16	94
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=4.702\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 17	94
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=10.501\text{mv}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ผลการทดลองที่ 18	95
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\ \text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=8.12\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 19	95
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\ \text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=0.6\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 20	96
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.186\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 21	96
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=4.530\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 22	97
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=10.237\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 23	97
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=11.222\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 24	98
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=1.914\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 25	98
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=2.925\text{mv}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยทางวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ผลการทดลองที่ 26	99
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=1.2.827\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 27	99
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=10\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 28	100
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=11.4342\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 29	100
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=9.043\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 30	101
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=2.844\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 31	101
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=5.025\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 32	102
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=11.531\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 33	102
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=12.625\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 34	103
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=8.204\text{mv}$	

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ผลการทดลองที่ 35	103
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu A$ และให้ $V_{B2}=0V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 358.1mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 36	104
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu A$ และให้ $V_{B2}=2.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 146mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 37	104
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu A$ และให้ $V_{B2}=5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -41.3mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 38	105
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu A$ และให้ $V_{B2}=7.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.02mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 39	105
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu A$ และให้ $V_{B2}=10V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -8.09mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 40	106
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=0V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 67mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 41	106
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=2.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 2.778mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 42	107
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.082mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 43	107
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=7.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.082mv$	

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ผลการทดลองที่ 44	108
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -2.245\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 45	108
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -24.01\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 46	109
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.801\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 47	109
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -14.261\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 48	110
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -6.531\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 49	110
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.721\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 50	111
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 15.905\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 51	111
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.998\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 52	112
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -20.032\text{mv}$	

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ผลการทดลองที่ 53	112
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -4.468\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 54	113
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.849\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 55	113
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 12.0\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 56	114
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.645\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 57	114
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -18.764\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 58	115
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -18.764\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 59	115
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.072\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 60	116
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -58.42\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 61	116
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 22.8\text{mv}$	

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ผลการทดลองที่ 62	117
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu A$ และให้ $V_{B2}=7.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 758mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 63	117
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu A$ และให้ $V_{B2}=10V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 840mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 64	118
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=0V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -4.532mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 65	118
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=2.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 86.552mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 66	119
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 52.967mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 67	119
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu A$ และให้ $V_{B2}=7.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -3.46mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 68	120
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu A$ และให้ $V_{B2}=0V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -25.122mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 69	120
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu A$ และให้ $V_{B2}=2.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -22.751mv$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 70	121
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=30 \mu A$ และให้ $V_{B2}=5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -0.366mv$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ป้อนค่าตัวเลขไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ผลการทดลองที่ 71	121
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0\text{ mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 72	122
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -0.57$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 73	122
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -0.568\text{ mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 74	123
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -52.41\text{ mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 75	123
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 9.150\text{ mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 76	124
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 3.461\text{ mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 77	124
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=7.5$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 3.461\text{ mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 78	125
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 9.572\text{ mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 79	125
เมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{ m}$ $W=20 \mu\text{ m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500 \mu\text{ A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -57.505\text{ mv}$	

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ผลการทดลองที่ 80	126
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=20 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -6.979\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 81	126
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=20 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -6.45\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 82	127
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=20 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -0.417\text{mv}$	
ตารางที่ผลการทดลองที่ 83	127
แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=20 \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=500 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 6.990\text{mv}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

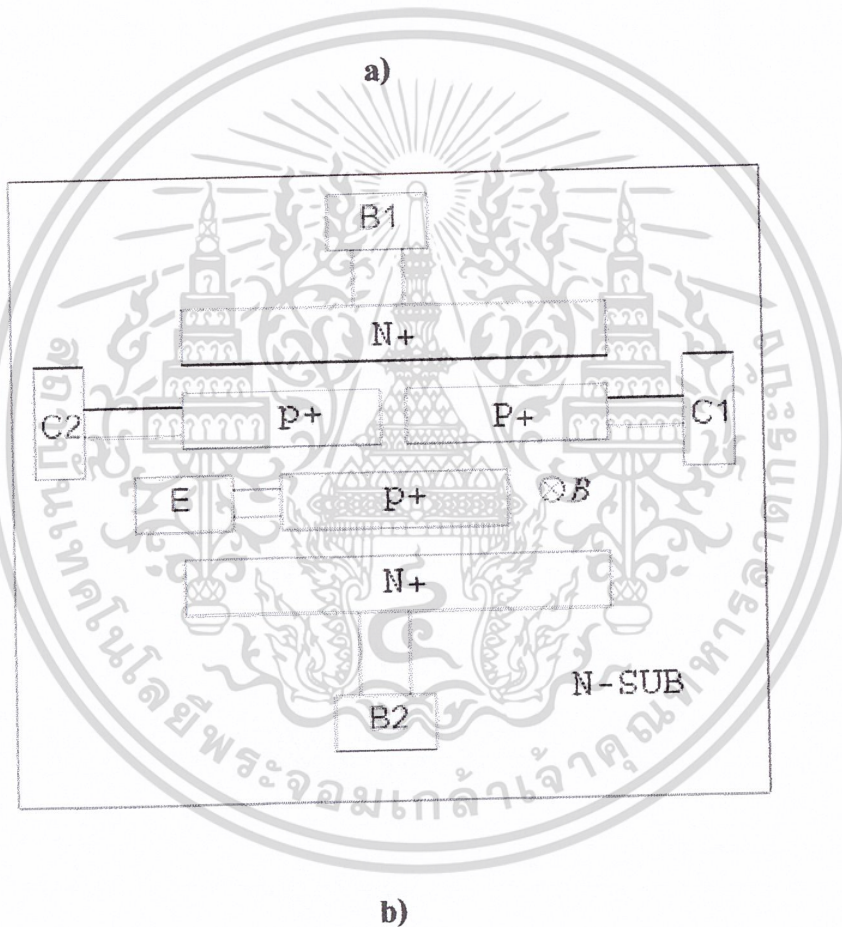
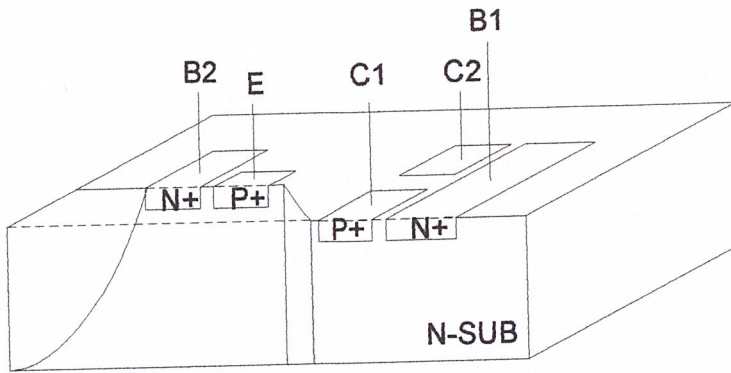
อุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กมีอยู่หลายชนิด ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการตรวจจับสนามแม่เหล็ก โครงการนี้ใช้สารกึ่งตัวนำในการตรวจจับสนามแม่เหล็กซึ่งใช้หลักการของ แรงลอเรนซ์ (Lorentz force) จากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effects) ที่กระทำต่อประจุพาหะสามารถสร้างเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ได้หลายชนิดเช่น อุปกรณ์ฮอลล์ (Hall Devices) แมกนีโตรีซิสเตอร์ (Magnetoresistor) แมกนีโตไดโอด (Magnetodiodes) และ แมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistors) ปรากฏการณ์ฮอลล์เป็นปรากฏการณ์สำคัญ ในการอธิบายการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กเหล่านี้

อุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กทั้งหมดนั้น แมกนีโตทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่น่าสนใจ แมกนีโตทรานซิสเตอร์แบ่งตามลักษณะการไหลของกระแสแบ่งได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีกระแสไหลตามแนวนอน (Laterral magnetotransistors) เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก และแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ที่มีกระแสไหลตามแนวตั้ง (Vertical Magnetotransistor) จะเซ็นเซอร์แม่เหล็กตามแนวนอน แมกนีโตทรานซิสเตอร์ ที่ดีจะสามารถขยายสัญญาณได้ดีและมีความไวในการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กได้ดี

ในโครงการนี้ได้ศึกษาแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ชนิดกระแสไหลตามแนวนอน (Laterral magnetotransistors) ใช้เทคโนโลยีการสร้างแบบไบโพลาร์จตุภาคคอลเลคเตอร์ ตรวจจับสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากซึ่ง สามารถวัดและทดสอบคุณสมบัติต่างเกี่ยวกับแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ได้ง่ายและสะดวกกว่าสนามแม่เหล็กในแนวนอน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาไปรวดเร็วมาก แมกนีโตทรานซิสเตอร์สามารถสร้างเป็นวงจรรวม(IC) การเรียนรู้ การออกแบบและการสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์จะเป็นพื้นฐานที่ดีในการศึกษาเทคโนโลยีระดับสูงต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 a) แสดงภาพโครงสร้างตัดขวางของแมกนีโตทรานซิสเตอร์
b) แสดงภาพโครงสร้างด้านบนของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของปฏิญานิพนธ์

1.1.1 เพื่อศึกษากระบวนการสร้างทรานซิสเตอร์และนำมาประยุกต์สำหรับสร้าง เป็น แมกนีโตทรานซิสเตอร์

1.1.2 ศึกษาคุณสมบัติในการทำงานและตรวจจับสัญญาณแม่เหล็กของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

1.1.3 สามารถออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์ในการตรวจสอบสัญญาณแม่เหล็ก

1.1.4 สามารถทำการวิเคราะห์ถึงกระบวนการทำงาน การไหลของกระแสและผลของแม่เหล็กที่ทำให้เกิดการหักเหของกระแส

1.1.5 สามารถที่จะสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ได้

1.1.6 สามารถที่จะทำการทดลองแมกนีโตทรานซิสเตอร์และวิเคราะห์ผลการทดลองได้

1.2 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

1.2.1 ออกแบบโครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์

ทำการออกแบบดัง โครงสร้างดัง รูปที่ 1.1 โดยที่ระยะห่างระหว่างขา คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ C1 และ C2 และ ระยะห่างระหว่างขาอิมิตเตอร์กับขาคอลเลคเตอร์ไม่เท่ากันเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

1.2.2 ทำการสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์

1.2.3 วัดและสรุปผลการทดลอง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากปฏิญานิพนธ์

1.3.1 เข้าใจถึงการทำงานการไหลของกระแสและประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำ

1.3.2 เข้าใจผลกระทบของสนามแม่เหล็กต่อการเคลื่อนที่ของประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำ

1.3.2 เข้าใจขบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำ

1.3.3 เข้าใจถึงกระบวนการวิเคราะห์คุณสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

1.3.4 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างกลไกไฟฟ้าและแม่เหล็กในสารกึ่งตัวนำได้

1.3.5 เข้าใจถึงผลการทดลองและทฤษฎีของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

1.3.6 สามารถที่จะนำความรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีแมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistors)

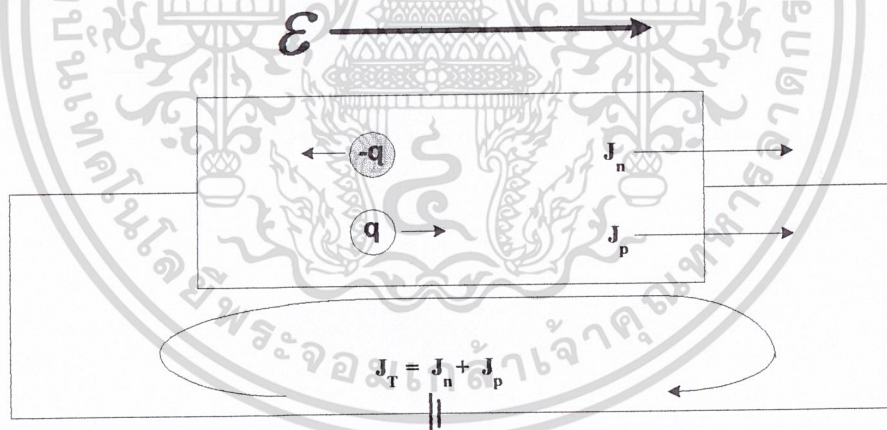
แมกนีโตทรานซิสเตอร์เป็นทรานซิสเตอร์ที่สามารถตรวจจับแม่เหล็ก การที่จะเข้าใจการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ จำเป็นอย่างยิ่งในการเข้าใจทฤษฎีพื้นฐานต่าง ดังต่อไปนี้

2.1 การไหลของกระแสในสารกึ่งตัวนำ

กระแสที่ไหลในสารกึ่งตัวนำ เป็นเรื่องพื้นฐานสำคัญอันดับต้นๆที่ต้องทำความเข้าใจ ในสารกึ่งตัวนำกระแสเกิดจาก พาหะอยู่สองชนิดคือ โฮลและอิเล็กตรอน ลักษณะการไหลมีอยู่สองแบบคือ

2.1.1 กระแสดริฟท์

ในสารกึ่งตัวนำมีพาหะอยู่สองชนิด คือ อิเล็กตรอนและโฮล เมื่อได้รับสนามไฟฟ้าจะเกิดมีแรงกระทำของพาหะทั้งสองและทำให้เกิดพาหะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วดริฟท์ โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้า โฮลเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของพาหะทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น และกระแสของพาหะทั้งสองมีทิศทางเดียวกัน กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเรียกว่า กระแสดริฟท์ (Drift current) ดังแสดงใน รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดของกระแสดริฟท์ ของกระแสอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า กระแสครีฟท์ของอิเล็กตรอน

$$j_n = nq\mu_n \varepsilon \quad 2.1$$

กระแสครีฟท์ของโฮล

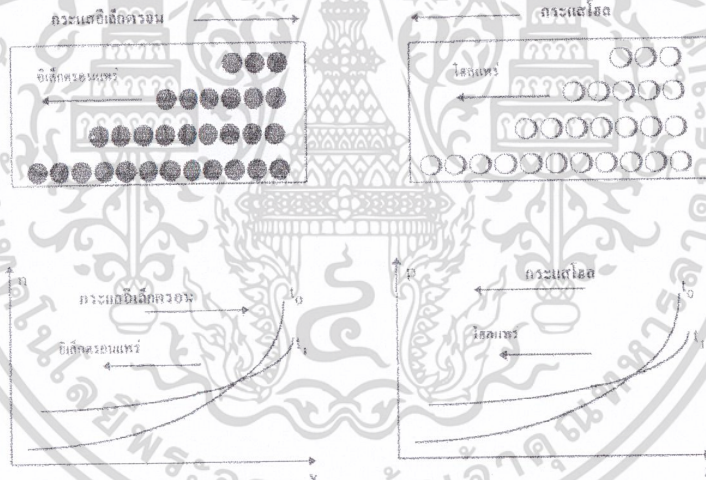
$$J_p = nq\mu_p \varepsilon \quad 2.2$$

กระแสครีฟท์รวม

$$J_T = J_n + J_p \quad 2.3$$

2.1.2 กระแสแพร่(Diffusion current)

เป็นกระแสที่เกิดขึ้นจากพาหะของสารกึ่งตัวนำที่กระจายความหนาแน่นของพาหะไม่เท่ากันหรือมีความหนาแน่นแตกต่างกัน(Concentration gradient) ซึ่งจะเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าการเคลื่อนที่ลักษณะนี้เรียกว่า กระแสแพร่(Diffusion current)



รูปที่ 2.2 แสดงการแพร่และกระแสแพร่ของอิเล็กตรอนและ โฮลในสารกึ่งตัวนำที่มีการกระจายพาหะอย่างไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า กระแสแพร่ของอิเล็กตรอน

$$J_{n(diff)} = qD_n \frac{dn}{dx} \quad 2.4$$

กระแสแพร่ของโฮล

$$J_{p(diff)} = -qD_p \frac{dp}{dx} \quad 2.5$$

ในทางปฏิบัตินั้น สารกึ่งตัวนำอาจจะได้สนามไฟฟ้าและมีการกระจายพาหะที่ไม่สม่ำเสมอได้ในเวลาเดียวกันแสดงดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นจึงมีกระแสดริฟท์และกระแสแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮลสามารถเกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ กระแสรวมที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงเป็นผลรวมของกระแสต่างเหล่านี้ดังสมการ

กระแสรวมของอิเล็กตรอน

$$J_n = nq\mu_n \varepsilon + qD_n \frac{dn}{dx} \quad 2.6$$

กระแสรวมของโฮล

$$J_p = nq\mu_p \varepsilon - qD_p \frac{dp}{dx} \quad 2.7$$

กระแสรวมสุทธิ

$$J_T = J_n + J_p \quad 2.8$$

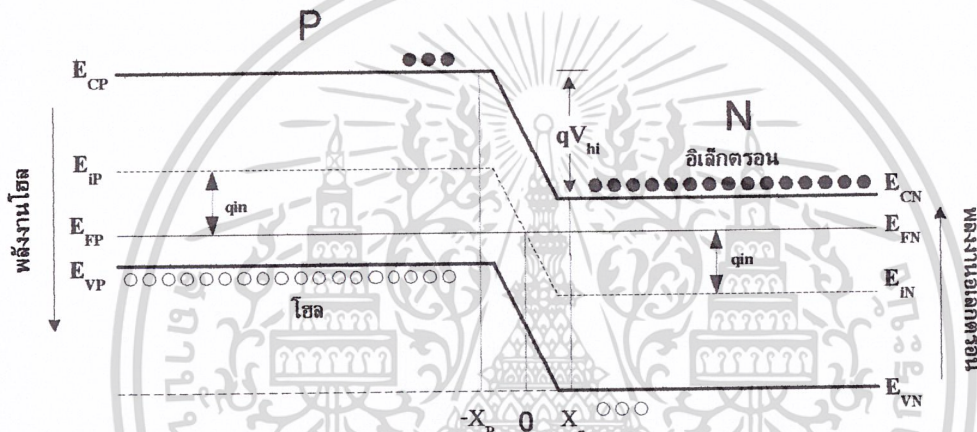
จากสมการ 2.6 และ 2.7 เป็นที่น่าสังเกตว่าสมการการแพร่ของโฮลมีทิศทางการไหลตรงกันข้ามกับกระแสอื่น การทำความเข้าใจเกี่ยวกับกระแสและทิศทางการไหลของกระแสในสารกึ่งตัวนำมีความสำคัญมากในการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อ พี-เอ็น

2.2.1 รอยต่อพี-เอ็นในสภาวะสมดุล ขณะที่ไม่มีแรงดันไบอัส

เมื่อเกิดเป็นรอยต่อพีเอ็นแล้วเนื่องจากความหนาแน่นของโฮลของพีมากกว่าโฮลด้านเอ็น และอิเล็กตรอนด้านเอ็นมากกว่าอิเล็กตรอนด้านพีจึงทำให้อิเล็กตรอนด้านเอ็นเคลื่อนที่ไปยังด้านพี เกิดเป็น ไอออนบวกขึ้นแทนที่ และ โฮลด้านพีเคลื่อนที่ไปยังด้านเอ็นทำให้เกิด ไอออนลบ(Negative ion) ขึ้นแทนที่ ซึ่งการเกิด ไอออน(Ionization) นั้นจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อนั้นเอง ซึ่งเป็น แรงดันค่าหนึ่งเรียกว่าแรงดันภายใน(Built in voltage: V_{bi}) แรงดันนี้จะต่อต้านการเคลื่อนที่ของประจุหา หะ อิเล็กตรอนและ โฮล ไม่ให้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปได้ เรียกว่า สภาวะสมดุล บริเวณรอยตอดังกล่าว นั้นจะเป็นบริเวณปลอดพาหะ(Depletion region) ซึ่งไม่มีพาหะใดๆอยู่ในบริเวณนี้เลย



รูปที่ 2.3 แสดงรอยต่อในสภาวะสมดุล(Equilibrium $V_A = 0$)

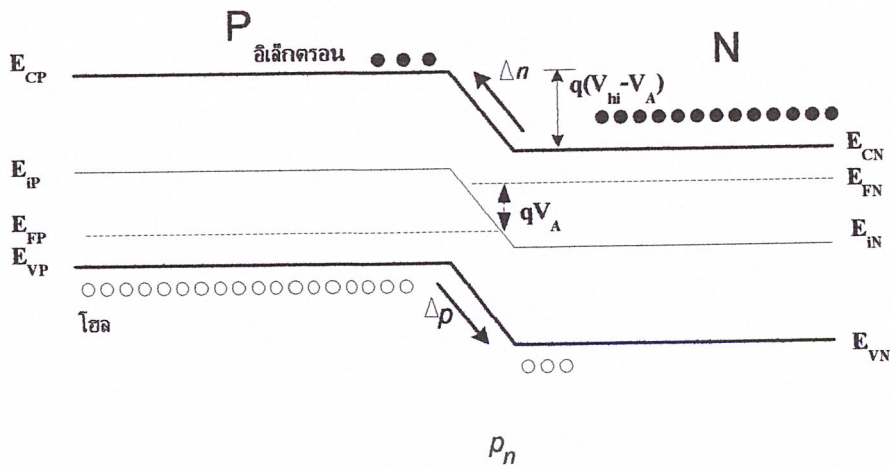
2.2.2 รอยต่อพี-เอ็นขณะได้รับไบอัสตรง

เมื่อรอยต่อพีเอ็นได้รับ ไบอัสตรง กล่าวคือป้อนไฟบวกด้านพีและป้อนไฟลบด้านเอ็น ในลักษณะนี้มีแรงดันตกคร่อมรอยต่อมีค่าลดลง ($V_{bi} - V_A$) บริเวณปลอดพาหะจะแคบลงทำให้อิเล็กตรอนด้านเอ็นและ โฮลด้านพีสามารถข้ามรอยต่อมาได้สะดวกเหมือน ปิดสวิตช์ (Close switch) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ โฮลทำให้เกิดกระแสไหล ไบอัสตรงได้ดังสมการ

$$I = I_o(e^{qV_A/KT} - 1)$$

2.9

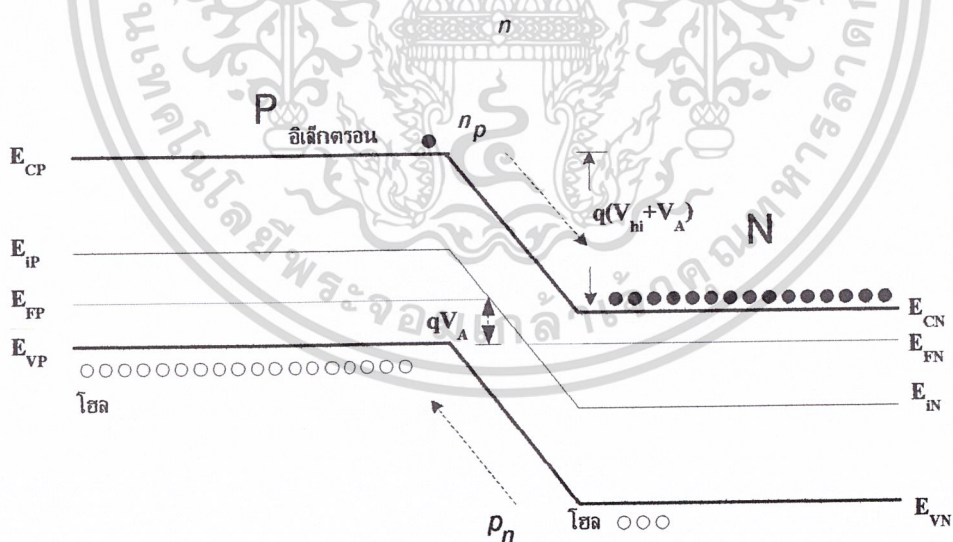
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงรอยต่อพีเอ็นขณะได้รับไบอัสตรง ($V_A > 0$)

2.2.3 รอยต่อพีเอ็น ขณะได้รับไบอัสกลับ

เมื่อรอยต่อพีเอ็นขณะได้รับไบอัสกลับกล่าวคือป้อนไฟบวกเข้าด้านเอ็นและป้อนไฟลบเข้าด้านพีจะยิ่งเพิ่มแรงดันภายในรอยต่อให้มีค่ามากกว่าเดิม ($V_{bi} + V_A$) บริเวณหลอดพาหะจะกว้างมากขึ้นทำให้อิเล็กตรอน โฮล ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อได้



รูปที่ 2.5 แสดงรอยต่อพีเอ็นในขณะได้รับไบอัสกลับ ($V_A < 0$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ จะมีค่ามากซึ่งเป็นกระแสของพาหะส่วนน้อยเรียกว่ากระแสรั่ว (Leakage Current) ซึ่งความหนาแน่นของพาหะส่วนน้อยบริเวณบริเวณปลอดพาหะจะมีจำนวนลดลง สามารถหาได้จากกฎของรอยต่อ คือ

$$p_n|t_n = p_{no} e^{qV_A/KT} \quad 2.10$$

$$n_p|t_p = n_{po} e^{qV_A/KT} \quad 2.11$$

พิจารณากระแสที่ไบอัสกลับที่อุณหภูมิห้อง ($T=300K$) จะทำให้มีค่ากระแสประมาณ

$$I = I_0 (e^{qV_A/KT} - 1) \quad 2.12$$

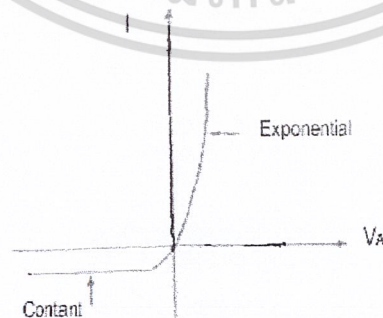
เทอม $(e^{qV_A/KT})$ จะน้อยกว่าหนึ่งมากๆ จะได้

$$I = -I_0 \quad 2.13$$

จะเห็นว่ากระแส I_0 เป็นกระแสอิ่มตัวย้อนกลับมีค่าน้อยมากๆ ไม่ขึ้นกับแรงดันไบอัสแต่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของรอยต่อเท่านั้นเอง

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของรอยต่อพี-เอ็น

จากสมการกระแสของ ไดโอดเมื่อทำการพิจารณาการให้ไบอัสทั้งสองแบบ และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสจะได้กราฟดังนี้



(กราฟ I - V characteristic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ควรนำไปใช้ตามหน้าที่ของงานที่เกี่ยวข้องกับการค้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสและรอยต่อพี-เอ็น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟเมื่อพิจารณาที่ควอดแดรนต์ที่หนึ่ง จะเห็นว่ามีการเพิ่มแรงดันไบอัสไปจนถึงค่าค่าหนึ่งถึงค่าแรงดันภายใน (Built in Voltage) จะทำให้เกิดกระแสเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย เป็นลักษณะการเพิ่มแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และพิจารณาที่ควอดแดรนต์ที่สาม จะเห็นว่าเมื่อป้อนไบอัสกลับจะเกิดกระแสรั่วไหลเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อแต่หากว่ามีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ้าป้อนไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันพังทลายซึ่งจะเกิดกระแสเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย

2.2.5 กระแสรั่วที่รอยต่อพี-เอ็น

กระแสรั่วที่รอยต่อพี-เอ็นจะเกิดขึ้นขณะไบอัสกลับเท่านั้น ซึ่งกระแสรั่ว 2 ชนิดคือ

2.2.5.1. กระแสอิ่มตัว I_0 โดยมค่าประมาณ แสดงดังสมการ

$$I_0 = Aq \cdot ni^2 \left[\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_N}{L_N N_A} \right] \quad 2.14$$

2.2.5.2. กระแสเกิดจากการรวมตัว (Generation-Recombination) กระแสชนิดนี้

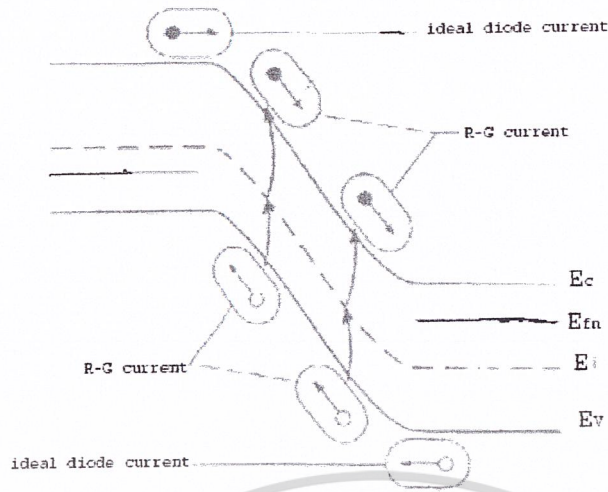
เรียกกันย่อๆ ว่ากระแส G-R จะเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของเนื้อสารซึ่งแบ่งเป็น

2.2.5.2.1. ชินสารไม่บริสุทธิ์ (Metallic impurities)

2.2.5.2.2. ผล็กสารที่บกพร่อง (Crystalline defects) สาเหตุที่ทำให้ผลึกไม่

สมบูรณ์ทั้งสองชนิดจะเกิดระดับพลังงานเรียกว่าที่พัทอเล็กตรอน (Deep level) แสดงเป็นศูนย์กลางการรวมตัว (Recombination-Center) เกิดขึ้นในช่องว่างตัวกลางแถบพลังงาน โดยมักเป็นที่พัทอเล็กตรอนหรือโฮล ในขณะที่เคลื่อนที่ระหว่างแถบวาเลนซ์ (Valance band) และแถบความนำทำให้เกิดพาหะและการรวมตัวของ พาหะหรือการรวมตัวของพาหะ (Combination) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดและการรวมตัวของพาหะ โดยระดับพลังงาน Deep level)ขณะ ไบอัสตรง

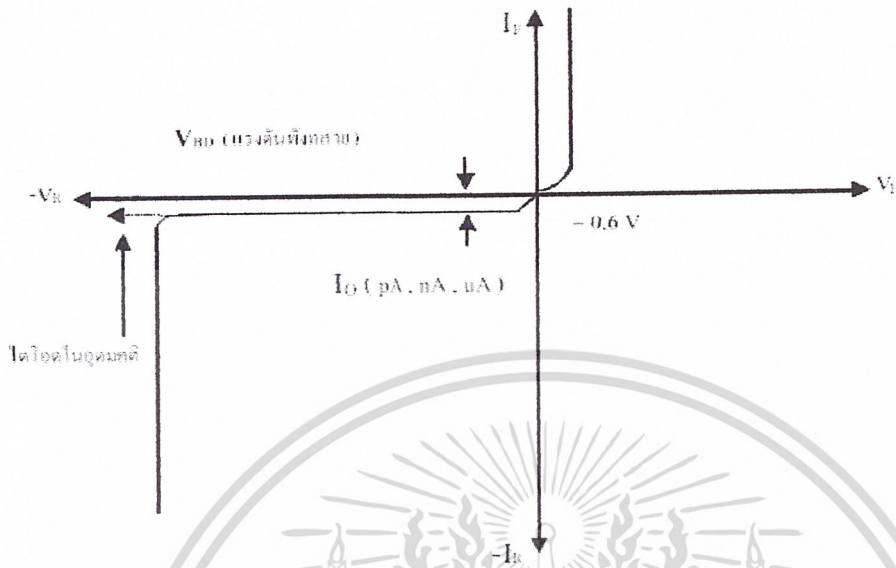


รูปที่ 2.8 การเกิดพาหะการรวมตัวของพาหะ โดยระดับพลังงาน Deep level ขณะ ไบอัสกลับ

2.2.6 ปรากฏการณ์พังทลายที่รอยต่อพี-เอ็น

จากสมการกระแส-แรงดันของไดโอด กระแสที่ไหลผ่านไดโอด เมื่อถูกไบอัสย้อนกลับจะมีค่าต่ำมากและคงที่ ไม่ขึ้นกับแรงดัน ไบอัส ถ้าเราเอาไดโอดจริงมาวัดคุณสมบัติ กระแส-แรงดัน ขณะถูกไบอัสย้อนกลับ เมื่อแรงดันไบอัสสูงถึงค่าหนึ่ง จะเกิดกระแสไหลผ่านไดโอดอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ในวงกว้างไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 กราฟคุณสมบัติของไดโอดแสดงให้เห็นการเกิดการพังทลาย

สาเหตุที่ทำให้กระแสที่ผ่านตัวไดโอดในขณะที่ถูกไบอัสย้อนกลับ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากมีอยู่

3 สาเหตุคือ

1. การพังทลายแบบอวาแลนซ์ (Avalanche Breakdown)
2. การพังทลายแบบซีเนอร์ (Zener Breakdown)
3. การพังทลายแบบพังก์ทรู (Punch Through)

2.2.6.1 การพังทลายแบบอวาแลนซ์

ในขณะที่ไดโอดได้รับไบอัสย้อนกลับ ประจุพาหะส่วนน้อยเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปได้ ประจุเหล่านี้จะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้า จากแรงดันไฟฟ้าที่เราป้อนเข้าไป ประจุเหล่านี้จะชนอะตอมของสารกึ่งตัวนำ ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ไม่สูงนัก เมื่อประจุเหล่านี้ชนอะตอมก็จะสูญเสียความเร็ว แต่เนื่องจากอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุก็จะถูกเร่ง จนผ่านบริเวณปลอดภัยออกมา (สภาวะปกติที่เกิดขึ้น) เมื่อเราเพิ่มค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับขึ้นไปอีกเมื่อถึงแรงดันค่าหนึ่ง ประจุพาหะส่วนน้อยที่ถูกเร่งจากสนามไฟฟ้าจะมีพลังงานสูงเพียงพอที่เมื่อชนอะตอมของสารกึ่งตัวนำแล้ว จะทำให้อะตอมนั้นเกิดไอออนไนซ์ ให้ประจุพาหะเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัว ประจุพาหะตัวเดิม (ที่ชนอะตอม) และประจุพาหะตัวใหม่ (เกิดหลังถูกชน) ต่างก็อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า ก็จะชนอะตอมอื่น ๆ จำนวนประจุพาหะจะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดประจุพาหะใหม่ขึ้นจำนวนมากมาย ทำให้เกิดกระแสค่ามาก ไหลผ่านไดโอด เรา

เมื่อว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์อวาแลนซ์ (Avalanche Breakdown) ซึ่งจะเกิดขึ้นกับรอยต่อ พี-เอ็น โดยทั่วไป

2.2.6.2 การพังทลายแบบซีเนอร์

การพังทลายแบบซีเนอร์ จะเกิดขึ้นกับรอยต่อ พี-เอ็น ที่มีการเติมสารเจือปนปริมาณ มาก ๆ ในโคโอดที่มีการเติมสารเจือสูงมาก ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะจะมีความแคบมาก ซึ่งจะเป็นผลทำให้ความเข้มข้นของไฟฟ้าที่รอยต่อมีค่าสูงมาก ซึ่งถ้ามีค่าสูงพอที่จะดึงเอาอิเล็กตรอนออกมาจากพันธะได้ ซึ่งจะทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนอิสระและ โฮล ที่มาจากการสลายของพันธะ โควาเลนต์ไม่เกี่ยวข้องกับการชนของประจุพาหะส่วนน้อยกับอะตอมเลย กระบวนการนี้ถูกเรียกว่า การพังทลายแบบซีเนอร์ ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ทำให้พันธะ โควาเลนต์ของผลึกซิลิกอนสลายจะมีค่าประมาณ 30 MV/m ซึ่ง โดยทั่วไปการพังทลายแบบซีเนอร์นี้จะเกิดขึ้นที่แรงดันไบอัสย้อนกลับต่ำกว่า 6V

2.2.6.3 การพังทลายแบบพื้นที่ทรู

การพังทลายแบบพื้นที่ทรูจะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันไบอัสย้อนกลับมีค่าสูงขึ้น ถ้าอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำนั้นมีโครงสร้างในลักษณะระยะที่มีชั้นส่วนโคจีนชั้นหนึ่งมีความบางมาก ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะจะกินบริเวณกว้างทั้งหมดของชั้นสารกึ่งตัวนำที่มีความบางมากนั้น เสมือนหนึ่งไม่มีชั้นส่วนนั้น จะทำให้เกิดกระแสไหลได้อย่างมาก เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการพังทลายแบบพื้นที่ทรู ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีชั้นส่วนโคจีนชั้นหนึ่งมีความบางมากเช่น ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

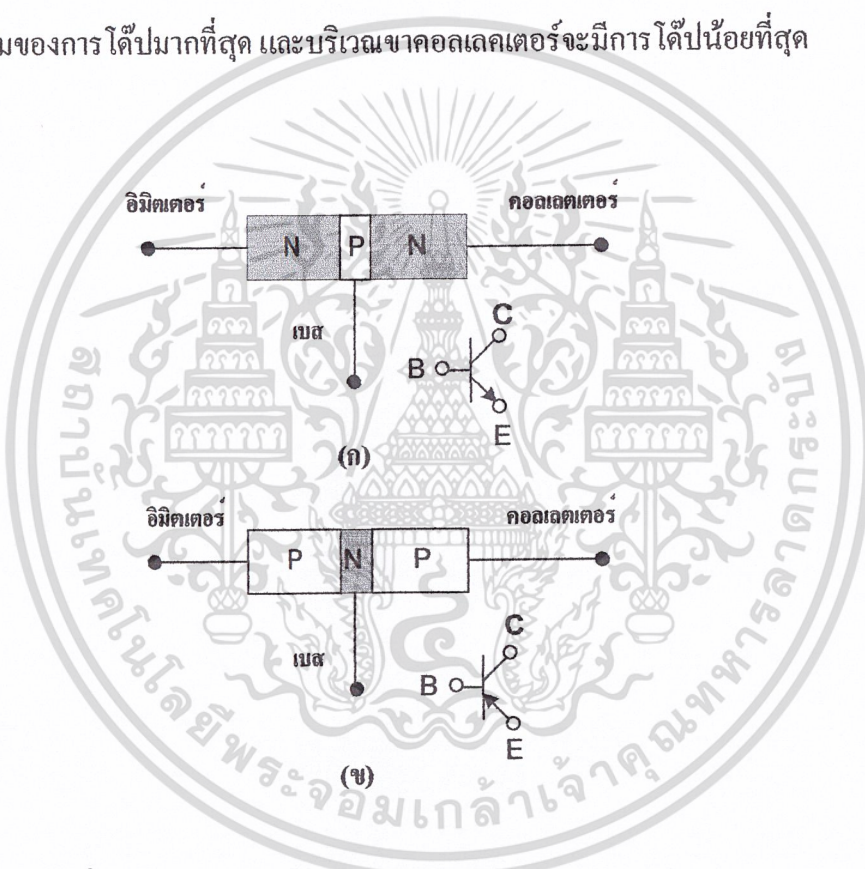
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์

ซึ่งโครงสร้างของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ใช้เทคโนโลยีไบโพลาร์จึงขออธิบายหลักการ
ทำงานของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้

2.3.1 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

ซึ่งทรานซิสเตอร์มีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ ทรานซิสเตอร์ชนิด P-N-P และทรานซิสเตอร์
ชนิด N-P-N จะมีโครงสร้างดัง รูปที่ 2.10 ซึ่งประกอบด้วย 3 ขาดด้วยกันคือ ขาอิมิตเตอร์ ขาคอลเลคเตอร์
และขาเบส จาก รูปที่ 2.10 ความกว้างของเบสต้องมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการแพร่ของพาหะส่วนน้อย
ซึ่งบริเวณขา

อิมิตเตอร์ความเข้มข้นของการได้ปมากที่สุด และบริเวณขาคอลเลคเตอร์จะมีการ ได้ปน้อยที่สุด



รูปที่ 2.10 ไดอะแกรมอย่างง่ายและสัญลักษณ์ของวงจไฟฟ้า

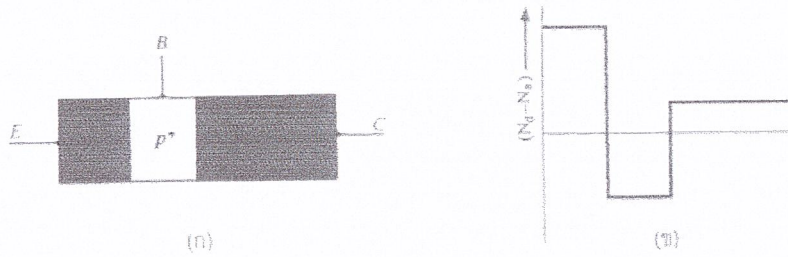
(ก) ทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ npn (ข) ทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ pnp

2.3.2 หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์

หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด P-N-P กับ N-P-N จะมีหลักการทำงาน
คล้ายๆกัน จึงขออธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด N-P-N จาก รูปที่ 2.11 แสดงการ ได้ปของ
สารเจือในอุดมคติในทรานซิสเตอร์ชนิด N-P-N ที่ถูกได้ปอย่างสม่ำเสมอ

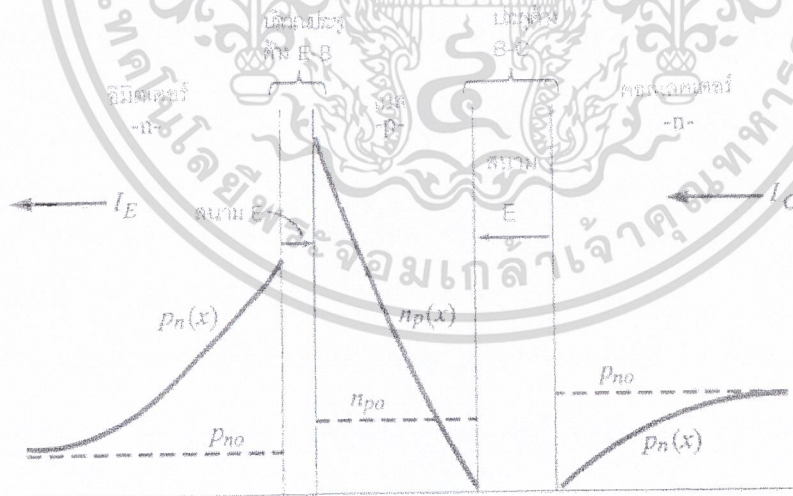
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงการได้ปในทางอุดมคติของทรานซิสเตอร์ไบโพลาาร์ npn ที่ถูกได้ปอย่างสม่ำเสมอ

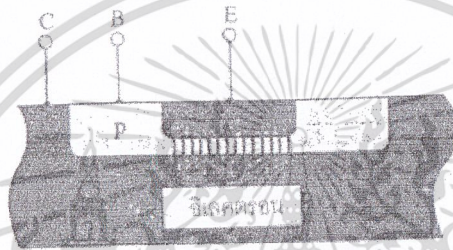
การทำงานในโหมดไบอัสตรง ซึ่งขา เบส-อิมิตเตอร์ จะต้องได้แรงดันไบอัสตรงและขา เบส-คอลเลคเตอร์ต้องได้รับไบอัสย้อนกลับ เมื่ออิเล็กตรอนจากขาอิมิตเตอร์จะถูกฉีดข้ามรอยต่อ(B-E)เข้าไป บริเวณขาเบสการฉีดของอิเล็กตรอนเหล่านี้จะสร้างความเข้มข้นของพาหะส่วนเกิน และรอยต่อ(B-C)จะถูกไบอัสกลับดังนั้นความเข้มข้นของอิเล็กตรอนส่วนน้อยที่ขอบ(B-C) ซึ่งสนามไฟฟ้าจะกวาดอิเล็กตรอนเข้าไปยังบริเวณคอลเลคเตอร์ ดังนั้นบริเวณเบสยิ่งแคบยิ่งดีกระแสคอลเลคเตอร์จะมีค่ามากจะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 2.12 การกระจายในพาหะส่วนน้อยในทรานซิสเตอร์ไบโพลาาร์ npn ที่ทำงานใน โหมดไบอัสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.13 แสดงภาพตัดขวางของทรานซิสเตอร์ชนิด npn กับการฉีด อิเล็กตรอนจาก อิมิตเตอร์ชนิดเอ็นและการสะสมอิเล็กตรอนในคอลเล็กเตอร์ จำนวนอิเล็กตรอนต่อหน่วยเวลาที่ถึง คอลเล็กเตอร์เป็นสัดส่วนกับจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้าไปในเบสจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดจะมีความสัมพันธ์กับ B-E เราทำการประมาณลำดับว่ากระแสคอลเล็กเตอร์ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดัน B-C ที่ไบอัสย้อนกลับ ดังนั้นอุปกรณ์จึงทำหน้าที่คล้ายแหล่งจ่ายกระแสที่กระแสคอลเล็กเตอร์จะถูกควบคุมโดยแรงดัน B-E หรือกระแสในส่วนหนึ่งของอุปกรณ์จะถูกควบคุมด้วยแรงดันอีกส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ การควบคุมนี้คือการทำงานพื้นฐานของ ทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.13 ภาพตัดขวางของทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ npn แสดงการฉีดการสะสมของอิเล็กตรอนในแบบการทำงานแบบ ฟอว์เวิร์ดแอคทีฟ

รอยต่อ B-E เป็นการไหลไปข้างหน้า โอลจากเบสจะถูกฉีดไปยังอิมิตเตอร์อย่างไรก็ตาม การเกิดโวลเหล่านั้นจะไม่ทำให้เกิดกระแสไหลของคอลเล็กเตอร์ จะสังเกตว่าโวลเหล่านั้นจะไม่เป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของการทำงานพื้นฐานเลย การกระจายของพาหะส่วนน้อยในแต่ละบริเวณของ ทรานซิสเตอร์ใน รูปที่ 2.13 เราสามารถหาสมการทางคณิตศาสตร์ของการกระจายพาหะส่วนน้อยเหล่านี้และการทำงานหลายองค์ประกอบของกระแสต่างๆ ในอุปกรณ์

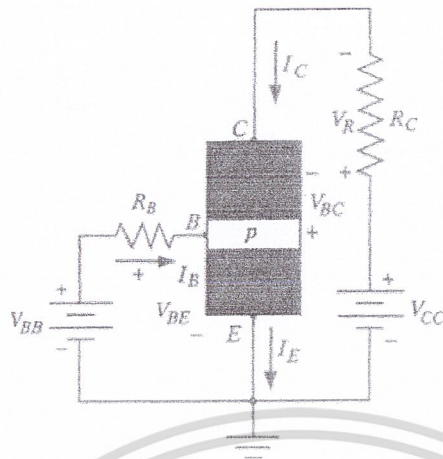
2.3.3 โหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์

ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 โหมดด้วยกัน

2.3.3.1. แอคทีฟโหมด (Active mode) หรือ Forward active mode

หมายถึงการฉีดไบอัสให้ทรานซิสเตอร์โดย รอยต่ออิมิตเตอร์เป็นไบอัสตรง และ รอยต่อคอลเล็กเตอร์ได้รับไบอัสกลับ โดยโหมดนี้จะนำไปใช้งานมากที่สุด ตัวอย่างเช่นวงจร รูปที่ 2.14 แสดงวงจรไบอัสแบบหนึ่งในทั้งสามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ npn ในรูปแบบวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

จากรูปเราสามารถเขียน KVL รอบวงปิดคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ได้ดังนี้

$$V_{CC} = I_C R_C - V_{BC} + V_{BE} = V_R - V_{BC} + V_{BE} \quad 2.15$$

โดยที่

$$I_E = I_B + I_C \quad 2.16$$

2.3.3.2. แซทจูเรชันโหมด (Saturation mode)

หมายถึงการจับไบอัสให้ทรานซิสเตอร์โดย รอยต่ออิมิตเตอร์และรอยต่อคอลเลกเตอร์ ต่างก็เป็นไบอัสตรงเหมือนกัน ในขณะที่ตรงกับสภาวะอิ่มตัวซึ่งมีกระแสไหลเป็นจำนวนมาก และแรงดันตก คร่อมรอยต่อมีค่าต่ำ นำไปใช้งานในอุปกรณ์สวิตช์ จะอยู่ในสถานะ ON

2.3.3.3. คัทออฟโหมด (Cut off mode)

หมายถึงการจับไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์โดยรอยต่อทั้งสอง คือรอยต่ออิมิตเตอร์ต่างก็ได้รับไบอัสย้อนกลับทั้งคู่ ทำให้มีกระแสไหลน้อยมากและแรงดันที่รอยต่อจะมีค่าสูง นำทรานซิสเตอร์ไปเป็นอุปกรณ์สวิตช์จะตรงกับสถานะ OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.4. อินเวอร์ตแอกทีฟโหมด หรือ Inverted active mode

หมายถึงการไบอัสให้ตรงกันข้ามกันข้ามกับกรณีของ แอกทีฟโหมด ซึ่งนำไปใช้งาน

น้อย

2.2.4 การวิเคราะห์สมการกระแสในทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์

ในการวิเคราะห์สมการกระแสต่างๆในทรานซิสเตอร์ ขณะทำงานในโหมดแอกทีฟ โดยการวิเคราะห์ต่างๆจะกำหนดเงื่อนไขต่อไปนี้

2.2.4.1. ต้องพิจารณาเป็นการฉีดระดับต่ำ (Low level injection)

2.2.4.2. สนามไฟฟ้าภายนอกบริเวณปลอดพาหะของรอยต่อมีค่าน้อยมากจึงไม่มีผลทำให้เกิดกระแสดิฟฟิวชัน

2.2.4.3. ในบริเวณปลอดพาหะรอยต่อไม่มีการเกิดพาหะและไม่มีการรวมตัวใหม่ของพาหะ

2.2.4.4. ขนาดความกว้างของส่วนอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์มีค่ามากกว่าระยะการแพร่ของพาหะส่วนน้อยมากๆ ดังนั้นความหนาแน่นข้างพาหะส่วนน้อยที่ขั้วโลหะของส่วนอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์เท่าเดิมคือความหนาแน่นในสภาวะสมดุลความร้อน

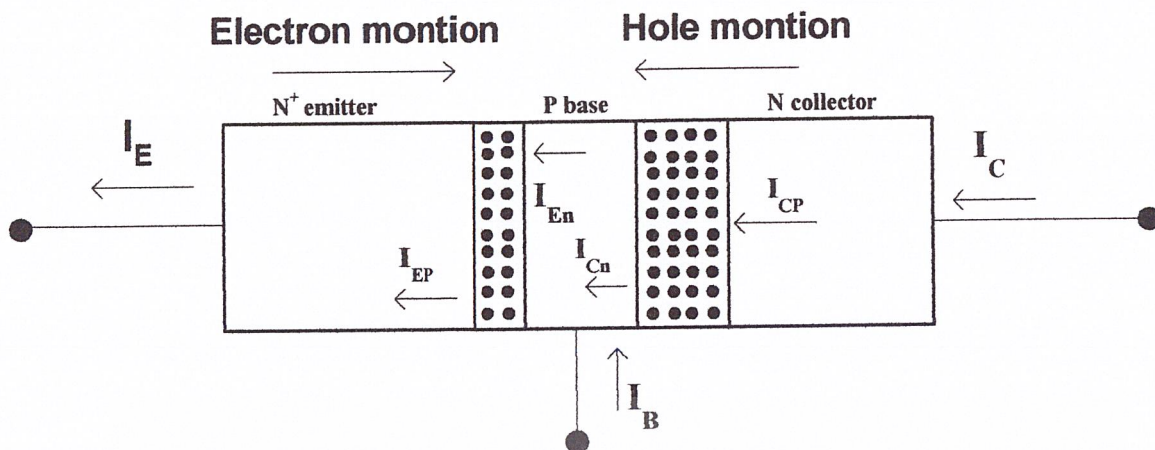
2.2.4.5. ขนาดพื้นที่ของคอลเลกเตอร์มีค่ามากกว่าพื้นที่ของส่วนอิมิตเตอร์

2.2.4.6. การกระจายตัวความหนาแน่นของอะตอมสารเจือมีค่าของทรานซิสเตอร์มีค่า

สม่ำเสมอ

พิจารณาโครงสร้างทรานซิสเตอร์ npn เหมือนกับการวิเคราะห์สมการของกระแสของไดโอด โดยเราต้องหาการกระจายความหนาแน่นของพาหะส่วนน้อยในส่วนต่างๆของทรานซิสเตอร์แล้วนำมาคำนวณหากระแสอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 โครงสร้างทิศทางการไหลของกระแสของทรานซิสเตอร์ npn

จากการวิเคราะห์การกระจายความหนาแน่นของพาหะส่วนน้อยจะได้ค่ากระแสต่างของทรานซิสเตอร์ชนิด npn โดยที่

$$I_E = I_{EN} + I_{EP} \quad 2.17$$

I_{EN} คือกระแสในส่วนเบสที่รอยต่ออิมิตเตอร์

$$= \frac{qAD_n n_o}{L_n} \left\{ \left[e^{qV_{BE}/KT} - 1 \right] \coth \frac{W_B}{L_n} - \left[e^{qV_{BC}/KT} - 1 \right] \frac{1}{\sinh(W_B/L_n)} \right\} \quad 2.18$$

I_{EP} คือกระแสในส่วนอิมิตเตอร์ที่รอยต่ออิมิตเตอร์

$$= \frac{qAD_{PE}}{L_{PE}} \left[e^{qV_{BE}/KT} - 1 \right] \quad 2.19$$

$$I_C = I_{CN} + I_{CP} \quad 2.20$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{Cn} กระแสในส่วนเบสที่รอยต่อคอลเลคเตอร์

$$= \frac{qAD_n n_0}{L_n} \left\{ \left[e^{qV_{BE}/KT} \right] \frac{1}{\sinh\left(\frac{w_B}{L_n}\right)} - \left[e^{qV_{BC}/KT} - 1 \right] \cosh\left(\frac{w_B}{L_n}\right) \right\} \quad 2.21$$

I_{CP} คือกระแสส่วนคอลเลคเตอร์ที่รอยต่ออิมิตเตอร์

$$= -\frac{qAD_{PC}P_{OC}}{L_{PC}} \left[e^{qV_{BC}/KT} - 1 \right] \quad 2.22$$

$$I_B = I_E + I_C \quad 2.23$$

2.4 หลักการของการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็ก

หน่วยความเข้มของสนามแม่เหล็ก(H)เป็น A/m ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก(B) มีหน่วยเป็น tesla (T) มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$B = \mu^B H = \mu_0^B \mu_r^B H \quad 2.24$$

μ^B คือค่า ค่าความซึมซาบของสนามแม่เหล็ก (permeability) ของวัสดุ โดยสารที่มีค่า μ มากก็ดี แต่สามารถสร้างเป็นเซ็นเซอร์ได้ทั้ง μ มากและ μ น้อย

ซึ่งการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กนั้นจะใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์(Hall effect) ซึ่งเราสามารถวัดตำแหน่งเชิงเส้นเชิงมุมหรือใช้ในการวัดแรงดัน มีหลักการอยู่ว่า โวลต์ที่อยู่ในลักษณะตามขวางจะสร้างกระแสให้ไหลตรงกันข้ามและเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลโดยสนามแม่เหล็ก ซึ่งเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะอาศัยปรากฏการณ์กัลป์วานอร์เมกนเนติก ที่เกิดเนื่องจากแรงลอเรนซ์ (Lorentz force)บนประจุพาหะที่เคลื่อนที่โดยสนามแม่เหล็ก แมกนีโตทรานซิสเตอร์ก็ใช้ปรากฏการณ์ดังกล่าว

จึงขออธิบายปรากฏการณ์ต่างที่เกี่ยวข้องกับการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กได้ดังนี้

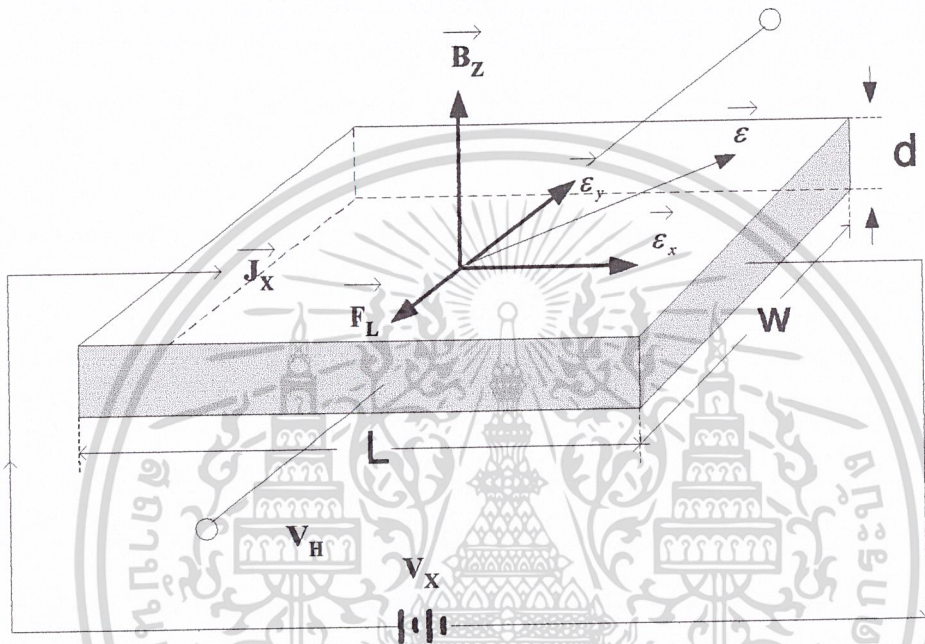
2.4.1. ปรากฏการณ์ฮอลล์(Hall Effect)

เป็นปรากฏการณ์ที่ใช้วัดความหนาแน่นของพาหะ ชนิดของพาหะและสภาพคล่องของพาหะ คือขณะที่มีกระแส J_x ไหลผ่านกึ่งตัวนำในทิศทาง (+X) เมื่อให้สนามแม่เหล็ก B_z ตัดผ่านใน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทาง Z โดยตั้งฉากกับกับทิศทางกระแสจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในทิศทาง Y ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางกระแสและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำชนิดนี้แท่งหนึ่งมีความยาว L กว้าง W และความยาว D ถูกนำไปต่อกับแหล่งจ่ายแรงมีความต่างศักย์ V_x และ โวลต์ทำให้เกิดกระแส J_x ไหลในทิศทาง +X ให้สนามไฟฟ้า B_z ตัดผ่านแท่งสารกึ่งตัวนำในทิศ Z โดยให้ตั้งฉากกับกับทิศทางกระแสดัง รูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงปรากฏการณ์ของฮอลล์ ในสารกึ่งตัวนำหน้าที่ยากรูปโพลพาหะส่วนมาก

เมื่อได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้า E_x จะมีแรงกระทำต่อประจุ ทำให้สามารถเคลื่อนในทิศทาง +X และมีสนามแม่เหล็ก B_z ตัดผ่านในทิศทางตั้งฉากกับกระแสจะเกิดมี แรงลอเรนซ์ (Lorentz force) กระทำต่อประจุโดย

$$F_L = qv \times B \quad 2.25$$

ซึ่ง F_L คือแรง ลอเรนซ์และมีขนาดเป็น

$$|F| = qv \times B_z \quad 2.26$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางของแรงลอเรนซ์คือ $-y$ ดังนั้นทำให้โฮลเคลื่อนที่เบี่ยงเบนบนแกน $-y$ และสะสมอยู่บริเวณด้านหน้าของสารกึ่งตัวนำด้านตรงกันข้ามจึงมีประจุไฟฟ้าลบเกิดขึ้น ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าภายใน ϵ_y มีทิศ+ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะต่อต้านการเคลื่อนที่ของโฮลที่กระทำต่อ แรงลอเรนซ์อยู่ในสภาวะสมดุลและ Stead state ซึ่งโฮลสามารถเคลื่อนที่ไปตรงไปทิศ $+x$ ได้แสดงว่าแรงลอเรนซ์ (F_y) และแรงสนามไฟฟ้าภายใน (qE_y) มีค่าเท่ากัน

$$E_H = +V_x B_z \quad 2.27$$

$$J_x = -nqV_x \quad 2.28$$

$$E_H = \frac{-J_x B_z}{nq} \quad 2.29$$

$$E_H W = \frac{-J_x W + B_z}{nqt} \quad 2.30$$

$$V_H = \frac{-I_x B_z}{nqt} \quad 2.31$$

$$R_H = \frac{-I}{nq} \quad 2.32$$

โดย

- E คือ สนามไฟฟ้าในทิศทางตามสับสคริป
- I คือ กระแสไฟฟ้าในทิศทางเดียวกับสับสคริป
- B คือ ความหนาแน่นของแม่เหล็กในทิศทางตามสับสคริป
- V_H คือ แรงดันฮอลล์
- R_H คือ สัมประสิทธิ์ฮอลล์
- n คือ ความหนาแน่นของประจุพาหะ
- t คือ ความหนา
- w คือ ความกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ปรากฏการณ์กัลป์วานอร์แมกเนติก

หลักการต่างอาจจะอธิบายด้วยคณิตศาสตร์ด้วยการแก้สมการ สมมุติสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น(N-type)ในขณะที่ไม่จ่ายสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่นกระแส $J_n(0)$ จะเกิดขึ้นจากกระแสแพร่ (Diffusion) และกระแสที่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้า(Drift) จะประมาณด้วยสมการ Boltzman

$$J_n(0) = \sigma_n \cdot \varepsilon + q \cdot D_n \cdot \nabla n \quad 2.33$$

โดยที่ $\sigma_n = q \cdot \mu_n \cdot n$ เป็นความนำไฟฟ้าของอิเล็กตรอน(Electron)เมื่อไม่สนามแม่เหล็ก

$\varepsilon = \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ เป็นสนาม ไฟฟ้า

n = ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

$\mu_n = \frac{V_n}{|\varepsilon|}$ ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน

V_n = ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน

∇ = Gradient

เมื่อจ่ายสนามไฟฟ้าเกิดแรงกระทำต่อประจุพาหะเรียกว่า แรงลอเรนซ์(Lorentz)

$$F = q(v \times B) \quad 2.34$$

โดยที่

v = ความเร็วของอิเล็กตรอน

B = สนามแม่เหล็ก

พิจารณาแรงลอเรนซ์(Lorentz Force) เกิดขึ้นในทิศทางเดียว ตัดกระแสกระเจิดกระเจิงของ อิเล็กตรอน ทำให้ความหนาแน่นกระแสในขณะที่ยจ่ายสนามแม่เหล็กได้

$$J_n = J_n(0) - \mu_n J_n(B) \times B \quad 2.35$$

$J_n(B)$ เป็นความหนาแน่นของกระแสในขณะที่มีสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการ Scalar product แล้วจัดสมการใหม่

$$J_n(B) = [J_n(0) + \mu_n B \times J_n(0) + \mu_n^2 B] [1 + \mu_n B]^{-1} \quad 2.36$$

ในสารกึ่งตัวนำ พลังงานการแพร่กระจายของอิเล็กตรอน จะขึ้นอยู่กับกลไกการแพร่ ผลที่สามารถอธิบายในรูปของตัวแปร r_H ซึ่งเรียกว่า แฟคเตอร์ฮอลล์(Hall Factor) โดยมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สนามแม่เหล็กและตัวแปรอื่น และสามารถหาค่า r_H ได้

$$r_H = \frac{\langle \tau^2 \rangle}{\langle \tau \rangle^2} \quad 2.37$$

$$\langle \tau \rangle = \frac{\frac{4}{3\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \tau(E) E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE}{\int_0^\infty E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE} \quad 2.38$$

$$\langle \tau^2 \rangle = \frac{\frac{4}{3\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \tau^2(E) E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE}{\int_0^\infty E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE} \quad 2.39$$

โดย $\tau(E)$ คือเวลาชั่วขณะ (Momentum relaxation time)

ในทางทฤษฎีแล้วสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์มีค่า $r_H = 1.18$ แต่จากการทดลองในแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น $r_H = 1.15$ และชนิดพี $r_H = 0.7$ ที่อุณหภูมิห้องและมีความหนาแน่นต่ำ ค่าแฟคเตอร์ r_H จะมีความคล่องตัวของประจุพาหะ ดังนั้นความคล่องตัวของประจุพาหะฮอลล์ (Hall mobility) มีค่าเป็น

$$\mu_n^* = r_H \mu_n \quad 2.40$$

เมื่อนำค่า Hall mobility แทนลงในสมการที่ 2.36

$$J_n(B) = [J_n(0) + \mu_n^* B \times J_n(0) + k(\mu_n^*)^2 B \cdot J_n(0) B] [1 + (\mu_n^* B)^2] \quad 2.41$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า k เป็นผลรวมของพลังงานเฉลี่ยสูง

แม้ว่ากรณีนี้ พลังงานเฉลี่ยสูงให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสารกึ่งตัวนำรอยต่อแบบโอห์มิก(Ohmic Contact)และความหนาแน่นของประจุพาหะมีลักษณะการกระจายตัวแบบ Gradients ∇n จะถูกตัดทิ้งทำให้สมการที่ 2.41 ถูกเปลี่ยนเป็น

$$J_n(B) = \sigma_{nB} [\varepsilon + \mu_n^* B \times \varepsilon + k(\mu_n)^2 (B \cdot E) B] \quad 2.42$$

ความนำจะขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็ก

$$\sigma_{nB} = \sigma_n [1 + (\mu_n^* B)^2]^{-1} \quad 2.43$$

เมื่อสนามแม่เหล็ก B ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ε ในกรณีของ $B \cdot \varepsilon = 0$ ฉะนั้นความหนาแน่นของกระแสจึงเปลี่ยนไป

$$J_n(B) = \sigma_{nB} (\varepsilon + \mu_n^* B \times \varepsilon) \quad 2.44$$

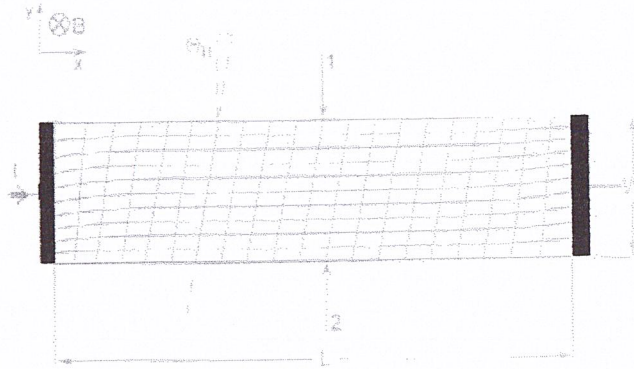
ซึ่งสมการที่ 2.44 เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ฮอลล์แมกเนติก สมมติให้สนามไฟฟ้า ε และความหนาแน่นของกระแส $J_n(B)$ อยู่ในระนาบ x-y และสนามแม่เหล็กไปทิศทางเดียวกับแกน z ดังนั้น $\varepsilon = (\varepsilon_x, \varepsilon_y, 0)$, $J_n(B) = (J_{nx}, J_{ny}, 0)$ และ $B = (0, 0, B)$ จากสมการที่ 2.44 ได้

$$J_{nx} = \sigma_{nB} (\varepsilon_x - \mu_n^* B \varepsilon_y) \quad 2.45$$

$$J_{ny} = \sigma_{nB} (\varepsilon_y + \mu_n^* B \varepsilon_x) \quad 2.46$$

ทั้งสองกรณีกล่าวถึงความยาว $L \gg W$ และความกว้าง $W \gg L$ แต่กรณีนี้กล่าวถึง $L \gg W$ ซึ่งความยาว L มีค่าเป็น infinite เพียงอย่างเดียวซึ่งแสดงในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงแรงดันฮอลล์ ระหว่างขั้ว 1 กับ 2 และทิศทางของกระแส(Line Current)

เมื่อพิจารณาเงื่อนไข $W \ll L$ ความหนาแน่นของกระแสจะเกิดในระนาบ X เพียงอย่างเดียว

$J_y = 0$ ฉะนั้นจากสมการ 2.45 และ 2.46 จะได้ว่า

$$\varepsilon_y = -\mu_n^* B \varepsilon_x = R_H J_{nx} B \quad 2.47$$

โดยที่

$$R_H = \frac{-\mu_n^*}{\sigma_n} = \frac{-r_n}{q_n} \quad 2.48$$

ซึ่ง R_H ถูกเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของฮอลล์(Hall Coefficient) โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสารเจือในสารกึ่งตัวนำ สนามไฟฟ้าฮอลล์(Hall field) ทำให้เกิด equip potential lines ขึ้น โดยทำมุม θ_H (Hall angle)

$$\tan \theta_H = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = -\mu_n^* B = \sigma_n R_H B \quad 2.49$$

จากสมการที่ 2.48 ทำให้เราทราบว่าความหนาแน่นของประจุพาหะต่ำทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์มีค่ามาก ดังนั้นสารกึ่งตัวนำนิยมใช้มากกว่าโลหะ เมื่อกำหนดให้ Hall plate มีความหนา t และกระแสไหลผ่าน I จะสามารถแสดงแรงดันฮอลล์(Hall voltage) ได้จากสมการที่ 2.47

$$V_H = \frac{R_H IB}{t} \quad 2.50$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองของความไว(Sensitivity)คือแรงดันฮอลล์ต่อหนึ่งหน่วยกระแสของ
สนามแม่เหล็กจะเป็น

$$S = \frac{V_H}{IB} = \frac{R_H}{t} = \frac{-r_n}{qnt} \quad 2.51$$

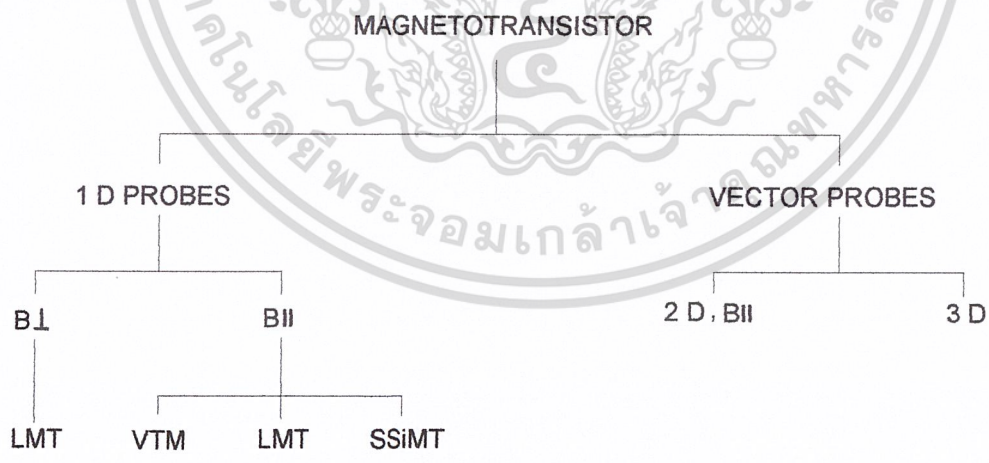
จะเห็นว่า Sensitivity ที่สูงจะมีความหนาแน่นของประจุพาหะมีค่าต่ำและฮอลล์เพลทจะต้อง
มีความหนาแน่นน้อยๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistor)

แมกนีโตทรานซิสเตอร์(Magnetotransistor) เป็นทรานซิสเตอร์(transistor) ที่มีความสามารถตรวจจับสนามแม่เหล็ก มีทั้งโครงสร้างไบโพลาร์(Bipolar) และแบบมอส(Mos) สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ ทั้งในแนวตั้งฉากและแนวนอน กลไกการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistor) ถูกออกแบบให้กระแสคอลเลคเตอร์(collector)แปรเปลี่ยนกับสนามไฟฟ้า แมกนีโตทรานซิสเตอร์ทั่วไปจะมีขั้วสารคอลเลคเตอร์สองขั้ว (Dual Collector)ในสภาวะปกติไม่มีสนามแม่เหล็กแมกนีโตทรานซิสเตอร์ จะทำงานเหมือนทรานซิสเตอร์(Transistor)ปกติทั่วไป กระแสที่ไหลในคอลเลคเตอร์(Collector)ทั้งสองขั้วจะมีปริมาณเท่ากัน เมื่อมีสนามแม่เหล็กมาตัดผ่านทิศทางตั้งฉากกับการไหลของกระแส แรงลอเรนซ์(Lorenz Force)ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กตั้งได้อธิบายในเรื่องปรากฏการณ์ฮอลล์แล้ว เบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแส ทำให้กระแสคอลเลคเตอร์(Collector)ที่ไหลผ่านขั้วสารคอลเลคเตอร์ (Collector) มีปริมาณแตกต่างกันโดย $I_C = I_{C1} - I_{C2}$ แมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistor) ที่มีขนาดใหญ่สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ดีเนื่องจาก มีพื้นที่ดูดซับสนามแม่เหล็กมากกว่านั่นเอง แมกนีโตทรานซิสเตอร์ มีอยู่มาหลายชนิดทั้งที่ตรวจจับสนามแม่เหล็กได้หนึ่งมิติ สองมิติและสามมิติดังแสดงในรูปที่ 2.18 ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้จะสนใจเฉพาะ อุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบกระแสไหลนอน(Lateral Magnetotransistor) โครงสร้างไบโพลาร์คู่ออกคอลเลคเตอร์(Bipolar Dual Collector)เท่านั้น



รูปที่ 2.18 แสดงแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ชนิดต่างๆ

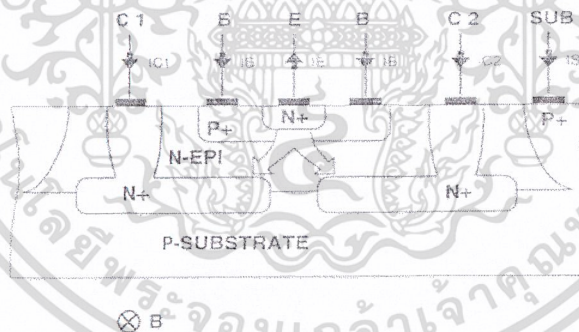
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาอื่นใดในชื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีกระแสไหลทางแนวตั้ง (Vertical Magnetotransistors)

รูปที่ 2.19 แสดงรูปอธิบายแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีกระแสไหลตามแนวตั้งซึ่งเป็นหลักการของวงจรรวมประกอบด้วยทรานซิสเตอร์แบบ N-P-N ทรานซิสเตอร์จะเป็นคู่คอมมอนอิมิตเตอร์และคู่คอมมอนเบสเป็นโครงสร้างแบบแนวตั้ง ฆาคอลเลคเตอร์จะสัมผัสส่วนลึก N+ และฆาคอลเลคเตอร์ทั้งสองจะไม่ขอร์ตถึงกัน เมื่อมีสนามแม่เหล็กทางแนวตั้งพาหะส่วนน้อยจะไหลขนานกับพื้นผิว พาหะส่วนน้อยที่ฉีดจากความเข้มสูงจากขาอิมิตเตอร์จะผ่านบริเวณเบสและผ่านไปยังบริเวณที่ได้ป็น้อยที่สุดคือฆาคอลเลคเตอร์ซึ่งจะเป็นพาหะส่วนใหญ่กระแสจะถูกแผ่ไปยังฆาคอลเลคเตอร์ทั้งสองเมื่อยังไม่มีสนามแม่เหล็กอุปกรณ์จะมีปริมาณ และกระแสคอลเลคเตอร์จะเท่ากับ

$$I_{C1} = I_{C2} = I_{C0} / 2$$

I_{C0} คือกระแสรวมของคอลเลคเตอร์โดยไม่มีสนามแม่เหล็ก ซึ่งถ้ามีสนามแม่เหล็กแรงลอเรนซ์จะไปเบี่ยงเบนพาหะในเบสจะทำให้กระแสคอลเลคเตอร์ไม่สมดุลกัน $\Delta I_C = I_{C1} - I_{C2}$

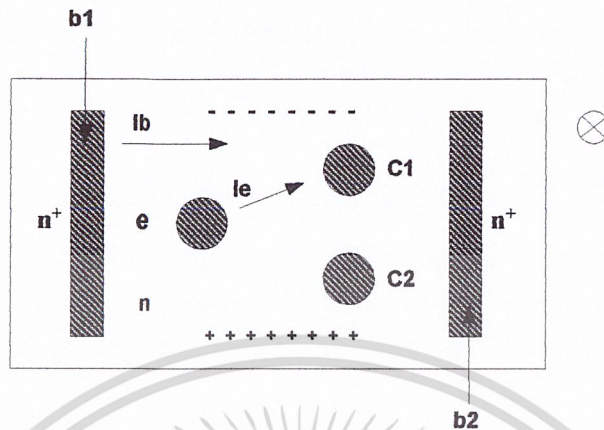


รูปที่ 2.19 เป็นรูปแมกนีโตทรานซิสเตอร์ในแนวตั้ง

2.5.2 แมกนีโตทรานซิสเตอร์กระแสไหลแนวนอน (Lateral Magnetotransistor)

แมกนีโตทรานซิสเตอร์กระแสไหลแนวนอน (Lateral Magnetotransistor) ตรวจจับสนามแม่เหล็กแนวในแนวตั้งฉาก ซึ่งการเบี่ยงเบนของกระแสเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือแบบ modulation และ deflection ในโครงงานนี้ลักษณะการเลี้ยวเบนของกระแสคอลเลคเตอร์ เป็นแบบ deflection ซึ่งมีเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าลักษณะดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบกระแสไหลตามขวางที่ใช้หลักการหักของประจุพาหะ

จากรูปที่ 2.20 เป็นทรานซิสเตอร์ Drift-aided แบบคู่คอลเลคเตอร์ชนิด ซึ่งขาอิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองจะตั้งอยู่ในสารชนิดพี ซึ่งเป็นฮอลล์เฟลททาบาสชนิดพี จะเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กในแนวตั้ง และใช้โครงสร้างแบบไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมดไบอัสตรงซึ่งขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสตรงและขาเบสกับขาคอลเลคเตอร์ได้รับไบอัสกลับ ในช่วงที่ไม่มีสนามแม่เหล็กที่ขาอิมิตเตอร์จะฉีดพาหะผ่านเบสไปยังขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองเท่ากัน คือ I_{C1} จะเท่ากับ I_{C2} ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $I_C/2$ ซึ่ง I_C คือกระแสคอลเลคเตอร์รวมทั้งหมด เมื่อมีสนามแม่เหล็กในแนวตั้งจากการฉีดพาหะจากอิมิตเตอร์ถึงคอลเลคเตอร์ทั้งสองจากสมดุลไปเป็นไม่สมดุลเพราะแรงลอเรนส์ทำให้พาหะส่วนน้อยในเบสเกิดการเบี่ยงเบนทำให้ขาคอลเลคเตอร์ C1 และที่ขาคอลเลคเตอร์ C2 มีกระแสไหลไม่เท่ากันซึ่งเบสคอนเทคตา B1 กับ B2 จะเป็นสนามไฟฟ้าช่วยเร่งพาหะจากอิมิตเตอร์ไปถึงขาคอลเลคเตอร์ทั้งสอง ซึ่งเรานำความแตกต่างของขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองมาตรวจจับสนามแม่เหล็กซึ่งจะได้เป็น

$$\Delta I_C = I_{C1} - I_{C2}$$

$$\Delta I_C = K_g (\mu_p + \mu_n) B_z I_e \quad 2.52$$

โดยที่ K_g เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการไบอัสและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า อุปกรณ์ที่มีความบางและอุปกรณ์ที่มีความนำค่า $K_g \approx 0.7$ แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความไวในการตรวจจับแม่เหล็ก

$$S_R = (\mu_p^* + \mu_n^*)L/X \quad 2.53$$

$$\mu_p^* = r_p \mu_p$$

$$\mu_n^* = r_n \mu_n$$

L ระยะห่างระหว่างคอตลอคเตอร์และอิมิตเตอร์

X คือค่าพารามิเตอร์อยู่ในช่วง $x_{jm} < X < x_{jp}$

2.5.3 ผลของปรากฏการณ์ฮอลล์ในแมกนีโตทรานซิสเตอร์

แมกนีโตทรานซิสเตอร์รูปที่ 2.20 สมมติให้แมกนีโตทรานซิสเตอร์ทำงานโหมดไบอัสตรงมีสนามไฟฟ้าจาก B1 ไปยัง B2 มีกระแสไหลจากอิมิตเตอร์ไปคอตลอคเตอร์ในปริมาณเท่ากันเมื่อให้สนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้าฮอลล์

$$E_H = J_b \times B$$

J_b คือความหนาแน่นของกระแสรวมในเบส

2.5.3.1 ภายใต้เงื่อนไขการฉีดพาหะระดับต่ำ

$$R_H = \frac{r_n}{qn_b} \text{ สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด p-n-p}$$

และ

$$R_H = \frac{r_p}{qp_b} \text{ สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด n-p-n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ p_b และ n_b ความหนาแน่นของประจุพาหะบริเวณเบส ดังนั้นในบริเวณเบสเปรียบเสมือนฮอลล์เพลท

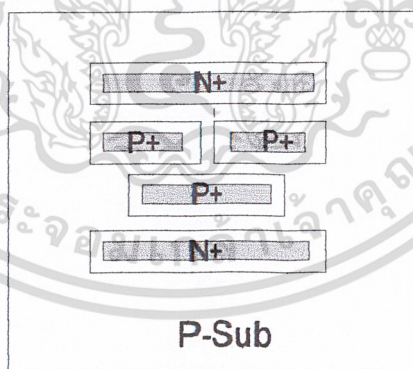
2.5.3.2 ภายใต้เงื่อนไขการฉีดพาหะระดับสูง ให้ประมาณ $p_b \approx n_b$ $r_n \approx r_p \approx 1$

$$R_H \approx (qp_b)^{-1} \left(1 - \frac{\mu_n^*}{\mu_p^*}\right) \left(1 + \frac{\mu_n^*}{\mu_p^*}\right)^{-1} \quad 2.54$$

การกระทำของสนามไฟฟ้าฮอลล์จะทำให้ประจุพาหะเกิดการเบี่ยงเบนซึ่งสามารถหามุมได้จาก

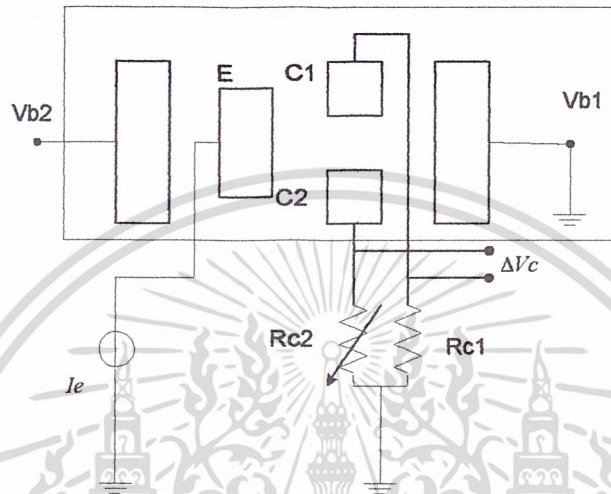
$$\theta = \arctan(\mu_n^* B) + \arctan(\mu_p^* B) \quad 2.55$$

ซึ่งในโครงงานนี้เราจะใช้ทรานซิสเตอร์แบบ P-N-P ซึ่งจากการออกแบบจะเปลี่ยนจากโครงสร้างแบบวงกลมเป็นสี่เหลี่ยมจะได้อัศจรรย์



รูปที่ 2.21 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การไบอัสให้กับแมกนีโตทรานซิสเตอร์

จากรูปจะเห็นว่าขนาดของคอลเลคเตอร์ C1 และ C2 จะต้องเท่ากันและ สมมาตรกันด้วย เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กจะทำให้กระแสคอลเลคเตอร์เท่ากันทำให้แรงดันตกคร่อม Rc1 กับ Rc2 เท่ากันทำให้ $\Delta V = 0$ แต่เมื่อมีสนามแม่เหล็กกระแสที่ไหลจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเลคเตอร์ทั้งสองจะเกิดการเบี่ยงเบนทำให้กระแส Ic1 ไม่เท่ากับ Ic2 ทำให้เกิด ΔV ขึ้น ซึ่ง ΔV จะเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กที่รับเข้ามา ความยาวของจิ้นสารอิมิตเตอร์ต้องครอบคลุมจิ้นสารคอลเลคเตอร์ทั้งสองต้องเท่ากัน และขาเบสทั้งสองต้องมีความยาวครอบคลุมจิ้นส่วนอุปกรณ์ทุกจิ้นเพื่อให้สนามไฟฟ้าที่ไบอัสให้กับขา B1 และ B2 ครอบคลุมทุกจิ้นของอุปกรณ์ ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบคือระยะห่างระหว่างขาอิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองระยะห่างนี้สำคัญถ้าระยะห่างมากเกินไปทำให้การฉีดพาหะจากขาอิมิตเตอร์จะ ไปไม่ถึงคอลเลคเตอร์ทั้งสองจึงทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานและระยะนี้ควรอยู่ในช่วงประมาณประมาณ $10-20 \mu m$ พารามิเตอร์ที่สำคัญคือระยะห่างระหว่างขา C1 กับ C2 คือระยะที่เบี่ยงเบนของพาหะส่วนน้อยในเบสไปยังขา C1 และ C2 ระยะห่างมากเกินไปจะไม่เบี่ยงเบนกระแสไปยังขา C1 และ C2 ค่าจะอยู่ในช่วงประมาณ $10-20 \mu m$ ด้วยเช่นกัน

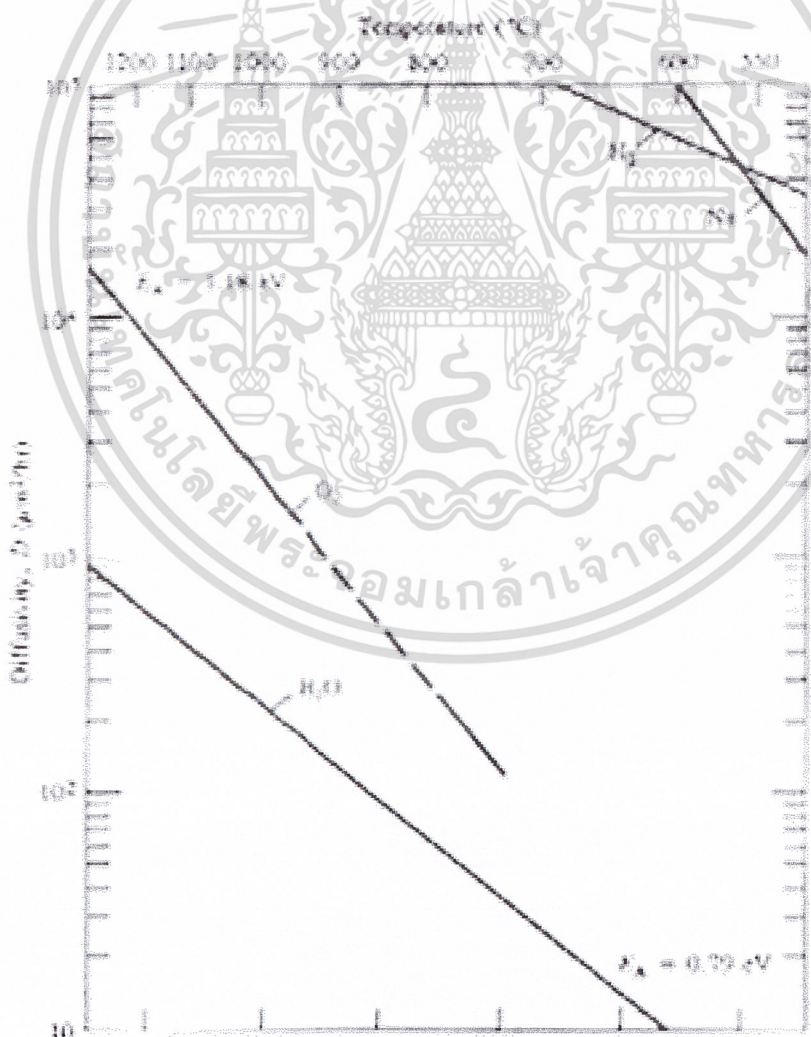
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและกระบวนการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

3.1 กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation)

โดยปกติทั่วไปแล้วขณะ อุณหภูมิห้องก็ จะสามารถเกิดออกไซด์ (Oxide) บนผนังซิลิกอน ได้ อยู่แล้ว แต่จะสามารถควบคุม ความหนาของชั้นออกไซด์ บนผิวซิลิกอน ได้ โดยการให้ความร้อนแก่น้ำ ด้วยอุณหภูมิสูงๆราว 900 ถึง 1200°C ภายในนั้นจะเต็มไปด้วย ออกซิเจนบริสุทธิ์ หรือไอน้ำ โดยทั้งไอน้ำและออกซิเจน ก็จะติดอยู่ที่ แผ่นซิลิกอนเกิดการรวมตัว กับซิลิกอนเป็น ซิลิกอน ไดออกไซด์ เขียนเป็นสูตรปฏิกิริยาทางเคมีได้ดังนี้

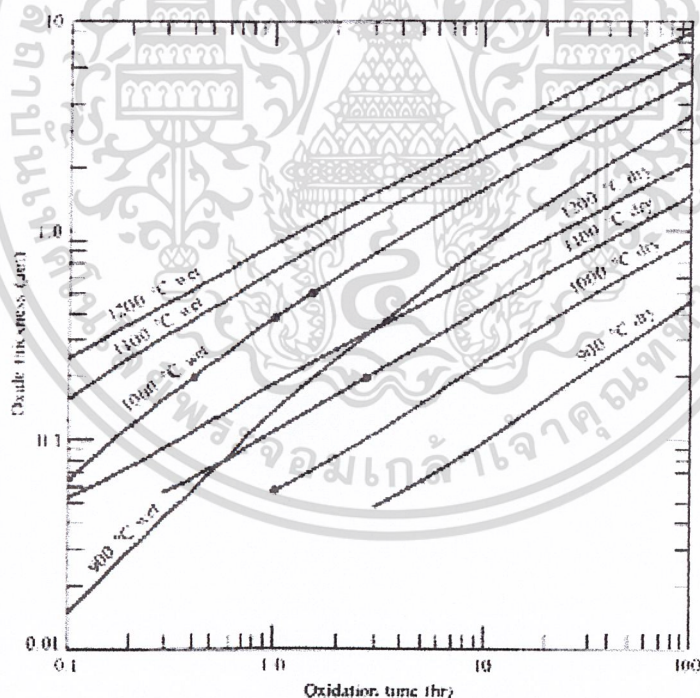


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงการเกิดออกไซด์ เปรียบเทียบกันระหว่างไอน้ำ และ ออกซิเจน ที่อุณหภูมิต่างๆ ในการเกิดออกไซด์ จะทำไปเพื่อให้มันป้องกันการแพร่ของสารเจือในที่ไม่ต้องให้สารเจือแพร่เข้าไปได้ การออกซิเดชัน จะมี 2 แบบดังนี้

1.การออกซิเดชันแบบแห้ง (Dry Oxidation) โดยการปล่อยก๊าซออกซิเจนเข้าไปในจุดแก้วซึ่งบรรจุน้ำบริสุทธิ์ไว้ในจุดแก้วนี้จะถูกทำให้ร้อนขึ้นแต่ต่ำกว่าจุดเดือด ท่อก๊าซออกซิเจนจะจมอยู่ในน้ำบริสุทธิ์ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศผุดขึ้นซึ่งฟองอากาศนี้คือ ก๊าซออกซิเจนซึ่งอิ่มตัวแล้วจะถูกส่งผ่านไหลเข้าไปในท่อควอดซ์ของเตาเพื่อทำการออกซิเดชัน การทำออกซิเดชัน แบบนี้จะ ได้ชั้นออกไซด์ ที่มี ความหนาแน่นของอะตอม(Atom) สูงแต่จะเกิด ได้ช้าและเป็นชั้นบางๆ

2.การออกซิเดชันแบบชื้น (Wet Oxidation) โดยการทำให้ก๊าซไฮโดรเจน เกิดการสันดาปกับ ออกซิเจนซึ่งเรียกว่า การเผาไหม้ของออกซิเจน และ ไฮโดรเจน จะมีไอน้ำเกิดขึ้น เมื่อไฮโดรเจน ได้รับความร้อนในบรรยากาศซึ่งมีก๊าซออกซิเจนปนอยู่ ก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจน ที่ปนอยู่นี้ จะถูกปล่อย ผ่านเข้าไปในท่อ ควอดซ์ของเตาเพื่อทำการออกซิเดชัน การเกิดออกซิเดชัน แบบนี้จะเกิดชั้นออกไซด์ ที่ หนาเร็วกว่าแบบแห้ง แต่ความหนาแน่นของอะตอมเกาะกันไม่แน่นเท่าการออกซิเดชันแบบแห้ง



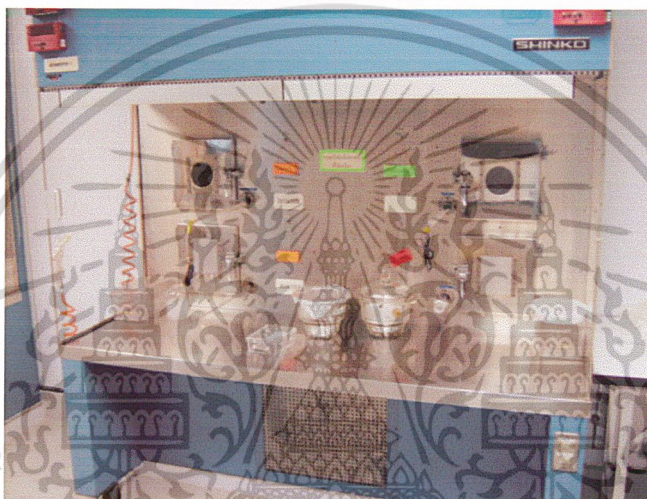
รูปที่ 3.2 แสดงอัตราการเกิดออกไซด์ของการทำออกซิเดชันแบบชื้นและแบบแห้ง บนแผ่นซิลิกอนระนาบ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าการเกิดออกไซด์ ต่อเวลาเพื่อที่สามารถกำหนดความหนาของชั้นออกไซด์ได้ตามต้องการ

ขั้นตอนการทำออกซิเดชัน (Oxidation process)

เตรียมแผ่นซิลิกอน โดยต้องทำความสะอาดแผ่นให้สะอาดเสียก่อน จากนั้นวางลงบน โป๊ต (Boat) แล้วใส่เข้าไปในท่อควอตซ์โดยใช้ท่อกลมเรียกว่าที่ทำด้วยควอตซ์ใช้ในการดันโป๊ตอย่างช้าๆเพื่อไม่ให้แผ่นซิลิกอนแตกเพราะจะเจอกับอุณหภูมิที่สูงเกินไป จากนั้นค่อยดันโป๊ตจนถึงตรงกลางของเตาในการทำออกซิเดชันความหนาของชั้นออกไซด์ จะขึ้นอยู่กับเวลาและแบบในการทำออกซิเดชันด้วย



รูปที่ 3.3 แสดงเตาที่ใช้ในกระบวนการทำออกซิเดชัน

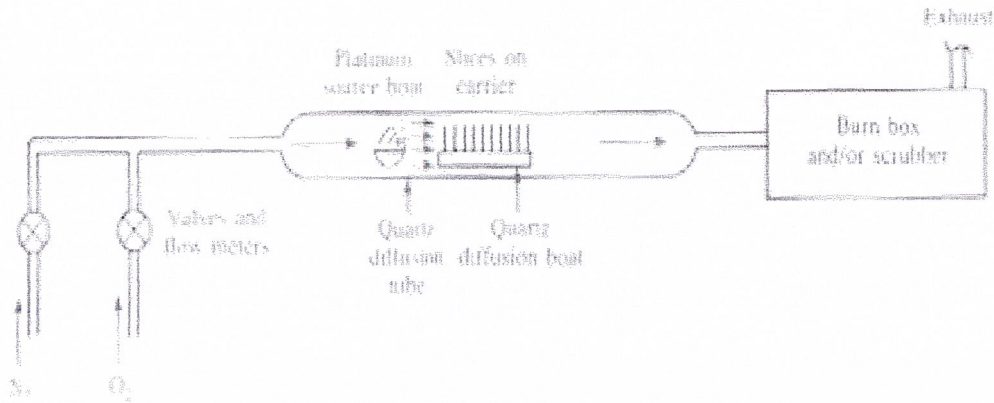
3.2 กระบวนการโตบสารเจือด้วยกระบวนการแพร่ (Diffusion)

การแพร่สารเจือเป็นกระบวนการสร้างรอยต่อพี-เอ็น อีกแบบหนึ่ง โดยใช้สารเจือที่มีสภาพเป็นไอก๊าซแพร่เข้าไปแทรกในแผ่นซิลิกอนเกิดเป็นสารกึ่งตัวนำตามชนิดของสารเจือที่นำมาแพร่ใส่ซิลิกอนนั้นๆในกระบวนการแพร่มีอยู่ 2 ขั้นตอนดังนี้

1. **ปรีดีโพสิชัน (Pre-deposition)** เป็นกระบวนการ การแพร่สารเจือขั้นต้น ซึ่งจะแพร่เข้าไปในซิลิกอนเพียงชั้นๆเท่านั้น(ที่ผิวของซิลิกอน) แต่จะเป็นตัวกำหนดและควบคุมปริมาณสารเจือที่จะเข้าไปในแผ่นซิลิกอน

2. **การขับลึก (Drive-in)** เป็นกระบวนการการแพร่ขั้นต่อมาจากการปรีดีโพสิชัน เพื่อให้สารเจือแพร่เข้าไปในซิลิกอนให้ลึกกว่าเดิมและควบคุมลักษณะการกระจายของสารเจือที่แพร่เข้าไปในผลึกซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



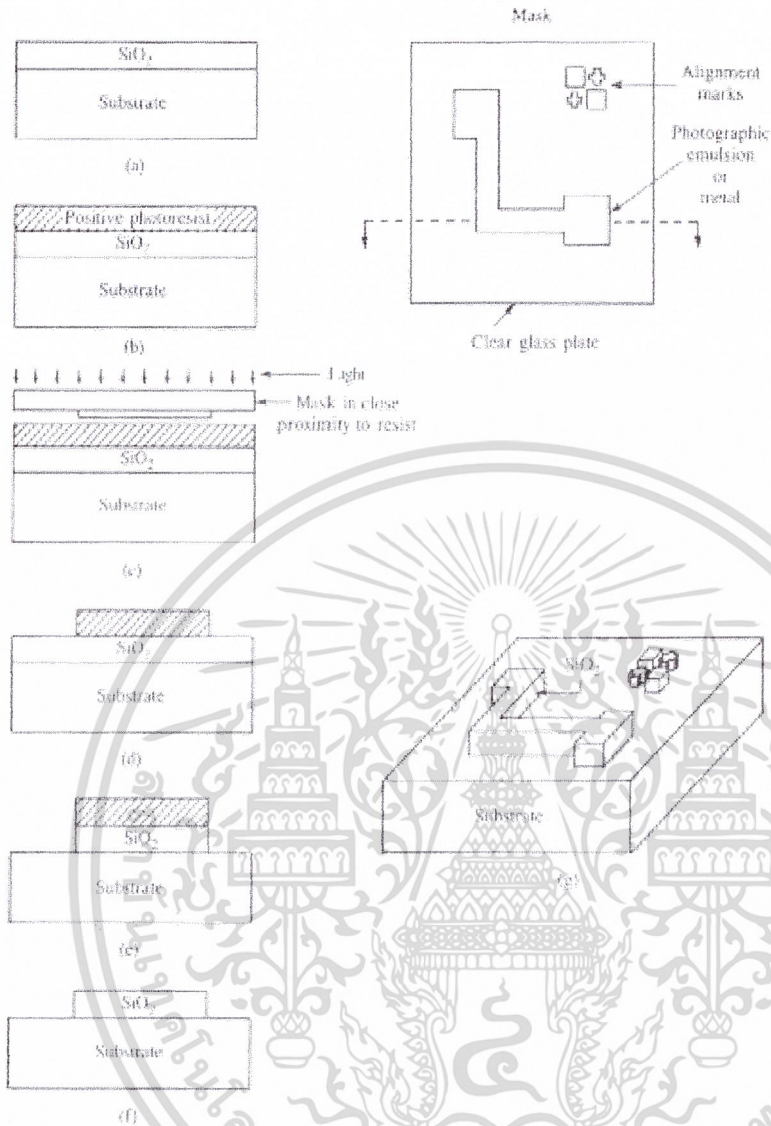
รูปที่ 3.4 แสดงการแพร่โดยใส่แผ่นซิลิกอนเข้าไปในเตาแพร่สารเจือ

โดยสารเจือที่จะนำมาแพร่ลงบนแผ่นซิลิกอนเรียกว่า แผ่นซอส (Source) ซึ่งปริมาณความหนาแน่นของสารเจือที่โตบเข้าจะไปจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนและช่วงระยะเวลาที่ทำการแพร่ในกระบวนการ ปรีดีโพซิชัน ใช้ที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ เวลา 10 นาที และทำการขับเคลื่อน ที่ $1200^{\circ}C$ ในเวลา 3 นาที

3.3 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithographic process)

เป็นวิธีการนำมาร์ค (Mask) ที่ตัดเป็นลวดลายตามที่ต้องการแล้วทำให้ลวดลายนั้นลงไปอยู่บนแผ่นซิลิกอน โดยจะเป็นวิธีการที่ทำเป็นแบบพิมพ์ด้วยการถ่ายรูปที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง การที่ลวดลายของมาร์ค จะปรากฏบนแผ่นซิลิกอนจะต้องใช้น้ำยาไวแสง (Photoresist) เคลือบผิวแผ่นซิลิกอนเสียก่อนจากนั้นถ่ายมาร์คด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ที่มีความเข้มสูง จึงนำแผ่นที่ถ่ายด้วยมาร์คเสร็จแล้ว ไปสกัดน้ำยาไวแสงด้วยสารเคมี ซึ่งถ้าหากเป็นน้ำยาไวแสงชนิดลบ (Negative Photoresist) ที่โดนแสงน้ำยาไวแสงจะไม่ถูกสกัดออกแต่ถ้าเป็นน้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive Photoresist) ส่วนโดนแสงน้ำยาไวแสงจะละลายถูกสกัดออกได้โดยง่าย จากนั้นสกัดชั้นออกไซด์สุดท้ายก็จะเป็นการลอกฟิล์มที่เคลือบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography)

- a) แผ่นซิลิกอนที่ทำออกไซด์แล้ว
- b) เคลือบน้ำยาไวแสงที่ผิวของแผ่นซิลิกอน
- c) ถ่ายมาร์ค ด้วยแสงอัลตราไวโอเลตความเข้มสูง
- d) การล้างน้ำยาไวแสงด้วยน้ำยาล้าง
- e) สกัดชั้นออกไซด์ออก
- f) ลอกฟิล์มที่น้ำยาไวแสงเคลือบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ฟิล์มดีโพสิชัน (Film Deposition)

ในกระบวนการสร้างจะประกอบด้วยหลายๆขั้นตอนในแต่ละฟิล์มบางๆนั้นจะมีส่วนประกอบที่หลากหลายที่วางบนแผ่นซิลิกอน ซึ่งวิธีการในทีนี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการอีวาโปเลชัน (Evaporation)

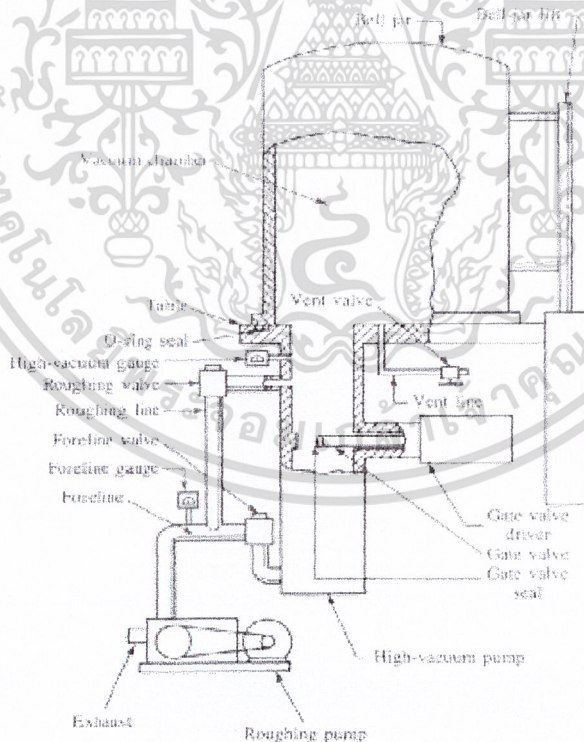
3.5 การทำอีวาโปเลชัน (Evaporation process)

เป็นวิธีการที่ใช้กันมานานแล้วในการเคลือบโลหะเป็นฟิล์มโดยให้ความร้อนแก่ลูมิเนียมจนระเหยกลายเป็นไอจนไปเคลือบที่แผ่นซิลิกอนเป็นฟิล์มบางๆโดยจะมีขั้นตอนคร่าวๆดังนี้

1. นำแผ่นซิลิกอนที่ทำความสะอาดแล้วใส่เข้าไปในครอบแก้วสุญญากาศที่ดูอากาศได้ค่าความดันตามต้องการแล้ว

2. นำลูมิเนียมวางลงบนเส้นลวดความร้อนซึ่งอาจเป็นลวดทั้งสแตนเรียกว่า โป้ต (Boat) แล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจนลูมิเนียมระเหยกลายเป็นไอกระจายไปทั่วจนเคลือบที่แผ่นซิลิกอน

3. เมื่อเคลือบได้ความหนาตามต้องการแล้วซึ่งคิดตามเวลาและความดันภายในแคลมเบอร์ (Chamber) โดยสามารถควบคุมได้ โดยการเติมก๊าซในโตรเจนเหลวเพื่อควบคุมสภาวะความร้อน



รูปที่ 3.6 แสดงหลอดสุญญากาศที่ใช้ในกระบวนการเคลือบโลหะในสุญญากาศ (Evaporation)

ซึ่งประกอบด้วย Vacuum Chamber, roughing pump, high-vacuum pump,

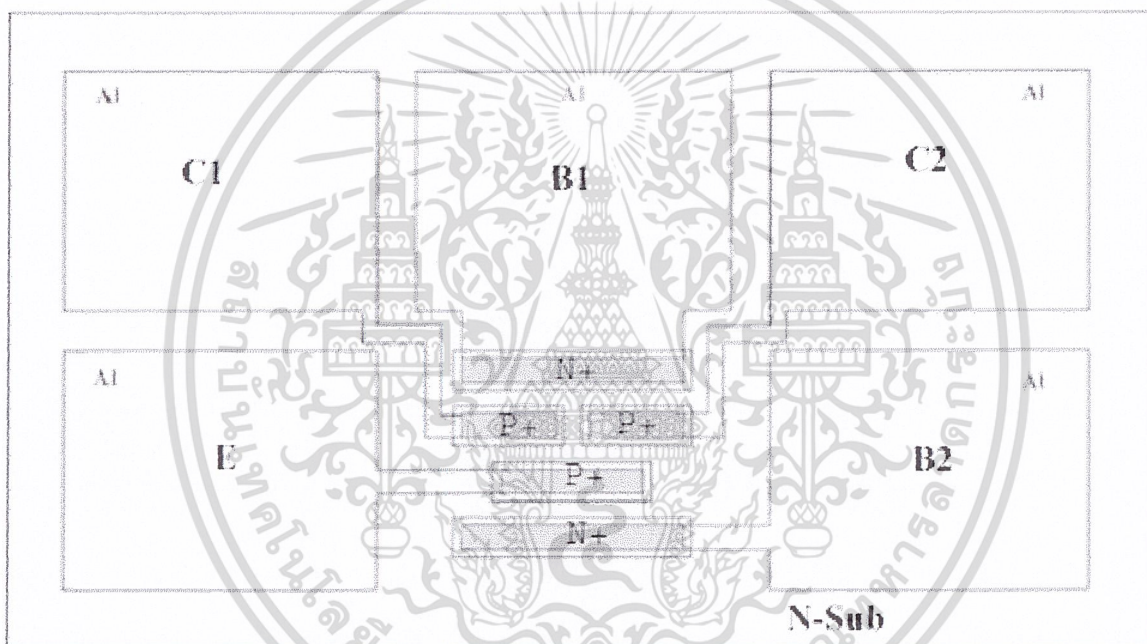
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรและไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรและไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์

4.1 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์

ในปริภูมิตฤษฎีนี้ เป็นชนิดกระแสไหลตาขวาง (Lateral magnetotransistor) ใช้โครงสร้างแบบไบโพลาร์ มีขาคอลเล็กเตอร์สองขา (Dual collector Bipolar Magnetotransistor) เบสสองขาและหนึ่งอิมิตเตอร์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ที่ออกแบบสร้าง

C1, C2 ชั้นสารคอลเล็กเตอร์สองชั้น ขนาดเท่ากัน แยกออกจากกัน (Dual collector) ในสถานะปกติ (ไม่มีสนามแม่เหล็ก) กระแสที่ไหลผ่านชั้นสารทั้งสองมีปริมาณเท่ากัน เมื่อมีสนามแม่เหล็กตัดผ่านกระแส ตั้งฉากกับ ทิศทางการไหลของกระแส แรงลอเรนซ์ (Lorentz force) จากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effects) เบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแส ทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านชั้นสารคอลเล็กเตอร์ทั้งสองชั้น (Dual collector) จะมีปริมาณไม่เท่ากัน ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมากจะทำให้ปริมาณความแตกต่างกระแสระหว่างชั้นสารคอลเล็กเตอร์ทั้งสอง (Dual collector) มีค่ามากขึ้นด้วยอัตราค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างระหว่างชั้นสารคอลเลกเตอร์ทั้งสอง(Dual collector) ก็มีผลต่อการเบี่ยงเบนกระแสด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าระยะห่างระหว่างชั้นสารทั้งสองมาก ก็จะต้องใช้ปริมาณความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมาก ในการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแส

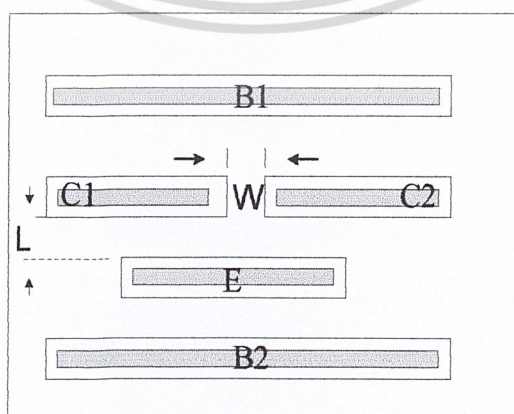
E ชั้นสารอิมิตเตอร์(Emitter) มีความยาวที่คาบเกี่ยวระหว่างชั้นสารคอลเลกเตอร์ทั้งสอง (Dual collector)เท่ากันทำให้ สภาวะปกติพาหะจะถูกฉีดจากอิมิตเตอร์ผ่านไปยังคอลเล็กเตอร์ทั้งสองชั้น (Dual collector)ในปริมาณเท่ากัน ระยะห่างระหว่างชั้นสารอิมิตเตอร์กับคอลเล็กเตอร์ทั้งสองชั้น มีผลกับประสิทธิภาพการฉีดพาหะ เนื่องจากโครงสร้างของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ออกแบบมี ระยะห่างระหว่างชั้นสารอิมิตเตอร์กับคอลเลกเตอร์มาก จึงจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการฉีดพาหะ โดยการไบอัส B1,B2 เพื่อให้สนามไฟฟ้าที่เกิดจากการไบอัส B1,B2 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฉีดพาหะของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

B1,B2 ชั้นสารเบสสองชั้น(Base) เป็นตัวไบอัสเสริมเพิ่มประสิทธิภาพการฉีดพาหะ โดยให้สนามไฟฟ้าที่เกิดจากการไบอัส ช่วยในการฉีดพาหะ การออกแบบชั้นสารเบส ต้องให้มีความยาวครอบคลุมชั้นสารทุกชั้นสารของอุปกรณ์ เพื่อให้สนามไฟฟ้าที่ได้จากการไบอัส B1,B2 ครอบคลุมชั้นสารทุกชั้นสารของอุปกรณ์

เพลท(Plate) ขั้วอลูมิเนียมสำหรับต่อวัดทดสอบอุปกรณ์ ออกแบบให้มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่สะดวกเพื่อความคล่องตัวในการตรวจวัดทดสอบ

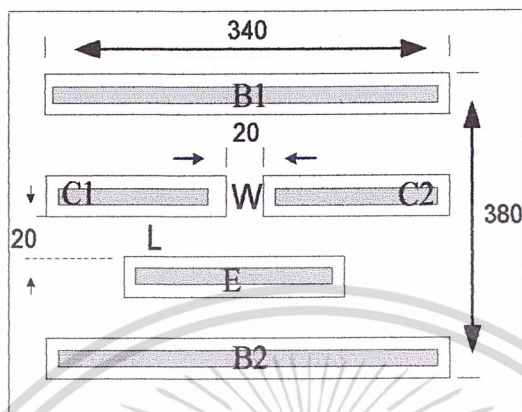
3.2 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์

ในการออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์นอกจากออกแบบให้ทำงานได้แล้ว ยังมีความจำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติอื่นๆของแมกนีโตทรานซิสเตอร์อีกด้วย ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์บางตัว พารามิเตอร์สำคัญๆได้แก่ ระยะห่างระหว่าง C1,C2และคอลเล็กเตอร์ทั้งสองกับ อิมิตเตอร์ ซึ่งซึ่งต่อไปนี้จะให้นิยามเป็นL และระยะห่างระหว่าง C1 กับ C2 นิยามว่าเป็นระยะห่าง W มีรายละเอียดดังนี้

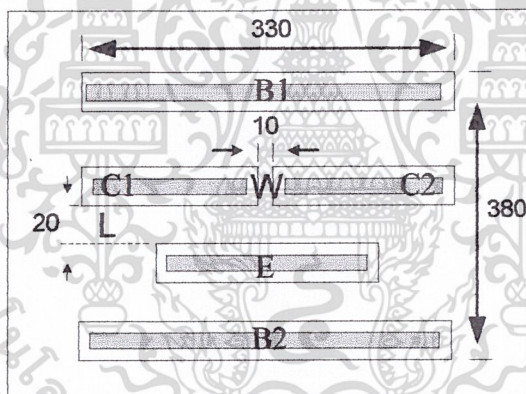


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 แสดงภาพแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีความกว้าง W และมีความยาว L
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติเห็นตรงกันแล้วว่าเอกสารนี้จะต้องใช้ของเอกสารทุกชิ้นที่มีการนำไปใช้

เพื่อศึกษาผลกระทบกับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อระยะ W ของชั้นสาร $20 \mu m$ และระยะ L ของชั้นสารยาว $20 \mu m$ เป็นพารามิเตอร์ตัวแรกที่ได้ออกแบบมาร์คไว้



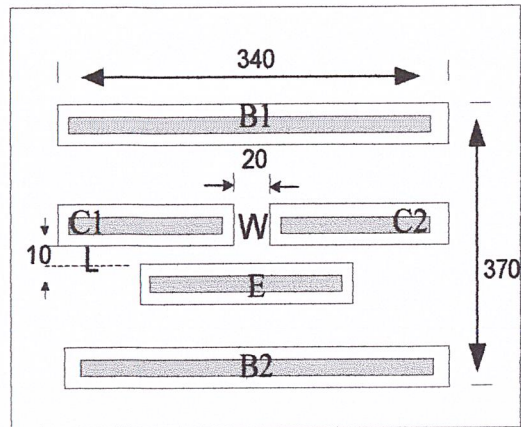
รูปที่ 4.3 พารามิเตอร์แรกให้ระยะ $W=20 \mu m$ และ ระยะ $L=20 \mu m$



รูปที่ 4.4 พารามิเตอร์ระยะ $W=10 \mu m$ และ ระยะ $L=20 \mu m$

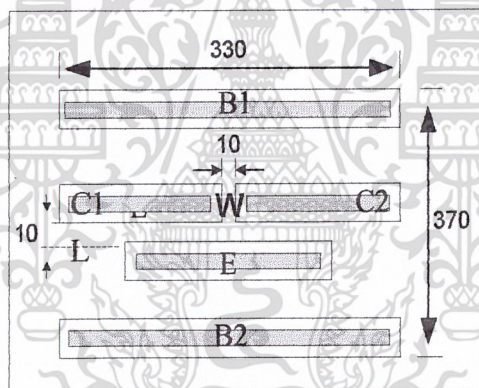
ทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ระยะ $W=10 \mu m$ ดังรูป 4.4 โดยระยะ L เท่ากับ $20 \mu m$ คงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 พารามิเตอร์ระยะ $W=20 \mu m$ และ ระยะ $L=10 \mu m$

ทำการปรับเลี่ยนระยะ $L=10 \mu m$ โดยระยะ W ยังคงเท่าเดิมคือ $20 \mu m$ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6 พารามิเตอร์ระยะ $W=10 \mu m$ และ ระยะ $L=10 \mu m$

จากรูปที่ 4.5 ระยะ $W=10 \mu m$ ที่ระยะ $L=10 \mu m$ ซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์สุดท้าย

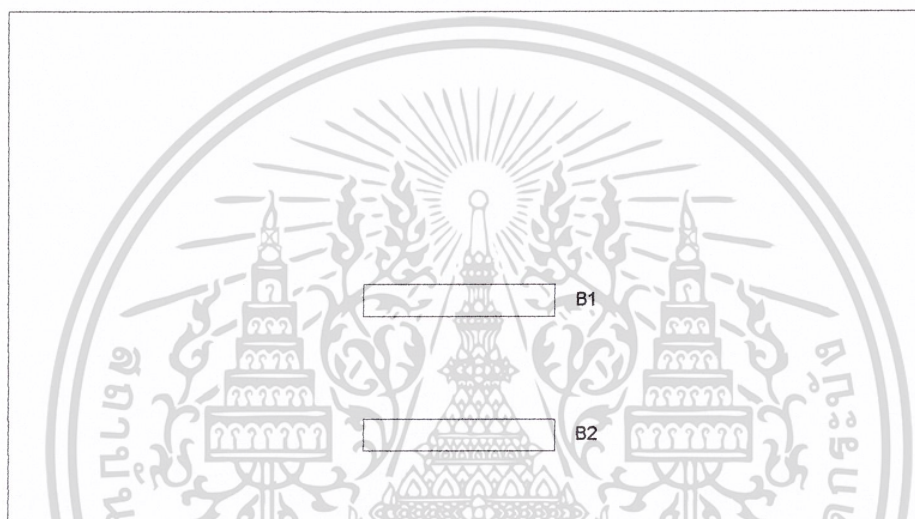
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบมาส์ค

จากโครงสร้างที่ออกแบบ นำมาเขียนมาส์คเพื่อนำไปสร้าง สี่มาส์คซึ่งมี รายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 มาส์คเบส

เป็นมาส์คชั้นสารชนิด N+ สองชั้น วางอยู่ตำแหน่งบนสุดและล่างสุด ทั้งสองชั้นมีความยาวและความกว้างเท่ากัน

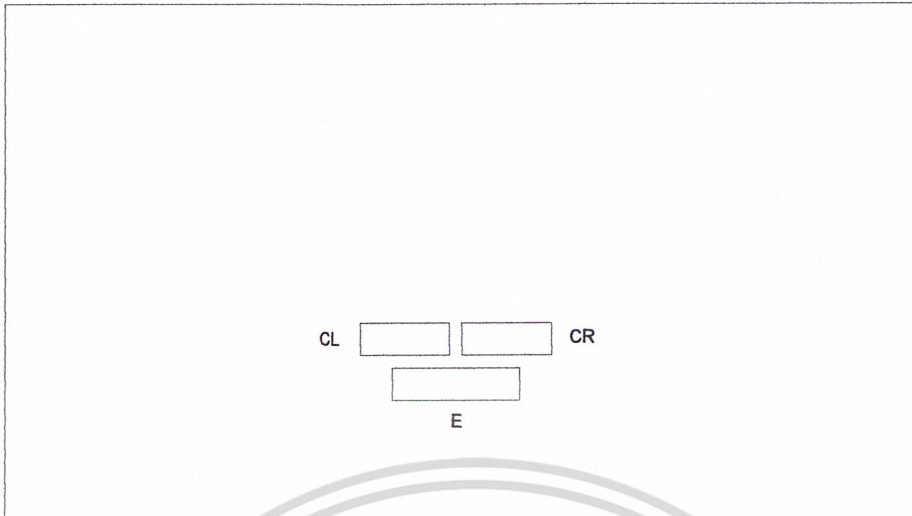


รูปที่ 4.7 มาส์คที่ 1 มาส์คเบส

3.3.2 มาส์คคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์

เป็นมาส์คชนิด P+ สามชั้น คอลเลคเตอร์สองชั้น อิมิตเตอร์หนึ่งชั้น ทั้งสามชั้นวางอยู่ระหว่างเบสทั้งสอง โดยที่มาส์คของคอลเลคเตอร์ทั้งสองชั้นมีขนาดเท่ากัน วางคาบเกี่ยวอิมิตเตอร์ในแนวนอนเท่าๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 มาส์คที่ 2 มาส์คคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์

4.3.3 มาส์ควินโดว์ เป็นมาส์ค

เปิดขึ้นสารทุกชั้นสัมพันธ์กับอลูมิเนียมเพื่อต่อวัดทดสอบ ตำแหน่งของ มาส์คจะอยู่ใน
ชั้นสารทุกชั้นสาร

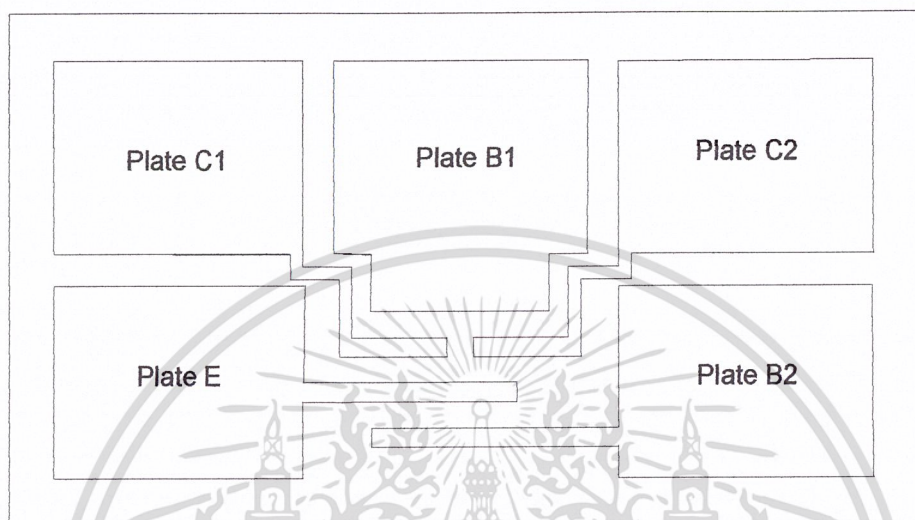


รูปที่ 4.9 มาส์ควินโดว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 มาตรฐานอูมิเนียม

เป็นมาตรฐานสำหรับต่อวัดทดสอบเพื่อให้เกิดความสะดวกจึงออกแบบให้มีขนาดใหญ่ที่สุบบนพื้นที่ที่เหลือ



รูปที่ 4.10 มาตรฐานอูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

กระบวนการสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์

เมื่อทำการถ่ายมาร์คเรียบร้อยแล้วจะมีวิธีการสร้างดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมแผ่นซิลิกอนและการเช็กคุณสมบัติ

- * แผ่นซิลิกอนชนิดเอ็นระนาบ (100)
- * พิกัดความต้านทาน $2 - 4 \Omega - \text{cm}$
- * ความหนา $400 \mu\text{m}$



2. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน ครั้งแรก

- * Ultrasonic ในน้ำบริสุทธิ์ (Deionized Water) 2 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- * ต้มในกรด HNO_3 10 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน แบบมาตรฐาน

- * ต้มใน Trichloethylene 5 นาที
- * Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

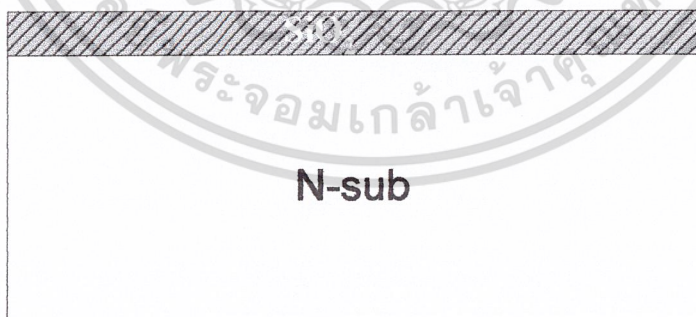
4. การ Slice etching

- * จุ่มในสารละลาย HF 5% 10 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

5. กระบวนการออกซิเดชัน

- * Dry Oxidation ด้วย O_2 1200 cc/min 3 ชั่วโมง
- * Wet Oxidation ด้วย O_2 1000 cc/min 1 ชั่วโมง
- * Dry Oxidation ด้วย O_2 1200 cc/min 2 ชั่วโมง

ใช้อุณหภูมิเตา 1150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำ 90 องศาเซลเซียส

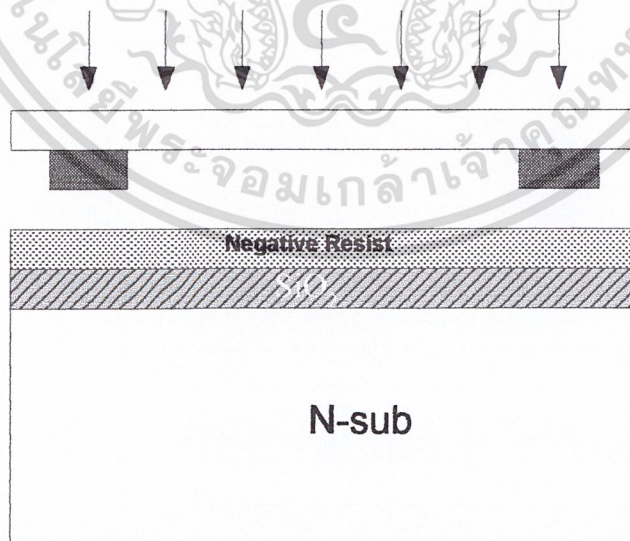


รูปที่ 5.2 แผ่นซิลิกอนชนิดพีหลังผ่านการออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาส์คที่ 1 (Base)

- * อบแผ่นไล่ความชื้นที่ 120 °C 30 นาที
- * เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (way coat) spin 5000 rpm
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 30 นาที (prebake)
- * Alignment Expose
- * Develop ฟิล์ม โดย
 - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่หนึ่ง 90 วินาที
 - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่สอง 90 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่หนึ่ง 30 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สอง 30 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สาม 30 วินาที
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
 - จุ่มเป่าให้แห้งด้วย N₂
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 20 นาที (post bake)
- * เคลือบฟิล์มด้านหลัง
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 30 นาที



รูปที่ 5.3 แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาส์คที่ 1

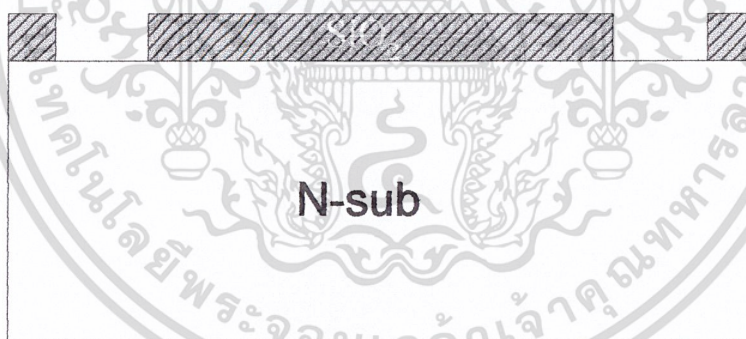
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การใช้สารละลายกัดชั้นออกไซด์ (Oxide Etching)

- * จุ่มในน้ำสารละลาย Buffer
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

8. กระบวนการลอกฟิล์ม

- * ต้มใน $H_2 SO_4$ แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มใน $H_2 SO_4$ แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2



รูปที่ 5.4 แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว

9. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน

- * ต้มใน Trichloroethylene 5 นาที
- * Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

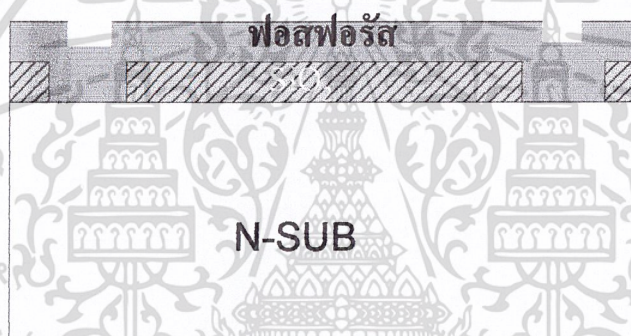
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. การ Slice etching

- * จุ่มในสารละลาย HF 5% 10 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

11. กระบวนการ Pre-deposition

- * Phosphorus deposition Temp 950 °C
- * เคลือบแผ่นด้วย ฟอสฟอรัสชนิดเหลวแล้ว สปิน 5000 รอบ/นาที
- * อบแผ่น 10 นาที ที่ 90 °C
- * deposit ด้วย N_2 700 cc/min 20 นาที



รูปที่ 5.5 การแพร่สารเจือ โบรอนชนิดเหลว

12. ลอกชั้น Phosphorus glass

- * จุ่มในสารละลาย HF 5%
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย

13. การทำความสะอาดผิวหน้า

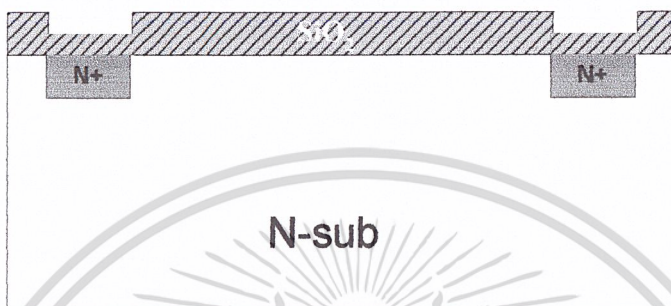
- * ต้มใน Trichloroethylene 5 นาที
- * Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. กระบวนการ Drive in

Boron drive in Temp 1100 °C

- * Dry ด้วย O₂ 1200 cc/min 20 นาที
- * Wet ด้วย O₂ 1000 cc/min 20 นาที
- * Dry ด้วย O₂ 1200 cc/min 20 นาที



รูปที่ 5.6 แผ่นซิลิกอนหลังการ ไดรฟ์อินแล้ว

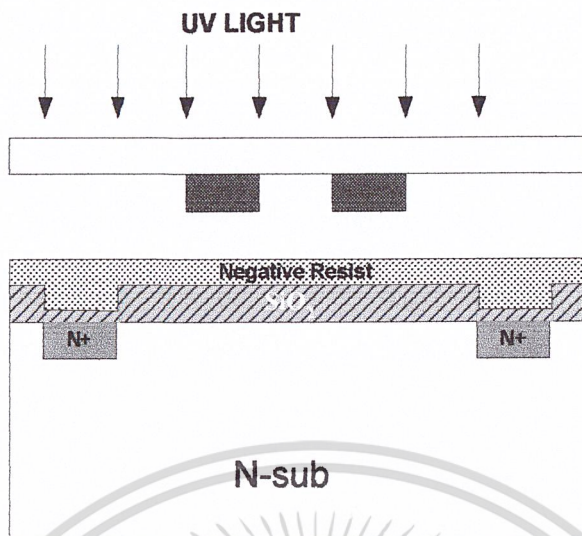
15. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาส์คที่ 2 (อิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์)

- * อบแผ่นไล่ความชื้นที่ 120 °C 30 นาที
- * เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (way coat) spin 5000 rpm
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 30 นาที (prebake)
- * Alignment Expose
- * Develop ฟิล์มโดย
 - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่หนึ่ง 90 วินาที
 - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่สอง 90 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่หนึ่ง 30 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สอง 30 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สาม 30 วินาที
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
 - เป่าให้แห้งด้วย N₂
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 20 นาที (post bake)

* เคลือบฟิล์มด้านหลัง

* อบฟิล์มที่ 95 °C 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุพิเศษและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาสก์ที่ 2

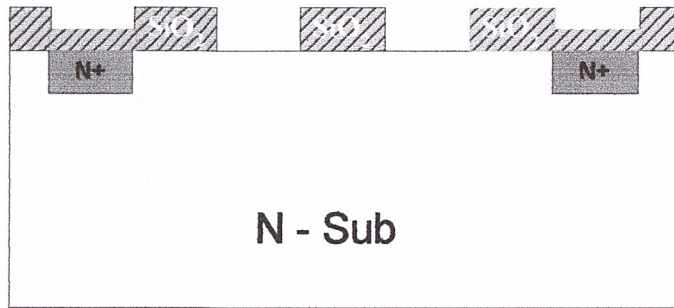
16. Oxide Etching

- * จุ่มในน้ำสารละลาย Buffer
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

17. กระบวนการลอกฟิล์ม

- * ต้มใน $H_2 SO_4$ แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มใน $H_2 SO_4$ แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว

18. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน

- * ต้มใน Trichloroethylene 5 นาที
- * Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

19. การ Slice etching

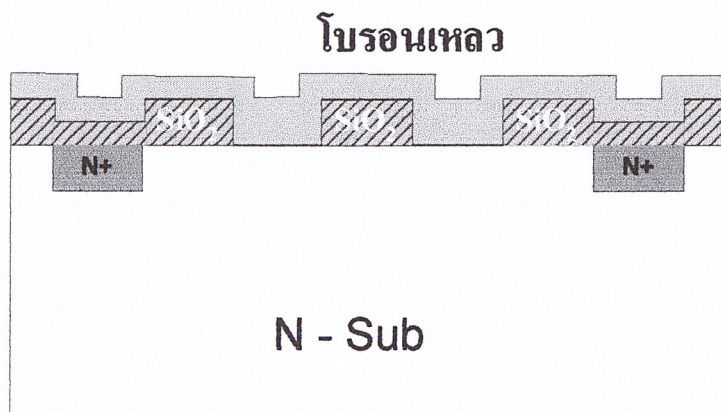
- * จุ่มในสารละลาย HF 5% 10 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

20 กระบวนการ Pre-deposition

Boron deposition Temp $950^{\circ}C$

- * เคลือบแผ่นด้วยฟอสฟอรัสชนิดเหลวแล้ว สปิน 5000 รอบ/นาที 10วินาที
- * อบแผ่น 10 นาที ที่ $90^{\circ}C$
- * Deposit ด้วย N_2 700 cc/min 20 นาที
- * สร้าง Boron glass ด้วย O_2 700 cc/min 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 การแพร่สารเจือฟอสฟอรัสชนิดเหลว

21 ลอกชั้น Boron glass

- * จุ่มในสารละลาย HF 5%
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

22. การทำความสะอาดผิวหน้า

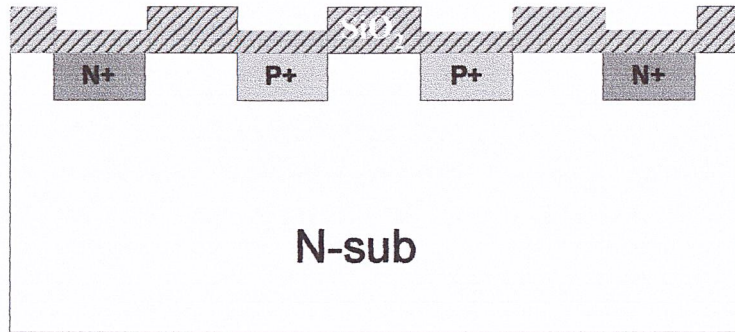
- * คัดใน Trichloroethylene 5 นาที
- * Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง

23. กระบวนการ Drive in

Phosphorus drive in Temp 1100 °C

- * Dry ด้วย O_2 1200 cc/min 30 นาที
- * Wet ด้วย O_2 1000 cc/min 30 นาที
- * Dry ด้วย O_2 1200 cc/min 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

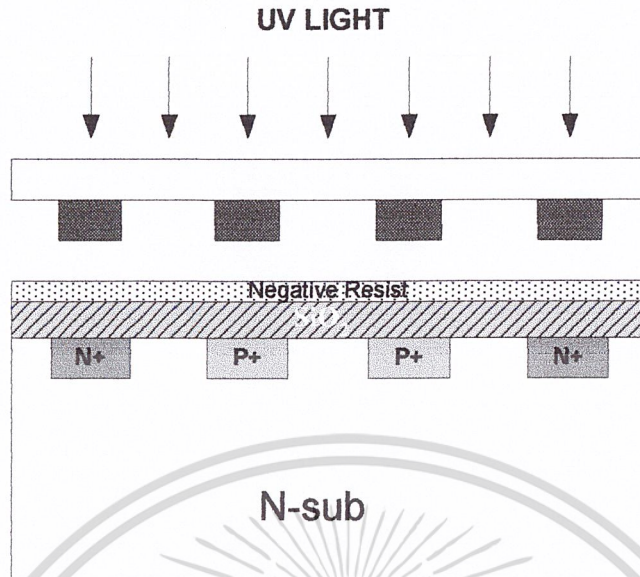


รูปที่ 5.10 แผ่นซิลิกอนหลังการโดรวินแล้ว

24. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาส์คที่ 3 (วินโดว์)

- * อบแผ่นไล่ความชื้นที่ 120 °C 30 นาที
- * เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (way coat) spin 5000 rpm
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 30 นาที (prebake)
- * Alignment Expose
- * Develop ฟิล์มโดย
 - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่หนึ่ง 90 วินาที
 - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่สอง 90 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่หนึ่ง 30 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สอง 30 วินาที
 - จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สาม 30 วินาที
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
 - เป่าให้แห้งด้วย N₂
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 20 นาที (post bake)
- * เคลือบฟิล์มด้านหลัง
- * อบฟิล์มที่ 95 °C 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาสค์ที่ 3

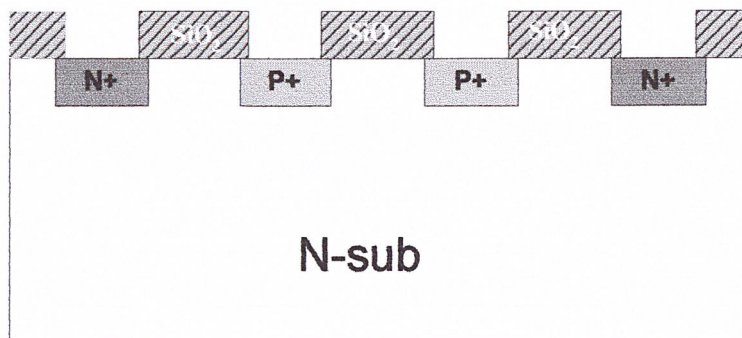
25. Oxide Etching

- * จุ่มในน้ำสารละลาย Buffer
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

26. กระบวนการลอกฟิล์ม

- * ต้มใน $H_2 SO_4$ แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มใน $H_2 SO_4$ แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

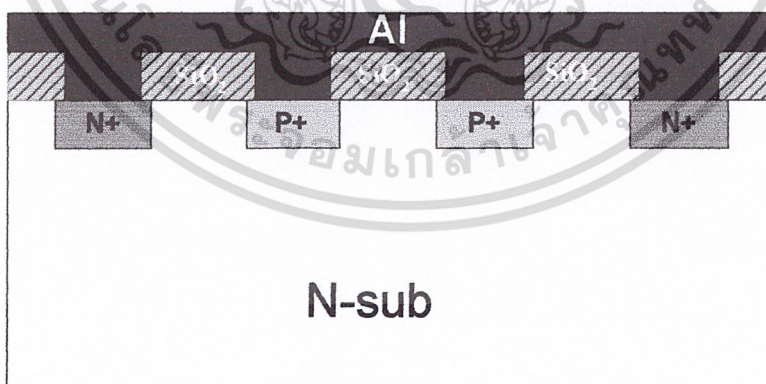


รูปที่ 5.12 แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว

27. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน

- * ดั้มใน Trichloroethylene 5 นาที
- * Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

28. การเคลือบชั้นอะลูมิเนียมในสุญญากาศด้วยเครื่อง Evaporator ที่ความดัน 1×10^{-6} Torr

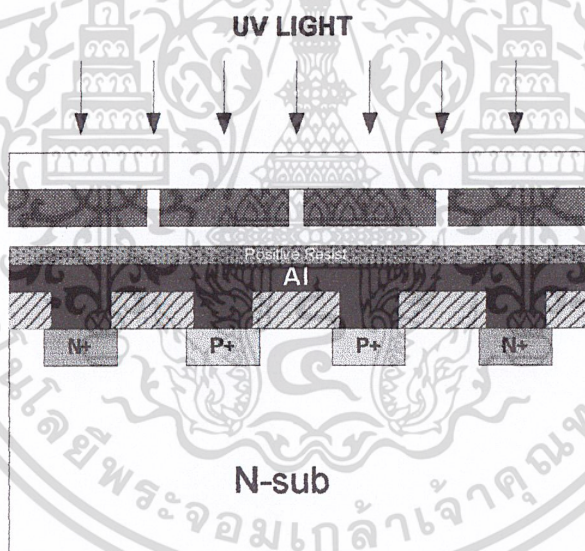


รูปที่ 5.13 หลังจากเคลือบอะลูมิเนียมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาส์คที่ 4 (ลดลายอะลูมิเนียม)

- * เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก (Az) spin 5000 rpm
- * อบฟิล์มที่ 85 °C 20 นาที (prebake)
- * Alignment Expose
- * Develop ฟิล์ม โดย
 - Az Developer แก้วที่หนึ่ง 30 วินาที
 - Az Developer แก้วที่สอง 30 วินาที
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
 - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
 - เป่าให้แห้งด้วย N₂
 - อบฟิล์มที่ 85 °C 20 นาที (post bake)



รูปที่ 5.14 แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาส์คที่ 4

30. การสกัดชั้นอะลูมิเนียม (Al Etching)

- * จุ่มลงในสารละลาย Al Etching ที่อุณหภูมิประมาณ 40 °C
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง

* เป่าให้แห้งด้วย N₂

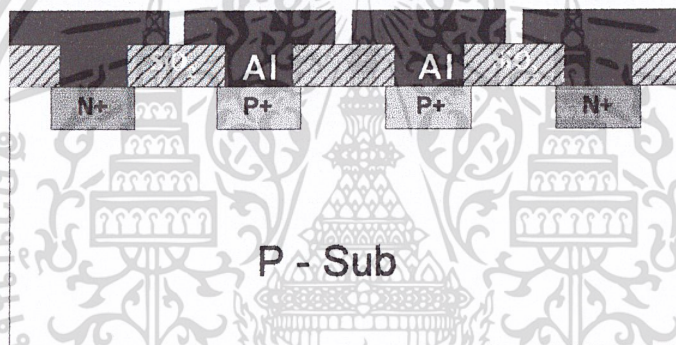
เอกสารนี้เป็นเอกสารหนึ่งซึ่งมีลิขสิทธิ์ของ N₂ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31. กระบวนการลอกฟิล์ม

- * จุ่มลงใน Acetone แก้วที่หนึ่ง 1 นาที
- * จุ่มลงใน Acetone แก้วที่สอง 1 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

32. กระบวนการ Sintering Temp 500 °C

- * Dry N_2 1000 cc/min 12 นาที



รูปที่ 5.15 แผ่นซิลิกอนหลังการซินเตอร์เรียบร้อยแล้ว

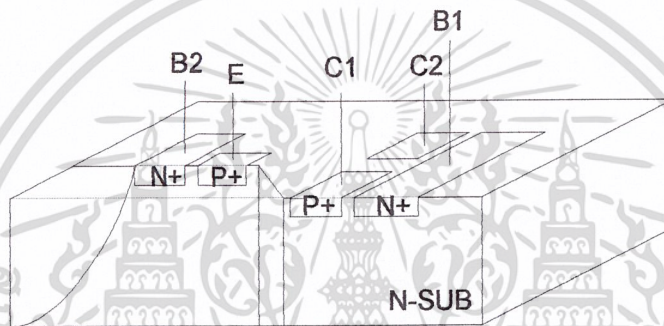
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การวัดคุณสมบัติของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

6.1 วัดคุณสมบัติรอยต่อ P-N ของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

การวัดคุณสมบัติรอยต่อ P- N ของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ เป็นการวัดทดสอบเบื้องต้น เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆของรอยต่อ P-N ได้เป็นไปตามทฤษฎีอย่างถูกต้องหรือไม่ ซึ่งสามารถที่จะบ่งบอกให้รู้ได้ว่าแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นดีหรือเสีย การตรวจสอบรอยต่อพีเอ็นในขั้นตอนนี้ใช้เครื่อง Transistor-Curve Tracer เป็นเครื่องมือวัดทดสอบ



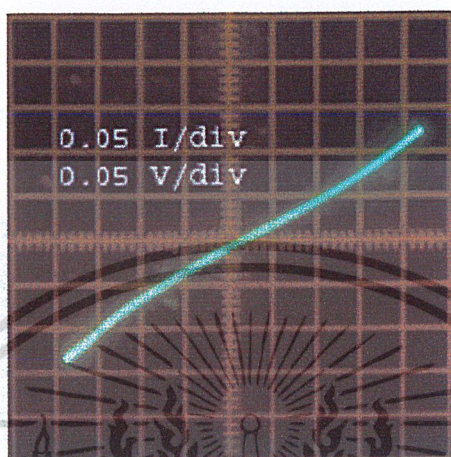
รูปที่ 6.1 แสดง โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่นำมาตรวจสอบวัดรอยต่อ

6.1.1 คุณสมบัติของรอยต่อพีเอ็นตรงจุดต่างๆของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ควรจะเป็นไปตามทฤษฎีรอยต่อพีเอ็น

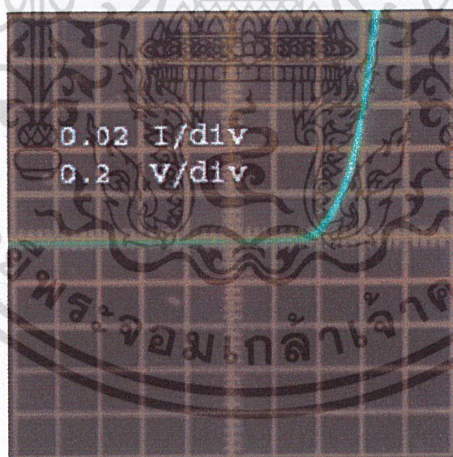
- รอยต่อ B1-B2 มีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทาน
- รอยต่อ B1-C1 มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อ P- N กราฟเป็นลักษณะการให้ไบอัสไดโอด
- รอยต่อ B1-C2 มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อ P- N กราฟเป็นลักษณะการให้ไบอัสไดโอด
- รอยต่อ B1-E มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อ P- N กราฟเป็นลักษณะการให้ไบอัสไดโอด
- รอยต่อ B2-C1 มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อ P- N กราฟเป็นลักษณะการให้ไบอัสไดโอด
- รอยต่อ B2-C 2 มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อ P- N กราฟเป็นลักษณะการให้ไบอัสไดโอด
- รอยต่อ B1-C2 มีคุณสมบัติเป็นรอยต่อ P- N กราฟเป็นลักษณะการให้ไบอัสไดโอด
- รอยต่อC1-C2 มีความต้านทานสูงมากเนื่องจากมีชั้นเอ็นชั้นกลาง
- รอยต่อC1-E มีความต้านทานสูงมากเนื่องจากมีชั้นเอ็นชั้นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ โดยใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 คุณสมบัติของรอยต่อพีเอ็นตรงจุดต่างของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งวัดจากเครื่องเทรเซอร์ กราฟที่วัดได้มีลักษณะต่างๆดังต่อไปนี้

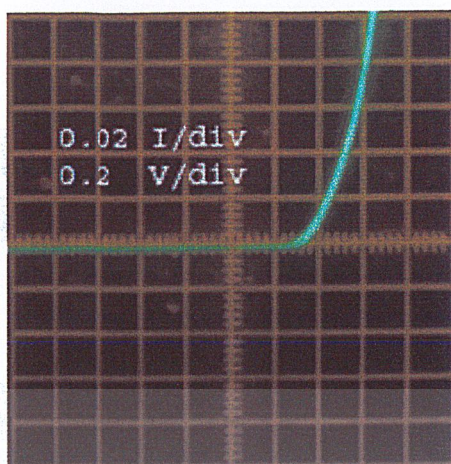


รูปที่ 6.2 แสดงผลการวัดรอยต่อ B1-B2

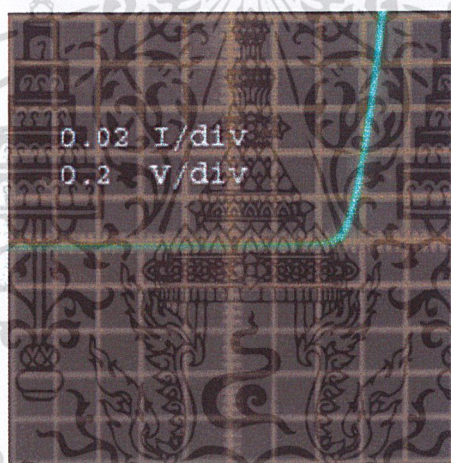


รูปที่ 6.3 แสดงผลการวัดรอยต่อ B1-C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

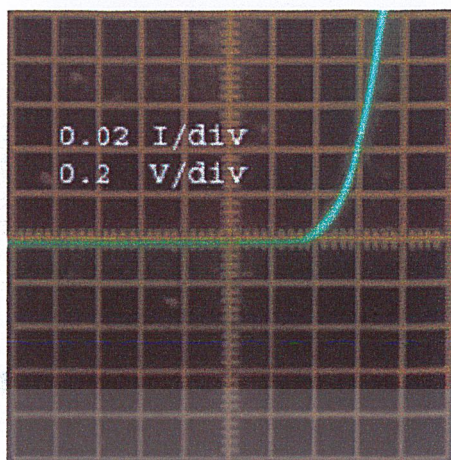


รูปที่ 6.4 แสดงผลการวัดรอยต่อ B1-C2

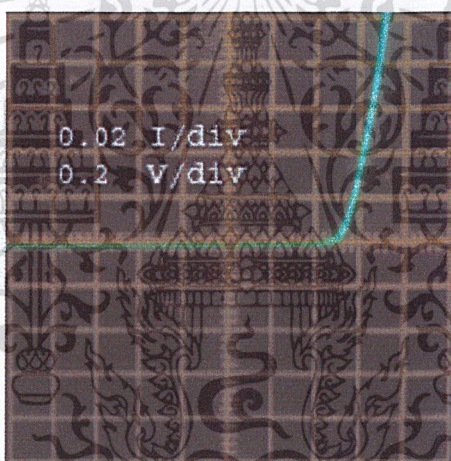


รูปที่ 6.5 แสดงผลการวัดรอยต่อ B1-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

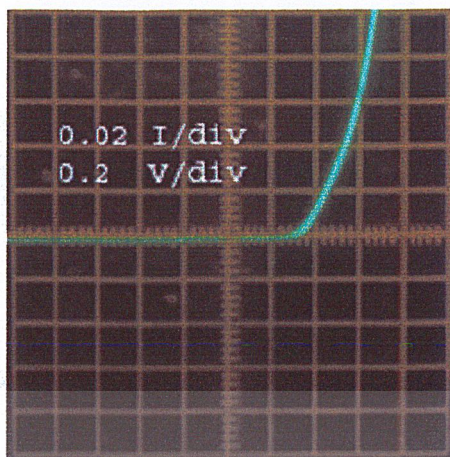


รูปที่ 6.6 แสดงผลการวัดรอยต่อ B2-C1

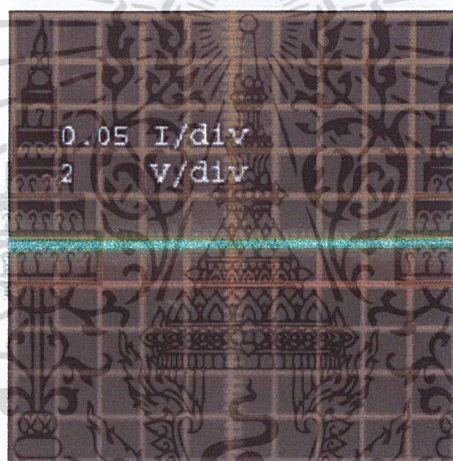


รูปที่ 6.7 แสดงผลการวัดรอยต่อ B2-C2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

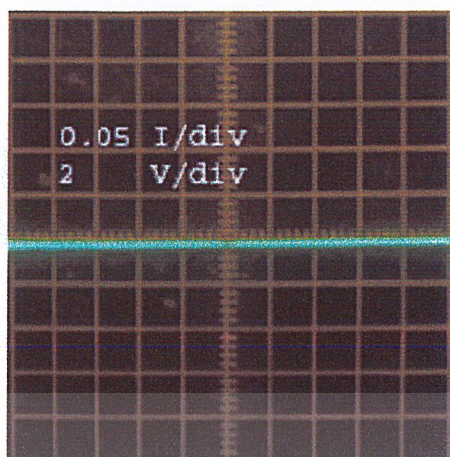


รูปที่ 6.8 แสดงผลการวัดรอยต่อ B2-E

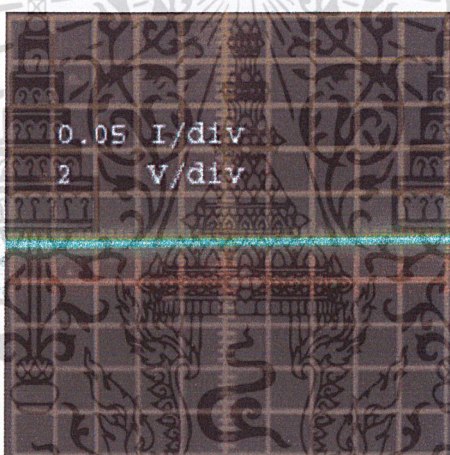


รูปที่ 6.9 แสดงผลการวัดรอยต่อ C1-C2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 แสดงผลการวัดรอยต่อ C1-E



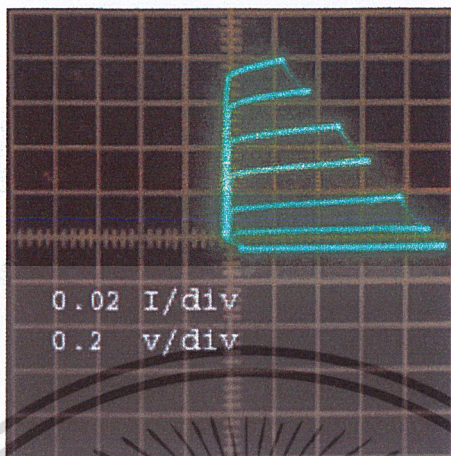
รูปที่ 6.11 แสดงผลการวัดรอยต่อ C2-E

6.2 วัดคุณสมบัติรอยต่อไบโพลาร์

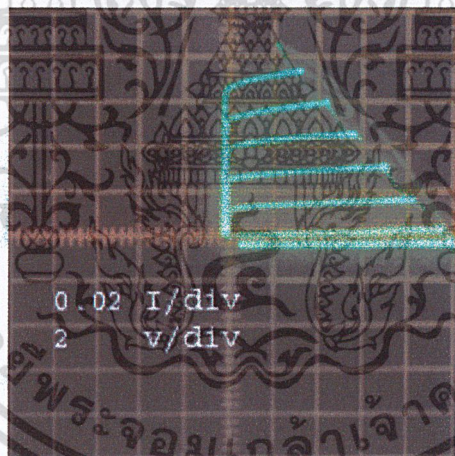
หลังจากผ่านการวัดทดสอบรอยต่อ P-N ด้วยเครื่องเทรเซอร์ซึ่งเป็นการวัดทดสอบเบื้องต้น ขั้นตอนต่อไปจากนี้คือการวัดคุณสมบัติรอยต่อไบโพลาร์เนื่องจากแมกนีโตทรานซิสเตอร์สร้างโดยใช้โครงสร้างไบโพลาร์ โดยมีโครงสร้างดังรูป 6.1 ซึ่งสามารถแยกวัดรอยต่อคุณสมบัติในคอมมอนต่างดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1 การตรวจวัดคุณสมบัติรอยต่อไบโพลาร์โดยใช้คอมมอนเบส

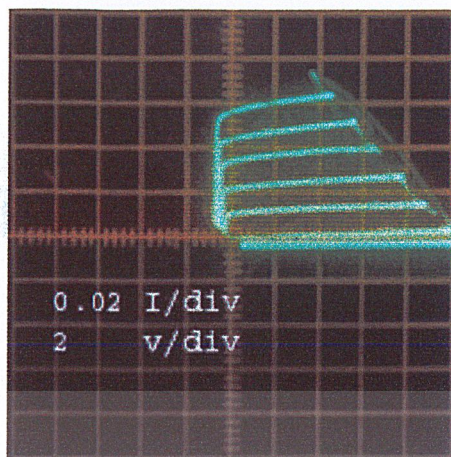


รูปที่ 6.12 แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C1-E

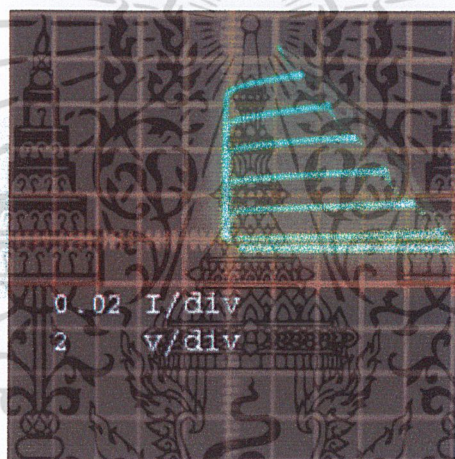


รูปที่ 6.13 แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C2-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



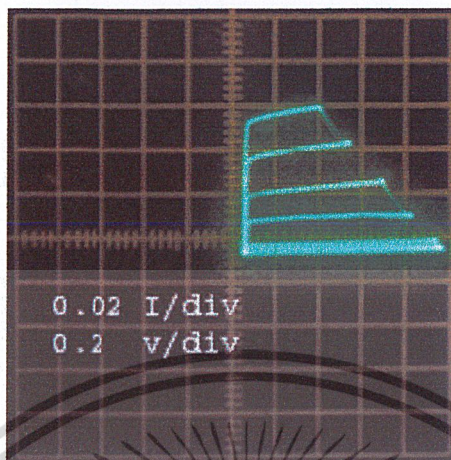
รูปที่ 6.14 แสดงผลการวัดรอยต่อ ไบโพลาร์ B2-C1-E



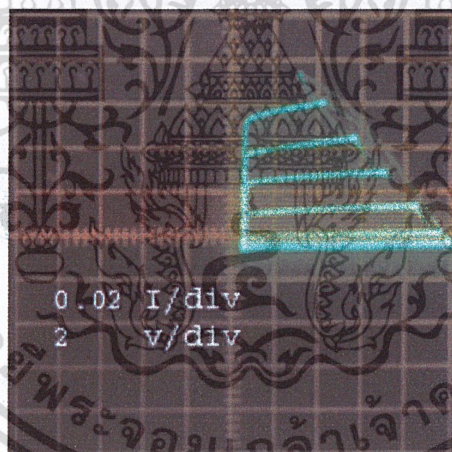
รูปที่ 6.15 แสดงผลการวัดรอยต่อ ไบโพลาร์ B2-C1-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 การตรวจวัดคุณสมบัติรอยต่อไบโพลาร์โดยใช้คอมมอนอิมิตเตอร์

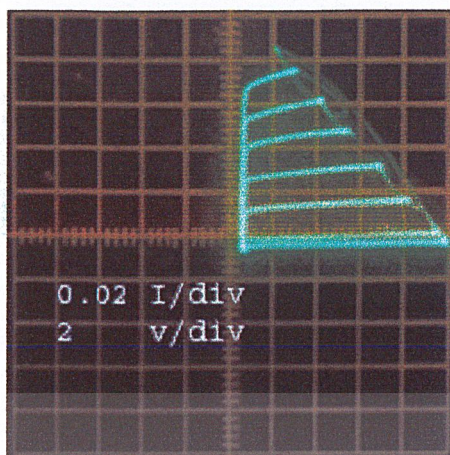


รูปที่ 6.16 แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C1-E

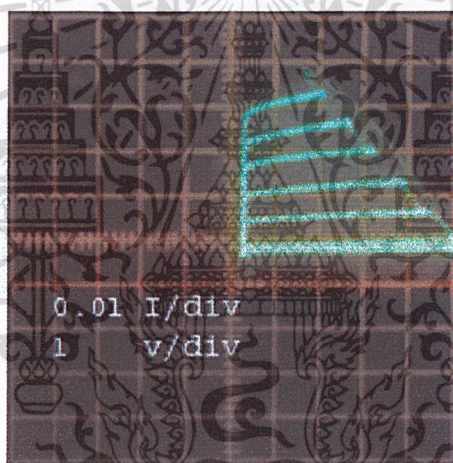


รูปที่ 6.17 แสดงผลการวัดรอยต่อไบโพลาร์ B1-C2-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.18 แสดงผลการวัดรอยต่อไมโทลาร์ B2-C1-E



รูปที่ 6.19 แสดงผลการวัดรอยต่อไมโทลาร์ B2-C2-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

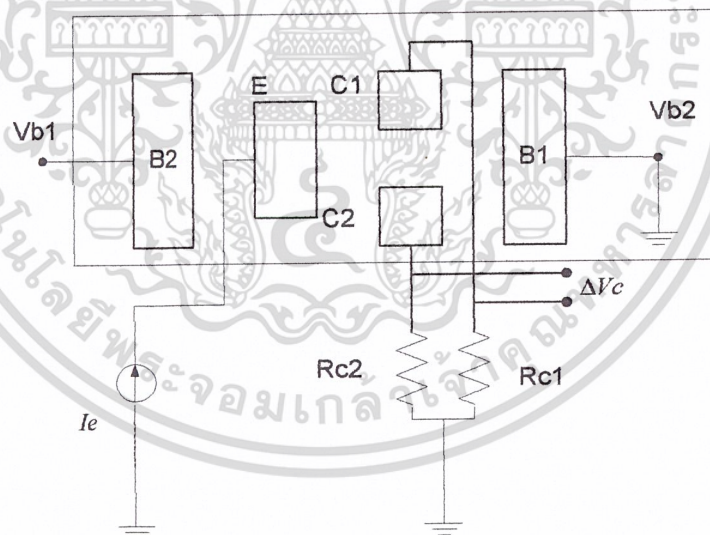
6.3 การไบอัสและวิธีการวัดทดสอบ

6.3.1 วิธีการทดลอง

- เพื่อความสะดวกในการวัด จึงจำเป็นต้องตัดแยกอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นอิสระจากกัน ต่อจากนั้นนำไปต่อกับแผ่นวงจรซึ่งออกแบบให้มีขั้วต่อสำหรับการไบอัส

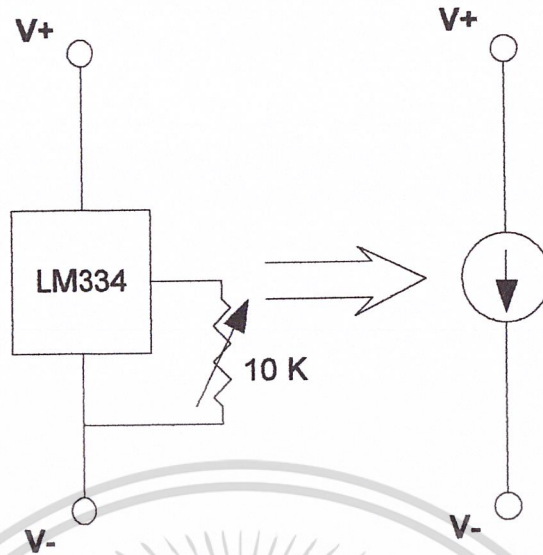
- นำอุปกรณ์ที่ต่อขาเรียบร้อยแล้วติดตั้งบนเครื่องผลิตสนามแม่เหล็ก เนื่องจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบ Lateral ซึ่งมีกระแสไหลทางแนวนอน ใช้ตรวจจับสนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับการไหลของกระแส นั่นคือในแนวตั้งนั่นเองจะเน้นการติดตั้งสามารถวางอุปกรณ์ราบลงกับพื้นเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กได้เลย โดยต้องระวังให้ราบเรียบสม่ำเสมอ

- ให้ไบอัสเข้ากับวงจรไบอัส ซึ่งต่อแยกอยู่นอกเครื่องผลิตสนามแม่เหล็กเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้น รูป 6.20 แมกนีโตทรานซิสไบอัสโดยการจ่ายกระแสคงที่ให้กับอิมิตเตอร์ ให้สนามไฟฟ้า B2 เพื่อช่วยกระตุ้นการไหลของการกระแส IE ที่ไหลจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเล็กเตอร์ C1 ต่อความต้านทานคงที่ 30K ส่วน C2 ต่อกับ R ปรับค่าเพื่อปรับออฟเซต ที่เกิดขึ้นต่อกราวด์



รูปที่ 6.20 แสดงวงจรไบอัสแมกนีโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.21 วงจรสมมูลและสัญลักษณ์ของวงจรจ่ายกระแสคงที่

- 3 ในเบื้องต้นป้อนกระแส $IE = 100 \mu A$ $VB2 = 0V$ ทดสอบกับสนามแม่เหล็ก 0-4500 G บันทึกค่า $V_{VRC1}, V_{VRC2}, I_{RC1}, I_{RC2}$
- 4 เพิ่ม $VB2$ ครั้งละ 2.5V จนถึง 10V บันทึกผลตามข้อ
- 5 เพิ่ม $IE = 200 \mu A, 300 \mu A, 400 \mu A, 500 \mu A$ บันทึกผลเหมือนข้อ 3 และ ข้อ 4

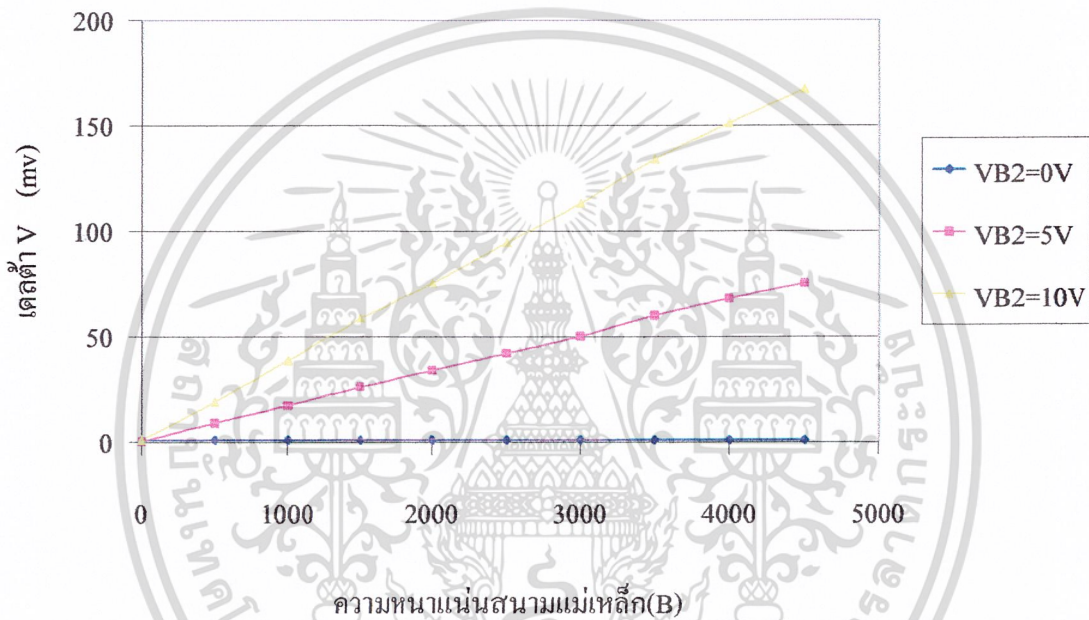
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ผลการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก

จากทฤษฎีเมื่อให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า จะทำให้เกิดแรงลอเรนซ์ เบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุพาหะ ทำให้ปริมาณกระแสเปลี่ยนแปลงจากการทดลองแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

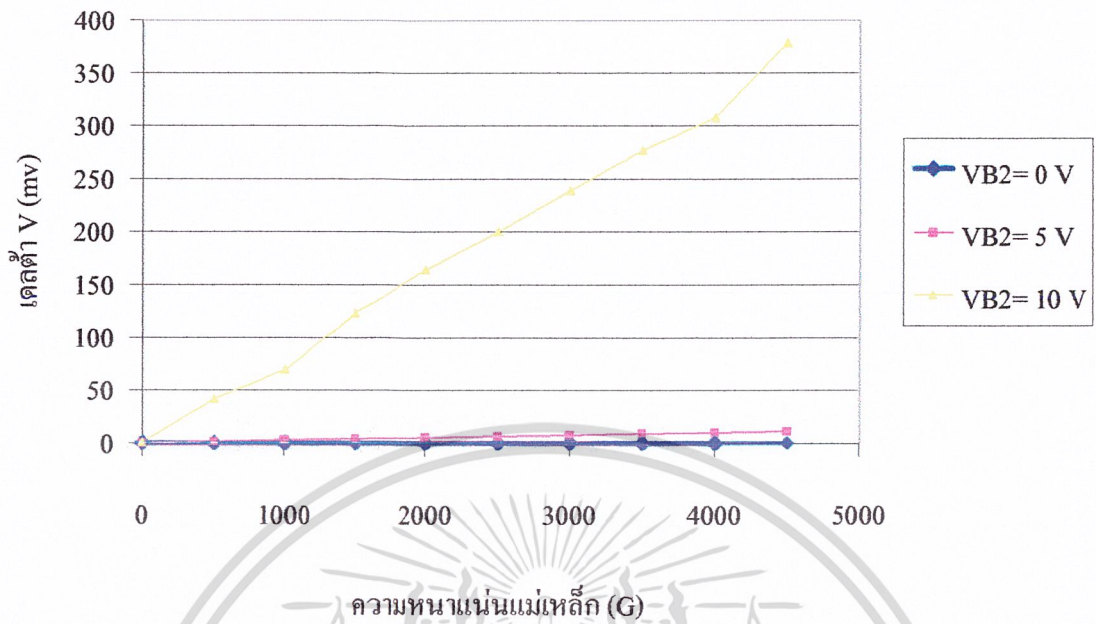
6.4.1 กราฟแสดงรายละเอียดการตอบสนองสนามแม่เหล็กของอุปกรณ์แต่ละตัว

6.4.1.1 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $W=10$ ไมโครเมตร $L=10$ ไมโครเมตร

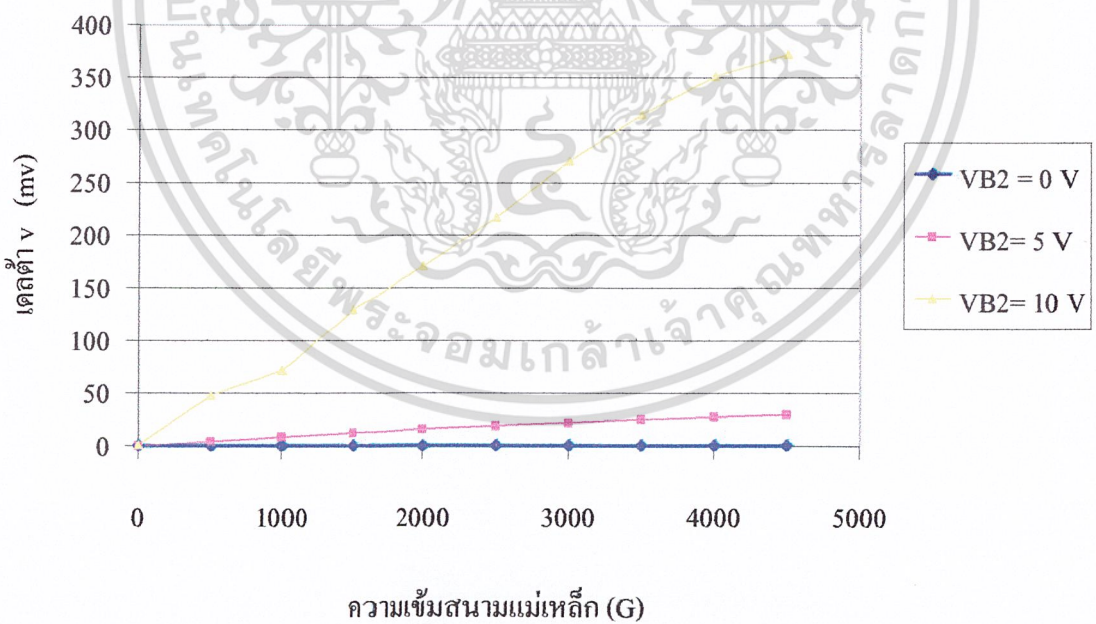


รูปที่ 6.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



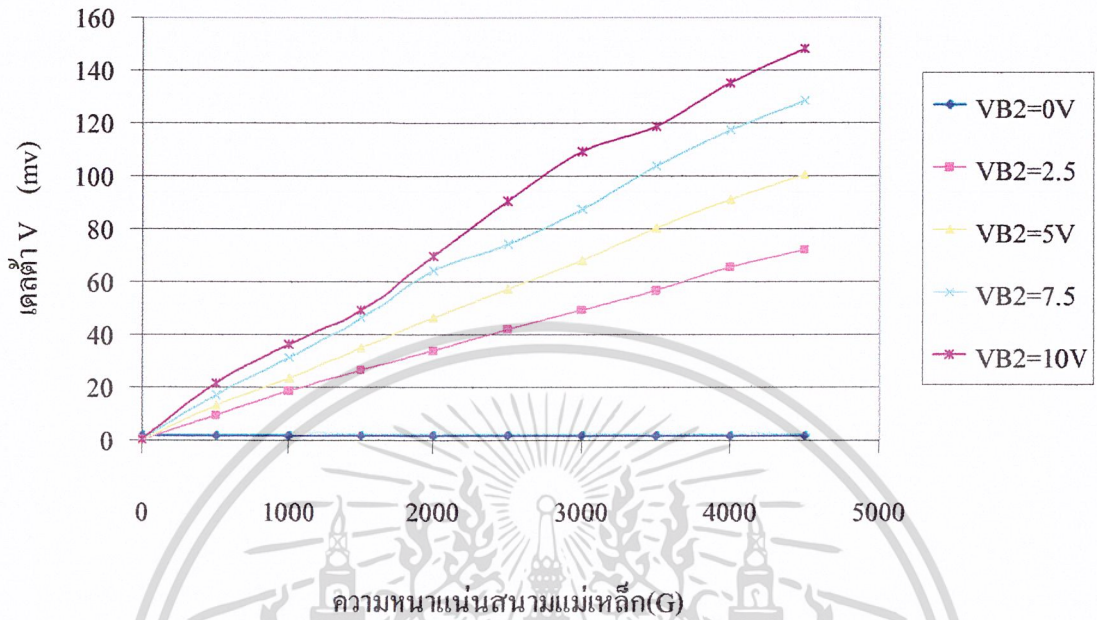
รูปที่ 6.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=200 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$



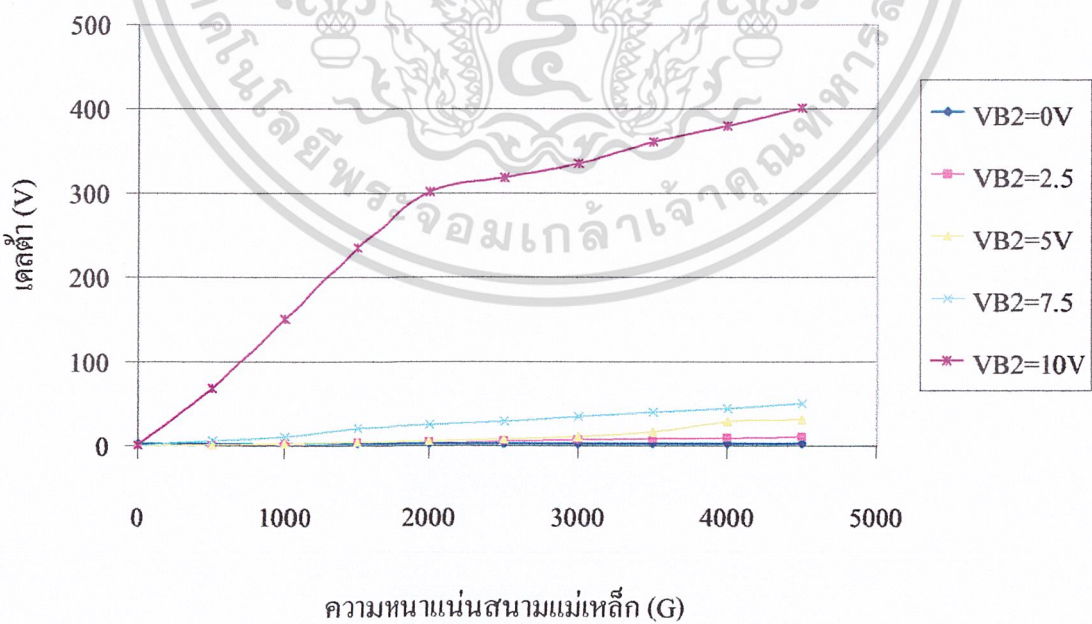
รูปที่ 6.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=300 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$

จากกราฟ ข้างบนจะเห็นว่าแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีระยะห่างของ $W=10 \mu m$ $L=10 \mu m$ มีความเป็นลิเนียร์สูงมาก แม้จะป้อน I_E และ V_{B2} ที่ค่าสูงๆ ก็ตาม

6.4.1.2 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ ระหว่าง $W=10$ ไมโครเมตร $L=20$ ไมโครเมตร

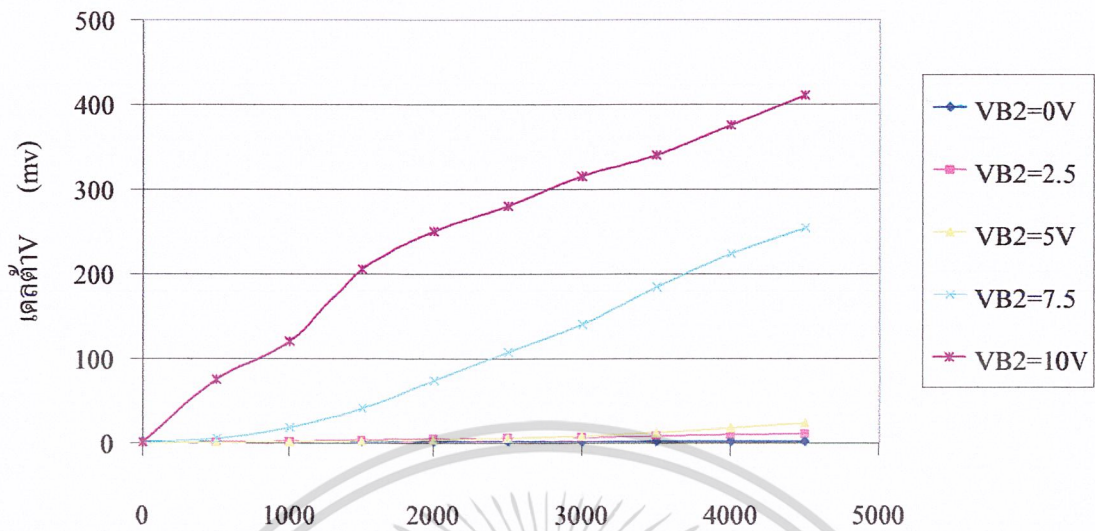


รูปที่ 6.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ $L=20 \mu m$



รูปที่ 6.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=200 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ $L=20 \mu m$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งงานวิจัยที่เผยแพร่ในวารสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



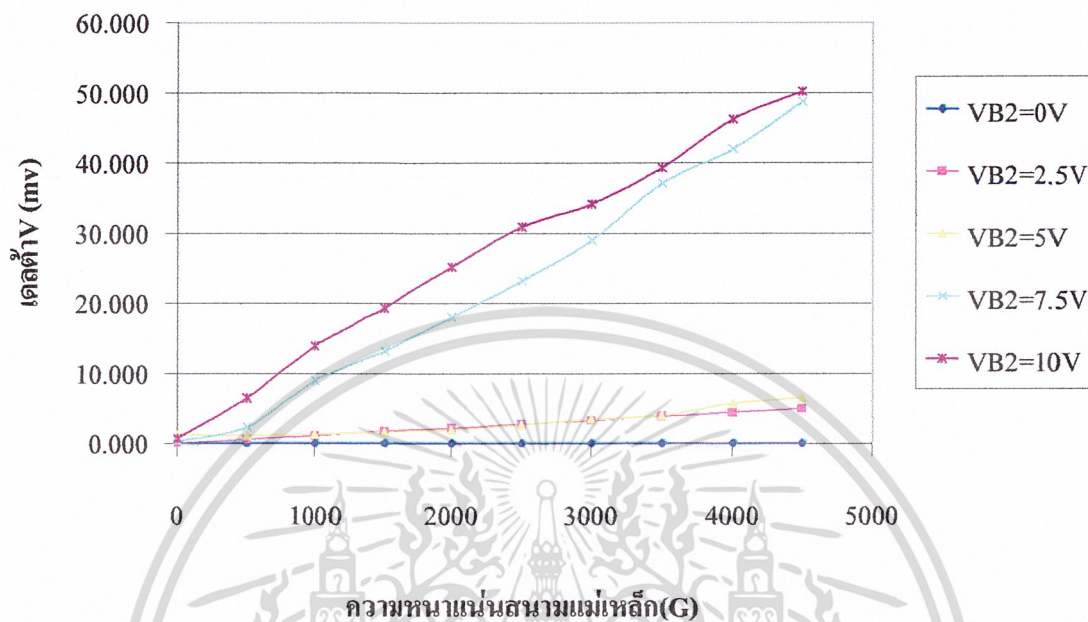
ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก(G)

รูปที่ 6.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อ
จ่ายกระแส $I_E=300 \mu A$ ที่ระยะ $W=10 \mu m$ $L=20 \mu m$

จากกราฟ ข้างบนจะเห็นว่าแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีระยะห่างของ $C1-C2$ $10 \mu m$ $C1,2$ $20 \mu m$ มีความเป็นลิเนียร์เมื่อ ไบอัส I_E และ $VB2$ ต่ำ แต่จะให้คลดต่ำ สูงเมื่อ ไบอัส I_E $VB2$ ค่าสูงๆ

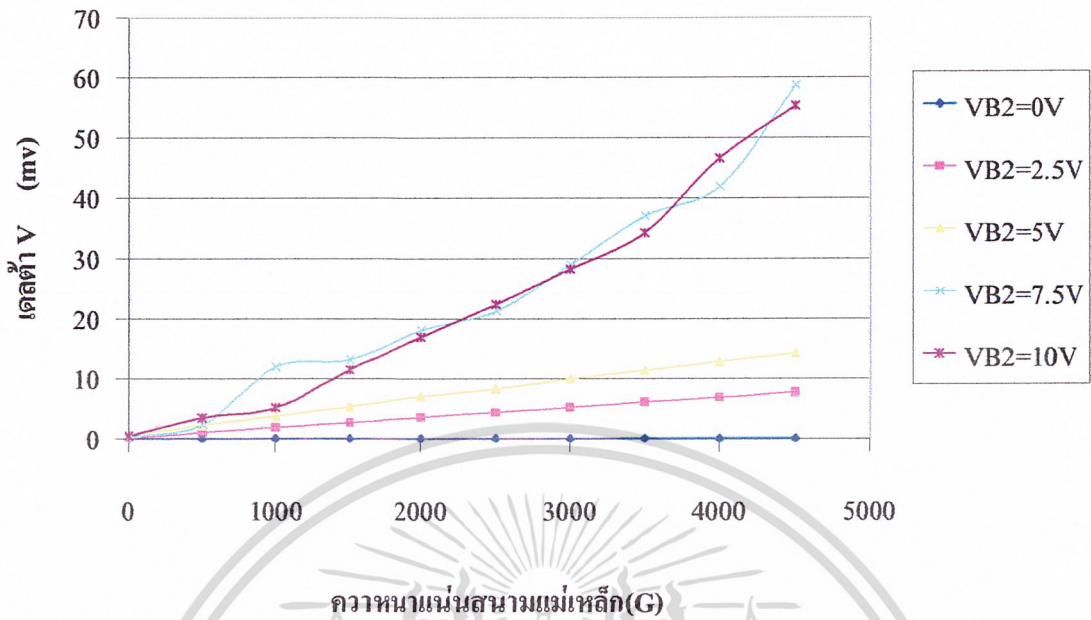
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.1.3 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $W=20$ ไมโครเมตร $L=10$ ไมโครเมตร

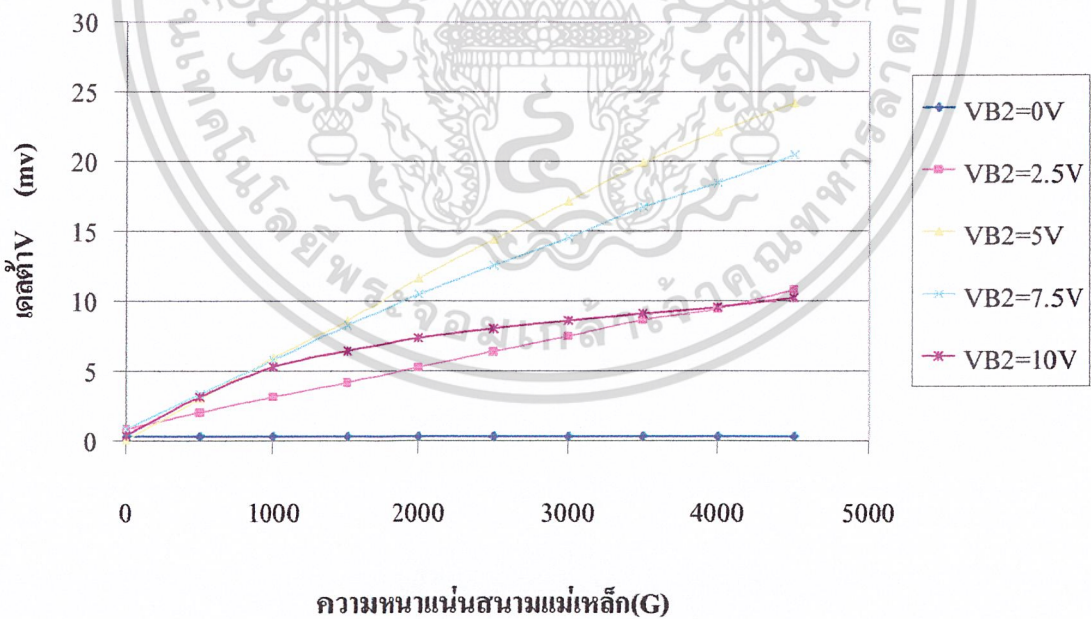


รูปที่ 6.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_{E100} \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



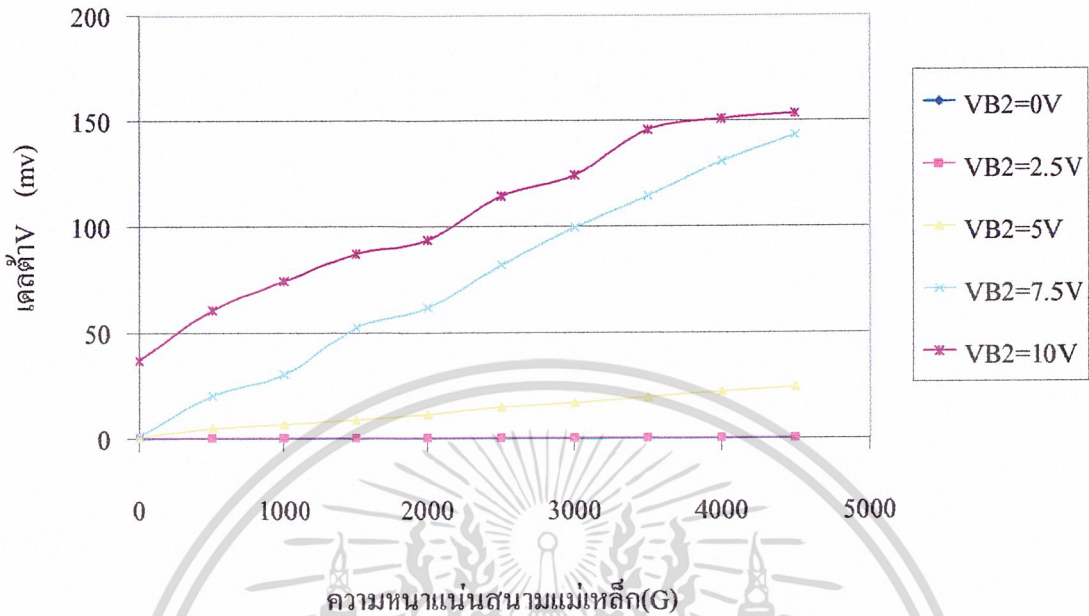
รูปที่ 6.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อ
จ่ายกระแส $I_E=200 \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ ระยะ $L=10 \mu m$



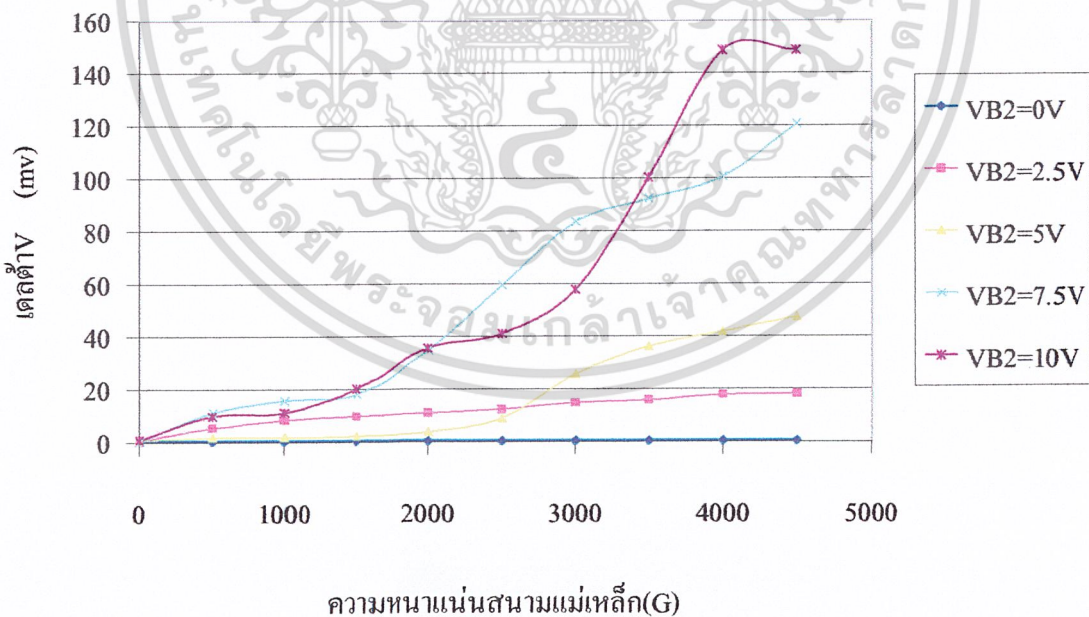
รูปที่ 6.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อ
จ่ายกระแส $I_E=300 \mu A$ ที่ระยะ $W=20 \mu m$ $L=10 \mu m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.1.4 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่พารามิเตอร์ $W=20$ ไมโครเมตร $L=20$ ไมโครเมตร

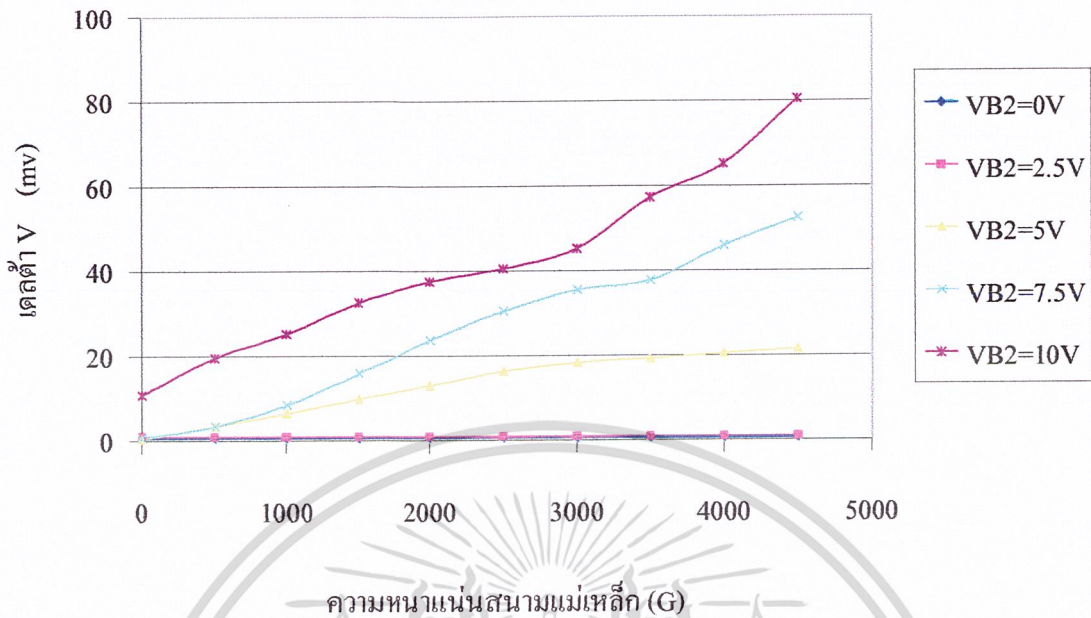


รูปที่ 6.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ ที่ระยะห่าง $W=20 \mu m$ $L=20 \mu m$



รูปที่ 6.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $I_E=200 \mu A$ ที่ระยะห่าง $W=20 \mu m$ $L=20 \mu m$

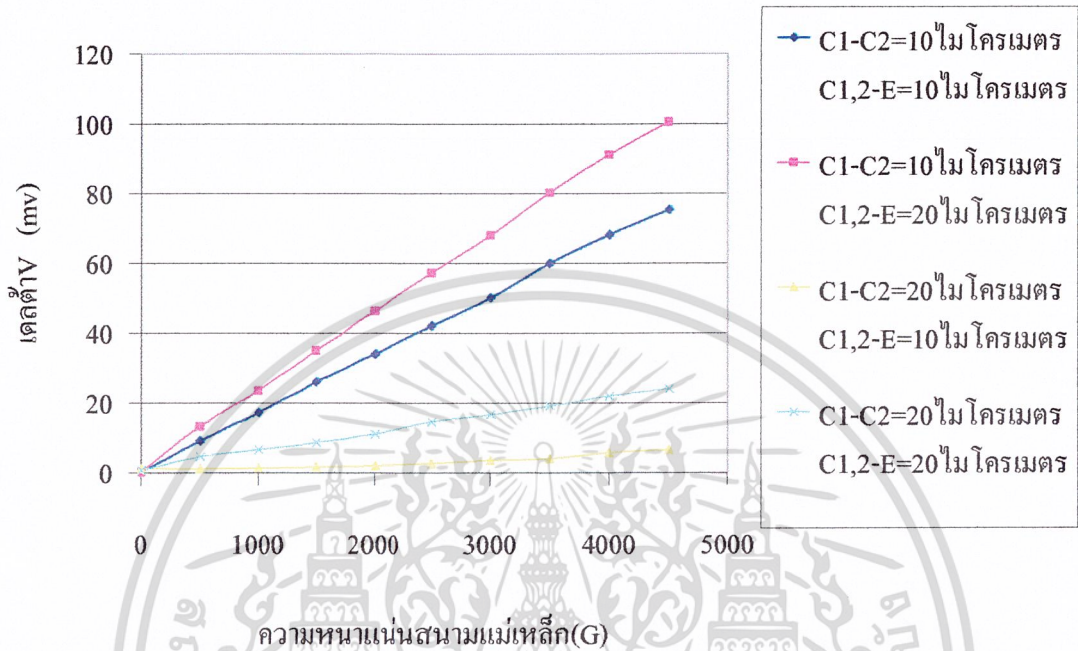
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายกระแส $IE=300 \mu A$ ที่ระยะห่าง $W=20 \mu m$ $L=20 \mu m$ จากกราฟข้างบนจะเห็นว่าแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีระยะห่างของ $W=20 \mu m$ $L=20 \mu m$ มีความเป็นลิเนียร์ต่ำมาก แม้จะไบอัส IE และ VB2 ค่าต่างๆก็ตาม

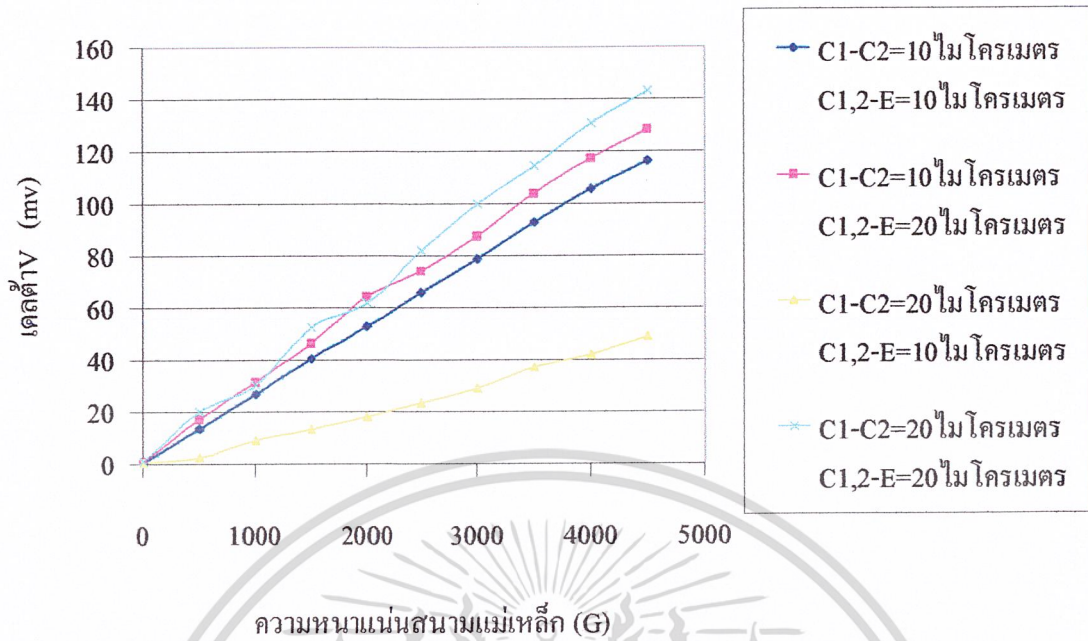
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.2 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์แตกต่างกัน



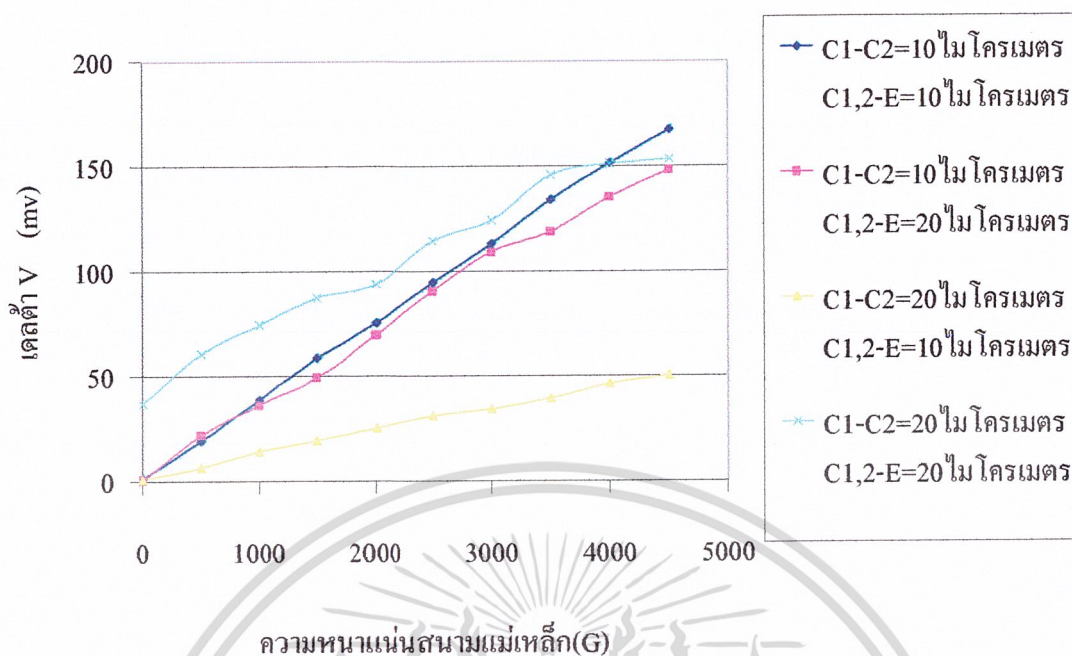
รูปที่ 6.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์ต่างกัน ขณะจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ $V_{B2}=5V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์ต่างกัน ขณะจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ $V_{B2} = 7.5V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงแรงดัน V_D กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเมื่อพารามิเตอร์ต่างกัน ขณะจ่ายกระแส $I_E=100 \mu A$ $V_{B2}=10V$

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีระยะห่าง $W=10 \mu m$ $L=10 \mu m$ มีความเป็นลิเนียร์สูงที่สุด ในบรรดาแมกนีโตทรานซิสเตอร์ทั้งหมด ส่วนแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ให้ความแตกต่างของของแรงดันเดลด้า V มากที่สุดคือ ตัวที่มี $W=20 \mu m$ $L=20 \mu m$ โดยเฉพาะเมื่อให้ไบอัส V_{B2} มากๆ แต่จะมีความเป็นลิเนียร์ต่ำมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผล

แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ได้ทำการสร้างและทดลองเป็น โครงสร้างแบบไบโพล่าทรานซิสเตอร์จะมีกระแสไหลลตามแนวอนซึ่งสามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก และใช้หลักของปรากฏการณ์ฮอลล์ ในการเบี่ยงเบนของกระแสคอลเลคเตอร์ C1 และ C2 ซึ่งทำการสร้างเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด P-N-P สร้างบนแผ่นซิลิกอน 100 ชนิด N โครงสร้างประกอบด้วยขา 5 ขามีขั้วสารคอลเลคเตอร์ 2 ขั้ว ขาเบส 2 ขั้วและ อิมิตเตอร์ 1 ขั้ว ส่วนของอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์จะโด๊ปด้วยโบรอน P+ และขาเบสทั้งสองจะ โด๊ปด้วยฟอสฟอรัส N+ ซึ่งเมื่อสร้างเสร็จแล้ว ทำการทดสอบบริเวณรอยต่อระหว่างขาต่างๆซึ่งทดสอบแล้วจะเป็นรอยต่อ P-N ซึ่งยกเว้นเมื่อวัดขา B1กับ B2 จะเป็นลักษณะคล้ายความต้านทาน C1 C2 แยกจากกัน จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติไบโพล่าร์ทรานซิสเตอร์ แมกนีโตทรานซิสเตอร์ได้ออกแบบไว้ 4 พารามิเตอร์ด้วยกันคือระยะห่างระหว่างขั้วสาร C1 ละ C2 คือ w และระยะห่างระหว่างขั้วสาร C กับ E คือ L ซึ่งพารามิเตอร์แรก W=20,L=20 พารามิเตอร์ที่ 2 W=10 ,L=20 พารามิเตอร์ที่ 3

W=20 ,L=10 และพารามิเตอร์สุดท้าย W=10,L=10 ซึ่งเมื่อทำการบัสให้กับแมกนีโตทรานซิสเตอร์ซึ่งจะเป็นวงจรไบอัสแบบคอมมอนเบส ซึ่งอินพุทจะให้กระแสที่เข้าทางขาอิมิตเตอร์ และสัญญาณทางด้านเอาพุทจะออกทางขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองและขา B2 กับแรงดันและขา B1 ต่อกับกราวด์เป็นตัวช่วยแรงให้กระแสจากอิมิตเตอร์ไปถึงคอลเลคเตอร์ จากการลองให้ไบอัสโดยไม่มีสนามแม่เหล็กเมื่อป้อน $V_{b2}=0$ จะทำให้แรงดันตกคร่อม R_{c1} และ R_{c2} น้อยมาก เมื่อให้ V_{b2} มากขึ้นแรงดันที่ตกคร่อม R_{c1} และ R_{c2} มากขึ้นตามแรงดันที่ให้กับ V_{b2} แต่เมื่อวัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานระหว่างขา C1 ขา C2 ซึ่งน่าจะเท่ากัน $\Delta V_c = 0$ แต่เมื่อวัดจริงกลับไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากกระบวนการสร้างและการแพร่สารเจืออย่างไม่สม่ำเสมอแก้ไขโดยใช้ตัวความต้านทานปรับค่าได้ปรับให้ $\Delta V_c = 0$ ก่อนที่จะมีสนามแม่เหล็ก เมื่อให้สนามแม่เหล็กแก่แมกนีโตทรานซิสเตอร์เริ่มต้นจ่ายกระแส IE 100 μm เมื่อไม่มีสนามไฟฟ้าช่วยแรง($V_{b2}=0$) ΔV_c จะคงที่ตลอดจะไม่เปลี่ยนแปลงต่อสนามแม่เหล็กที่รับเข้ามา แต่เมื่อให้ $V_{b2}=5V$ แมกนีโตทรานซิสเตอร์เริ่มทำงานเมื่อให้สนามแม่เหล็ก กระแสที่ไหลจากอิมิตเตอร์มายังขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองจะถูกเบี่ยงเบนทำให้กระแส ไปยังคอลเลคเตอร์ C1 ทำให้แรงดันตกคร่อม R_{c1} มากกว่า R_{c2} ทำให้เกิด ΔV_c ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และเมื่อแรงดัน ΔV_c มากขึ้น ΔV_c ก็ยิ่งมากขึ้นด้วยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทั้ง 4 ที่กระแส IE 100 ทั้ง 4 พารามิเตอร์เมื่อวัดค่าได้แล้ว มาพล็อตกราฟจะมีความเป็นลิเนียร์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบเมื่อเปรียบเทียบกับการให้ IE =200 , IE=300,IE=400,IE=500 ซึ่ง IE มากกว่า 100 ค่าที่วัดได้จะไม่เป็นลิเนียร์ อาจเป็นเพราะว่าถ้าให้กระแส IE มากทำให้แมกนีโตทรานซิสเตอร์มีกระแสรั่วไหลมากและจะทำให้ทรานซิสเตอร์อึมตัวเมื่อไม่มีการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบที่กระแส IE $100 \mu\text{m}$ ที่ $V_{b2}=5\text{V}$ พารามิเตอร์ที่เซ็นสนามแม่เหล็กได้ดีที่สุดคือ พารามิเตอร์ที่มีระยะ $W=10 \mu\text{m}$ และระยะห่าง $L=20 \mu\text{m}$ เพราะมีระยะห่างพอที่เห็นการเบี่ยงเบนของกระแสได้มากกว่าพารามิเตอร์ที่มี ระยะ $W=10\mu\text{m}$ ระยะ $L=10 \mu\text{m}$ ส่วนที่เซ็นสนามแม่เหล็กได้น้อยที่สุดคือพารามิเตอร์ $W=20 \mu\text{m}$, $L=20 \mu\text{m}$ จะเห็นว่าระยะห่าง L ต้องมีระยะพอสมควรถ้าไกลเกินไปกระแสจะเบี่ยงเบนไปไม่ถึงถ้าใกล้เกินไปไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งที่ $IE=100 \mu\text{m}$ กราฟจะมีความเป็นลิเนียร์มากที่สุด ซึ่งหาค่าซึ่งหาค่าความไวจากความชันของกราฟตัวที่ดีที่สุดที่ $V_{b2}=5\text{v}$ ประมาณ 115mv/teala ซึ่งสามารถใช้งานได้จริง

แนวทางการพัฒนาจะเห็นถ้าให้กระแส IE มากๆ การเซ็นสนามแม่เหล็กจะไม่มีความเป็นลิเนียร์ ซึ่งขั้นฐานรองควรมีความเข้มของสารเจือปนน้อยๆ ถ้าจะดีก็ควรจะสร้างชั้นอิพิทาซีเพื่อให้การกระจายของอะตอมสารเจือปนมีค่าคงที่ และระยะ W และระยะ L มีผลต่อการเซ็นของสนามแม่เหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงผลการวัด

ตารางที่ผลการทดลองที่ 1 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=5.55\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 30.40\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
500	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
1000	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
1500	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
2000	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
2500	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
3000	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
3500	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
4000	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89
4500	404	13.46667	403.11	13.2602	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 2 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 38.9\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 40.756 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1341	44.7	1340.848	32.8994	0.152
500	1341	44.7	1331.988	32.68201	9.012
1000	1347	44.9	1329.725	32.62648	17.275
1500	1349	44.96667	1322.979	32.46096	26.021
2000	1353	45.1	1318.994	32.36319	34.006
2500	1355	45.16667	1312.875	32.21305	42.125
3000	1358	45.26667	1307.908	32.09118	50.092
3500	1363	45.43333	1302.975	31.97014	60.025
4000	1365	45.5	1296.747	31.81733	68.253
4500	1368	45.6	1292.739	31.71899	75.261

ตารางที่ผลการทดลองที่ 3 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 70\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 46.672 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1646	54.86667	1644.875	35.21311	1.125
500	1777	59.23333	1757.944	37.63367	19.056
1000	1782	59.4	1743.39	37.3221	38.61
1500	1787	59.56667	1728.244	36.99786	58.756
2000	1793	59.76667	1717.586	36.7697	75.414
2500	1810	60.33333	1715.448	36.72393	94.552
3000	1690	56.33333	1576.779	33.75533	113.221
3500	1698	56.6	1563.899	33.4796	134.101
4000	1703	56.76667	1551.735	33.21919	151.265
4500	1708	56.93333	1540.788	32.98484	167.212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิจัยสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท การนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ตามสมควร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 4 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0 \text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=2.37\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 30.8 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	567.000	18.900	566.900	18.406	0.100
500.000	565.000	18.833	564.900	18.341	0.100
1000.000	562.000	18.733	561.900	18.244	0.100
1500.000	569.000	18.967	568.900	18.471	0.100
2000.000	559.000	18.633	558.900	18.146	0.100
2500.000	564.000	18.800	563.900	18.308	0.100
3000.000	565.000	18.833	564.900	18.341	0.100
3500.000	561.000	18.700	560.900	18.211	0.100
4000.000	568.000	18.933	567.900	18.438	0.100
4500.000	567.000	18.900	566.900	18.406	0.100

ตารางที่ผลการทดลองที่ 5 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$ เมื่อป้อน
กระแส $I_E=200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5 \text{ V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=42.345\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 28.75 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	801.112	26.704	801.012	27.861	0.100
500.000	798.781	26.626	797.302	27.732	1.479
1000.000	798.781	26.626	795.900	27.683	2.881
1500.000	798.436	26.615	794.328	27.629	4.108
2000.000	798.642	26.621	793.261	27.592	5.381
2500.000	798.871	26.629	792.218	27.555	6.653
3000.000	798.342	26.611	790.775	27.505	7.567
3500.000	798.531	26.618	789.675	27.467	8.856
4000.000	798.326	26.611	788.145	27.414	10.181
4500.000	798.328	26.611	787.194	27.381	11.134

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 6 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=90\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 47\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	914.000	30.467	913.454	19.435	0.546
500.000	913.000	30.433	871.144	18.535	41.856
1000.000	914.000	30.467	844.568	17.970	69.432
1500.000	915.000	30.500	792.269	16.857	122.731
2000.000	915.000	30.500	751.158	15.982	163.842
2500.000	916.000	30.533	716.065	15.235	199.935
3000.000	908.000	30.267	669.342	14.241	238.658
3500.000	906.000	30.200	629.461	13.393	276.539
4000.000	909.000	30.300	600.868	12.784	308.132
4500.000	899.000	29.967	521.471	11.095	377.529

ตารางที่ผลการทดลองที่ 7 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อน

กระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.21\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 31\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	572.000	19.067	571.849	18.447	0.151
500.000	569.000	18.967	568.842	18.350	0.158
1000.000	565.000	18.833	564.844	18.221	0.156
1500.000	570.000	19.000	569.823	18.381	0.177
2000.000	551.000	18.367	550.821	17.768	0.179
2500.000	559.000	18.633	558.798	18.026	0.202
3000.000	552.000	18.400	551.795	17.800	0.205
3500.000	562.000	18.733	561.778	18.122	0.222
4000.000	562.000	18.733	561.775	18.122	0.225
4500.000	560.000	18.667	559.770	18.057	0.230

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 8 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 150\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 42 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
500.000	795.000	26.500	790.915	18.831	4.085
1000.000	798.000	26.600	789.671	18.802	8.329
1500.000	798.000	26.600	785.832	18.710	12.168
2000.000	796.000	26.533	780.228	18.577	15.772
2500.000	798.000	26.600	779.000	18.548	19.000
3000.000	798.000	26.600	775.989	18.476	22.011
3500.000	801.000	26.700	775.813	18.472	25.187
4000.000	802.000	26.733	774.222	18.434	27.778
4500.000	802.000	26.733	772.109	18.384	29.891
500.000	795.000	26.500	790.915	18.831	4.085

ตารางที่ผลการทดลองที่ 9 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 48.72\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 36 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
000	853.000	28.433	852.458	23.679	27.949
500.000	853.000	28.433	804.880	22.358	48.120
1000.000	855.000	28.500	783.460	21.763	71.540
1500.000	855.000	28.500	726.000	20.167	129.000
2000.000	855.000	28.500	684.000	19.000	171.000
2500.000	854.000	28.467	637.000	17.694	217.000
3000.000	854.000	28.467	583.000	16.194	271.000
3500.000	854.000	28.467	539.000	14.972	315.000
4000.000	855.000	28.500	504.000	14.000	351.000
4500.000	855.000	28.500	483.000	13.417	372.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยที่ใช้การศึกษาค้นคว้าเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 10 แมกนี ไดทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=9.877\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 33.875\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
500.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
1000.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
1500.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
2000.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
2500.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
3000.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
3500.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
4000.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024
4500.000	557.000	18.567	556.976	16.442	0.024

ตารางที่ผลการทดลองที่ 11 แมกนี ไดทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=7.2\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 38.425\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	731.000	24.367	730.955	19.010	0.045
500.000	731.000	24.367	730.426	18.996	0.574
1000.000	731.000	24.367	729.886	18.982	1.114
1500.000	731.000	24.367	729.195	18.964	1.805
2000.000	731.000	24.367	728.783	18.953	2.217
2500.000	731.000	24.367	728.242	18.939	2.758
3000.000	731.000	24.367	727.686	18.925	3.314
3500.000	731.000	24.367	727.091	18.909	3.909
4000.000	731.000	24.367	726.533	18.895	4.467
4500.000	731.000	24.367	726.015	18.881	4.985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 12 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.420\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 42.2\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	832.000	27.733	831.260	19.698	0.740
500.000	832.000	27.733	830.875	19.689	1.125
1000.000	832.000	27.733	830.655	19.684	1.346
1500.000	832.000	27.733	830.361	19.677	1.639
2000.000	832.000	27.733	830.058	19.670	1.942
2500.000	832.000	27.733	829.358	19.653	2.642
3000.000	832.000	27.733	828.525	19.633	3.475
3500.000	832.000	27.733	827.986	19.621	4.014
4000.000	833.000	27.767	827.286	19.604	5.714
4500.000	833.000	27.767	826.495	19.585	6.505

ตารางที่ผลการทดลองที่ 13 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-3.102\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 36.681\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	972.000	32.400	971.728	30.673	0.272
500.000	972.000	32.400	969.686	30.609	2.314
1000.000	972.000	32.400	963.003	30.398	8.997
1500.000	973.000	32.433	959.823	30.297	13.177
2000.000	973.000	32.433	954.991	30.145	18.009
2500.000	973.000	32.433	949.783	29.981	23.217
3000.000	973.000	32.433	944.011	29.798	28.989
3500.000	974.000	32.467	936.953	29.576	37.047
4000.000	974.000	32.467	932.074	29.422	41.926
4500.000	974.000	32.467	925.258	29.206	48.742

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 14 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 30\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 38.672\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1072.000	35.733	1071.294	27.702	0.706
500.000	1072.000	35.733	1065.567	27.554	6.433
1000.000	1072.000	35.733	1058.087	27.361	13.913
1500.000	1072.000	35.733	1052.728	27.222	19.272
2000.000	1072.000	35.733	1046.852	27.070	25.148
2500.000	1072.000	35.733	1041.096	26.921	30.904
3000.000	1073.000	35.767	1038.879	26.864	34.121
3500.000	1073.000	35.767	1033.685	26.730	39.315
4000.000	1073.000	35.767	1026.814	26.552	46.186
4500.000	1073.000	35.767	1022.808	26.448	50.192

ตารางที่ผลการทดลองที่ 15 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 20\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.72\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 30\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
500.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
1000.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
1500.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
2000.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
2500.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
3000.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
3500.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
4000.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021
4500.000	501.000	16.700	500.979	0.013	0.021

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามใช้เพื่อการตีพิมพ์อื่น ไม่สงวนสิทธิ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 16 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 4.702\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 42.137\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	745.000	24.833	744.944	20.013	0.056
500.000	746.000	24.867	744.913	20.012	1.087
1000.000	746.000	24.867	744.120	19.991	1.880
1500.000	746.000	24.867	743.269	19.968	2.731
2000.000	746.000	24.867	742.421	19.945	3.579
2500.000	746.000	24.867	741.560	19.922	4.440
3000.000	746.000	24.867	740.770	19.901	5.230
3500.000	746.000	24.867	739.866	19.877	6.134
4000.000	746.000	24.867	739.111	19.856	6.889
4500.000	746.000	24.867	738.248	19.833	7.752

ตารางที่ผลการทดลองที่ 17 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 10.501\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 59.495\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	778.000	25.933	777.438	13.076	0.562
500.000	778.000	25.933	775.817	13.049	2.183
1000.000	779.000	25.967	775.216	13.039	3.784
1500.000	779.000	25.967	773.662	13.013	5.338
2000.000	780.000	26.000	773.008	13.002	6.992
2500.000	780.000	26.000	771.692	12.979	8.308
3000.000	781.000	26.033	770.994	12.968	10.006
3500.000	782.000	26.067	770.615	12.961	11.385
4000.000	783.000	26.100	770.189	12.954	12.811
4500.000	783.000	26.100	768.750	12.930	14.250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 18 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 8.12\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 500\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	806.000	26.867	804.488	1.609	1.512
500.000	806.000	26.867	803.958	1.608	2.042
1000.000	806.000	26.867	803.320	1.607	2.680
1500.000	806.000	26.867	802.819	1.606	3.181
2000.000	806.000	26.867	802.308	1.605	3.692
2500.000	806.000	26.867	801.840	1.604	4.160
3000.000	806.000	26.867	801.470	1.603	4.530
3500.000	806.000	26.867	800.990	1.602	5.010
4000.000	806.000	26.867	800.610	1.601	5.390
4500.000	806.000	26.867	800.490	1.601	5.510

ตารางที่ผลการทดลองที่ 19 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.6\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 29.095\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	852.000	28.400	851.386	28.380	0.614
500.000	853.000	28.433	849.506	28.317	3.494
1000.000	854.000	28.467	848.827	28.294	5.173
1500.000	855.000	28.500	843.506	28.117	11.494
2000.000	856.000	28.533	839.115	27.971	16.885
2500.000	857.000	28.567	834.700	27.823	22.300
3000.000	859.000	28.633	830.792	27.693	28.208
3500.000	860.000	28.667	825.720	27.524	34.280
4000.000	860.000	28.667	813.377	27.113	46.623
4500.000	860.000	28.667	804.643	26.821	55.357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายใน การตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 20 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.186\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 39.044\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
500.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
1000.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
1500.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
2000.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
2500.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
3000.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
3500.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
4000.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311
4500.000	523.000	17.433	522.689	13.387	0.311

ตารางที่ผลการทดลองที่ 21 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=4.532\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 43.193\ \text{K}$		$\nabla V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	758.000	25.267	757.184	17.530	0.816
500.000	758.000	25.267	755.978	17.502	2.022
1000.000	758.000	25.267	754.856	17.476	3.144
1500.000	759.000	25.300	754.815	17.475	4.185
2000.000	759.000	25.300	753.746	17.451	5.254
2500.000	759.000	25.300	752.611	17.424	6.389
3000.000	760.000	25.333	752.524	17.422	7.476
3500.000	761.000	25.367	752.366	17.419	8.634
4000.000	761.000	25.367	751.576	17.400	9.424
4500.000	761.000	25.367	750.211	17.369	10.789

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานใช้สำหรับการใช้การศึกษาค้นคว้า ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 22 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 10.237\ \text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 53.734\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	782.000	26.067	781.975	14.553	0.025
500.000	782.000	26.067	779.013	14.498	2.987
1000.000	783.000	26.100	777.055	14.461	5.945
1500.000	784.000	26.133	775.418	14.431	8.582
2000.000	785.000	26.167	773.393	14.393	11.607
2500.000	786.000	26.200	771.589	14.359	14.411
3000.000	788.000	26.267	770.861	14.346	17.139
3500.000	788.000	26.267	768.145	14.295	19.855
4000.000	789.000	26.300	766.883	14.272	22.117
4500.000	789.000	26.300	764.848	14.234	24.152

ตารางที่ผลการทดลองที่ 23 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 11.222\ \text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 109.6\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	799.000	26.633	798.179	7.281	0.821
500.000	799.000	26.633	795.662	7.258	3.338
1000.000	800.000	26.667	794.215	7.245	5.785
1500.000	801.000	26.700	792.751	7.232	8.249
2000.000	802.000	26.733	791.537	7.221	10.463
2500.000	803.000	26.767	790.443	7.211	12.557
3000.000	804.000	26.800	789.479	7.202	14.521
3500.000	804.000	26.800	787.318	7.182	16.682
4000.000	805.000	26.833	786.585	7.176	18.415
4500.000	806.000	26.867	785.560	7.166	20.440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 24 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=1.914\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 100\ \text{K}$		$\nabla V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	799.000	26.633	798.650	7.987	0.350
500.000	799.000	26.633	795.850	7.959	3.150
1000.000	799.000	26.633	793.723	7.937	5.277
1500.000	800.000	26.667	793.575	7.936	6.425
2000.000	800.000	26.667	792.659	7.927	7.341
2500.000	800.000	26.667	791.969	7.920	8.031
3000.000	800.000	26.667	791.422	7.914	8.578
3500.000	800.000	26.667	790.916	7.909	9.084
4000.000	800.000	26.667	790.461	7.905	9.539
4500.000	800.000	26.667	789.787	7.898	10.213

ตารางที่ผลการทดลองที่ 25 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=2.925\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 43.535\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	600	20	599.93	13.74	0.070
500.000	600	20	599.93	13.74	0.070
1000.000	600	20	599.93	13.74	0.070
1500.000	600	20	599.93	13.74	0.070
2000.000	600	20	599.93	13.74	0.070
2500.000	600	20	599.93	13.74	0.070
3000.000	600	20	599.93	13.74	0.070
3500.000	600	20	599.93	13.74	0.070
4000.000	600	20	599.93	13.74	0.070
4500.000	600	20	599.93	13.4	0.070

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้ภายในอาคารสำนักงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 26 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=12.827\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 52.112\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	768.000	25.600	767.570	14.729	0.430
500.000	768.000	25.600	766.308	14.705	1.692
1000.000	768.000	25.600	764.853	14.677	3.147
1500.000	768.000	25.600	763.457	14.650	4.543
2000.000	769.000	25.633	763.133	14.644	5.867
2500.000	769.000	25.633	761.615	14.615	7.385
3000.000	769.000	25.633	760.334	14.590	8.666
3500.000	770.000	25.667	760.072	14.585	9.928
4000.000	771.000	25.700	759.590	14.576	11.410
4500.000	771.000	25.700	758.247	14.550	12.753

ตารางที่ผลการทดลองที่ 27 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=10.345\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 63.495\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	787.000	26.233	786.628	12.302	0.372
500.000	787.000	26.233	782.595	12.239	4.405
1000.000	788.000	26.267	779.480	12.190	8.520
1500.000	788.000	26.267	775.342	12.125	12.658
2000.000	788.000	26.267	771.691	12.068	16.309
2500.000	789.000	26.300	769.009	12.026	19.991
3000.000	789.000	26.300	765.635	11.973	23.365
3500.000	790.000	26.333	763.048	11.933	26.952
4000.000	790.000	26.333	760.264	11.889	29.736
4500.000	791.000	26.367	758.513	11.862	32.487

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 28 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 11.4342\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 81.516\ \text{K}$		$\nabla V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	796.000	26.533	795.488	9.085	0.512
500.000	797.000	26.567	791.911	9.044	5.089
1000.000	798.000	26.600	788.467	9.005	9.533
1500.000	799.000	26.633	785.010	8.965	13.990
2000.000	801.000	26.700	782.993	8.942	18.007
2500.000	803.000	26.767	780.682	8.916	22.318
3000.000	806.000	26.867	780.137	8.910	25.863
3500.000	808.000	26.933	778.018	8.885	29.982
4000.000	810.000	27.000	777.128	8.875	32.872
4500.000	810.000	27.000	773.963	8.839	36.037

ตารางที่ผลการทดลองที่ 29 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 9.043\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 80\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	799.000	26.633	798.128	9.977	0.872
500.000	800.000	26.667	797.056	9.963	2.944
1000.000	801.000	26.700	794.889	9.936	6.111
1500.000	801.000	26.700	792.276	9.903	8.724
2000.000	802.000	26.733	791.078	9.888	10.922
2500.000	802.000	26.733	788.374	9.855	13.626
3000.000	803.000	26.767	787.572	9.845	15.428
3500.000	804.000	26.800	786.698	9.834	17.302
4000.000	805.000	26.833	785.545	9.819	19.455
4500.000	805.000	26.833	783.672	9.796	21.328

ตารางที่แสดงผลการทดลองที่ 30 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=2.844\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 50\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
1000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
1500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
2000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
2500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
3000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
3500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
4000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
4500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767

ตารางที่แสดงผลการทดลองที่ 31 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=5.025\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 62.506\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	773.000	25.767	772.495	12.359	0.505
500.000	773.000	25.767	771.022	12.335	1.978
1000.000	774.000	25.800	770.187	12.322	3.813
1500.000	775.000	25.833	769.942	12.318	5.058
2000.000	775.000	25.833	768.460	12.294	6.540
2500.000	776.000	25.867	767.943	12.286	8.057
3000.000	776.000	25.867	766.442	12.262	9.558
3500.000	777.000	25.900	765.861	12.253	11.139
4000.000	778.000	25.933	765.433	12.246	12.567
4500.000	779.000	25.967	765.236	12.243	13.764

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทรงงานไว้เพื่อใช้ในการใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 32 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu m$ $W=20 \mu m$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500 \mu A$ และให้ $V_{B2} = 5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 11.53mv$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 74.333 \text{ K}$		$\Delta V(mv)$
	$V_{RC1}(mv)$	$I_{RC1}(ua)$	$V_{RC2}(mv)$	$I_{RC2}(ua)$	
0.000	794.000	26.467	793.478	10.675	0.522
500.000	795.000	26.500	788.428	10.607	6.572
1000.000	796.000	26.533	783.564	10.541	12.436
1500.000	797.000	26.567	779.687	10.489	17.313
2000.000	798.000	26.600	775.946	10.439	22.054
2500.000	799.000	26.633	772.556	10.393	26.444
3000.000	780.000	26.000	749.445	10.082	30.555
3500.000	781.000	26.033	746.643	10.045	34.357
4000.000	781.000	26.033	744.030	10.009	36.970
4500.000	781.000	26.033	740.126	9.957	40.874

ตารางที่ผลการทดลองที่ 33 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10 \mu m$ $W=20 \mu m$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500 \mu A$ และให้ $V_{B2} = 7.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 12.625mv$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 87.414 \text{ K}$		$\Delta V(mv)$
	$V_{RC1}(mv)$	$I_{RC1}(ua)$	$V_{RC2}(mv)$	$I_{RC2}(ua)$	
0.000	798.000	26.600	797.524	9.124	0.476
500.000	800.000	26.667	792.522	9.066	7.478
1000.000	803.000	26.767	787.882	9.013	15.118
1500.000	803.000	26.767	781.173	8.936	21.827
2000.000	807.000	26.900	773.547	8.849	33.453
2500.000	807.000	26.900	769.806	8.806	37.194
3000.000	807.000	26.900	768.826	8.795	38.174
3500.000	809.000	26.967	766.076	8.764	42.924
4000.000	810.000	27.000	762.835	8.727	47.165
4500.000	811.000	27.033	760.517	8.700	50.483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 34 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=10\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 8.204\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 90.825\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	798.000	26.600	797.678	8.783	0.322
500.000	800.000	26.667	795.386	8.757	4.614
1000.000	803.000	26.767	793.758	8.739	9.242
1500.000	804.000	26.800	789.822	8.696	14.178
2000.000	806.000	26.867	787.689	8.673	18.311
2500.000	807.000	26.900	783.890	8.631	23.110
3000.000	808.000	26.933	780.875	8.598	27.125
3500.000	809.000	26.967	777.470	8.560	31.530
4000.000	810.000	27.000	774.294	8.525	35.706
4500.000	811.000	27.033	772.848	8.509	38.152

ตารางที่ผลการทดลองที่ 35 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 358.1\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 95\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
1000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
1500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
2000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
2500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
3000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
3500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
4000.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767
4500.000	378.500	12.617	376.733	3.966	1.767

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามการใช้อื่น ไม่สงวนสิทธิ์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 36 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=146\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 35.15 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1124.000	37.467	1123.745	31.970	0.255
500.000	1127.000	37.567	1117.497	31.792	9.503
1000.000	1132.000	37.733	1113.298	31.673	18.702
1500.000	1136.000	37.867	1109.444	31.563	26.556
2000.000	1140.000	38.000	1105.988	31.465	34.012
2500.000	1143.000	38.100	1100.942	31.321	42.058
3000.000	1147.000	38.233	1097.685	31.229	49.315
3500.000	1509.000	50.300	1452.101	41.312	56.899
4000.000	1550.000	51.667	1484.455	42.232	65.545
4500.000	1558.000	51.933	1485.877	42.272	72.123

ตารางที่ผลการทดลองที่ 37 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=100 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-41.3\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 26.126\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1116.000	37.200	1115.895	42.712	0.105
500.000	1122.000	37.400	1108.847	42.442	13.153
1000.000	1129.000	37.633	1105.510	42.315	23.490
1500.000	1135.000	37.833	1099.988	42.103	35.012
2000.000	1142.000	38.067	1095.693	41.939	46.307
2500.000	1149.000	38.300	1091.768	41.789	57.232
3000.000	1155.000	38.500	1086.945	41.604	68.055
3500.000	1162.000	38.733	1081.752	41.405	80.248
4000.000	1164.000	38.800	1072.849	41.064	91.151
4500.000	1174.000	39.133	1073.506	41.090	100.494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 38 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-5.02\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 19.753\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1097.000	36.567	1096.474	55.509	0.526
500.000	1106.000	36.867	1088.888	55.125	17.112
1000.000	1116.000	37.200	1084.724	54.914	31.276
1500.000	1124.000	37.467	1077.688	54.558	46.312
2000.000	1134.000	37.800	1069.775	54.158	64.225
2500.000	1143.000	38.100	1068.964	54.117	74.036
3000.000	1152.000	38.400	1064.610	53.896	87.390
3500.000	1162.000	38.733	1058.254	53.574	103.746
4000.000	1169.000	38.967	1051.777	53.246	117.223
4500.000	1177.000	39.233	1048.629	53.087	128.371

ตารางที่ผลการทดลองที่ 39 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-8.09\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 17.474\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1125.000	37.500	1124.557	64.356	0.443
500.000	1136.000	37.867	1114.467	63.779	21.533
1000.000	1146.000	38.200	1109.809	63.512	36.191
1500.000	1159.000	38.633	1109.777	63.510	49.223
2000.000	1168.000	38.933	1098.356	62.857	69.644
2500.000	1182.000	39.400	1091.563	62.468	90.437
3000.000	1193.000	39.767	1083.788	62.023	109.212
3500.000	1120.000	37.333	1001.267	57.300	118.733
4000.000	1121.000	37.367	985.868	56.419	135.132
4500.000	1230.000	41.000	1082.013	61.921	147.987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นทราบ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 40 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 67.034\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 95 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
500.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
1000.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
1500.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
2000.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
2500.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
3000.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
3500.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
4000.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590
4500.000	575.000	19.167	572.410	6.025	2.590

ตารางที่ผลการทดลองที่ 41 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 2.778\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 31.52 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	1313.000	43.767	1312.942	42.011	0.058
500.000	1313.000	43.767	1311.699	41.972	1.301
1000.000	1313.000	43.767	1310.489	41.933	2.511
1500.000	1314.000	43.800	1310.348	41.928	3.652
2000.000	1314.000	43.800	1309.153	41.890	4.847
2500.000	1314.000	43.800	1307.985	41.853	6.015
3000.000	1315.000	43.833	1307.860	41.849	7.140
3500.000	1315.000	43.833	1306.498	41.805	8.502
4000.000	1315.000	43.833	1305.390	41.770	9.610
4500.000	1316.000	43.867	1305.344	41.768	10.656

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยที่มีการใช้ข้อมูลวิจัยนี้ ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 42 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200 \mu A$ และให้ $V_{B2} = 5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.082 mV$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 28.511 \text{ K}$		$\Delta V(mv)$
	$V_{RC1}(mv)$	$I_{RC1}(ua)$	$V_{RC2}(mv)$	$I_{RC2}(ua)$	
0.000	1625.000	54.167	1624.809	56.989	0.191
500.000	1625.000	54.167	1623.884	56.956	1.116
1000.000	1626.000	54.200	1623.784	56.953	2.216
1500.000	1626.000	54.200	1622.119	56.894	3.881
2000.000	1626.000	54.200	1620.536	56.839	5.464
2500.000	1626.000	54.200	1618.296	56.760	7.704
3000.000	1626.000	54.200	1614.989	56.644	11.011
3500.000	1626.000	54.200	1609.747	56.461	16.253
4000.000	1626.000	54.200	1597.394	56.027	28.606
4500.000	1626.000	54.200	1594.856	55.938	31.144

ตารางที่ผลการทดลองที่ 43 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200 \mu A$ และให้ $V_{B2} = 7.5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.082 mV$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 28.714 \text{ K}$		$\Delta V(mv)$
	$V_{RC1}(mv)$	$I_{RC1}(ua)$	$V_{RC2}(mv)$	$I_{RC2}(ua)$	
0.000	2005.000	66.833	2004.826	69.821	0.174
500.000	2005.000	66.833	1998.934	69.615	6.066
1000.000	2006.000	66.867	1995.836	69.507	10.164
1500.000	2006.000	66.867	1985.613	69.151	20.387
2000.000	2006.000	66.867	1981.459	69.007	24.541
2500.000	2006.000	66.867	1977.848	68.881	28.152
3000.000	2007.000	66.900	1972.814	68.706	34.186
3500.000	2008.000	66.933	1968.457	68.554	39.543
4000.000	2008.000	66.933	1963.777	68.391	44.223
4500.000	2010.000	67.000	1959.877	68.255	50.123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 44 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -2.245\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 24.77 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	2154.000	71.800	2153.293	86.931	0.707
500.000	2156.000	71.867	2088.000	84.296	68.000
1000.000	2215.000	73.833	2064.895	83.363	150.105
1500.000	2251.000	75.033	2016.208	81.397	234.792
2000.000	2263.000	75.433	1961.895	79.204	301.105
2500.000	2284.000	76.133	1965.632	79.355	318.368
3000.000	2321.000	77.367	355.368	14.347	335.138
3500.000	2331.000	77.700	1970.164	79.538	360.836
4000.000	2345.000	78.167	1965.414	79.347	379.586
4500.000	2354.000	78.467	1953.503	78.866	400.497

ตารางที่ผลการทดลองที่ 45 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -24.01\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 95 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
500.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
1000.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
1500.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
2000.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
2500.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
3000.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
3500.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
4000.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697
4500.000	661.000	22.033	659.303	6.940	1.697

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิจัยนี้มีการใช้เอกสารอื่น ไม่ควรนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 46 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=0.801\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 95 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	134.000	4.467	133.985	4.361	0.015
500.000	134.000	4.467	132.780	4.322	1.220
1000.000	134.000	4.467	131.595	4.283	2.405
1500.000	134.000	4.467	130.364	4.243	3.636
2000.000	134.000	4.467	129.201	4.205	4.799
2500.000	134.000	4.467	128.054	4.168	5.946
3000.000	134.000	4.467	126.773	4.126	7.227
3500.000	134.000	4.467	125.534	4.086	8.466
4000.000	134.000	4.467	124.293	4.046	9.707
4500.000	134.000	4.467	123.353	4.015	10.647

ตารางที่ผลการทดลองที่ 47 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=300 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-14.261\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 23,112 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1573.000	52.433	1572.925	68.057	0.075
500.000	1573.000	52.433	1572.384	68.033	0.616
1000.000	1573.000	52.433	1571.595	67.999	1.405
1500.000	1573.000	52.433	1570.622	67.957	2.378
2000.000	1573.000	52.433	1569.289	67.899	3.711
2500.000	1573.000	52.433	1567.398	67.817	5.602
3000.000	1573.000	52.433	1564.992	67.713	8.008
3500.000	1573.000	52.433	1561.074	67.544	11.926
4000.000	1573.000	52.433	1555.246	67.292	17.754
4500.000	1573.000	52.433	1549.794	67.056	23.206

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามใช้เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 48 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -6.53\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 20.254\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	1870.000	62.333	1869.370	92.296	0.630
500.000	1870.000	62.333	1864.906	92.076	5.094
1000.000	1870.000	62.333	1851.807	91.429	18.193
1500.000	1870.000	62.333	1828.867	90.297	41.133
2000.000	1870.000	62.333	1796.293	88.688	73.707
2500.000	1870.000	62.333	1762.496	87.020	107.504
3000.000	1870.000	62.333	1729.868	85.409	140.132
3500.000	1870.000	62.333	1685.693	83.228	184.307
4000.000	1870.000	62.333	1646.019	81.269	223.981
4500.000	1870.000	62.333	1615.819	79.778	254.181

ตารางที่ผลการทดลองที่ 49 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -5.72\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 20.254\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mV})$
	$V_{RC1}(\text{mV})$	$I_{RC1}(\text{uA})$	$V_{RC2}(\text{mV})$	$I_{RC2}(\text{uA})$	
0.000	2031.000	67.700	2030.244	76.293	0.756
500.000	2036.000	67.867	1961.000	73.691	75.000
1000.000	2039.000	67.967	1919.000	72.113	120.000
1500.000	2041.000	68.033	1835.450	68.973	205.550
2000.000	2060.000	68.667	1809.877	68.012	250.123
2500.000	2071.000	69.033	1790.872	67.298	280.128
3000.000	2073.000	69.100	1757.811	66.056	315.189
3500.000	2077.000	69.233	1736.877	65.269	340.123
4000.000	2082.000	69.400	1706.548	64.129	375.452
4500.000	2093.000	69.767	1682.448	63.224	410.552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 50 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=15.905\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 31.221 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1352.000	45.067	1351.965	43.303	0.035
500.000	1353.000	45.100	1351.716	43.295	1.284
1000.000	1353.000	45.100	1350.432	43.254	2.568
1500.000	1354.000	45.133	1350.280	43.249	3.720
2000.000	1355.000	45.167	1350.076	43.243	4.924
2500.000	1356.000	45.200	1349.797	43.234	6.203
3000.000	1356.000	45.200	1348.602	43.195	7.398
3500.000	1357.000	45.233	1348.311	43.186	8.689
4000.000	1357.000	45.233	1347.141	43.149	9.859
4500.000	1358.000	45.267	1347.073	43.146	10.927

ตารางที่ผลการทดลองที่ 51 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=10 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=400 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=0.998\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 31.221 \text{ K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1352.000	45.067	1351.965	43.381	0.035
500.000	1353.000	45.100	1351.716	43.373	1.284
1000.000	1354.000	45.133	1351.432	43.364	2.568
1500.000	1354.000	45.133	1350.280	43.327	3.720
2000.000	1355.000	45.167	1350.076	43.320	4.924
2500.000	1355.000	45.167	1348.797	43.279	6.203
3000.000	1356.000	45.200	1348.602	43.273	7.398
3500.000	1357.000	45.233	1348.311	43.264	8.689
4000.000	1357.000	45.233	1347.141	43.226	9.859
4500.000	1358.000	45.267	1347.073	43.224	10.927

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยที่ใช้ในการเรียนการสอน ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 52 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -20.032\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 20.685\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1554.000	51.800	1553.779	75.116	0.221
500.000	1556.000	51.867	1553.347	75.095	2.653
1000.000	1558.000	51.933	1552.468	75.053	5.532
1500.000	1560.000	52.000	1551.780	75.020	8.220
2000.000	1560.000	52.000	1548.445	74.858	11.555
2500.000	1560.000	52.000	1545.265	74.705	14.735
3000.000	1560.000	52.000	1541.503	74.523	18.497
3500.000	1560.000	52.000	1536.447	74.278	23.553
4000.000	1560.000	52.000	1531.567	74.042	28.433
4500.000	1561.000	52.033	1527.049	73.824	33.951

ตารางที่ผลการทดลองที่ 53 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L = 20\ \mu\text{m}$ $W = 10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -4.468\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 17.50\ \text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1800.000	60.000	1799.455	102.826	0.545
500.000	1825.000	60.833	1823.797	104.217	1.203
1000.000	1850.000	61.667	1841.391	105.222	8.609
1500.000	1892.000	63.067	1864.447	106.540	27.553
2000.000	1902.000	63.400	1836.621	104.950	65.379
2500.000	1913.000	63.767	1799.417	102.824	113.583
3000.000	1940.000	64.667	1767.979	101.027	172.021
3500.000	1948.000	64.933	1725.011	98.572	222.989
4000.000	1965.000	65.500	1694.059	96.803	270.941
4500.000	1973.000	65.767	1658.354	94.763	314.646

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 54 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-5.849\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 16.555\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0.000	1978.000	65.933	1976.535	119.428	1.465
500.000	1978.000	65.933	1942.487	117.371	35.513
1000.000	1979.000	65.967	1898.561	114.717	80.439
1500.000	1980.000	66.000	1852.267	111.919	127.733
2000.000	1985.000	66.167	1803.186	108.954	181.814
2500.000	1993.000	66.433	1752.882	105.914	240.118
3000.000	1995.000	66.500	1709.748	103.308	285.252
3500.000	2001.000	66.700	1663.710	100.526	337.290
4000.000	2004.000	66.800	1623.721	98.110	380.279
4500.000	2080.000	69.333	1654.319	99.959	425.681

ตารางที่ผลการทดลองที่ 55 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=12.062\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 95\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
500	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
1000	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
1500	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
2000	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
2500	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
3000	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
3500	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
4000	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102
4500	748	24.93333	747.898	7.872611	0.102

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 56 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.645\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 30\text{k}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1370	45.66667	1369.355	45.64517	0.645
500	1371	45.7	1368.995	45.63317	2.005
1000	1371	45.7	1367.61	45.587	3.39
1500	1372	45.73333	1367.399	45.57997	4.601
2000	1372	45.73333	1366.022	45.53407	5.978
2500	1730	57.66667	1722.717	57.4239	7.283
3000	1372	45.73333	1363.338	45.4446	8.662
3500	1374	45.8	1363.891	45.46303	10.109
4000	1374	45.8	1362.565	45.41883	11.435
4500	1375	45.83333	1362.509	45.41697	12.491

ตารางที่ผลการทดลองที่ 57 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=10\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -18.764\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 20.072\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1551	51.7	1550.933	51.69777	0.067
500	1553	51.76667	1549.464	51.6488	3.536
1000	1553	51.76667	1546.03	51.53433	6.97
1500	1554	51.8	1543.788	51.4596	10.212
2000	1555	51.83333	1541.155	51.37183	13.845
2500	1556	51.86667	1538.69	51.28967	17.31
3000	1557	51.9	1535.808	51.1936	21.192
3500	1559	51.96667	1533.413	51.11377	25.587
4000	1560	52	1530.375	51.0125	29.625
4500	1561	52.03333	1527.259	50.90863	33.741

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 58 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=10 \mu m$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500 \mu A$ และให้ $V_{B2} = 5V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -18.764 mV$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 20.072K$		$\Delta V(mv)$
	$V_{RC1}(mv)$	$I_{RC1}(ua)$	$V_{RC2}(mv)$	$I_{RC2}(ua)$	
0	1551	51.7	1550.933	51.69777	0.067
500	1553	51.76667	1549.464	51.6488	3.536
1000	1553	51.76667	1546.03	51.53433	6.97
1500	1554	51.8	1543.788	51.4596	10.212
2000	1555	51.83333	1541.155	51.37183	13.845
2500	1556	51.86667	1538.69	51.28967	17.31
3000	1557	51.9	1535.808	51.1936	21.192
3500	1559	51.96667	1533.413	51.11377	25.587
4000	1560	52	1530.375	51.0125	29.625
4500	1561	52.03333	1527.259	50.90863	33.741

ตารางที่ผลการทดลองที่ 59 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu m$ $W=20 \mu m$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100 \mu A$ และให้ $V_{B2} = 0V$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 0.072 mV$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 30K$		$\Delta V(mv)$
	$V_{RC1}(mv)$	$I_{RC1}(ua)$	$V_{RC2}(mv)$	$I_{RC2}(ua)$	
0	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
500	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
1000	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
1500	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
2000	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
2500	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
3000	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
3500	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
4000	72	2.4	71.928	2.3976	0.072
4500	72	2.4	71.928	2.3976	0.072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 60 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -58.42\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 30\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
500	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
1000	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
1500	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
2000	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
2500	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
3000	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
3500	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
4000	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228
4500	66.735	2.2245	66.507	1.662675	0.228

ตารางที่ผลการทดลองที่ 61 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 22.8\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 38.072\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	507	16.9	506.496	13.30364	0.504
500	507	16.9	502.375	13.19539	4.625
1000	507	16.9	500.444	13.14467	6.556
1500	508	16.93333	499.38	13.11673	8.62
2000	508	16.93333	496.904	13.05169	11.096
2500	509	16.96667	494.429	12.98668	14.571
3000	510	17	493.298	12.95698	16.702
3500	510	17	490.773	12.89065	19.227
4000	511	17.03333	489.013	12.84443	21.987
4500	512	17.06667	487.909	12.81543	24.091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้บุคคลภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 62 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=758\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 330.51\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	947.2	31.57333	946.293	2.86313	0.907
500	957.2	31.90667	937.088	2.835279	20.112
1000	967.3	32.24333	937.142	2.835442	30.158
1500	968	32.26667	915.573	2.770182	52.427
2000	975	32.5	913.276	2.763233	61.724
2500	983	32.76667	901.146	2.726532	81.854
3000	1023	34.1	923.347	2.793704	99.653
3500	1225	40.83333	1110.667	3.360464	114.333
4000	1250	41.66667	1119.235	3.386388	130.765
4500	1322	44.06667	1178.923	3.566981	143.077

ตารางที่ผลการทดลองที่ 63 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=840\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 50\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1312	43.73333	1275.172	25.50344	36.828
500	1312	43.73333	1251.576	25.03152	60.424
1000	1312	43.73333	1237.733	24.75466	74.267
1500	1312	43.73333	1224.688	24.49376	87.312
2000	1312	43.73333	1218.324	24.36648	93.676
2500	1312	43.73333	1197.556	23.95112	114.444
3000	1312	43.73333	1187.788	23.75576	124.212
3500	1312	43.73333	1166.302	23.32604	145.698
4000	1312	43.73333	1161.037	23.22074	150.963
4500	1312	43.73333	1158.654	23.17308	153.346

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ทางวิชาการและให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 64 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=20 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -4.532\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 46.50\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
500	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
1000	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
1500	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
2000	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
2500	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
3000	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
3500	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
4000	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297
4500	80	2.666667	79.703	2.213972	0.297

ตารางที่ผลการทดลองที่ 65 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20 \mu\text{m}$ $W=20 \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200 \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 86.552\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30 \text{ K}$		$R_{C2} = 36.50\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	556	18.53333	555.465	555.465	0.535
500	557	18.56667	551.608	551.608	5.392
1000	558	18.6	549.649	549.649	8.351
1500	558	18.6	548.268	548.268	9.732
2000	558	18.6	546.985	546.985	11.015
2500	559	18.63333	546.674	546.674	12.326
3000	560	18.66667	545.128	545.128	14.872
3500	561	18.7	545.163	545.163	15.837
4000	562	18.73333	544.227	544.227	17.773
4500	563	18.76667	544.844	544.844	18.156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานและการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 66 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 52.967\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 47.250\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1057	35.23333	1056.381	25.72461	0.6188
500	1058	35.26667	1056.247	25.72134	1.753
1000	1059	35.3	1057.168	25.74377	1.832
1500	1060	35.33333	1057.882	25.76116	2.118
2000	1061	35.36667	1057.214	25.74489	3.786
2500	1063	35.43333	1054.12	25.66955	8.88
3000	1064	35.46667	1038.333	25.28511	25.667
3500	1065	35.5	1028.89	25.05516	36.11
4000	1066	35.53333	1024.258	24.94236	41.742
4500	1067	35.56667	1019.605	24.82905	47.395

ตารางที่ผลการทดลองที่ 67 แมกนีไททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 200\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -3.46\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 30.4\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1145	38.16667	1144.779	37.6572	0.221
500	1145	38.16667	1133.887	37.29891	11.113
1000	1145	38.16667	1129.277	37.14727	15.723
1500	1145	38.16667	1126.856	37.06763	18.144
2000	1145	38.16667	1110.124	36.51724	34.876
2500	1145	38.16667	1085.532	35.70829	59.468
3000	1145	38.16667	1061.614	34.92151	83.386
3500	1145	38.16667	1052.8	34.63158	92.2
4000	1145	38.16667	1044.433	34.35635	100.567
4500	1145	38.16667	1024.477	33.6999	120.523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 68 เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -25.122\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 90\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
500	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
1000	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
1500	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
2000	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
2500	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
3000	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
3500	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
4000	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545
4500	158.3	5.276667	157.755	1.669065	0.545

ตารางที่ผลการทดลองที่ 69 เมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -22.751\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 94.517\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
500	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
1000	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
1500	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
2000	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
2500	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
3000	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
3500	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
4000	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782
4500	839	27.96667	838.218	8.868436	0.782

ตารางที่ผลการทดลองที่ 70 แมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-0.366\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 30\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1011	33.7	1010.634	33.6878	0.366
500	1012	33.73333	1008.786	33.6262	3.214
1000	1012	33.73333	1005.743	33.52477	6.257
1500	1023	34.1	1013.249	33.77497	9.751
2000	1034	34.46667	1021.129	34.03763	12.871
2500	1036	34.53333	1019.848	33.99493	16.152
3000	1038	34.6	1019.749	33.99163	18.251
3500	1038	34.6	1018.888	33.96293	19.112
4000	1040	34.66667	1019.596	33.98653	20.404
4500	1043.1	34.77	1021.696	34.05653	21.404

ตารางที่ผลการทดลองที่ 71 แมกนีโททรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$

เมื่อป้อนกระแส $I_E=300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-0.572\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	$R_{C1} = 30\ \text{K}$		$R_{C2} = 30\text{K}$		$\Delta V(\text{mv})$
	$V_{RC1}(\text{mv})$	$I_{RC1}(\text{ua})$	$V_{RC2}(\text{mv})$	$I_{RC2}(\text{ua})$	
0	1111	37.03333	1110.428	37.01427	0.572
500	1111	37.03333	1107.786	36.9262	3.214
1000	1112	37.06667	1103.676	36.7892	8.324
1500	1113	37.1	1097.182	36.57273	15.818
2000	1113	37.1	1089.467	36.31557	23.533
2500	1113	37.1	1082.627	36.08757	30.373
3000	1114	37.13333	1078.594	35.95313	35.406
3500	1115	37.16667	1077.293	35.90977	37.707
4000	1115	37.16667	1069.177	35.63923	45.823
4500	1115	37.16667	1062.61	35.42033	52.39

ตารางที่ผลการทดลองที่ 72 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -0.572\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 30K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	1111	37.03333	1110.428	37.01427	0.572
500	1111	37.03333	1107.786	36.9262	3.214
1000	1112	37.06667	1103.676	36.7892	8.324
1500	1113	37.1	1097.182	36.57273	15.818
2000	1113	37.1	1089.467	36.31557	23.533
2500	1113	37.1	1082.627	36.08757	30.373
3000	1114	37.13333	1078.594	35.95313	35.406
3500	1115	37.16667	1077.293	35.90977	37.707
4000	1115	37.16667	1069.177	35.63923	45.823
4500	1115	37.16667	1062.61	35.42033	52.39

ตารางที่ผลการทดลองที่ 73 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 300\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -0.568\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 30K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	1200	40	1189.289	39.64297	10.711
500	1201	40.03333	1181.616	39.3872	19.384
1000	1202	40.06667	1176.908	39.23027	25.092
1500	1203	40.1	1170.527	39.01757	32.473
2000	1203	40.1	1165.548	38.8516	37.452
2500	1203	40.1	1162.488	38.7496	40.512
3000	1204	40.13333	1158.808	38.62693	45.192
3500	1205	40.16667	1147.836	38.2612	57.164
4000	1206	40.2	1140.895	38.02983	65.105
4500	1207	40.23333	1126.586	37.55287	80.414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากฝ่ายวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 74 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -52.411\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 23.254K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
500	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
1000	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
1500	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
2000	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
2500	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
3000	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
3500	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
4000	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773
4500	290	9.666667	289.227	12.43773	0.773

ตารางที่ผลการทดลองที่ 75 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 9.150\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 95K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
500	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
1000	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
1500	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
2000	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
2500	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
3000	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
3500	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
4000	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341
4500	825	7.666667	822.659	8.659568	2.341

ตารางที่ผลการทดลองที่ 76 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.461\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 22.589K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	928	30.93333	927.839	41.07482	0.161
500	929	30.96667	926.925	41.03435	2.075
1000	929	30.96667	924.457	40.9251	4.543
1500	929	30.96667	922.2	40.82518	6.8
2000	929	30.96667	920.09	40.73177	8.91
2500	930	31	918.455	40.65939	11.545
3000	931	31.03333	916.673	40.5805	14.327
3500	932	31.06667	915.155	40.5133	16.845
4000	933	31.1	914.267	40.47399	18.733
4500	934	31.13333	913.197	40.42662	20.803

ตารางที่ผลการทดลองที่ 77 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=3.461\text{mV}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 42.881K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	994	33.13333	993.482	23.16511	0.518
500	994	33.13333	988.556	23.05025	5.444
1000	995	33.16667	984.928	22.96565	10.072
1500	996	33.2	980.768	22.86865	15.232
2000	996	33.2	975.779	22.75233	20.221
2500	997	33.23333	971.687	22.65691	25.313
3000	1001	33.36667	969.213	22.59923	31.787
3500	1002	33.4	963.92	22.47581	38.08
4000	1003	33.43333	958.121	22.34059	44.879
4500	1004	33.46667	953.287	22.22788	50.713

ตารางที่ผลการทดลองที่ 78 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 400\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = 9.572\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 53.601K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	1049	34.96667	1048.454	19.56034	0.546
500	1049	34.96667	1042.978	19.45818	6.022
1000	1049	34.96667	1036.81	19.34311	12.19
1500	1049	34.96667	1028.312	19.18457	20.688
2000	1050	35	1014.294	18.92304	35.706
2500	1050	35	1004.955	18.74881	45.045
3000	1050	35	998.464	18.62771	51.536
3500	1050	35	992.17	18.51029	57.83
4000	1050	35	987.064	18.41503	62.936
4500	1050	35	970.6	18.10787	79.4

ตารางที่ผลการทดลองที่ 79 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E = 500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2} = 0\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V = -57.505\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 22.205K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
500	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
1000	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
1500	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
2000	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
2500	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
3000	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
3500	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
4000	381	12.7	380.07	17.0818	0.93
4500	381	12.7	380.07	17.0818	0.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ผลการทดลองที่ 80 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=2.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-6.979\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 95K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
500	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
1000	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
1500	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
2000	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
2500	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
3000	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
3500	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
4000	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872
4500	817	27.23333	816.128	8.590821	0.872

ตารางที่ผลการทดลองที่ 81 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-6.45\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 30K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
500	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
1000	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
1500	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
2000	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
2500	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
3000	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
3500	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
4000	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45
4500	908	30.26667	901.55	28.17344	6.45

ตารางที่ผลการทดลองที่ 82 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=7.5\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=-0.417\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 33K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	963	32.1	962.583	29.16918	0.417
500	963	32.1	958.501	29.04548	4.499
1000	963	32.1	954.995	28.93924	8.005
1500	963	32.1	950.623	28.80676	12.377
2000	963	32.1	947.012	28.69733	15.988
2500	963	32.1	942.639	28.56482	20.361
3000	963	32.1	938.12	28.42788	24.88
3500	963	32.1	933.989	28.3027	29.011
4000	963	32.1	928.53	28.13727	34.47
4500	963	32.1	923.289	27.97845	39.711

ตารางที่ผลการทดลองที่ 83 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ $L=20\ \mu\text{m}$ $W=20\ \mu\text{m}$
เมื่อป้อนกระแส $I_E=500\ \mu\text{A}$ และให้ $V_{B2}=10\text{V}$ แรงดันก่อนปรับ $\Delta V=6.990\text{mv}$

สนามแม่เหล็ก(G)	RC1 = 30 K		RC2 = 33K		$\Delta V(\text{mv})$
	VRC1(mv)	IRC1(ua)	VRC2(mv)	IRC2(ua)	
0	1018	33.93333	1017.043	29.05837	0.957
500	1018	33.93333	1011.493	28.8998	6.507
1000	1018	33.93333	1005.113	28.71751	12.887
1500	1018	33.93333	996.878	28.48223	21.122
2000	1018	33.93333	989.487	28.27106	28.513
2500	1018	33.93333	982.859	28.08169	35.141
3000	1018	33.93333	975.444	27.86983	42.556
3500	1018	33.93333	959.632	27.41806	58.368
4000	1018	33.93333	946.595	27.04557	71.405
4500	1018	33.93333	938.359	26.81026	79.641

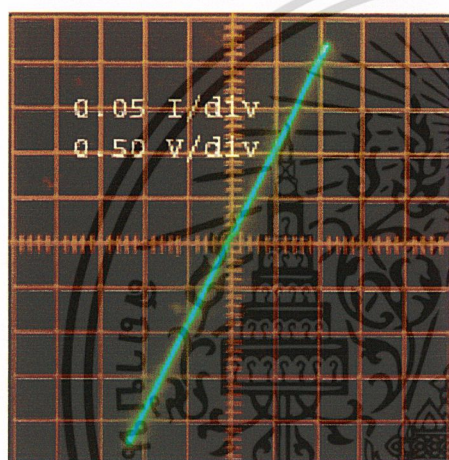
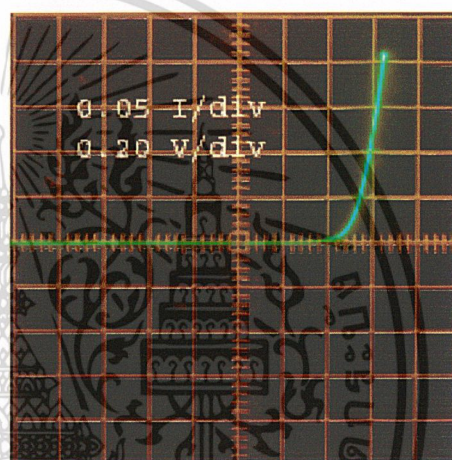
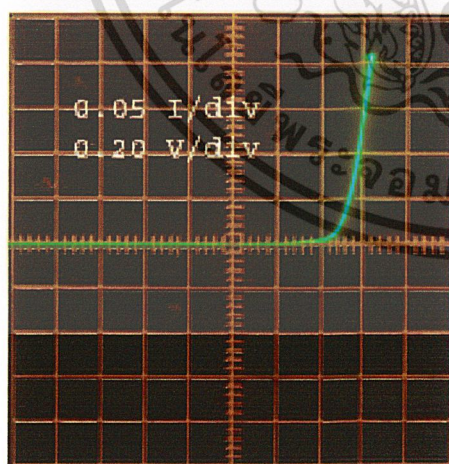
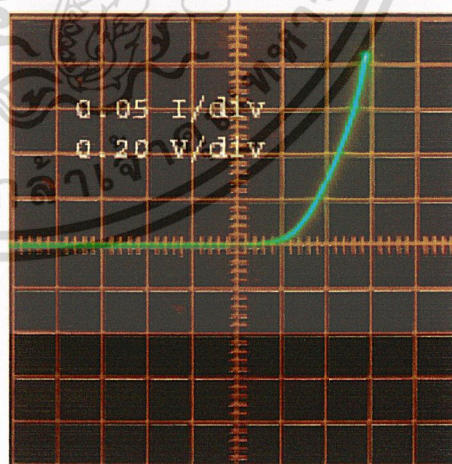
ภาคผนวก ข

คุณสมบัติรอยต่อที่วัดได้จากเครื่องเทรเซอร์

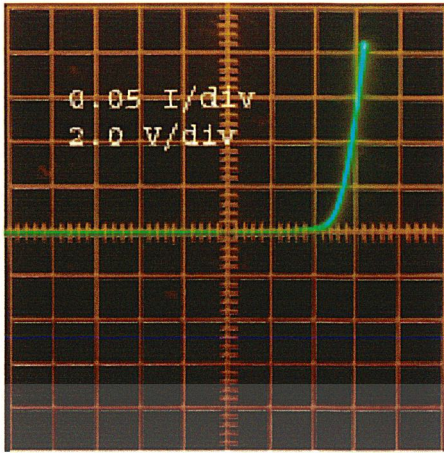
1 แมกนีโททรานซิสเตอร์

อุปกรณ์ตัวที่มีพารามิเตอร์ $W=20$ $L=20$

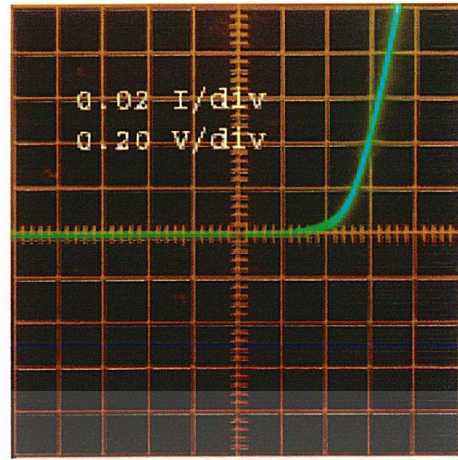
คุณสมบัติรอยต่อพีเอ็น

B₁-B₂B₁-C₁B₁-C₂B₂-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



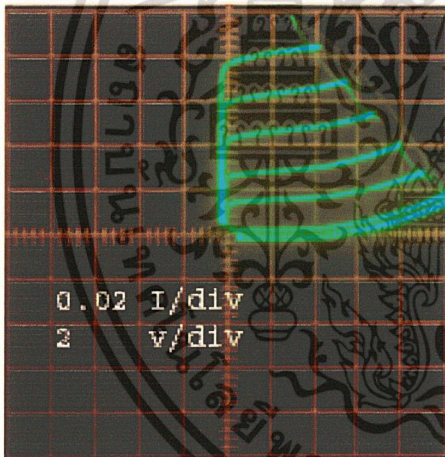
B_2-C_1



B_2-C_2

คุณสมบัติไบโพลาร์

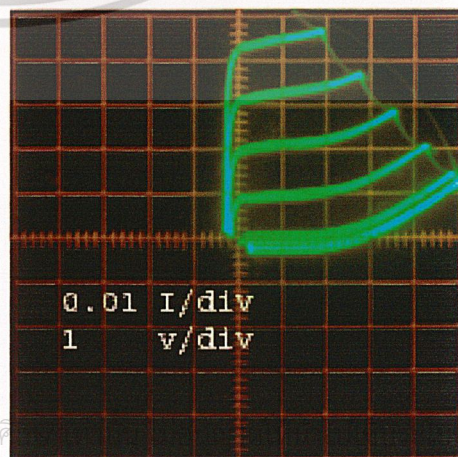
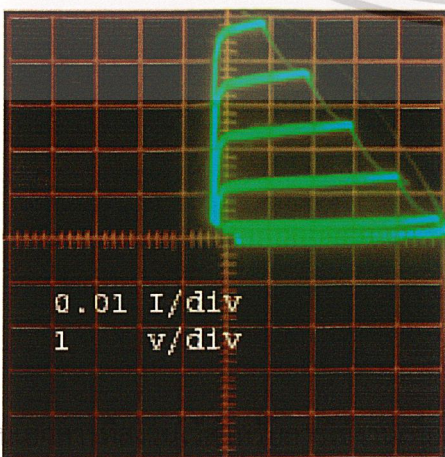
- เบสรวม



B_1-C_1-E



B_1-C_2-E



เอกสารนี้เป็น

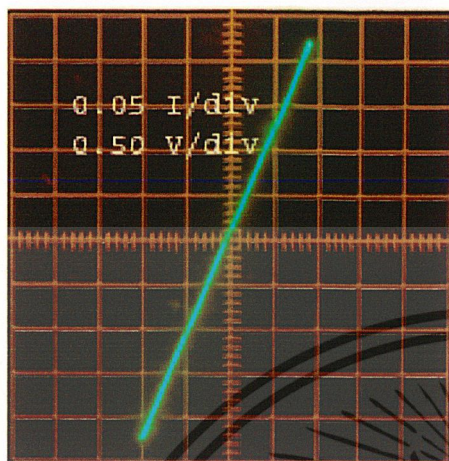
การศึ

นด้านการค้า

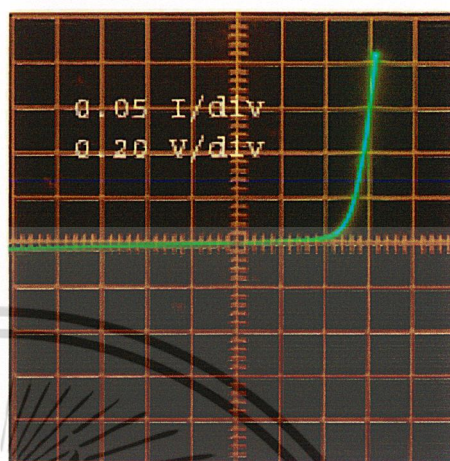
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่มีพารามิเตอร์ $W=10$ $L=20$

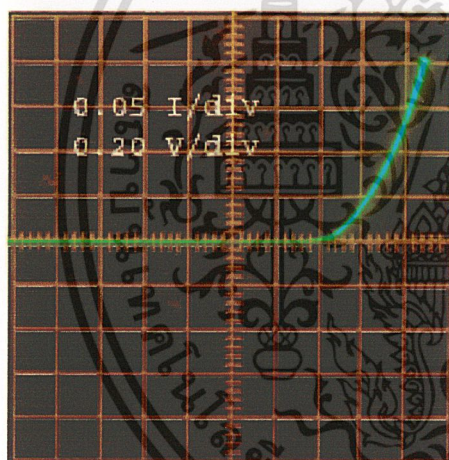
คุณสมบัติรอยต่อพีเอ็น



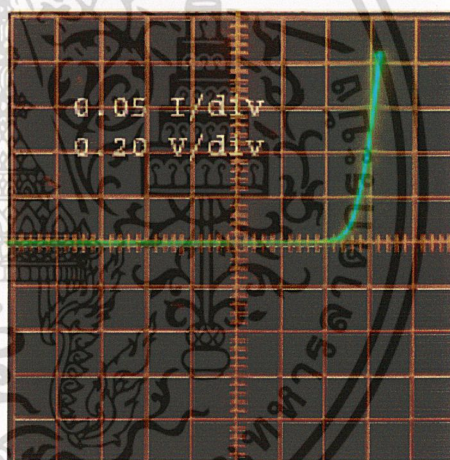
B_1-B_2



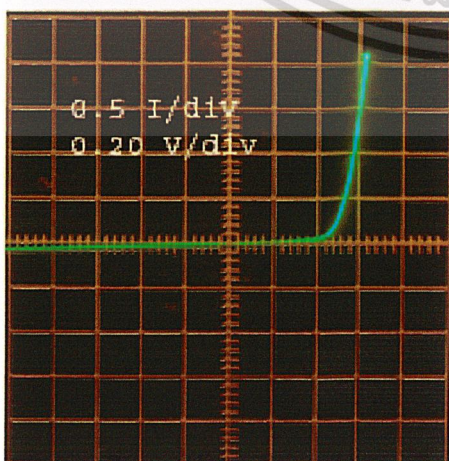
B_1-C_1



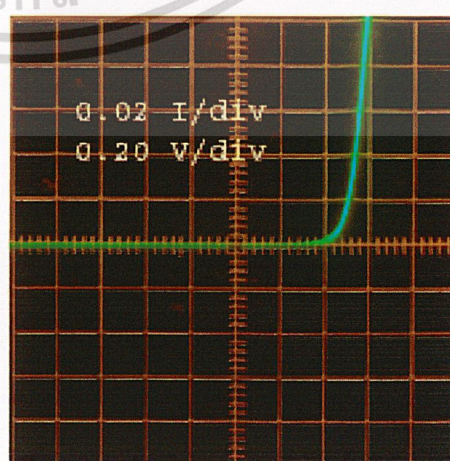
B_1-C_2



B_1-E

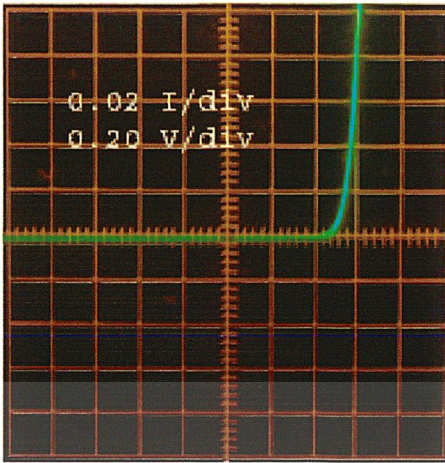


B_2-C_1

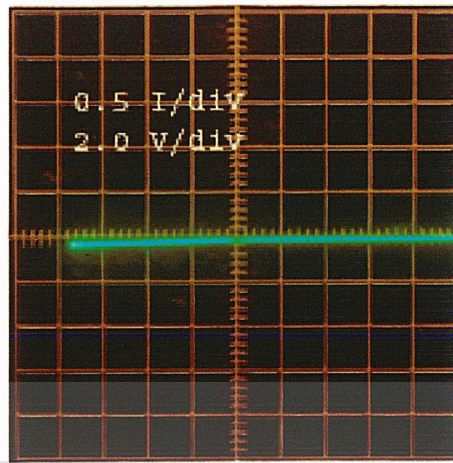


B_2-C_2

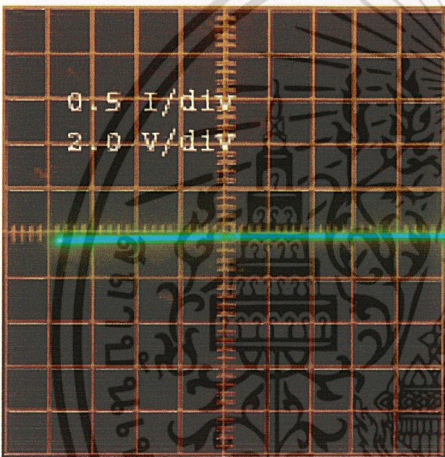
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานทางวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นเอกสารขอสงวนสิทธิ์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



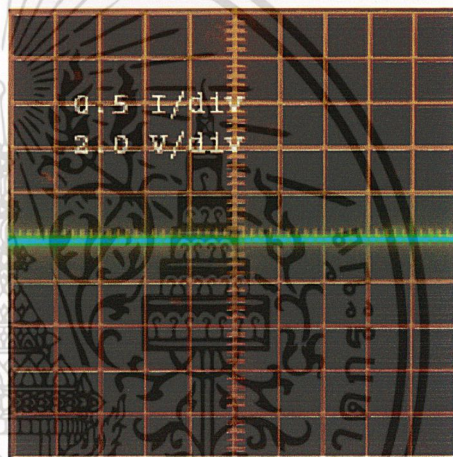
B₂-E



C₁-C₂



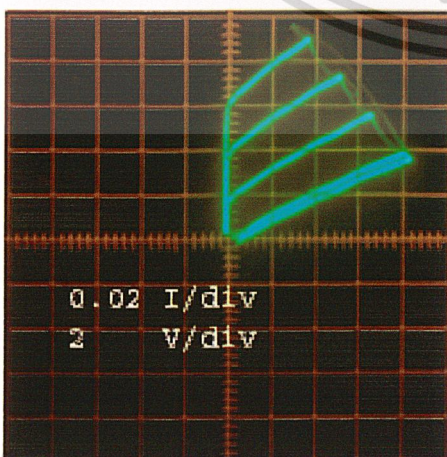
C₁-E



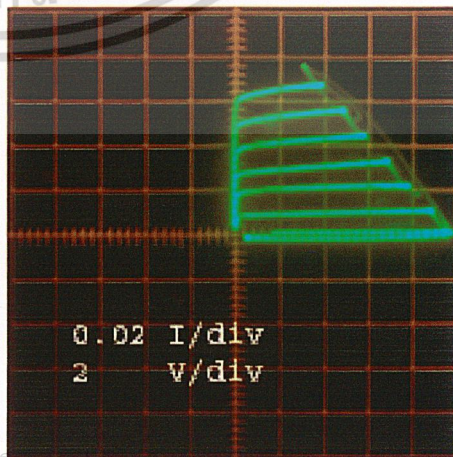
C₂-E

คุณสมบัติไบโพลาร์

- เบสรวม

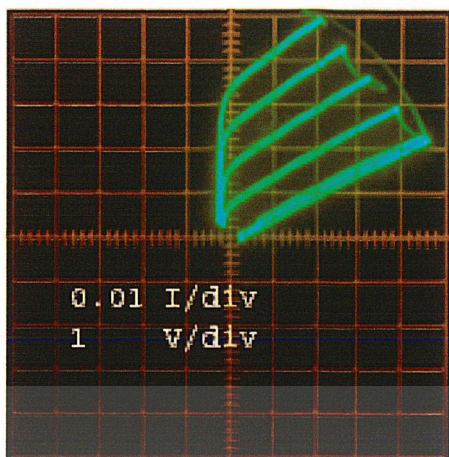


B₁-C₁-E

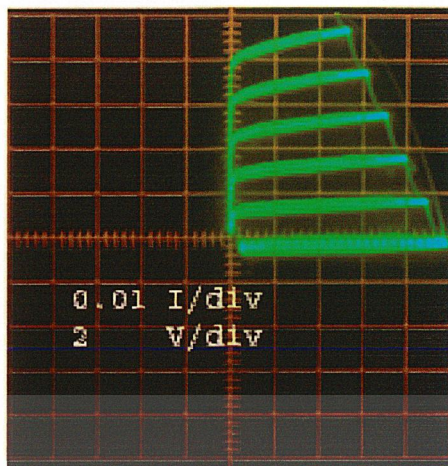


B₁-C₂-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เหมือนยูทูปเห็นาเบเซบระเขยงนด้านกรค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



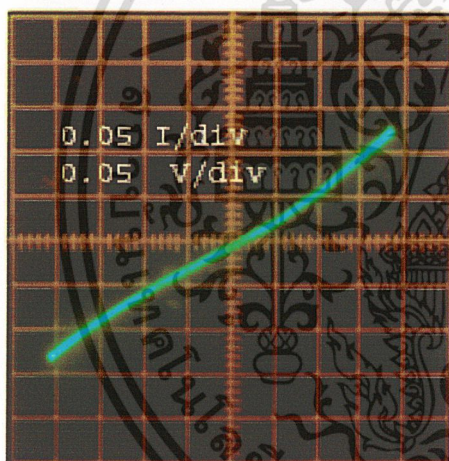
B₂C₁-E



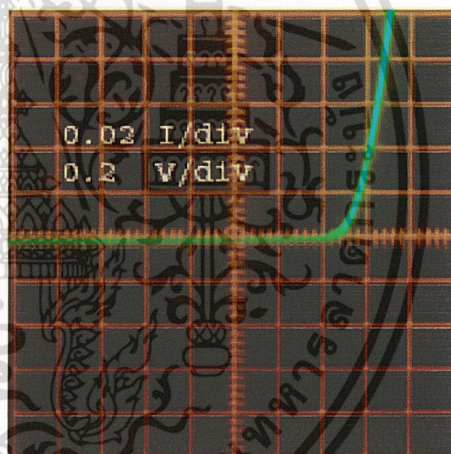
B₂C₂-E

อุปกรณ์ที่มีพารามิเตอร์ W=20 L=10

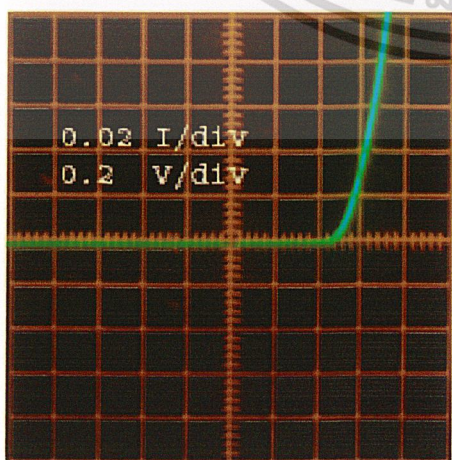
คุณสมบัติรอยต่อพีเอ็น



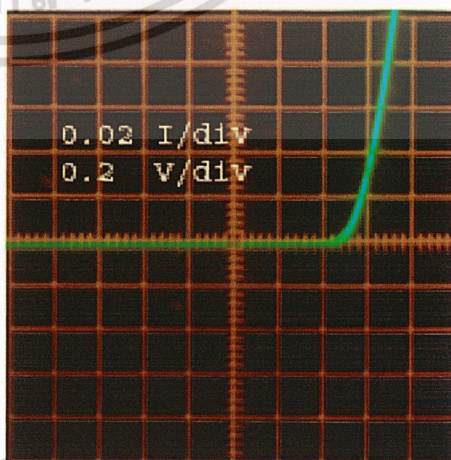
B₁-B₂



B₁-C₁

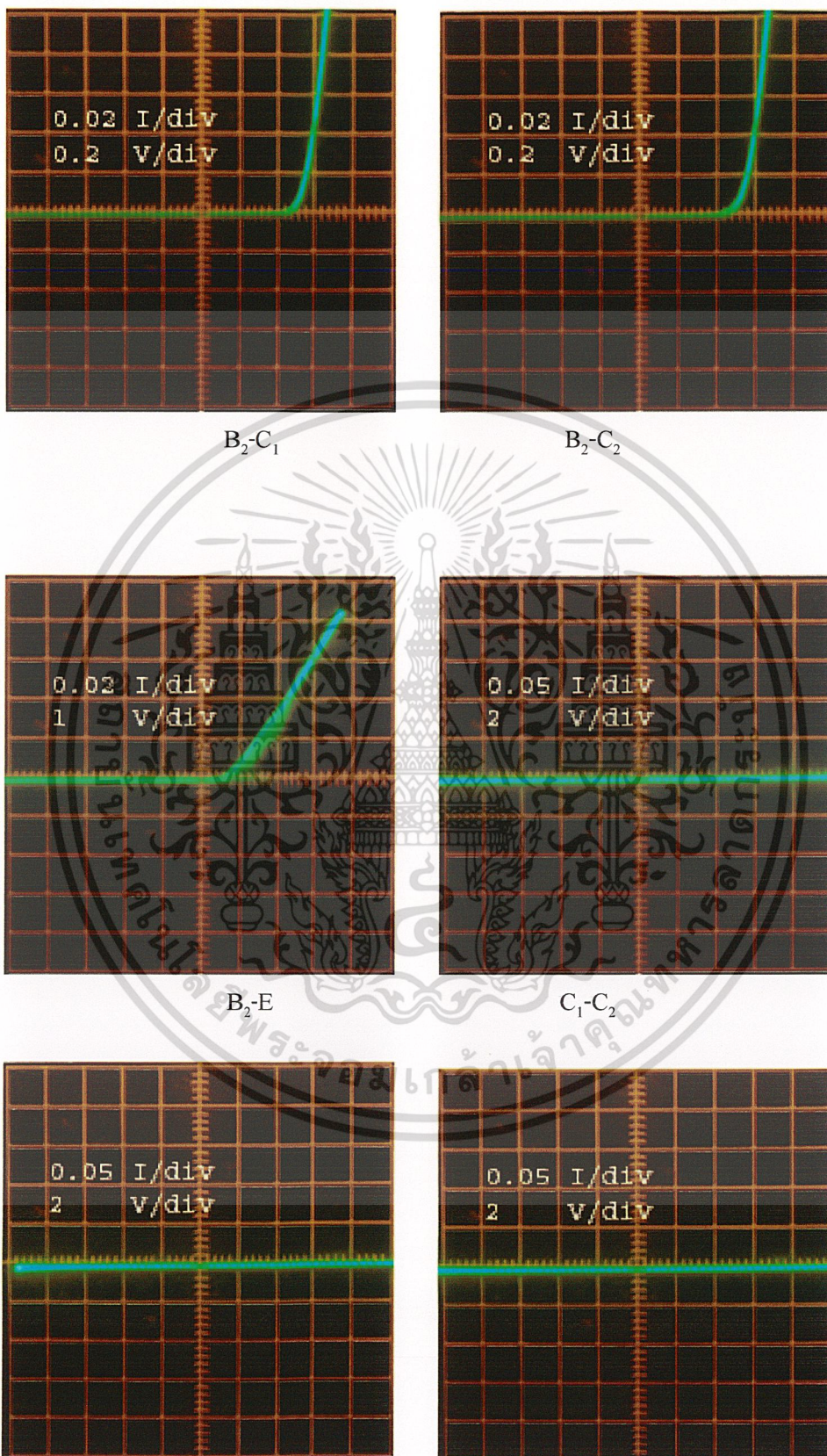


B₁-C₂



B₁-E

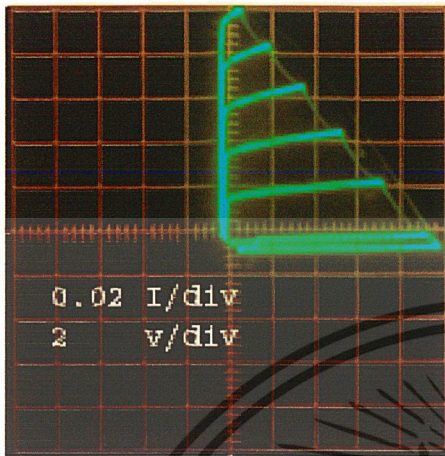
เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนเวลาหรงการเซงานเพอการศกษาแทนน ไมอนญาตเหนาเบเซประยชนดานการค้
ไมว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อักทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



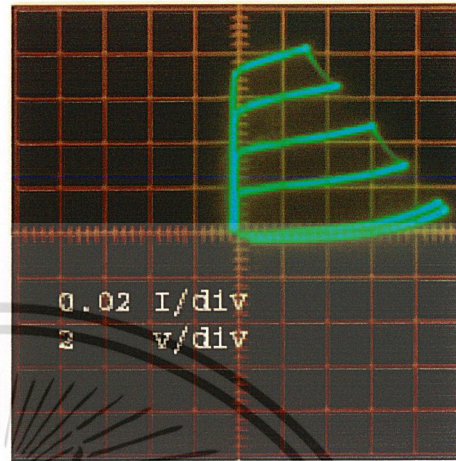
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น C_1-E C_2-E อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติไบโพลาร์

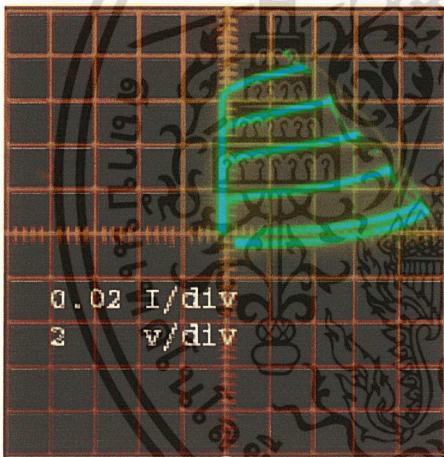
- เบสร่วม



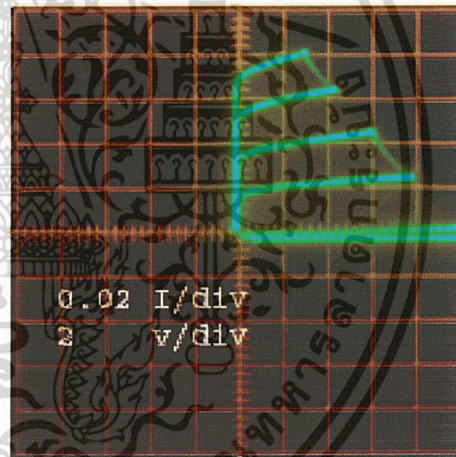
B_1-C_1-E



B_1-C_2-E



B_2-C_1-E

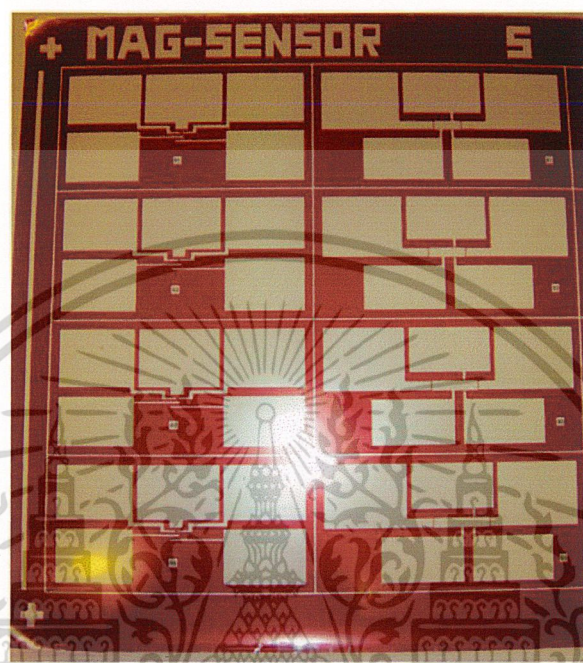


B_2-C_2-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แสดงรูปเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและทดสอบแมกนีโททรานซิสเตอร์

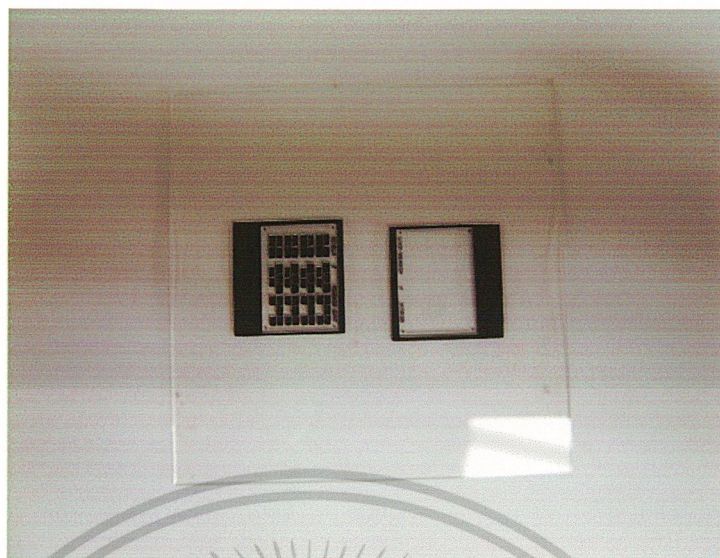


รูปที่1 มาร์คที่ตัดบนแผ่นพิวส์โคด

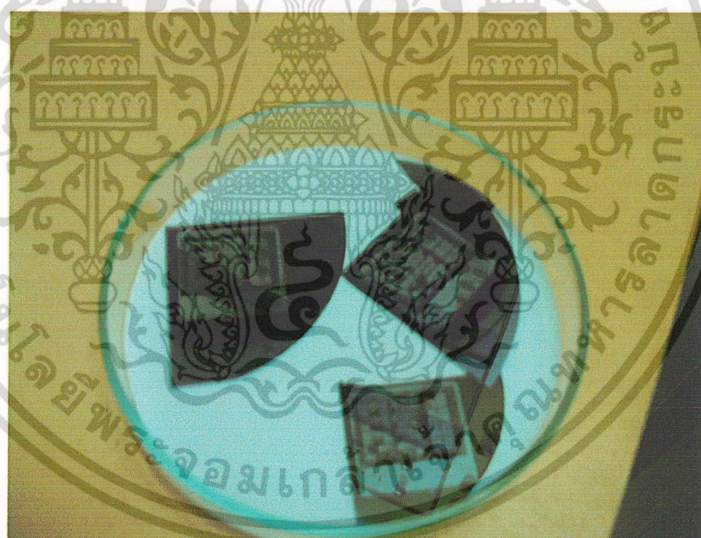


รูปที่2 แสดงเครื่องถ่ายย่อส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

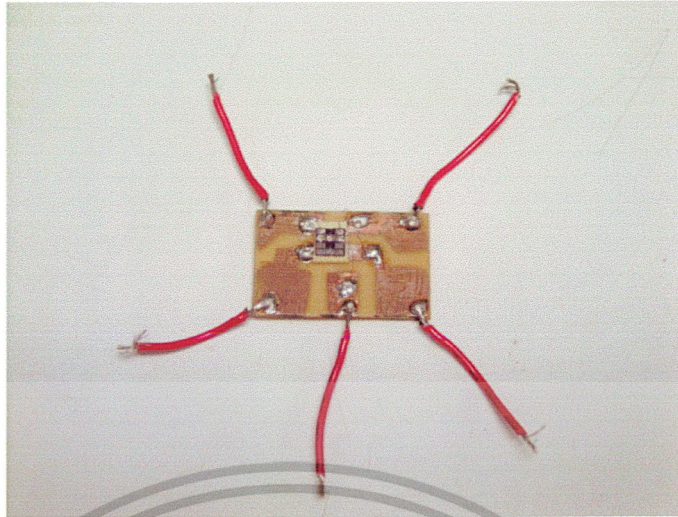


รูปที่ 3 กระจกมาร์คหลังจากการถ่ายย่อส่วน



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่สร้างเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

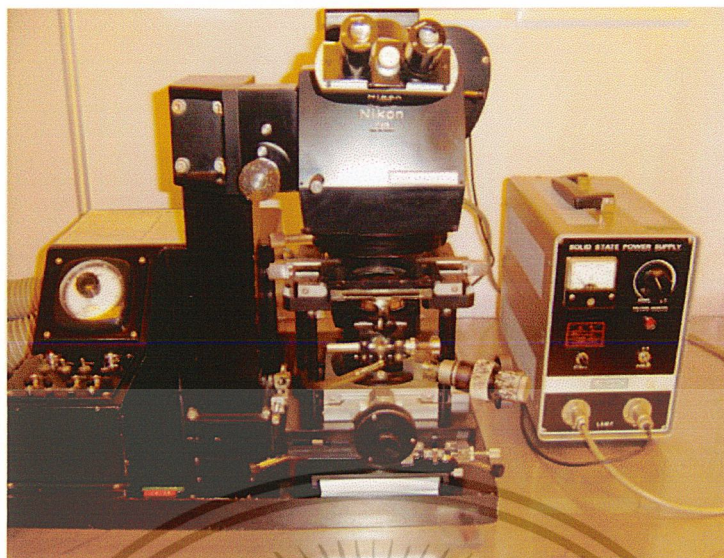


รูปที่ 5 ชิ้นงานที่ตัดแยก ติดตั้งบนแผ่นวงจรพร้อมที่จะให้ไปอัส

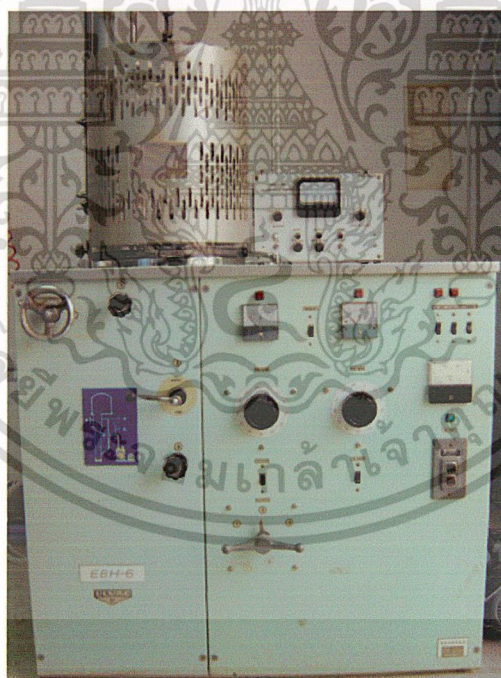


รูปที่ 6 แสดงเตาที่ใช้ในกระบวนการทำออกซิเดชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

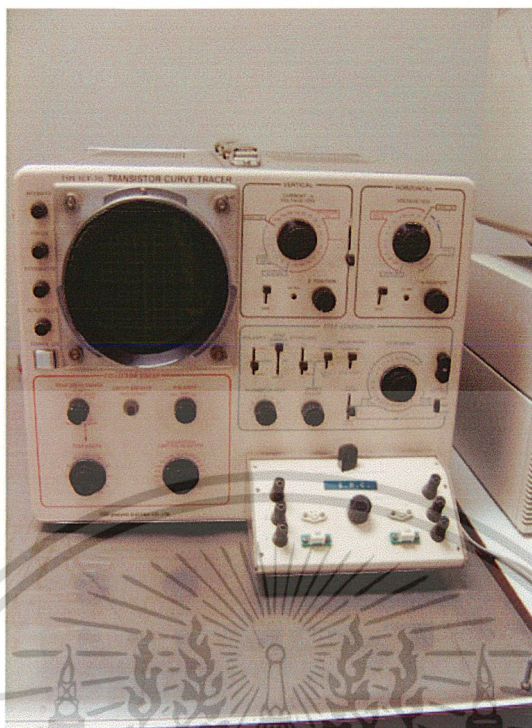


รูปที่7 เครื่องซ็อนมาร์และฉายแสง



รูปที่8 เครื่อง Evaporator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

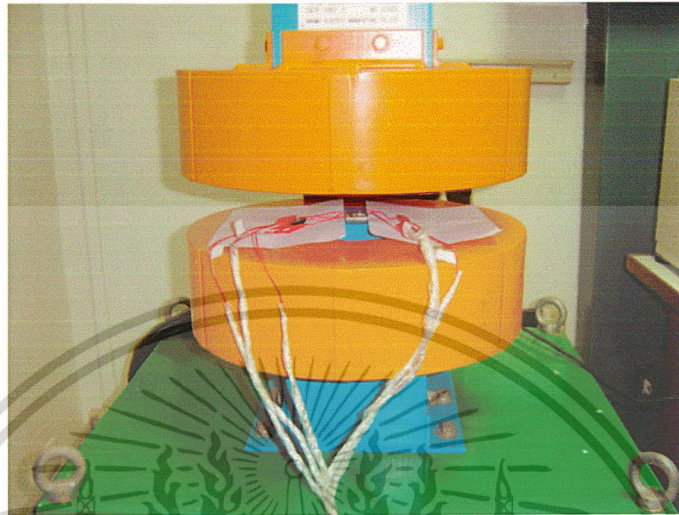


รูปที่9 Curve Testcer



รูปที่10 Probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

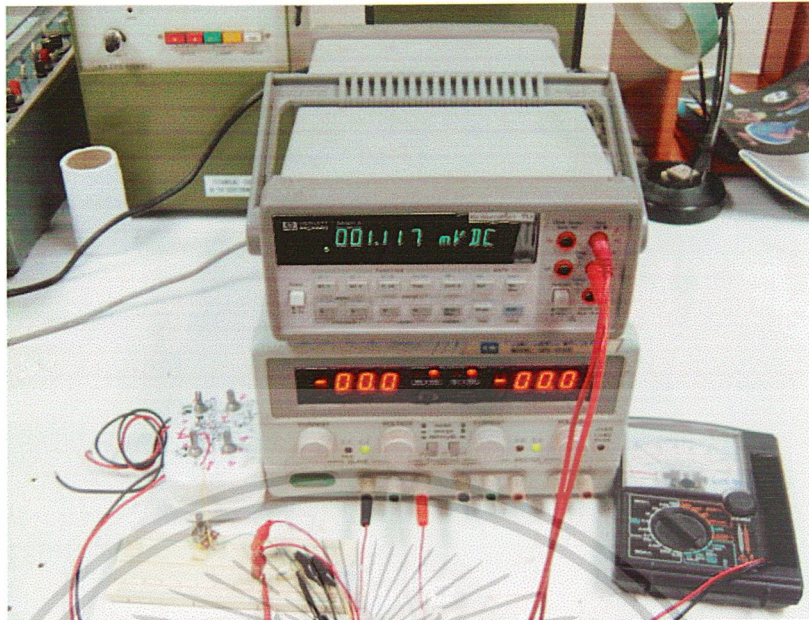


รูปที่ 11 เครื่องผลิตสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 12 วงจรไบอัสกระแสแสงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่13 เครื่องมือวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ที่สามารถในการตรวจจับสนามแม่เหล็ก การปฏิบัติงานการทดลอง สามารถคล่องไปได้ด้วยดี จากการได้รับคำแนะนำคำปรึกษา ความรู้ทางทฤษฎี วิธีการปฏิบัติงาน คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ วิธีการแก้ไขปัญหา และแนวความคิดดีๆ โดยผศ.ดร.เดิมนพษ์ เพ็ชรกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา) นายโสภณ พรหมชัย (นักศึกษาปริญญาโท) รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ให้คำปรึกษาต่างๆ ที่เป็นความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน คณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการ ขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ความหวังดีและความปรารถนาดีที่ไม่มีวันจบสิ้น คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอกราบพระคุณทุกท่าน ใว้ ณ ที่นี้ด้วย

(นายนิสิต นະชาตรี)

(นายอนุวัฒน์ สุวรรณผล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ผศ.ดร.เต็มพงษ์ เพชรกุล ,“อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. รศ.ดร.สมเกียรติ สุขเดช, “เซมิคอนดักเตอร์ดีไวซ์”คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. John Wiley “Semiconductor Sensor” New York. Chichester.Brisbane .
Toronto.Singapore
4. Albert W.Vinal “Operating Princics Of Biolar Transistor Magnetic Sensors”,IEEE Tran.On Electron Devices,Vol.Ed-31,No.10 ,1984,pp1486-1492
- 5.Henry P. Baltes “Integrated Semiconductor Megnetic Field Sensors”,IEEE Tran.ON Electron Devices,Vol.74,No.8,1986,pp1107-1986
- 6.Leif Halbo and Jan Haraldsen“The Magnetic Field Sensitive Transistor-Anew Sensor for Crankshaft Angle Position”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้