

การประยุกต์ใช้งานแมกนีโททรานซิสเตอร์แบบ3ขา

THE APPLICATION OF 3-TERMINAL MAGNETOTRANSISTORS



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55446
วัน,เดือน,ปี..... 9 พ.ค. 2548

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

การประยุกต์ใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ3ขา

THE APPLICATION OF 3-TERMINAL MAGNETOTRANSISTORS



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานแมกนีโททรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา

THE APPLICATION OF 3-TERMINAL MAGNETOTRANSISTORS

ผู้จัดทำ

นายประสิทธิ์ เฟื่องแก้ว รหัสนักศึกษา 44015205

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา

THE APPLICATION OF 3-TERMINAL MAGNETOTRANSISTORS

ผู้จัดทำ

นาย ประสิทธิ์ เฟื่องแก้ว รหัสนักศึกษา 44015205



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา

นาย ประสิทธิ์ เฟื่องแก้ว
ผศ.ดร.เดิมนงษ์ เพ็ชรกุล
(อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ซึ่งเป็นโครงสร้างไบโพลาร์ ปกติแล้วการใช้งานในการตรวจนับสนามแม่เหล็กจะใช้งานแบบ 5 ขา คือ ขาคอลเล็กเตอร์คู่ ขาเบส 2 ขา และ อิมิตเตอร์ 1 ขา ซึ่งจะเห็นว่ามีความซับซ้อนในกระบวนการสร้างและการทำงานอยู่พอสมควร หากสามารถที่จะลดความซับซ้อนในกระบวนการสร้าง และการทำงานของตัวอุปกรณ์ได้ก็จะเป็นการพัฒนาไปอีกขั้นหนึ่งสำหรับอุปกรณ์แมกนีโตทรานซิสเตอร์นี้ การเลือกใช้งาน แมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

แมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา นี้เป็นอุปกรณ์ตรวจนับสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก จากปรากฏการณ์ของฮอลล์ สนามแม่เหล็กทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์และเบสไหลไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถจับสัญญาณทางด้านเข้าพุทได้จากความแตกต่างของแรงดันระหว่าง โหลดที่ต่อกับขาคอลเล็กเตอร์และเบส (ΔV) ซึ่ง ΔV จะเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กที่รับเข้ามา ในทางอุดมคติแล้ว เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก $\Delta V = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The application of 3-terminal magnetotransistors

Mr. Prasit Pengkaew

Asist.Prof.Dr.Toempong Petchkul

(Advisor)

2003

Abstract

This project study the mechanism of 3-terminal magnetotransistors in which it has bipolar structure . The application of magnetic field detection uses 5 terminal normally, i.e. dual-collector ,two base, and one emitter .This can be seen that it gives the using and production quite complicated. In the application of 3-terminal magnetotransistors, if the complication in using and production of device can be reduced, it will become further step development for this 3- terminal magnetotransistors device . Therefore, the application of 3- terminal magnetotransistors is one interested way to choose.

Which 3-terminal magnetotransistors have been evaluated and found to sensitive to an applied perpendicular magnetic field.From hall effect , magnetic field results in unequal currents to collector and base . The output signal is taken as differential voltage between load resistor connect to collector and base (ΔV) . Which ΔV to change follow magnetic field. In idea when no magnetic field ΔV to be equal to zero.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-3
1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์	1
1.2 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์	3-14
2.1 การไหลของกระแสในสารกึ่งตัวนำ	3
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์	4
2.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์สนามแม่เหล็ก	8
บทที่ 3 แมกนีโตทรานซิสเตอร์	15-20
3.1 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีกระแสไหลทางแนวตั้ง	16
3.2 แมกนีโตทรานซิสเตอร์กระแสไหลแนวอน	17
3.3 ผลของปรากฏการณ์ฮอลล์ในแมกนีโตทรานซิสเตอร์	18
บทที่ 4 ทฤษฎีและกระบวนการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	21-23
4.1 กระบวนการออกซิเดชัน	21
4.2 กระบวนการได้บสารเจือด้วยกระบวนการแพร่	22
4.3 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี	22
4.4 ฟิสิกส์โพซิชั่น	23
4.5 การอิวาไปเลชั่น	23
บทที่ 5 การออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์	24-25
บทที่ 6 กระบวนการสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์	26-40
บทที่ 7 แนวคิดและหลักการดำเนินงานของวงไบอัสเพื่อการประยุกต์ใช้งานแบบ 3 ขา	41-46
บทที่ 8 การวัดผลการทดลอง	47-51
บทที่ 9 สรุปผล	52-53
ภาคผนวก ก แสดงตารางการวัดแบบ3ขาและ5ขา	54-77
ภาคผนวก ข รูปคุณสมบัติรอยต่อที่วัดจากเครื่องเทอร์เซอร์	78-81
ภาคผนวก ค แสดงรูปเครื่องมือที่ใช้และทดสอบแมกนีโตทรานซิสเตอร์	82-84
กิตติกรรมประกาศ	85
บรรณานุกรม	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงการเกิดของกระแสครีฟท์ของกระแสอิเล็กตรอนและ โสลาในสารกึ่งตัวนำ	3
รูปที่ 2.2	แสดงการแพร่และกระแสแพร่ของอิเล็กตรอนและ โสลาในสารกึ่งตัวนำที่มีการกระจายพาหะอย่างไม่สม่ำเสมอ	4
รูปที่ 2.3	ไดอะแกรมอย่างง่ายและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.4	โครงสร้างทิศทางการไหลของกระแสของทรานซิสเตอร์ npn	7
รูปที่ 2.5	แสดงปรากฏการณ์ของฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี	9
รูปที่ 3.1	แสดงแมกนีโตทรานซิสเตอร์ ชนิดต่าง ๆ	16
รูปที่ 3.2	เป็นทรานซิสเตอร์ Drift – aided แบบคู่คอลเลกเตอร์	17
รูปที่ 3.3	โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในโครงการ	19
รูปที่ 3.4	การไบอัสให้กับแมกนีโตทรานซิสเตอร์	20
รูปที่ 5.1	โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ออกแบบสร้าง	24
รูปที่ 6.1	แผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น	26
รูปที่ 6.2	แผ่นซิลิกอนชนิดพีหลังผ่านการออกซิเดชัน	27
รูปที่ 6.3	แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาร์คที่ 1	28
รูปที่ 6.4	แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว	29
รูปที่ 6.5	การแพร่สารเจือ โบรมันชนิดเหลว	30
รูปที่ 6.6	แผ่นซิลิกอนหลังการ ไดรว์อินแล้ว	31
รูปที่ 6.7	แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาร์คที่ 2	32
รูปที่ 6.8	แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว	33
รูปที่ 6.9	การแพร่สารเจือฟอสฟอรัสชนิดเหลว	34
รูปที่ 6.10	แผ่นซิลิกอนหลังการ ไดรว์อินแล้ว	35
รูปที่ 6.11	แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาร์คที่ 3	36
รูปที่ 6.12	แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว	37
รูปที่ 6.13	หลังจากเคลือบอบลูมิเนียมแล้ว	37
รูปที่ 6.14	แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาร์คที่ 4	38
รูปที่ 6.15	แผ่นซิลิกอนหลังการซินเตอร์ริงแล้ว	39
รูปที่ 6.16	แสดงวงจรไบอัสแมกนีโตทรานซิสเตอร์	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับและสัญลักษณ์ของวงจรรายการต่าง ๆ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่7.1 แสดงวงจรไบอัสเมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ5ขา	41
รูปที่7.2 เลือกขาใช้งานแบบ3ขา	42
รูปที่7.3 วงจรไบอัสแบบที่1	43
รูปที่ 7.4 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกระแสคงที่	43
รูปที่7.5 วงจรไบอัสที่2	45
รูปที่8.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อน กระแสIE = 100 μ A พารามิเตอร์ L=20 μ m W= 10 μ m	47
รูปที่8.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสIE = 120 μ A พารามิเตอร์ L=20 μ m W= 10 μ m	48
รูปที่8.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสIE = 100 μ A พารามิเตอร์ L=20 μ m W= 10 μ m	48
รูปที่8.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสIE = 120 μ A พารามิเตอร์ L=20 μ m W= 10 μ m	49
รูปที่8.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสIE = 100 μ A พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m	50
รูปที่8.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสIE = 120 μ A พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m	50
รูปที่8.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสIE = 100 μ A พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m	51
รูปที่8.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแสIE = 120 μ A พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m	52
รูปที่8.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก ของการวัดแบบ5ขา เมื่อป้อนกระแสIE = 100 μ A พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m	52

รูปภาคผนวก ข. คุณสมบัติรอยต่อที่วัดจากเครื่องเทอร์เซอร์	78
---	----

รูปภาคผนวก ค. แสดงรูปเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและทดสอบเมกนีโตทรานซิสเตอร์	83
--	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางผลการทดลองที่ 1 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$	54
ตารางผลการทดลองที่ 2 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$	55
ตารางผลการทดลองที่ 3 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$	56
ตารางผลการทดลองที่ 4 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$	57
ตารางผลการทดลองที่ 5 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$	58
ตารางผลการทดลองที่ 6 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$	59
ตารางผลการทดลองที่ 7 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$	60
ตารางผลการทดลองที่ 8 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$	61
ตารางผลการทดลองที่ 9 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผลการทดลองที่10 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L= 20 μ m W=10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 120 μ A ไฟช่วยเท่ากับ (VCB)=5V	63
ตารางผลการทดลองที่11 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L= 20 μ m W=10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 120 μ A ไฟช่วยเท่ากับ(VCB)= 10	64
ตารางผลการทดลองที่12 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 100 μ A ไฟช่วยเท่ากับ(VCB)=0V	65
ตารางผลการทดลองที่13 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 100 μ A ไฟช่วยเท่ากับ (VCB)=5V	66
ตารางผลการทดลองที่14 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 100 μ A ไฟช่วยเท่ากับ (VCB)=10V	67
ตารางผลการทดลองที่15 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 120 μ A ไฟช่วยเท่ากับ(VCB)= 5V	68
ตารางผลการทดลองที่16 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 120 μ A ไฟช่วยเท่ากับ (VCB)=10V	69
ตารางผลการทดลองที่17 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 100 μ A ไฟช่วยเท่ากับ (VCB)=0V	70
ตารางผลการทดลองที่18 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ L=10 μ m W= 10 μ m เมื่อป้อนกระแส IE = 100 μ A ไฟช่วยเท่ากับ (VCB)=5V	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผลการทดลองที่19 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$	72
ตารางผลการทดลองที่20 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$	73
ตารางผลการทดลองที่21 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$	74
ตารางผลการทดลองที่22 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$	75
ตารางผลการทดลองที่23 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ใช้แบบ5ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$	76
ตารางผลการทดลองที่24 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ใช้แบบ5ขา พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$	77

บทที่ 1

บทนำ

อุปกรณ์เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กมีหลายชนิด เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งในโครงการนี้จะใช้สารกึ่งตัวนำในการตรวจจับสนามแม่เหล็กโดยใช้ปรากฏการณ์ของฮอลล์ที่กระทำต่อประจุพาหะมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ อุปกรณ์นี้คือ แมกนีโตทรานซิสเตอร์ แต่อุปกรณ์แมกนีโตทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปจะมีขาใช้งานถึง 5 ขา ซึ่งถ้าเราสามารถลดจำนวนขาใช้งานลงได้เหลือ 3 ขา ก็จะช่วยให้สะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น ฉะนั้นในโครงการครั้งนี้เป็นการออกแบบการประยุกต์ใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 5 ขาทั่วไป มาเป็นการใช้งานแบบ 3 ขาแทน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องออกแบบวงจรไบอัสให้เหมาะสม และทำให้ตัวอุปกรณ์สามารถทำการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กได้ดีแม้จะต่อขาใช้งานแบบ 3 ขาก็ตาม ซึ่งเมื่อโครงการสำเร็จไปได้ด้วยดีก็จะได้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ ที่สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้นเพราะมีขาใช้งานแค่เพียง 3 ขา และยังทำให้กระบวนการสร้างอุปกรณ์ง่ายขึ้นอีกด้วย

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว แมกนีโตทรานซิสเตอร์สามารถสร้างเป็นวงจรรวม (IC) การเรียนรู้และออกแบบสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ และการพยายามลดความยุ่งยากของกระบวนการสร้างลง จะเป็นแนวคิดที่ดีในการพัฒนาเทคโนโลยีให้สูงขึ้นไปและยังสะดวกในการใช้งานมากขึ้นในอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

- 1.1.1 เพื่อศึกษาการกระบวนการสร้างและการใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์
- 1.1.2 ศึกษาคุณสมบัติในการทำงานและการตรวจจับแม่เหล็กของแมกนีโตทรานซิสเตอร์
- 1.1.3 สามารถวิเคราะห์ถึงผลของสนามแม่เหล็กต่อกระบวนการไหลของกระแสและกระบวนการเลี้ยวเบนของกระแส
- 1.1.4 สามารถประยุกต์การใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์จาก 5 ขา มาเป็นการใช้งานแบบ 3 ขาได้
- 1.1.5 สามารถที่จะทำการทดลองการทำงานและเปรียบเทียบการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ทั้งกรณี 5 ขา และกรณีการประยุกต์ใช้งานแบบ 3 ขาได้
- 1.1.6 สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองกรณีการใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขาได้และวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้การนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขอบเขตของปริญญาโท

1.2.1 ทำการศึกษากระบวนการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปและผลของการวัดคุณสมบัติการทำงานปกติแบบ3ขา

1.2.2 ทำการออกแบบวงจรไบอัสเพื่อการประยุกต์ใช้แมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ3ขา

1.2.3 วัดเปรียบเทียบกรณีการประยุกต์ใช้งานแบบ3ขาและเปรียบเทียบผลกับกรณีใช้งานปกติ

1.2.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากปริญญาโท

1.3.1 เข้าใจกระบวนการเคลื่อนที่ของประจุพาหะและกระบวนการไหลของกระแสในสารกึ่งตัวนำ

1.3.2 เข้าใจถึงผลของสนามแม่เหล็กต่อการเคลื่อนที่ของประจุในสารกึ่งตัวนำ

1.3.3 เข้าใจผลการทดลองและทฤษฎีของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

1.3.4 เข้าใจถึงการบวนการไบอัสการใช้งานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้แบบ3ขา

1.3.5 สามารถวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานจริง



บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์

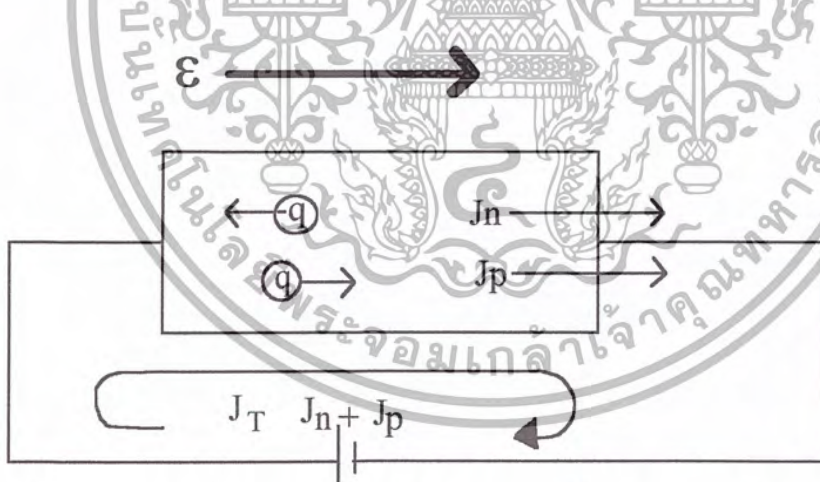
แมกนีโตทรานซิสเตอร์เป็นทรานซิสเตอร์ที่สามารถตรวจจับแม่เหล็ก การที่จะเข้าใจการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์จำเป็นต้องอย่างยิ่งในการเข้าใจทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1 การไหลของกระแสในสารกึ่งตัวนำ

กระแสที่ไหลในสารกึ่งตัวนำเป็นเรื่องพื้นฐานสำคัญอันดับต้น ๆ ที่ต้องทำความเข้าใจในสารกึ่งตัวนำกระแสเกิดจาก พาหะอยู่สองชนิดคือ โฮลและอิเล็กตรอน ลักษณะการไหลมีอยู่สองแบบคือ

2.1.1 กระแสดริฟท์

ในสารกึ่งตัวนำมีพาหะอยู่สองชนิดคือ อิเล็กตรอนและโฮล เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า จะเกิดมีแรงกระทำของพาหะทั้งสองและทำให้เกิดพาหะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วดริฟท์ โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้า โฮลเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า การกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเรียกว่า กระแสดริฟท์(Drift current) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดของกระแสดริฟท์ของกระแสอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำ

จะได้ว่า กระแสดริฟท์ของอิเล็กตรอน

$$J_n = nq \mu_n E$$

2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสครีฟท์ของโฮล

$$J_p = nq \mu_p \mathcal{E} \quad 2.2$$

กระแสครีฟท์รวม

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

2.1.2 กระแสแพร่(Diffusion current)

เป็นกระแที่เกิดขึ้นจากพาหะของสารกึ่งตัวนำที่กระจายความหนาแน่นของพาหะไม่เท่ากัน หรือมีความหนาแน่นแตกต่างกัน(Concentration gradient) ซึ่งจะเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าการเคลื่อนที่ลักษณะนี้เรียกว่า กระแสแพร่(Diffusion current)



รูปที่ 2.2 แสดงการแพร่และกระแสแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำที่มีการกระจายพาหะอย่างไม่สม่ำเสมอ

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์

ซึ่งโครงสร้างของแมกนีโดทรานซิสเตอร์ใช้เทคโนโลยีไบโพลาร์จึงขออธิบายหลักการ
ทำงานของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

ซึ่งทรานซิสเตอร์มีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ ทรานซิสเตอร์ชนิด P-N-P และทรานซิสเตอร์ชนิด N-P-N ซึ่งประกอบด้วย 3 ขาคือ ขาอิมิตเตอร์ ขาคอลเลคเตอร์ และขาเบส ความกว้างของเบสต้องมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการแพร่ของพาหะส่วนน้อยซึ่งบริเวณขาอิมิตเตอร์ความเข้มข้นของการโด๊ปมากที่สุด และบริเวณขาคอลเลคเตอร์จะมีการโด๊ปน้อยที่สุด



(ข)

รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมอย่างง่ายและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า

(ก) ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ npn (ข) ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ pnp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์

หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด P-N-P กับ N-P-N จะมีหลักการทำงานคล้ายๆกัน จึงขออธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด N-P-N

การทำงานในโหมด ไบอัสตรง ซึ่งขาเบส-อิมิตเตอร์จะต้องได้แรงดันไบอัสตรงและขาเบส-คอลเลคเตอร์ต้องได้รับไบอัสย้อนกลับ เมื่ออิเล็กตรอนจากขาอิมิตเตอร์จะถูกฉีดข้ามรอยต่อ (B-E) เข้าไปบริเวณขาเบสการฉีดของอิเล็กตรอนเหล่านี้จะสร้างความเข้มข้นของพาหะส่วนเกินและรอยต่อ(B-C) ซึ่งสนามไฟฟ้าจะกวาดอิเล็กตรอนเข้าไปยังบริเวณคอลเลคเตอร์ ดังนั้นบริเวณเบสยิ่งแคบยิ่งดี กระแสคอลเลคเตอร์จะมีค่ามากทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น

2.2.3 โหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์

ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 โหมดด้วยกัน

2.2.3.1 แอคทีฟโหมด (Active mode) หรือ Forward active mode

หมายถึงการฉีดไบอัสให้ทรานซิสเตอร์โดย รอยต่ออิมิตเตอร์เป็น ไบอัสตรง และรอยต่อคอลเลคเตอร์ได้รับไบอัสกลับ โดยโหมดนี้จะนำไปใช้งานมากที่สุด

2.2.3.2 แซทจูเรชัน โหมด (Satulation mode)

หมายถึงการฉีดไบอัสให้ทรานซิสเตอร์โดย รอยต่ออิมิตเตอร์และรอยต่อคอลเลคเตอร์ต่างก็เป็นไบอัสตรงเหมือนกัน ในขณะนี้จะตรงกับสภาวะอิ่มตัวซึ่งมีกระแสไหลเป็นจำนวนมาก และแรงดันตกคร่อมรอยต่อมีค่าต่ำ นำไปใช้งานในอุปกรณ์สวิตช์ จะอยู่ในสถานะ ON

2.2.3.3 คัทออฟโหมด (Cut off mode)

หมายถึงการฉีดไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์โดยรอยต่อทั้งสอง คือรอยต่ออิมิตเตอร์ต่างก็ได้รับไบอัสย้อนกลับทั้งคู่ ทำให้มีกระแสไหลน้อยมากและแรงดันที่รอยต่อจะมีค่าสูง นำทรานซิสเตอร์ไปเป็นอุปกรณ์สวิตช์จะตรงกับสถานะ OFF

2.2.3.4 อินเวอร์ตเตจโหมด หรือ Inverted active mode

หมายถึงการไบอัสให้ตรงกันข้ามกับกรณีของแอคทีฟโหมด ซึ่งนำไปใช้งานน้อย

2.2.4 การวิเคราะห์สมการกระแสในทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์

ในการวิเคราะห์สมการกระแสต่างๆในทรานซิสเตอร์ ขณะทำงานในโหมดแอคทีฟ โดยการวิเคราะห์ง่ายๆจะกำหนดเงื่อนไขต่อไปนี้

2.2.4.1 ต้องพิจารณาเป็นการฉีดระดับต่ำ (Low level injection)

2.2.4.2 สนามไฟฟ้าภายนอกบริเวณหลอดพาหะของรอยต่อมีค่าน้อยมากจึงไม่มีผลทำให้เกิดกระแสครีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

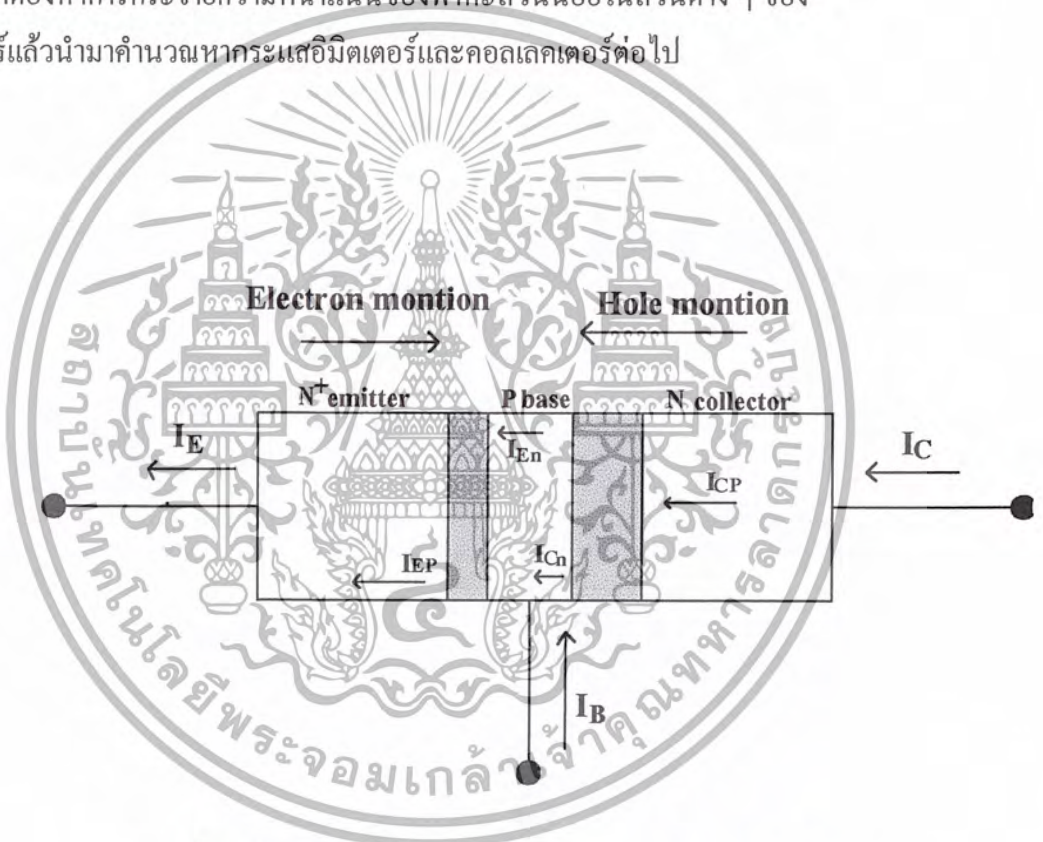
2.2.4.3 ในบริเวณปลอดพาหะรอยต่อไม่มีการเกิดพาหะและไม่มีการรวมตัวใหม่ของพาหะ

2.2.4.4 ขนาดความกว้างของส่วนอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์มีค่ามากกว่าระยะการแพร่ของพาหะส่วนน้อยมาก ๆ ดังนั้นความหนาแน่นข้างพาหะส่วนน้อยที่ขั้วโลหะของส่วนอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์เท่าเดิมคือความหนาแน่นในสภาวะสมดุลความร้อน

2.2.4.5 ขนาดพื้นที่ของคอลเลคเตอร์มีค่ามากของพื้นที่ของส่วนอิมิตเตอร์

2.2.4.6 การกระจายตัวความหนาแน่นของอะตอมสารเจือมีค่าของทรานซิสเตอร์มีค่าสม่ำเสมอ

พิจารณาโครงสร้างทรานซิสเตอร์ npn เหมือนกับการวิเคราะห์สมการของกระแสของไดโอด โดยเราต้องหาการกระจายความหนาแน่นของพาหะส่วนน้อยในส่วนต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์แล้วนำมาคำนวณหากระแสอิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์ต่อไป



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทิศทางการไหลของกระแสของทรานซิสเตอร์ npn

จากการวิเคราะห์การกระจายความหนาแน่นของพาหะส่วนน้อยจะได้ค่ากระแสต่างของทรานซิสเตอร์ชนิด npn โดยที่

$$I_E = I_{EN} + I_{EP} \quad 2.4$$

I_{EN} คือ กระแสในส่วนเบสที่รอยต่ออิมิตเตอร์

$$= \frac{qAD_n n_0}{L_n} \left\{ \left[e^{q^{V_{BE}}/KT} - 1 \right] \coth \frac{W_B}{L_n} - \left[e^{q^{V_{BC}}/KT} - 1 \right] \frac{1}{\sinh(W_B/L_n)} \right\} \quad 2.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในอินเทอร์เน็ตโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{qAD_{PE}}{L_{PE}} \left[e^{qV_{BE}} / KT^{-1} \right] \quad 2.6$$

$$I_C = I_{CN} + I_{CP} \quad 2.7$$

I_{CN} คือ กระแสในส่วนเบสที่รอยต่อคอลเลกเตอร์

$$= \frac{qAD_n n_0}{L_n} \left\{ \left[e^{qV_{BE}} / KT \right] \frac{1}{\sinh(W_B / L_n)} - \left[e^{qV_{BC}} / KT^{-1} \right] \cosh(W_B / L_n) \right\} \quad 2.8$$

I_{CP} คือ กระแสส่วนคอลเลกเตอร์ที่รอยต่ออิมิตเตอร์

$$= - \frac{qAD_{PC} P_{OC}}{L_{PC}} \left[e^{qV_{BC}} / KT^{-1} \right] \quad 2.9$$

$$I_B = I_E + I_C \quad 2.10$$

2.3 หลักการของการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็ก

หน่วยความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก(H)เป็น A/m ความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็ก(B)มีหน่วยเป็น tesla (T) มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$B = \mu^B H = \mu_0^B \mu_r^B H \quad 2.11$$

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

ซึ่งการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กนั้นจะใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์(Hall effect) ซึ่งเราสามารถวัดตำแหน่งเชิงเส้นมุมหรือใช้ในการวัดแรงดัน มีหลักการอยู่ว่า โวลท์ที่อยู่ในลักษณะตามขวางจะสร้างกระแสให้ไหลตรงกันข้ามและเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหล โดยสนามแม่เหล็ก ซึ่งเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะอาศัยปรากฏการณ์กัลป์วานอร์เมกเนติก ที่เกิดเนื่องจากแรงลอเรนส์(Lorentz force)บนประจุพาหะที่เคลื่อนที่โดยสนามแม่เหล็ก แมกนีโตทรานซิสเตอร์ก็ใช้ปรากฏการณ์ดังกล่าว

จึงขออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กได้ดังนี้

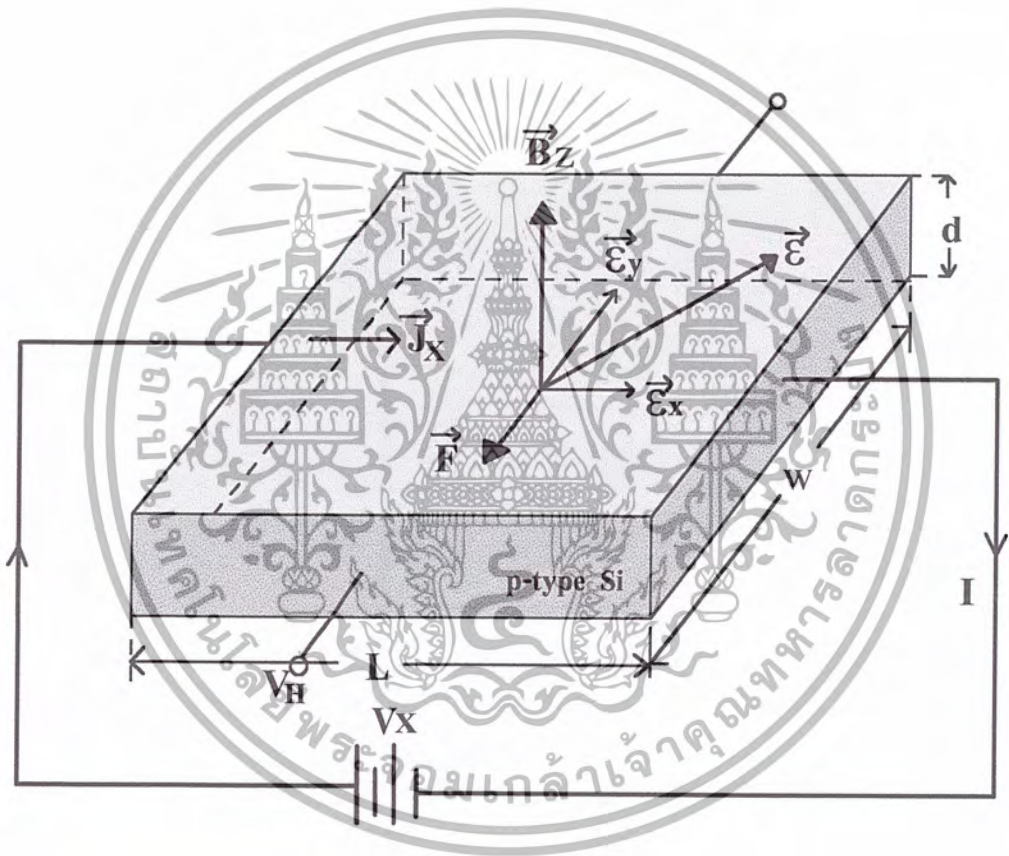
2.3.1 ปรากฏการณ์ฮอลล์(Hall Effect)

เป็นปรากฏการณ์ที่ใช้วัดความหนาแน่นของพาหะ ชนิดของพาหะและสภาพคล่องของ

พาหะ คือ อนุภาคที่มีประจุ q เคลื่อนที่ในตัวนำในทิศทาง $(+x)$ เมื่อให้สนามแม่เหล็ก B_z ตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของพาหะ จะเกิดแรงลอเรนส์ $F_L = qv \times B$ ที่กระทำต่อพาหะ ทำให้พาหะเคลื่อนที่ในทิศทาง $(+y)$ หรือ $(-y)$ ขึ้นอยู่กับชนิดของพาหะและการเคลื่อนที่ของพาหะ ทำให้เกิดแรงดันฮอลล์ V_H ขึ้นมา ซึ่งแรงดันฮอลล์นี้จะขึ้นกับความหนาแน่นของพาหะ n และสภาพคล่องของพาหะ μ โดยสมการ $V_H = \frac{1}{qn} \frac{dI}{dx} B_z$ โดยที่ dI/dx คือความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

ในทิศทาง Z โดยตั้งฉากกับทิศทางกระแสจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในทิศทาง Y ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางกระแสและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำชนิดนี้แท่งหนึ่งมีความยาว L กว้าง W และความยาว D ถูกนำไปต่อกับแหล่งจ่ายแรงมีความต่างศักย์ V_X และโวลต์ทำให้เกิดกระแส J_X ไหลในทิศทาง $+X$ ให้สนามไฟฟ้า B_Z ตัดผ่านแท่งสารกึ่งตัวนำในทิศ Z โดยให้ตั้งฉากกับทิศทางกระแส ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงปรากฏการณ์ของฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี

เมื่อได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้า E_X จะมีแรงกระทำต่อประจุ ทำให้สามารถเคลื่อนในทิศทาง $+X$ และมีสนามแม่เหล็ก B_Z ตัดผ่านในทิศทางตั้งฉากกับกระแสจะเกิดมี แรงลอเรนซ์ (Lorentz force) กระทำต่อประจุโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_L = qv \times B \quad 2.12$$

ซึ่ง F_L คือ แรงลอเรนซ์และมีขนาดเป็น

$$|F| = qv \times B_z \quad 2.13$$

ทิศทางของแรงลอเรนซ์คือ $-y$ ดังนั้นทำให้โฮลเคลื่อนที่เบี่ยงเบนบนแกน $-y$ และสะสมอยู่บริเวณด้านหน้าของสารกึ่งตัวนำด้านตรงกันข้ามจึงมีประจุไฟฟ้าลบเกิดขึ้น ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าภายใน ϵ_y มีทิศ $+$ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะต่อต้านการเคลื่อนที่ของ โฮลที่กระทำต่อแรงลอเรนซ์อยู่ในสภาวะสมดุลและ Stead state ซึ่ง โฮลสามารถเคลื่อนที่ไปตรงไปในทิศ $+x$ ได้ แสดงว่าลอเรนซ์ (F_y) และแรงสนามไฟฟ้าภายใน (qE_y) มีค่าเท่ากัน

$$E_H = +V_x B_z \quad 2.14$$

$$J_x = -nqV_x \quad 2.15$$

$$E_H = \frac{-J_x B_z}{nq} \quad 2.16$$

$$E_H W = \frac{-J_x W + B_z}{nqt} \quad 2.17$$

$$V_H = \frac{-J_x B_z}{nqt} \quad 2.18$$

$$R_H = \frac{-1}{nq} \quad 2.19$$

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ปรากฏการณ์กัลป์วานอร์แมกติก

หลักการต่างๆ จะอธิบายด้วยคณิตศาสตร์ด้วยการแก้สมการ สมมติสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) ในขณะที่ไม่จ่ายสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่นกระแส $J_n(0)$ จะเกิดขึ้นจากกระแสแพร่ (Diffusion) และกระแสที่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้า (Drift) จะประมาณด้วยสมการ Boltzman

$$J_n(0) = \sigma_n \varepsilon + q D_n \nabla n \quad 2.20$$

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

ε = $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ เป็นสนามไฟฟ้า

n = ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

μ_n = $\frac{V_n}{|\varepsilon|}$ ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน 2.21

V_n = ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน

∇ = Gradient

เมื่อจ่ายสนามไฟฟ้าเกิดแรงกระทำต่อประจุพาหะเรียกว่า แรงลอเรนซ์ (Lorentz)

$$F = q(v \times B) \quad 2.22$$

โดยที่ v = ความเร็วของอิเล็กตรอน

B = สนามแม่เหล็ก

พิจารณาแรงลอเรนซ์ (Lorentz) เกิดขึ้นในทิศทางเดียว ตัดกระแสกระเจิงกระเจิงของอิเล็กตรอน ทำให้ความหนาแน่นกระแสในขณะที่ยังสนามแม่เหล็กได้

$$J_n = J_n(0) - \mu_n J_n(B) \times B \quad 2.23$$

$J_n(B)$ เป็นความหนาแน่นของกระแสในขณะที่มีสนามแม่เหล็ก

ทำการ Scalar product แล้วจัดสมการใหม่

$$J_n(B) = [J_n(0) + \mu_n B \times J_n(0) + \mu_n^2 B] [1 + \mu_n B]^{-1} \quad 2.24$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสารกึ่งตัวนำพลังงานการแพร่กระจายของอิเล็กตรอนจะขึ้นอยู่กับกลไกการแพร่ ผลที่สามารถอธิบายในรูปของตัวแปร r_H ซึ่งเรียกว่า แฟคเตอร์ฮอลล์(Hall Factor) โดยมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสนามแม่เหล็กและตัวแปรอื่น และสามารถหาค่า r_H ได้

$$r_H = \frac{\langle r^2 \rangle}{\langle r \rangle^2} \tag{2.25}$$

$$\langle r \rangle = \frac{\frac{4}{3\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \tau(E) E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE}{\int_0^\infty E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE} \tag{2.26}$$

$$\langle r^2 \rangle = \frac{\frac{4}{3\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \tau^2(E) E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE}{\int_0^\infty E^{3/2} \exp(-E/k_B T) dE} \tag{2.27}$$

โดย $\tau(E)$ คือ เวลาชั่วขณะ (Momentum relaxation time)

ในทางทฤษฎีแล้วสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์มีค่า $r_n = 1.18$ แต่จากการทดลองในแผ่นซิลิกอนชนิดอื่น $r_n = 1.15$ และชนิดพี $r_p = 0.7$ ที่อุณหภูมิต่ำและมีความหนาแน่นต่ำ ค่าแฟคเตอร์ r_n จะมีผลต่อความคล่องตัวของประจุพาหะ ดังนั้นความคล่องตัวของประจุพาหะฮอลล์(Hall mobility)มีค่าเป็น

$$\mu_n^* = r_n \mu_n \tag{2.28}$$

เมื่อนำค่า Hall mobility แทนลงในสมการที่ 2.36

$$J_n(B) = [J_n(0) + \mu_n^* B \times J_n(0) + k(\mu_n^*)^2 B \cdot J_n(0) B] [1 + (\mu_n^* B)^2] \tag{2.29}$$

k เป็นผลรวมของพลังงานเฉลี่ยสูง

ในสารกึ่งตัวนำรอยต่อแบบ โอห์มมิก(Ohmic Contact)และหนาแน่นของประจุพาหะมีลักษณะการกระจายตัวแบบ Gradients ∇n จะถูกตัดทิ้งทำให้สมการที่ 2.41 ถูกเปลี่ยนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_n(B) = \sigma_{nB} [\varepsilon + \mu_n^* B \times \varepsilon + k(\mu_n)^2 (B.E)B] \quad 2.30$$

ความนำจะขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็ก

$$\sigma_{nB} = \sigma_n [1 + (\mu_n^* B)^2]^{-1} \quad 2.31$$

เมื่อสนามแม่เหล็ก B นั้นฉากกับสนามไฟฟ้า ε ในกรณีของ B. $\varepsilon = 0$ ฉะนั้นความหนาแน่นของกระแสจึงเปลี่ยนไป

$$J_n(B) = \sigma_{nB} (\varepsilon + \mu_n^* B \times \varepsilon) \quad 2.32$$

เป็นการอธิบายปรากฏการณ์กัลป์วานอร์แมกเนติก 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

$$J_{nx} = \sigma_{nB} (\varepsilon_x - \mu_n^* B \varepsilon_y) \quad 2.33$$

$$J_{ny} = \sigma_{nB} (\varepsilon_y + \mu_n^* B \varepsilon_x) \quad 2.34$$

ทั้งสองกรณีกล่าวถึงความยาว $L \gg W$ และความกว้าง $W \gg L$ แต่กรณีนี้กล่าวถึง $L \gg W$ ซึ่งความยาว L มีค่าเป็น infinite เพียงอย่างเดียว

เมื่อพิจารณาเงื่อนไข $W \ll L$ ความหนาแน่นของกระแสจะเกิดในระนาบ X เพียงอย่างเดียว $J_{ny} = 0$ ฉะนั้น

$$\varepsilon_y = -\mu_n^* B \varepsilon_x = R_H J_{nx} B \quad 2.35$$

$$\text{โดย } R_H = \frac{-\mu_n^*}{\sigma_n} = \frac{-r_n}{q_n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\tan \theta_H = \frac{\mathcal{E}_y}{\mathcal{E}_x} = -\mu_n^* B = \sigma_n R_H B \quad 2.36$$

ทำให้เราทราบว่าความหนาแน่นของประจุพาหะต่ำทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์มีค่ามาก ดังนั้นสารกึ่งตัวนำนิยมใช้มากกว่าโลหะ เมื่อกำหนดให้ Hall plate มีความหนา t และกระแสไหลผ่าน I จะสามารถแสดงแรงดันฮอลล์(Hall voltage) ได้

$$V_H = \frac{R_H IB}{t} \quad 2.37$$

ผลตอบสนองของไว(Sensitivity) คือ แรงดันฮอลล์ต่อหนึ่งหน่วยกระแสของสนามแม่เหล็กจะเป็น

$$S = \frac{V_H}{IB} = \frac{R_H}{t} = \frac{-r_n}{qnt} \quad 2.38$$

จะเห็นว่า Sensitivity ที่สูงจะมีความหนาแน่นของประจุพาหะมีค่าต่ำและฮอลล์เพลทจะต้องมีความหนาแน่นน้อย

บทที่ 3

แมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistor)

เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำมีประโยชน์อย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งประโยชน์ดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

- เมื่อเทคนิคการผลิตไอซีมาตรฐานถูกนำมาใช้ ต้นทุนในการผลิตจะต่ำ
- ถ้าผลิตในกระบวนการผลิตไอซีมาตรฐาน เซ็นเซอร์อาจจะถูกนำไปผสมผสานบนแผ่นชิปกับวงจรกระแสไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณผลลัพธ์ที่ออกมาอาจจะถูกนำไปใช้งานกับอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ (ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น)
- เซ็นเซอร์ดังกล่าวมีความเสถียรและเชื่อถือได้ในการใช้งาน
- เซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำใช้พลังงานและเนื้อที่เพียงเล็กน้อย

ขณะเดียวกันเซ็นเซอร์ดังกล่าวก็มีข้อด้อยซึ่งจะจำกัดการใช้งาน

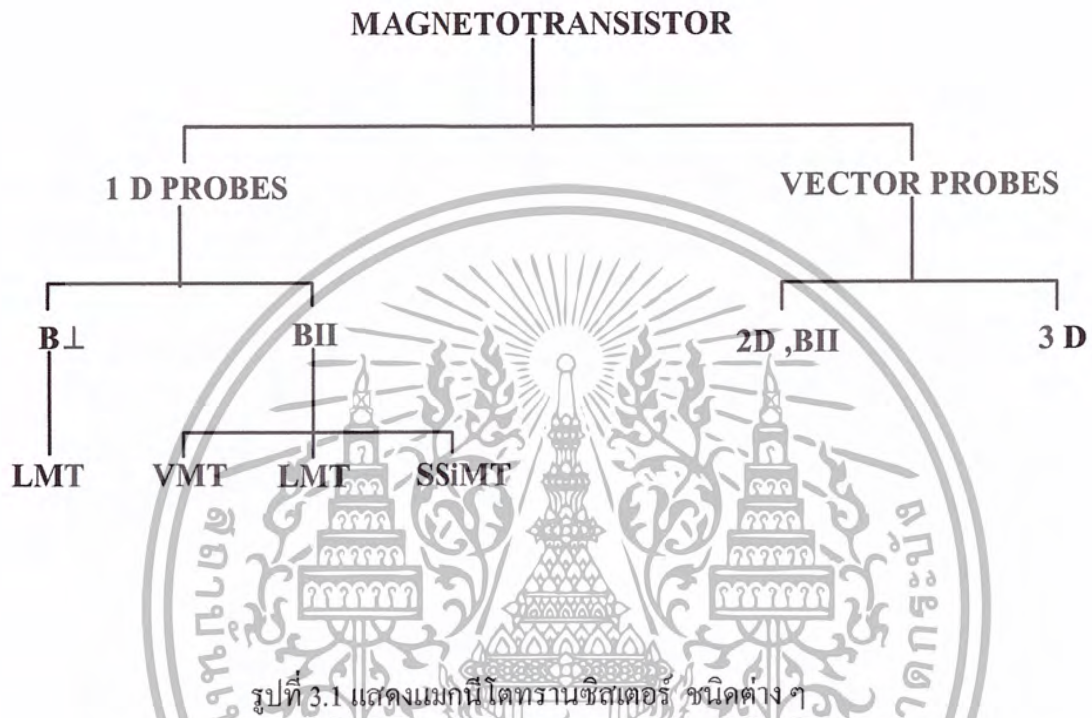
- เซ็นเซอร์จะไม่ทนทานต่อสภาวะบรรยากาศที่รุนแรง ซึ่งทำให้ต้องเสียต้นทุนสูงในการทำบรรจุภัณฑ์
- เซ็นเซอร์จะไม่สามารถต้านทานต่ออุณหภูมิที่สูง
- คุณสมบัติของตัวเซ็นเซอร์นั้นส่วนมากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
- พารามิเตอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์อาจจะเปลี่ยนแปลงจากหน่วยหนึ่งไปอีกรายหนึ่งเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิต

แมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistor) เป็นทรานซิสเตอร์ (transistor) ที่สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ มีทั้งโครงสร้างไบโพลาร์ (Bipolar) และแบบมอส (Mos) สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ ทั้งในแนวตั้งฉากและแนวอน กกลไกการทำงานของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistor) ถูกออกแบบให้กระแสคอลเลคเตอร์ (Collector) แปรเปลี่ยนกับสนามไฟฟ้า แมกนีโตทรานซิสเตอร์ทั่วไปจะมีชิ้นสารคอลเลคเตอร์สองชิ้น (Dual Collector) ในสภาวะปกติไม่มีสนามแม่เหล็กแมกนีโตทรานซิสเตอร์ จะทำงานเหมือนทรานซิสเตอร์ (Transistor) ปกติทั่วไป กระแสที่ไหลในคอลเลคเตอร์ (Collector) ทั้งสองชนิดนี้จะมีปริมาณเท่ากัน เมื่อมีสนามแม่เหล็กมาตัดผ่านทิศทางการไหลของการไหลของกระแส แรงลอเรนซ์ (Lorenz Force) ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กดังกล่าวได้อธิบายในเรื่องปรากฏการณ์ฮอลล์แล้ว เบื้องบนทิศทางการไหลของกระแสทำให้คอลเลคเตอร์ (Collector) ที่ไหลผ่านชิ้นสารคอลเลคเตอร์ (Collector) มีปริมาณแตกต่างกันโดย $I_C = I_{C1} - I_{C2}$ แมกนีโตทรานซิสเตอร์ (Magnetotransistor) ที่มีขนาดใหญ่สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ดีเนื่องจาก มีพื้นที่ดูดซับสนามแม่เหล็กมากกว่านั่นเอง แมกนีโตทรานซิสเตอร์มี

อยู่มากมายหลายชนิดทั้งที่ตรวจจับสนามแม่เหล็กได้หนึ่งมิติ สองมิติและสามมิติ ในปริญญาโท

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉบับนี้สนใจเฉพาะอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบกระแสไหลนอน(Lateral Magnetotransistor) โครงสร้างไบโพลาร์คู่ออกคอลเลคเตอร์ (Biolat Duaul Collector) เท่านั้น



3.1 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีกระแสไหลทางแนวตั้ง (Vertical Magnetronsistors)

แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีกระแสไหลตามแนวตั้งซึ่งเป็นหลักการทำงานของวงจรรวมประกอบด้วยทรานซิสเตอร์แบบ N-P-N ทรานซิสเตอร์จะเป็นคู่อิมิตเตอร์และคู่อิมิตเตอร์เบสเป็นโครงสร้างแบบแนวตั้ง ขาคอลเลคเตอร์จะสัมผัสส่วนลึกลง N+ และขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองจะไม่ซาร์ตถึงกัน เมื่อมีสนามแม่เหล็กทางแนวตั้งพาหะส่วนน้อยจะไหลขนานกับพื้นผิว พาหะส่วนน้อยที่หนีจากความเข้มข้นสูงจากขาคิมิตเตอร์จะผ่านบริเวณเบสและผ่านไปยังบริเวณที่ได้น้อยที่สุด คือ ขาคอลเลคเตอร์ซึ่งจะเป็นพาหะส่วนใหญ่กระแสจะถูกแผ่ไปยังขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กอุปกรณ์จะมีปริมาณและกระแสคอลเลคเตอร์จะเท่ากับ

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

3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{C0} คือ กระแสรวมของคอลเลคเตอร์โดยไม่มีสนามแม่เหล็ก ซึ่งถ้ามีสนามแม่เหล็ก แรงลอเรนซ์จะไปเบี่ยงเบนพาหะในเบสจะทำให้กระแสคอลเลคเตอร์ไม่สมดุลกัน $\Delta I_c = I_{C1} - I_{C2}$

3.2 แมกนีโตทรานซิสเตอร์กระแสไหลแนวนอน(Lateral Magnetronsistors)

แมกนีโตทรานซิสเตอร์กระแสไหลแนวนอน(Lateral Magnetronsistors) ตรวจจับสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก ซึ่งการเบี่ยงเบนของกระแสเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือแบบ modulation และ deflection ในโครงงานนี้ลักษณะการเลี้ยวเบนของกระแสคอลเลคเตอร์เป็นแบบ deflection ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 เป็นทรานซิสเตอร์ Drift - aided แบบคู่คอลเลคเตอร์ชนิดซึ่งขาอิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองจะตั้งอยู่ในสารชนิดพี ซึ่งเป็นฮอล์เพลทขามเบสชนิดพี จะเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กในแนวตั้ง และโครงสร้างแบบไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในโหมดไบอัสตรงซึ่งขามเบสกับขาอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสตรงและขามเบสกับขาคอลเลคเตอร์ได้รับไบอัสกลับ ในช่วงที่ไม่มีสนามแม่เหล็กที่ขาอิมิตเตอร์จะฉีดพาหะผ่านเบสไปยังขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองเท่ากัน คือ I_{C1} จะเท่ากับ I_{C2} ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $I_c/2$ ซึ่ง I_c คือ กระแสคอลเลคเตอร์รวมทั้งหมด เมื่อมีสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากการฉีดพาหะจากอิมิตเตอร์ถึงคอลเลคเตอร์ทั้งสองจากสมดุลไปเป็นไม่สมดุลเพราะแรงลอเรนซ์ทำให้พาหะส่วนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเบสเกิดการเบี่ยงเบนทำให้ขาคอลเลคเตอร์ C1 และที่ขาคอลเลคเตอร์ C2 มีกระแสไม่เท่ากันซึ่งเบสคอนเทกษา B1 กับ B2 จะเป็นสนามไฟฟ้าช่วยเร่งพาหะจากอิมิตเตอร์ไปถึงขาคอลเลคเตอร์ทั้งสอง ซึ่งเรานำความแตกต่างของขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองมาตรวจจับสนามแม่เหล็กซึ่งจะได้เป็น

$$\Delta I_C = I_{C1} - I_{C2} \quad 3.2$$

$$\Delta I_C = K_g (\mu_p + \mu_n) B_Z I_c \quad 3.3$$

โดยที่ K_g เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการไบอัสและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ในอุปกรณ์ที่มีความบางและอุปกรณ์ที่มีความนำค่า $K_g \approx 0.7$ ค่าความไวในตรวจจับแม่เหล็ก

$$S_R = (\mu_p^* + \mu_n^*) \frac{L}{X} \quad 3.4$$

$$\mu_p^* = r_p \mu_p \quad 3.5$$

$$\mu_n^* = r_n \mu_n \quad 3.6$$

L ระยะห่างระหว่างคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์

X คือ ค่าพารามิเตอร์อยู่ในช่วง $x_{jn} < X < x_{jp}$

3.3 ผลของปรากฏการณ์ฮอลล์ในแมกนีโตทรานซิสเตอร์

แมกนีโตทรานซิสเตอร์รูปที่ 3.2 สมมติให้แมกนีโตทรานซิสเตอร์ทำงาน โหมดไบอัสตรงมีสนามไฟฟ้าจาก B1 ไปยัง B2 มีกระแสไหลจากอิมิตเตอร์ไปคอลเลคเตอร์ในปริมาณเท่ากันเมื่อให้สนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้าฮอลล์

$$E_H = J_b \times B \quad 3.7$$

J_b คือ ความหนาแน่นของกระแสรวมในเบส

3.3.1 ภายใต้เงื่อนไขการฉีดพาหะระดับต่ำ

$$R_H = \frac{r_n}{qn_b} \quad \text{สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด p-n-p} \quad 3.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

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

โดยที่ p_b และ n_b ความหนาแน่นของประจุพาหะบริเวณเบส ดังนั้นในบริเวณเบสเปรียบเสมือนฮอลล์เฟรท

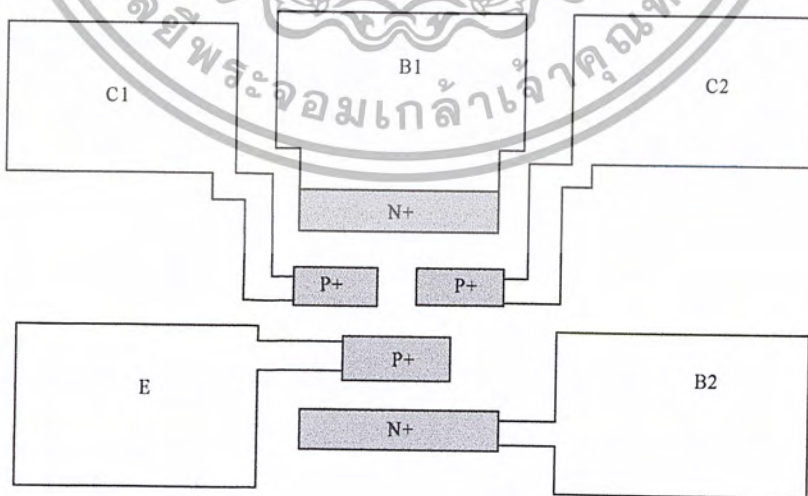
3.3.2 ภายใต้เงื่อนไขการฉีดพาหะระดับสูง ให้ประมาณ $p_b \approx n_b \quad r_n \approx r_p \approx 1$

$$R_H \approx (qp_b)^{-1} \left(1 - \frac{\mu_n^*}{\mu_p^*}\right) \left(1 + \frac{\mu_n^*}{\mu_p^*}\right)^{-1} \tag{3.9}$$

จากการกระทำของสนามไฟฟ้าฮอลล์จะทำให้ประจุพาหะเกิดการเบี่ยงเบนซึ่งสามารถหามุมได้

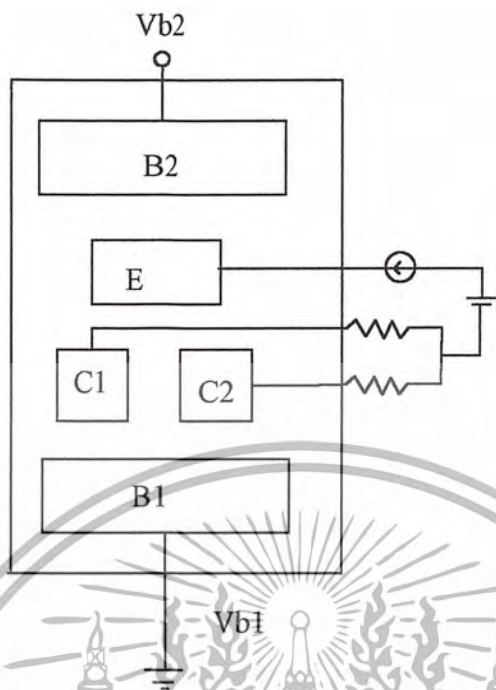
$$\theta = \arctan(\mu_n^* B) + \arctan(\mu_p^* B) \tag{3.10}$$

ซึ่งในโครงการนี้เราจะใช้ทรานซิสเตอร์แบบ P-N-P ซึ่งจากการออกแบบจะเปลี่ยนจากโครงสร้างแบบวงกลมเป็นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.3 โครงสร้างเมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การไบอัสให้กับแมกนีโตทรานซิสเตอร์

จากรูปจะเห็นว่าขนาดของคอลเลคเตอร์ C1 และ C2 จะต้องเท่ากันและสมมาตรกันด้วย เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กจะทำให้กระแสคอลเลคเตอร์เท่ากันทำให้แรงดันตกคร่อม R_{c1} กับ R_{c2} เท่ากันทำให้ $\Delta V = 0$ แต่เมื่อมีสนามแม่เหล็กกระแสที่ไหลจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเลคเตอร์ทั้งสองจะเกิดการเลี้ยวเบนทำให้กระแส I_{c1} ไม่เท่ากับ I_{c2} ทำให้เกิด ΔV ขึ้น ซึ่ง ΔV จะเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กที่รับเข้ามา ความยาวของขั้วสารอิมิตเตอร์ต้องครอบคลุมขั้วสารคอลเลคเตอร์ทั้งสองต้องเท่ากันและขาเบสทั้งสองต้องมีความยาวครอบคลุมขั้วสารอิมิตเตอร์ทุกขั้วขึ้นเพื่อให้สนามไฟฟ้าที่ไบอัสให้กับขา B1 และ B2 ครอบคลุมทุกขั้วสารอิมิตเตอร์ ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบคือ ระยะห่างระหว่างขาอิมิตเตอร์และขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองระยะห่างนี้สำคัญ ถ้าระยะห่างมากเกินไปทำให้การฉีดพาหะจากขาอิมิตเตอร์จะไปไม่ถึงคอลเลคเตอร์ทั้งสองจึงทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานและระยะนี้ควรอยู่ในช่วงประมาณ $10 - 20 \mu m$ พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ระยะห่างระหว่างขา C1 กับ C2 คือระยะที่เบี่ยงเบนของพาหะส่วนน้อยในเบสไปยังขา C1 และ C2 ระยะห่างมากเกินไปจะไม่เบี่ยงเบนกระแสไปยังขา C1 และ C2 ค่าจะอยู่ในช่วงประมาณ $10 - 20 \mu m$ ด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีและกระบวนการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

4.1 กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation)

โดยปกติทั่วไปแล้วขณะอุณหภูมิห้องก็จะสามารถเกิดออกไซด์ (Oxide) บนผนังซิลิกอนได้ อยู่แล้ว แต่จะสามารถควบคุมความหนาของชั้นออกไซด์บนผิวซิลิกอนได้ โดยการให้ความร้อน แก่น้ำด้วยอุณหภูมิสูงๆราว 900 ถึง 1,200 °C ภายในนั้นเต็มไปด้วยออกซิเจนบริสุทธิ์ หรือ ไอน้ำ โดยทั้งไอน้ำและออกซิเจนก็จะติดอยู่ที่แผ่นซิลิกอนเกิดการรวมตัวกับซิลิกอนเป็น ซิลิกอนไดออกไซด์ เขียนเป็นสูตรปฏิกิริยาทางเคมีได้ดังนี้



การออกซิเดชัน จะมี 2 แบบดังนี้

1. การออกซิเดชันแบบแห้ง (Dry Oxidation) โดยการปล่อยก๊าซออกซิเจนเข้าไปในขวด แก้วซึ่งบรรจุน้ำบริสุทธิ์ไว้ในขวดแก้วนี้จะถูกทำให้ร้อนขึ้นแต่ต่ำกว่าจุดเดือด ท่อก๊าซออกซิเจนจะ จุ่มอยู่ในน้ำบริสุทธิ์ทำให้เกิดฟองอากาศผุดขึ้นซึ่งฟองอากาศนี้ คือ ก๊าซออกซิเจนซึ่งอิมตัวแล้วจะ ถูกส่งผ่านไหลเข้าไปในท่อควอดซ์ของเตาเพื่อทำการออกซิเดชัน การทำออกซิเดชันแบบนี้จะได้ ชั้นออกไซด์ที่มีความหนาแน่นของอะตอม (Atom) สูงแต่จะเกิดได้ช้าและเป็นชั้นบาง ๆ

2. การออกซิเดชันแบบชื้น (Wet Oxidation) โดยการทำให้ก๊าซไฮโดรเจน เกิดการ สันดาปกับออกซิเจนซึ่งเรียกว่า การเผาไหม้ของออกซิเจน และไฮโดรเจน จะมีไอน้ำเกิดขึ้น เมื่อ ไฮโดรเจนได้รับความร้อนในบรรยากาศซึ่งมีก๊าซออกซิเจนปนอยู่ ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ ปนอยู่นี้จะถูกปล่อยผ่านเข้าไปในท่อควอดซ์ของเตาเพื่อทำการออกซิเดชัน การเกิดออกซิเดชัน แบบนี้จะเกิดชั้นออกไซด์ที่หนารวดเร็วกว่าแบบแห้ง แต่ความหนาแน่นของอะตอมเกาะกันไม่ แน่นเท่า การออกซิเดชันแบบแห้ง

ขั้นตอนการทำออกซิเดชัน (Oxidation process)

เตรียมแผ่นซิลิกอน โดยต้องทำความสะอาดเสียก่อน จากนั้นวางลงบน โป๊ต (Boat) แล้วใส่เข้าไปในท่อควอตซ์โดยใช้ท่อกลมรีเวทที่ทำด้วยควอตซ์ใช้ในการดัน โป๊ตอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้แผ่นซิลิกอนแตกเพราะจะเจอกับอุณหภูมิที่สูงเกินไป จากนั้นค่อยดัน โป๊ตจนถึงตรงกลางของเตา ในการทำออกซิเดชันความหนาของชั้นออกไซด์ จะขึ้นอยู่กับเวลาและแบบในการทำออกซิเดชันด้วย

4.2 กระบวนการได้สารเจือด้วยกระบวนการแพร่ (Diffusion)

การแพร่สารเจือเป็นกระบวนการสร้างรอยต่อพี - เอ็นอีกแบบหนึ่ง โดยใช้สารเจือที่มีสภาพเป็น ไอออนิกแพร่เข้าไปแทรกในแผ่นซิลิกอนเกิดเป็นสารกึ่งตัวนำตามชนิดของสารเจือที่นำมาแพร่ใส่ซิลิกอนนั้นๆ ในกระบวนการแพร่มีอยู่ 2 ขั้นตอนดังนี้

1. ปริดิ โฟซิชั่น (Pre-deposition) เป็นกระบวนการการแพร่สารเจือขั้นต้น ซึ่งจะแพร่เข้าไปในซิลิกอนเพียงต้นๆ เท่านั้น (ที่ผิวของซิลิกอน) แต่จะเป็นตัวกำหนดและควบคุมปริมาณสารเจือที่จะเข้าไปในแผ่นซิลิกอน
2. การขับลึก (Drive-in) เป็นกระบวนการการแพร่ขั้นต่อมาจากปริดิ โฟซิชั่น เพื่อให้สารเจือแพร่เข้าไปในซิลิกอนให้ลึกกว่าเดิมและควบคุมลักษณะการกระจายของสารเจือที่แพร่เข้าไปในผลึกซิลิกอน โดยสารเจือที่จะนำมาแพร่บนแผ่นซิลิกอนเรียกว่า แผ่นซอส (Source) ซึ่งปริมาณความหนาแน่นของสารเจือที่ได้นำเข้าไปจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนและช่วงระยะเวลาที่ทำการแพร่ในกระบวนการ ปริดิ โฟซิชั่น ใช้ที่อุณหภูมิ $1,000^{\circ}\text{C}$ เวลา 10 นาที และทำการขับลึกที่ $1,200^{\circ}\text{C}$ ในเวลา 3 นาที

4.3 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithographic process)

เป็นวิธีการนำมาร์ค (Mask) ที่ตัดเป็นลวดลายตามที่ต้องการมาแล้วให้ลวดลายนั้นลงไปอยู่บนแผ่นซิลิกอน โดยจะเป็นวิธีการที่ทำเป็นแบบพิมพ์ด้วยการถ่ายรูปที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง การที่ลวดลายของมาร์คจะปรากฏบนแผ่นซิลิกอนจะต้องใช้น้ำยาไวแสง (Photoresist) เคลือบผิวแผ่นซิลิกอนเสียก่อน จากนั้นถ่ายมาร์คด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ที่มีความเข้มสูง จึงนำแผ่นที่ถ่ายด้วยมาร์คเสร็จแล้ว ไปสกัดน้ำยาไวแสงด้วยสารเคมี ซึ่งถ้าหากเป็นน้ำยาไวแสงชนิดลบ (Negative Photoresist) ที่โดนแสงน้ำยาไวแสงจะไม่ถูกสกัดออกแต่ถ้าเป็นน้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive Photoresist) ส่วนใดโดนแสงน้ำยาไวแสงจะละลายถูกสกัดออกได้โดยง่าย จากนั้นสกัดชั้น

ออกไซด์สุดท้ายก็จะเป็นการลอกฟิล์มที่เหลืออยู่

4.4 फिल्मดีโพสิชัน (Film Deposition)

ในกระบวนการสร้างจะประกอบด้วยหลายๆขั้นตอนในแต่ละฟิล์มบางๆนั้นจะมี ส่วนประกอบที่หลากหลายที่วางบนแผ่นซิลิกอน ซึ่งวิธีการในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการอีวาโปเลต (Evapolation)

4.5 การอีวาโปเลชัน (Evapolation process)

เป็นวิธีการที่ใช้กันมานานแล้วในการเคลือบโลหะเป็นฟิล์ม โคนให้ความร้อนแก่อุมิเนียมจนละลายกลายเป็นไอจนไปเคลือบที่แผ่นซิลิกอนเป็นฟิล์มบางๆโดยจะมีขั้นตอนคร่าวๆดังนี้

- 1 . นำแผ่นซิลิกอนที่ทำความสะอาดแล้วใส่เข้าไปในครอบแก้วสุญญากาศที่ดูอากาศได้ค่าความดันตามต้องการแล้ว
- 2 . นำอุมิเนียมวางลงบนเส้นลวดความร้อนซึ่งอาจเป็นลวดทั้งสแตนเรียกว่า โป๊ต(Boat) แล้วปลั๊กกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจนอุมิเนียมระเหยกลายเป็นไอกระจายไปที่วงเคลือบที่แผ่นซิลิกอน
- 3 . เมื่อเคลือบได้ความหนาตามต้องการแล้วซึ่งคิดตามเวลาและความดันภายในเคลมเบอร์



บทที่ 5

การออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์

5.1 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์

ในปริภูมิตฤษฎีฉบับนี้เป็นชนิดกระแสไหลตางวง(Lateral magnetotransistor) ใช้โครงสร้างแบบไบโพลาร์ มีขาคอลเลคเตอร์สองขา(Dual collector Bipolar Magnetotransistor) เบสสองขาและหนึ่งอิมิตเตอร์ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โครงสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ออกแบบสร้าง

C1, C2 ขั้วสารคอลเลคเตอร์สองขั้วขนาดเท่ากัน แยกออกจากกัน (Dual collector) ในสภาวะปกติ (ไม่มีสนามแม่เหล็ก) กระแสที่ไหลผ่านขั้วสารทั้งสองมีปริมาณเท่ากัน เมื่อมีสนามแม่เหล็กตัดผ่าน กระแสตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสแรงลอเรนซ์(Lorentz force)จากปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) เบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแส ทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขั้วสารคอลเลคเตอร์ทั้งสองขั้ว (Dual collector) จะมีปริมาณไม่เท่ากัน ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ปริมาณความแตกต่างกระแสระหว่างขั้วสารคอลเลคเตอร์ทั้งสอง (Dual collector) มีค่ามากขึ้นด้วย

ระยะห่างระหว่างขั้วสารคอลเลคเตอร์ทั้งสอง (Dual collector) ก็มีผลต่อการเบี่ยงเบนด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าระยะห่างระหว่างขั้วสารทั้งสองมาก ก็จะต้องใช้ปริมาณความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมากในการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแส

E ขั้วสารอิมิตเตอร์ (Emitter) มีความยาวที่คาบเกี่ยวระหว่างขั้วสารคอลเลคเตอร์ทั้งสอง (Dual collector) เท่ากันทำให้ สภาวะปกติพาหะจะถูกฉีดจากอิมิตเตอร์ผ่านไปยังคอลเลคเตอร์ทั้งสองขั้ว (Dual collector) ในปริมาณเท่ากันระยะห่างระหว่างขั้วสารคอลเลคเตอร์ทั้งสองขั้ว มีผลกับประสิทธิภาพการฉีดพาหะ เนื่องจากโครงสร้างของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ออกแบบมีระยะห่างระหว่างขั้วสารคอลเลคเตอร์กับคอลเลคเตอร์มาก จึงจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการฉีดพาหะ โดยการไบอัส B1 , B2 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฉีดพาหะของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

B1 , B2 ขั้วสารเบสสองขั้ว (Base) เป็นตัวไบอัสเสริมเพิ่มประสิทธิภาพการฉีดพาหะ โดยให้สนามไฟฟ้าที่เกิดจากไบอัสช่วยในการฉีดพาหะ การออกแบบขั้วสารเบสต้องให้มีความยาวครอบคลุมขั้วสารทุกขั้วสารของอุปกรณ์ เพื่อให้สนามไฟฟ้าที่ได้จากไบอัส B1 , B2 ครอบคลุมขั้วสารทุกขั้วสารของอุปกรณ์

เพรท (Plate) ขั้วลุ่มมีเนียมสำหรับต่อวัดทดสอบอุปกรณ์ ออกแบบให้มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่สะดวกเพื่อความคล่องตัวในการตรวจวัดทดสอบ

5.2 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์

ในการออกแบบแมกนีโตทรานซิสเตอร์นอกจากออกแบบให้ทำงานได้แล้ว ยังมีความจำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติอื่นๆของแมกนีโตทรานซิสเตอร์อีกด้วย ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์บางตัว พารามิเตอร์สำคัญๆ ได้แก่ ระยะห่างระหว่าง C1 , C2 และคอลเลคเตอร์ทั้งสองกับอิมิตเตอร์

บทที่ 6

กระบวนการสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์

เมื่อทำการถ่ายมาร์คเรียบร้อยแล้วจะมีวิธีการสร้างดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมแผ่นซิลิกอนและการเชื่อมคุณสมบัติ

- * แผ่นชนิดเอ็นระนาบ (100)
- * พิกัดความต้านทาน 2 - 4 Ω - cm
- * ความหนา 400 cm



รูปที่ 6.1 แผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น

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

3. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน แบบมาตรฐาน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* เป่าให้แห้งด้วย N_2

4. การ Slice etching

* จุ่มในสารละลาย HF 5 % 5 นาที

* จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง

* จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง

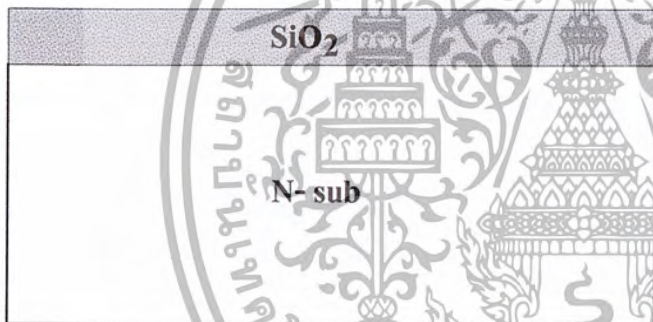
* เป่าให้แห้งด้วย N_2

5. กระบวนการออกซิเดชัน

* Dry Oxidation ด้วย O_2 1,200 cc/min 3 ชั่วโมง

* Wet Oxidation ด้วย O_2 1,000 cc/min 1 ชั่วโมง

* Dry Oxidation ด้วย O_2 1,200 cc/min 2 ชั่วโมง



รูปที่ 6.2 แผ่นซิลิกอนชนิดพีหลังผ่านการออกซิเดชัน

6. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาร์คที่ 1 (Base)

* อบแผ่นไล่ความชื้นที่ $120^{\circ}C$ 30 นาที

* เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (way coat) spin 5,000 rpm

* อบฟิล์มที่ $95^{\circ}C$ 30 นาที (prebake)

* Alignment Expose

* Develop ฟิล์ม โดย

- จุ่มลงใน Xylene แก้วที่หนึ่ง 90 วินาที

- จุ่มลงใน Xylene แก้วที่สอง 90 วินาที

- จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่หนึ่ง 30 วินาที

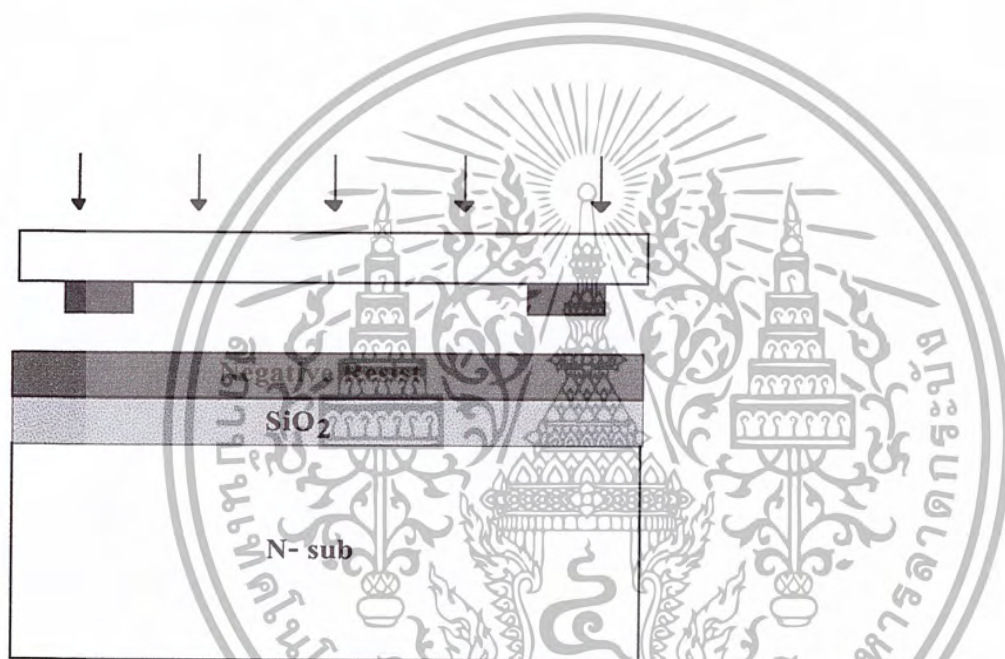
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สอง 30 วินาที
- จุ่มลงใน Isopropy Alcohol แก้วที่สาม 30 วินาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- จุ่มเป่าให้แห้งด้วย N_2

* อบฟิล์มที่ $95^{\circ}C$ 20 นาที (post bake)

* เคลือบฟิล์มด้านหลัง

* อบฟิล์มที่ $95^{\circ}C$ 30 นาที



รูปที่ 6.3 แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาร์คที่ 1

7. การใช้สารละลายกัด ชั้นออกไซด์ (Oxide Etching)

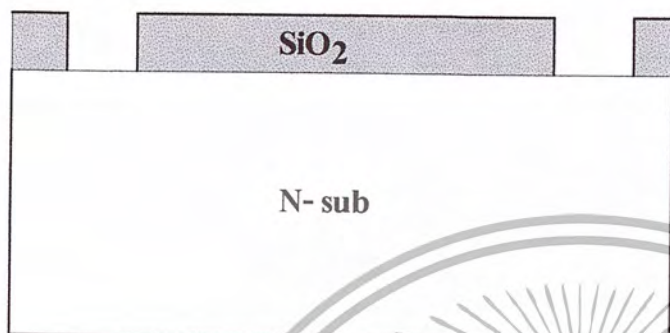
- * จุ่มน้ำในสารละลาย Buffer
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

8. กระบวนการลอกฟิล์ม

- * ต้มใน H_2SO_4 แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มใน H_2SO_4 แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย



รูปที่ 6.4 แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว

9. การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน

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

10. การ Slice etching

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

11. กระบวนการ Pre-deposition

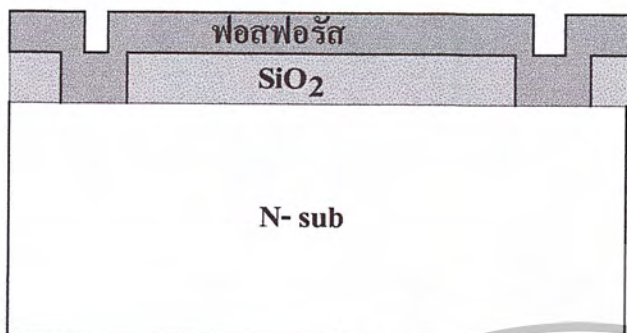
- * Phosphorus deposition Temp 950°C

- * เคลือบแผ่นด้วยฟอสฟอรัสชนิดเหลวแล้ว สปิน 5,000 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* อบแผ่น 10 นาที ที่ 90°C

* deposit ด้วย N_2 700 cc/min 20 นาที



รูปที่ 6.5 การแพร่สารเจือโบรอนชนิดเหลว

12. ลอกชั้น Phosphorus glass

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

13. การทำความสะอาดผิวหน้า

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

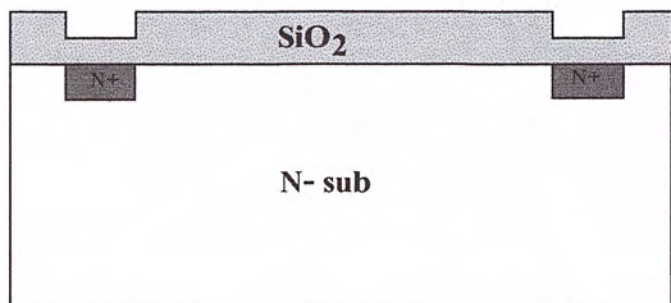
14. กระบวนการ Drive in

Boron drive Temp $1,100^{\circ}\text{C}$

* Dry ด้วย O_2 1,200 cc/min 20 นาที

* Wet ด้วย O_2 1,000 cc/min 20 นาที

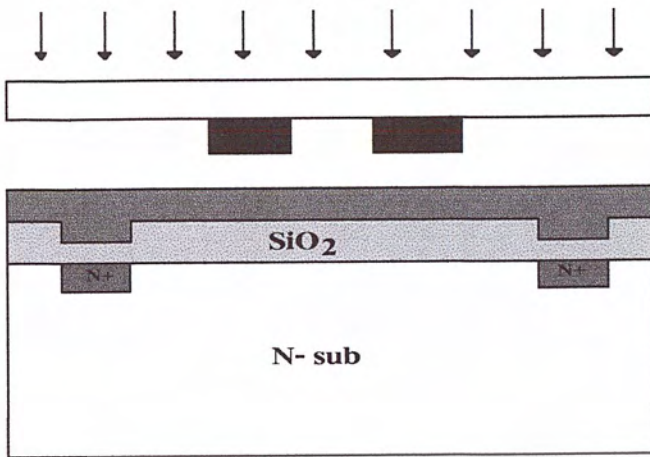
* Dry ด้วย O_2 1,200 cc/min 20 นาที



รูปที่ 6.6 แผ่นซิลิกอนหลังการไดรว์อินแล้ว

15 . กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาร์คที่ 2 (อิมิตเตอร์และคอลเลคเตอร์)

- * อบแผ่นไล่ความชื้นที่ $120^{\circ}C$ 30 นาที
- * เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (way coat) spin 5,000 rpm
- * อบฟิล์มที่ $95^{\circ}C$ 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 N_2
- * อบฟิล์มที่ $95^{\circ}C$ 20 นาที (post bake)
- * เคลือบฟิล์มด้านหลัง
- * อบฟิล์มที่ $95^{\circ}C$ 30 นาที



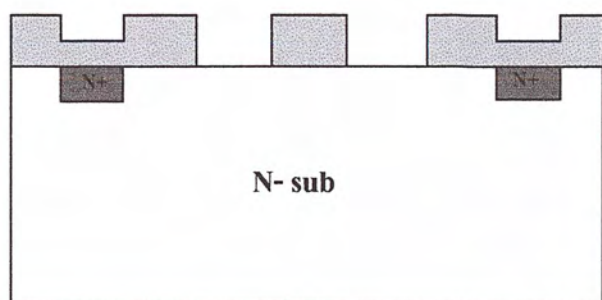
รูปที่ 6.7 แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาร์คที่ 2

16. Oxide Etching

- * จุ่มน้ำในสารละลาย 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



รูปที่ 6.8 แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว

18 . การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน

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

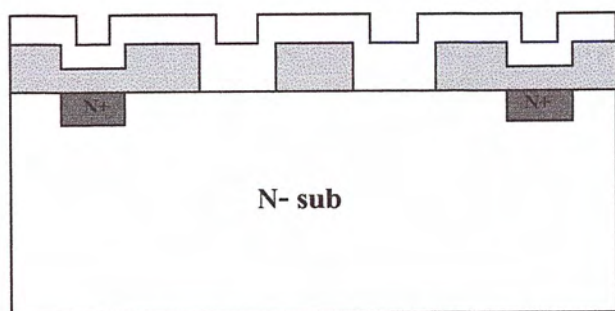
19 . การ Slice etching

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

20 . กระบวนการ Pre-deposition

Boron drive Temp 1,100°C

- * เคลือบแผ่นด้วยฟอสฟอรัสชนิดเหลวแล้ว สปิน 5,000 รอบ/นาที
- * อบแผ่น 10 นาที ที่ 90°C
- * Deposit ด้วย N_2 700 cc/min 20 นาที
- * สร้าง Boron glass ด้วย O_2 700 cc/min 5 นาที



รูปที่ 6.9 การแพร่สารเจือฟอสฟอรัสชนิดเหลว

21 . ลอกชั้น Boron glass

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

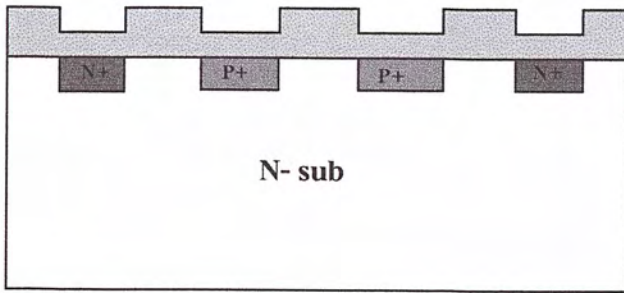
22 . การทำความสะอาดผิวหน้า

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

23 . กระบวนการ Drive in

Phosphorus Temp 1,100°C

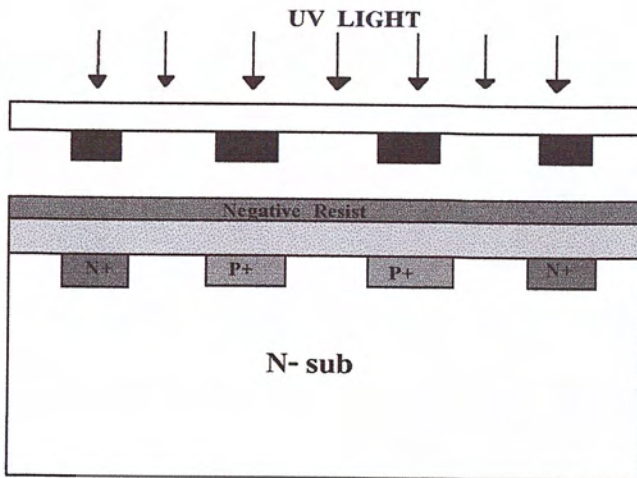
- * Dry ด้วย O_2 1,200 cc/min 30 นาที
- * Wet ด้วย O_2 1,000 cc/min 30 นาที
- * Dry ด้วย O_2 1,200 cc/min 30 นาที



รูปที่ 6.10 แผ่นซิลิกอนหลังการโด๊ปอินแล้ว

24. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาร์คที่ 3 (วินโดว์)

- * อบแผ่นไล่ความชื้นที่ 120°C 30 นาที
- * เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (way coat) spin 5,000 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
 - เป่าให้แห้งด้วย N_2
- * อบฟิล์มที่ 95°C 20 นาที (post bake)
- * เคลือบฟิล์มด้านหลัง
- * อบฟิล์มที่ 95°C 30 นาที



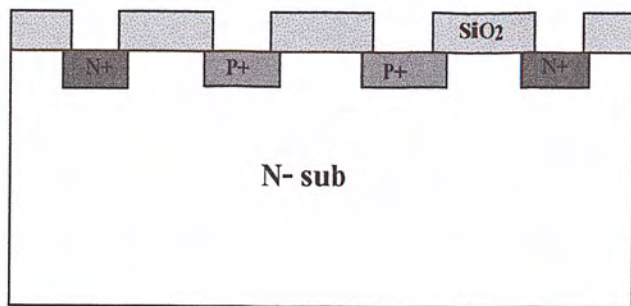
รูปที่ 6.11 แผ่นซิลิกอนขณะถ่ายมาร์คที่ 3

25 . Oxide Etching

- * จุ่มน้ำในสารละลาย Buffer
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

26 . กระบวนการลอกฟิล์ม

- * ดมใน H_2SO_4 แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ดมใน H_2SO_4 แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- * ดมในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- * ดมในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย

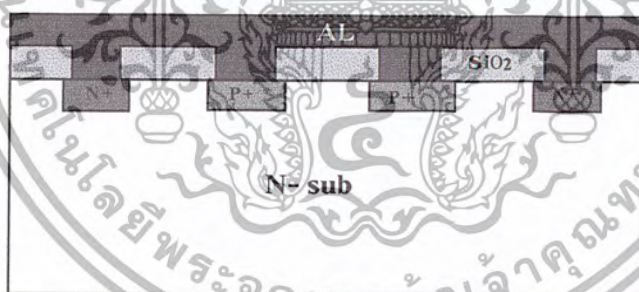


รูปที่ 6.12 แผ่นซิลิกอนหลังสกัดชั้นออกไซด์และลอกฟิล์มแล้ว

27 . การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิกอน

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

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



รูปที่ 6.13 หลังจากเคลือบอลูมิเนียมแล้ว

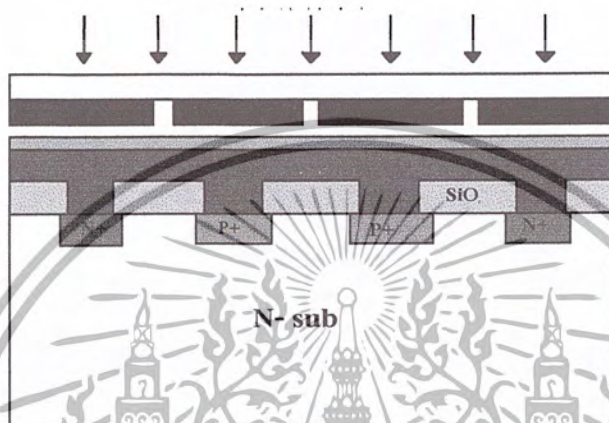
29 . กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี มาร์คที่ 4 (ลวดลายอลูมิเนียม)

- * เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก (Az) spin 5,000 rpm
- * อบฟิล์มที่ $85^{\circ}C$ 20 นาที (prebake)
- * Alignment Expose
- * Develop ฟิล์ม โดย
 - Az Develer แก้วที่หนึ่ง 30 วินาที
 - Az Develer แก้วที่สอง 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- เป่าให้แห้งด้วย N_2

อบฟิล์มที่ $85^{\circ}C$ 20 นาที (post bake)



รูปที่ 6.14 แผนขั้วก่อนขณะถ่ายมาร์คที่ 4

30 . การสกัดกั้นอลูมิเนียม (Al Etching)

- * จุ่มลงในสารละลาย Al Etching ที่อุณหภูมิประมาณ $40^{\circ}C$
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- * จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- * เป่าให้แห้งด้วย N_2

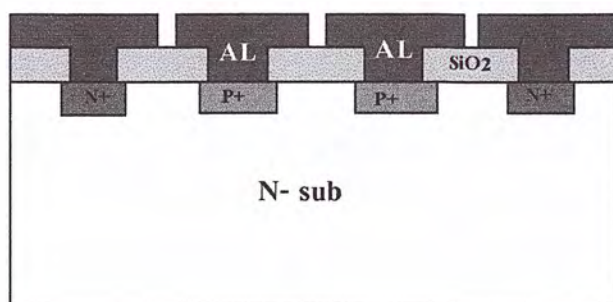
31 . กระบวนการลอกฟิล์ม

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

32 . กระบวนการ Sintering Temp $500^{\circ}C$

- * Dry N_2 1,000 cc/min 12 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

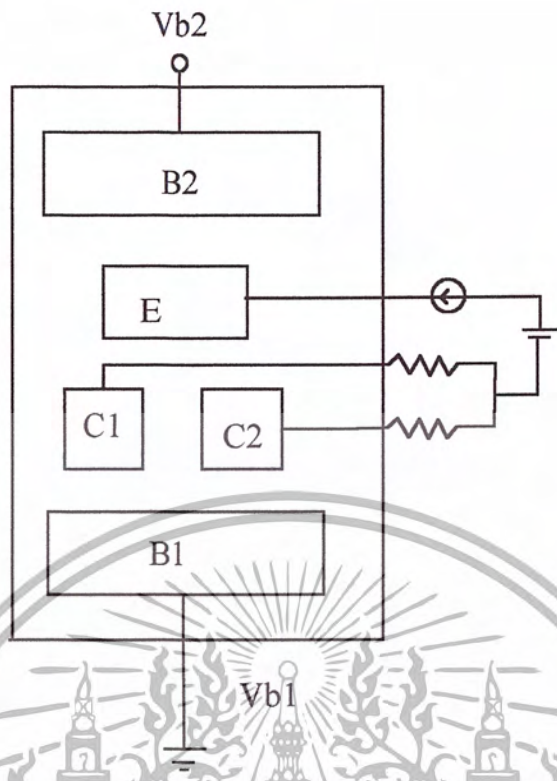


รูปที่ 6.15 แผ่นซิลิกอนหลังการซินเตอร์รี่แล้ว

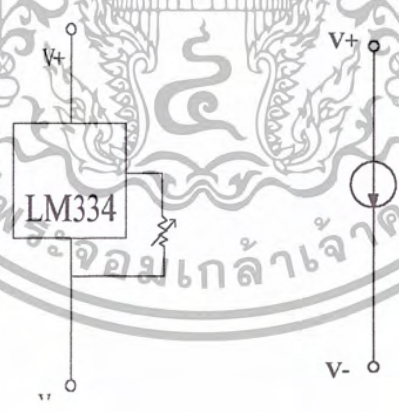
6.3 การไบอัสและวิธีการวัดทดสอบ

6.3.1 วิธีการทดลอง

- เพื่อความสะดวกในการวัด จึงจำเป็นต้องตัดแยกอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นอิสระจากกัน ต่อจากนั้นนำไปต่อกับแผ่นวงจรซึ่งออกแบบให้มีขั้วต่อสำหรับการไบอัส
- จำอุปกรณ์ที่ต้องมาเรียบร้อยแล้วติดตั้งบนเครื่องผลิตสนามแม่เหล็ก เนื่องจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบ lateral ซึ่งมีกระแสไหลทางแนวอนใช้ตรวจจับสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับการไหลของกระแส นั่นคือในแนวคิ่งนั่นเอง ฉะนั้นการติดตั้งสามารถวางอุปกรณ์ราบลงกับพื้นเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กได้เลย โดยต้องระวังให้ราบเรียบสม่ำเสมอ
- ให้ไบอัสเข้ากับวงจรไบอัสซึ่งต่อแยกอยู่นอกเครื่องผลิตสนามแม่เหล็กเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้น รูป 5.16 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ไบอัส โดยการจ่ายกระแสคงที่ให้กับอิมิตเตอร์ให้สนามแม่เหล็ก B2 เพื่อช่วยกระตุ้นการไหลของการกระแส IE ที่ไหลจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเลคเตอร์ C1 ต่อความต้านทานคงที่ 30K ส่วน C2 ต่อกับ R ปรับค่าเพื่อปรับออฟเซตที่เกิดขึ้นต่อกราวด์



รูปที่ 6.16 แสดงวงจร ไบอัสแมกนีโตทรานซิสเตอร์



รูปที่ 6.17 วงจรสมมูลและสัญลักษณ์ของวงจรจ่ายกระแสคงที่

- ในเบื้องต้นป้อนกระแส IE 100 μA VB2 = 0V ทดสอบกับสนามแม่เหล็ก 0-5000 G บันทึกค่า ∇V VRC1, VRC2
- เพิ่ม VB2 ครั้งละ 5 V จนถึง 10 V บันทึกผลตามข้อ 3
- เพิ่ม IE 120 μA บันทึกผลเหมือนข้อ 3 และ 4

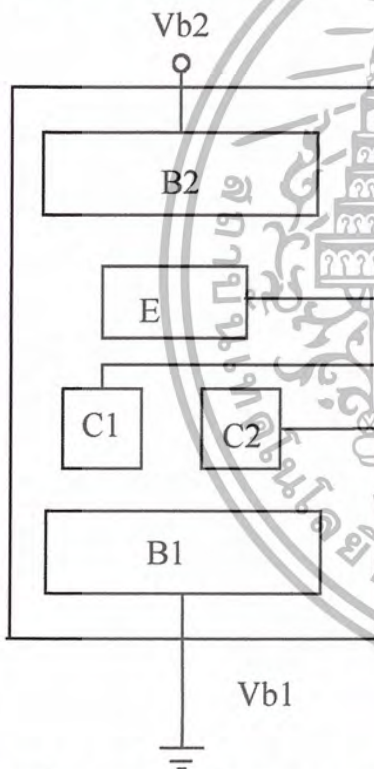
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

แนวคิดและหลักการทำงานของวงไบอัสเพื่อการประยุกต์ใช้งานแบบ 3 ขา

ปกติเมกนีโตทรานซิสเตอร์จะถูกนำมาใช้งานโดยการป้อนไบอัสให้ทั้ง 5 ขาในการทำหน้าที่เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็ก ในโครงงานนี้คือการเอาเมกนีโตทรานซิสเตอร์มาประยุกต์ใช้งานแบบ 3 ขาเมื่อเป็นไปได้ก็ถือว่าเป็นการพัฒนาไปอีกของเซนเซอร์ชนิดนี้

การที่จะทำให้เมกนีโตทรานซิสเตอร์ทำงานแบบ 3 ขานี้เราต้องออกแบบวงจรไบอัสให้กับตัวมันใหม่ ปกติเมกนีโตทรานซิสเตอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 5 ขาคือขา E, C1, C2, B1 และ B2 แต่ในที่นี้เราจะนำมาใช้เพียง 3 ขาคือขา E, C และขา B ซึ่งจะเห็นว่าขา B และ C นั้นเราจะเลือกมาอย่างละ 1 ขาเท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับแนวความคิดในการออกแบบวงจรไบอัส ในรูปที่ 7.1 เป็นเมกนีโตทรานซิสเตอร์และวงจรไบอัส



รูปที่ 7.1 แสดงวงจรไบอัสเมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 5 ขา

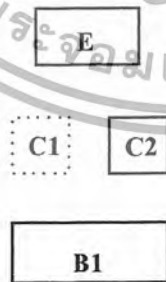
จากรูปเป็นการไบอัสแบบ 5 ขาซึ่งในสภาวะปกติจะมีกระแสไหลจากขา E ไปขา C จากการออกแบบให้ C1 และ C2 สมมาตรกันดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน C1 และ C2 จะเท่ากันแต่เมื่อมีการจ่ายสนามแม่เหล็กให้กับอุปกรณ์ในแนวตั้งฉากกับการไหลของกระแสจะทำให้เกิดแรงลอเรนซ์ขึ้นก่อนให้เกิดการเบี่ยงเบนของประจุพาหะในภาชนะในภาชนะนี้จำนวนประจุหรือกระแสที่ไหลผ่าน C ทั้ง 2 นั้นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เท่ากันก่อให้เกิดความต่างของศักดาไฟฟ้าที่คร่อมระหว่าง RC1 และ RC2 หรือมีเคลดตัว V เกิดขึ้นนั่นเองจากรูปที่ 7.1 จะทำการจ่ายสนามไฟฟ้าคร่อมระหว่างขา B1 และ B2 เพื่อให้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไปช่วยเร่งให้การเคลื่อนที่ของประจุพาหะเร็วขึ้นเลยมีผลให้ภาวการณ์ฉีกประจุดีขึ้นและเกิดความไวในการทำงานมากขึ้นจากการทำงานแบบ 2 ขานี้จะเห็นได้ว่าถ้าค่าของสนามไฟฟ้าระหว่าง B1 และ B2 ยิ่งมากขึ้นจะทำให้เกิดเคลดตัว V ที่ชัดเจนขึ้น

ในที่นี้การออกแบบวงจรไบอัสให้กับอุปกรณ์แมกนีโตรีทรานซิสเตอร์เพื่อให้สามารถทำงานในกรณีใช้งานเพียง 3 ขาได้นั้น เราจะทำการไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานอยู่ในย่านแอกทีฟ และมีทางเลือกในการออกแบบวงจรไบอัสหลายๆแบบ เพื่อที่จะทำการวัดและนำผลมาเปรียบเทียบกัน เพื่อที่จะเลือกวงจรไบอัสใช้งานที่มีคุณภาพและมีผลตามต้องการมากที่สุด แต่เมื่อทำการวัดและทดลองนั้น อาจมีค่าอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้ หรืออาจจะเปลี่ยนวงจรไบอัส บางจุดเพื่อความสมบูรณ์ของผลการทดลองได้

ในการออกแบบใช้งานแบบ 3 ขานี้สิ่งที่เราต้องการคือเมื่อตัวอุปกรณ์ได้รับสนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของกระแสแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสในวงจรเกิดขึ้นเพื่อนำการเปลี่ยนแปลงนี้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป ในที่นี้เราจะเลือกขาใช้งานเพียง 3 ขาคือขา E, B และ C จากการทำงานของตัวอุปกรณ์นั้นกระแสจะไหลจากขา E ไปขา C เพราะฉะนั้นจากรูปที่ 7.1 เราจะไม่ใช่ขา B2 ในการทำงานเพราะถ้าไม่มี B2 อุปกรณ์ก็ยังสามารถทำงานเป็นทรานซิสเตอร์ได้เป็นปกติเราจึงเลือกใช้ขา B1 เป็นขา B ของทรานซิสเตอร์ในการออกแบบครั้งนี้ส่วนขา C นั้นเนื่องจากขา C ทั้ง 2 จะสมมาตรกันดังนั้นในการใช้งานเราจะเลือกเอาขาใดขาหนึ่งก็ได้เพราะฉะนั้นจากแนวคิดที่กล่าวมาเราจึงได้โครงร่างของขาที่จะนำมาใช้งานดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 เลือกขาใช้งานแบบ 3 ขา

ต่อไปคือการออกแบบวงจรไบอัสเพื่อที่จะให้ทรานซิสเตอร์ทำงานซึ่งจากการออกแบบและศึกษาความเป็นไปได้แล้วได้มีการออกแบบไว้สองลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

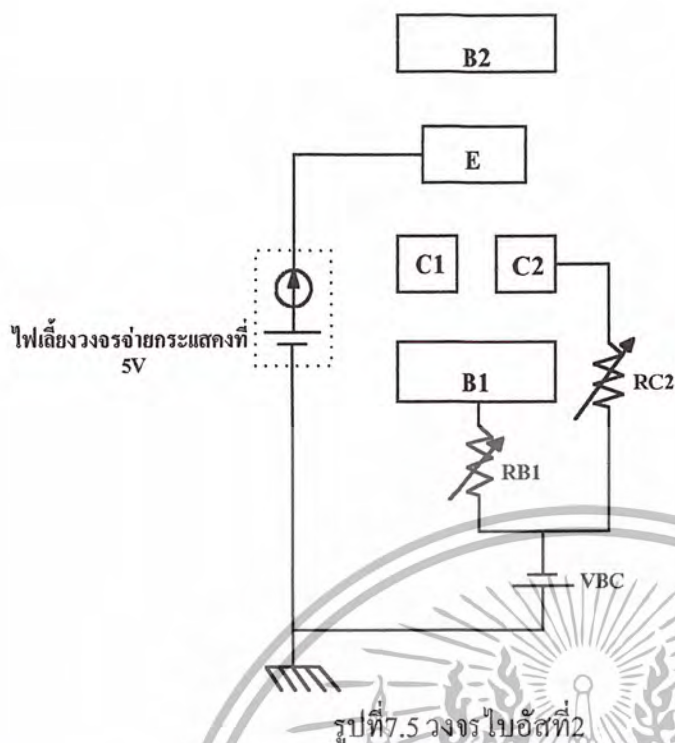
เพราะฉะนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ขา E จะต้องมีศักย์บวกเมื่อเทียบกับขาศักย์ไฟฟ้าที่ขา B และเปรียบเทียบกับ ศักย์ไฟฟ้าที่ขา B ต้องมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับขา C

จากวงจรจะเห็นว่าในวงจรนี้ได้ต่อ RB และ RC ที่ขา B และ C ด้วย ตามลำดับ เพื่อ ต้องการที่จะใช้ความแตกต่างของแรงดันที่ความต้านทานทั้ง 2 นี้มาใช้งาน ในกรณีที่ทำการ เซ็นเซอร์แม่เหล็กเราจะเห็นว่า RB นั้นเราจะใช้เป็นแบบปรับค่าได้ (เราอาจใช้ RC เป็นแบบปรับค่า ได้แทน RB ก็ได้หรืออาจให้เป็น ความต้านทานปรับค่าได้ทั้ง 2 ตัว ก็ได้) เพื่อต้องการใช้ในการปรับ แรงดันออฟเซ็ท คือในสภาวะสมดุล คือขณะที่เซ็นเซอร์ยังไม่ได้รับสนามแม่เหล็กเพื่อต้องการให้ สภาวะเริ่มต้นนี้ค่าเคลด้า V หรือความแตกต่างของแรงดันที่ RB กับ RC มีค่าเป็นศูนย์หรือใน สภาวะเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆของกระแสแน่นอน

เราจะเห็นว่าในรูปของขา E, C นั้นเราจะทำการป้อนแหล่งจ่ายกระแสตรงที่ให้กับขา E การป้อนแหล่งจ่ายกระแสตรงที่นี้เพื่อเป็นการบังคับกระแสที่ไหลในรูปนี้มีค่าคงที่เสมอแน่นอน ซึ่ง ขนาดของกระแสมีค่าเท่าใดนั้นเราสามารถปรับเลือกได้จากลักษณะวงจรไบอัสใช้งานของวงจรจ่าย กระแสที่นี้โดยเฉพาะ การที่กระแส IE มีค่าคงที่นี้จะเป็นการบังคับให้ $IC+IB = IE$ เสมอ ซึ่ง

จากแนวคิดนี้เราจะสามารถหาค่าเคลด้า V ได้เมื่อทำการปล่อยสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับพื้นผิว ของตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ของฮอลล์ขึ้นมีผลให้มีแรงไปผลักการเคลื่อนที่ของ ประจุพาหะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุพาหะเกิดขึ้น จากรูปแล้วเราจะเห็นว่ายิ่งไงก็ตามพาหะ จะแยกออกไปเป็น 2 ส่วน คือขา B และ C หากพาหะได้ไปตกที่ขา C มากก็แสดงว่าจะมีส่วนที่ไป ถึงขา B มีค่าน้อย ซึ่ง $IC > IB$ นั้นเองจากวงจรซึ่งทำให้ได้สมการ $IC+IB = IE$ (IE มีค่าคงที่เสมอ) ถ้า IB มาก IC ก็จะมีค่าน้อย หรือถ้าค่า IB มีค่าน้อย IC ก็จะมีค่ามากซึ่งจะทำให้เกิดความต่างของ กระแสทั้ง 2 หรือเกิด เคลด้า V ขึ้นเราจะเอาค่า เคลด้า V นี้หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ไป ประยุกต์ใช้งานต่อไปในที่นี้คือการนำตัวเซ็นเซอร์ไปใช้งานนั่นเอง

จากวงจรจะเห็นว่าถ้าเปรียบเทียบศักดาระหว่างขา E กับ ขา B นั้นจะพบว่า ศักดาไฟฟ้าที่ขา E จะมี ค่าสูงกว่าที่ขา B จากลักษณะที่ว่านี้ถ้าหากความต่างศักย์ระหว่างขาทั้ง 2 ยิ่งมากก็จะเป็นการช่วยเร่ง การฉีดพาหะให้มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการฉีดพาหะดีขึ้นจึงได้แนวความคิดของวงจร ไบอัสวงจรที่ 2 เกิดขึ้นดังรูปที่ 7.5



วงจร ไซน์แบบที่ 2 นั้นเพื่อเพิ่มความต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างขา E และขา C ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความเร็วของการฉีกประจุพาหะ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อสนามแม่เหล็กชัดเจนขึ้น และมีความเร็วในการเซ็นเซอร์มากยิ่งขึ้นด้วย

หลักการทำงานของ ไซน์ที่ 2

การใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์ในที่นี้เป็นการประยุกต์ใช้งานแบบ 3 ขา อย่างไรก็ตามผลของสนามแม่เหล็กต่อประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำยังเหมือนเดิมตามปรากฏการณ์ของฮอลล์ ซึ่งในที่นี้จากรูป เราจะทำการป้อนกระแสลงที่ขาที่ขอมิตเตอร์ เพื่อให้กระแสรวมที่ไหลในวงจรมีค่าคงที่ แม้ว่ากระแสคอลเล็กเตอร์และกระแสเบสจะเปลี่ยนแปลงก็ตาม ในกรณีที่ตัวอุปกรณ์ยังไม่ได้รับการจ่ายสนามแม่เหล็ก ตัวอุปกรณ์จะทำงานในสภาวะปกติคือจะมีกระแสไหลจากขา E ไปยังขา C โดยประจุพาหะจะเคลื่อนที่ในแนวนอน และมีประจุพาหะบางส่วนเคลื่อนที่ไปยังหลอดไปยังขา B และบางส่วนก็อาจเกิดการรวมตัวใหม่ซึ่งไม่มากนักเมื่อเทียบกับพาหะส่วนใหญ่ การไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในที่นี้เป็นการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านแอกทีฟ โดยไบอัสขา B กับขา E ให้ได้รับไบอัสตรง และขา C กับขา E จะได้รับการไบอัสย้อนกลับ ในที่นี้ทรานซิสเตอร์เป็นชนิดพีเอ็นพี ซึ่งกระแสจะไหลจากขาอิมิตเตอร์ไปยังขาคอลเล็กเตอร์ และประจุพาหะส่วนมากคือโฮล จากสภาวะปกติคือยังไม่มีมีการจ่ายสนามแม่เหล็กให้กับตัวอุปกรณ์ ทำการวัดกระแสที่ไหลผ่าน RC และ RB และทำการปรับแรงดันออฟเซต ให้ VRB กับ VRC มีค่าเท่ากัน และทำการบันทึกเพื่อเก็บไว้เปรียบเทียบกับกรณีจ่ายสนามแม่เหล็กลงบนตัวของอุปกรณ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เมื่อทำการป้อนสนามแม่เหล็กลงบนตัวอุปกรณ์ในแนวตั้งผลของสนามแม่เหล็กที่จ่ายลงมาตั้งฉากกับการนิโคพาหะจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเล็กเตอร์(หรือตั้งฉากกับทิศทางของกระแสตัวเอง)เป็นไปตามปรากฏการณ์ของฮอลล์ประจุพาหะส่วนมากซึ่งในที่นี้คือ โฮลเมื่อได้รับอิทธิพลของสนามไฟฟ้าจะเกิดแรงกระทำต่อพาหะหรือว่าเกิดแรงลอเรนซ์กระทำต่อโฮลนั่นเองจะทำให้พาหะเกิดการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปทางขาค C1 จึงทำให้พาหะที่ไหลผ่าน C1 มีค่าเพิ่มขึ้นจากสภาวะสมดุลทำให้เกิดกระแส IC เพิ่มขึ้น ยิ่งค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กมีค่ามากเท่าใดก็ยังมีผลต่อการเบี่ยงเบนของพาหะมากขึ้นเท่านั้น และมีผลทำให้กระแส IC มีค่าเปลี่ยนไปจากเดิมเมื่อ IC เปลี่ยน IB ก็เปลี่ยน ซึ่งจากวงจรจะเห็นว่าเราบังคับให้ IC+IB มีค่าคงเท่าเดิมเสมอคือเท่ากับกระแส IE ดังนั้นจะเห็นว่าหากกระแส IC มากก็จะทำให้ IB น้อย จึงทำให้เกิดความต่างกันของกระแสทั้ง 2 เราจึงสามารถเอาการเปลี่ยนแปลงของกระแส IC หรือความเปลี่ยนแปลงของกระแสทั้ง 2 ญนี้ไป ประยุกต์เป็นตัวเซนเซอร์สนามแม่เหล็กได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การวัดผลการทดลอง

การวัดการทดลองและสรุปผลนี้เพื่อความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้งานทรานซิสเตอร์

แบบ 3 ขา

ผลการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก

จากทฤษฎีเมื่อมีสนามแม่เหล็กตัดผ่านทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า จะทำให้เกิดแรงลอเรนซ์ เบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุพาหะ ทำให้ปริมาณกระแสเกิดการเปลี่ยนแปลง

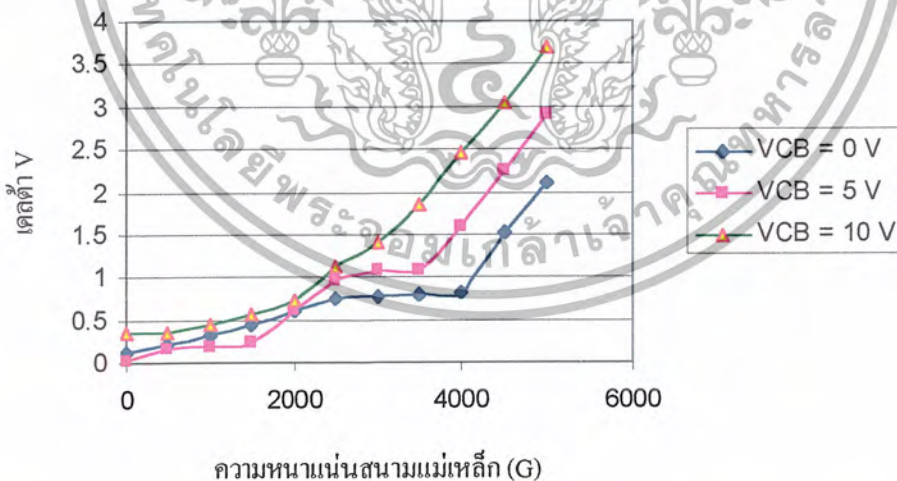
จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้ขาอิมิตเตอร์ 1 ขา คอลเล็กเตอร์ 1 ขา และ เบส 1 ขา จากปกติที่ตัวแมกนีโตทรานซิสเตอร์นี้มีอยู่ 3 ขา คือขา E, C1, C2, B1, และ B2 จากการออกแบบวงจรไบอัสเราจะไม่นำขา B2 มาใช้งาน และเราจะเลือกใช้ขา C1 และ C2 ขาใดขาหนึ่งในการวัดแต่ละครั้ง ในการทดลองครั้งนี้เราจะวัด 2 กรณีหลักคือ ขณะที่ให้ขา C1 เป็นขา C ของทรานซิสเตอร์ และกรณีใช้ขา C2 เป็นขา C ของทรานซิสเตอร์

8.1 กราฟแสดงรายละเอียดการตอบสนองของสนามแม่เหล็กของอุปกรณ์แต่ละตัว

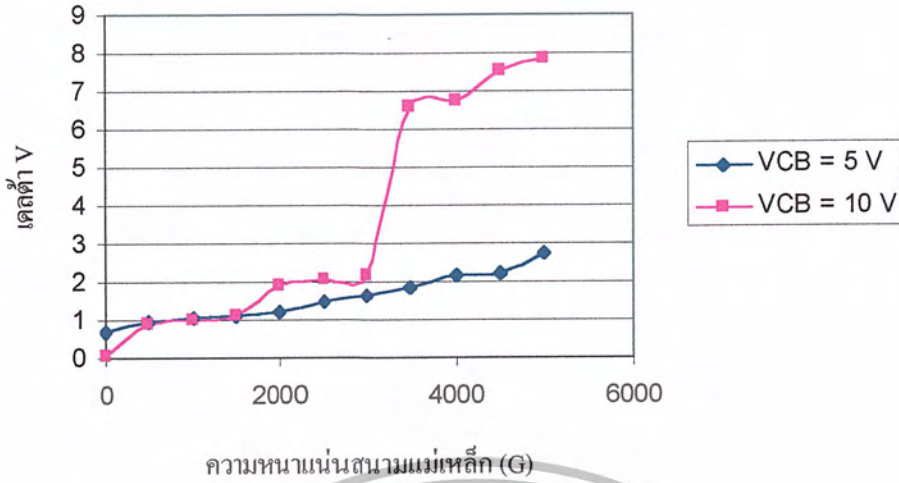
8.1.1 เลือกขา C2 เป็นขา C ของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

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



รูปที่ 8.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100 \mu\text{A}$ พารามิเตอร์ $L = 20 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$

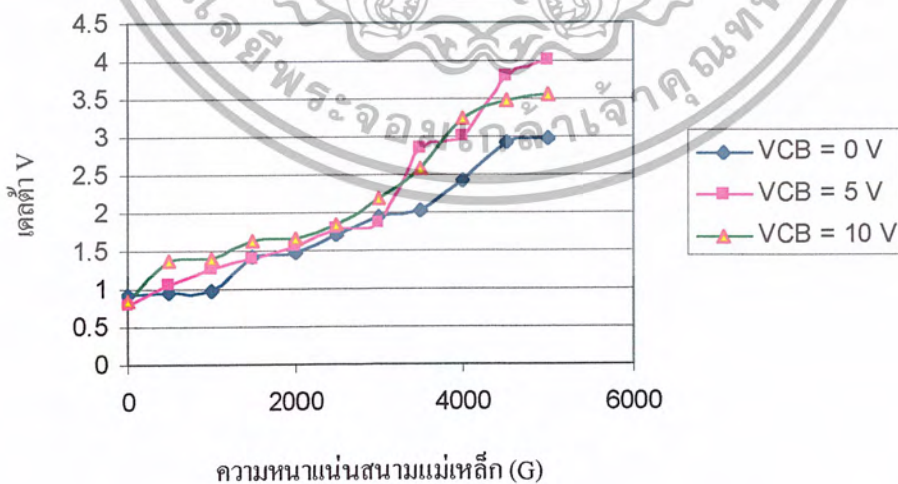
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120 \mu A$ พารามิเตอร์ $L = 20 \mu m$ $W = 10 \mu m$

8.1.2 เลือกว่า C1 เป็นขา C ของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

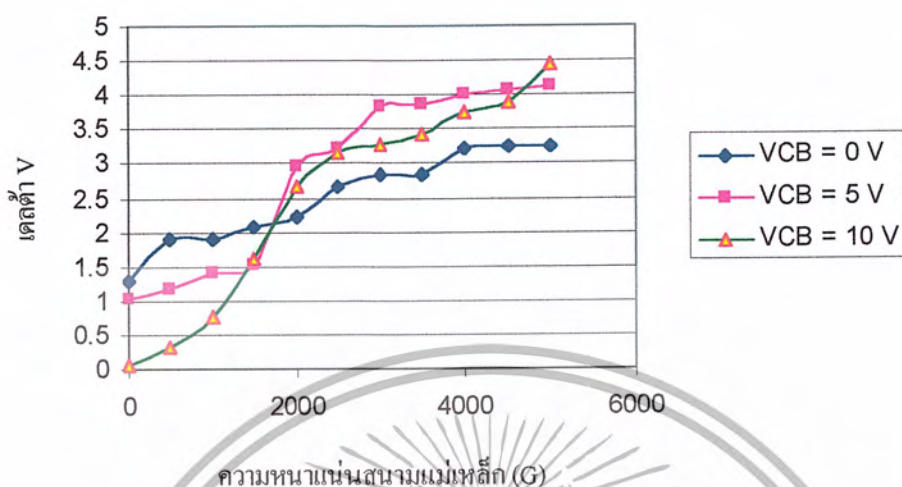
พารามิเตอร์ $L = 20 \mu m$ $W = 10 \mu m$



รูปที่ 8.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อน

กระแส $I_E = 100 \mu A$ พารามิเตอร์ $L = 20 \mu m$ $W = 10 \mu m$

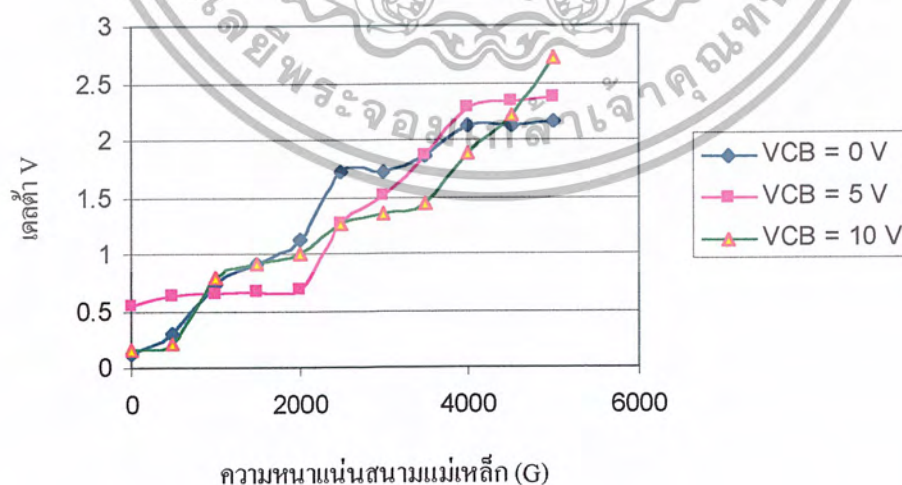
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120 \mu\text{A}$ พารามิเตอร์ $L = 20 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$

8.1.3 เลือกขา C2 เป็นขา C ของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

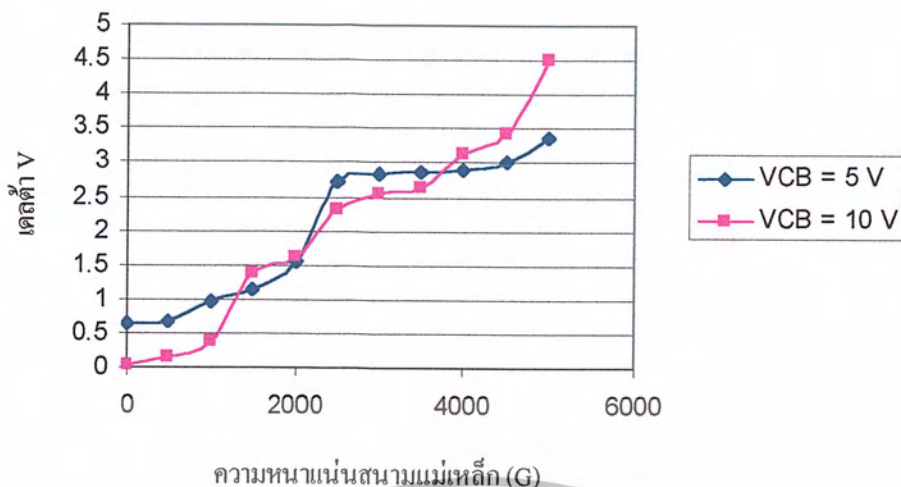
พารามิเตอร์ $L = 10 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$



รูปที่ 8.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อน

กระแส $I_E = 100 \mu\text{A}$ พารามิเตอร์ $L = 10 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$

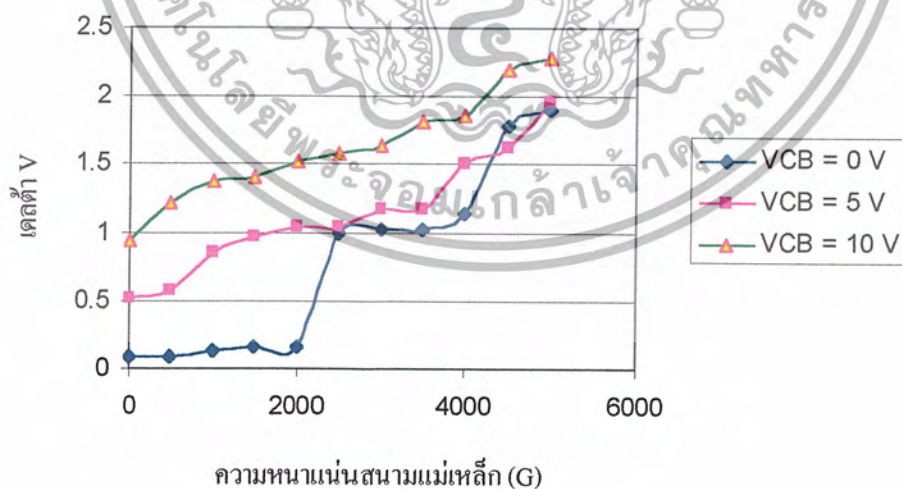
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\ \mu\text{A}$ พารามิเตอร์ $L = 10\ \mu\text{m}$ $W = 10\ \mu\text{m}$

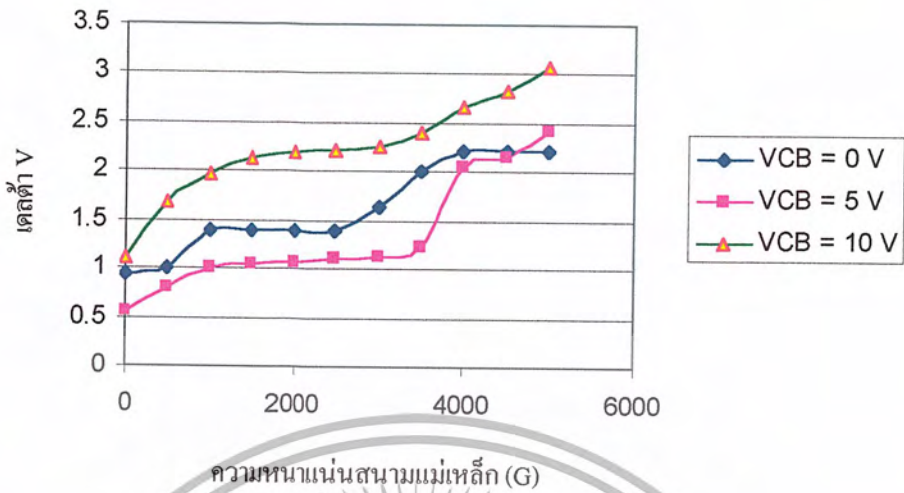
8.1.4 เลือกว่า C1 เป็นขา C ของแมกนีไทรอนซิสเตอร์

พารามิเตอร์ $L = 10\ \mu\text{m}$ $W = 10\ \mu\text{m}$



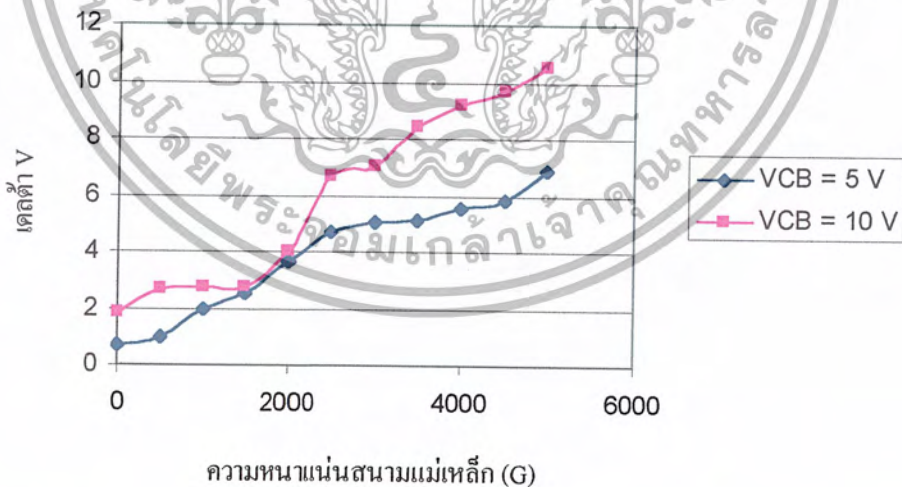
รูปที่ 8.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\ \mu\text{A}$ พารามิเตอร์ $L = 10\ \mu\text{m}$ $W = 10\ \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120 \mu\text{A}$ พารามิเตอร์ $L = 10 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$

8.2 ผลการวัดแบบ 5 ขา



รูปที่ 8.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลง ΔV กับความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก ของการวัดแบบ 5 ขา เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100 \mu\text{A}$ พารามิเตอร์ $L = 10 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปผล

แมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่ได้ทำการสร้างและทดลองนี้มีโครงสร้างเป็นแบบไบโพล่าทรานซิสเตอร์มีกระแสไหลตามแนวอนซึ่งสามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ในแนวตั้งฉาก ในโครงงานนี้เป็นการศึกษาการใช้งานแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา จากปกติศึกษาในการประยุกต์ใช้งานแบบ 3 ขา นี้ได้ทำการออกแบบวงจรไบอัสที่เหมาะสมเพื่อให้ตัวอุปกรณ์ยังคงคุณสมบัติการเป็นตัวเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กอยู่ได้ และใช้งานได้จริง โดยหลักการการทำงานยังเหมือนเดิมคือจะใช้ปรากฏการณ์ของฮอลล์ในการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแส แต่ในที่นี้กระแสจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือกระแส IB และกระแส IC และกระแสรวมคือ $IE = IB + IC$ กระแส IE ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่เพื่อความง่ายในการดูค่าความแตกต่างระหว่างกระแส IB และ IC หรือ การดูค่าเคลต้า V นั้นเอง

จากการออกแบบวงจรไบอัสได้มีการออกแบบไว้หลายแนวทางและก็ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ ทำให้แมกนีโตทรานซิสเตอร์นี้สามารถเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กได้จริงๆ แม้จะมีการใช้งานเพียง 3 ขาก็ตาม จากการวัดผลเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าตามความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจ จะเห็นได้ว่าเมื่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงของกระแสหรือในที่นี้คือค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันตกคร่อม RC และแรงดันตกคร่อม RB หรือ เรียกว่าเคลต้า V ปรากฏว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของแมกนีโตทรานซิสเตอร์ทุกประการแม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเคลต้า V ของกรณีใช้แบบ 5 ขาแล้วค่าเคลต้า V จะน้อยกว่าบ้างก็ตาม เพราะในที่นี้เราได้นำเอาแมกนีโตทรานซิสเตอร์มาประยุกต์ใช้งานแบบ 3 ขา แต่จากผลที่ได้เราสามารถที่จะนำไปประยุกต์เพื่อทำการสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขาจริงๆ และออกแบบโครงสร้างให้สามารถใช้งานได้ดียิ่งขึ้นซึ่งความเป็นไปได้ในส่วนนี้มีมาก เช่นถ้าเราออกแบบขา B ให้สามารถที่จะรับประจุพาหะที่หลุดลอดจากขา C ไปได้หมดก็จะไปมีประจุที่สูญหายไประหว่างการลัดประจุพาหะจากขา E ไปขา C ก็จะทำให้เคลต้า V มากยิ่งขึ้นไปด้วยเป็นต้น นอกจากการเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กจะทำให้เคลต้า V มีค่าเพิ่มขึ้น แล้วจากการวัดและทดลองผลที่ได้ปรากฏว่าเมื่อเราเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขา E เมื่อเทียบกับขา B และขา C แล้วจะทำให้ค่าเคลต้า V เพิ่มขึ้นไปด้วย รวมถึงเมื่อเราเพิ่มค่ากระแส IE ให้มากขึ้นจะไม่มีผลเด่นชัดในส่วนของการเพิ่มขึ้นของเคลต้า V แต่จะเห็นว่าความเป็นลิเนียร์จะลดลงอาจเป็นผลมาจากเมื่อทำการจ่ายกระแสมากอาจทำให้แมกนีโตทรานซิสเตอร์มีกระแสรั่วไหลมากขึ้นและเกิดการอิมิตัว ในโครงงานนี้ไม่ได้คำนึงถึงค่าพารามิเตอร์เป็นสำคัญแต่ในการวัดครั้งนี้นี้เราได้ทำการวัดแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ ตัวแรก $L = 20 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$ และตัวที่ 2 $L = 10 \mu\text{m}$ $W = 10 \mu\text{m}$ จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ก็มีผลด้วยเหมือนกัน ตัวแรกนั้นจะเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กได้ดีกว่า เราจึงจะเห็นได้ว่าระยะห่าง L ก็มีผลเพราะถ้าระยะห่างไกลเกินไปกระแสอาจเบี่ยงเบนไปไม่ถึงหรือถึงได้น้อย

แนวทางในการพัฒนาต่อไปคือการคิดออกแบบสร้างแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ3ขาให้มีคุณสมบัติในการเซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กได้ดียิ่งขึ้น เพื่อนำไปใช้งานจริง ซึ่งจะทำได้ง่ายยิ่งขึ้นในการใช้งาน และยังลดเวลาและงบประมาณในการสร้างลงเมื่อเทียบกับแมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ5ขา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แสดงตารางการวัดแบบ 3ขา

ตารางผลการทดลอง แมกนีโตทรานซิสเตอร์แบบ 3ขา $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$

ตารางผลการทดลองที่ 1 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	$R_B=423\Omega$	$R_C=32K\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	24.667	24.785	0.118
500	24.661	24.876	0.215
1000	24.657	24.989	0.332
1500	24.655	25.109	0.454
2000	24.654	25.263	0.609
2500	24.645	25.405	0.760
3000	24.645	25.409	0.764
3500	24.645	25.430	0.785
4000	24.621	25.443	0.822
4500	24.002	25.521	1.519
5000	24.002	26.100	2.098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 2 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{ V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=290	RC=38k	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	75.501	75.526	0.025
500	75.473	75.628	0.155
1000	75.440	75.638	0.198
1500	75.440	75.681	0.241
2000	75.437	76.043	0.606
2500	75.430	76.399	0.969
3000	75.429	76.496	1.067
3500	75.429	76.504	1.075
4000	75.424	77.009	1.585
4500	75.301	77.541	2.240
5000	75.201	78.113	2.912

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 3 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=768Ω	RC=68KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	72.876	73.218	0.342
500	72.871	73.220	0.349
1000	72.861	73.308	0.447
1500	72.853	73.412	0.559
2000	72.831	73.556	0.725
2500	72.805	73.930	1.125
3000	72.801	74.204	1.403
3500	72.799	74.652	1.853
4000	72.797	75.256	2.459
4500	72.711	75.743	3.032
5000	72.705	76.395	3.690

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 4 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=554 Ω	RC=26.46K Ω	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	61.565	62.265	0.7
500	61.392	62.347	0.955
1000	61.341	62.368	1.054
1500	61.336	62.441	1.105
2000	61.333	62.521	1.188
2500	61.333	62.792	1.459
3000	61.329	62.954	1.625
3500	61.320	63.149	1.829
4000	61.303	63.451	2.148
4500	61.301	63.511	2.21
5000	61.002	63.731	2.729

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 5 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=524Ω	RC=25.22KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	54.226	54.287	0.061
500	54.226	55.104	0.878
1000	54.223	55.214	0.991
1500	54.218	55.308	1.09
2000	53.551	55.456	1.905
2500	53.531	55.607	2.076
3000	53.482	55.665	2.183
3500	53.426	60.005	6.579
4000	53.420	60.151	6.725
4500	53.385	60.905	7.52
5000	53.329	61.161	7.832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.2 เลือกขา C1 เป็นขา C ของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

ตารางผลการทดลองที่ 6 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=586Ω	RC=66KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	57.374	58.301	0.927
500	57.344	58.301	0.957
1000	57.339	58.371	0.981
1500	57.312	58.742	1.43
2000	57.265	58.742	1.477
2500	57.259	58.972	1.713
3000	57.288	59.225	1.937
3500	57.201	59.225	2.024
4000	57.195	59.608	2.413
4500	57.178	60.086	2.908
5000	57.101	60.086	2.985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 7 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=600Ω	RC=65.5KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	58.014	58.806	0.792
500	57.824	58.879	1.055
1000	57.753	59.015	1.262
1500	57.618	59.015	1.397
2000	57.573	59.115	1.542
2500	57.540	59.324	1.784
3000	57.479	59.344	1.865
3500	57.427	60.277	2.85
4000	57.341	60.336	2.995
4500	57.225	61.016	3.791
5000	57.219	61.215	3.996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 8 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา พารามิเตอร์ $L = 20\mu\text{m}$
 $W = 10\ \mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB}) = 10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=598Ω	RC=68.2KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	58.706	59.547	0.841
500	58.667	60.045	1.378
1000	58.641	60.045	1.404
1500	58.620	60.249	1.629
2000	58.594	60.249	1.655
2500	58.553	60.400	1.847
3000	58.470	60.663	2.193
3500	58.441	61.019	2.578
4000	58.343	61.582	3.239
4500	58.330	61.813	3.483
5000	58.285	61.845	3.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 9 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=633Ω	RC=36.7KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	71.226	72.523	1.297
500	71.226	73.115	1.889
1000	71.224	73.115	1.891
1500	71.222	73.285	2.063
2000	71.221	73.449	2.228
2500	71.221	73.892	2.671
3000	71.220	74.069	2.849
3500	71.220	74.069	2.849
4000	71.216	74.445	3.229
4500	71.210	74.445	3.235
5000	71.201	74.445	3.244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 10 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ 5V

สนามแม่เหล็ก	$R_B=629\Omega$	$R_C=37.1\text{K}\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	70.527	71.550	1.023
500	70.481	71.663	1.182
1000	70.424	71.836	1.412
1500	70.424	71.945	1.521
2000	69.288	72.252	2.964
2500	69.221	72.433	3.212
3000	69.189	73.011	3.822
3500	69.156	73.011	3.855
4000	69.156	73.152	3.996
4500	69.156	73.209	4.053
5000	69.102	73.224	4.122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 11 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L = 20\mu\text{m}$ $W = 10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB}) = 10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	$R_B = 601\Omega$	$R_C = 37\text{K}\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	72.421	72.489	0.068
500	72.301	72.614	0.313
1000	72.202	72.953	0.751
1500	71.354	72.953	1.599
2000	70.642	73.314	2.672
2500	70.313	73.481	3.168
3000	70.312	73.601	3.289
3500	70.312	73.726	3.414
4000	70.221	73.961	3.74
4500	70.220	74.101	3.881
5000	70.186	74.617	4.431

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$

8.1.3 เลือกว่า C2 เป็นขา C ของแมกนีโตทรานซิสเตอร์

ตารางผลการทดลองที่ 12 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB}) = 0\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	$R_B=520\Omega$	$R_C=121\text{k}\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	V_{RB}	V_{RC}	
0	53.984	54.528	0.544
500	53.698	54.321	0.623
1000	53.668	54.321	0.653
1500	53.659	54.321	0.662
2000	53.651	54.342	0.691
2500	53.631	54.890	1.259
3000	53.587	55.099	1.512
3500	53.561	55.422	1.861
4000	53.535	55.816	2.281
4500	53.525	55.866	2.341
5000	53.520	55.890	2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 13 เมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=530 Ω	RC=125K Ω	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	56.160	56.290	0.13
500	56.160	56.461	0.301
1000	56.197	56.930	0.733
1500	56.197	57.102	0.905
2000	56.172	57.293	1.121
2500	56.154	57.872	1.718
3000	56.152	57.880	1.728
3500	56.147	58.014	1.867
4000	56.147	58.270	2.123
4500	56.147	58.271	2.124
5000	56.145	58.304	2.159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 14 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=597 Ω	RC=125K Ω	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	59.948	60.103	0.155
500	59.904	60.107	0.203
1000	59.765	60.557	0.792
1500	59.703	60.624	0.921
2000	59.703	60.702	1.005
2500	59.697	60.962	1.265
3000	59.688	61.046	1.358
3500	59.644	61.064	1.445
4000	59.619	61.491	1.872
4500	59.586	61.789	2.203
5000	59.586	62.302	2.716

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 15 เมกนีโททรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L = 10\mu\text{m}$ $W = 10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB}) = 5\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=521Ω	RC=66KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	59.922	60.568	0.646
500	59.907	60.568	0.661
1000	59.907	60.910	0.955
1500	59.955	61.105	1.15
2000	59.971	61.508	1.537
2500	59.970	62.703	2.733
3000	59.957	62.788	2.84
3500	59.948	62.815	2.875
4000	59.940	62.845	2.905
4500	59.926	62.945	3.019
5000	59.904	63.261	3.357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 16 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	$R_B=530\Omega$	$R_C=70\text{K}\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	65.584	65.618	0.034
500	65.613	65.748	0.135
1000	65.537	65.919	0.382
1500	65.527	66.910	1.383
2000	65.393	66.996	1.603
2500	65.345	67.664	2.319
3000	65.333	67.870	2.53
3500	65.330	67.971	2.641
4000	65.234	68.362	3.128
4500	65.151	68.569	3.418
5000	65.127	69.636	4.509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.4 เลือกว่า C1 เป็นขา C ของแมกนีโททรานซิสเตอร์

ตารางผลการทดลองที่ 17 แมกนีโททรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=0\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	$R_B=349\text{K}\Omega$	$R_C=220\text{K}\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	83.583	83.667	0.084
500	83.583	83.668	0.085
1000	83.583	83.721	0.138
1500	83.561	83.721	0.16
2000	83.561	83.721	0.16
2500	83.561	84.556	0.995
3000	83.560	84.579	1.019
3500	83.554	84.580	1.026
4000	83.439	84.580	1.141
4500	83.210	84.995	1.785
5000	83.100	84.998	1.898

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 18 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=342 Ω	RC=87.5K Ω	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	32.205	33.146	0.941
500	32.144	33.361	1.217
1000	32.063	33.432	1.369
1500	32.061	33.461	1.4
2000	31.936	33.461	1.525
2500	31.885	33.465	1.58
3000	31.825	33.465	1.64
3500	31.772	33.578	1.806
4000	31.733	33.586	1.853
4500	31.697	33.886	2.189
5000	31.677	33.954	2.277

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่19 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ3ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $IE=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	$R_B=2.7\text{K}\Omega$	$R_C=147\text{K}\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	52.586	53.097	0.511
500	52.521	53.097	0.576
1000	52.468	53.323	0.855
1500	52.410	53.382	0.972
2000	52.397	53.431	1.034
2500	52.397	53.432	1.035
3000	52.368	53.532	1.164
3500	52.363	53.532	1.169
4000	52.363	53.871	1.508
4500	52.363	53.990	1.627
5000	52.360	54.319	1.959

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 20 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3 ขา

พารามิเตอร์ $L = 10\mu\text{m}$ $W = 10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB}) = 0\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	$R_B = 165\Omega$	$R_C = 68.5\text{k}\Omega$	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	59.774	60.715	0.941
500	59.714	60.720	1.006
1000	59.703	61.095	1.392
1500	59.703	61.096	1.393
2000	59.703	61.096	1.393
2500	59.703	61.096	1.393
3000	59.701	61.337	1.636
3500	59.701	61.706	2.005
4000	59.701	61.905	2.204
4500	59.700	61.905	2.205
5000	59.700	61.905	2.205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 21 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L=10\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=472Ω	RC=63.757KΩ	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	57.194	57.752	0.558
500	56.950	57.752	0.802
1000	56.860	57.872	1.012
1500	56.834	57.872	1.038
2000	56.799	57.872	1.073
2500	56.774	57.874	1.1
3000	56.755	57.874	1.119
3500	56.719	57.993	1.238
4000	56.557	58.594	2.037
4500	56.532	58.678	2.146
5000	56.523	58.942	2.419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 22 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ประยุกต์ใช้แบบ 3ขา

พารามิเตอร์ $L = 10\mu\text{m}$ $W = 10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 120\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB}) = 10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=481 Ω	RC=66.123K Ω	$\Delta V(\text{mA})$
	VRB	VRC	
0	57.508	58.605	1.097
500	57.246	58.921	1.675
1000	57.066	59.025	1.959
1500	56.925	59.049	2.124
2000	56.860	59.056	2.196
2500	56.840	59.056	2.216
3000	56.804	59.056	2.252
3500	56.664	59.056	2.392
4000	56.568	59.223	2.655
4500	56.524	59.348	2.824
5000	56.453	59.532	3.079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงตารางการวัดแบบ5ขา

ตารางผลการทดลอง แมกนีโททรานซิสเตอร์แบบ5ขา $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$

ตารางผลการทดลองที่23 แมกนีโททรานซิสเตอร์ใช้แบบ5ขา

พารามิเตอร์ $L=20\mu\text{m}$ $W=10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E=100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB})=5\text{V}$

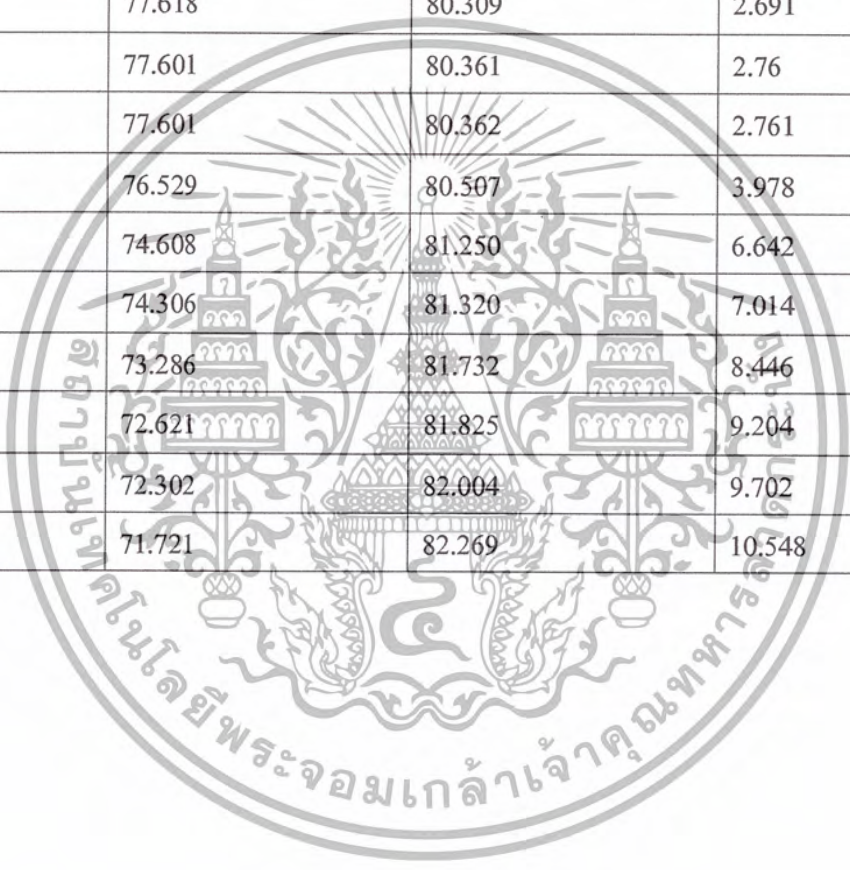
สนามแม่เหล็ก	$RC1=5.16\text{K}\Omega$	$RC2=514\Omega$	$\Delta V_z(\text{mA})$
	VR_{c1}	VR_{c2}	
0	42.081	42.775	0.694
500	41.808	42.805	0.997
1000	40.821	42.815	1.994
1500	40.451	42.996	2.545
2000	39.321	42.998	3.677
2500	38.321	43.041	4.72
3000	38.012	43.045	5.033
3500	37.974	43.127	5.153
4000	37.683	43.208	5.525
4500	37.388	43.209	5.821
5000	37.103	43.964	6.861

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองที่ 24 แมกนีโตทรานซิสเตอร์ใช้แบบ 5ขา

พารามิเตอร์ $L = 20\mu\text{m}$ $W = 10\mu\text{m}$ เมื่อป้อนกระแส $I_E = 100\mu\text{A}$ ไฟช่วยเท่ากับ $(V_{CB}) = 10\text{V}$

สนามแม่เหล็ก	RB=5.16K Ω	RC=514 Ω	$\Delta V_z(\text{mA})$
	VRC1	VRC2	
0	77.621	79.469	1.848
500	77.618	80.309	2.691
1000	77.601	80.361	2.76
1500	77.601	80.362	2.761
2000	76.529	80.507	3.978
2500	74.608	81.250	6.642
3000	74.306	81.320	7.014
3500	73.286	81.732	8.446
4000	72.621	81.825	9.204
4500	72.302	82.004	9.702
5000	71.721	82.269	10.548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

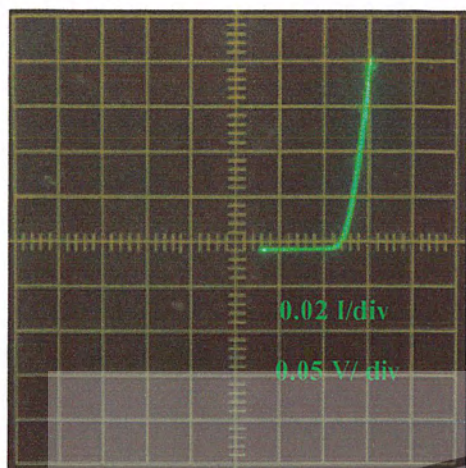
ภาคผนวก ข
คุณสมบัติรอยต่อที่วัดจากเครื่อง Testcer

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

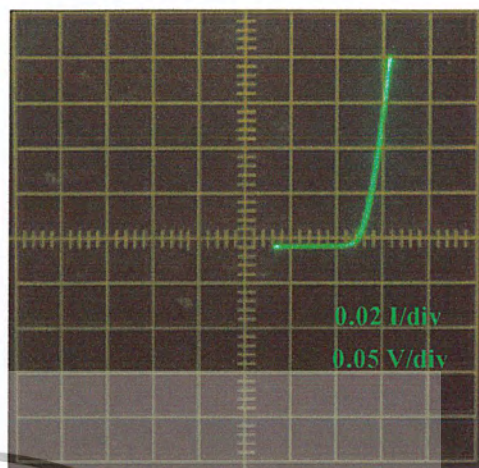
คุณสมบัติรอยต่อพีเอ็น



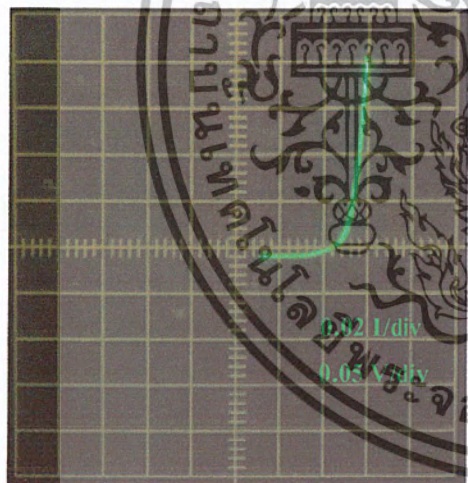
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



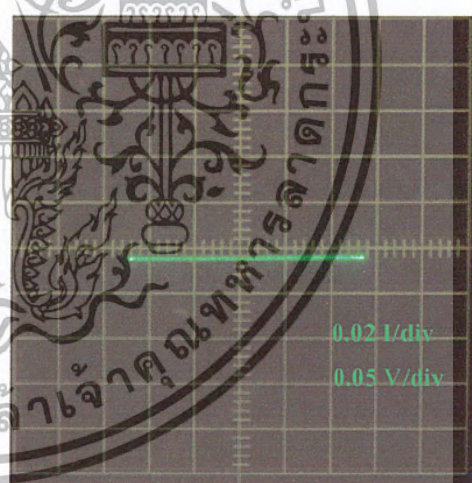
B2-C1



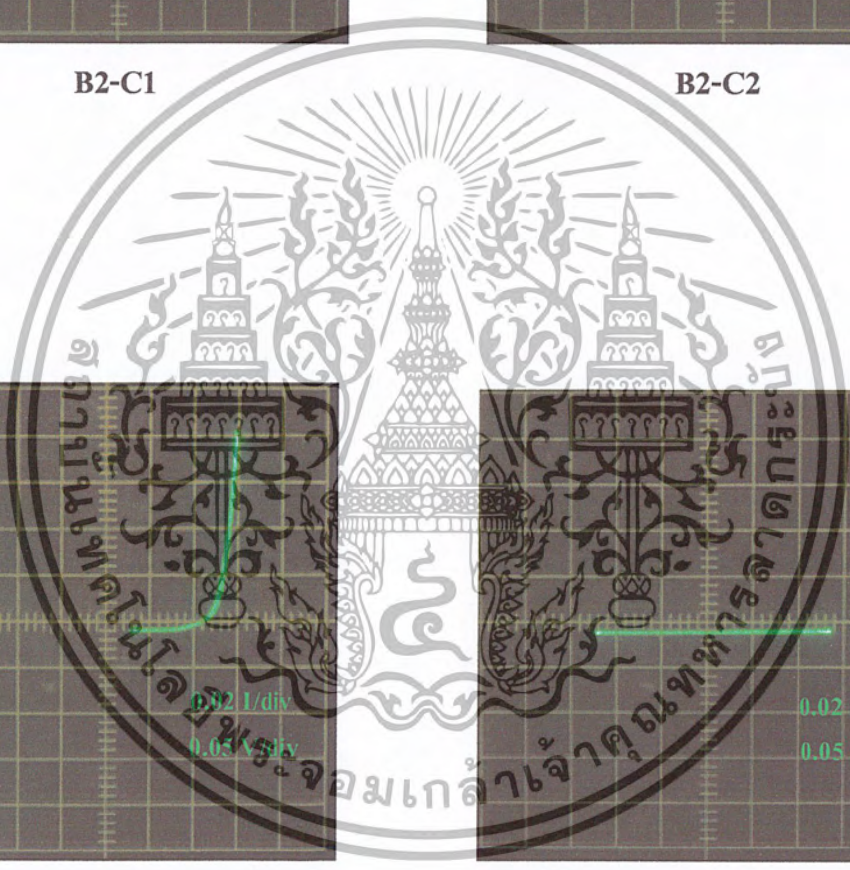
B2-C2



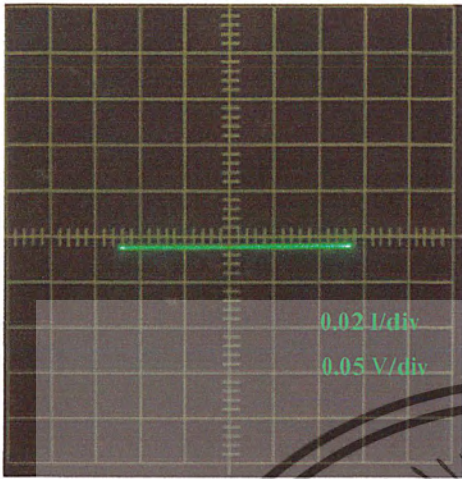
B2-E



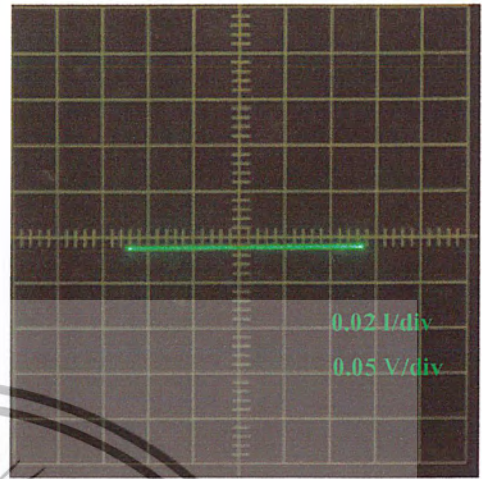
C1-C2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

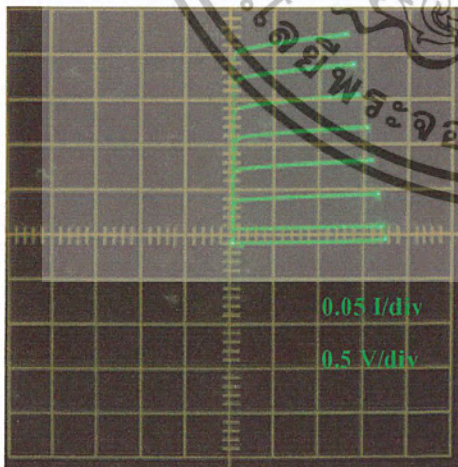


C1-E

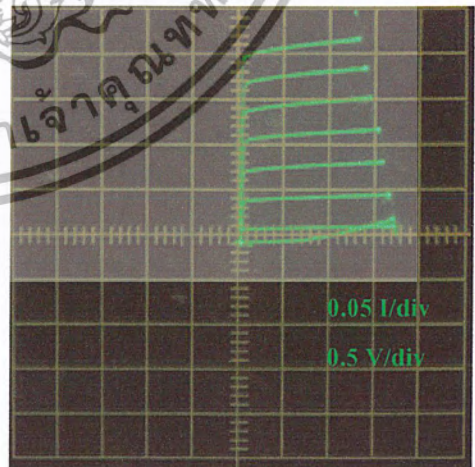


C2-E

คุณสมบัติไบโพลาร์
-อิมิตเตอร์ร่วม

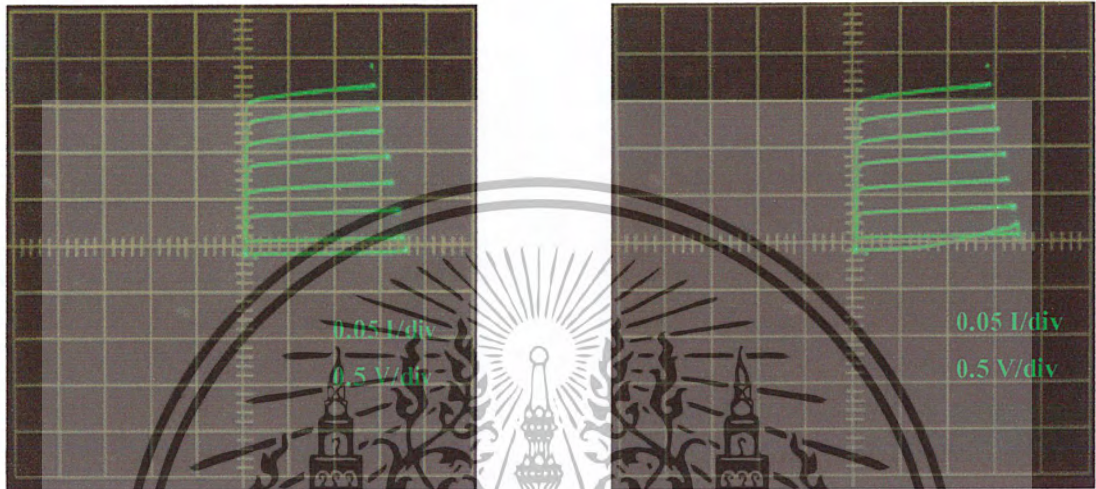


B1-C1-E



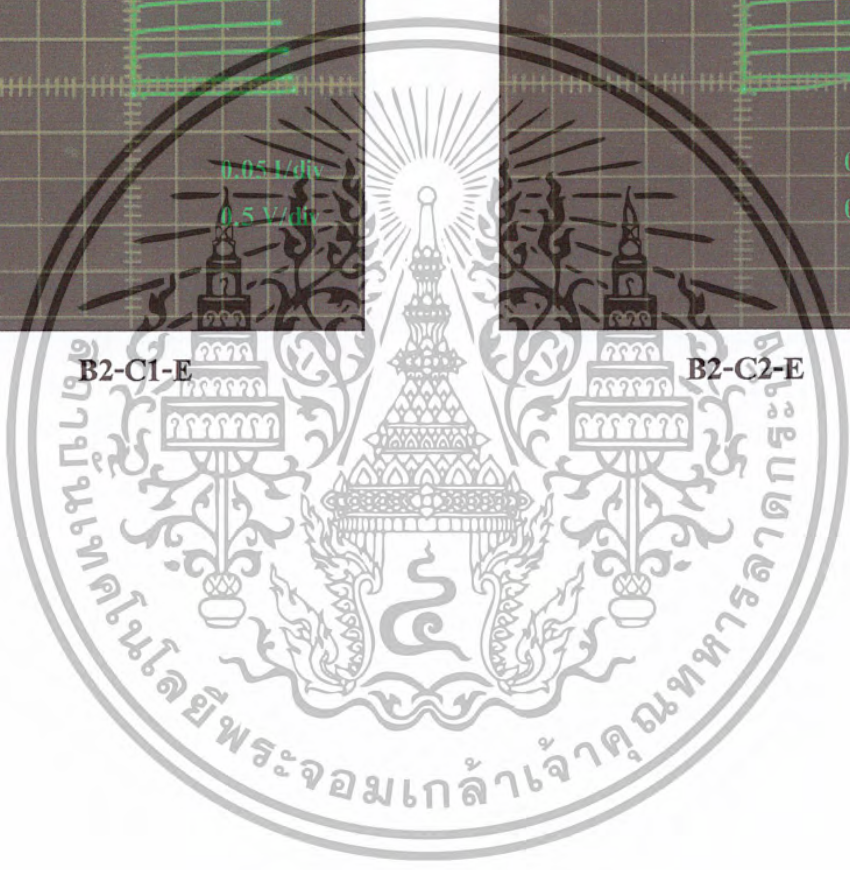
B1-C2-E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



B2-C1-E

B2-C2-E



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

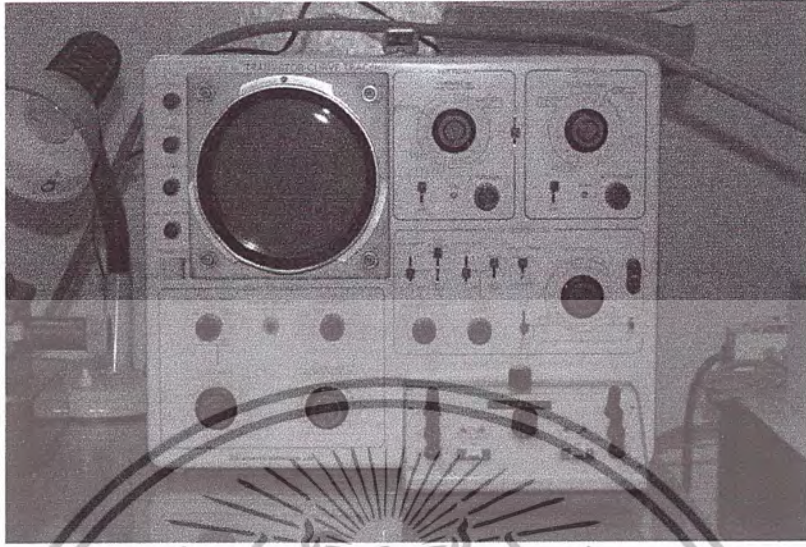
แสดงรูปเครื่องมือที่ใช้และทดสอบแมกนีโตทรานซิสเตอร์



รูปที่1 มาร์คที่ตัดบนแผ่นพิวท์โคด

รูปที่2 ชิ้นส่วนที่ตัดแยก ติดตั้งบนแผ่นวงจรพร้อมที่จะให้ไปอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 เครื่องเทอร์เซอร์



รูปที่ 4 Probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 เครื่องผลิตสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับแมกนีโตทรานซิสเตอร์ที่มีความสามารถในการตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ซึ่งปกติจะเป็นการใช้งานแบบ5ขาแต่ในที่นี้เป็นการใช้งานแบบ3ขาซึ่งจะทำให้ง่ายในการใช้งานมากยิ่งขึ้น ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้จูงประกายให้เกิดความคิดในการทำโครงการครั้งนี้ขึ้นและช่วยแนะนำทั้งในการหาข้อมูลเพิ่มเติมและแนวทางการวัดและทดสอบ และรวมถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์และพี่ๆเพื่อนๆที่ได้ช่วยกันแนะนำเสนอแนะความคิดดีๆให้ข้าพเจ้าจนมีแนวคิดที่ถูกต้อง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านเหล่านั้นเป็นอย่างยิ่ง ไว้ ณ ที่นี้ด้วย



(นาย ประสิทธิ์ เฟื่องแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ผศ.ดร.เติมพงษ์ เพชรภูด, “ฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ 2543.
2. รศ.ดร. สมเกียรติ สุภเดช, “เซมิคอนดักเตอร์ฟิสิกส์” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ 2542.
3. รศ.ดร. สมเกียรติ สุภเดช, “สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ”, พิมพ์ครั้งที่ 8, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ 2543.
4. Julian W.Gardner, “MICROSENSORS PRINCIPLES AND APPLICATIONS”, McGraw-Hill Book Company, pp.199-213, 1994
5. Albert W . Vinal , Operating Principles Transistor Magnetic Sensor” ,IEEE Tran.On Electron Device , vol.ed31, pp.148-156 no.10,1984
6. T.Nakamura and K.Maennaka , “ Integrated Magnetic Sensor”, Sensor and Actuators, Vol.35,pp.21-23,1990

