

การศึกษา และวิจัยผลของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติ
ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภทมอยซ์.

THE STUDY AND RESEARCH ON THE EFFECT OF Au ATOMS ON THE
ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF MOIS DEVICE

วิทยานิพนธ์
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

นายอนุชา เรืองพานิช
MR.ANUCHA RUANGPHANIT



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2538

ISBN 974-621-413-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....23849
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE STUDY AND RESEARCH ON THE EFFECT OF Au ATOMS ON THE
ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF MOIS DEVICE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1995

ISBN 974-621-413-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาและวิจัยผลของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติทาง

ไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภทมอยซ์

นักศึกษา

นายอนุชา เรืองพานิช

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ. วิสิทธิ์ จิตรุ่งเรือง

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พศ.

2538

บทคัดย่อ

ทรานซิสเตอร์ชนิดใหม่โครงสร้างแบบ มอยซ์ (MOIS) เป็นทรานซิสเตอร์ที่มีโครงสร้างและการทำงานคล้ายกับมอสทั่วไป แต่ฐานรองของมอยซ์ใช้เป็น ฐานรองเดิมที่ทำการแพร่อะตอมของทองคำเข้าไปเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทำให้สามารถสร้างทั้งเอ็นมอยซ์ และพีมอยซ์ บนฐานรองเดียวกันได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการเสนอการศึกษาและวิจัยผลของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภทมอยซ์ เริ่มต้นที่การศึกษา และวิจัยผลของอะตอมของทองคำที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฐานรอง พบว่าอุณหภูมิการแพร่ของ อะตอมทองคำ จาก 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะทำให้ค่าพิกัดความต้านทานของฐานรองชนิดเอ็น เปลี่ยนแปลงจาก 5 โอห์ม - เซนติเมตร เป็น 2 , 200 และ 550 กิโลโอห์ม - เซนติเมตร และค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ เป็น 9.4×10^{14} , 1.4×10^{15} และ $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ พลังงานเฟอร์มิมีค่าเป็น 0.70 eV., 0.60 eV. และ 0.56 eV. ตามลำดับ ในกรณีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและการทำงานของมอยซ์เฟต พบว่า ที่อุณหภูมิการแพร่ทองคำดังกล่าวข้างต้น เอ็นมอยซ์เฟต มีการทำงานเป็น ดีพลีชันโหมด และ เอ็นฮานซ์เมนต์โหมด ด้วยค่าแรงดันขีดเริ่มเป็น -1.8 และ 1.5 โวลต์ โดยที่อุณหภูมิการแพร่เป็น 900 องศาเซลเซียส ไม่เกิดปรากฏการณ์มอยซ์เฟตเลย ส่วนพีมอยซ์เฟตพบว่า การทำงานเป็นแบบเอ็นฮานซ์เมนต์โหมดทั้งหมด โดยมีค่าแรงดันขีดเริ่มประมาณ -2.2, -2.4 และ -2.6 โวลต์ ตามลำดับ สำหรับค่าความคล่องตัวของพาหะทั้งอิเล็กตรอนและโฮล มีค่าประมาณ 20 และ 92 $\text{cm}^2/\text{V.s}$ ที่อุณหภูมิการแพร่อะตอมของทองคำ 1100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Study and Research on the Effect of Au Atoms on the Electrical Characteristics of MOIS Device
Student	Mr.Anucha Ruangphanit
Thesis Advisor	Asst.Prof. Wisut Titiroongruang
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Electronics Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1995

ABSTRACT

MOIS is a new structure of field effect transistor. The structure and the operation are the same as MOS transistor. The substrate of MOIS is the silicon diffused with Au atoms to change some electrical characteristics, so the advantage of this structure is to be constructed P-MOIS and N-MOIS on the same substrate.

The effects of Au atoms on the electrical characteristics and the operation of MOIS devices are reported in this thesis. Firstly, we studied the effect of Au atoms on the electrical characteristics of substrate. The results show that, the temperature of 900°c , 1000°c and 1100°c diffusion of Au in 90 minutes of time. The resistivity of substrate changes from 5 ohm-cm to 2, 200 and 550 Kohm-cm. The concentrations of Au are 9.4×10^{14} , 1.4×10^{15} and 5×10^{15} cm⁻³. Moreover the value of Energy fermi level are 0.70 eV. 0.60 eV. and 0.56 eV. respectively. In the case of the electrical characteristics and the operation of MOIS, at the same temperature of Au diffusion, the operation of N-MOIS is depletion and enhancement mode with the threshold voltage of -1.8 and 1.5 volts respectively. At 900°c diffusion of temperature, the operation of MOIS is not occur. For P- MOIS,

the operation of P-MOIS is enhancement mode and the threshold voltage is approximately -2.2, -2.4 and -2.6 volt respectively. For the carrier mobility, the value of electron and hole mobility are approximately 20 and 92 cm²/v.s for 1100 °c of Au diffusion.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผศ. วิสุมิ จิตรุ่งเรือง ผู้ซึ่งได้ให้แนวความคิด คำแนะนำ ข้อปฏิบัติ ตลอดจนวิธีการแก้ไขปัญหา ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย มาโดยตลอด และ ขอขอบคุณอาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ปฏิบัติการ อยู่ที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจตลอดมาและขอขอบคุณ คุณศิริพงษ์ อุประ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการฟิล์มส์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ช่วยพิมพ์ต้นฉบับจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์


(อนชา เรืองพานิช)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
คำอธิบายสัญลักษณ์	XII
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
2. ทฤษฎี.....	2
2.1 คุณสมบัติของทองคำ.....	2
2.1.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์.....	2
2.1.2 ระดับพลังงานของอะตอมทองคำในซิลิกอน.....	5
2.1.3 พิกัดความต้านทานของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยอะตอมของทองคำ.....	7
2.1.4 ข้อสังเกตการจับยึด.....	10
2.1.5 กระบวนการการจัดยึด.....	11
2.1.6 การคำนวณความหนาแน่นของอะตอมทองคำ.....	15
2.2 คุณสมบัติของอะตอมทองคำที่เมื่อรอยต่อพีเอ็น.....	19
2.2.1 แรงดันไบอัสตรง.....	19
2.2.2 แรงดันเบรกดาวน์.....	21
2.2.3 ค่าความจุไฟฟ้า.....	22
2.3 โครงสร้างและการทำงานของมอยซ์แทรนซิสเตอร์.....	23
2.3.1 ทรานซิสเตอร์แบบมอยซ์พื้นฐาน.....	23
2.3.2 มอยซ์แทรนซิสเตอร์แบบ เอ็นฮานซ์เมนต์และดีฟลิท.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 คุณสมบัติกระแสและแรงดัน.....	27
2.3.4 การควบคุมแรงดันขีดเริ่ม.....	33
2.3.5 วงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	34
2.3.6 ตัวเก็บประจุแบบมอยซ์.....	37
3 การออกแบบ การสร้าง และการเก็บบรรจุ.....	42
3.1 การคำนวณความหนาแน่นของอะตอมทองคำ.....	42
3.1.1 การสร้าง.....	42
3.1.2 การเก็บบรรจุ.....	44
3.2 รอยต่อ P^+n และ n^+p	45
3.2.1 การสร้าง.....	45
3.2.2 การเก็บบรรจุ.....	46
3.3 มอยซ์เฟต.....	47
3.3.1 การสร้างมอยซ์เฟต.....	47
4 การทดลองและผลการทดลอง.....	51
4.1 คุณสมบัติของอะตอมทองคำที่ต่อฐานรองซิลิกอน.....	51
4.1.1 ค่าพิกัดความต้านทานของฐานรอง.....	51
4.1.2 ค่าพลังงานเฟอร์มิ.....	57
4.1.3 การคำนวณค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ.....	57
4.2 ผลของอะตอมทองคำที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็น.....	58
4.2.1 แรงดัน built in.....	58
4.2.2 แรงดันเบรกดาวน์.....	58
4.2.3 ค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+n และ n^+p	61
4.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอยซ์เฟต.....	67
4.3.1 สมการกระแส - แรงดัน.....	67
4.3.2 ค่าแรงดันขีดเริ่ม.....	73
4.4 วงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรงของมอยซ์เฟต.....	75
4.5 การคำนวณค่าความคล่องตัวของประจุพาหะ.....	81
4.6 ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบมอยซ์.....	83

5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	87
5.1 พิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อฐานรองซิลิกอน.....	87
5.1.1. ค่าพิกัดความต้านทาน.....	87
5.1.2. ค่าพลังงานเฟอร์มิ.....	88
5.1.3. การคำนวณความหนาแน่นของอะตอมทองคำ.....	89
5.2 พิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็น.....	89
5.2.1. แรงดัน built in voltage.....	89
5.2.2. แรงดันเบรกดาวน์.....	91
5.2.3. ความจุไฟฟ้า.....	93
5.3 พิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอดูลีเฟต.....	93
5.3.1. สมการกระแสและแรงดัน.....	93
5.3.2. ค่าแรงดันขีดเริ่ม.....	96
5.3.3. ความคล่องตัวของประจุพาหะ.....	96
5.4 พิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อวงจรสมมูลไฟฟ้ากระแสตรง.....	96
5.5 พิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ.....	97
เอกสารอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก ก. แถบพลังงาน.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 แสดงภาคตัดขวางการจับยึดของอะตอมทองคำ.....	11
4-1 แสดงค่าพลังงานเฟอร์มิของฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็นระนาบ <100> ที่อุณหภูมิต่างๆ ของการแพร่อะตอมของทองคำ.....	57
4-2 แสดงค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ.....	58
4-3 แสดงค่าแรงดันขีดเริ่ม ความหนาแน่นประจุพาหะของฐานรอง และค่า Q_{ss}/q ที่วัดจากเครื่อง HP4061A.....	86
5-1 แสดงค่าพิกัดความต้านทานของซิลิกอนกับอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ	87



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1-1 แสดงสัมประสิทธิ์การแพร่ของอะตอมทองคำในซิลิกอน.....	2
2.1-2 แสดงการแพร่ของอะตอมทองคำเข้าไปอยู่ระหว่างอะตอมของซิลิกอน.....	3
2.1-3 แสดงค่า Solid Solubility ของอะตอมทองคำในซิลิกอน.....	4
2.1-4 แสดงระดับพลังงานแบบลิแกนด์ของอะตอมทองคำในซิลิกอน.....	5
2.1-5 แสดงระดับของพลังงานของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยอะตอมของทองคำ.....	6
2.1-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดความต้านทานและความหนาแน่นของ อะตอมทองคำ.....	8
2.1-7 แสดงสถานะของทองคำกับความหนาแน่นของสารเจือทั้งชนิดเอ็นและชนิดพี.....	9
2.1-8 แสดงกระบวนการการจับยึดและกำเนิดของอิเล็กตรอนและโฮล ที่ตำแหน่ง E_T	12
2.1-9 แสดงสถานะพลังงานของอะตอมทองคำในฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น.....	15
2.1-10 แสดงสถานะพลังงานของอะตอมทองคำในฐานรองซิลิกอนชนิดพี.....	18
2.2-1 แสดงกระแสไบอัสตรงกับอนุกรมการแพร่ของอะตอมทองคำ.....	20
2.2-2 แสดงกระแสไบอัสย้อนกลับ กับอนุกรมการแพร่ของอะตอมทองคำ.....	20
2.2-3 แสดงค่าแรงดันเบรกดาวกับความหนาแน่นของอะตอมทองคำ.....	22
2.3-1 แสดงโครงสร้างของมอยซ์เฟต.....	23
2.3-2 แสดงโครงสร้างภาคตัดขวางของมอยซ์.....	24
2.3-3 แสดงการไบอัสมอยซ์เฟต.....	24
2.3-4 แสดงโครงสร้างภาคตัดขวางของเอ็นมอยซ์.....	25
2.3-5 แสดงการไบอัสเอ็นมอยซ์.....	25
2.3-6 การแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันขีดเริ่มกับโหมดการทำงาน.....	26
2.3-7 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอยซ์ที่ใช้ในการคำนวณกระแสและแรงดัน.....	27
2.3-8 แสดงการวิเคราะห์กระแสในมอยซ์เฟต.....	28
2.3-9 แสดงภาวะอิ่มตัวของมอยซ์เฟต.....	30
2.3-10 ผลของ Channel Length Modulation ในมอยซ์เฟต.....	33
2.3-11 แสดงวงจรสมมูลในไฟกระแสตรงของมอยซ์เฟต.....	36
2.3-12 แสดงโครงสร้างตัวเก็บประจุแบบมอยซ์.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3-13 แสดงแถบพลังงานของตัวเก็บประจุที่แรงดันเกทเป็นศูนย์โวลต์.....	38
2.3-14 แสดงแถบพลังงานในการสัมผัสประจุ.....	39
2.3-15 แสดงแถบพลังงานในการสัมผัสประจุ.....	40
3.1-1 แสดงตัวถึงการเก็บบรรจุของการคำนวณหา N_{Au}	44
3.2-1 แสดงตัวถึงการเก็บบรรจุของรอยต่อ P^+v และ $n^+\pi$	46
3.3-1 แสดงลวดลายวงจรด้านบนของมอยซ์เฟต.....	50
4.1-1 แสดงคุณสมบัติกระแส - แรงดันที่อุณหภูมิการแพร่ต่างๆ ของอะตอมทองคำ.....	52
4.1-2 แสดงพิกัดความต้านทานของฐานรองชนิดเอ็นที่อุณหภูมิแพร่ของอะตอมทองคำ ต่างๆ กัน.....	55
4.1-3 แสดงพิกัดความต้านทานของฐานรองชนิดพีที่อุณหภูมิแพร่ของอะตอมทองคำ ต่างๆ กัน.....	56
4.2-1 แสดงความสัมพันธ์ของ Built in Voltage ต่ออุณหภูมิการแพร่ของ อะตอมทองคำ.....	59
4.2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันพังทลายต่ออุณหภูมิการแพร่ของ อะตอมทองคำของรอยต่อ P^+v	60
4.2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันพังทลายต่ออุณหภูมิการแพร่ของ อะตอมทองคำของรอยต่อ $n^+\pi$	60
4.2-4 แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+v กับแรงดันไบอัส.....	61
4.2-5 แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ $n^+\pi$ กับแรงดันไบอัส.....	64
4.3-1 แสดงความสัมพันธ์กระแส - แรงดันเอ็นมอยซ์เฟต.....	68
4.3-2 แสดงความสัมพันธ์กระแส - แรงดันพีมอยซ์เฟต.....	70
4.3-3 แสดงวงจรทดสอบแรงดันขีดเริ่ม.....	73
4.3-4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันขีด เริ่มกับอุณหภูมิการแพร่ของ อะตอมทองคำของเอ็นมอยซ์เฟต.....	74
4.3-5 แสดงวงจรทดสอบแรงดันขีด เริ่มกับอุณหภูมิการแพร่ของ อะตอมทองคำของพีมอยซ์เฟต.....	75
4.4-1 แสดงวงจรการทดลองหาจลสมมุติไฟฟ้ากระแสตรง.....	76
4.4-2 แสดงค่า g_{nm} ของพีมอยซ์เฟต และ เอ็นมอยซ์เฟต.....	77

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันที่ค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับค่าต่างๆ	79
4.4-4 แสดงค่า g_m ของพีมอยซ์เฟต และ เอ็มมอยซ์เฟต.....	80
4.5-1 แสดงค่าความคล่องตัวของไฮล.....	82
4.5-2 แสดงค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอน.....	82
4.6-1 แสดงค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัสที่เกตที่พื้นที่เกตเป็น $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$	83
4.6-2 แสดงค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัสที่เกตที่พื้นที่เกตเป็น $2.56 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$	84
4.6-3 แสดงค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัสที่เกตที่พื้นที่เกตเป็น $3.24 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$	85
5.1-1 แสดงแถบพลังงานของซิลิกอน.....	88
5.2-1 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อพีเอ็น.....	89
5.2-2 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อพีเอ็นที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ ค่าต่างๆ.....	90
5.2-3 แสดงการเปรียบเทียบค่า V_{bi}	91
5.2-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันพังทลาย.....	92
5.3-1 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของเอ็มมอยซ์เฟต.....	94
5.3-2 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของพีมอยซ์เฟต.....	95
5.4-1 แสดงวงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรงของมอยซ์เฟต.....	97

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

หน่วย

C_{ox}	ความจุไฟฟ้าของเกตออกไซด์	Fcm^{-2}
C_p	การจับยึดโฮล	$cm^3 s^{-1}$
C_n	การจับยึดอิเล็กตรอน	$cm^3 s^{-1}$
e_p	การปลดปล่อยโฮล	s^{-1}
e_n	การปลดปล่อยอิเล็กตรอน	s^{-1}
E_C	ระดับพลังงานแถบความนำ	eV
E_F	ระดับพลังงานเฟอร์มิ	eV
E_i	ระดับพลังงานอินทรินซิก	eV
E_T	ระดับพลังงานสารเจือปนลึก	eV
E_v	ระดับพลังงานแถบวาเลนซ์	eV
E_{Aua}	ระดับแถบพลังงาน Acceptor	eV
E_{Aud}	ระดับพลังงาน Donor	eV
g_m	ทรานคอนดักแตนซ์	mho
g_d	เดรนคอนดักแตนซ์	mho
g_{mb}	สลิปสตรีททรานคอนดักแตนซ์	mho
I_{DS}	กระแสเดรนซอส	A
K'	ตัวแปรความนำของทรานซิสเตอร์ที่สร้าง	A/V^2
L	ความยาวช่องทางเดินกระแส	μm
L_{eff}	ความยาวที่แท้จริงของช่องทางเดินกระแส	μm
N_{Au}	ความหนาแน่นของอะตอมทองคำ	cm^{-3}
N_C	ความหนาแน่นยังผลของสถานะในแถบความนำ	cm^{-3}
N_v	ความหนาแน่นยังผลของสถานะในแถบวาเลนซ์	cm^{-3}
N_T	ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_T	cm^{-3}
N_{sub}	ความหนาแน่นของประจุพาหะในฐานรองที่เดิมทองคำ	cm^{-3}
N_{scr}	ความหนาแน่นของประจุพาหะในบริเวณต้นลิ้น	cm^{-3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานนี้ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_T	ความหนาแน่นของโฮลที่ระดับพลังงาน E_T	cm^{-3}
q	ประจุของอิเล็กตรอน	C
Q_i	ความหนาแน่นของประจุในชั้นกลับ	C cm^{-2}
Q_D	ความหนาแน่นของประจุบริเวณดีพลีน	C cm^{-2}
T_{ox}	ความหนาของเกตออกไซด์	$\text{\AA}$
V_{DS}	แรงดันเดรนซอล	V
V_{GS}	แรงดันเกตซอล	V
V_T	แรงดันขีดเริ่ม	V
V_{FD}	ความแตกต่างพลังงานของซิลิกอนกับซิลิกอนไดออกไซด์	V
V_{bi}	แรงดัน Built in ของรอยต่อพีเอ็น	V
V_D	แรงดันเบรกดาวน์	V
B	อัตราการขยายของทรานซิสเตอร์	
ϵ_o	ค่าเฟอร์มิตีวีตี้ของสุญญากาศ	F cm^{-1}
ϵ_{ox}	ค่าเฟอร์มิตีวีตี้ของซิลิกอนไดออกไซด์	F cm^{-1}
ϵ_{si}	ค่าเฟอร์มิตีวีตี้ของซิลิกอน	F cm^{-1}
μ_{nAu}	ความคล่องตัวของอิเล็กตรอนในซิลิกอนที่เติมทองคำ	$\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$
μ_{pAu}	ความคล่องตัวของโฮลในซิลิกอนที่เติมทองคำ	$\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$
ρ	ความพิถีความต้านทาน	ohm-cm
σ	การนำไฟฟ้า	$(\text{ohm-cm})^{-1}$
ϕ_F	ความต่างศักรีระหว่างพลังงานเฟอร์มิกับระดับพลังงานอินทรินซิค	V
ψ_{SD}	ความต่างศักรีที่รอยต่อของซิลิกอนกับซิลิกอนไดออกไซด์ในกรณีดีพลีน	V
ϕ_{ms}	ความแตกต่างพลังงานระหว่างเกตกับซิลิกอน	V
λ	ตัวแปร Channel Lenght Modulation	V^{-1}
n	ฐานรองชนิดเอ็นที่มีความหนาแน่นของพาหะน้อยๆ	cm^{-3}
p	ฐานรองชนิดพีที่มีความหนาแน่นของพาหะน้อยๆ	cm^{-3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ทรานซิสเตอร์ชนิดใหม่โครงสร้างแบบ MOIS^[1] เป็นทรานซิสเตอร์ที่มีโครงสร้างและการทำงาน คล้ายคลึงกับทรานซิสเตอร์แบบ MOS ที่รู้จักทั่วไป แต่ฐานรองของทรานซิสเตอร์แบบ MOIS นั้นเป็น ฐานรองซิลิกอนที่ทำการแพร่อะตอมของทองคำ ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าพื้นฐานของฐานรองเดิมนั้นเปลี่ยนแปลง เช่น ค่าพิกัดความต้านทานมากขึ้น ค่าพลังงานเฟอร์มิเข้าใกล้ E_c จากผลดังกล่าวทำให้สามารถ สร้างทั้ง N-MOIS และ P-MOIS บนฐานรองชนิดเดียวกันได้ โดยไม่ต้องมีบ่อแยกแบบ MOS ทำให้ สามารถลดพื้นที่สร้างได้โดยใช้เทคโนโลยีชนิดเดียวกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ จะทำการศึกษา ผลของอะตอมทองคำที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ อุปกรณ์ประเภทมอสส์ ได้แก่ ตอนแรกทำการศึกษาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าพื้นฐาน ของฐานรองซิลิกอน ได้แก่ ศึกษาและวิจัยผลที่มีต่อค่าพิกัดความต้านทาน ค่าพลังงานเฟอร์มิของฐานรอง รวมทั้งคำนวณหาค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำที่แพร่เข้าไปในฐานรองซิลิกอน ซึ่งควบคุมโดยอุณหภูมิ การแพร่

ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อแรงดัน built in voltage ค่าแรงดัน เบรกดาวน ค่าความจุไฟฟ้า ของรอยต่อพีเอ็น

ในส่วนที่สามเป็นส่วนสุดท้าย ที่ศึกษาผลของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของมอสส์ ได้แก่ ศึกษาผลที่มีต่อโหมดการทำงาน ค่าแรงดันขีดเริ่ม วงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งค่าความคล่องตัว ของพาหะ

บทที่ 2

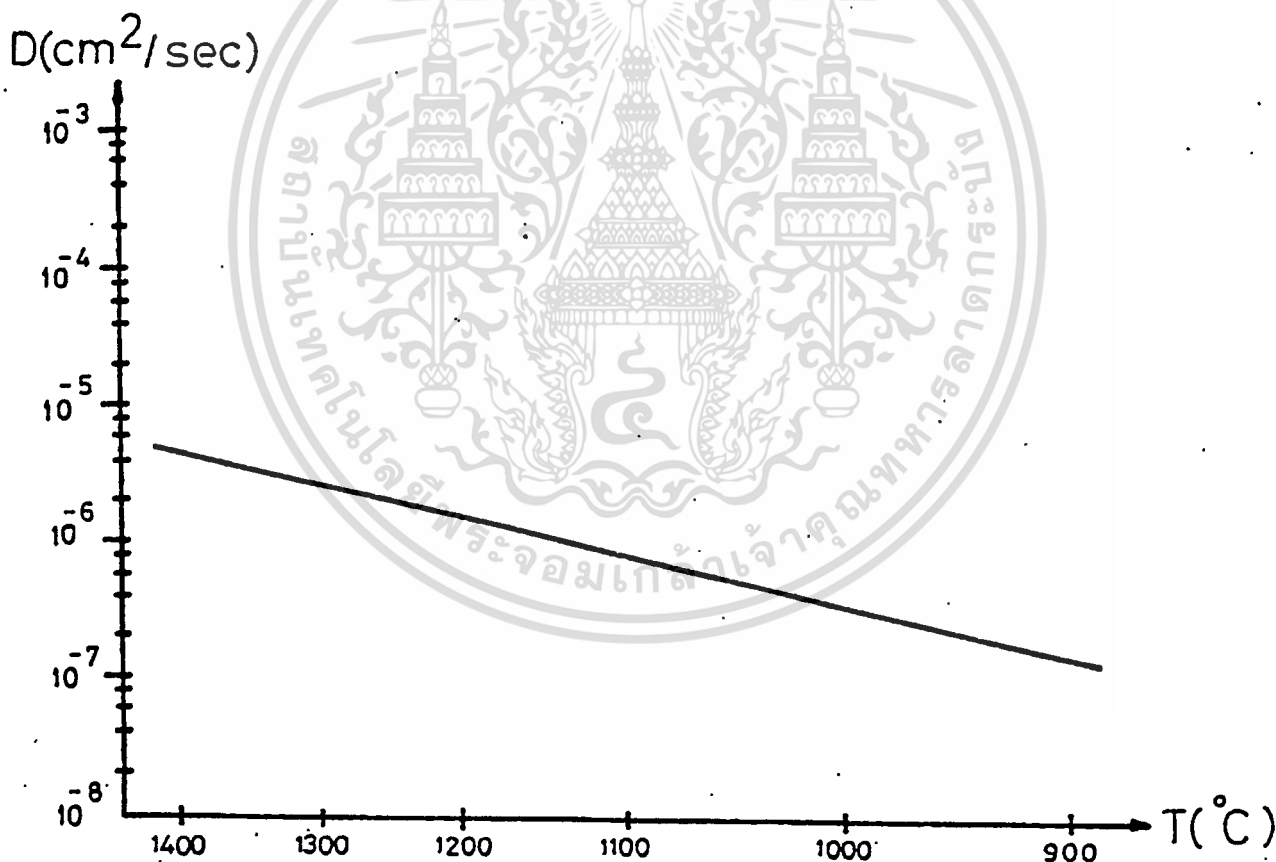
ทฤษฎี

2.1 คุณสมบัติของทองคำ

2.1.1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

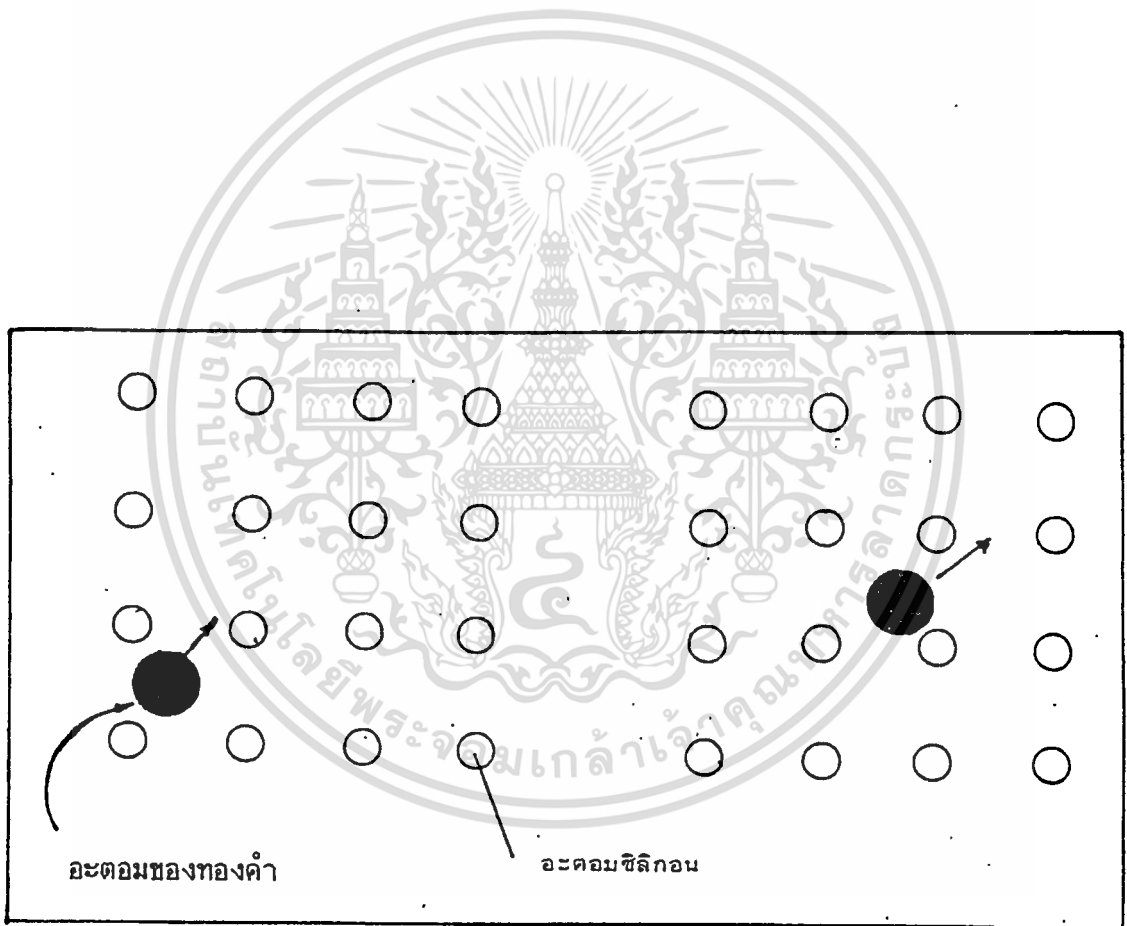
ทองคำเป็นธาตุโลหะ มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนมีค่าเป็น 1 และ 3 โดยมีอะตอมมิกเน็มเบอร์ เท่ากับ 79 และมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1063 องศาเซลเซียส

ทองคำนั้นเป็นสารเจือปนลึก (Deep Impurity) ที่สำคัญในซิลิกอนทั้งนี้เนื่องมาจากมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) สูงคือมีค่าประมาณ $3 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ที่อุณหภูมิการแพร่ 1300 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 2.1-1^[2]



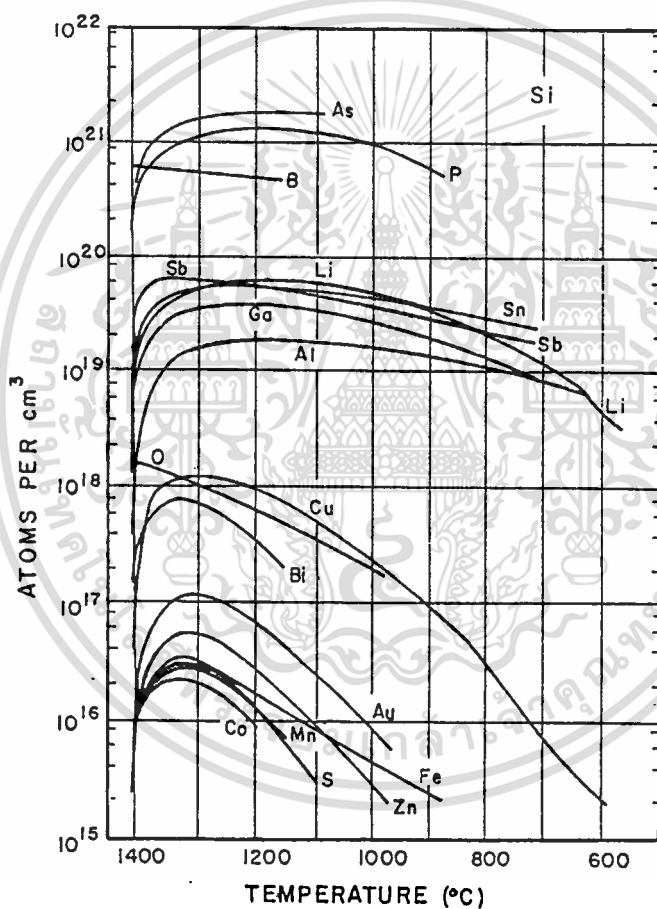
รูปที่ 2.1-1 แสดงสัมประสิทธิ์การแพร่ของอะตอมทองคำในซิลิกอน

ดังนั้นจึงสามารถควบคุมความหนาแน่นของอะตอมทองคำในซิลิกอนได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิการแพร่ ซึ่งการแพร่ของอะตอมทองคำนี้จะแพร่เข้าไปอยู่ระหว่างอะตอม (Interstitial) ของซิลิกอนโดยไม่มีพันธะใดๆ กับอะตอมของซิลิกอนเลย แสดงดังรูปที่ 2.1-2



รูปที่ 2.1-2 แสดงการแพร่ของอะตอมทองคำเข้าไปอยู่ระหว่างอะตอมของซิลิกอน

สำหรับค่า โซลิด โซลูบิลิตี (Solid Solubility) ของทองคำ ในซิลิกอนมีค่าสูงสุดประมาณ 10^{17} cm^{-3} ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 2.1-3

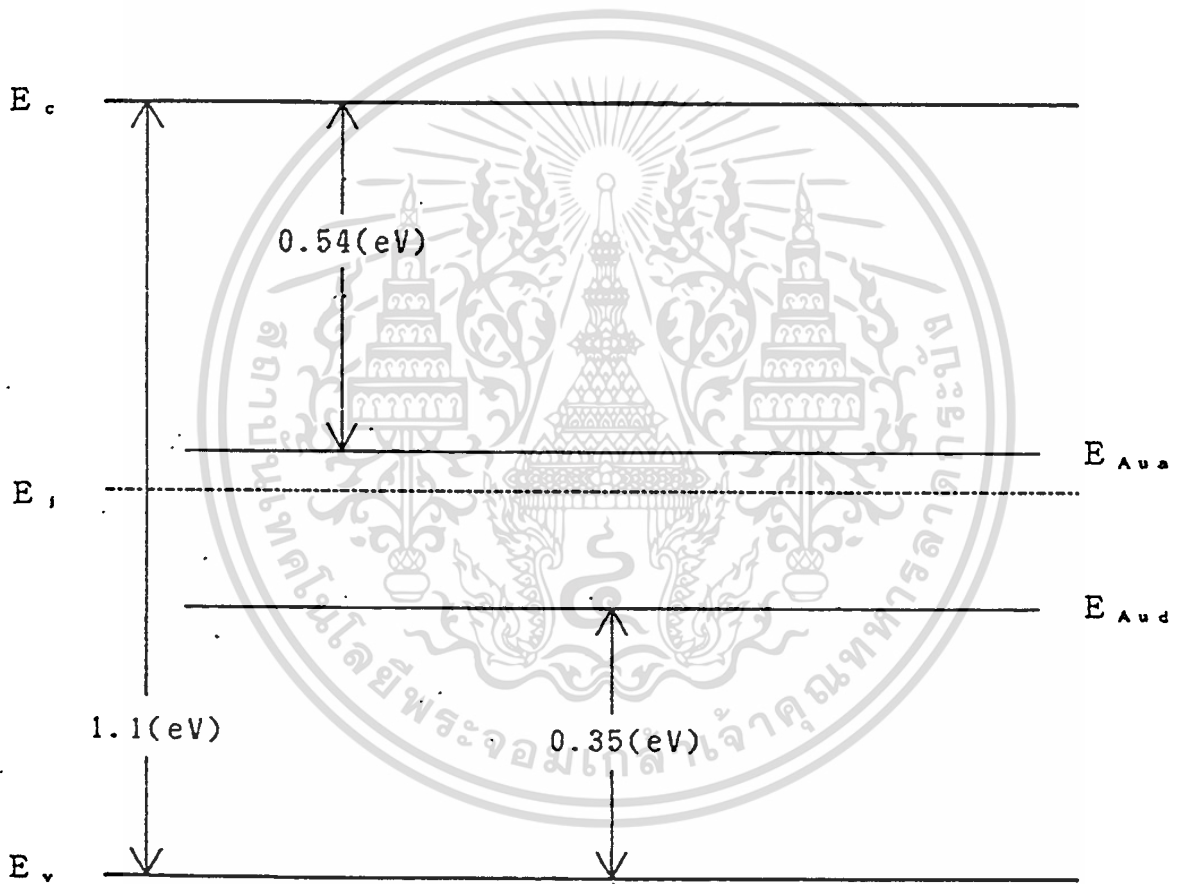


รูปที่ 2.1-3 แสดงค่า Solid Solubility ของทองคำในซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

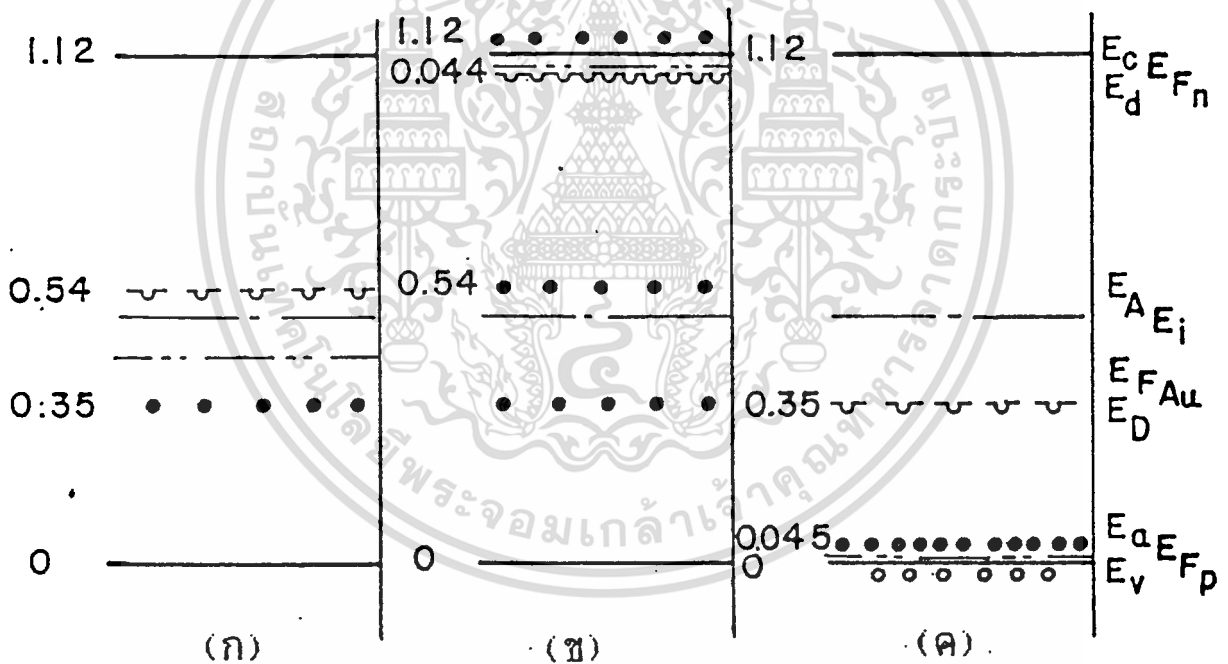
2.1.2 ลักษณะระดับพลังงานของอะตอมทองคำในซิลิกอน

เมื่อเติมอะตอมของทองคำลงในซิลิกอนจะเกิดระดับพลังงานแบบลึก 2 ระดับ ได้แก่ระดับพลังงาน Deep Donor Like Level โดยมีตำแหน่งอยู่เหนือแถบวาเลนซ์ (Valence Band) ประมาณ 0.35 eV. และอีกระดับพลังงานได้แก่ ระดับพลังงาน Deep Acceptor Like Level ที่ตำแหน่งอยู่ใต้แถบความนำ (Conduction Band) ลงมาประมาณ 0.54 eV. แสดงดังรูปที่ 2.1-4



รูปที่ 2.1-4 แสดงระดับพลังงานแบบลึกของอะตอมทองคำในซิลิกอน

สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น หรือชนิดพีที่มีการแพร่ของอะตอมของค่าลงไปในนั้นจะเกิดระดับพลังงาน ดังรูปที่ 2.1-5 (ข) และ 2.1-5 (ค) ตามลำดับ



รูปที่ 2.1-5 แสดงระดับพลังงานของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยอะตอมของทองคำ

- (ก) เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิดอินทรีนซิค
- (ข) เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นโดยที่ $N_D > N_{Au}$
- (ค) เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิดพีโดยที่ $N_A > N_{Au}$

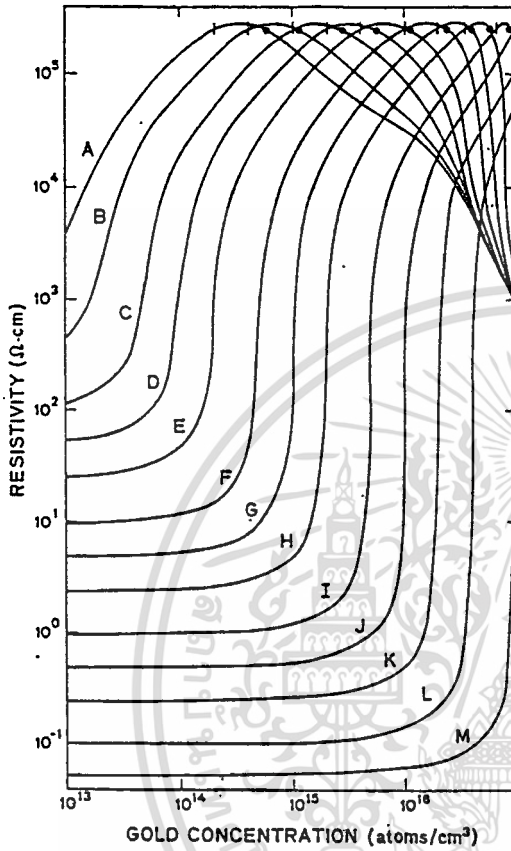
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ค่าพิกัดความต้านทานของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยอะตอมของทองคำ

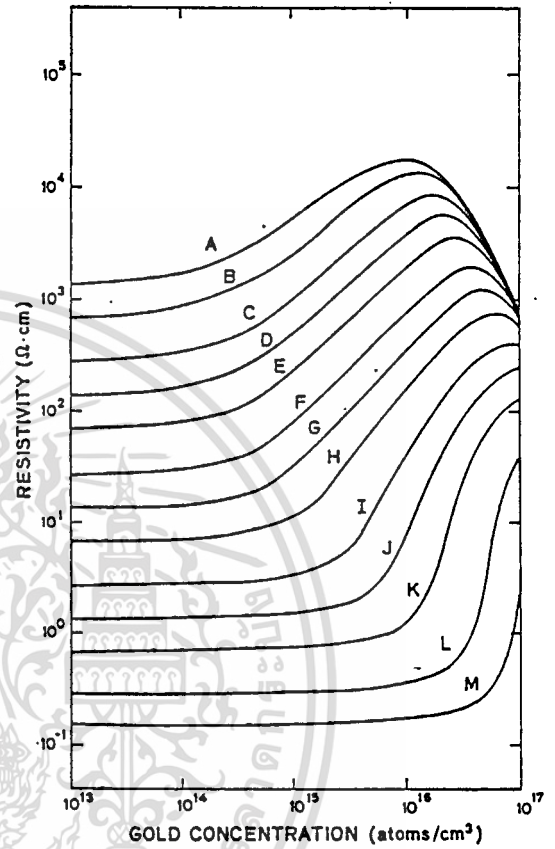
ในซิลิกอนชนิดเอ็นเมื่อถูกแพร่ด้วยอะตอมของทองคำ จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบความนำตกลงมาในระดับพลังงาน Deep Acceptor ที่อยู่ใต้แถบความนำประมาณ 0.54 eV. หรืออีกนัยหนึ่งกล่าวคืออิเล็กตรอนในแถบความนำ จะถูกจับ (Trap) ด้วย Acceptor Level คือเกิดปรากฏการณ์ชดเชย (Compensation) ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแถบความนำลดลง ทำให้ค่าพิกัดความต้านทานมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเติมความหนาแน่นของอะตอมทองคำมากขึ้น ทำให้จำนวน Deep Acceptor Level มีจำนวนมากพอที่จะจับอิเล็กตรอน ในแถบความนำได้หมด ค่าพิกัดความต้านทานจะสูงขึ้น จนกลายเป็นอินทรินซิก (Intrinsic) และถ้ายังเพิ่มปริมาณความหนาแน่นของอะตอมทองคำขึ้นไปอีก จะทำให้ค่าพิกัดความต้านทานลดลง ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) โดยพาหะส่วนใหญ่จะเป็นโฮล

สำหรับซิลิกอนชนิดพี เมื่อแพร่อะตอมของทองคำลงไป จะเกิดระดับพลังงานที่เรียกว่า Deep Donor Level ที่ตำแหน่งสูงสุดจากแถบวาเลนซ์ประมาณ 0.35 eV. ซึ่งอยู่เหนือกว่าระดับพลังงานเฟอร์มิ ดังนั้นอิเล็กตรอนจาก Deep Donor Level จะตกลงมายังระดับพลังงานที่ต่ำกว่าในแถบวาเลนซ์ซึ่งรวมตัวกับโฮลในแถบวาเลนซ์ ทำให้จำนวนโฮลลดลง ค่าพิกัดความต้านทานจึงสูงขึ้น ถ้าเพิ่มปริมาณความหนาแน่นของอะตอมทองคำเข้าไปอีกจนกระทั่งโฮลในแถบวาเลนซ์รวมตัวกับอิเล็กตรอนจนเกือบหมด จะทำให้ค่าพิกัดความต้านทานลดลง ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระดับพลังงาน Deep Donor ทำหน้าที่จับโฮล (Hole Trapping) ในแถบวาเลนซ์ได้

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดความต้านทาน กับความหนาแน่นของอะตอมทองคำนั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพี แสดงดังรูปที่ 2.1-6 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

A, 1×10^{13} ; B, 2×10^{13} ; C, 5×10^{13} ; D, 1×10^{14}

E, 2×10^{14} ; F, 5×10^{14} ; G, 1×10^{15} ; H, 2×10^{15}

I, 5×10^{15} ; J, 1×10^{16} ; K, 2×10^{16} ; L, 5×10^{16}

M, 1×10^{17} (cm^{-3})

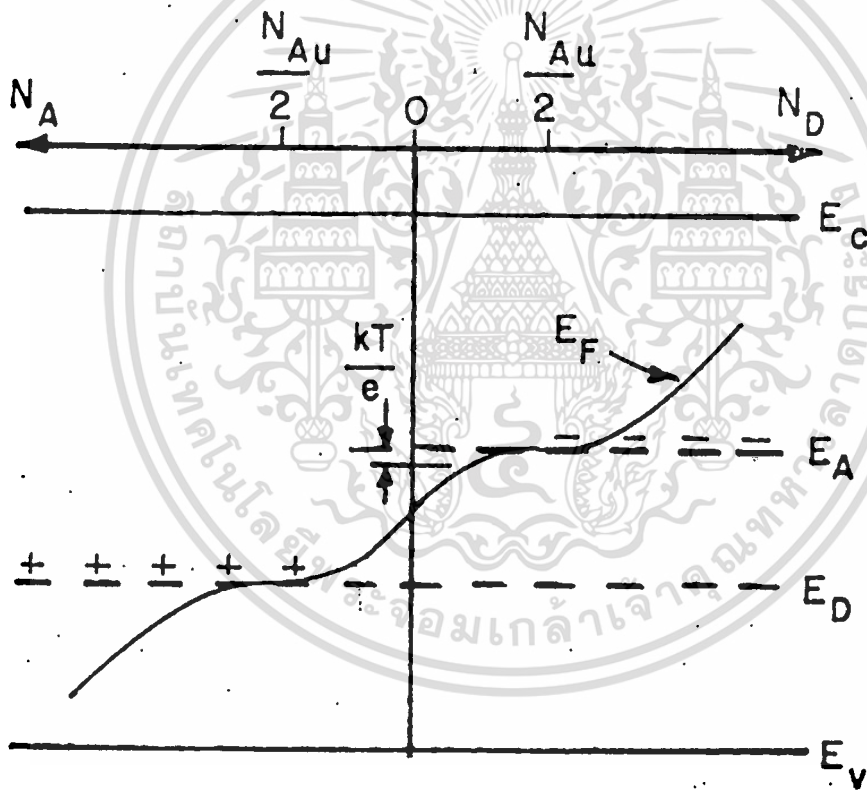
รูปที่ 2.1-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างนิกิตความต้านทานและความหนาแน่นของอะตอม

ทองคำในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (ก) และสารกึ่งตัวนำชนิดพี (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพฤติกรรมของอะตอมทองคำ ในซิลิกอนจะมีอยู่ 2 สถานะ คือ Au^+ ที่ตำแหน่ง Donor Level ซึ่งมีระดับพลังงาน $E_V + 0.35 \text{ eV}$. และ Au^- ที่ตำแหน่ง Acceptor Level ซึ่งมีระดับพลังงาน $E_C - 0.54 \text{ eV}$. จากรูปที่ 2.1-7 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะอะตอมของทองคำกับความหนาแน่นของสารเจือชนิดเอ็นและชนิดพี



รูปที่ 2.1-7 แสดงสถานะของอะตอมทองคำกับความหนาแน่นของสารเจือทั้งชนิดเอ็นและชนิดพี

ในซิลิกอนชนิดพี ที่มีความหนาแน่นสูง (N_A มีค่ามาก) อะตอมของทองคำที่ตำแหน่ง Donor Level จะให้อิออนในทั้งหมด ซึ่งจะจับยึดอิเล็กตรอนได้ดี และในขณะที่ N_A มีค่าน้อย ค่าพลังงานเฟอร์มิ มีค่าเพิ่มขึ้น และจะอยู่ที่ตำแหน่ง Donor Level ประมาณ $N_A \approx \frac{N_{Au}}{2}$ สำหรับในการพีของซิลิกอนชนิดเอ็น เมื่อค่า N_D มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานเฟอร์มิจะอยู่ที่ตำแหน่ง Acceptor Level และเมื่อค่า $N_D \gg N_{Au}$ อะตอมของทองคำจะให้อิออนในทั้งหมด ซึ่งจะจับยึดโฮลได้ดี

2.1.4. ข้อสังเกตการจับยึด (Trap Concept)

สารเจือปนในสารกึ่งตัวนำนั้น จะเป็นทั้งศูนย์กลางการจับยึดและศูนย์กลางการรวมตัว พิจารณาพาหะข้างน้อยถูกจับยึดที่ศูนย์กลาง ถ้าพาหะข้างน้อยนี้ใช้เวลาช่วงชีวิตอยู่ในสถานะจับยึดแล้วถูกปลดปล่อยไปที่แถบที่มานั้นเราถือว่าเป็น การจับยึด (Trap) อย่างไรก็ตามถ้าก่อนที่จะมีการปลดปล่อยเกิดขึ้นพาหะข้างมากถูกจับยึด จะทำให้เกิดการรวมตัวขึ้น ซึ่งเหตุผลเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นพาหะข้างมาก และค่าภาคตัดขวางการจับยึด (Capture Cross Section) ทั้งของพาหะข้างมาก และของพาหะข้างน้อย

ภาคตัดขวางการจับยึดนั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอัตราการจับยึด c (Capture Rate) สำหรับการจับยึดอิเล็กตรอนจากแถบความนำนั้นมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{dn}{dt} = -cnN \quad (2.1-1)$$

โดยที่ n เป็นความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแถบความนำ

N เป็นความหนาแน่นของสารเจือ ที่จะรับอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งจับยึด และค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจับยึดและภาคตัดขวางการจับยึดเป็น

$$\sigma = \frac{c}{v_{th}} \quad (2.1-2)$$

σ เป็นค่าภาคตัดขวางการจับยึด (cm^2)

v_{th} เป็นค่าความเร็วของอิเล็กตรอน (10^7 cm s^{-1})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 แสดงภาคตัดขวางการจับยึดของอะตอมทองคำในซิลิกอน

Acceptor Level		Donor Level	
σ_n^0 (cm ²)	σ_p^- (cm ²)	σ_p^0 (cm ²)	σ_n^+ (cm ²)
1.7×10^{-16}	1.1×10^{-14}	2.4×10^{-15}	6.5×10^{-15}

จากตารางที่ 2-1^[3] σ_n และ σ_p แสดงภาคตัดขวางของอิเล็กตรอนและโฮล ส่วนค่า 0, +, และค่า - แสดงถึงสถานะของศูนย์กลางการจับยึดก่อนมีการจับยึดดังนั้นค่า σ_n^0 แสดงการจับยึดของอิเล็กตรอนโดยที่ศูนย์กลางมีค่าเป็นกลาง (Neutral) และค่า V_{th} สมมุติมีค่าเป็น 10^7 cm s⁻¹ และจากค่าในตารางดังกล่าวข้างต้นทำให้ได้ค่า

$$c_p = 1.1 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ และ } c_n = 1.7 \times 10^{-9} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

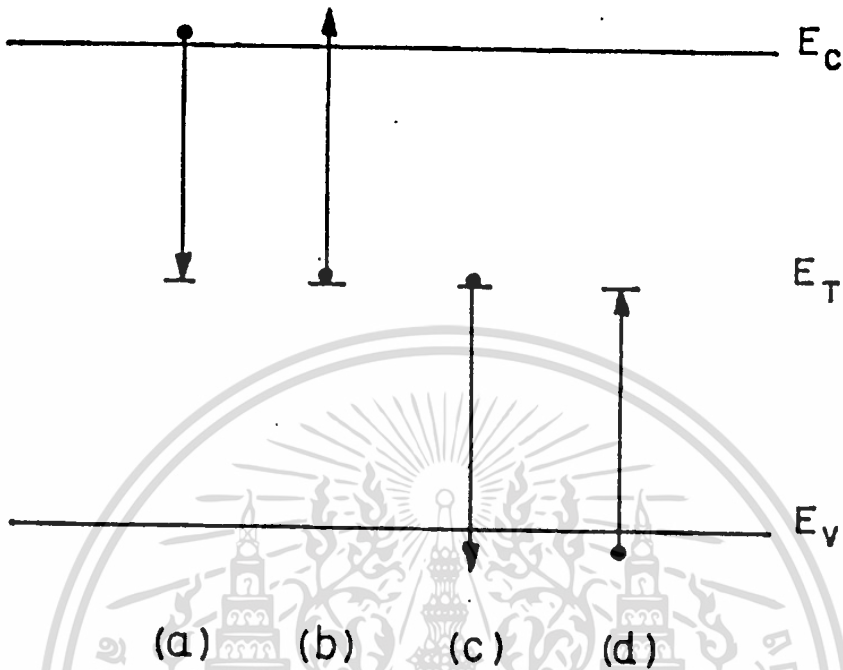
ที่ตำแหน่ง $E_T - E_i = 0.02 \text{ eV}$

และ $c_p = 2.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ ที่ตำแหน่ง $E_i - E_T = 0.208 \text{ eV}$

2.1.5 กระบวนการการจับยึด (Trapping Process)

สำหรับสารเจือแบบขั้วลึกนั้น จะประพฤติตัวเป็นศูนย์กลางการรวมตัว เมื่อมีความหนาแน่นของพาหะมากในสารกึ่งตัวนำ และจะเป็นศูนย์กลางการกำเนิดเมื่อความหนาแน่นของพาหะมีน้อยกว่าจำนวนความหนาแน่นของพาหะที่สมดุลซึ่งพบว่าทองคำนั้นเป็นสารเจือขั้วลึกแบบหนึ่ง ที่มีการประพฤติตัวดังแบบที่กล่าวมาแล้วซึ่งจะเพิ่มความต้านทานของฐานรอง

พิจารณาสารเจือขั้วลึกที่ระดับพลังงาน E_T มีความหนาแน่นของพาหะเป็น $N_T \text{ cm}^{-3}$ กระจายอย่างต่อเนื่องในสารกึ่งตัวนำ ค่า n และ p เป็นค่าความหนาแน่นของพาหะชนิดอิเล็กตรอน และโฮล ซึ่งเกิดจากสารเจือแบบตื้น (Shallow Level) แสดงดังรูปที่ 2.1-8



รูปที่ 2.1-8 แสดงกระบวนการการจับยึดและกำเนิดของอิเล็กตรอนและโฮลที่ตำแหน่ง E_T
จากรูปที่ 2.1-8 กระบวนการแบ่งเป็น

- (a) การจับยึดอิเล็กตรอน จากแถบความนำที่ศูนย์กลางด้วยกระบวนการ $N_T^0 + e \rightarrow N_T^-$ ด้วยค่า Capture Cross Section σ_n และ Capture Rate c_n ($c_n = \sigma_n^0 v_{th}$) $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$
- (b) การปลดปล่อยอิเล็กตรอน จากศูนย์กลางไปที่แถบความนำด้วยค่าอัตราการปลดปล่อย (Emission Rate) $e_n \text{ s}^{-1}$
- (c) การจับยึดโฮลจากศูนย์กลางตามกระบวนการ $N_T^- + h \rightarrow N_T^0$ ด้วยค่า Capture Cross Section σ_p ด้วยอัตรา Captor Rate $c_p \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$
- (d) การปลดปล่อยโฮลจากศูนย์กลางด้วยอัตราการปลดปล่อย $e_p \text{ s}^{-1}$

การจับยึดอิเล็กตรอนนั้น จะเป็นอัตราส่วน กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ในแถบความนำ (n) กับ ความหนาแน่นของศูนย์กลางที่ไม่ถูกจับ (Unoccupied) ด้วยอิเล็กตรอน $[N_T(1-f_T)]$ โดยค่า f_T นั้นเป็นสมการของเฟอร์มีดิแรกโดยค่า f_T มีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่กรณีที่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีเครื่องหมาย ©

$$f_T = \left[1 + \exp \left(\frac{E_T - E_F}{kT} \right) \right]^{-1}$$

(2.1-8)

สำหรับการปลดปล่อยอิเล็กตรอนในกระบวนการ (b) นั้น ขึ้นอยู่กับเทอม e_n และค่าความหนาแน่นในแถบศูนย์กลาง $N_T f_T$ โดยที่ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแถบความนำ จะมีค่าน้อยลงด้วยกระบวนการจับยึดอิเล็กตรอน (Electron Capture) ในกระบวนการ (a) และมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Electron Emission) ในกระบวนการ (b) ดังแสดงในรูปที่ 2.1-8 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแถบความนำเป็นดังนี้

$$\frac{dn}{dt} = b-a = e_n N_T f_T - c_n n N_T (1-f_T) \quad (2.1-4)$$

โดยค่า $N_T f_T = n_T$ เป็นความหนาแน่นของพาหะที่ศูนย์กลางที่จับยึดด้วยอิเล็กตรอนและค่า $N_T (1-f_T) = p_T$ เป็นความหนาแน่นของพาหะที่ศูนย์กลางที่จับยึดโฮลเอาไว้และความหนาแน่น ที่ศูนย์กลางที่จับยึดทั้งอิเล็กตรอน และโฮลรวมกันมีค่าเท่ากับค่าความหนาแน่นทั้งหมดที่ศูนย์กลาง ด้วยความสัมพันธ์

$$N_T = n_T + p_T$$

ในการทำนองเดียวกันความหนาแน่นของโฮลในแถบวาเลนซ์มีค่าเป็น

$$\frac{dp}{dt} = d-c = e_p N_T (1-f_T) - c_p p N_T f_T \quad (2.1-5)$$

สมมติว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงนั้น มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน พิจารณาในกรณีที่ สมดุลย์ (Equilibrium) ซึ่งที่สมดุลย์นั้น กระบวนการและส่วนกลับของกระบวนการนั้นจะต้องมีค่าเท่ากัน ทำให้ $\frac{dn}{dt} = 0$ และ $\frac{dp}{dt} = 0$ ดังนั้นได้

$$\frac{e_{no}}{c_{no}} = n_1 \exp\left(\frac{E_T - E_1}{KT}\right) = n_1 \quad (2.1-6)$$

โดยที่ e_{no} และ c_{no} เป็นค่าการปลดปล่อยและจับยึดอิเล็กตรอนที่สมดุลย์ (Equilibrium) และค่า n_1 จะมีค่าเท่ากับ $N_c \exp\left[-\frac{(E_c - E_T)}{KT}\right]$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ จำนวนของอิเล็กตรอนในแถบนำถ้าพลังงานเฟอร์มิอยู่ตำแหน่ง E_T

ในการทำนองเดียวกันสำหรับโฮลได้ความสัมพันธ์

$$\frac{e_{po}}{c_{po}} = n_1 \exp\left(\frac{E_1 - E_T}{KT}\right) = p_1 \quad (2.1-7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.1-3, 2.1-4 และ 2.1-5 สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ใหม่ได้เป็น

$$\frac{dn}{dt} = e_n n_T - c_n n p_T \quad (2.1-8)$$

$$\frac{dp}{dt} = e_p p_T - c_p p n_T \quad (2.1-9)$$

โดยที่ ค่า $p_T = N_T (1-f_T)$, $n_T = N_T f_T$

โดยค่า N_T เป็น ความหนาแน่นทั้งหมดที่ถูกจับยึด ดังนั้นค่าการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนที่ถูกจับยึด (Trap) เป็น

$$\frac{dn_T}{dt} = \frac{dp}{dt} - \frac{dn}{dt} \quad (2.1-10)$$

$$\frac{dn_T}{dt} = (e_p p_T - c_p p n_T) - (e_n n_T - c_n n p_T) \quad (2.1-11)$$

ที่สภาวะคงตัว $\frac{dn_T}{dt} = 0$ ทำให้ได้

$$n_T = \frac{e_p + c_n n}{e_n + c_n n + e_p + c_p p} N_T \quad (2.1-12)$$

จากสมการที่ 2.1-12 เป็นการแสดงสภาวะคงตัว ของ n_T จากการจับยึดและการปลดปล่อยของอิเล็กตรอนและโฮลซึ่งเป็นพื้นฐานของสารเจือปนลึก

สำหรับในกรณี สภาวะคงตัว ของ p_T มีค่าเป็น

$$p_T = \frac{e_n + c_p p}{e_n + c_n n + e_p + c_p p} N_T \quad (2.1-13)$$

และค่าเวลาช่วงชีวิตของอิเล็กตรอนและโฮลที่เป็นพาหะข้างน้อยมีค่าดังสมการ

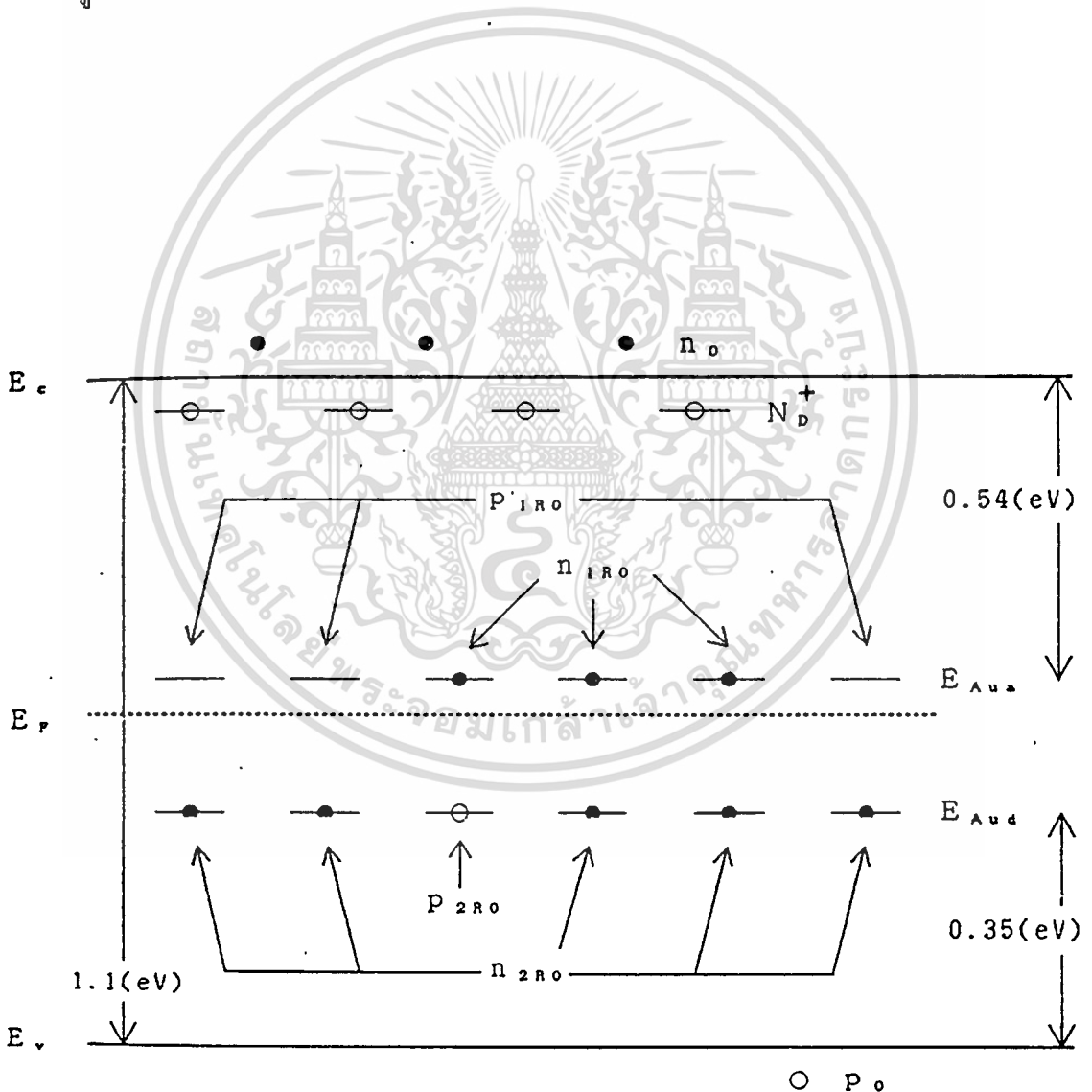
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้ง (2.1-14)

$$\tau_p = \frac{1}{G_p N_T} \quad (2.1-15)$$

2.1.6. การคำนวณความหนาแน่นของอะตอมทองคำ

เมื่อทำการแพร่อะตอมของทองคำซึ่งเป็นสารเจือปนลงไปในฐานรองซิลิกอนจะทำให้เกิดระดับพลังงานแบบลิค 2 แบบ คือ Acceptor Level อยู่ที่ 0.58 ev. จากแถบวาเลนซ์ และ Donor Level อยู่ที่ 0.35 ev. จากแถบวาเลนซ์

สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ($N_D \gg N_A$) เมื่อทำการแพร่อะตอมของทองคำเข้าไปจะทำให้เกิดระดับพลังงานดังรูปที่ 2.1-9



รูปที่ 2.1-9 แสดงสถานะพลังงานของอะตอมทองคำในฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ตำแหน่ง Acceptor จะพบว่าค่า n_{1RO} มีค่าเป็น

$$n_{1RO} = N_{Au} \left\{ \frac{1}{1+2 \exp[(E_{Au}-E_F)/kT]} \right\} \quad (2.1-16)$$

และที่ตำแหน่ง Donor จะพบว่าค่า P_{2RO} มีค่าเป็น

$$P_{2RO} = N_{Au} \left\{ 1 - \frac{1}{1+1/2[\exp(E_{Aud}-E_F)/kT]} \right\} \quad (2.1-17)$$

ในสารกึ่งตัวนำนั้น ค่าประจุจะเป็นกลางเสมอ ทำให้ได้

$$n_o + n_{1RO} = P_o + P_{2RO} + N_D^+ \quad (2.1-18)$$

แต่ในสารซิลิกอนชนิดเอ็น ค่า $n_o \gg P_o$ ดังนั้นสมการกลายเป็น

$$n_o + n_{1RO} = P_{2RO} + N_D^+ \quad (2.1-19)$$

โดยค่า $N_D^+ = \frac{N_D}{1+2\exp[(E_F-E_D)/kT]}$ (2.1-20)

และค่า $n_o = N_C \exp \frac{(E_F-E_C)}{kT}$ (2.1-21)

จากสมการดังกล่าวข้างบนสมการ 2.1-19 สามารถเขียนใหม่เป็นสมการ 2.1-22^[4]

$$\begin{aligned} N_C \exp \frac{(E_F-E_C)}{kT} + N_{Au} \left\{ \frac{1}{1+2 \exp[(E_{Au}-E_F)/kT]} \right\} \\ = N_{Au} \left\{ 1 - \frac{1}{1+1/2[\exp(E_{Aud}-E_F)/kT]} \right\} \\ + \frac{N_D}{1+2\exp[(E_F-E_D)/kT]} \end{aligned} \quad (2.1-22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณจะใช้ค่า $N_C = 2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ที่อุณหภูมิ 300K ในทำนองเดียวกันสำหรับฐานรองที่เป็นชนิดพี สูตรการคำนวณจะกลายเป็น

$$n_o + n_{1ro} + N_A^- = P_o + P_{2ro} \quad (2.1-23)$$

ในสารกึ่งตัวนำชนิด P แล้วค่า $n_o \ll P_o$ ดังนั้น

$$n_{1ro} + N_A^- = P_o + P_{2ro} \quad (2.1-24)$$

โดยที่

$$P_o = N_v \exp \frac{(E_v - E_F)}{kT}$$

$$n_{1ro} = \frac{N_{Au}}{1 + 2 \exp[(E_{Aua} - E_F)/kT]}$$

$$P_{2ro} = N_{Au} \left\{ 1 - \frac{1}{1 + 1/2 \exp[(E_{Aua} - E_F)/kT]} \right\}$$

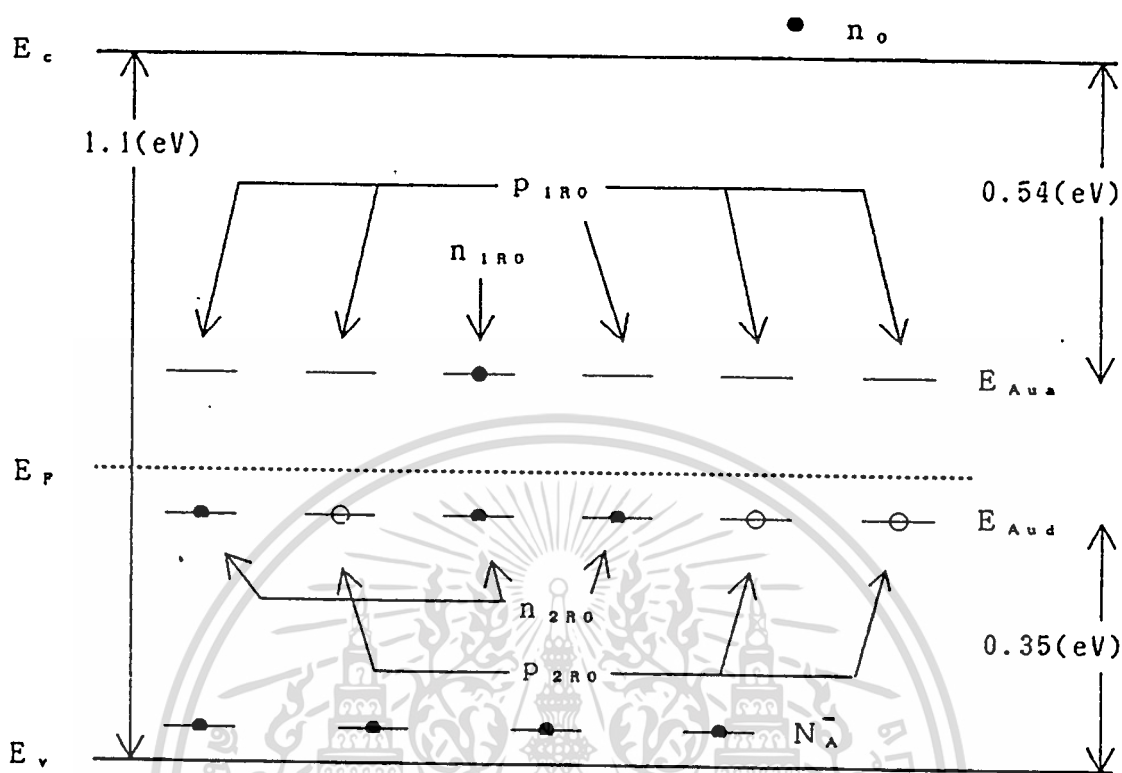
$$N_A^- = \frac{N_A}{1 + 2 \exp[(E_A - E_F)/kT]}$$

จัดรูปและแทนค่าสมการได้ใหม่เป็นสมการ 2.1-25^[4]

$$\frac{N_{Au}}{1 + 2 \exp[(E_{Aua} - E_F)/kT]} + \frac{N_A}{1 + 2 \exp[(E_A - E_F)/kT]} \quad (2.1-25)$$

$$= N_v \exp \frac{(E_v - E_F)}{kT} + N_{Au} \left\{ 1 - \frac{1}{1 + 1/2 \exp[(E_{Aua} - E_F)/kT]} \right\}$$

โดยค่า $N_v = 1.02 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$



รูปที่ 2.1-10 แสดงสถานะพลังงานของอะตอมทองคำในฐานรองซิลิกอนชนิดพี

จากสมการที่ 2.1-22 เราหาค่าของ N_{Au} ได้ต้องทราบค่าพลังงานเฟอร์มิก่อน ซึ่งค่าพลังงานเฟอร์มินั้น หาได้จากความสัมพันธ์ของ

$$E_F = E_c - kT \ln \left(\frac{N_c}{n_0} \right) \quad (2.1-26)$$

$$\frac{1}{\rho_0} = n_0 q \mu_n + p_0 q \mu_p \quad (2.1-27)$$

$$n_0 p_0 = n_i^2 \quad (2.1-28)$$

โดยที่ n_0 คือค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

ρ_0 คือค่าพิภพความต้านทานของฐานรองซิลิกอนหลังจากแพร่อะตอมทองคำแล้ว

q คือค่าประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเป็น 1.6×10^{-19} C

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตามผู้จัดทำไม่รับผิดชอบต่อข้อผิดพลาดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของอะตอมของค่าที่ต่อรอยต่อพีเอ็น

2.2.1 ผลต่อแรงดันไบอัสตรง

เมื่อทำการไบอัสตรงแก่รอยต่อพีเอ็น ทำให้พาหะข้างมากสามารถแพร่เข้ามารอยต่อได้ เกิดมีกระแสไหลผ่านรอยต่อในการไบอัสตรงเป็น

$$I = I_0 \left[\exp (qV/kT) - 1 \right] \quad (2.2-1)$$

โดยที่
$$I_0 = qA n_i^2 \left[\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right]$$

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$$

สำหรับรอยต่อ P⁺n นั้นค่า $N_A \gg N_D$ ทำให้ได้ I_0 เป็น

$$I_0 = qA n_i^2 \left[\frac{D_p}{L_p N_D} \right] \quad (2.2-2)$$

เมื่อทำการแพร่อะตอมของทองคำเข้าไปในฐานรองซิลิกอนนั้น จากคุณสมบัติของอะตอมทองคำ ทำหน้าที่จับยึดพาหะข้างน้อย ทำให้มีเวลาช่วงชีวิตน้อยลง พบว่าค่า τ_p มีค่าเป็น

$$\tau_p = \frac{1}{C_p N_{Au}^-} \quad (2.2-3)$$

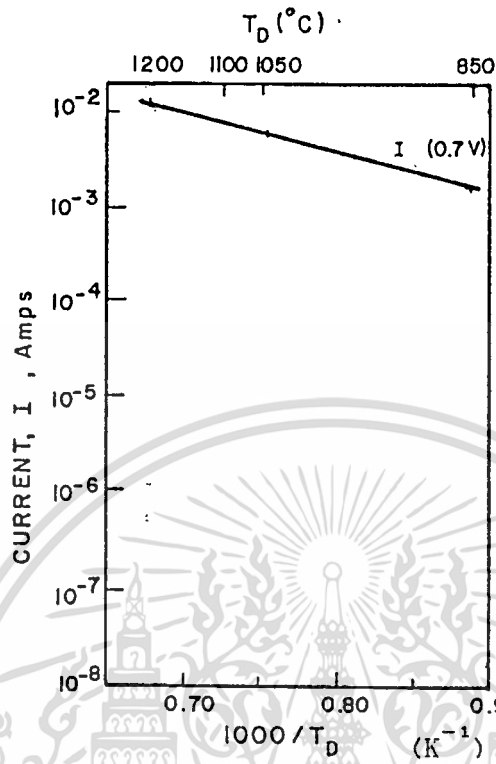
แทนค่า τ_p ลงไปในสมการ 2.2-2 ได้ค่า I_0 เป็น

$$I_0 = qA n_i^2 \left[\frac{\sqrt{D_p C_p N_{Au}^-}}{(N_D^+ - N_{Au}^-)} \right] \quad (2.2-4)$$

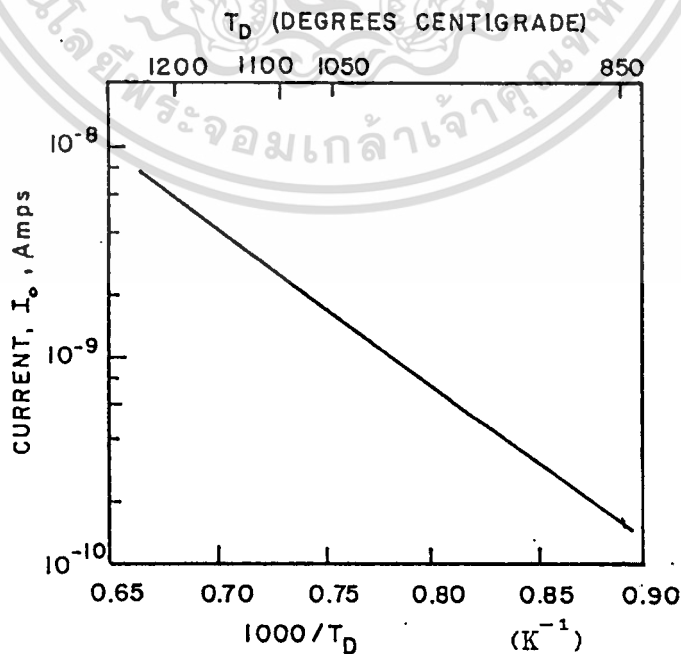
สำหรับในการนิยามของไบอัสย้อนกลับ เราแทนค่า V ด้วยค่า $-V$ ในสมการ 2.2-1 ทำให้ได้

$I = -I_0$ ซึ่งพบว่าเมื่ออะตอมของทองคำมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้เวลาช่วงชีวิตของพาหะข้างน้อยมีค่าน้อย ทำให้อิเล็กตรอนเป็นอิเล็กตรอนที่สูญเสียไปสำหรับการไบอัสย้อนกลับมากขึ้น เมื่อผู้ผลิตได้นำไปใช้จริงจะเห็นว่าการทำให้ได้กระแสย้อนกลับ I_0 มีค่ามากขึ้นด้วย สำหรับความสัมพันธ์ของกระแสไบอัสตรง และไบอัสย้อนกลับ

ต่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ แสดงดังรูปที่ 2.2-1 และ 2.2-2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.2-1 แสดงกระแสไบอัสตรงกับอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.2-2 แสดงกระแสไบอัสย้อนกลับกับอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำที่แรงดันไบอัส 10 โวลต์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ผลต่อค่าเบรกดาว์นของรอยต่อพีเอ็น

สำหรับรอยต่อ P^+n ที่มีการเติมอะตอมของทองคำลงไปในซิลิกอนชนิดเอ็นทำให้ค่าสุทธิของการเจือในด้านเอ็นมีค่าเป็น $N_D^+ - N_{Au}^-$ โดยสถานะของทองคำอยู่ในสถานะของ N_{Au}^- และในบริเวณปลอดประจุพาหะที่มีการเติมอะตอมทองคำลงในด้านเอ็นนั้น ค่า N_{Au}^- จะมีค่าเป็น

$$N_{Au}^- = \frac{N_{Au}}{1 + e_n/e_p} \quad (2.2-5)$$

โดยค่า $\frac{e_n}{e_p} = 16^{[3]}$ ที่อุณหภูมิ 300K ที่ตำแหน่ง Acceptor $E_c - 0.54$ eV

และค่าความหนาแน่นของประจุในบริเวณปลอดประจุพาหะเป็น

$$\begin{aligned} \rho &= q(N_D^+ - N_{Au}^-) \\ &= qN_D \left(1 - \frac{N_{Au}}{N_D(1 + e_n/e_p)} \right) \end{aligned} \quad (2.2-6)$$

และค่าเบรกดาว์นของรอยต่อ P^+n จะมีค่าเป็น

$$V_D = \frac{\epsilon_{s1} \epsilon_{max}^2}{2q(N_D^+ - N_{Au}^-)} \quad (2.2-7)$$

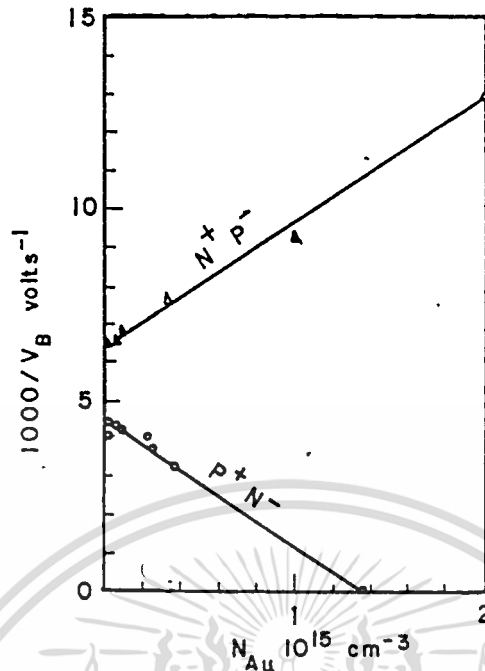
ϵ_{s1} = ค่า Permittivity ของซิลิกอนมีค่าเป็น $11.9 \times 8.85 \times 10^{-14}$ F/cm

โดยที่ค่า ϵ_{max} เป็นค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า ที่รอยต่อจะมีค่าเป็น 3.7×10^5 V/cm สำหรับการเบรกดาว์นแบบพังทลาย และผลของอะตอมทองคำ ยังทำให้ค่าความกว้างของบริเวณปลอดประจุพาหะมีค่ามากอีกด้วยและทำให้ค่าเบรกดาว์นเพิ่มขึ้น

สำหรับรอยต่อ n^+P ที่มีการเติมอะตอมของทองคำลงไปในซิลิกอนชนิดพีนั้น ค่า $e_p > e_n$ ดังนั้นทำให้สถานะของทองคำอยู่ในสถานะ N_{Au}^- ทำให้ค่าประจุในบริเวณปลอดประจุพาหะมีค่าเป็น $N_A^- + N_{Au}^-$ และค่าแรงดันเบรกดาว์นมีค่าเป็น

$$V_D = \frac{\epsilon_{s1} \epsilon_{max}^2}{2q(N_A^- + N_{Au}^-)} \quad (2.2-8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่งจะทำให้ค่าเบรกดาว์น n^+p นั้นจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2-3 แสดงค่าแรงดันเบรกดาวกับกับความหนาแน่นของอะตอมทองคำ

2.2.3. ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance)

ค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็นเมื่อไบอัสย้อนกลับนั้น ขึ้นอยู่กับค่าความกว้างของบริเวณปลอดประจุพาหะในด้านที่มีความหนาแน่นของสารเจือปนน้อย โดยค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อมีค่าเป็น

$$C = \sqrt{\frac{q N_D \epsilon_{s1}}{2(V_{b1} - V)}} \quad (2.2-9)$$

เมื่อ q = ประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเป็น 1.6×10^{-19} C

ϵ_{s1} = ค่า Permittivity ของซิลิกอนมีค่าเป็น $11.9 \times 8.85 \times 10^{-14}$ F/cm

V_{b1} = แรงดัน built in ของรอยต่อ

V = แรงดันไบอัสย้อนกลับ

จากพฤติกรรมของอะตอมทองคำซึ่งเป็นสารเจือขั้วลึก ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการรวมตัวและการจับยึด ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+n ที่มีการเจือสารเจือขั้วลึกจะมีค่าเป็น

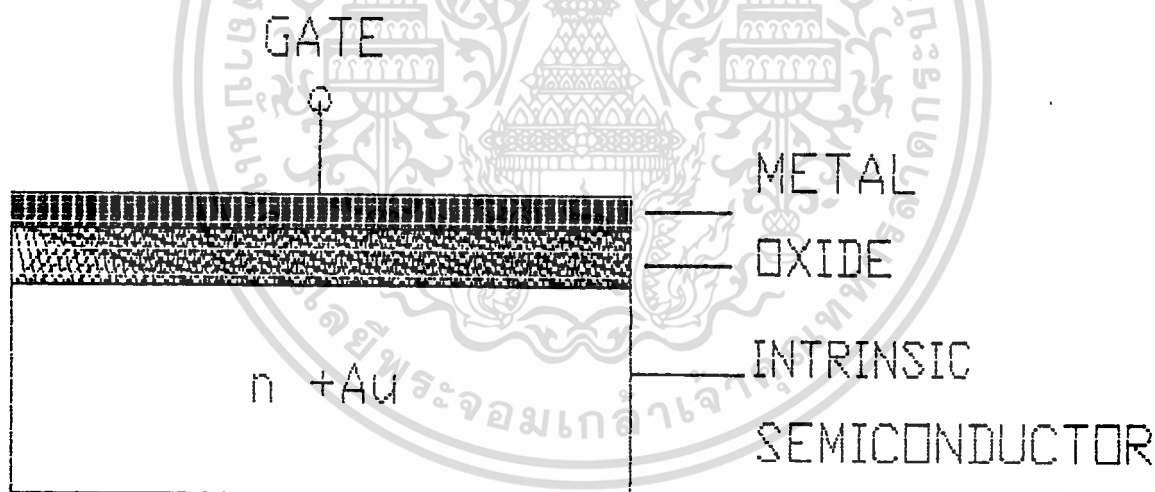
$$C = \sqrt{\frac{q N_{sc1} \epsilon_{s1}}{2(V_{b1} - V)}} \quad (2.2-10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยที่ค่า N_{sc1} เป็นค่าความหนาแน่นของพาหะในบริเวณปลอดประจุพาหะมีค่าเป็น $N_D^+ - N_{Au}^-$ นำไปใช้

2.3. โครงสร้างและการทำงานของมอยซ์ทรานซิสเตอร์

หลังจากที่ทำการแพร่ดอมของทองคำซึ่งเป็นสารเจือปนหลักในฐานรองซิลิกอนแล้ว ทำให้ได้ฐานรองใหม่ที่เป็นชนิด อินทรินซิกโดยมีค่า E_F เข้าใกล้ค่า E_i ทำให้ฐานรองมีความต้านทานสูงขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้สามารถสร้าง ทรานซิสเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบมอสได้ ทั้งชนิดพีแชนแนล และเอ็นแชนแนล บนฐานรองซิลิกอนชนิดเดียวกันได้ ซึ่งโครงสร้างใหม่นี้เรียกว่า MOIS (Metal Oxide Intrinsic Semiconductor) โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือชั้นบนสุดเป็นชั้นโลหะตัวนำ (อลูมิเนียม) ชั้นที่ 2 เป็นชั้นของฉนวนซึ่งเป็นซิลิกอนไดออกไซด์และชั้นสุดท้ายเป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอนที่ได้ทำการแพร่ดอมของทองคำเรียบร้อยแล้ว

ลักษณะโครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบมอยซ์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์แบบมอสทั่วไป ดังนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้าและการอ้างอิงสมการต่างๆไป จะยึดแบบอย่างของมอส โดยมีพารามิเตอร์บางตัวที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.3-1 แสดงโครงสร้างของมอยซ์

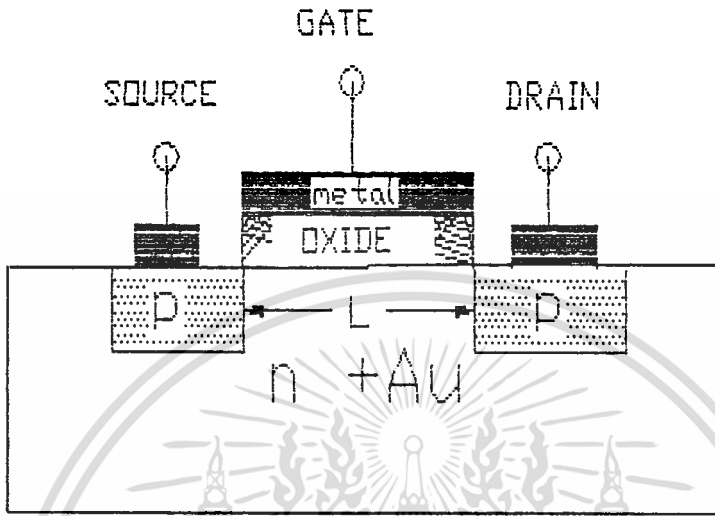
2.3.1. ทรานซิสเตอร์แบบมอยซ์พื้นฐาน

ทรานซิสเตอร์แบบมอยซ์สามารถจัดแบ่งตามชนิดของกระแสที่ไหลในทรานซิสเตอร์ เป็น 2 ชนิด

1. ทรานซิสเตอร์แบบพีมอยซ์

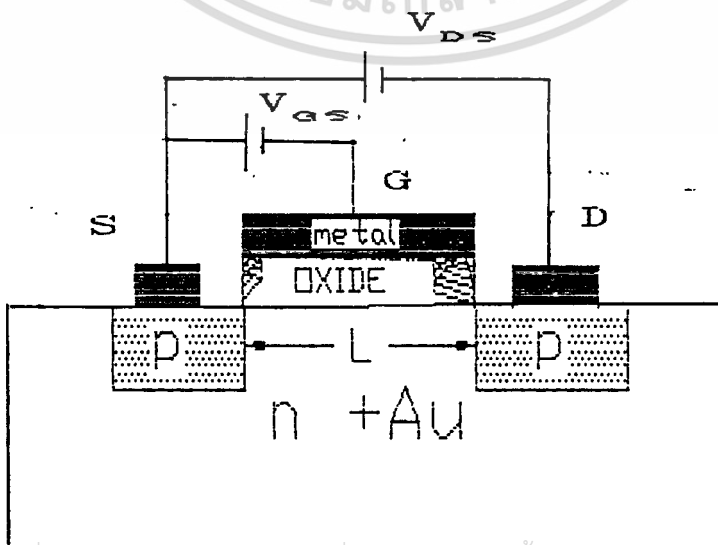
โครงสร้างภาคตัดขวางของทรานซิสเตอร์แบบพีแชนแนลนั้นแสดงดังรูปที่ 2.3-2 สร้างโดยการเติมสารเจือปนชนิดพี ที่มีความหนาแน่นสูง ประมาณ 10^{16} – 10^{17} cm^{-3} เข้าไปในแผ่นฐานรอง เพื่อทำเป็นขั้ว

เดรน และ ซอร์ส ส่วนหัวเกทประกอบด้วยหัวโลหะ (อลูมิเนียม) วางอยู่บนชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ สำหรับการแพร่ระดมของทองคำ เข้าด้านหลังฐานรองนั้น จะทำการแพร่หลังจาก แพร่หัวเดรน ซอร์ส และ ชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.3-2 แสดงโครงสร้างภาคตัดขวางของโมยซ์

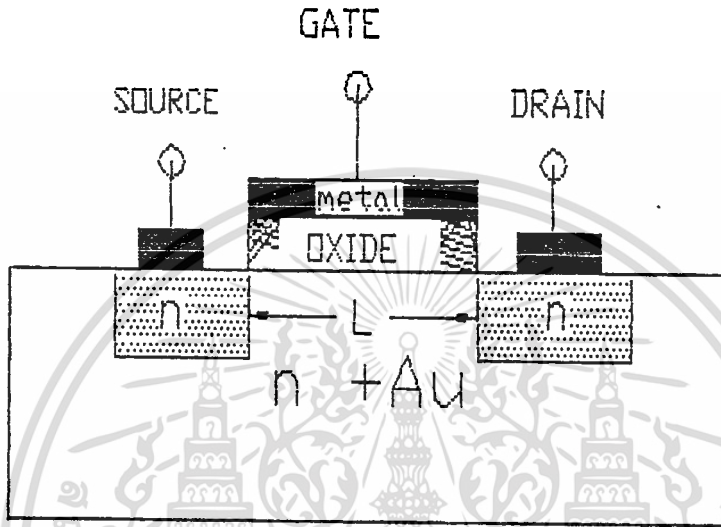
จากโครงสร้างดังกล่าวในขณะที่ไม่มีแรงดันไบอัสระหว่าง เกทและซอร์ส ช่องทางเดินกระแสจะไม่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่มีการไหลของกระแสแต่ถ้าเกท ถูกต่อด้วยแรงดันไบอัส ที่เหมาะสม กล่าวคือมีค่าแรงดันต่ำกว่าที่ซอร์ส และที่ฐานรอง จะทำให้เกิดมีการเหนี่ยวนำประจุบวกขึ้นมาที่ผิวระหว่างสารกึ่งตัวนำและซิลิกอนไดออกไซด์กระจายจากซอร์สไปถึงเดรนในขณะเดียวกันก็จะป้อนแรงดันไบอัสที่เดรน น้อยกว่าซอร์สก็จะเกิดการไหลของกระแสไหล จากหัวซอร์สไปยังเดรนการทำงานแบบนี้ เรียกว่าเป็นแบบเอ็น ยานซ์เมนต์แสดงดังรูปที่ 2.3-3



เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.3-3 แสดงการไบอัสโมยซ์เฟต ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

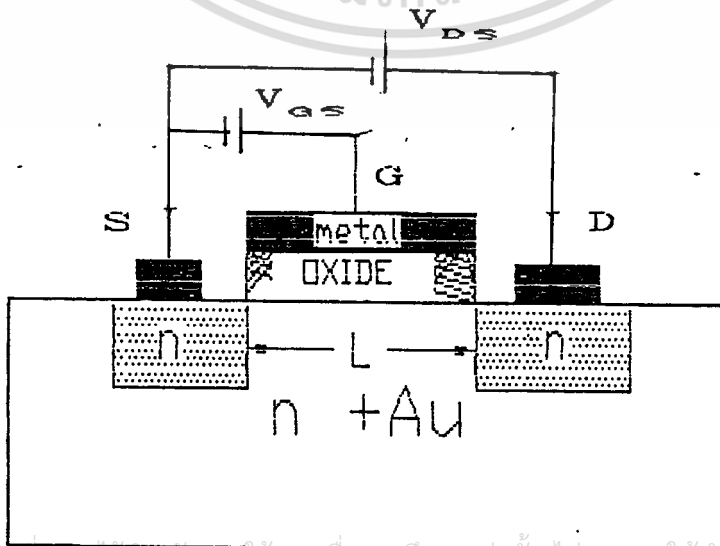
2 ทรานซิสเตอร์แบบเอ็นเมอรัล

โครงสร้างภาคตัดขวางของเอ็นเมอรัลแสดงดังรูปที่ 2.3-4 สร้างโดยเติมสารเจือปนชนิดเอ็นที่มีความหนาแน่นสูง ประมาณ 10^{16} – 10^{17} cm^{-3} เข้าไปในแผ่นซิลิกอนฐานรอง เพื่อทำเป็นขั้ว เกรน และซอส ส่วนขั้วเกตจะเหมือนกับของพีเมอรัล และหลังจากนั้นก็ทำการแพร่อะตอมของทองคำเข้าที่ด้านหลังของฐานรองซิลิกอน



รูปที่ 2.3-4 แสดงโครงสร้างภาคตัดขวางของเอ็นเมอรัลเฟต

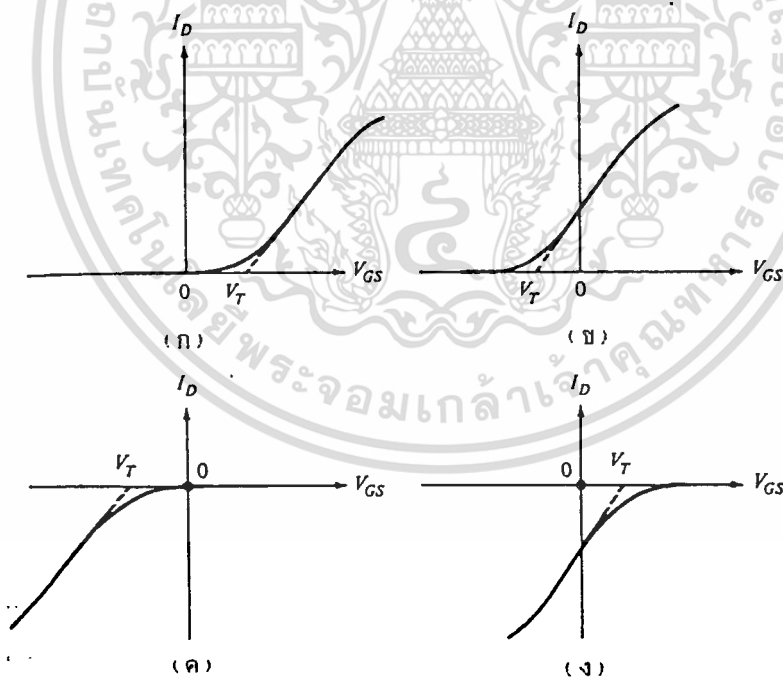
สำหรับการไบอัสเอ็น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับของพีเมอรัล เพียงต่างกันตรงขั้วที่ป้อนโดยป้อนแรงดันไบอัสบวกที่เหมาะสมเข้าเกต เมื่อเทียบกับซอส และฐานรองจะทำให้เกิดมีการเหนี่ยวนำประจุลบ (อิเล็กตรอน) ขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารกึ่งตัวนำและซิลิกอนไดออกไซด์ในขณะเดียวกันก็ทำการป้อนแรงดันไบอัสที่เกรน มีค่าสูงกว่าที่ซอส ก็จะเกิดการไหลของประจุลบจากขั้วซอสไปยังเกรน แสดงดังรูปที่ 2.3-5



2.3.2. มอซต์ทรานซิสเตอร์แบบ เอ็นฮานซ์เม้นท์ และดีฟลิชั่น

จากโครงสร้างของมอซต์เฟตทั้งชนิดเอ็นและชนิดพีพบว่าโหมดการทำงานนั้นขึ้นกับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) เขียนย่อๆ ว่า V_T ในตอนแรกพิจารณาเอ็นมอซต์เฟตก่อนพบว่า ถ้าค่าแรงดันขีดเริ่ม V_T นั้นมีค่าเป็นบวก เอ็นมอซต์จะทำงานแบบเอ็นฮานซ์เม้นท์โหมด ในทางกลับกันถ้าแรงดันขีดเริ่ม V_T มีค่าเป็นลบ จะเป็นการทำงานแบบดีฟลิชั่นโหมด ซึ่งหมายความว่าในกรณีของดีฟลิชั่นโหมด เอ็นมอซต์เฟตนั้นจะนำกระแส ถึงแม้ว่าแรงดันเกตจะมีค่าเป็นศูนย์ ($V_{GS}=0$) เพราะว่าช่องทางแรงดันกระแสถูกเหนี่ยวนำให้เป็นช่องทางเดินอยู่แล้ว (อะตอมของทองคำ ชดเชยกับความหนาแน่นของพาหะ ในฐานรองไม่หมด) แต่ถ้า V_{GS} มีค่าเป็นลบมากขึ้นจะทำให้เอ็นมอซต์เฟตหยุดการทำงานหรืออยู่ในสภาวะกระแสไม่ไหล

สำหรับมอซต์เฟตนั้น กล่าวได้เลยว่าถ้าค่าแรงดันขีดเริ่ม V_T มีค่าเป็นลบ มอซต์นั้นจะอยู่ในการทำงานแบบเอ็นฮานซ์เม้นท์โหมด แต่ถ้าแรงดันขีดเริ่มมีค่าเป็นบวกจะอยู่ในการทำงานแบบดีฟลิชั่นซึ่งความสัมพันธ์ของมอซต์เฟตทั้งสองชนิดดังกล่าวนี้แสดงดังรูป 2.3-6



รูปที่ 2.3-6 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันขีดเริ่มกับโหมดการทำงาน

(ก) เอ็นมอซต์ เอ็นฮานซ์เม้นท์โหมด

(ข) เอ็นมอซต์ ดีฟลิชั่นโหมด

(ค) พีมอซต์ เอ็นฮานซ์เม้นท์โหมด

(ง) พีมอซต์ ดีฟลิชั่นโหมด

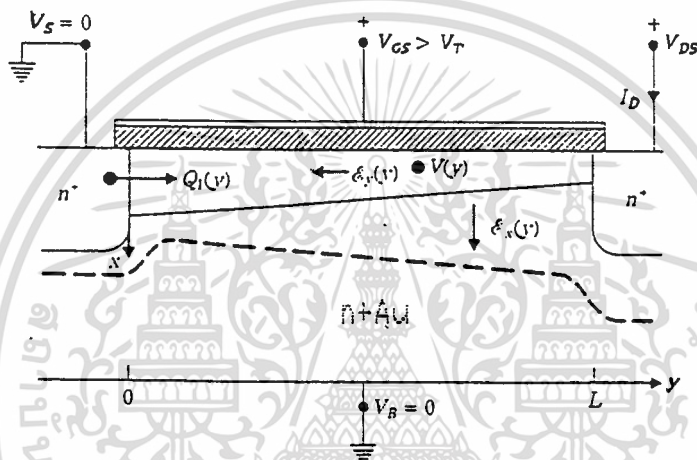
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 คุณสมบัติของกระแสและแรงดันของ มอซเฟต

1. แบบเอ็นฮานซ์เมนต์

การศึกษาและพิจารณาคุณสมบัติของกระแสแรงดันของมอซเฟตนั้น มีลักษณะเหมือนกับสมการกระแสแรงดันของมอสเฟตทั่วไป ต่างกันที่ ตัวแปรบางตัวที่มีค่าเปลี่ยนไป และในที่นี้ จะขอพิจารณาเฉพาะเอ็นมอซเฟต เท่านั้น ส่วน ฟิมมอซเฟต ลักษณะของสมการจะเหมือนกันยกเว้นแต่เครื่องหมาย หรือ ทิศทางที่จะใช้ไปในทิศทางตรงกันข้าม

คุณสมบัติทางโครงสร้างพื้นฐานของมอซเฟตที่แสดงดังรูปที่ 2.3-7 นั้นจะกำหนดให้แรงดันไบอัส $V_S = 0 = V_D$ ค่า V_{GS} และค่า V_{DS} จะเป็นตัวควบคุมการไหลของกระแสในช่องทางเดินกระแส



รูปที่ 2.3-7 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของมอซเฟตที่ใช้ในการคำนวณกระแสและแรงดัน

การไหลของกระแสจะถูกกำหนดด้วยแรงดันไบอัส $V_{GS} > V_T$ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นชั้นกลับ (Inversion Layer) เป็นช่องทางเดินกระแสจากซอร์สไปยังเดรน ค่าสนามไฟฟ้าของช่องเดินกระแส $E_y(y)$ ถูกกำหนดมาจากแรงดันไบอัส V_{DS} ด้วยความสัมพันธ์

$$E_y(y) = - \frac{dv(y)}{dy} \quad (2.3-1)$$

โดยมีเงื่อนไขของขอบเขต $V(y=0) = V_S = 0$, $V(y=L) = V_{DS}$

จากรูปที่ 2.3-7 พบว่าความกว้างของบริเวณปลอดประจุพาหะในด้านเดรนมีค่ามากกว่าในด้านซอร์สด้วยอิทธิพลของศักดาไฟฟ้า ในช่องทางเดินกระแส $V(y)$ และค่าความกว้างสูงสุดของบริเวณปลอดประจุพาหะซึ่งขึ้นกับตำแหน่งของทางเดินกระแส (y) มีความสัมพันธ์เป็น

$$X_{dm}(y) = \sqrt{\frac{2 \epsilon_{si} [\phi_F + V(y)]}{q N_{sub}}} \quad (2.3-2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ N_{sub} คือค่าประมาณของประจุพาหะ ในฐานรองซิลิกอน

ϵ_{Si} คือค่าสภาพยอมของซิลิกอน (Permittivity of Silicon) มีค่าเป็น $11.7 \epsilon_0$ โดยที่ 11.7 เป็นค่าไดอิเล็กตริกของซิลิกอนและค่า ϵ_0 เป็นค่าสภาพยอมของสุญญากาศมีค่าเป็น $8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$

ϕ_F คือค่าแตกต่างของระดับพลังงานเฟอร์มิของฐานรองกับระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนกำลังนำกระแสอยู่

สำหรับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในช่องทางเดินกระแสจะถูกเขียนเป็นความสัมพันธ์

$$Q_I(y=0) = -C_{\text{ox}} [V_{\text{GS}} - V_T] \quad (2.3-3)$$

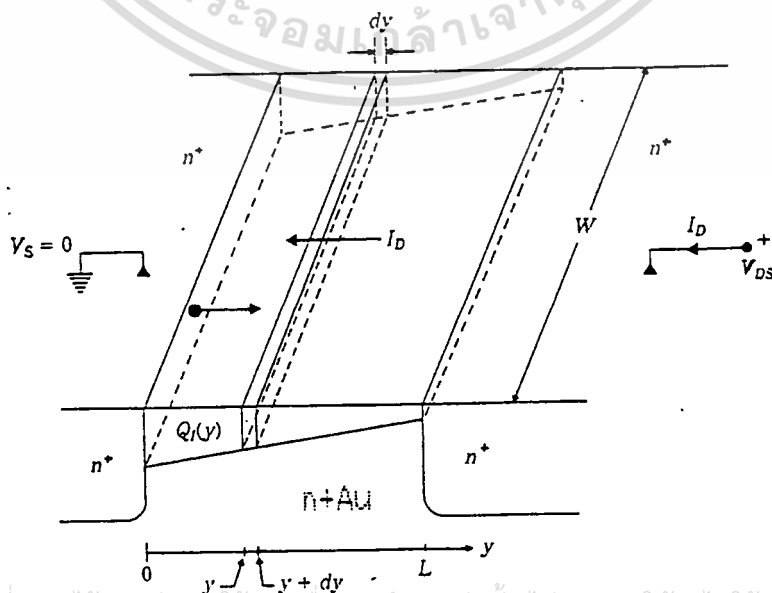
ซึ่งจะขึ้นกับตำแหน่งของ y ในช่องทางเดินกระแส ดังนั้นถ้าค่า $V(y) > 0$ เขียนสมการได้ใหม่เป็น

$$Q_I(y) = -C_{\text{ox}} [V_{\text{GS}} - V_T - V(y)] \quad (2.3-4)$$

โดยที่ C_{ox} เป็นค่าความจุไฟฟ้าของออกไซด์ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ [F/cm^2]

จากรูปที่ 2.3-8 ค่าความต้านทานในช่องทางเดินกระแสมีค่าเป็น

$$dR = - \frac{dy}{\mu_{\text{nAu}} W Q_I(y)} \quad (2.3-5)$$



ในทางกลับกันค่าความนำของช่องทางเดินกระแส σ ที่มีพื้นที่ของช่องทางเดินกระแสเป็น A ถูกกำหนดเป็น

$$\sigma A = - \mu_{nAu} W Q_I (y) \quad (2.3-6)$$

เครื่องหมายลบ บอกถึงค่าของประจุ Q_I , μ_{nAu} เป็นค่าความคล่องตัวของพาหะ ในกรณีที่มีการเจือสารชนิด p เช่น อะตอมของทองคำลงไปในฐานรองซิลิกอน โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่าค่าความคล่องตัวของพาหะที่ผิวเนื่องมาจากปัจจัยอิเล็กตรอนของอะตอมทองคำ

ค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมระยะทาง dy กำหนดเป็น

$$dV = I_D dR = - \frac{I_D dy}{\mu_{nAu} W Q_I (y)} \quad (2.3-7)$$

ทำการอินทิเกรตขึ้นตลอดความยาวช่องทางเดินกระแส

$$I_D \int_0^L dy = - \mu_{nAu} W \int_0^{V_{DS}} Q_I (V) dV \quad (2.3-8)$$

ในด้านขวาของสมการกำหนดให้ Q_I เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับศักดาไฟฟ้าและขอบเขตการอินทิเกรตขึ้นเริ่มจาก 0 ไปยัง L ได้ค่ากระแสเป็น

$$I_D = \left(\mu_{nAu} C_{ox} \right) \left(\frac{W}{L} \right) \int_0^{V_{DS}} (V_{GS} - V_T - V) dV \quad (2.3-9)$$

ผลของการอินทิเกรตขึ้นสมมติให้ค่า V_T คงที่ตลอดช่องทางเดินกระแสซึ่งในทางเป็นจริงแล้วขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของประจุในบริเวณปลอดประจุพาหะ (Q_D) และค่าศักดาไฟฟ้าในช่องทางเดิน ($V(y)$) อย่างไรก็ตามการสมมุตินี้ทำให้การอินทิเกรตขึ้นง่ายขึ้นดังนี้

$$I_D = K' \left(\frac{W}{L} \right) \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right] \quad (2.3-10)$$

โดยค่า k' เป็นค่า Process Transconductance Parameter ซึ่งเป็นค่าคงที่ของ มอซีส คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้ข้อมูล (E_{ox}/T_{ox}) ใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี (2.3-11)

เมื่อ $V_{DS} = V_{DS,sat}$ การประมาณค่ากลายเป็น

$$Q_i(L) = 0 \quad (2.3-14)$$

ซึ่งในทางจริงแล้วค่า $Q_i(L)$ มีค่าน้อยกว่า $Q_i(0)$ มากการประมาณค่าจึงให้เป็นศูนย์เมื่อเทียบกับ $Q_i(0)$ โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์ว่า $Q_i(L) \ll Q_i(0)$

เมื่อค่าแรงดัน V_{DS} มีค่าสูงขึ้นโดยที่ $V_{DS} > V_{DS,sat}$ ($V_{DS,sat} = V_{GS} - V_T$) จะทำให้เกิดจุด pinch off ที่บริเวณด้านเดรน และส่วนของช่องทางเดินกระแสก็จะเริ่มขาดออก โดยที่ค่าความยาวของช่องทางเดินกระแสจะมีค่าเป็น L' โดยที่ $L' < L$ (L เป็นค่าความยาวช่องทางเดินกระแสที่ออกแบบไว้) เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$L' = L - \Delta L \quad (2.3-15)$$

โดยที่ ΔL เป็นค่าส่วนหนึ่งของช่องทางเดินกระแสที่ขาดออกโดยที่ความยาว ΔL นี้จะมีศักดาไฟฟ้าคร่อมเป็น $V_{DS} - V_{DS,sat}$ และมีค่าเป็น

$$\Delta L = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{q N_{sub}}} (V_{DS} - V_{DS,sat}) \quad (2.3-16)$$

จากปรากฏการณ์ Channel- Length Modulation ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อค่าแรงดัน $V_{DS} > V_{DS,sat}$ ทำให้สมการคุณสมบัติ กระแสแรงดันของ มอยซ์ ในภาวะอิ่มตัวกลายเป็น

$$I_D = \frac{K'}{2} \left(\frac{W}{L'} \right) (V_{GS} - V_T)^2 \quad (2.3-17)$$

โดยที่ค่า L จะแทนด้วยค่า L' ในภาวะอิ่มตัวและความสัมพันธ์ระหว่าง L กับ L' มีความสัมพันธ์กันด้วยสมการต่อไปนี้

$$I_D = \frac{I_{D0}}{(1 - \Delta L/L)} \quad (2.3-18)$$

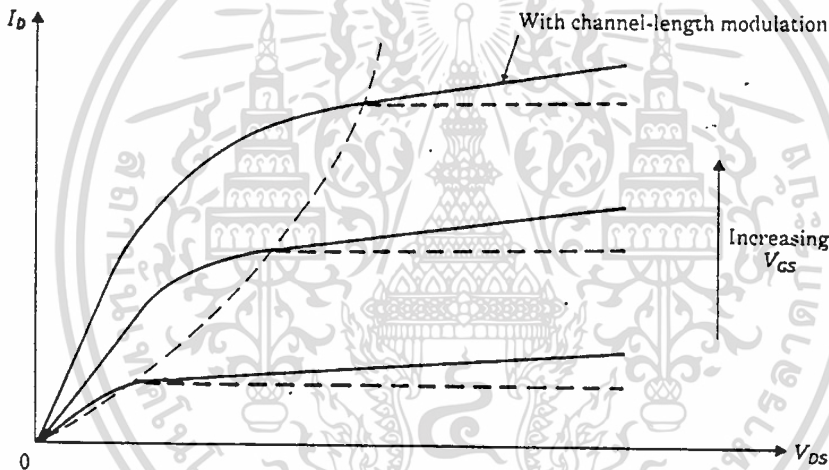
โดย I_{D0} เป็นค่าของกระแสในภาวะอิ่มตัว ($I_{D0} = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_T)^2$) ในขณะที่ยังไม่เกิดเอกสตรนเป็นเอกสตรที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มอชดูยาห์ให้น่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าปรากฏการณ์ Channel-Length Modulation และมีความสัมพันธ์ใหม่เป็น

$$1 - \frac{\Delta L}{L} = 1 - \lambda V_{DS} \quad (2.3-19)$$

โดยที่ค่า λ เป็นค่า Channel-Length Modulation Factor และสมการของกระแสในภาวะอิ่มตัวกลายเป็น (สมมติ $\lambda V_{DS} \ll 1$)

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (2.3-20)$$

จากสมการข้างบนพบว่าค่าของกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นกับค่า V_{DS} ซึ่งผลดังกล่าวนี้จะมีผลอย่างมากเมื่อขนาดของอุปกรณ์มีขนาดเล็กลง



รูปที่ 2.3-10 ผลของ Channel-Length Modulation ใน มอซซีเฟต

2. แบบตีฟลิชชีนโหมด

การทำงานแบบเอ็นฮานซ์เมนต์โหมดสำหรับเอ็นมอซซีเฟตนิยามให้ค่าแรงดันขีดเริ่ม $V_T > 0$ ในขณะที่แบบตีฟลิชชีนโหมดค่า $V_T < 0$

สำหรับสมการคุณสมบัติกระแสแรงดันของมอซซีในการทำงานแบบตีฟลิชชีนนั้นมีค่าเหมือนกันในกับการทำงานแบบเอ็นฮานซ์เมนต์มีค่าขีดเริ่ม V_T มีการแตกต่างกันในด้านของเครื่องหมายและสมการในช่วงไม่อิ่มตัวดังมีค่าเป็น

$$I_D = \frac{B}{2} [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2] \quad (2.3-21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับช่วงอิมิตัวมีความสัมพันธ์เป็น

$$I_{D, \text{sat}} = \frac{B}{2} (V_{GS} + |V_T|)^2 \quad (2.3-22)$$

$$\text{โดยที่ค่า } V_{DS, \text{sat}} = V_{GS} + |V_T| \quad (2.3-23)$$

การทำงานแบบดิสลิ้นจนถึงแม้ว่าค่า $V_{GS} = 0$ ก็ยังคงมีการไหลของกระแสอยู่ดังนั้นเมื่อค่า $V_{GS} = 0$ ค่าสมการในช่วงต่างๆมีค่าเป็น

$$I_D = \frac{B}{2} (2(V_T)V_{DS} - V_{DS}^2) \quad (V_{GS} = 0) \quad (2.3-24)$$

$$I_{D, \text{sat}} = \frac{B}{2} (V_T)^2$$

2.3.4 การควบคุมค่าแรงดันขีดเริ่ม (V_T) ของมอยซ์เฟต

ค่าแรงดันขีดเริ่มเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่ใช้ควบคุมพฤติกรรมทางไฟฟ้าของอุปกรณ์มอยซ์ ซึ่งมีลักษณะของความสัมพันธ์คล้ายคลึงกันกับของอุปกรณ์มอสทั่วไป

ในการพิจารณาการควบคุมค่าแรงดันขีดเริ่ม พิจารณาทั้ง 2 ชนิด กล่าวคือ ได้แก่ เอ็นมอยซ์เฟต และพีมอยซ์เฟต ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งสองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังนั้นพิจารณาในกรณีของเอ็นมอยซ์เฟตก่อน ได้ความสัมพันธ์ของสมการแรงดันขีดเริ่มเป็น

$$V_T = V_{FD} + \phi_F + \frac{1}{C_{OX}} \sqrt{2q\epsilon_{si} N_{sub} (\phi_F)} \quad (2.3-25)$$

$$\text{โดยที่} \quad V_{FD} = \phi_{ms} - \frac{Q_{SS}}{C_{ox}} \quad (V)$$

$$\phi_{ms} = -0.6 - \phi_F \quad \text{สำหรับอลูมิเนียมเกต (V)}$$

$$\phi_F = \frac{E_i - E_F}{q} \quad (V)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ϵ_{si} มีค่า $11.7\epsilon_0$ ให้ตัดแบบ F/cm หา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N_{sub} = ความหนาแน่นของประจุพาหะในฐานรอง

สำหรับพินมอยซ์เฟตสมการของแรงดันขีดเริ่มเป็นดังนี้

$$V_T = V_{FD} - \phi_F - \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2q\epsilon_{si} N_{sub} (\phi_F)} \quad (2.3-26)$$

จากสมการทั้งสองพบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับสมการที่ใช้ในมอสทั่วไป จะแตกต่างกันก็ตรงที่ค่า ϕ_F แทนที่จะเป็น $2\phi_F$ และค่า N_{sub} ที่แตกต่างกันกับค่า N_A และ N_D ในกรณีของเอ็นแชนแนล และพีแชนแนลของมอสทั่วไป ส่วนค่า Q_{ss} นั้นเป็นค่าความหนาแน่นของประจุที่ รอยต่อระหว่างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์กับฐานรองซิลิกอนของมอยซ์เฟต

2.3.5 วงจรสมมูลไฟฟ้ากระแสตรงของมอยซ์เฟต

วงจรสมมูลไฟฟ้ากระแสตรงเกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในกรณี ของไฟฟ้ากระแสตรง ตัวพารามิเตอร์ที่มีผลต่อวงจรสมมูลย์ แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1. ค่าเกททรานส์คอนดักแตนซ์ (g_m) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการขยายสัญญาณของมอยซ์เฟตโดยมีสูตร ทางคณิตศาสตร์เป็น

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{V_{DS}, V_{DS}} \quad (2.3-27)$$

เมื่อแทนค่า I_D ลงไปในสมการการคำนวณพบว่าค่า g_m ในกรณีที่มอยซ์เฟตทำงานแบบเชิงเส้นและทำ งานแบบอิ่มตัวมีค่าเป็นดังนี้

$$\text{แบบเชิงเส้น} \quad g_m = \frac{W}{L} \mu_{nA} C_{ox} V_{DS} \quad (2.3-28)$$

$$\text{แบบอิ่มตัว} \quad g_m = \frac{W}{L} \mu_{nA} C_{ox} [V_{GS} - V_T] \quad (2.3-29)$$

จากค่า g_m แบบเชิงเส้นพบว่าค่า g_m ขึ้นอยู่กับ V_{DS} ส่วนในช่วงการทำงานแบบอิ่มตัวพบว่าค่า g_m จะขึ้นอยู่กับค่า V_{GS} แทนโดยที่ไม่ขึ้นกับค่า V_{DS} เลย

ไม่ว่ากรณีใดทางนี้ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สัมประสิทธิ์ทรานส์คอนดักแตนซ์ (g_{mb}) เป็นอัตราการขยายสัญญาณในกรณีที่การไบอัสย้อนกลับฐานรอง โดยมีสูตรทางคณิตศาสตร์เป็นดังนี้

$$g_{mb} = \frac{\partial I_D}{\partial V_{BS}} \bigg|_{V_{GS}, V_{DS}} \quad (2.3-30)$$

และกำหนดให้ค่า $g_{mb} = b g_m$ โดยที่ค่า b ในช่วงเชิงเส้นมีค่า เป็น

$$b = \frac{\gamma \sqrt{V_{DS} + V_{SD} + \phi_F} - \sqrt{V_{SD} + \phi_F}}{V_{DS}} \quad (2.3-31)$$

ส่วนในช่วงอิมิตัวค่า

$$b = \frac{\gamma \sqrt{V_{DS} + V_{SD} + \phi_F} - \sqrt{V_{SD} + \phi_F}}{V_{GS} - V_T} \quad (2.3-32)$$

γ = ค่าสัมประสิทธิ์การไบอัสย้อนกลับ

$$= \frac{\sqrt{2q\epsilon_s N_A}}{C_{ox}}$$

N_A = ความหนาแน่นประจุพาหะข้างมากในฐานรอง ในกรณีนี้ ฐานรองเป็นชนิดพี ($N_A \gg N_D$)

ϕ_F = ค่าพลังงานจากระดับพลังงานเฟอร์มิของฐานรองถึงระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนหรือโฮลนำกระแสอยู่

3. เทรนคอนดักแตนซ์ ซึ่งเป็นค่าสภาพความนำมีสูตรทางคณิตศาสตร์เป็นดังนี้

$$g_d = \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \bigg|_{V_{GS}, V_{BS}} \quad (2.3-33)$$

การหาค่าดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการ $I_D - V_{DS}$ หรือหาจากความชันของความสัมพันธ์ระหว่าง $I_D - V_{DS}$ เมื่อแทนค่า I_D ในสมการ 2.3-33 พบว่า

$$g_d = \frac{W}{L} \mu_{nAu} C_{ox} [V_{GS} - V_T - V_{DS}] \quad (2.3-34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าจากพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าพบว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์มีหน่วยเป็น ซีเมน (SIEMEN) โดยที่ $1S = 1A/V$ ไม่วากรณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเทคนิคเปลี่ยนหน่วยที่ละเอียดงายอีกเรื่องหนึ่งซึ่งเอกสารนี้ไม่ได้กล่าวถึง

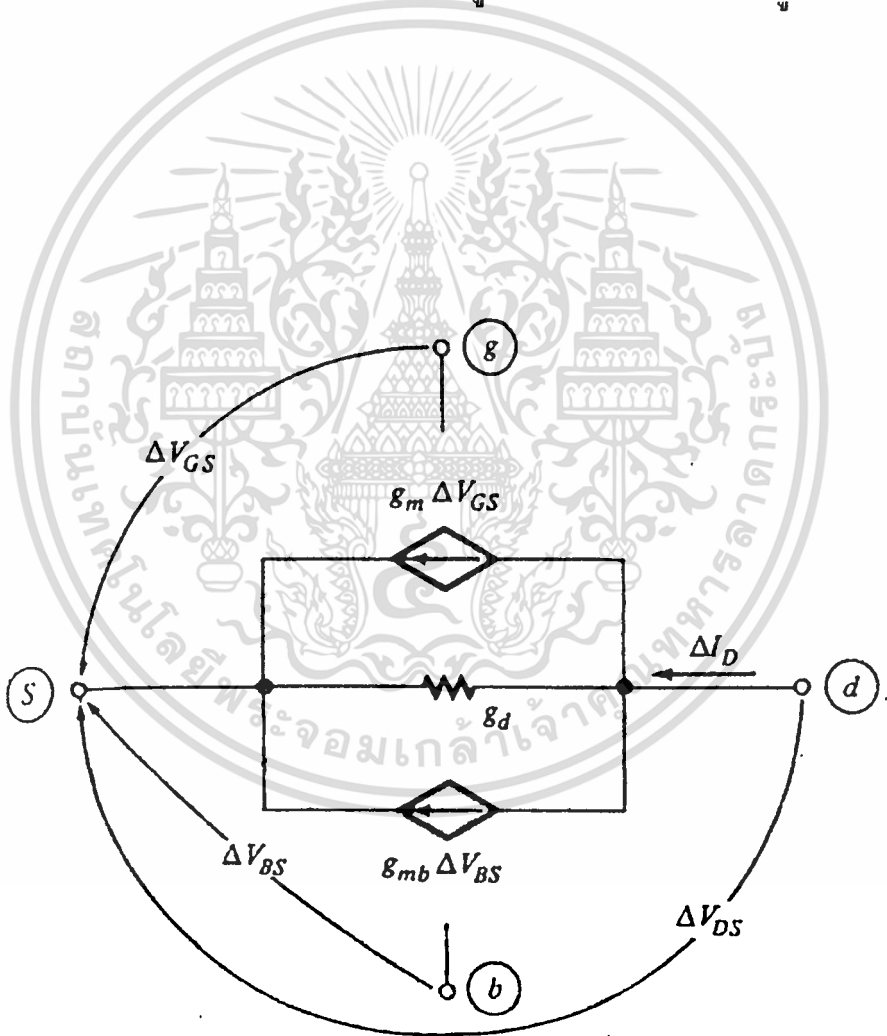
และเมื่อเราทำการเปลี่ยนแปลงค่าศักดาไฟฟ้าพบว่าค่ากระแสที่ไหลเพิ่ม (ΔI_D) มีค่าเป็น

$$\Delta I_D = \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right) \Delta V_{GS} + \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{BS}} \right) \Delta V_{BS} + \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \right) \Delta V_{DS} \quad (2.3-35)$$

เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\Delta I_D = g_m \Delta V_{GS} + g_{mb} \Delta V_{BS} + g_d \Delta V_{DS} \quad (2.3-36)$$

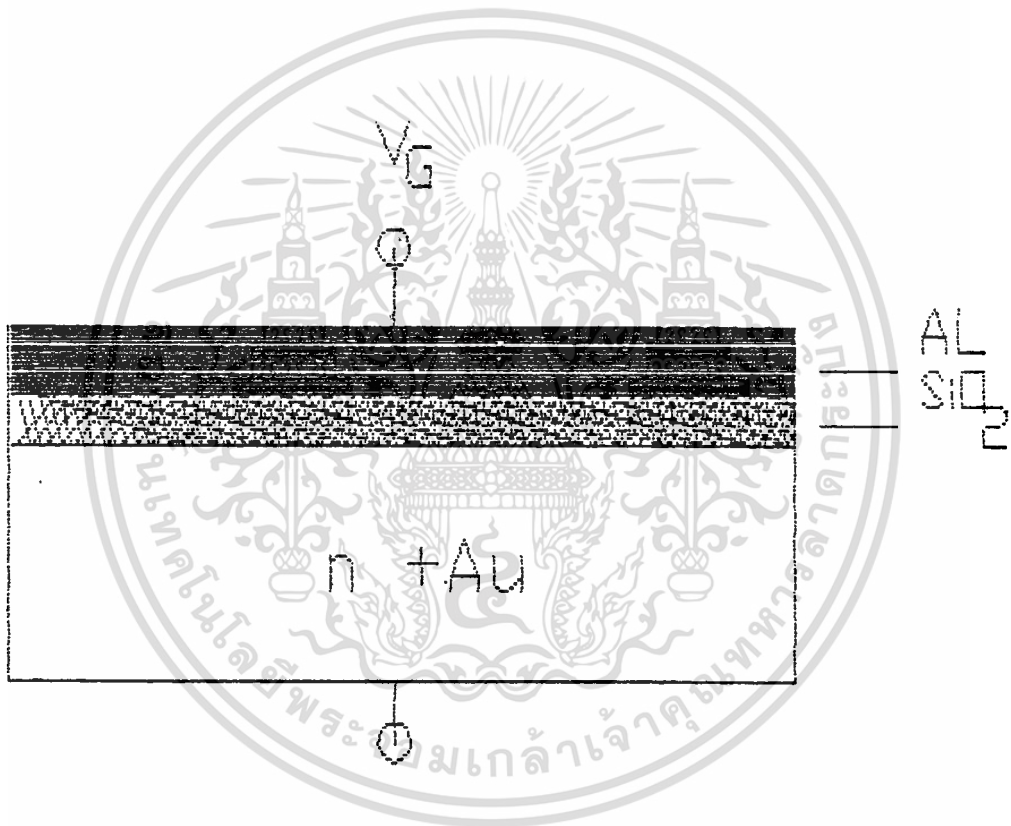
จากค่าของ ΔI_D ของมอดูลเฟตเราสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังรูปที่ 2.3-11



รูปที่ 2.3-11 แสดงวงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรงของมอดูลเฟต

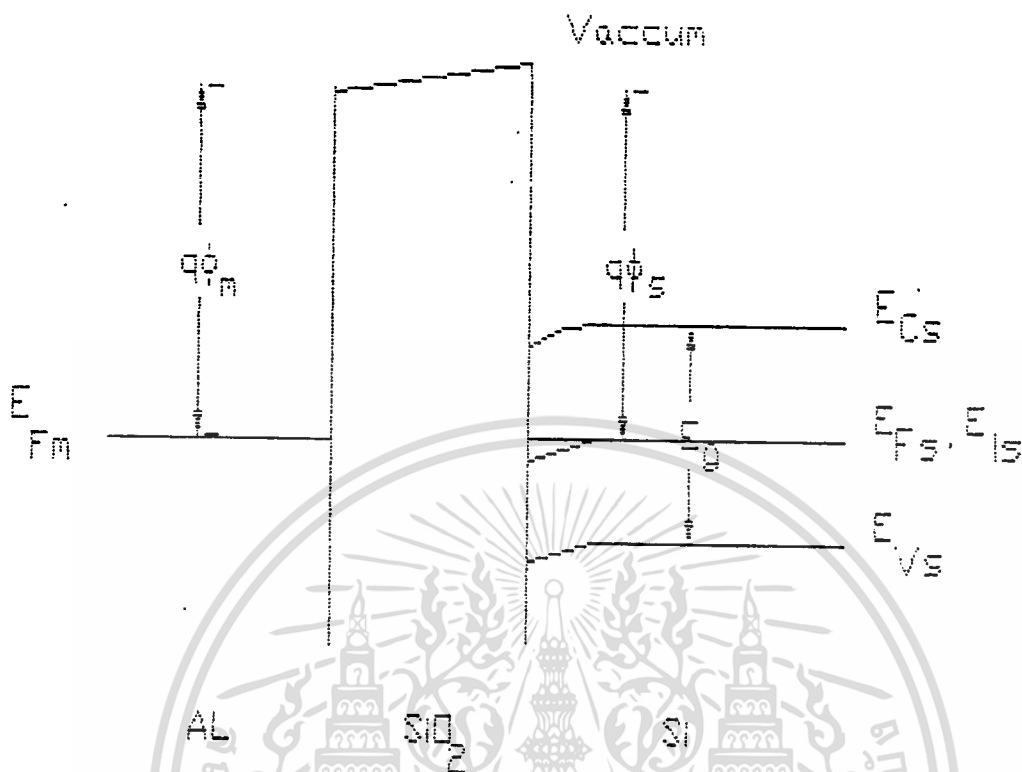
2.3.6. ตัวเก็บประจุแบบมอยซ์

ตัวเก็บประจุแบบมอยซ์นั้น เป็นตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างเหมือนกันกับตัวเก็บประจุแบบมอสทั่วไป แต่มันต่างกันที่ฐานของตัวเก็บประจุแบบมอยซ์นั้นเป็นฐานรองซิลิกอนที่ทำการแพร่อะตอมของทองคำเข้าไปทำให้คุณสมบัติของฐานรองแตกต่างออกไปซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.3-12



รูปที่ 2.3-12 แสดงโครงสร้างตัวเก็บประจุแบบมอยซ์

จากรูปที่ 2.3-12 แสดงส่วนประกอบของตัวเก็บประจุแบบมอยซ์ซึ่งได้แก่ส่วนของโลหะ (อลูมิเนียม) ซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความหนาเป็น T_{ox} และส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของฐานรองซิลิกอนที่ทำการแพร่อะตอมของทองคำ จากลักษณะดังกล่าว เราสามารถเขียนรูปแบบของลักษณะแถบพลังงานได้ดังรูปที่ 2.3-13



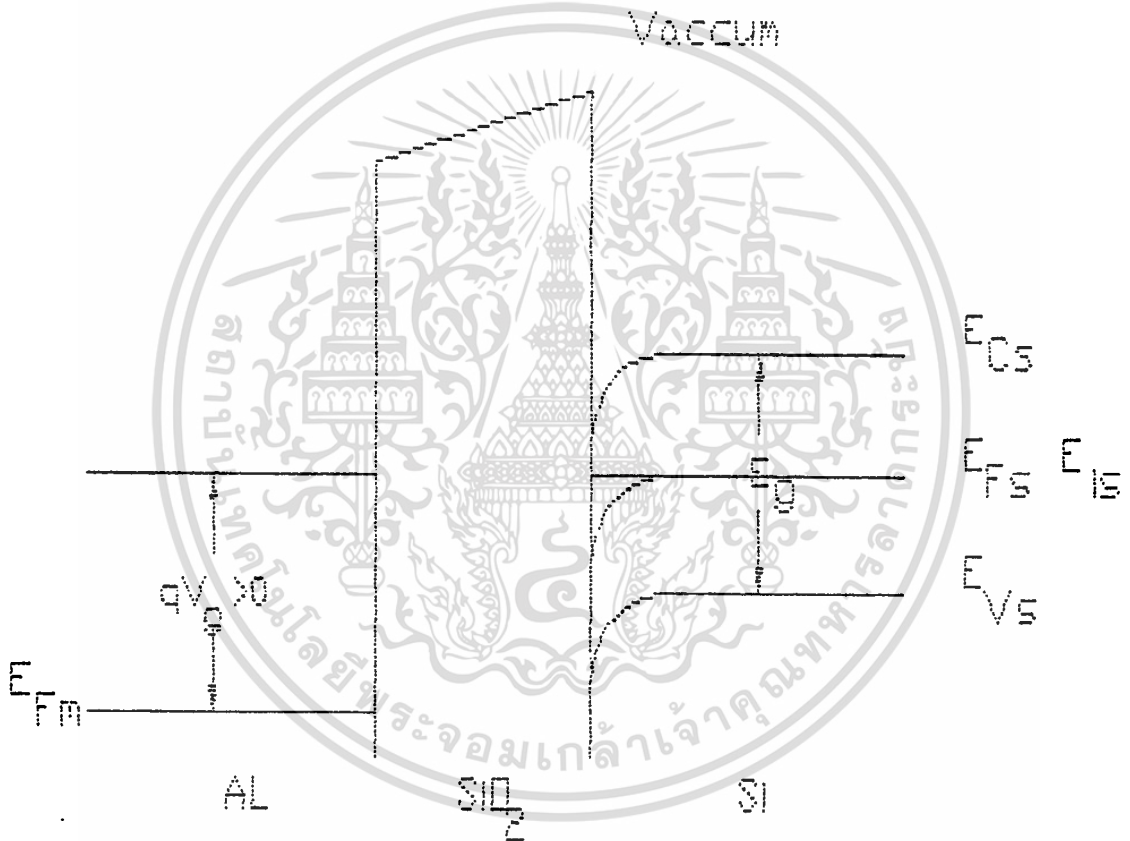
รูปที่ 2.3-13 แสดงแถบพลังงานของตัวเก็บประจุแบบมอสส์ที่แรงดันเกตเป็นศูนย์โวลต์

จากรูปที่ 2.3-13 ค่า E_{FS} กับค่า E_{IS} เป็นค่าเดียวกันเพราะอะตอมของทองคำที่แพร่เข้าไปในฐานรองเดิม จากการคำนวณ และการทดลองพบว่าค่า $E_{FS} = 0.56 \text{ eV}$. ในกรณีที่แพร่อะตอมของทองคำที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นฐานรองชนิดอื่นแล้ว ค่า $E_{IS} > E_{FS}$ และถ้าฐานรองเป็นชนิดอื่น ค่า $E_{IS} < E_{FS}$

เมื่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าโครงสร้างแบบมอสส์ได้รับแรงดันที่ขั้วโลหะ จะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่นเดียวกับตัวเก็บประจุทั่วไป คือเกิดปรากฏการณ์สะสมประจุ (Accumulation) ปรากฏการณ์หลักประจุ (Depletion) และปรากฏการณ์เกิดชั้นกลับ (Inversion)

ปรากฏการณ์สะสมประจุ (Accumulation)

เมื่อป้อนแรงดันที่เหมาะสมทำให้การสะสมประจุพาหะที่รอยต่อซิลิกอนมีค่าความหนาแน่นมากกว่าพาหะชนิดเดียวกันในฐานรอง ซึ่งในกรณีนี้จะทำการป้อนแรงดันที่เกท เป็นค่าบวก โดยมีลักษณะของแถบพลังงานแสดงดังรูปที่ 2.3-14



รูปที่ 2.3-14 แสดงแถบพลังงานในกรณีสะสมประจุ

จากฐานรองซิลิกอน ที่ทำการแพร่อะตอมของทองคำที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส พบว่าได้ค่า E_F มีค่าเท่ากับ 0.56 eV ซึ่งมีค่าเท่ากับ E_1 พอดีจากรูปที่ 2.3-14 ป้อน $V_g > 0$ ทำให้มีการสะสมประจุลบที่รอยต่อซิลิกอนจากลักษณะดังกล่าวสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าได้ดังสมการ 2.3-37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง $C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{T_{ox}}$ ให้ดูแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี (2.3-37)

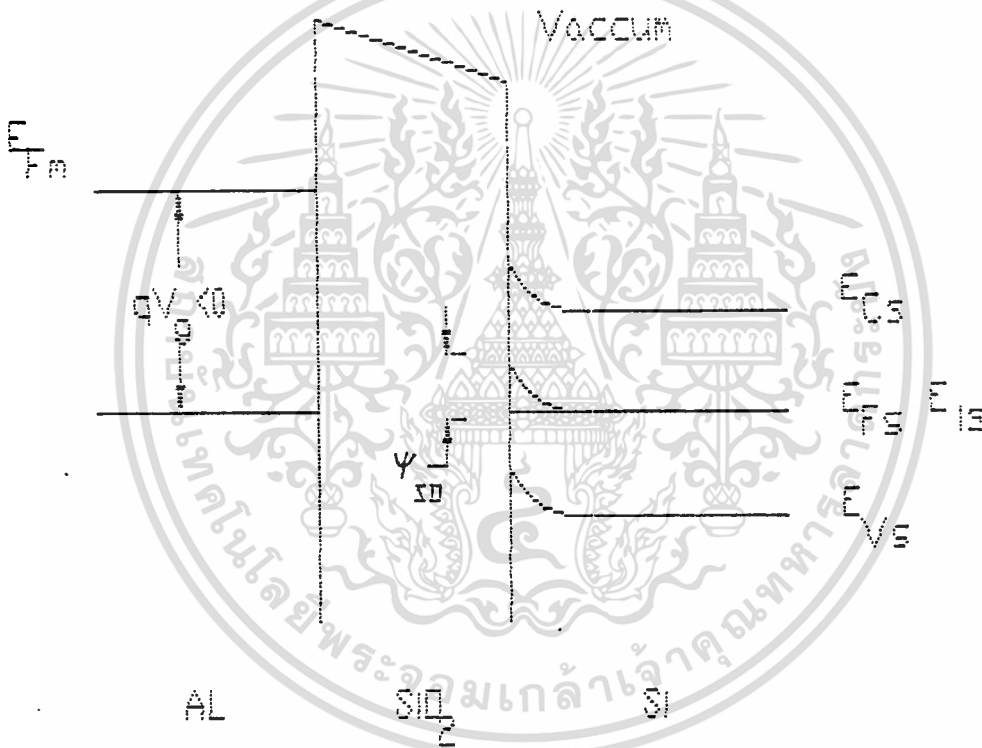
โดยที่ค่า C_{ox} = ค่าความจุไฟฟ้าของออกไซด์ต่อพื้นที่

ϵ_{ox} = ค่าคงที่ของซิลิกอนไดออกไซด์ = $3.9 \epsilon_0$

T_{ox} = ค่าความหนาของซิลิกอนไดออกไซด์

ปรากฏการณ์หลักประจุ

ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อทำการป้อนแรงดันที่เกทมีค่าเป็นลบ ($V_g < 0$) ทำให้เกิดการสะสมประจุบวกที่รอยต่อของซิลิกอน ซึ่งรูปแบบของแถบพลังงานแสดงดังรูปที่ 2.3-15



รูปที่ 2.3-15 แสดงแถบพลังงานของปรากฏการณ์หลักประจุ

จากปรากฏการณ์หลักประจุเราสามารถคำนวณค่าความกว้างของบริเวณปลอดประจุหาได้มีค่าเป็น

$$X_d = \sqrt{\frac{2\epsilon_{s1}}{qN_{sub}}} (\psi_{SD}) \quad (2.3-38)$$

และค่าความจุไฟฟ้าในกรณีของปรากฏการณ์หลักประจุ (C_d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง $C_d = \frac{\epsilon_{s1}}{X_d}$ แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\epsilon_{s1} = 11.7 \epsilon_0$$

และค่าความจุไฟฟ้ารวมในกรณีปรากฏการณ์หลักประจุมีค่าเป็นดังนี้

$$C = \frac{C_{ox} C_d}{C_{ox} + C_d} \quad (2.3-39)$$

เมื่อทำการเพิ่มแรงดันที่เกตเป็นลบมากขึ้น ทำให้แถบพลังงานมีลักษณะโค้งมากขึ้น ทำให้ค่า ψ_{so} มีค่ามากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้การสะสมของโฮลที่รอยต่อซิลิกอนมากขึ้นด้วย จากในกรณีดังกล่าวนี้ สามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

$$C = \frac{C_{ox}}{\sqrt{1 + 2 \left(C_{ox}^2 / qN_{sub} \epsilon_{s1} \right) V_G}} \quad (2.3-40)$$

จากสมการที่ 2.3-40 พบว่าค่าความจุไฟฟ้าในกรณีที่เกตขึ้นกลับนั้นจะขึ้นอยู่กับค่า C_{ox} , N_{sub} และ V_G ซึ่งในกรณีของตัวเก็บประจุโครงสร้างแบบมอยซ์ค่า N_{sub} มีค่าน้อยจะทำให้ค่า C มีค่าน้อยกว่าตัวเก็บประจุแบบมอสทั่วไป

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการเก็บบรรจุ

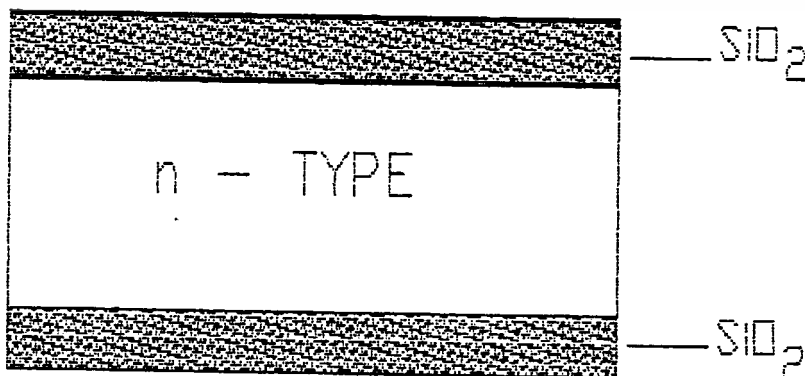
จากโครงสร้างของมอยซ์เฟตนั้น จะเห็นว่า ฐานรอนั้นเกิดจากฐานรองเดิมแล้วทำการแพร่อะตอมทองคำเข้าไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยมีค่าความต้านทานสูงขึ้น ค่าพลังงานเฟอร์มิเปลี่ยนแปลง และความหนาแน่นของพาหะ มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลเหล่านี้ทำให้สามารถสร้างมอยซ์เฟตทั้งชนิด พีเซลล์แนล และ เอ็นเซลล์แนล บนฐานรอนชนิดเดียวกันได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาผลดังกล่าวมาแล้วข้างบน โดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วน กล่าวคือส่วนแรกศึกษาผลของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติของฐานรองได้แก่คำนวณหาค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ คำนวณหาฟิวดความต้านทาน คำนวณค่าพลังงานเฟอร์มิ คำนวณหาค่าความหนาแน่นของพาหะเป็นต้น ส่วนที่สองศึกษาเกี่ยวกับผลของอะตอมทองคำต่อรอยต่อพีเอ็น การนำกระแส แรงดันเบรกดาวน์ ค่าความจุไฟฟ้า ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนที่ศึกษาผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอยซ์เฟต การควบคุมแรงดันขีดเริ่มของมอยซ์เฟต ทั้งชนิดพี และเอ็น

3.1 การออกแบบและการสร้างในการคำนวณความหนาแน่นอะตอมของทองคำ

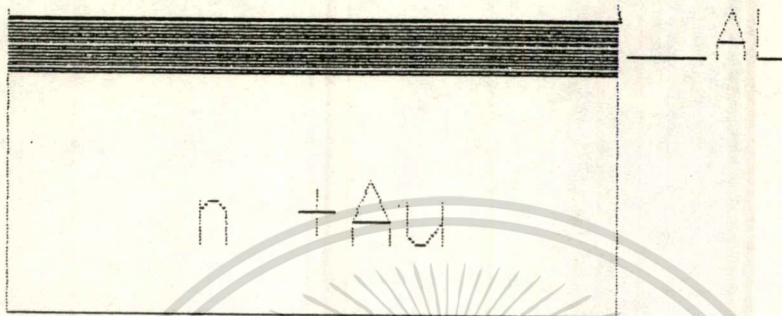
ในการศึกษาครั้งนี้ทำการออกแบบชั้นที่จตุรัสขนาด 4×10^{-2} ตารางเซนติเมตร แล้วเลือกอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำเป็น 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส โดยมีฐานรองซิลิกอนเป็นชนิดเอ็นที่มีค่าฟิวดความต้านทานเป็น 5 โอห์ม-เซนติเมตร

3.1.1 การสร้าง

1. ทำความสะอาดผิวหน้าของซิลิกอนด้วยกระบวนการมาตรฐานทำความสะอาดมาตรฐานของห้องวิจัยโซลิดสเตท สจล. หลังจากนั้นทำการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการออกซิเดชัน ที่มีอัตราของออกซิเจน 1000 ซีซี/นาที อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

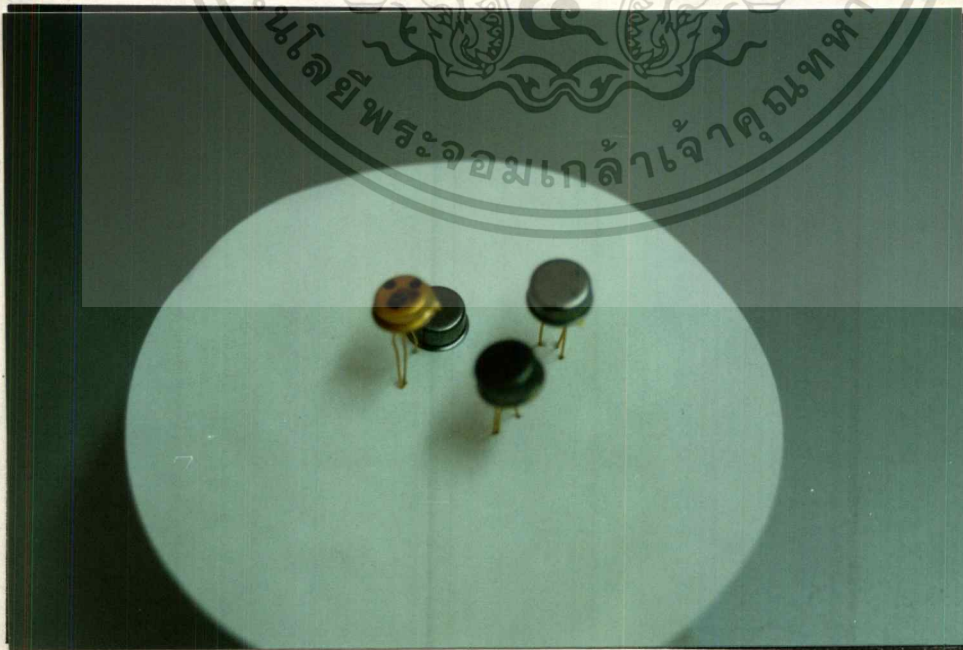


4. ทำการกัดออกไซด์ด้านหน้าแล้วเคลือบอลูมิเนียมในสุญญากาศแล้วสุดท้ายทำการกัดอลูมิเนียมตามลวดลายที่ต้องการ



3.1.2 การเก็บบรรจุ

ในการเก็บบรรจุนี้ เริ่มแรกจะต้องทำการตัดแยกชิ้นออกก่อนแล้วทำการติดตัวถัง TO-3 และสุดท้ายทำการต่อลวดเชื่อมระหว่างตัวถังกับตัวอุปกรณ์ซึ่งเป็นการสิ้นสุดขั้นตอนการเก็บบรรจุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบและการสร้าง รอยต่อ P^+v และ $n^+ \pi$

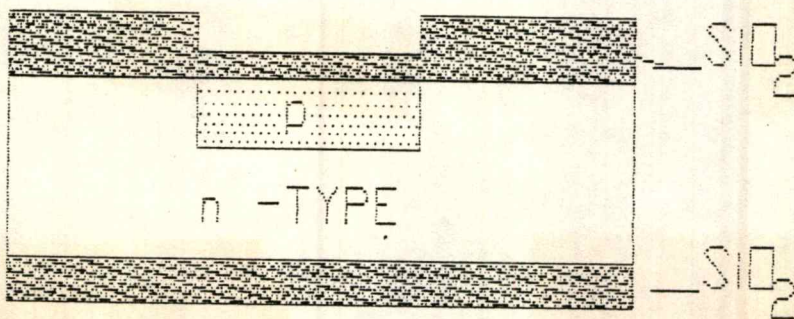
ในการสร้างรอยต่อ P^+v เลือกฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็นที่มีพิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร ระบาย <100> และรอยต่อ $n^+ \pi$ เลือกฐานรองชนิดพี พิกัดความต้านทาน 7 โอห์ม-เซนติเมตร ระบาย <100> แล้วแพร่อะตอม ของทองคำที่อุณหภูมิ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.2.1 การสร้าง

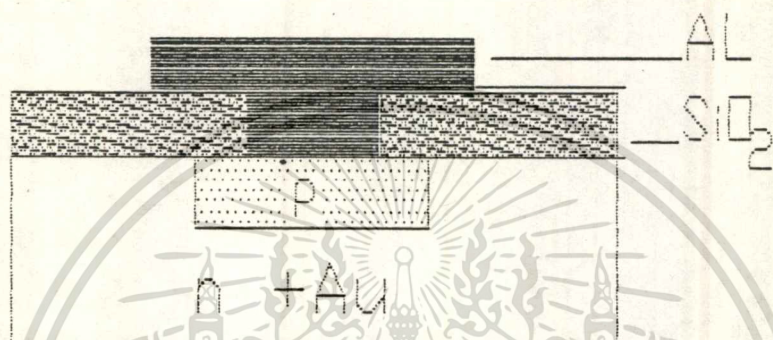
1. เริ่มต้นทำความสะอาดผิวหน้าและด้านหลังของซิลิกอนหลังจากนั้นทำการสร้างออกไซด์ปกคลุมผิวหน้าและด้านหลัง ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน้ากากในการแพร่สารเจือทั้งชนิดพีและชนิดเอ็น



2. ทำการแพร่สารเจือทั้งชนิดพี (ฐานรองชนิดเอ็น) และแพร่สารเจือชนิดเอ็น (ฐานรองชนิดพี) ด้วยกระบวนการ Predeposition และขั้นตอนการ Drive-In ตามลำดับ



3. ทำการเคลือบทองคำในด้านหลังของฐานรองและทำการขีบลึงทองคำเข้าไปในแผ่นซิลิกอนด้วยอุณหภูมิที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการกัดออกไซด์ ด้านหน้าออกแล้วทำการเคลือบอลูมิเนียม เพื่อทำรอยลัมพัสและสุดท้ายทำการ Sintering เพื่อทำรอยลัมพัสโอมัทิก



3.2.2 การเก็บบรรจุ

ในการเก็บบรรจุจะใช้ตัวถังแบบ TO-3 ดังแสดงในรูปที่ 3.2-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.2-1 แสดงตัวถังการเก็บบรรจุของรอยต่อ P^+n และ n^+p

3.3 การออกแบบและการสร้างมอยซ์เฟด

การออกแบบของมอยซ์เฟดนี้เลือกฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็นพิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร ระบาย <100>

ขนาดของรูปร่างทางเรขาคณิตของมอยซ์เฟดทั้งชนิดพีเซลล์และเอ็นเซลล์จะทำการออกแบบที่มีความกว้างของช่องทางเดินกระแส (W) มีค่าเป็น 100 ไมครอนและความยาวของช่องทางเดินกระแส (L) มีค่าเป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 ไมครอนตามลำดับ และยังทำการออกแบบค่าความยาวช่องทางเดินกระแส (L) มีค่าคงที่เป็น 100 ไมครอนและค่าความกว้างช่องทางเดินกระแสมีค่าเป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ไมครอนด้วย

อุณหภูมิการแพร่ของทองคำที่ทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะทำการเลือกอุณหภูมิการแพร่เป็น 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ ในฐานรองซิลิกอนกับการทำงานของอุปกรณ์มอยซ์เฟด

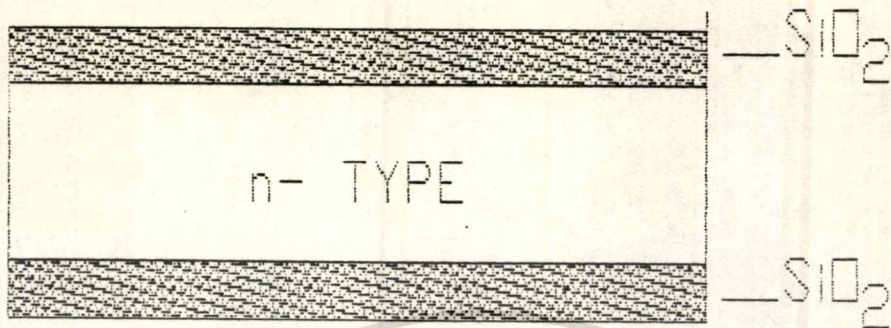
ส่วนการทำงานของมอยซ์เฟดนั้น เราจะศึกษาการทำงานว่าโหมดการทำงานของมอยซ์เฟดว่าเป็นแบบโหมดเอ็นฮานซ์เมนต์ หรือดีพลีชันโหมดซึ่งการทำงานดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับการชดเชยของจำนวนพาหะในฐานรองเดิมกับอะตอมของทองคำที่แพร่เข้าด้านหลัง

3.3.1 การสร้างมอยซ์เฟด

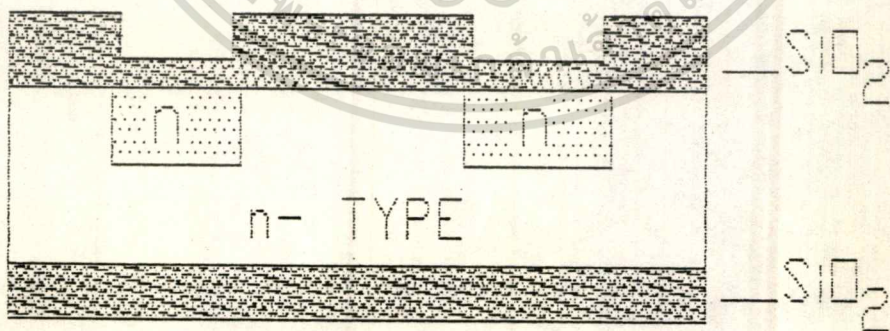
ในการสร้างอุปกรณ์มอยซ์เฟดจะใช้กระบวนการที่ได้ผลนามาจนเป็นที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ในตัวอย่างที่จะยกมานี้เป็นกรณีของเอ็นมอยซ์เฟด ส่วนเอ็นมอยซ์เฟดนั้นแตกต่างกันตรงที่ ชนิดของการแพร่สารเจือในส่วนของเดรนและซอร์สเท่านั้น

1. เลือกฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็นระบาย <100> ค่าความต้านทานที่เหมาะสมที่ทำความสะอาดผิวของซิลิกอนด้วยกรดไนตริกเพื่อกำจัดโลหะหนักที่ผิวออก จากนั้นละลายไขมัน ด้วยน้ำยาไตรคลอไรเอธิลีน และทำการล้างน้ำยานี้ด้วยน้ำยาอะซีโตน แล้วตามด้วยน้ำบริสุทธิ์ปราศจากไอออน DI แล้วนำไปสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ ในขบวนการออกซิเดชันในเตาเผาอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส อัตรา O_2 1000 ซีซี/นาทีก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตามด้วยกระบวนการ Wet Oxidation ด้วยอัตรา O_2 800 ซีซี/นาทีก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และสิ้นสุดลงด้วย กระบวนการ Dry Oxidation O_2 1000 ซีซี/นาทีก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ความหนาของชั้นออกไซด์ประมาณ 7000 อังสตรอม

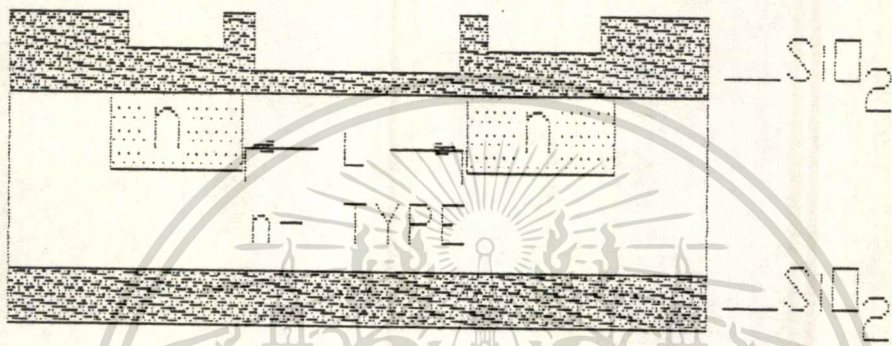
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



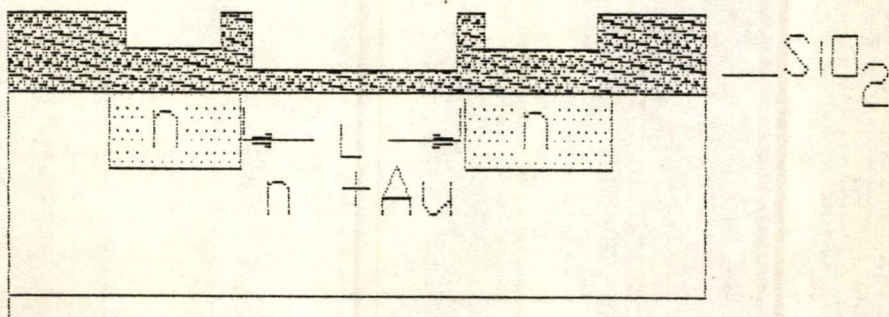
2. เปิดชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโฟลิโตกราฟี เพื่อทำการแพร่สารเจือชนิดเอ็นในส่วนของเดรนและซอร์สที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการขับลิทที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส อัตรา O_2 1000 ซีซี/นาที เวลา 40 นาที โดยค่าความดันทานที่ผิวเป็น 20-30 โท้ม □



3. เปิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ในบริเวณช่องทางเดินกระแสเพื่อทำการสร้างเกต ที่มีความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ 700 อังสตรอม ด้วยกระบวนการ ออกซิเดชั่น ด้วยอัตรา O_2 1000 ซีซี/นาที ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

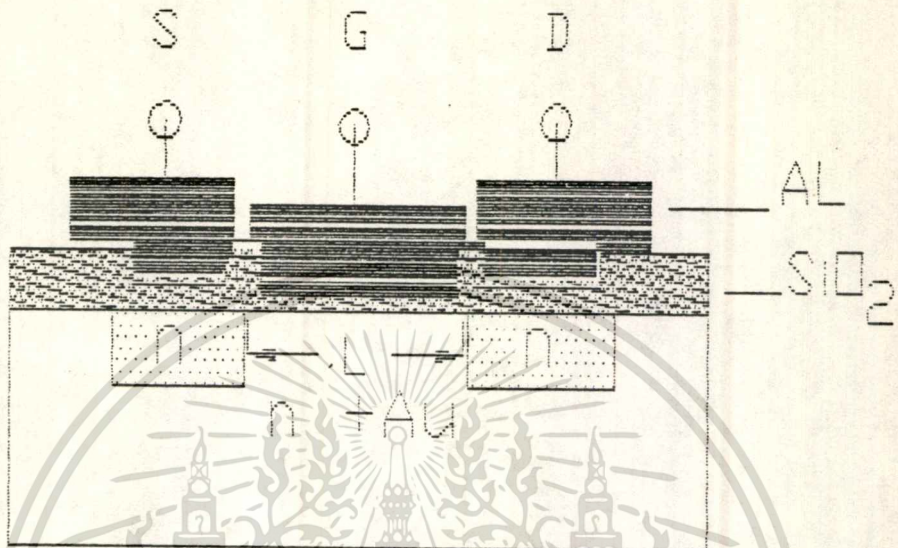


4. ทำการเปิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ด้านหลังแผ่นเพื่อทำการเคลือบทองคำด้วยเครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศด้วยความดัน $1-2 \times 10^{-6}$ Torr. จากนั้นนำไปชุบลิททองคำให้เข้าไปในแผ่นที่อุณหภูมิที่ต้องการ (900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 90 นาที ซึ่งจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฐานรอง

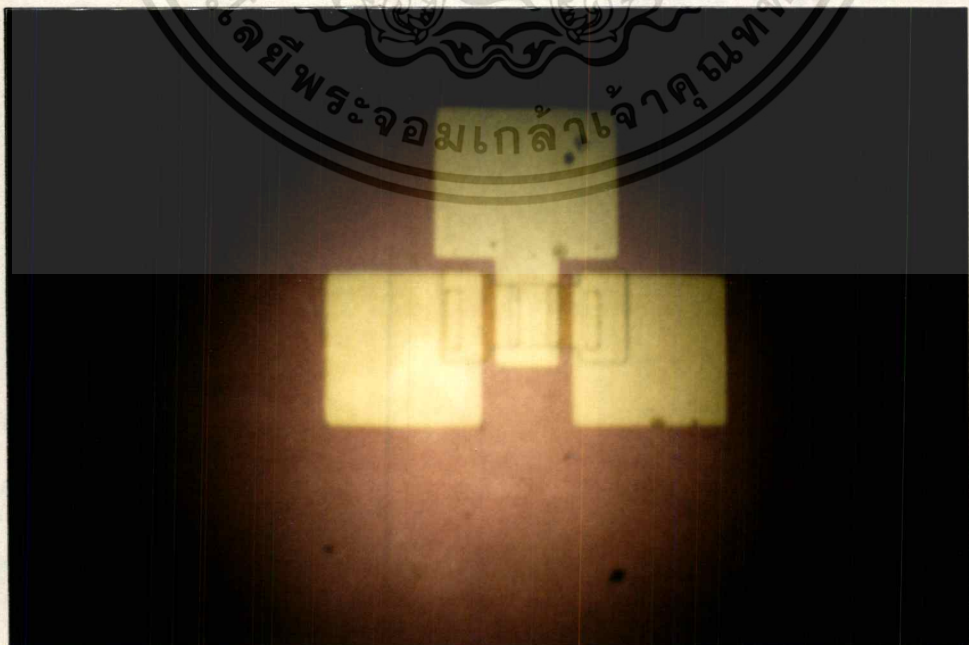


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์บริเวณที่ขั้วเดรนและซอสเพื่อทำขั้วสัมผัสด้วยการเคลือบอลูมิเนียมในเครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ จากนั้นทำการกัดลวดลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการ Sintering ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตรา N_2 1200 ซีซี/นาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อทำขั้วสัมผัสโอมห์มิก



สำหรับภาพถ่ายด้านบนแสดงลวดลายวงจรด้านบนของมอดูลเฟตแสดงดังรูปที่ 3.3-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 3.3-1 แสดงลวดลายวงจรด้านบนของมอดูลเฟตเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลอง ในบทนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนที่สำคัญ ส่วนแรกทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพิกัดความต้านทาน ค่าพลังงานเฟอร์มิ ของฐานรองต่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำที่แพร่เข้าไปแล้วรวมทั้งการคำนวณความหนาแน่นของอะตอมทองคำด้วยส่วนที่สองศึกษาความสัมพันธ์ของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็น เช่น แรงดันไบอัสตรง แรงดันเบรกดาวน์ ค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อเป็นต้น สุดท้ายในส่วนที่สามจะกล่าวถึง คุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของมอยซ์เฟตที่เปลี่ยนแปลงต่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำ โหมดการทำงาน วงจรสมมุติไฟฟ้ากระแสตรง และค่าความคล่องตัวของประจุพาหะ

4.1. การทดลองและผลการทดลอง คุณสมบัติของอะตอมทองคำที่มีต่อฐานรองซิลิกอน

ทองคำนั้นเมื่อเข้าไปอยู่ในซิลิกอนจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความต้านทาน ค่าความหนาแน่นของพาหะ การเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานเฟอร์มิ เป็นต้น ซึ่งผลดังกล่าวเหล่านี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฐานรอง ซึ่งมีผลต่อโหมดการทำงานของมอยซ์เฟต ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้ จะนำไป อธิบายปรากฏการณ์และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฐานรองซิลิกอน

4.1.1 การวัดผลของความหนาแน่นของอะตอมทองคำที่มีต่อค่าพิกัดความต้านทานของฐานรองซิลิกอน

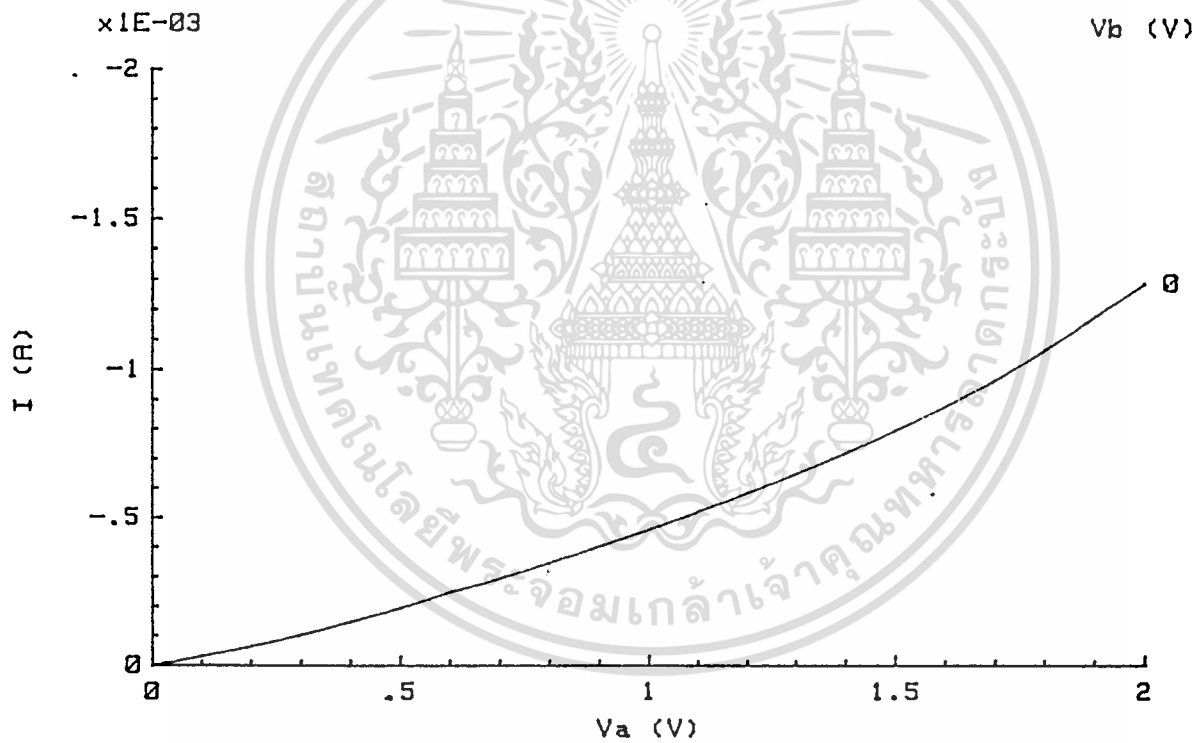
การหาค่าความสัมพันธ์ของอะตอมทองคำ ที่มีต่อพิกัดความต้านทานของฐานรองนี้ กระทำโดยเลือกฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็นระนาบ <100> พิกัดความต้านทานเป็น 5 โอห์ม-เซนติเมตร และเลือกฐานรองซิลิกอนชนิดพี พิกัดความต้านทาน 7 โอห์ม-เซนติเมตร แล้วทำการสร้างด้วยกระบวนการมาตรฐานดังในหัวข้อ 3.1 โดยอุณหภูมิของการแพร่ของอะตอมทองคำ เข้าด้านหลังของแผ่นซิลิกอน เลือกค่าอุณหภูมิเป็น 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียสตามลำดับ หลังจากนั้นทำการวัดหาความสัมพันธ์ ด้วยการตัดชิ้นสารออกเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 4×10^{-2} ตารางเซนติเมตร โดยมีความหนาของแผ่นเป็น 390×10^{-4} เซนติเมตร แล้วทำการนำชิ้นงานดังกล่าวมาติดบนตัวถัง TO-3 แล้วนำไปทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันด้วยเครื่องวัด HP 4061A ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1-1 (ก), (ข) และ (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= B



(ก) 900 องศาเซลเซียส

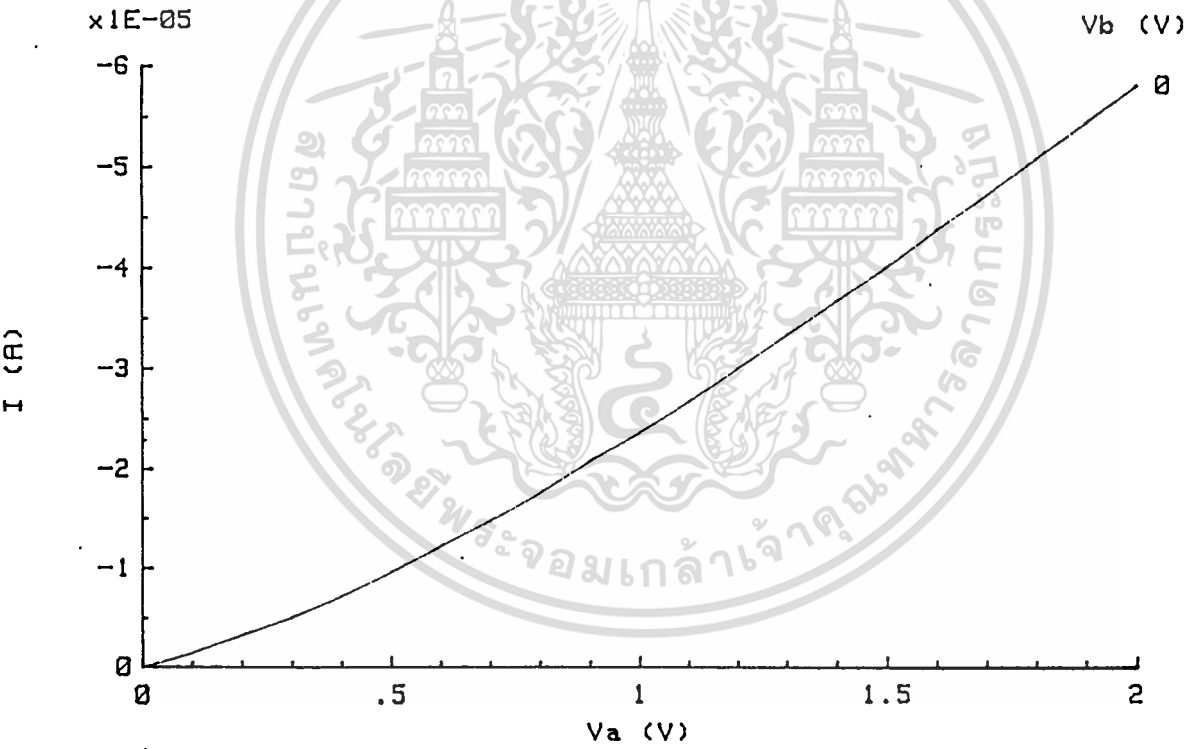
รูปที่ 4.1-1 (ก) แสดงคุณสมบัติกระแส-แรงดันของชิ้นงานที่ทำการแพร่ต่อมของทองคำ
ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= F 5/2



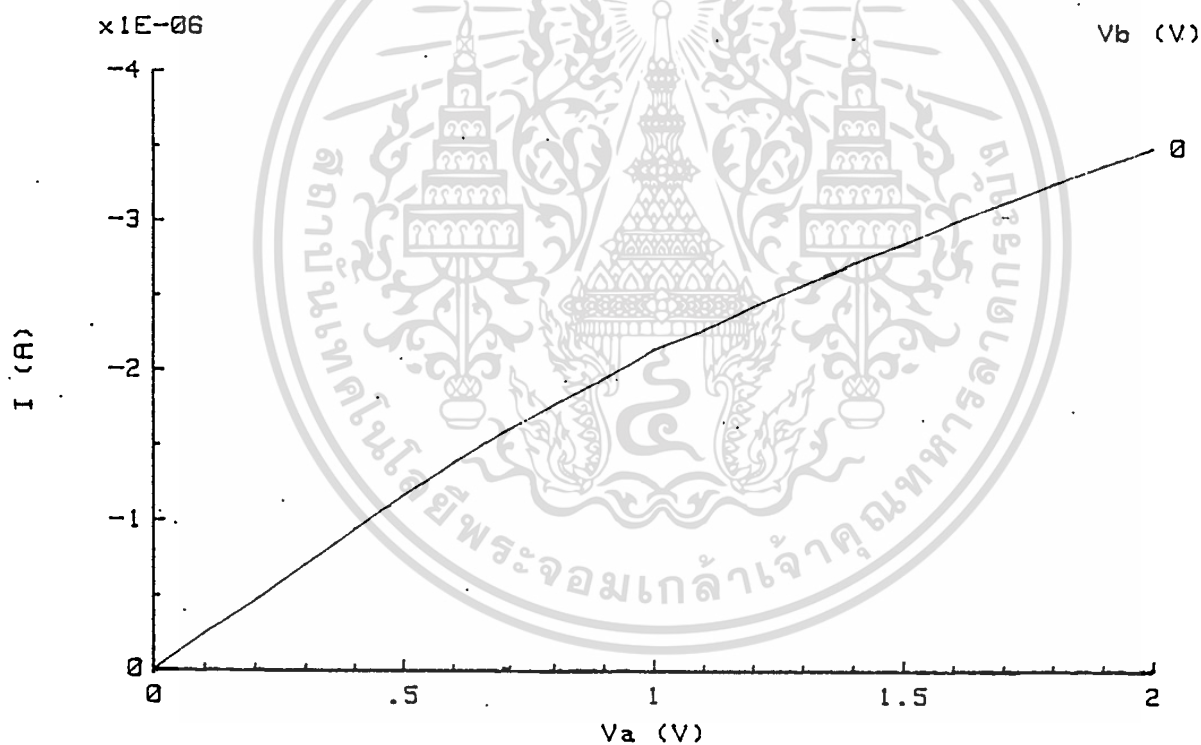
(ข) 1000 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.1-1 (ข) แสดงคุณสมบัติกระแส-แรงดันของชิ้นงานที่ทำการแพร่อะตอมของทองคำ ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

I-V. CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= I 5/3



(ค) 1100 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.1-1 (ค) แสดงคุณสมบัติกระแส-แรงดันของชิ้นงานที่ทำการแพร่อะตอมของทองคำ
ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1-1 นำไปคำนวณหาค่าพิกัดความต้านทานของฐานรองซิลิกอนโดยใช้สมการ

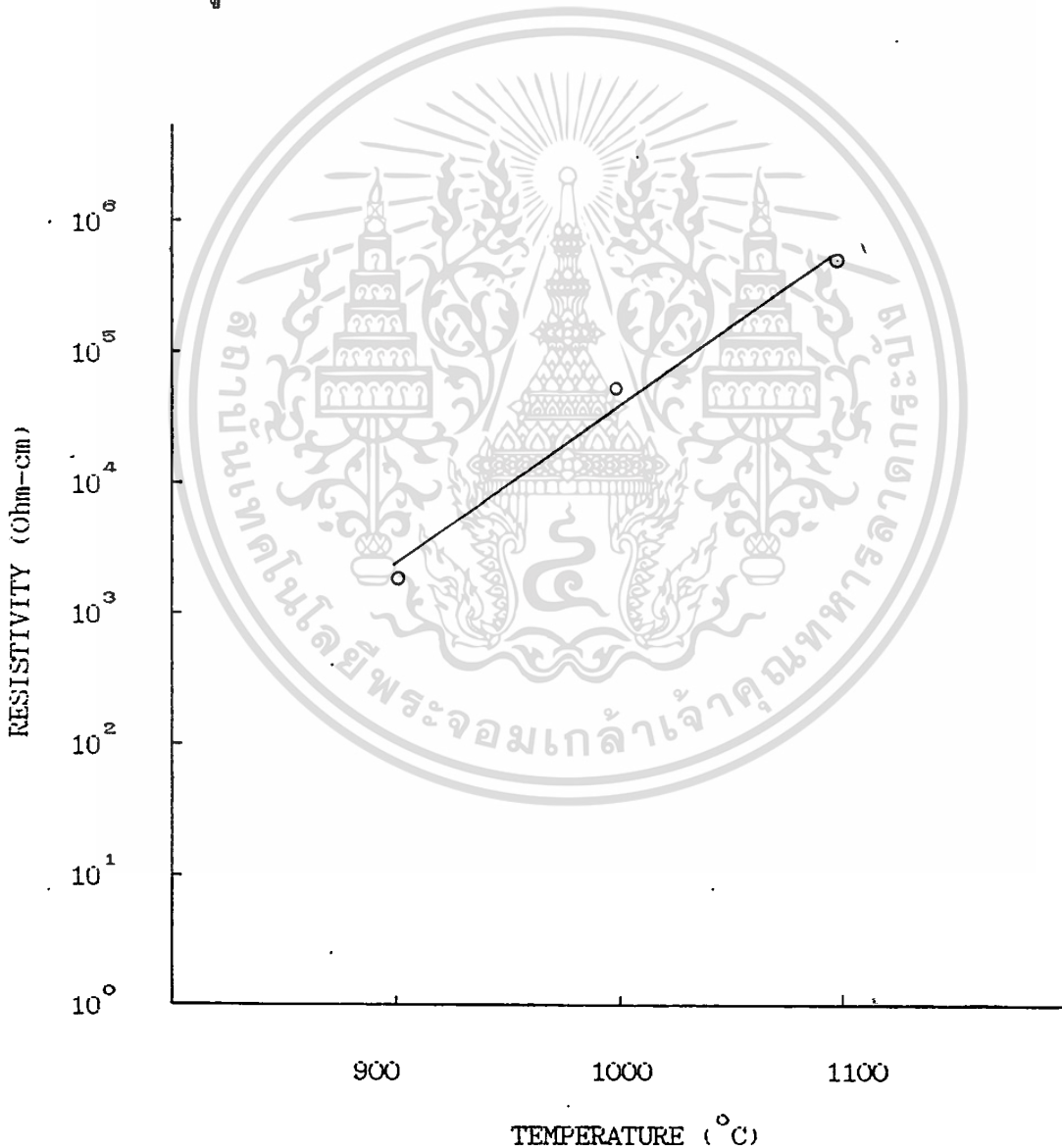
$$\rho = \frac{RA}{L}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของชิ้นงานเท่ากับ 4×10^{-2} ตารางเซนติเมตร

L คือ ความหนาของชิ้นงานเท่ากับ 390×10^{-4} เซนติเมตร

R คือ ค่าความต้านทานที่หาได้จากรูปที่ 4.1-1 ($R = \frac{V}{I}$) ที่แรงดัน 2 โวลต์

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1-2

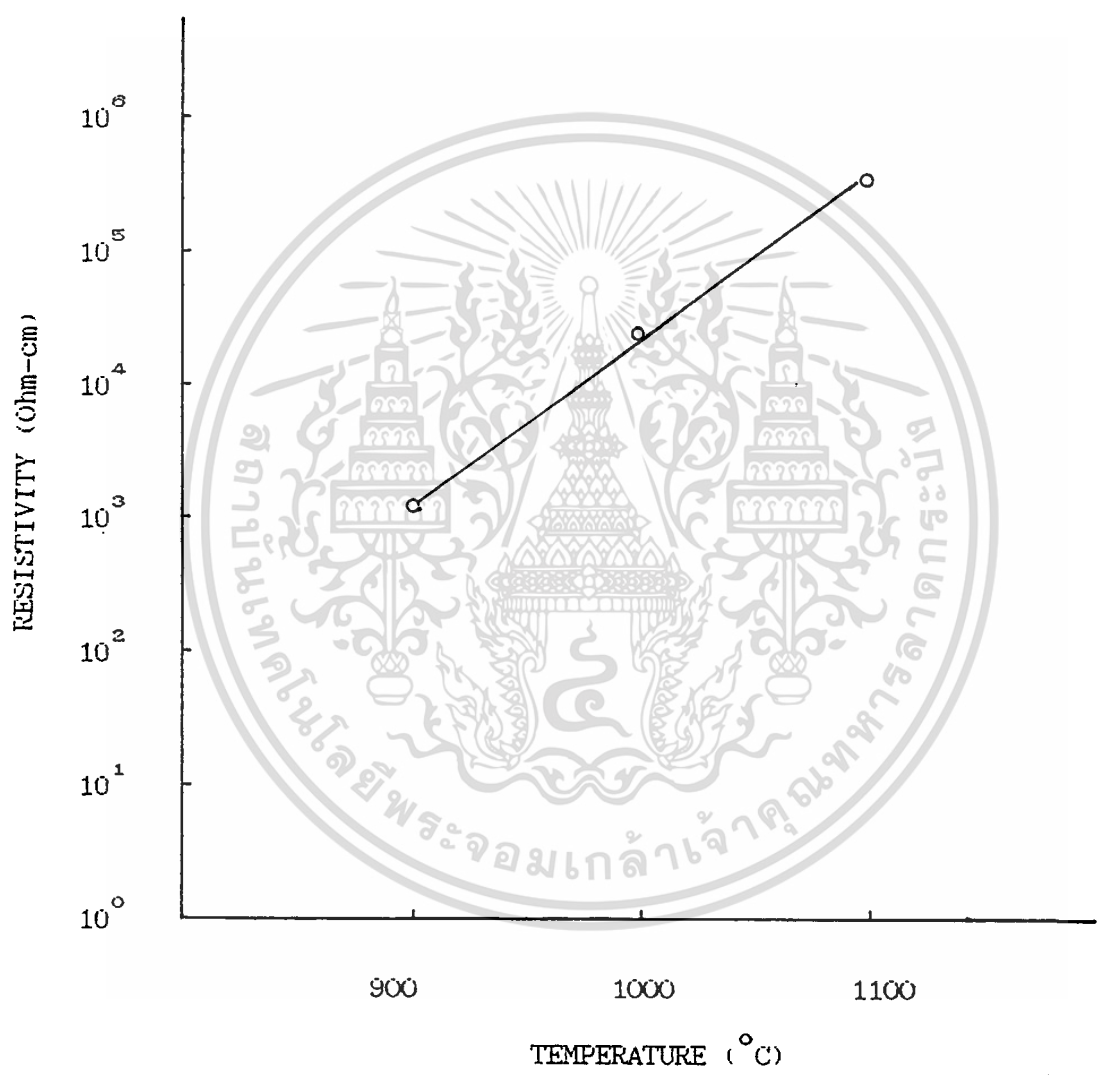


รูปที่ 4.1-2 แสดงค่าพิกัดความต้านทานของฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น หลังจากทำการแพรวะดอมของ

ทองคำเข้าไปที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าวิกฤตความต้านทานของฐานรองซิลิกอนชนิดนี้ ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำต่าง ๆ นั้นผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1-3



รูปที่ 4.1-3 แสดงค่าวิกฤตความต้านทานของฐานรองซิลิกอนชนิดนี้ หลังจากทำการแพร่อะตอมของทองคำเข้าไปที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ กัน

4.1.2. การคำนวณหาความหนาแน่นของอะตอมทองคำที่มีต่อค่าพลังงานเฟอร์มิของซิลิกอน

ในการคำนวณหาค่าระดับพลังงานเฟอร์มิของซิลิกอน หลังจากที่เราอะตอมของทองคำเข้าด้านหลังไปแล้วจะกระทำโดยนำค่า ρ_0 ที่คำนวณได้ที่แสดงความสัมพันธ์ ในกราฟรูปที่ 4.1-2 นำมาคำนวณหาค่า n_0 ด้วยสมการ 2.1-27 และ 2.1-28 ส่วนค่าพลังงานเฟอร์มิใช้สมการ 2.1-26

ผลการทดลองการคำนวณหาค่าระดับพลังงานเฟอร์มิแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าพลังงานเฟอร์มิ ของฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น ระบาย <100> ที่มีค่าพิกัดความดันทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร

อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ	E_F (eV)
900 °C	0.70
1000 °C	0.60
1100 °C	0.56

4.1.3. การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ

สำหรับทองคำที่เป็นสารเจือซิลิกอนมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่สูงคือประมาณ $7 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ที่อุณหภูมิการแพร่ 1100 องศาเซลเซียส ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำในซิลิกอนได้ด้วยการควบคุมอุณหภูมิการแพร่ ซึ่งในการคำนวณค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ กำหนดอุณหภูมิการแพร่เป็น 900 , 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ซึ่งการคำนวณจะอาศัยข้อมูลจากหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 โดยใช้ฐานรองเป็นชนิดเอ็นซึ่งมีค่า $N_D \gg N_A$ เราสามารถคำนวณความหนาแน่นของอะตอมทองคำได้จากสมการ 2.1-22

ผลการคำนวณค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำที่อุณหภูมิการแพร่ต่างๆ นั้นแสดงดังตารางที่ 4-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำกับอุณหภูมิการแพร่

อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ	$N_{Au} \text{ cm}^{-3}$
900 °C	9.4×10^{14}
1000 °C	1.4×10^{15}
1100 °C	5.0×10^{15}

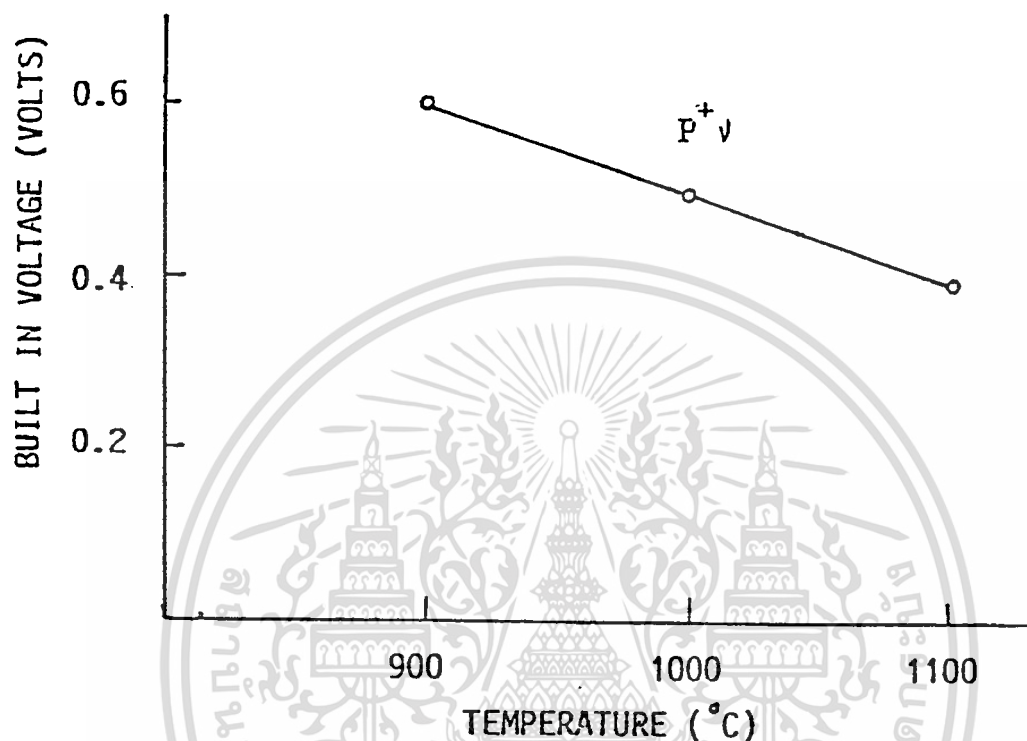
4.2. การทดลองและผลการทดลองผลของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็น

ในการศึกษาในหัวข้อนี้นี้กระทำโดยการสร้างรอยต่อพีเอ็นชนิด P^+n และ n^+p สำหรับ P^+n นั้น เราใช้ฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็นระนาบ <100> นิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร ส่วน n^+p นั้นใช้ฐานรองซิลิกอนชนิดพีระนาบ <100> นิกัดความต้านทาน 7 โอห์ม-เซนติเมตร แล้วทำการแพร่อะตอมของทองคำที่อุณหภูมิการแพร่เป็น 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4.2.1. การทดลองวัดผลของอะตอมทองคำต่อแรงดัน built in ของรอยต่อพีเอ็น

การทดลองและผลการทดลองนี้ จะทำการวัดหาความสัมพันธ์ของความจุไฟฟ้า(C)ของรอยต่อ P^+n กับแรงดันไบอัส โดยอาศัยกราฟระหว่าง $\left(\frac{1}{C}\right)^2$ กับแรงดันไบอัส V โดยที่ค่า $V = \text{built-in voltage}$ จะทำให้ค่า $\left(\frac{1}{C}\right)^2$ มีค่าเท่ากับศูนย์^[5] ความสัมพันธ์ระหว่าง built in voltage กับอุณหภูมิการแพร่ได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.2-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

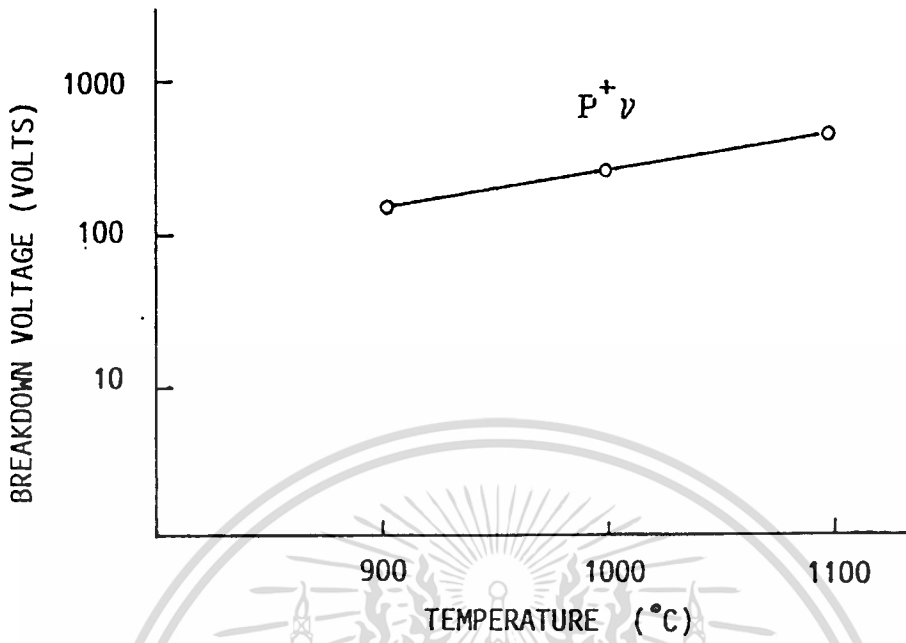


รูปที่ 4.2-1 แสดงความสัมพันธ์ของ built in voltage ต่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ

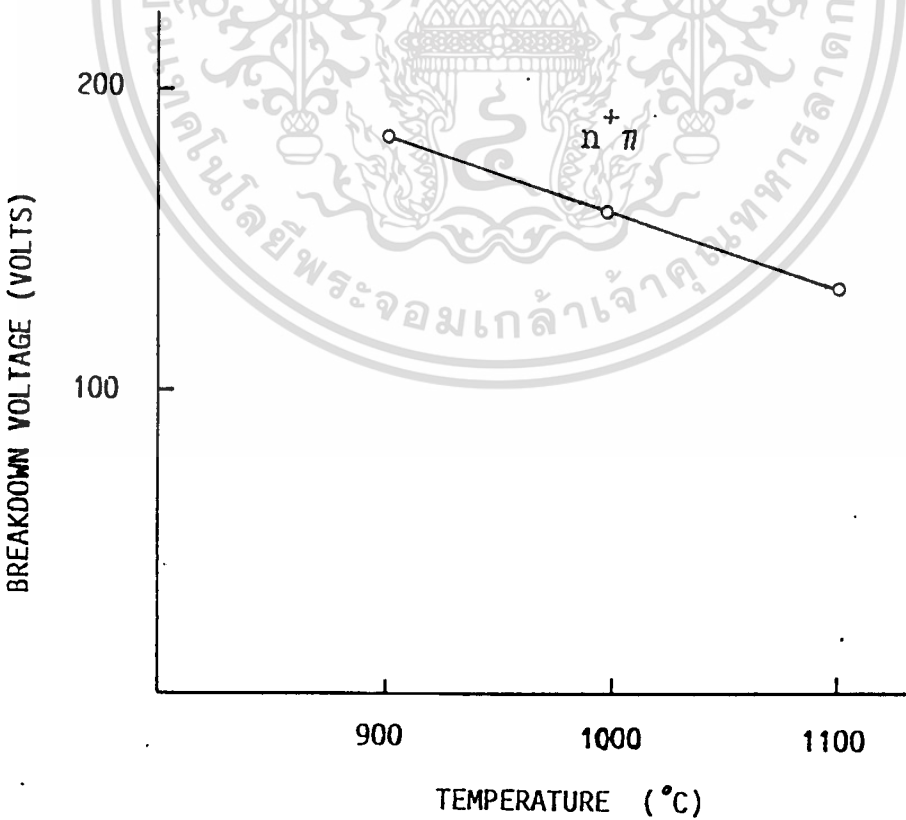
จากรูปที่ 4.2-1 พบว่าค่าแรงดัน built in voltage มีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิการแพร่ หรือความหนาแน่นของอะตอมทองคำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะทองคำจะเป็นตัวจับยึดอิเล็กตรอนในฐานรอง ทำให้มีอิเล็กตรอนที่นำกระแสจำนวนน้อย จึงมีค่าพลังงานเฟอร์มิเข้าใกล้ค่าพลังงานเฟอร์มิอินทรีนซิก ซึ่งมีผลให้ค่า built in voltage ลดลงตามลำดับ

4.2.2. การทดลองวัดผลของความหนาแน่นของอะตอมทองคำที่มีต่อแรงดันฟังก์ทลายของรอยต่อพีเอ็น

การทดลองและผลการทดลองความสัมพันธ์นี้จะทำการหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน (I-V curve) ของรอยต่อพีเอ็นต่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ ผลการทดลองของ I-V curve วัดจากเครื่อง curve tracer จากการทดลองนี้ นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันฟังก์ทลาย ต่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ ได้ดังรูปที่ 4.2-2 สำหรับรอยต่อ P^+V และ รูปที่ 4.2-3 สำหรับรอยต่อ n^+V โดยที่ทั้งสี่เส้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันพังทลายต่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำของรอยต่อ $P^+ \nu$

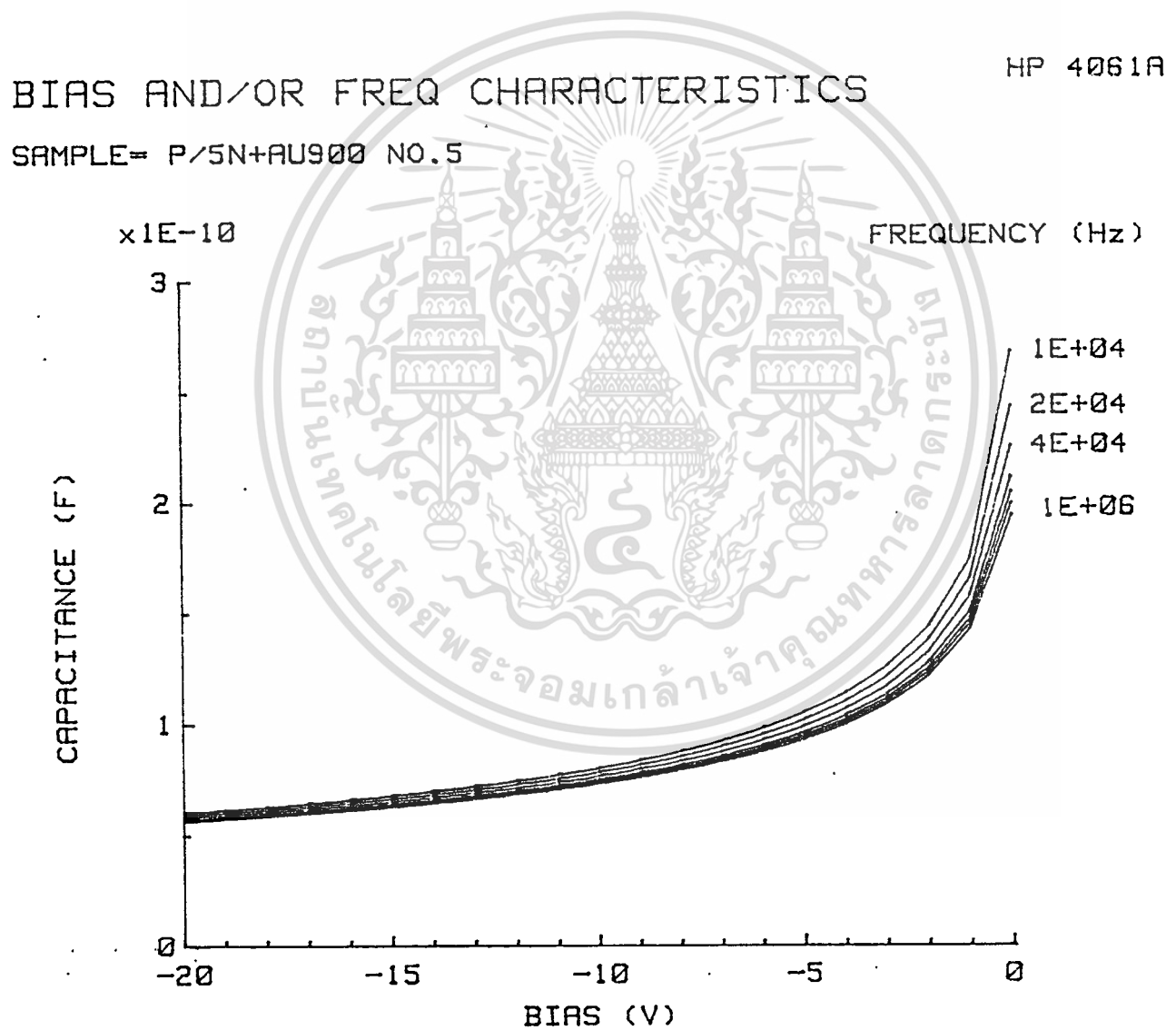


รูปที่ 4.2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันพังทลายต่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำของรอยต่อ $n^+ \pi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัย กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อปรับปรุงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3. การทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+n และ n^+p

ในการทดลองนี้จะหาค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+n และ n^+p ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมของค่าต่างกัน ผลการทดลองของความสัมพันธ์นี้ ใช้เครื่อง HP4061A โดยใช้ค่าแรงดันไบอัส จากค่า -20 ถึง 0 โวลต์ ที่ความถี่ระหว่าง 10, 20, 40, 100, 200, 400 กิโลเฮิรซ์ และ 1 เมกกาเฮิรซ์ ด้วยพื้นที่ของรอยต่อเป็น $3.24 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ ผลการทดลองค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ แสดงดังรูปที่ 4.2-4 (ก) , (ข) และ (ค)

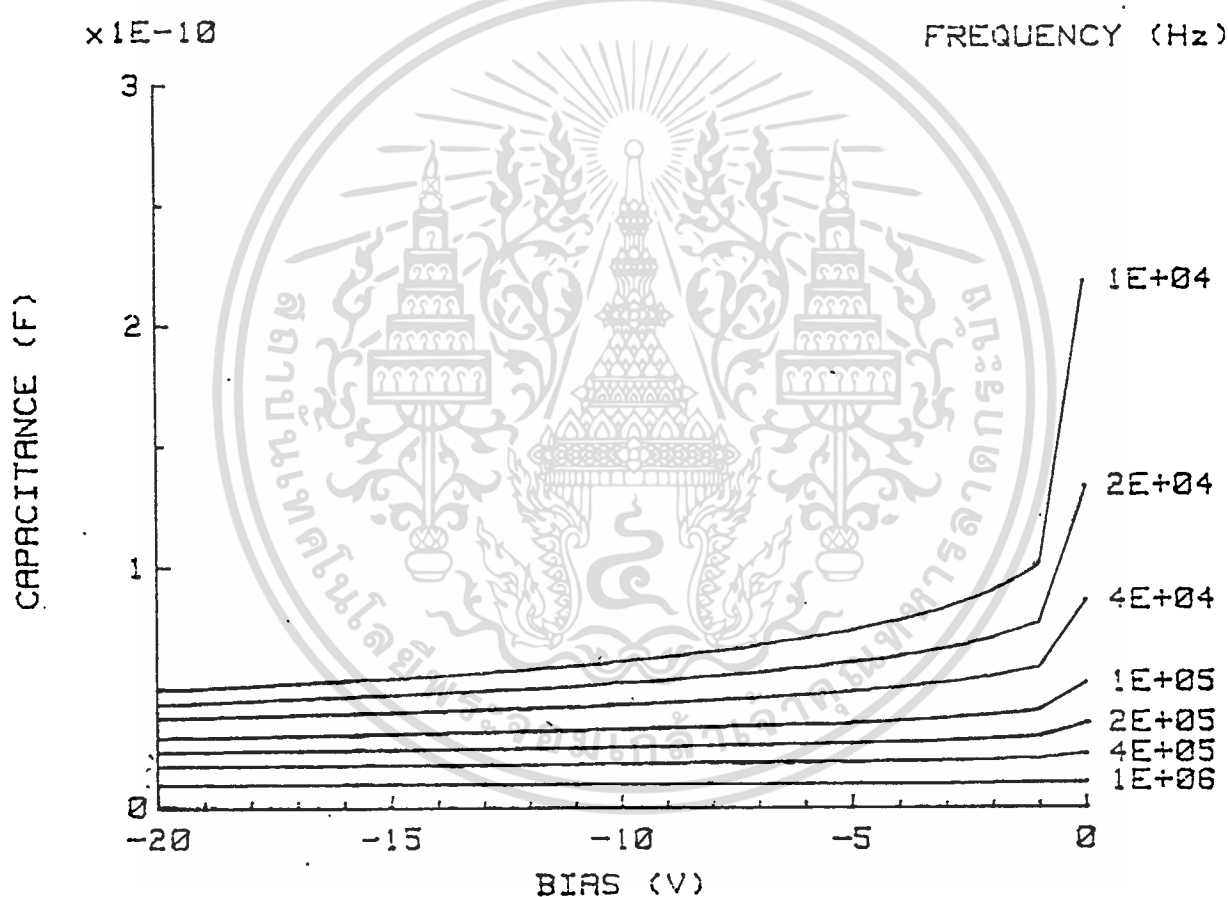


รูปที่ 4.2-4 (ก) แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+n กับแรงดันไบอัสที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมของค่า 900 องศาเซลเซียส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIAS AND/OR FREQ CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= P/5N+AU1000 NO.3



(ข)

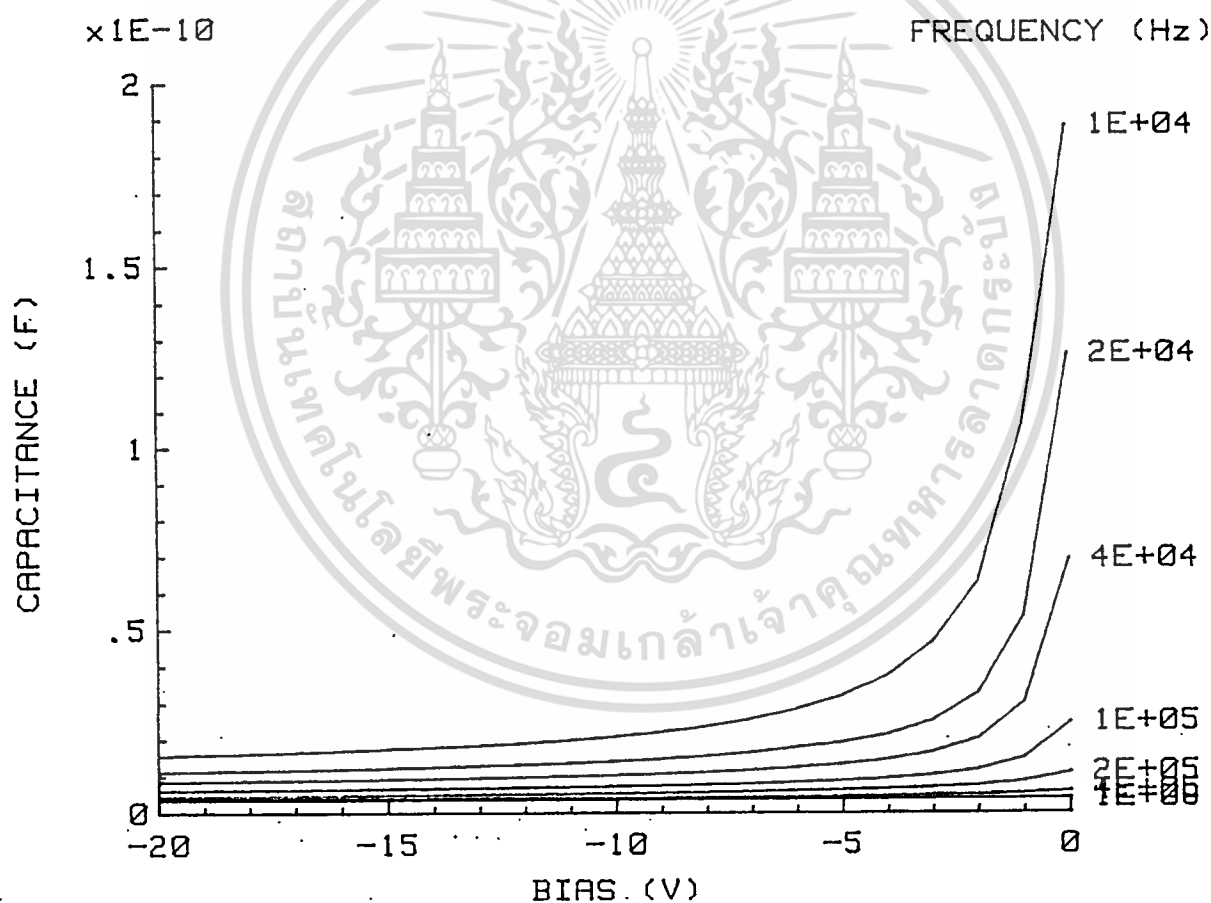
รูปที่ 4.2-4 (ข) แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+N กับแรงดันไบอัสที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1000 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIAS AND/OR FREQ CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= P/5N+AU1100



(ค)

รูปที่ 4.2-4 (ค) แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ P^+n กับแรงดันไบแอสที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

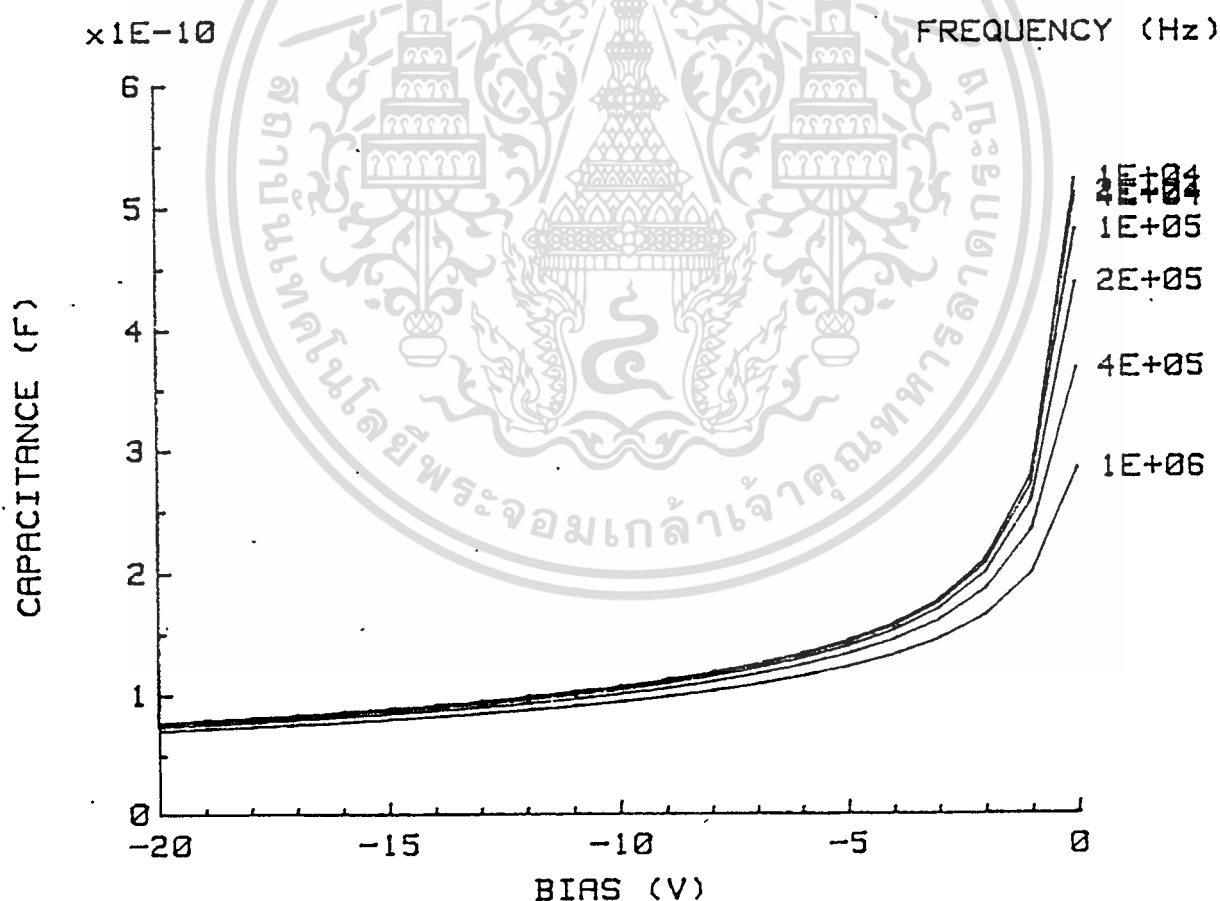
จากการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 4.2-4 (ก) , (ข) และ (ค) พบว่าที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำที่ 900 องศาเซลเซียส ค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ จะมีลักษณะเหมือนกับของรอยต่อพีเอ็น ทั่วไป ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นของอะตอมทองคำ ยังไม่มากพอที่จะมีผลสำคัญต่อค่าความจุไฟฟ้าในการที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำเป็น 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ค่าความจุไฟฟ้าเริ่มมีค่าคงที่ ที่ความถี่ประมาณ 400 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีค่าความจุไฟฟ้าเป็น 2 พิโคฟารัด

สำหรับค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ n^+p นั้น การทดลองนั้นกระทำเหมือนกับของรอยต่อ P^+n ซึ่งผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.2-5 (ก) , (ข) และ (ค)

BIAS AND/OR FREQ CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= N/7-13P+AU900 NO.2



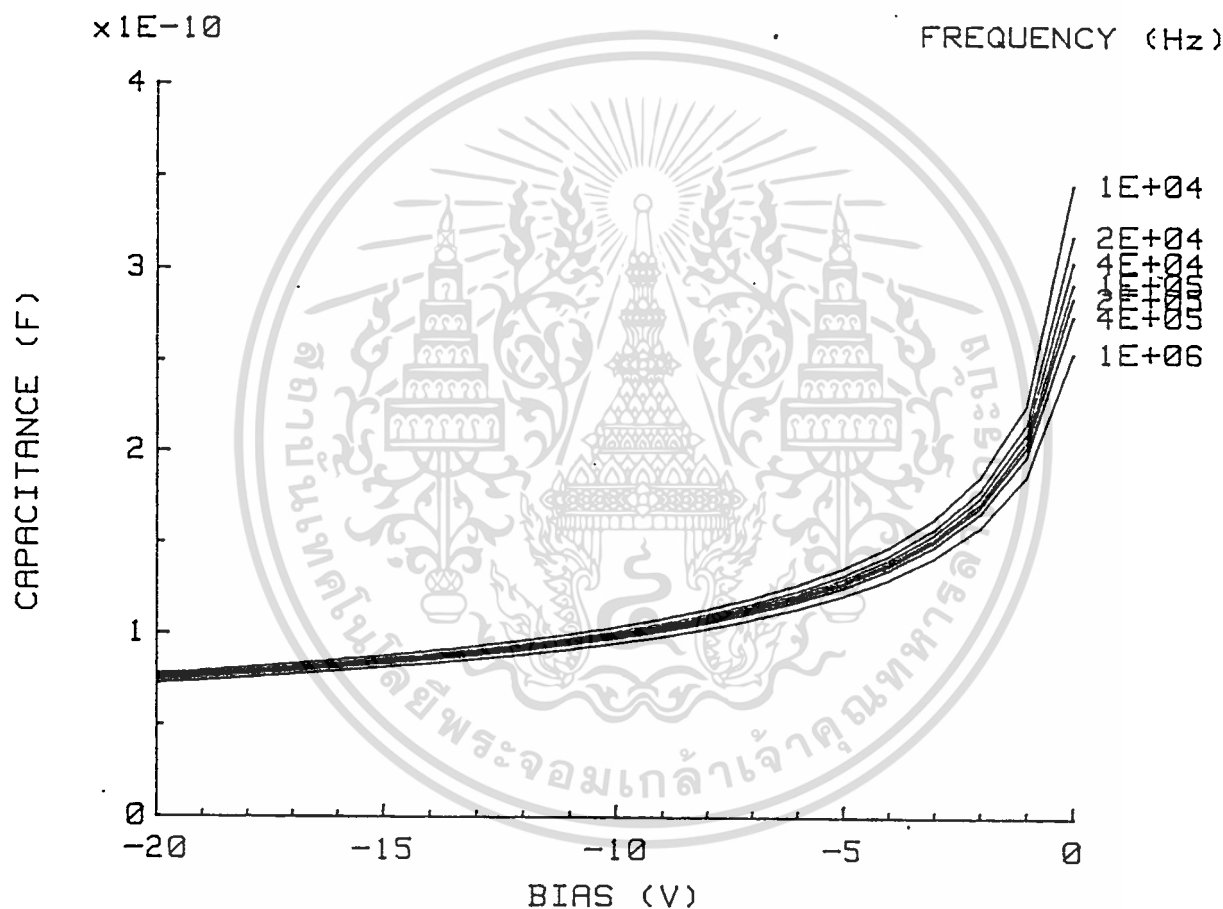
(ก)

รูปที่ 4.2-5 (ก) แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ n^+p กับแรงดันไบอัสที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HP 4061A

BIAS AND/OR FREQ CHARACTERISTICS

SAMPLE= N/7-13P+AU1000 NO.5



(ข)

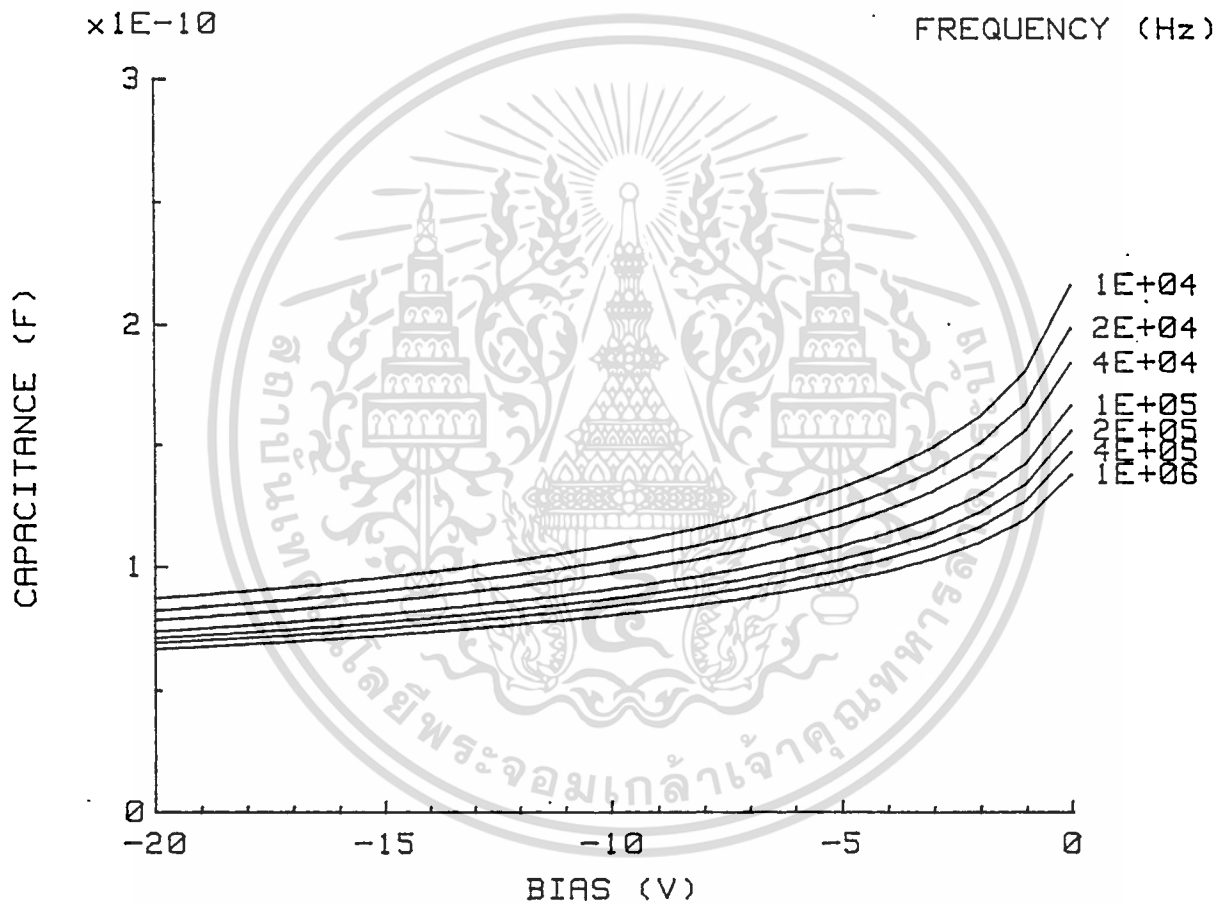
รูปที่ 4.2-5 (ข) แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ n^+n กับแรงดันไบแอสที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1000 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIAS AND/OR FREQ CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= N/7-13P+AU1100 NO.2



(ค)

รูปที่ 4.2-5 (ค) แสดงค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ n^+n กับแรงดันไบแอสที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองในรูปที่ 4.2-5 พบว่า ทั้ง 3 ค่าของอุณหภูมิการแพร่ความสัมพันธ์ของกราฟจะเหมือนกับในกรณีของรอยต่อพีเอ็นทั่วไป แต่มีข้อสังเกตว่าที่ค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำเพิ่มขึ้น (อุณหภูมิการแพร่สูงขึ้น) ค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อมีค่าลดลง และการตอบสนองความถี่ของอะตอมทองคำในฐานรองซิลิกอนชนิดพี นั้นพบว่าสามารถตอบสนองได้ทันต่อความถี่ ที่ป้อนเข้าไปในการวัด

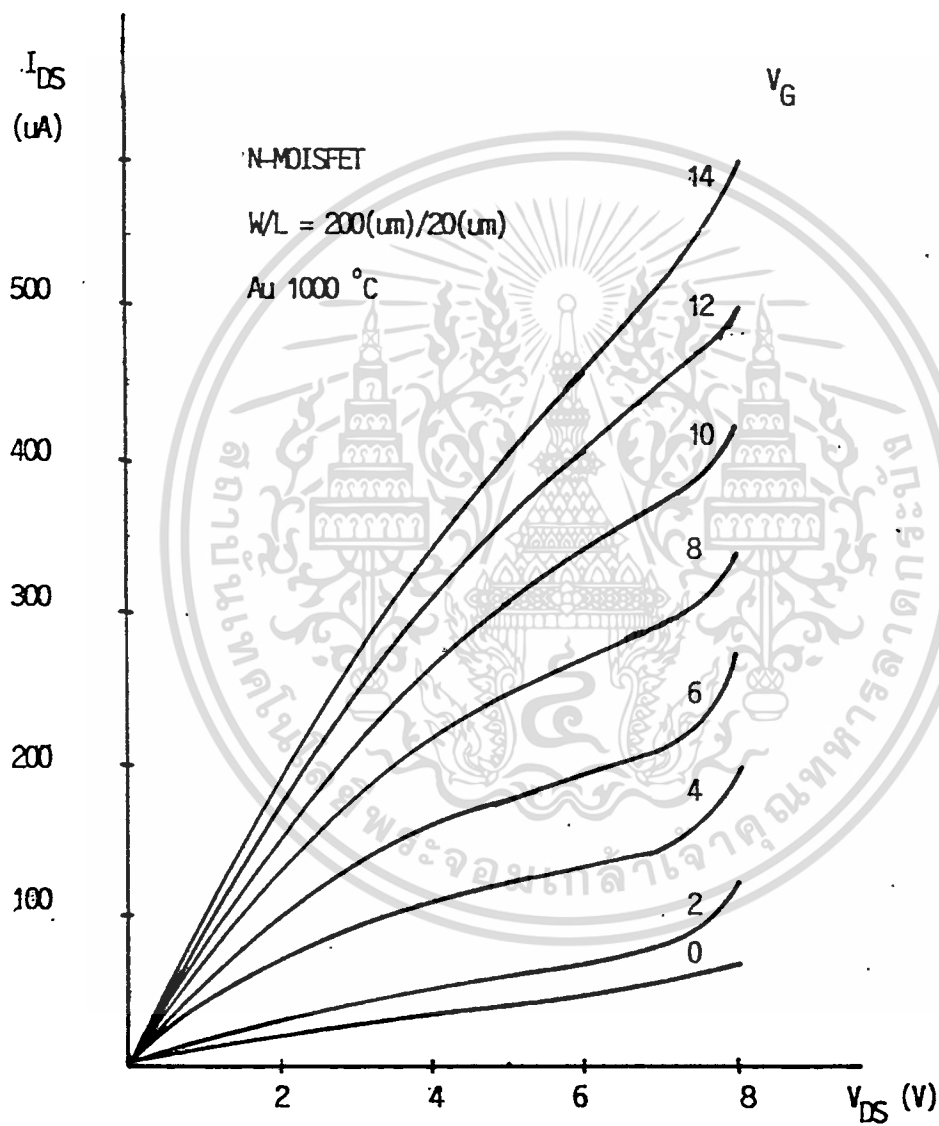
4.3. การทดลองและผลการทดลองคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอยซ์เฟต

สำหรับฐานรองของมอยซ์เฟตนั้น เกิดจากฐานรองเดิมแล้วทำการแพร่อะตอมของทองคำ เข้าไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเช่น ค่าฟังก์ชันความต้านทาน, ค่าพลังงานเฟอร์มิ ซึ่งในตอนต้นของการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิการแพร่สูงขึ้น ค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำสูงขึ้นโดยที่อุณหภูมิการแพร่ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าเป็น 9.4×10^{14} , 1.4×10^{15} และ 5×10^{15} ตามลำดับ และมีค่าพลังงานเฟอร์มิของฐานรองเป็น 0.7, 0.6 และ 0.56 eV ตามลำดับ ถ้าเรานำเอาข้อมูลดังกล่าวมาประกอบแล้วสร้างเป็นมอยซ์เฟตชนิดเอ็นจะพบว่าที่ 900, 1000 มีการทำงานเป็นแบบดีวีซีเอ็นแน่นอน เพราะค่าพลังงานเฟอร์มียังมีค่าสูงอยู่ ส่วนที่ค่า 0.56 eV นั้นพบว่าฐานรองเป็นอินทรีนซิค

4.3.1. สมการกระแส-แรงดัน

การทดลอง และผลการทดลองของความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ จะเริ่มด้วยการใช้ฐานรองชนิดเอ็นที่มีความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร ระบาย <100> แล้วแพร่อะตอมของทองคำ เข้าไปในฐานรองที่มีความหนาแน่นของอะตอมทองคำเป็น 9.4×10^{14} , 1.4×10^{15} และ 5×10^{15} ตามลำดับ

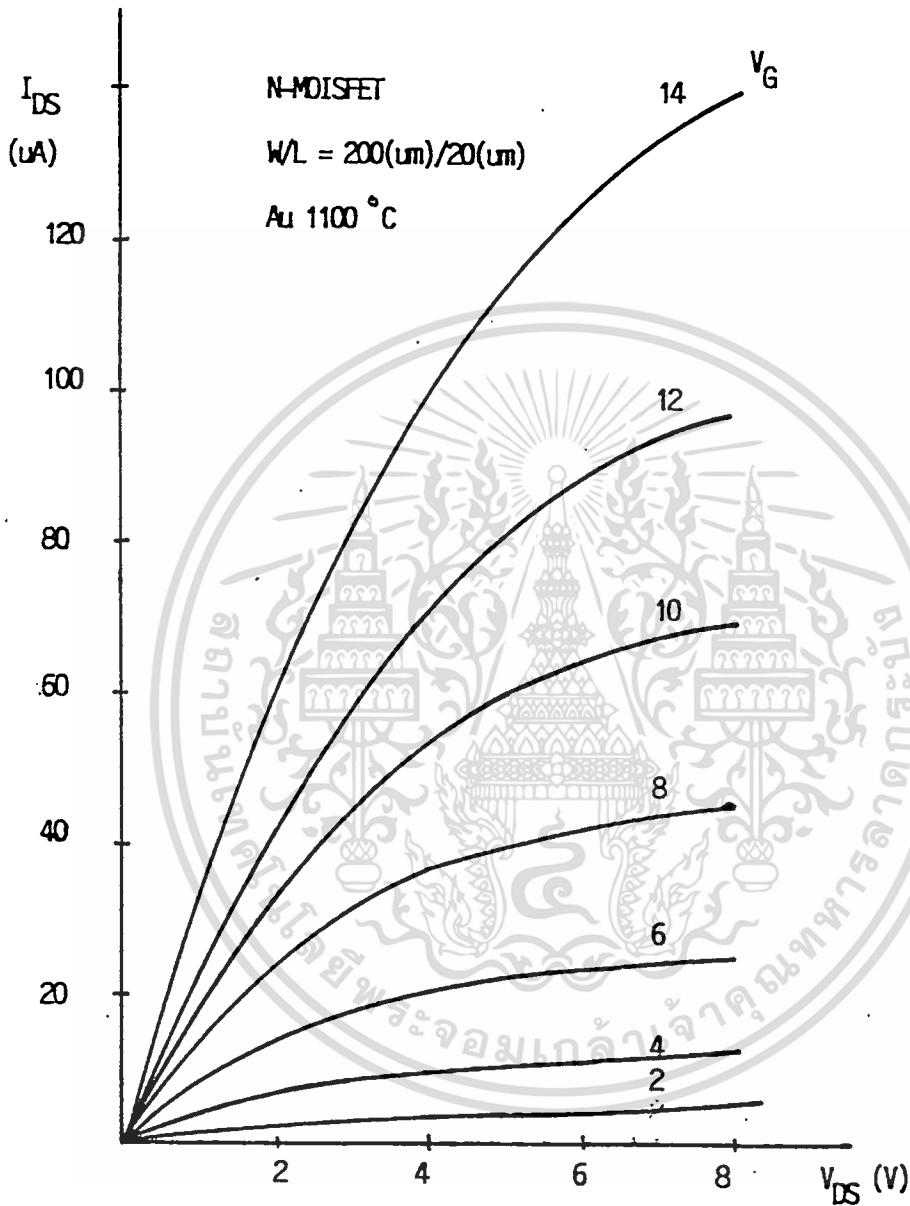
ผลการทดลองวัดความสัมพันธ์ของกระแส-แรงดัน ด้วยเครื่อง curve-tracer ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3-1 (ก) และ (ข)



(ก) 1000 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3-1 (ก) แสดงความสัมพันธ์กระแส-แรงดันของเอ็นมอสเฟต ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1000 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

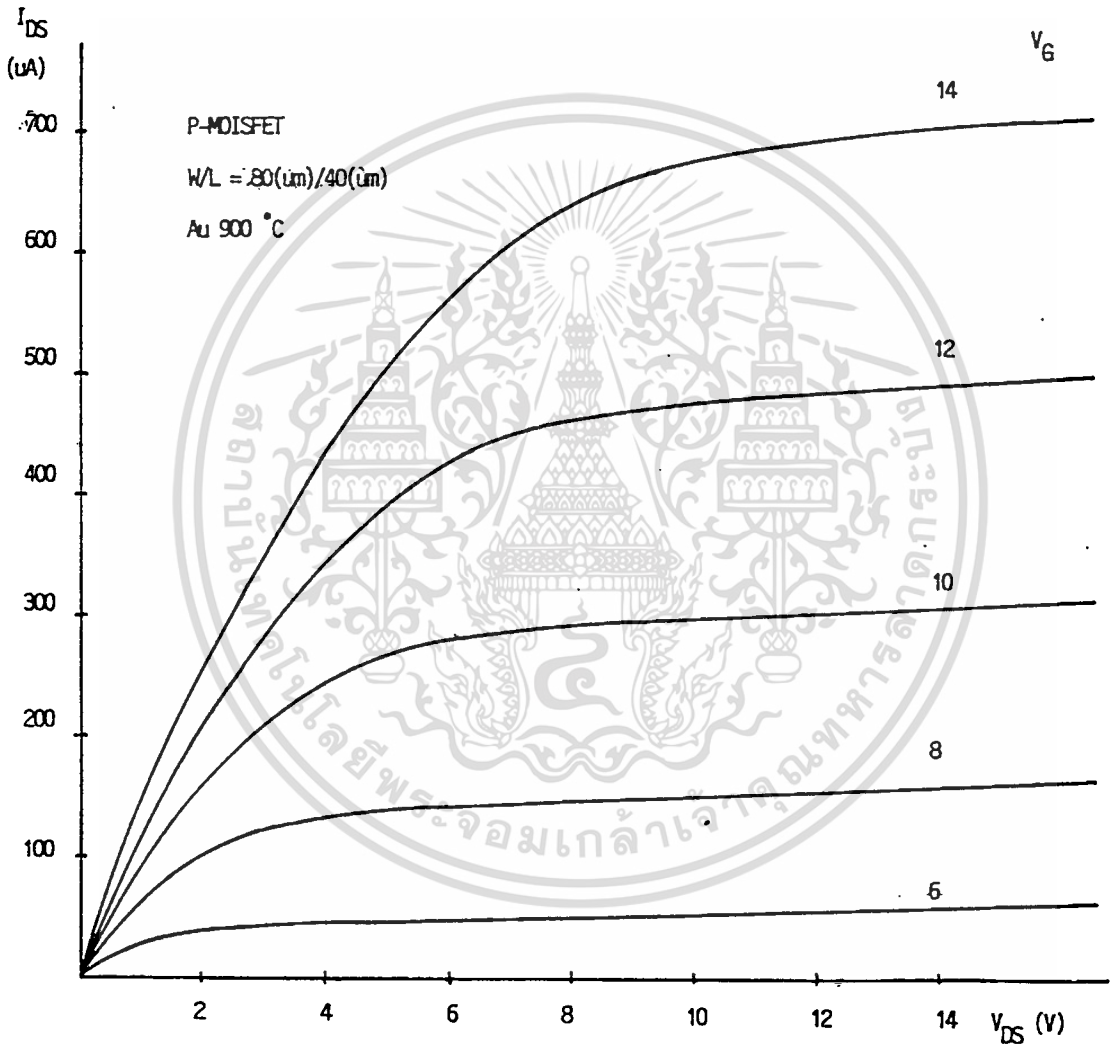


(ข) 1100 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3-1 (ข) แสดงความสัมพันธ์กระแส-แรงดันของเอ็นมอสเฟต ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1100 องศาเซลเซียส

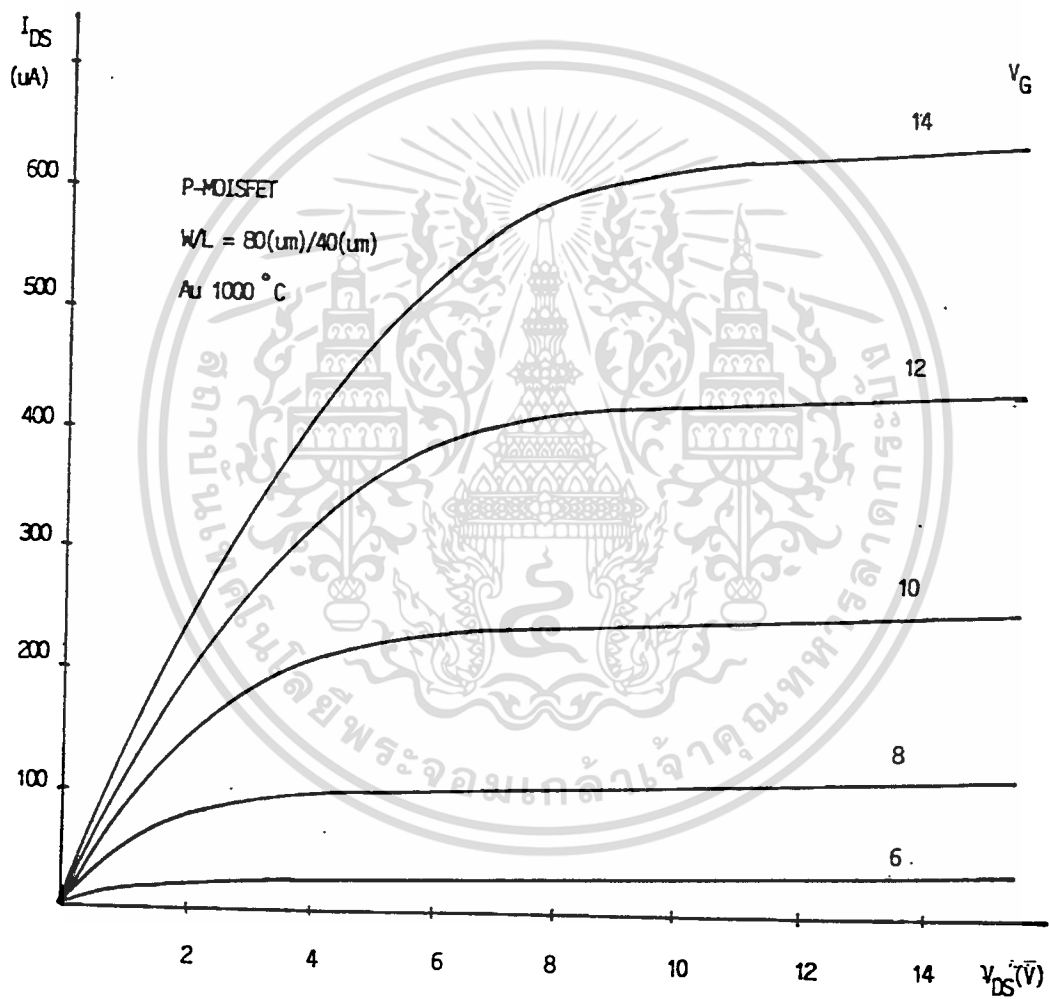
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผลการวัดกระแส และแรงดันในการนี้ของพีมอยซ์เฟต ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำเป็น 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3-2 (ก) , (ข) และ (ค)



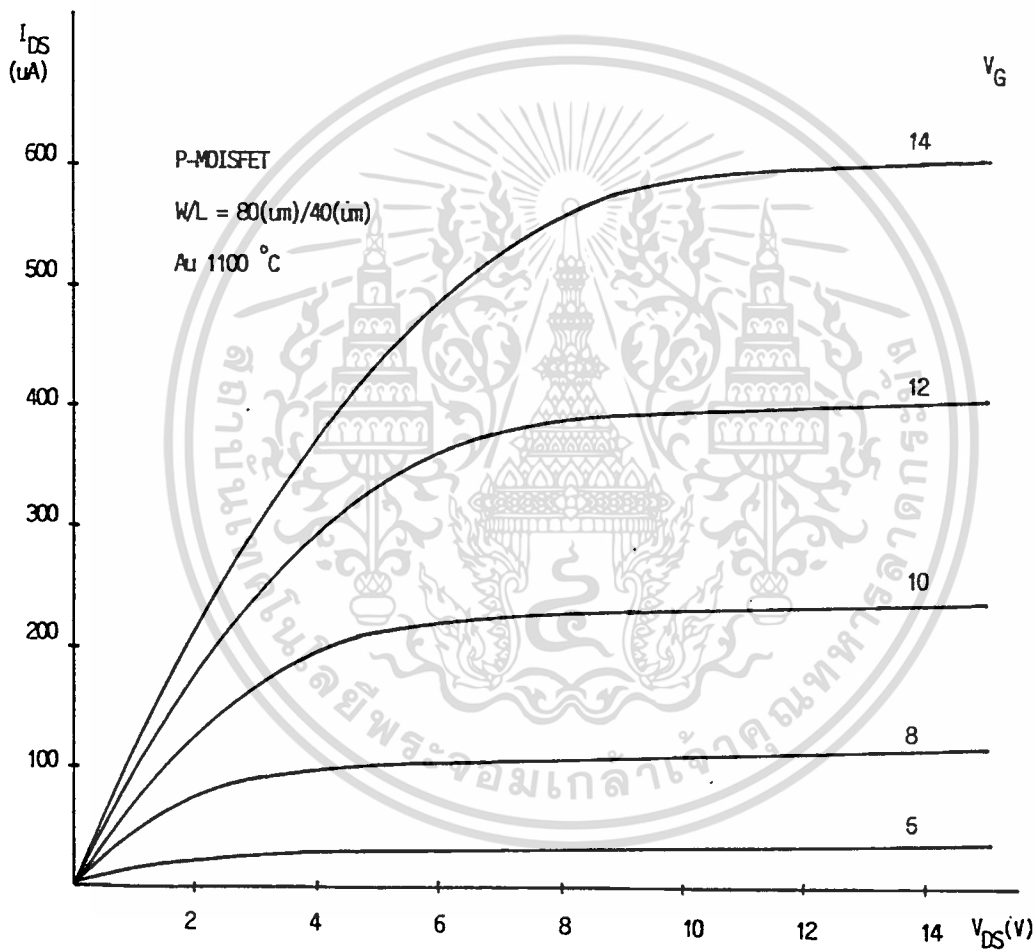
(ก) 900 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3-2 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของกระแส - แรงดันของพีมอยซ์เฟตที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 900 องศาเซลเซียส



(ข) 1000 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3-2 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของกระแส - แรงดันของเมมอริสเฟดที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1000 องศาเซลเซียส



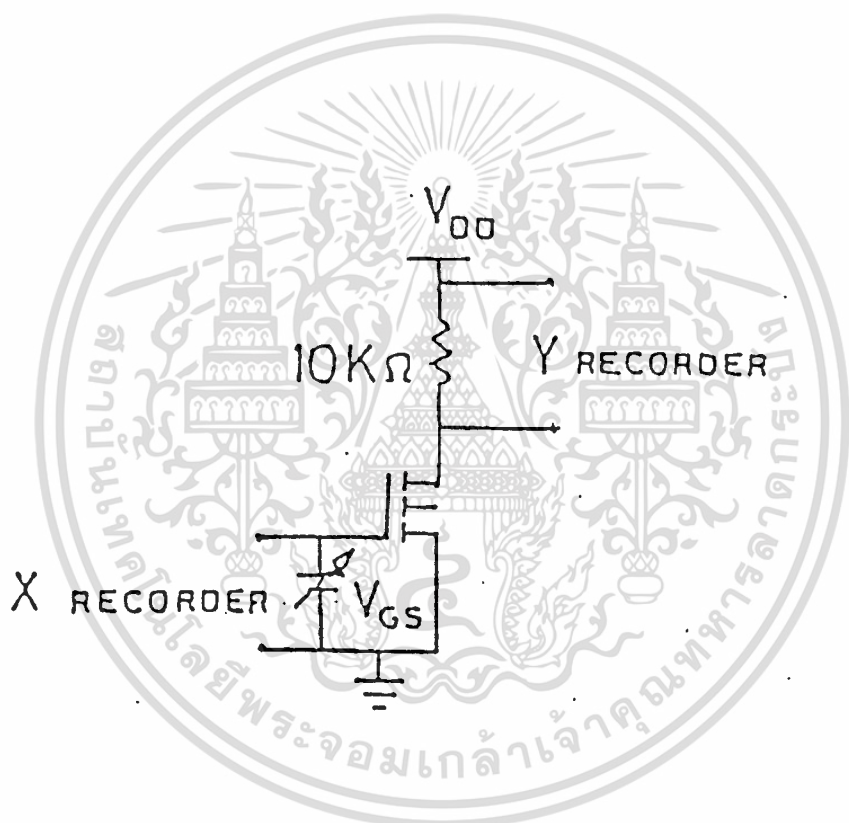
(ค) 1100 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3-2 (ค) แสดงความสัมพันธ์ของกระแส - แรงดันของฟิล์มออกไซด์ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

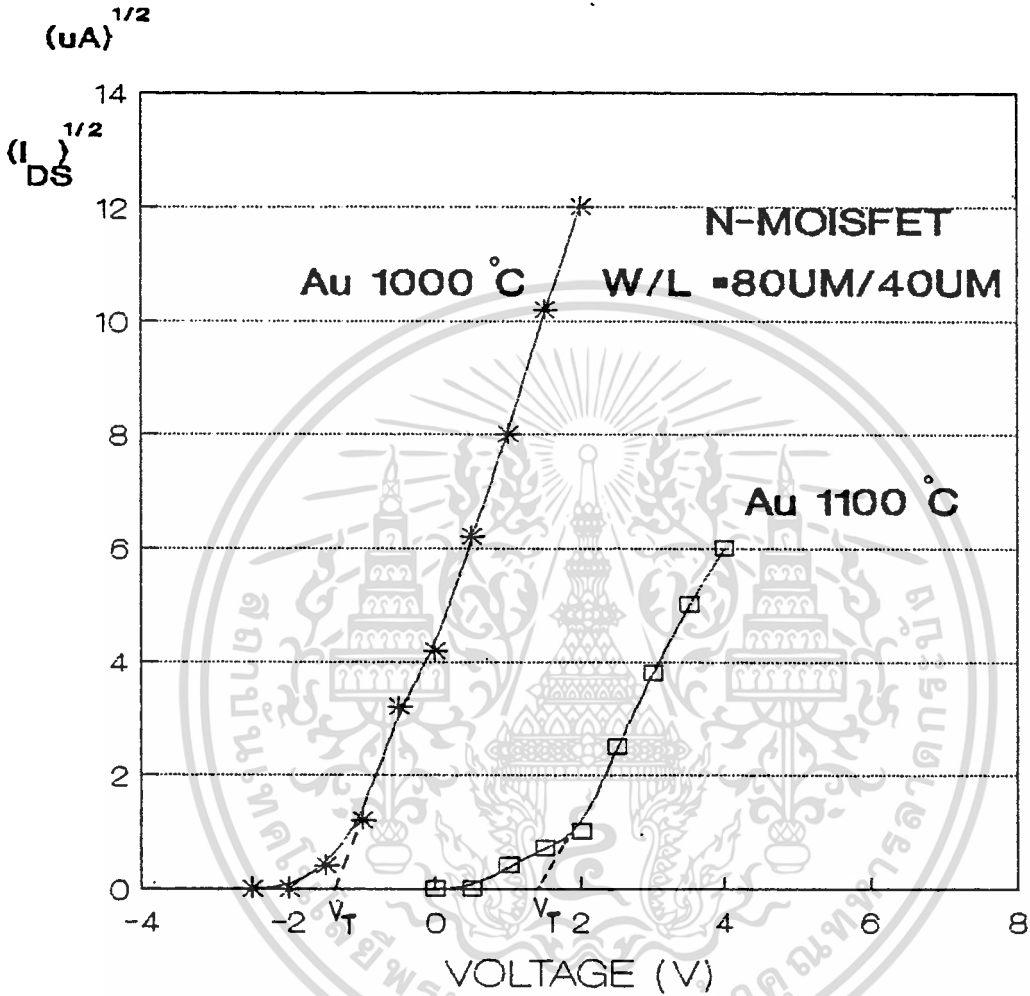
4.3.2 ค่าแรงดันขีดเริ่ม

การหาค่าความสัมพันธ์ของแรงดันขีดเริ่มกับความหนาแน่นของอะตอมทองคำนั้นเลือกฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็นพิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร ระบาย <100> แล้วแพร่อะตอมของทองคำที่อุณหภูมิการแพร่เป็น 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความหนาแน่นของอะตอมทองคำเป็น 9.4×10^{14} , 1.4×10^{15} และ $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ตามลำดับ แล้วทำการสร้างตามกระบวนการสร้าง ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 จากนั้นจึงทำการทดสอบด้วยวงจรดังรูปที่ 4.3-3



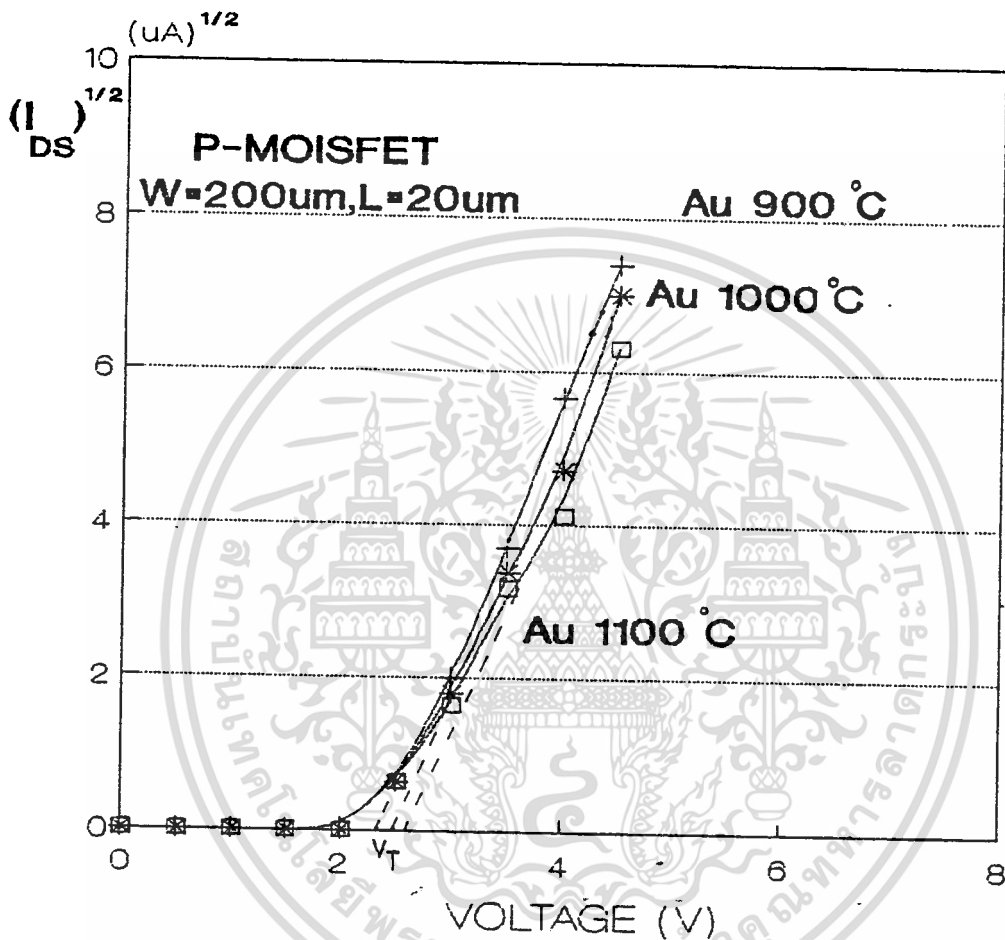
รูปที่ 4.3-3 แสดงวงจรการทดสอบแรงดันขีดเริ่ม

การทดสอบกระทำโดยป้อนแรงดัน V_{DS} ด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ 10 โวลต์ จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าแรงดัน V_G ที่เกตจากศูนย์โวลต์ไปสู่อะตอมไฟเลี้ยง บันทึกผลด้วยเครื่องบันทึก 2 แกนหลังจากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\sqrt{I_{DS}}$ กับ V_G เพื่อหาค่าแรงดันขีดเริ่มที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3-4



รูปที่ 4.3-4 แสดงความสัมพันธ์แรงดันขีดเริ่มกับอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำของ
เอ็นเอ็มเอสเฟต

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขีดเริ่มกับอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำที่ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียสของฟิล์มยอขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.3-5

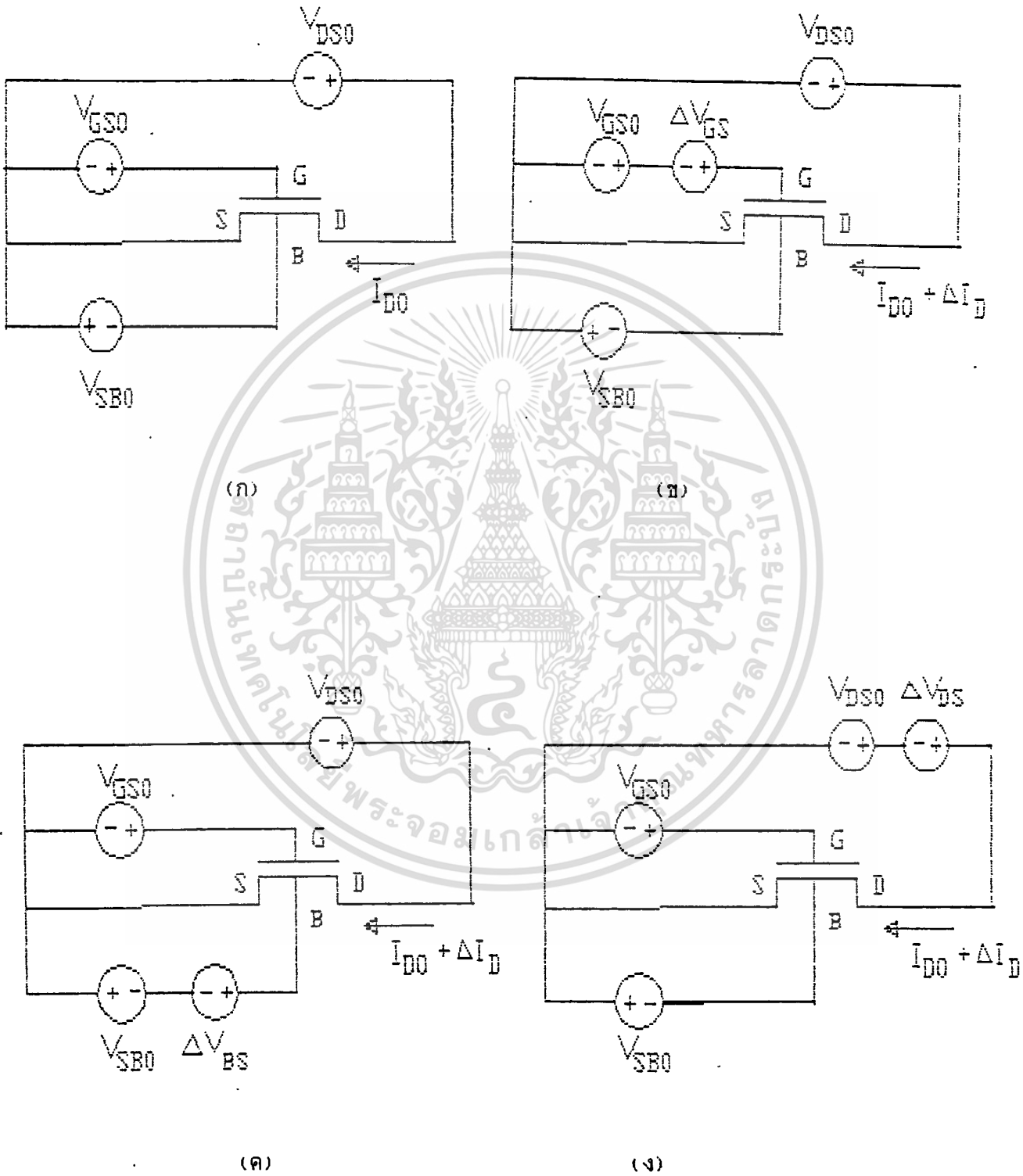


รูปที่ 4.3-5 แสดงความสัมพันธ์แรงดันขีดเริ่มกับอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำของฟิล์มออกไซด์

4.4 การทดลองและผลการทดลองหาพารามิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของมอสเฟต

ในการทดลองหาพารามิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของมอสเฟต ทั้งชนิดพีและเอ็นมอสเฟตจากที่เราทราบว่าการทดลองนั้นขึ้นอยู่กับค่า g_m , g_{m0} และ g_d พารามิเตอร์การทดลองค่าดังกล่าวนี้ แสดงดังรูปที่ 4.4-1 ซึ่งเป็นในกรณีของเอ็นมอสเฟตส่วนฟิล์มออกไซด์พารามิเตอร์การทดลองเหมือนกันกับของเอ็นมอสเฟตต่างกันตรงที่ แรงดันไบอัสที่กลับหัวไฟฟ้าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4-1 แสดงวงจรการทดลองหาจรสมมูลไฟฟ้ากระแสตรง

(ก) จุดเริ่มต้นทำงาน

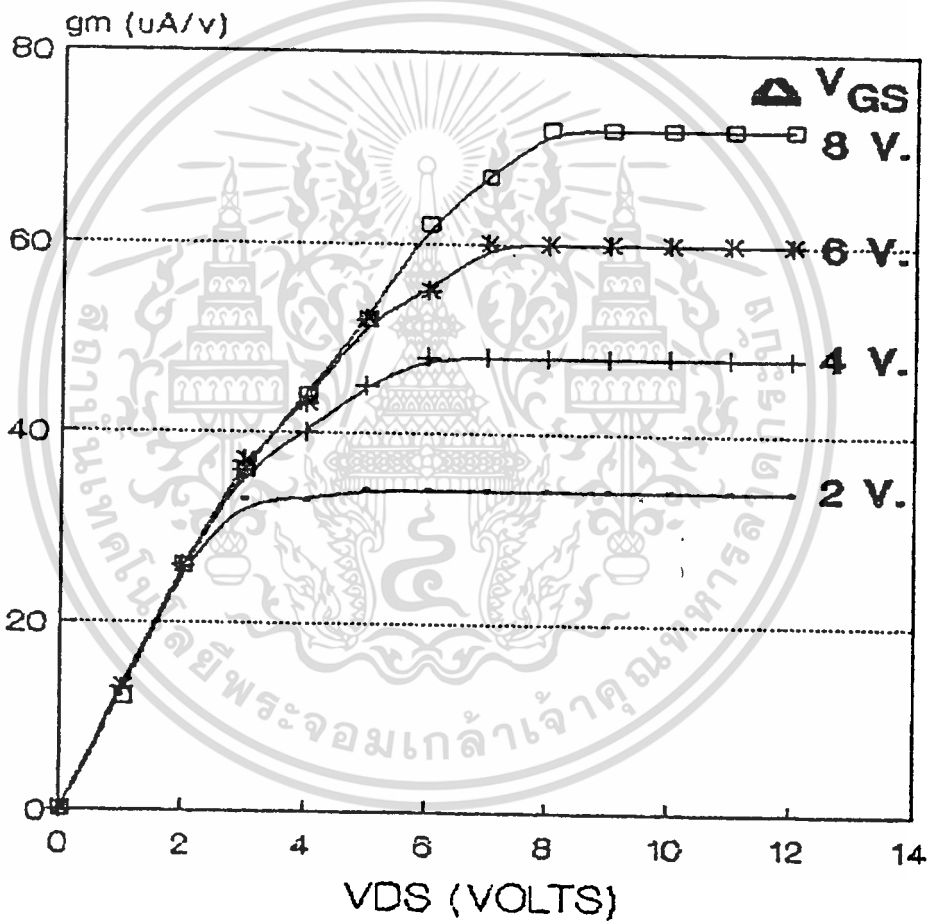
(ข) หาค่า g_m

(ค) หาค่า g_{mb}

(ง) หาค่า g_d

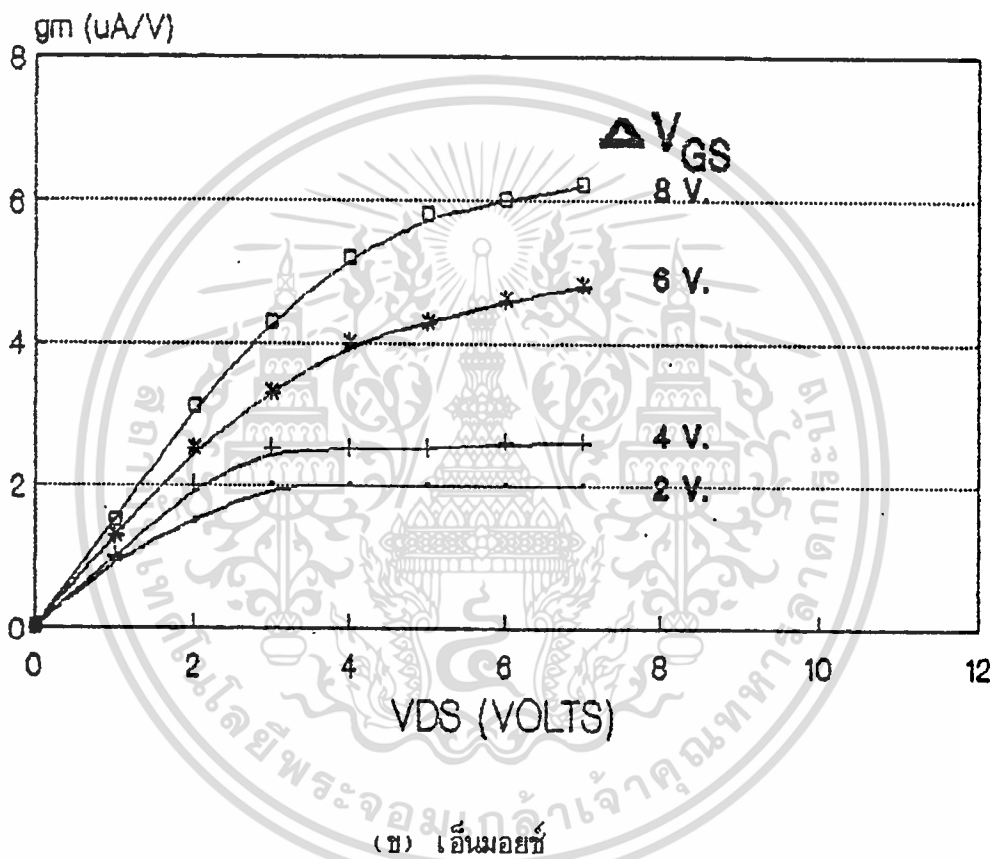
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองหาค่า g_m การทดลองเริ่มจากปรับค่า เริ่มต้นของแรงดันไบอัสเป็น V_{SD0} เท่ากับ ศูนย์โวลต์เพื่อเป็นการไม่ให้เกิดการไบอัสย้อนกลับที่มอยซ์เฟต เพราะในการใช้งานทั่วไปของมอยซ์เฟตนั้น ไม่มีการไบอัสย้อนกลับ ส่วนค่าแรงดันอีก 2 ค่า กำหนดเป็น V_{GS0} และ V_{DS0} ผลการทดลองค่า g_m ทั้งเพิ่มมอยซ์และเอนมอยซ์แสดงดังรูปที่ 4.4-2



(ก) เพิ่มมอยซ์

รูปที่ 4.4-2 (ก) แสดงค่า g_m ของเพิ่มมอยซ์เฟต



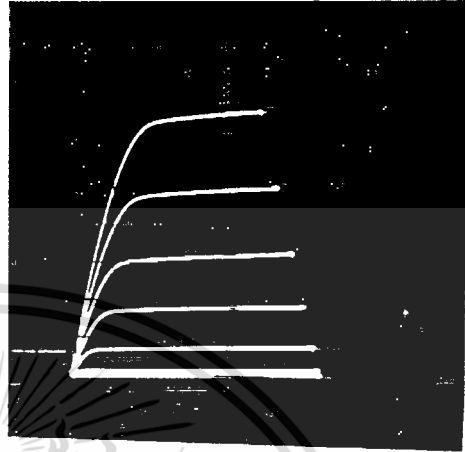
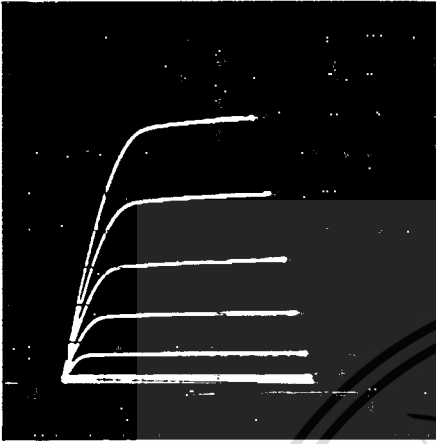
รูปที่ 4.4-2 (ข) แสดงค่า g_m ของเอ็นเมอชพี

สำหรับการทดลองหาค่า ขั้วเสถียรทรานส์คอนดักแตนซ์ g_{mb} แรงดันไบอัสเริ่มต้นอยู่ที่ V_{DS0} และ V_{GS0} และทำการเปลี่ยนแปลงค่าของ ΔV_{DS} ซึ่งผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าของ ΔI_D กับ ΔV_{DS} นั้น แสดงดังรูปที่ 4.4-3. ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I_D - V_{DS}$ ที่ค่าไบอัสย้อนกลับต่างๆค่ากันของพีมอชพีและเอ็นเมอชพีเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน X : 5V./DIV

แกน Y : 0.05 mA/DIV



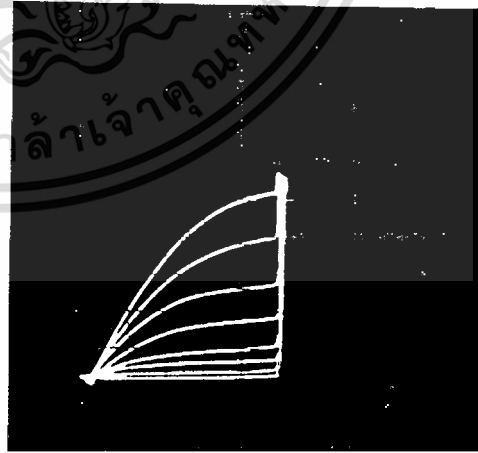
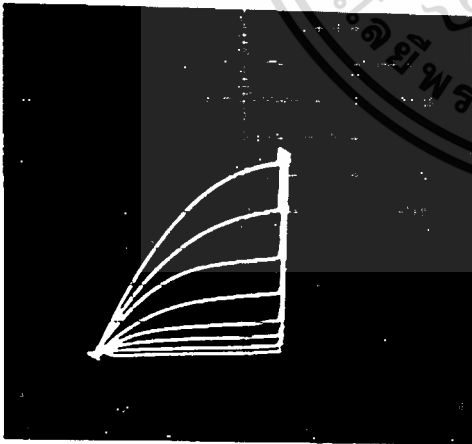
$V_{DS} = 0 \text{ V.}$

$V_{DS} = -30 \text{ V.}$

(ก) พีเอ็มออสเฟต

แกน X : 2V/DIV

แกน Y : 0.02 mA/DIV



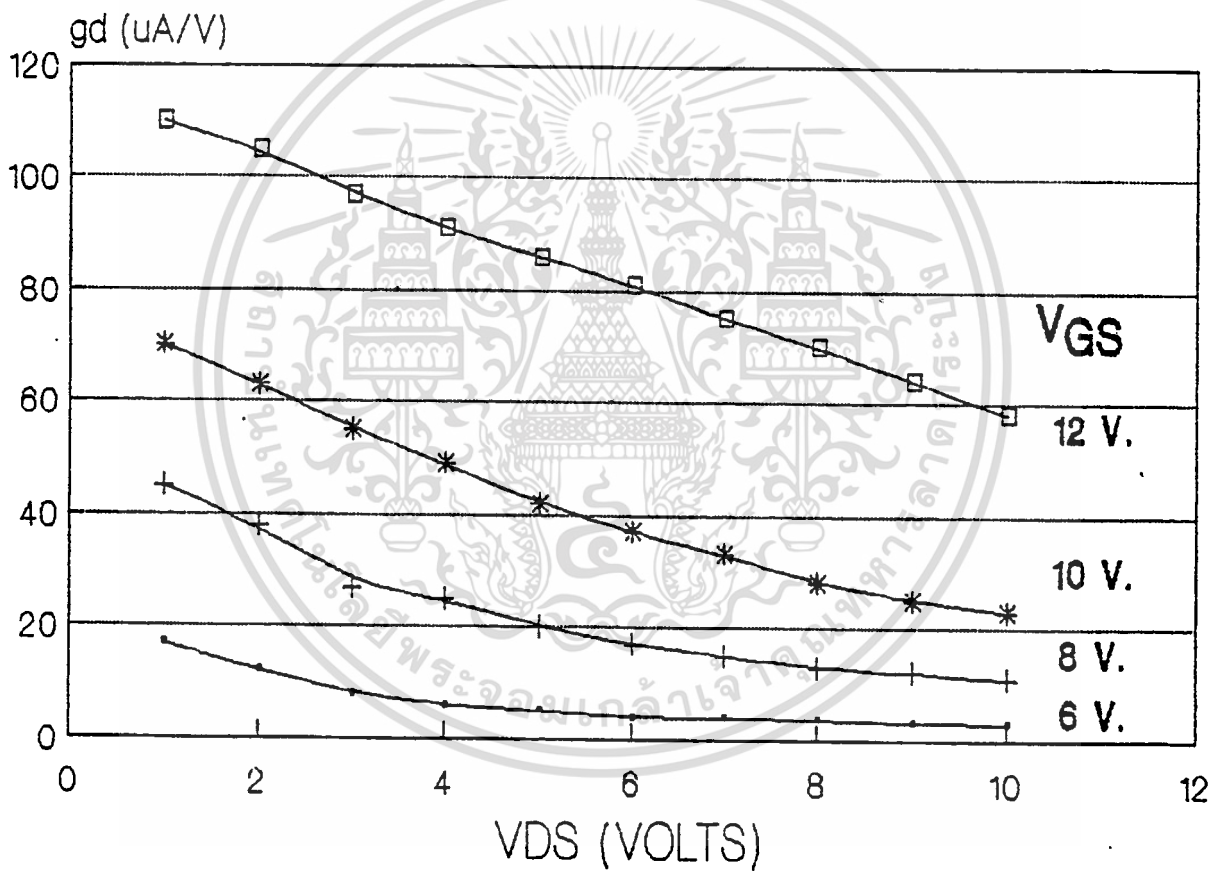
$V_{DS} = 0 \text{ V.}$

$V_{DS} = +20 \text{ V.}$

(ข) เอ็นมอสเฟต

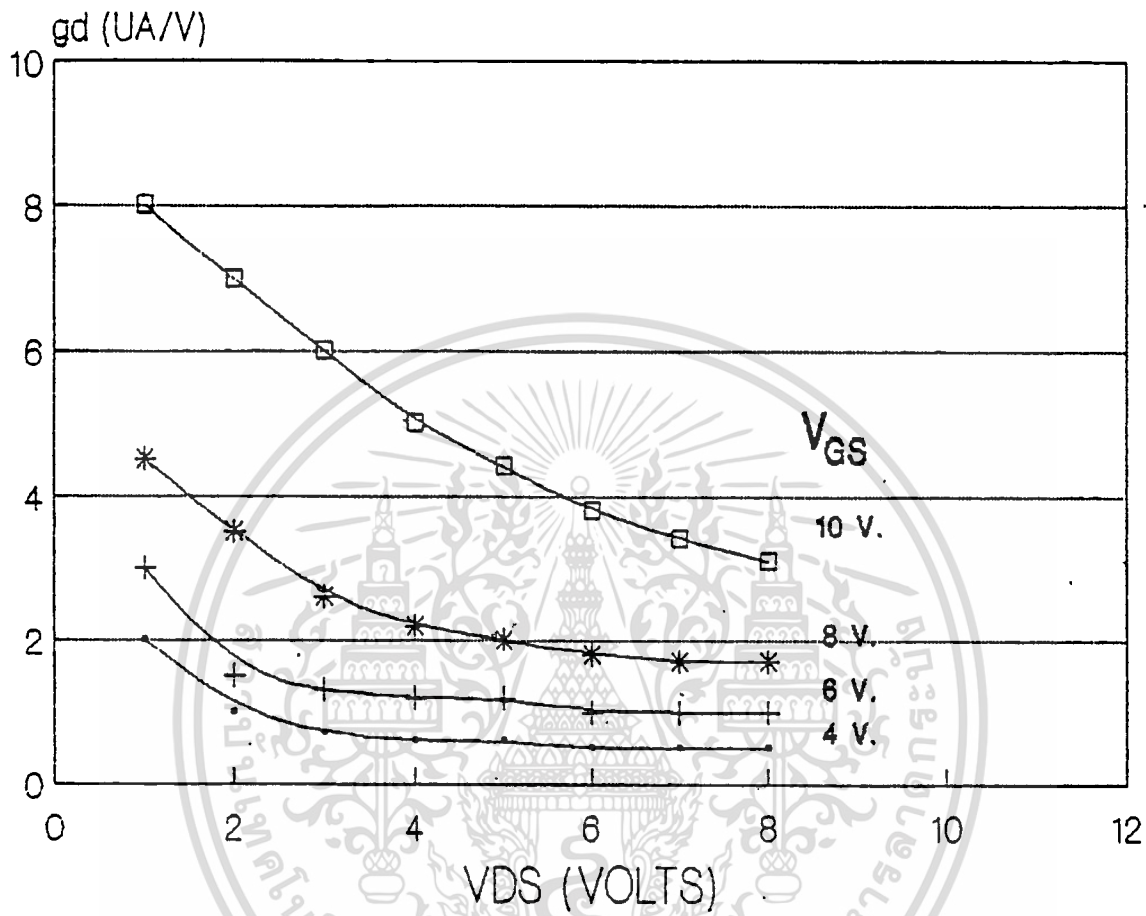
รูปที่ 4.4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I_D - V_{DS}$ กับค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับ ค่าต่างๆ ของนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มอสเฟตและเอ็นมอสเฟต ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพารามิเตอร์ตัวสุดท้ายของวงจรสมมูลย์ ได้แก่ค่า g_d ซึ่งการทดลองนั้น กำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันไบอัสเป็น V_{SD0} และ V_{GS0} แล้วกำหนดให้ V_{DS0} เป็นค่าศูนย์โวลต์ แล้วให้ ΔV_{DS} มีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ จากนั้นทำการวัดหาค่า ΔI_D แล้วนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ g_d กับค่า V_{DS} ที่ค่า V_{GS} ต่างๆ ได้ แสดงดังรูปที่ 4.4-4 ทั้งพีและเอ็นมอยซ์เฟต



(ก) พีมอยซ์เฟต

รูปที่ 4.4-4 (ก) แสดงค่า g_d ของพีมอยซ์เฟต



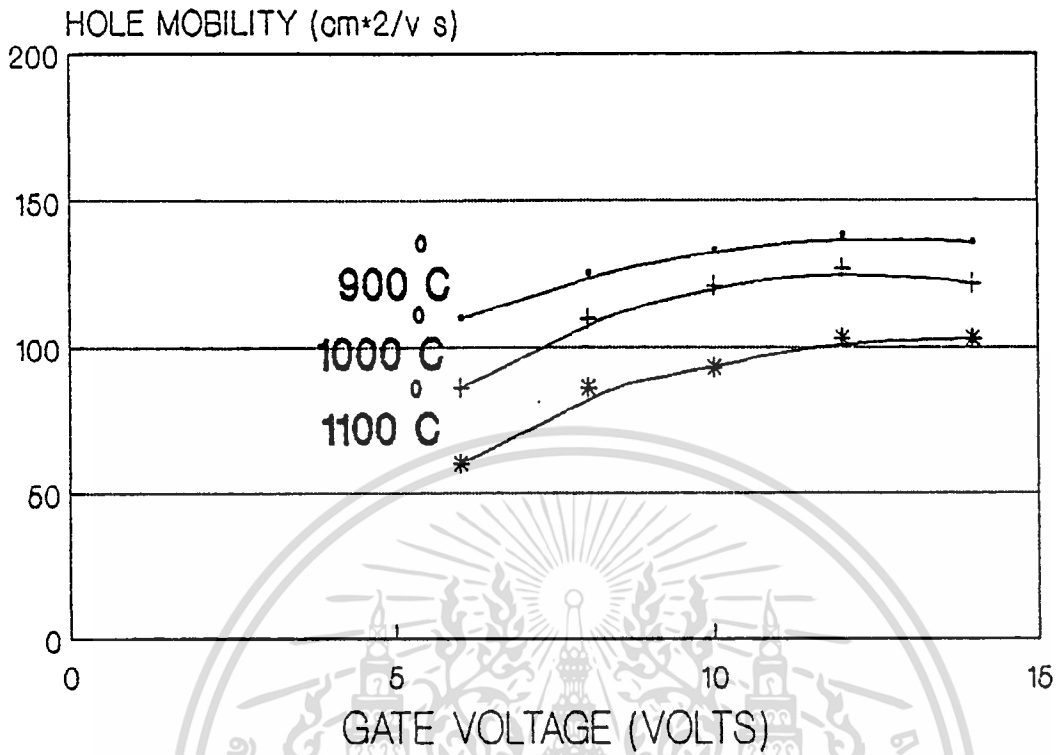
(ข) เอ็นเมอซีเฟต

รูปที่ 4.4-4 (ข) แสดงค่า g_d ของเอ็นเมอซีเฟต

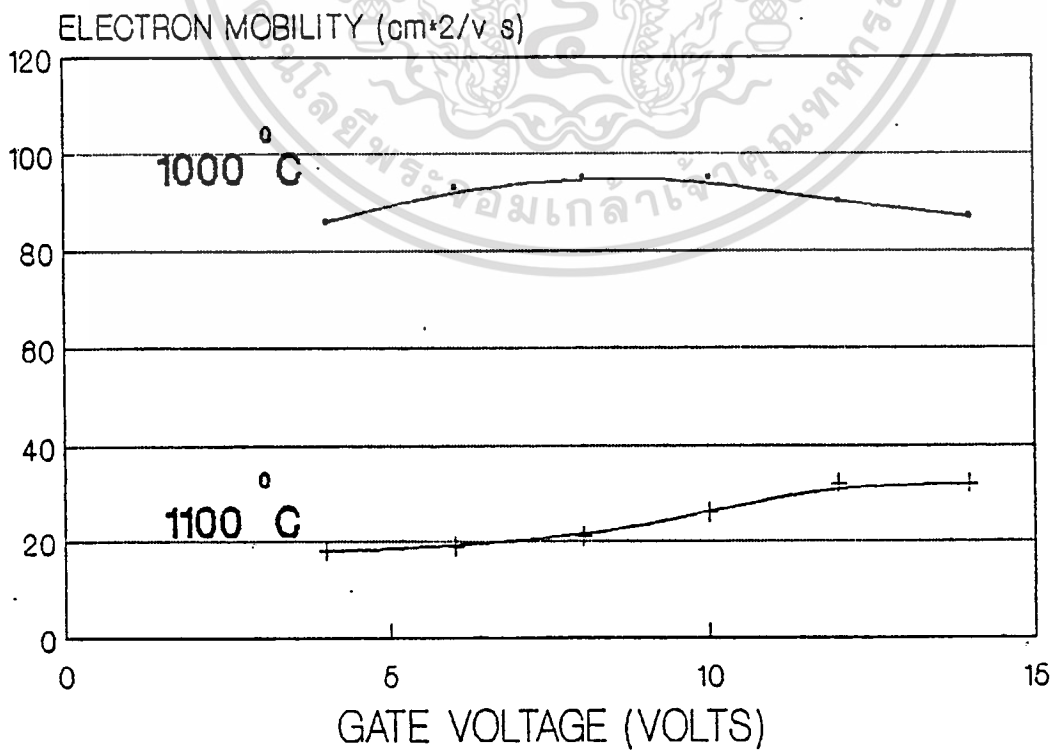
4.5 การคำนวณค่าความคล่องตัวของประจุพาหะในเมอซีเฟต

การทดลองและผลการทดลอง การคำนวณค่าความคล่องตัวของประจุพาหะ ทั้งโฮลและอิเล็กตรอนของเมอซีเฟตนั้นอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสมการ กระแสแรงดัน และค่าแรงดันขีดเริ่ม ซึ่งผลการทดลองของสมการกระแสแรงดัน และค่าแรงดันขีดเริ่มได้กล่าวไว้ในผลการทดลองที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ตามลำดับ

ผลการทดลองนั้นอาศัยสมการที่ 2.3-10 จากสมการ ดังกล่าวสามารถคำนวณค่าความคล่องตัวของประจุพาหะทั้งโฮลและอิเล็กตรอน ได้ที่ออกหมึการแพร่ของอะตอมทองคำ 900 , 1000 และ 1100 เอกซาร์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า องค์ค่าเซลล์เซียส ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.5-1 และ รูปที่ 4.5-2 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



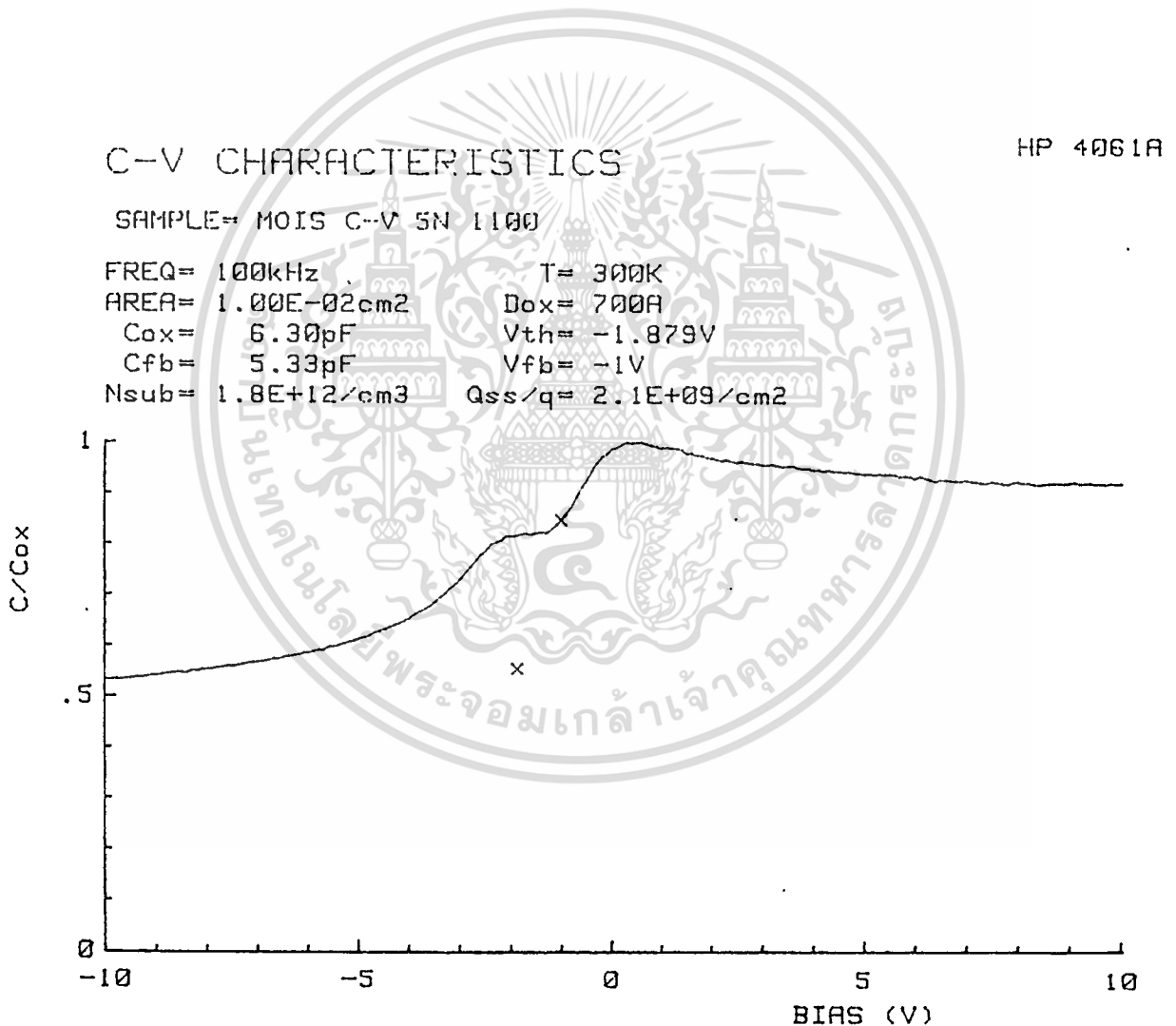
รูปที่ 4.5-1 แสดงค่าความคล่องตัวของโฮลที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำต่างกัน



รูปที่ 4.5-2 แสดงค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำต่างกัน

4.6 การทดลอง และผลการทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบมอยซ์

การทดลองและผลการทดลองดังกล่าวเป็นการหาค่าความจุไฟฟ้า ของมอยซ์คาปาซิเตอร์ โดยที่ฐานรองซิลิกอนเป็นชนิดเอ็น พิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร ระบาย <100> แพรวอะตอมของทองคำ ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส โดยที่มอยซ์คาปาซิเตอร์ มีพื้นที่ทดลองเป็น 1×10^{-2} , 1.9×10^{-2} , 2.56×10^{-2} และ $3.24 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ ตามลำดับ การวัดใช้แรงดัน V_{GS} จาก -10 ถึง 10 โวลต์ ความถี่ที่ทดลองเป็น 100 KHz การบันทึกผลการทดลอง บันทึกด้วยเครื่อง HP4061A แสดงดังรูปที่ 4.6-1, 4.6-2 และ 4.6-3 ตามลำดับ



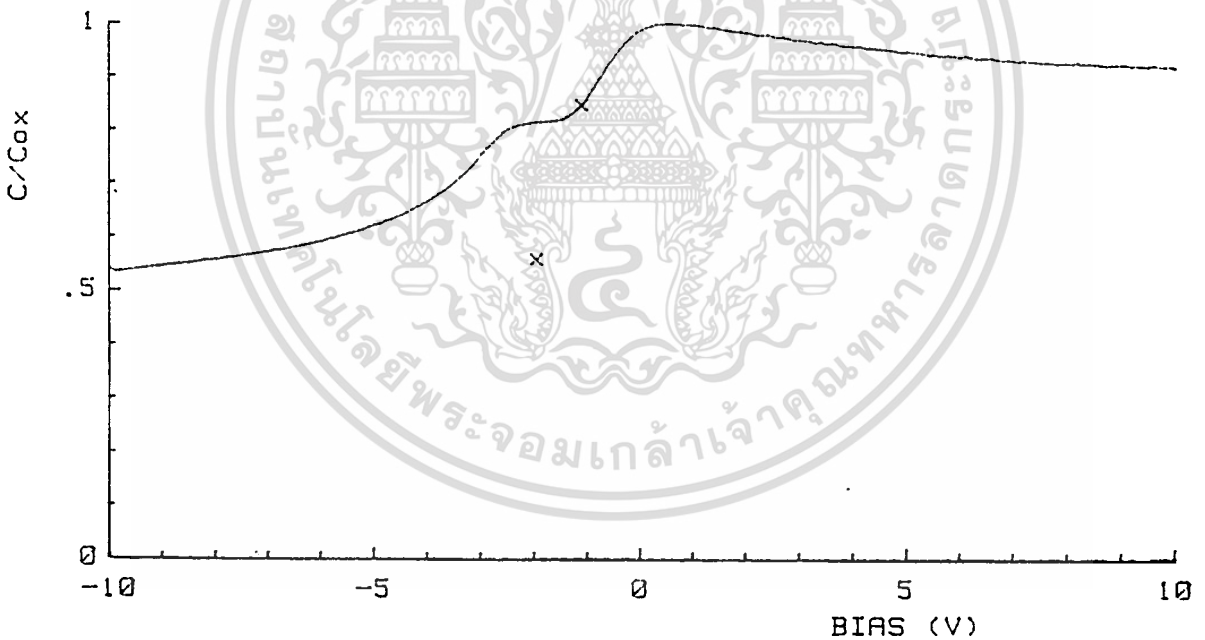
รูปที่ 4.6-1 แสดงค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัสที่เกต ด้วยพื้นที่ของเกตเป็น $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= MOIS C-V 5N 1100

FREQ= 100kHz T= 300K
 AREA= 2.56E-02cm² Dox= 700Å
 Cox= 14.67pF Vth= -1.953V
 Cfb= 12.40pF Vfb= -1.1V
 Nsub= 1.5E+12/cm³ Qss/q= 2.2E+09/cm²



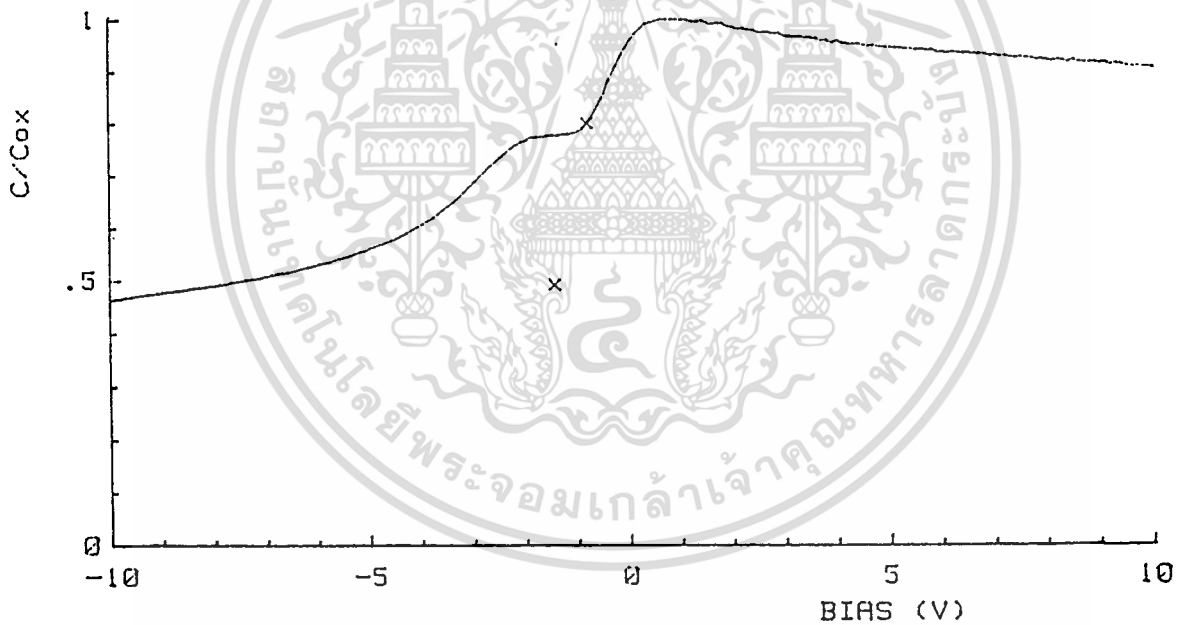
รูปที่ 4.6-2 แสดงค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัสที่เกต ด้วยพื้นที่ของเกตเป็น $2.56 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$

C-V CHARACTERISTICS

HP 4061A

SAMPLE= MOIS C-V SN 1100

FREQ= 100kHz T= 300K
 AREA= 3.24E-02cm² Dox= 700Å
 Cox= 20.65pF Vth= -1.449V
 Cfb= 16.51pF Vfb= -.8V
 Nsub= 1.0E+12/cm³ Qss/q= 1.2E+09/cm²



รูปที่ 4.6-3 แสดงค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัสที่เกต ด้วยพื้นที่ของเกตเป็น $3.24 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$

ส่วนสุดท้ายพบค่าของแรงดันขีดเริ่ม ค่าความหนาแน่นของพาหะในฐานรอง และค่า Q_{ss}/q เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจากพื้นที่ของตัวอย่างทั้งหมดได้ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงค่าแรงดันขีดเริ่ม, ความหนาแน่นของพาหะในฐานรองและค่า Q_{ss}/q ที่วัดได้จากเครื่อง HP 4061A

V_T	N_{sub}	Q_{ss}/q	N_D
-1.5 V.	$1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$	$2.1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$	$9.3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1. เมื่อพิจารณาผลของอะตอมของทองคำที่มีฐานรองซิลิกอน

5.1.1. ผลของอะตอมทองคำที่มีต่อค่าพิกัดความต้านทานของฐานรองซิลิกอน

จากการทดลองและผลการทดลองในบทที่แล้ว ฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น ที่มีค่าพิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซนติเมตร ถูกแพร่ด้วยอะตอมของทองคำ ที่อุณหภูมิการแพร่ 900 , 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ทำให้มีค่าพิกัดความต้านทาน เปลี่ยนแปลงจาก 5 โอห์ม - เซนติเมตร เป็น 2 , 200 และ 550 กิโลโอห์ม - เซนติเมตร จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นตารางการเปลี่ยนแปลง ค่าพิกัดความต้านทานของฐานรองต่ออุณหภูมิการแพร่ ของอะตอมทองคำได้ ดังตารางที่ 5-1

ตาราง 5-1 แสดงค่าพิกัดความต้านทานของซิลิกอนกับอุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ

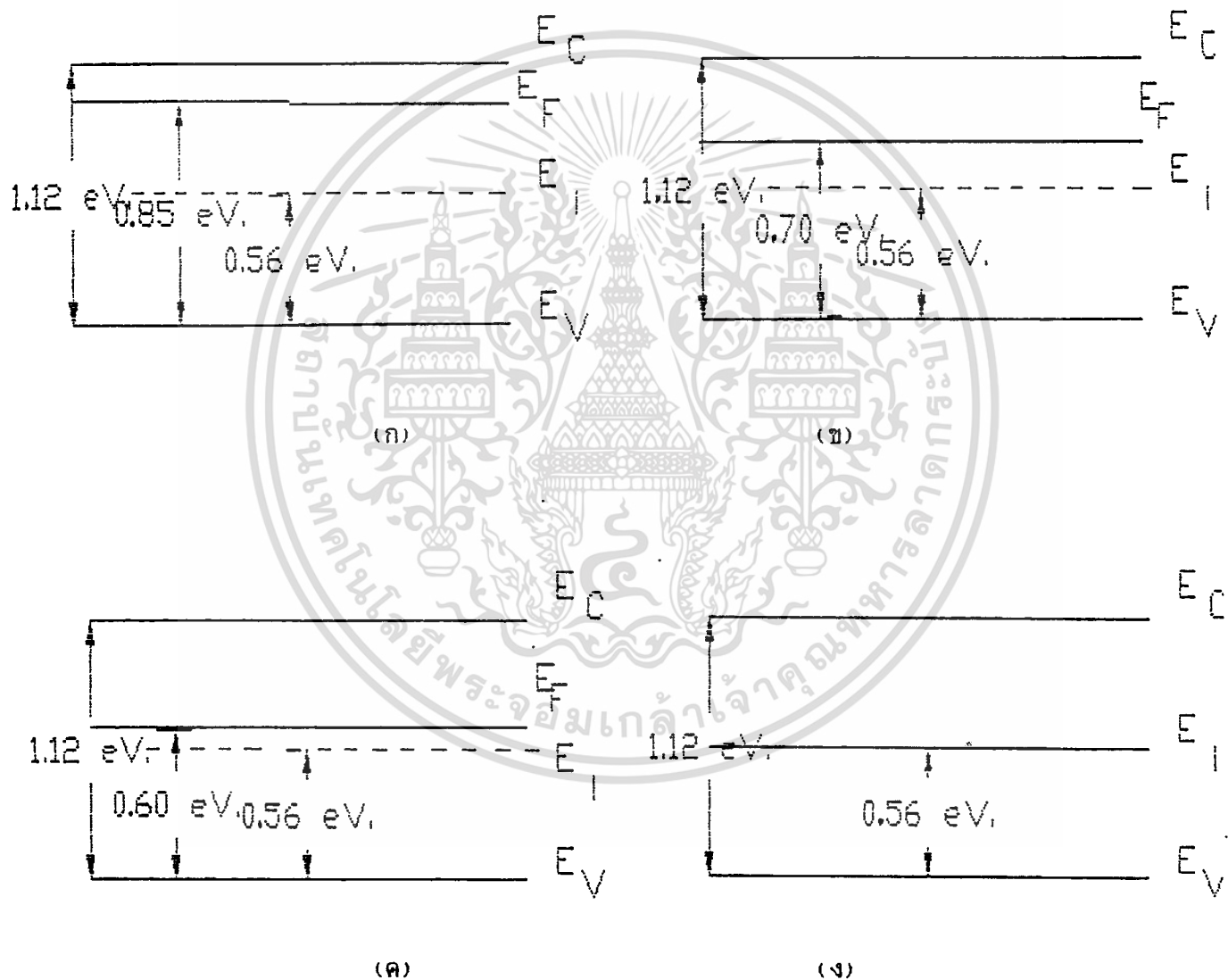
ค่าพิกัดความต้านทาน ของฐานรองเดิม Ohm - cm	ค่าพิกัดความต้านทานหลังจากแพร่อะตอมของทองคำ ที่อุณหภูมิการแพร่ต่างๆ Kohm - cm		
	900 °C	1000 °C	1100 °C
5	2	200	550

จากผลของการทดลองพบว่า อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ เป็นตัวควบคุมความหนาแน่น ของอะตอมทองคำ ที่เข้าไปในฐานรองซิลิกอน เมื่ออะตอมของทองคำมีค่ามาก จะจับยึดอิเล็กตรอนไว้ ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่เป็นพาหะข้างมาก มีค่าลดลง ทำให้ค่าพิกัดความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความหนาแน่นของอะตอมทองคำมีค่ามากเกินไป จะทำให้ค่าพิกัดความต้านทานลดลง และพาหะข้างมากจะกลายเป็นโฮลแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2. ผลของอะตอมทองคำที่มีต่อค่าพลังงานเฟอร์มิของฐานรอง

ในการคำนวณหาค่าพลังงานเฟอร์มิของฐานรอง หลังจากที่เราแพร่อะตอมของทองคำเข้าไปแล้ว ใช้สมการที่ 2.1-26 , 2.1-27 และ 2.1-28 ผลการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 4-1 ในบทที่ 4 จากตารางที่ 4-1 เป็นค่าพลังงานเฟอร์มิของฐานรองซิลิกอน หลังจากที่เราแพร่อะตอมของทองคำที่ฐานรองเดิม เป็นฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น มีค่าพิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม - เซนติเมตร จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เราสามารถเขียนการเปลี่ยนแปลงของแถบพลังงานก่อนและหลัง จากการแพร่ของอะตอมทองคำได้



รูปที่ 5.1-1 แสดงแถบพลังงานของฐานรองซิลิกอน

(ก) ก่อนแพร่อะตอมของทองคำ

(ข) แพร่อะตอมของทองคำที่อุณหภูมิ 900°C

(ค) แพร่อะตอมของทองคำที่อุณหภูมิ 1000°C (ง) แพร่อะตอมของทองคำที่อุณหภูมิ 1100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3. การคำนวณค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำ (N_{Au})

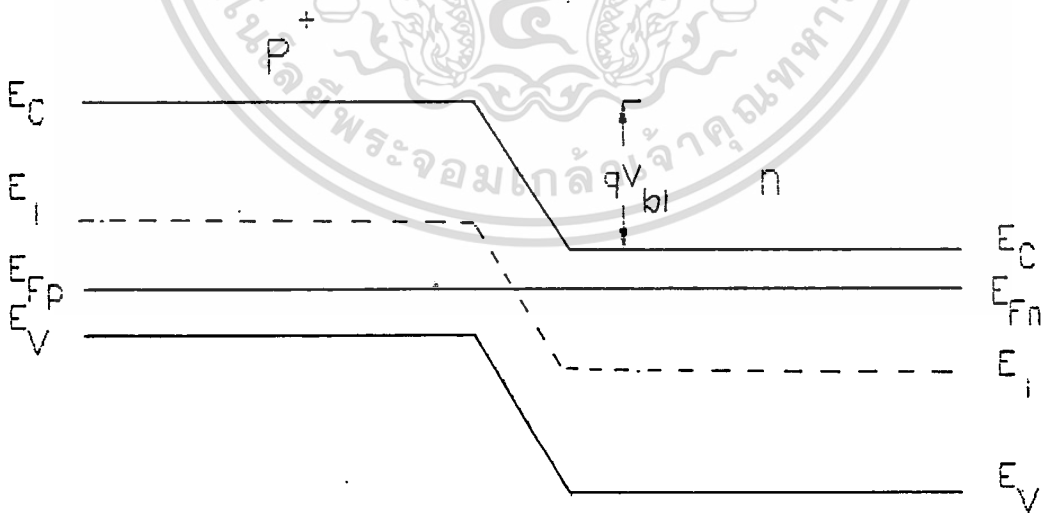
การคำนวณค่า N_{Au} เราต้องทราบค่า E_F ก่อน แล้วใช้สมการ 2.1-22 คำนวณหาค่า N_{Au} ได้ผลตามตารางที่ 4-2 ในบทที่ 4

จากผลการทดลองเห็นว่า อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ เป็นตัวควบคุมความหนาแน่น ของอะตอมทองคำที่แพร่เข้าไปในฐานรองซิลิกอน และเมื่อค่าความหนาแน่นของอะตอมทองคำเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าพลังงานเฟอร์มิในตาราง 4-1 ของฐานรองซิลิกอน มีค่าลดลงตามลำดับ

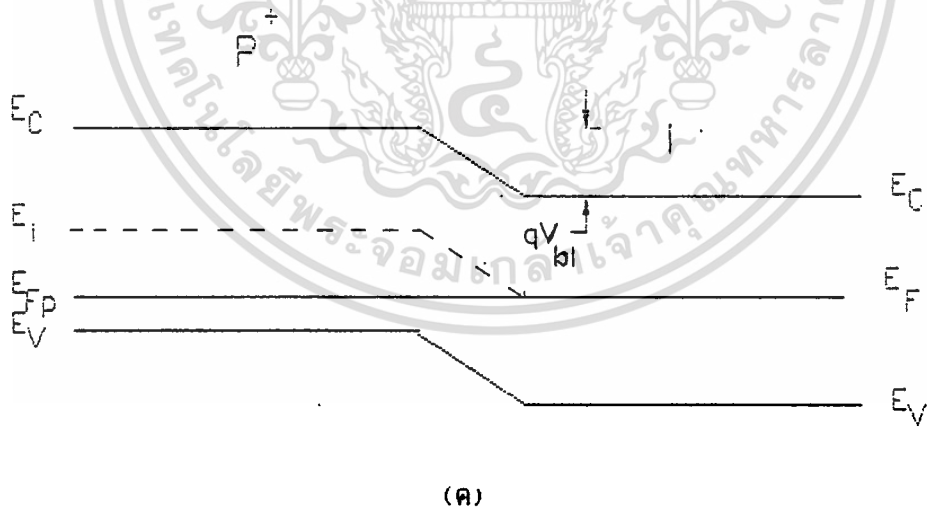
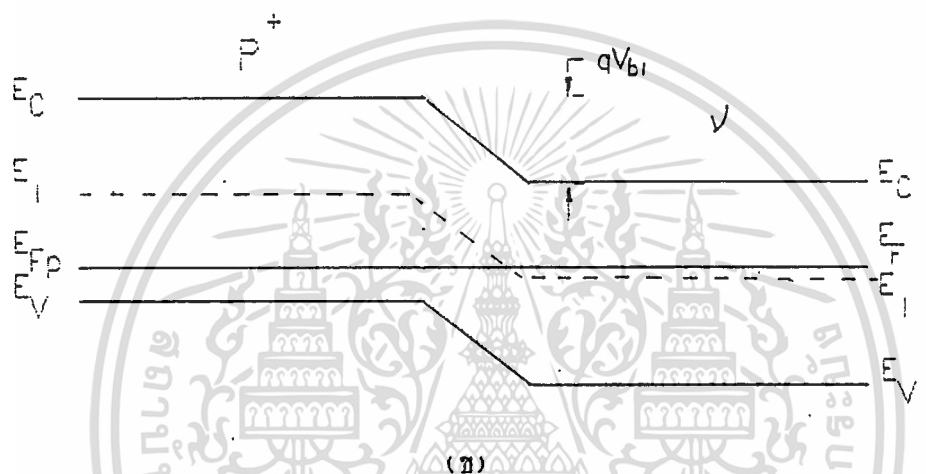
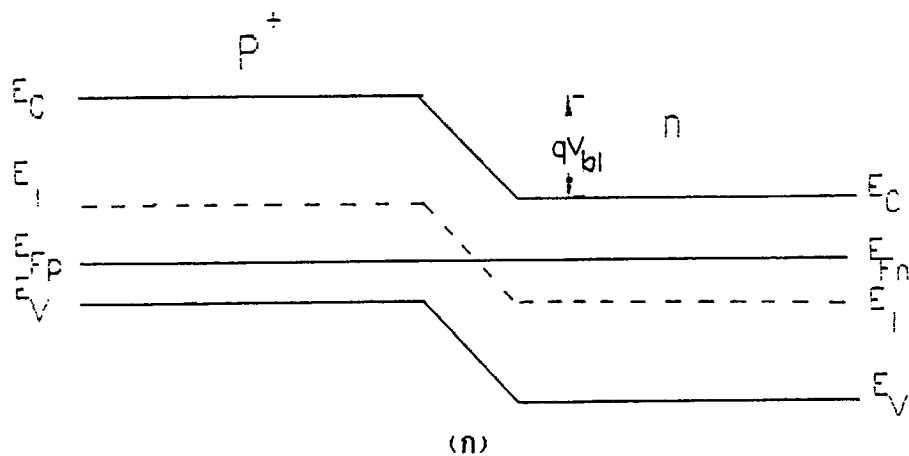
5.2 เมื่อพิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อพีเอ็น

5.2.1 เมื่อเติมอะตอมของทองคำลงไปในฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น ทำให้ฐานรองกลายเป็นชนิด n^- หรือ γ ซึ่งขึ้นกับความหนาแน่นของอะตอมทองคำที่แพร่เข้าไปมากหรือน้อย

จากผลการทดลองค่า built in voltage ของรอยต่อ $p^+ \gamma$ และ $n^+ \gamma$ พบว่าเมื่ออุณหภูมิ การแพร่ของอะตอมทองคำสูงขึ้นทำให้ค่าพลังงานเฟอร์มิของฐานรองชนิดเอ็น มีค่าเข้าใกล้ E_C มากขึ้น ทำให้ค่า built in voltage ของรอยต่อ $p^+ \gamma$ ลดลง สามารถนำมาเขียนเป็นลักษณะแถบพลังงานได้ ดังรูปที่ 5.2-1 และ 5.2-2



รูปที่ 5.2-1 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อ p^+n



รูปที่ 5.2-2 แสดงแถบพลังงานของรอยต่อพีเอ็น

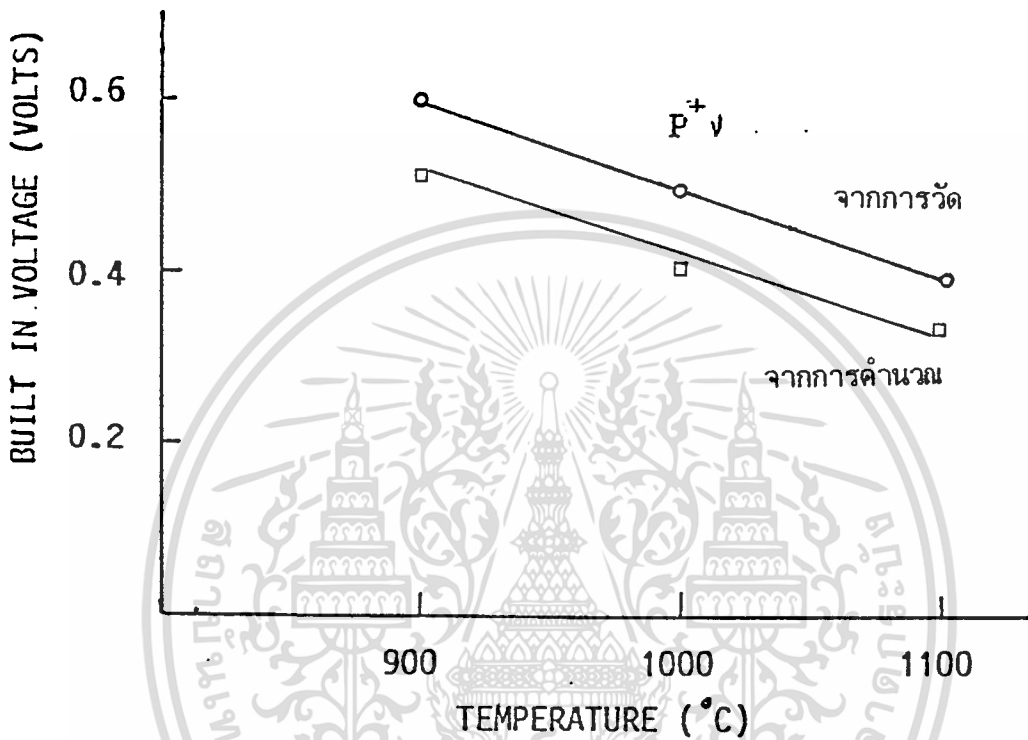
(ก) อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 900°C

(ข) อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1000°C

(ค) อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 1100°C

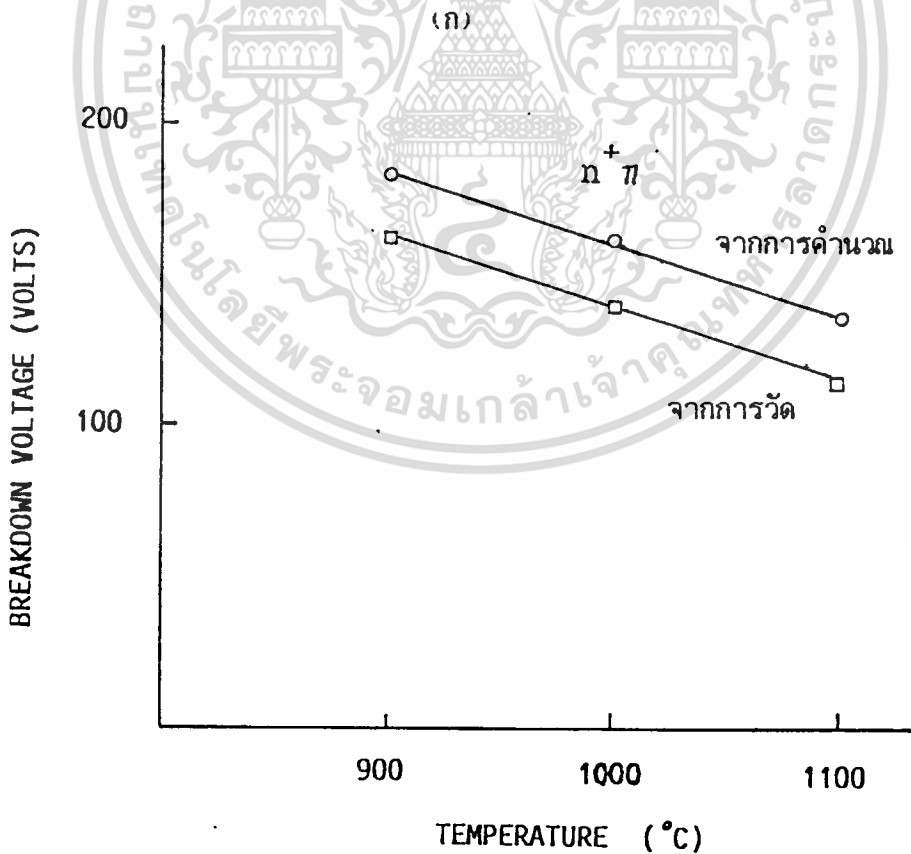
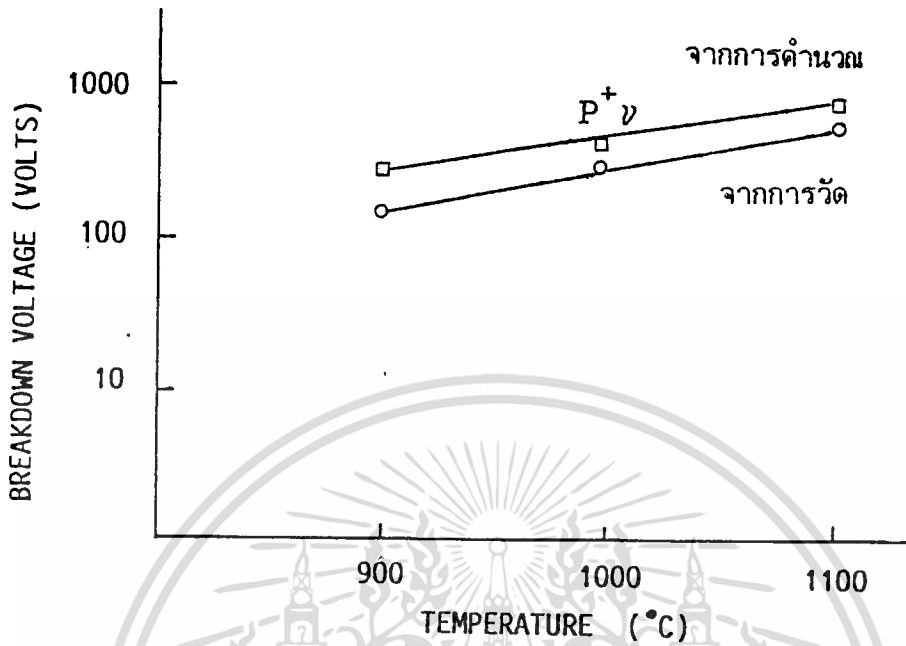
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบค่า built in voltage ที่วัดโดยอาศัยกราฟระหว่าง $\left(\frac{1}{C}\right)^2$ กับแรงดันไบอัส V ในหัวข้อ 4.2.1 กับการคำนวณโดยอาศัยสมการ $V_{bi} = \frac{E_{fn} - E_{fp}}{q}$ แสดงดังรูปที่ 5.2-3



รูปที่ 5.2-3 แสดงการเปรียบเทียบค่า built in voltage จากการวัดกับการคำนวณ

5.2.2. สำหรับค่าแรงดันพังทลายของรอยต่อ p^+n ที่มีฐานรองเป็นซิลิกอนชนิดเอ็น แล้วแพร่อะตอมของค่าเข้าไปพบว่า ค่าแรงดันพังทลายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมของค่าสูงขึ้น ส่วนค่าแรงดันพังทลายของรอยต่อ n^+p ที่มีฐานรองเป็นซิลิกอนชนิดพีแล้วแพร่อะตอมของค่าเข้าไปพบว่า ค่าแรงดันพังทลาย กลับมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมของค่าสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองการวัดค่าแรงดันพังทลายเทียบกับการคำนวณจากสมการ 2.2-6 และ 2.2-7 แสดงดังรูปที่ 5.2-4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 5.2-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันพังทลายจากการวัดกับการคำนวณของรอยต่อ $p^+ n$ (ก) และ $n^+ p$ (ข)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3. ค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ p^+v และ $n^+\pi$

การพิจารณาค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อทั้งสองนั้น กำหนดแรงดันไบอัสจาก -20 โวลต์ ถึง 0 โวลต์ ความถี่ตั้งแต่ 10 KHz ถึง 1 MHz

รอยต่อ p^+v จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 900 องศาเซลเซียส กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัส มีลักษณะเหมือนกับรอยต่อพีเอ็นทั่วไป แต่ค่าความจุไฟฟ้าจะมีค่าลดลง เมื่อความถี่ที่วัดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำเป็น 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ค่าความจุไฟฟ้าเริ่มจะมีค่าคงที่ ตั้งแต่ความถี่ 400 KHz ขึ้นไป ทั้งนี้ก็เพราะเมื่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำมากขึ้น ทำให้ค่า N_{scv} ($N_{scv} = N_D^+ - N_{Au}^-$) มีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างบริเวณปลอดประจุพาหะมีค่ามากขึ้นค่าความจุไฟฟ้าจึงมีค่าลดลง เมื่อมาพิจารณาผลของความถี่พบว่าที่ความถี่สูงๆ การตอบสนองต่อความถี่ของประจุพาหะในฐานรอง ไม่สามารถตอบสนองทัน ทำให้ค่าความจุไฟฟ้ามีค่าคงที่ ซึ่งอัตราการตอบสนองต่อความถี่ของพาหะข้างมากในฐานรองชนิดเอ็น อัตราการปลดปล่อย e_n จากตำแหน่ง E_T ไปยัง E_C มีค่าด้วยสมการ

$$e_n = B_n T^2 \exp(-\Delta E_n / kT) \text{ s}^{-1} \quad (5.2-1)$$

ที่ตำแหน่ง Acceptor level ค่า $B_n = 1.97 \times 10^7 \text{ (s}^{-1} \text{K}^{-2})$ $\Delta E_n = 0.54 \text{ eV}$ จะแทนค่าลงในสมการ 5.2-1 ได้ค่า $e_n = 305 \text{ s}^{-1}$

รอยต่อ $n^+\pi$ ฐานรองของรอยต่อนี้เป็นชนิดพี แล้วทำการแพร่อะตอมของทองคำเข้าไป ทำให้ฐานรองกลายเป็นฐานรองชนิด π แทน จากการทดลองค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อ $n^+\pi$ พบว่าค่าความจุไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำมากขึ้น เมื่อพิจารณาผลของความถี่พบว่า ที่ความถี่ 1 MHz นั้น การตอบสนองของพาหะยังสามารถตอบสนองได้ด้วยอัตราของ e_p เป็นดังสมการ

$$e_p = B_p T^2 \exp(-\Delta E_p / kT) \text{ (s}^{-1}) \quad (5.2-2)$$

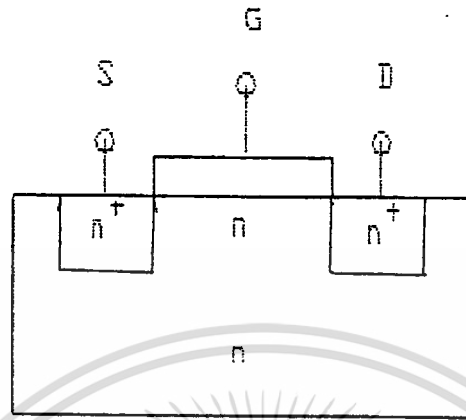
ที่ตำแหน่ง Donor ค่า $B_p = 5.82 \times 10^6 \text{ (s}^{-1} \text{K}^{-2})$, $\Delta E_p = 0.35 \text{ eV}$ แทนค่าลงในสมการ 5.2-2 ได้ค่า $e_p = 6.72 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$

5.3. เมื่อพิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอซเฟต

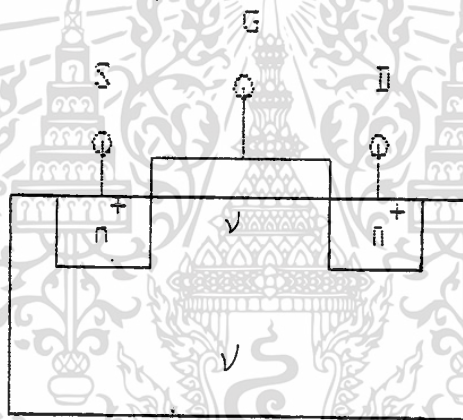
5.3.1. พิจารณาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จากผลการทดลองของเอ็นเมอซเฟตพบว่าที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ 900 องศาเซลเซียส

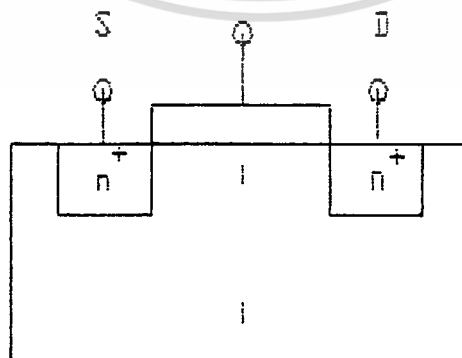
ไม่เกิดปรากฏการณ์มอยซ์เฟต ส่วนที่ 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส การทำงานเป็นแบบดีฟลิชั่นโหมด และ เอ็นฮานซ์เมนต์โหมด เราสามารถนำมาเขียนแบบ จำลองโครงสร้างได้ ดังรูปที่ 5.3-1 (ก) , (ข) และ (ค)



(ก)



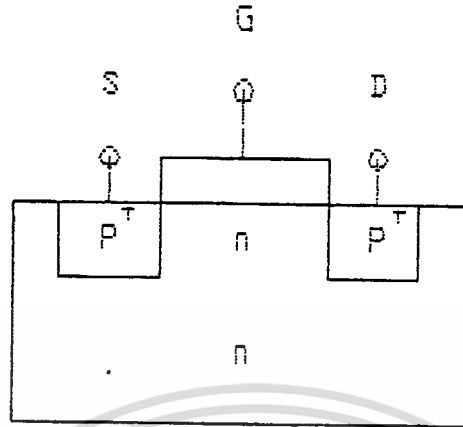
(ข)



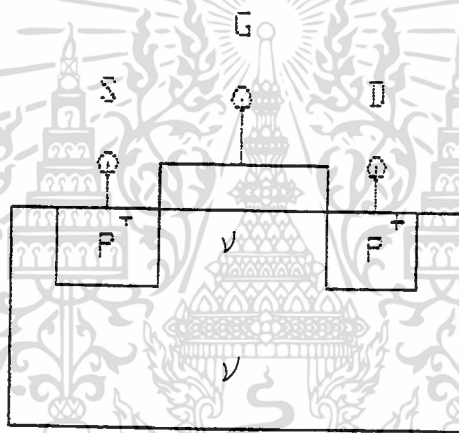
(ค)

รูปที่ 5.3-1 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของเอ็นมอยซ์เฟตที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ก) 900°C (ข) 1000°C (ค) 1100°C
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

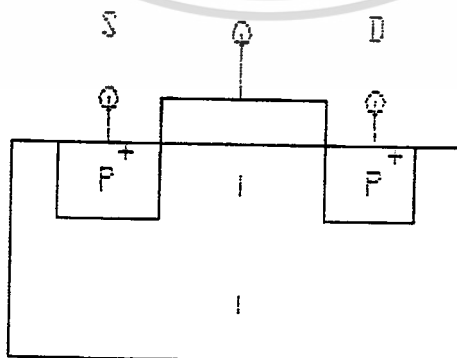
ส่วนนี้มอดุ์เฟดจากการทดลองเราสามารถเขียนแบบจำลองโครงสร้างได้ดังรูป 5.3-2 (ก) , (ข) และ (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.3-2 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของมอดุ์เฟด ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ก) 900°C (ข) 1000°C (ค) 1100°C
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

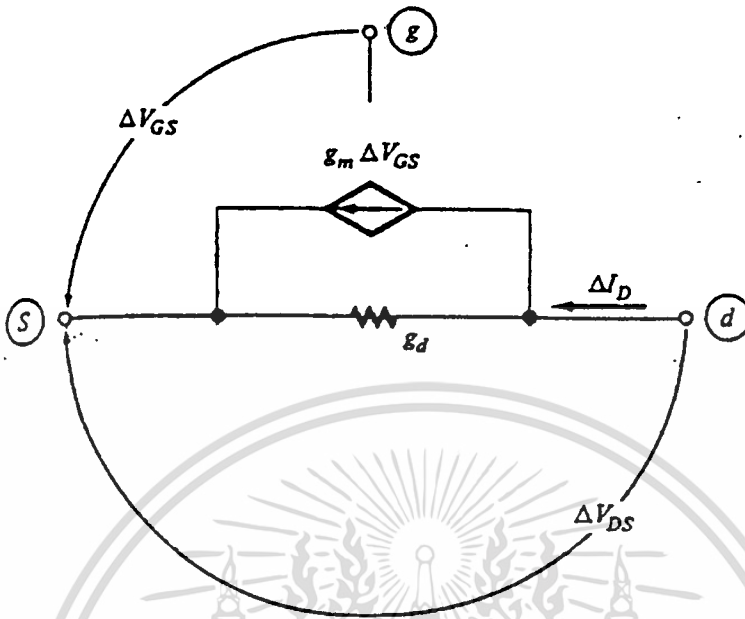
จากแบบจำลองโครงสร้างของพีมอยซ์เฟตนั้น เมื่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำมากขึ้น จะทำหน้าที่ยับไฮลได้มากขึ้น ด้วยค่าภาคตัดขวางการจับยึด σ_p^- ทำให้ไฮลเคลื่อนที่ลำบาก เวลาช่วงชีวิตของไฮลมีค่าเป็น τ_p โดยที่ $\tau_p = \frac{1}{C_p N_{Au}^-}$ ซึ่งมีค่าแปรตาม $\frac{1}{N_{Au}}$ ทำให้ค่าความคล่องตัวของไฮลมีค่าลดลงโดยมีค่าเป็น $\mu_p = \frac{qT_E}{m_p}$ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้กระแสที่ไหลในพีมอยซ์นั้นจะมีค่าลดลง เมื่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำในฐานรองมากขึ้น

5.3.2. พิจารณาค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็เมอยซ์เฟต พบว่า มีค่าประมาณ -1.8 และ 1.5 โวลต์ ตามลำดับ ส่วนพีมอยซ์เฟตได้ค่าแรงดันขีดเริ่มเป็น -2.2 , -2.4 และ -2.6 ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ของเอ็เมอยซ์เฟต พบว่าการทำงานเป็นแบบดีฟลิชั่นโหมด ที่อุณหภูมิการแพร่ของอะตอมทองคำที่ 1000°C เพราะอย่างยิ่งมีอิเล็กตรอนหลงเหลืออยู่โดยเชื่อมเป็นทางเดินกระแส ระหว่างเดรนและซอร์ ดังนั้นเมื่อป้อนแรงดันที่เกทเป็นศูนย์โวลต์ ยังคงมีกระแสไหล ส่วนพีมอยซ์เฟต การทำงานเป็นแบบเอ็นฮานซ์เมนต์โหมดทั้งหมด

5.3.3. พิจารณาค่าความคล่องตัว ของประจุพาหะ พบว่าค่าความคล่องตัวทั้งของอิเล็กตรอน และไฮลมีค่าลดลง เมื่อความหนาแน่นของอะตอมทองคำมากขึ้น เพราะการจับยึดของอะตอมทองคำ ที่มีต่ออิเล็กตรอนและไฮล จากการทดลองได้ค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอนและไฮล มีค่าประมาณ 20 และ 92 cm²/V.s ที่อุณหภูมิการแพร่ 1100 องศาเซลเซียส

5.4. เมื่อพิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อวงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรงของมอยซ์เฟต

จากการทดลองพบว่า ผลของการไบอัสย้อนกลับไม่มีผลกับการทำงานของมอยซ์เฟตเลย ($\mathcal{G}_{mb} = 0$) ผลที่มีต่อการนำกระแสของมอยซ์เฟต เป็นค่าของ $\mathcal{G}_d$ และ $\mathcal{G}_m$ ทำให้สามารถเขียนวงจรสมมูลย์ไฟฟ้ากระแสตรงของ มอยซ์เฟตได้ดังรูปที่ 5.4-1



รูปที่ 5.4-1 แสดงวงจรสมมูลไฟฟ้ากระแสตรงของมอยซ์เฟต

5.5. เมื่อพิจารณาผลของอะตอมทองคำที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบมอยซ์

จากการทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้ากับแรงดันไบอัสที่เกทพบว่า ค่าแรงดันขีดเริ่ม จากการวัดมีค่าประมาณ -1.5 โวลต์ โดยไม่ขึ้นกับค่าของพื้นที่ของเกทเลยและจากค่าแรงดันขีดเริ่มพบว่า ตัวเก็บประจุเป็นแบบพีมอยซ์

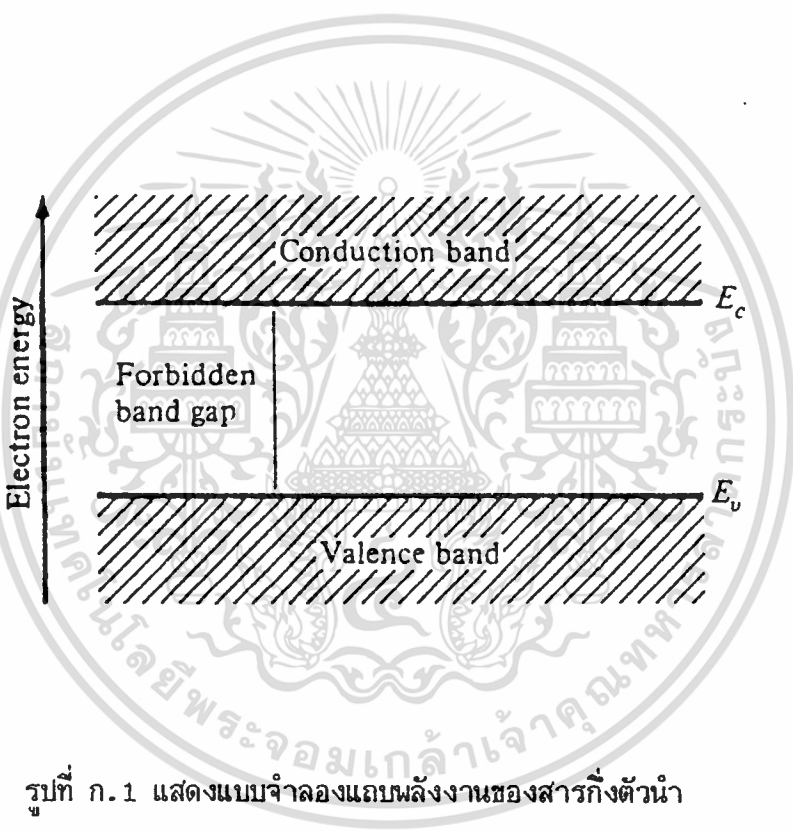
เอกสารอ้างอิง

1. สัจจา ส่งศิริ, "การศึกษา วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโครงสร้างใหม่แบบ MOIS" (วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2532.)
2. Sze.SM, "Semiconductor Devices, Physics and Technology", John Wiley & Sons, New york, 1985.
3. A.G. Millines, "Deep Impurity in Semiconductor", John Wiley & Son INC, 1973.
4. Robert F. Pirret and Gerold W. Neudeck, "Advance Semiconductor Fundamentals", Addison - Wesley, 1987.
5. Mauro Zambuto, "Semiconductor Devices", Mcgraw-Hill, 1989.
6. John P.Uyemura, "Fundamentals of MOS Digital Integrated Circuits", Addison Wesley, 1988.
7. Edward S. Yang, "Microelectronic Device", Mcgraw Hill Book Company, 1988.
8. Yannis P. Tsvividis, "Operation and Modelling of The MOS Transistor", Mcgraw - Hill Book Company, 1988.
9. Dieter K. Schroder, "Semiconductor Material and Device Characterization", John Wiley & Sons INC, 1990
10. อนุชา เรืองพานิช, ผศ.วิสุทธิ์ จิตรุ่งเรือง, รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช, จิรวัดน์ ปานกลาง, มนชนก ศรีเลื้อซาม, "ความคล่องตัวของประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นทีเด็มอะตอมของทองคำ", การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบันอุดมศึกษาครั้งที่ 13 หน้า 280 - 290, พฤศจิกายน 2533.
11. อนุชา เรืองพานิช, ผศ.วิสุทธิ์ จิตรุ่งเรือง, รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช, "ผลของอะตอมทองคำต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอด", การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 14 หน้า 128 - 131, พฤศจิกายน 2534.
12. อนุชา เรืองพานิช, ผศ.วิสุทธิ์ จิตรุ่งเรือง, รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช, "ผลของความหนาแน่นของอะตอมทองคำในมอสเฟต", เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าประจำปี 2534 โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมสถาบันวิศวกรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์แห่งประเทศไทย, หน้า 161 - 172 , 2534

ภาคผนวก ก.

แถบพลังงาน

แบบจำลองแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ แสดงดังรูปที่ ก.1 แกนในแนวราบ หมายถึงระยะทางในสารกึ่งตัวนำในขณะที่ แกนในแนวตั้งบอกถึง พลังงานของอิเล็กตรอน ในสารกึ่งตัวนำชนิดอินทรีนซิค จะไม่มีพลังงานมากไปกว่า ค่า E_v กล่าวคือ อิเล็กตรอนอยู่ในแถบวาเลนซ์ทั้งหมด และจะอยู่ในแถบความนำ โดยมีค่าพลังงานน้อยสุดได้เป็น E_c

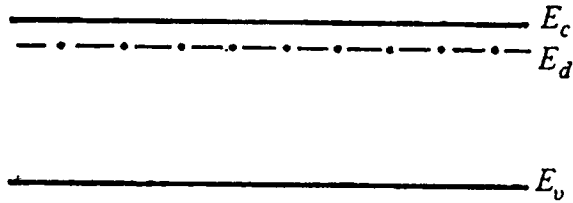


รูปที่ ก.1 แสดงแบบจำลองแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

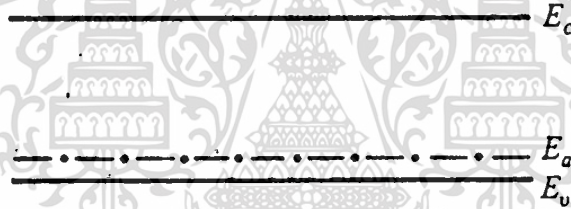
ช่องว่างระหว่างแถบความนำกับแถบวาเลนซ์ มีค่าเป็น 1.12 eV. ที่ 300 K เร็สกว่าเป็น แถบหวงห้าม ที่อุณหภูมิห้อง ความหนาแน่นของพาหะ n_i มีค่าน้อยมาก ประมาณ $1.4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมาก โดยมีค่าพลังงาน E_d ต่ำกว่า E_c ลงมา ดังนั้นที่อุณหภูมิห้อง อิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะมีค่าพลังงานมากพอที่จะเข้าไปในแถบความนำ แสดงในรูปที่ ก.2 (ก) ในทำนองเดียวกัน สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะมีค่าพลังงาน E_a เหนือแถบวาเลนซ์ ที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ มีพลังงานพอติดมาอยู่ในพลังงานระดับ E_a แล้วทิ้งไฮลไว้ที่แถบวาเลนซ์ แสดงดังรูปที่ ก.2 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ ก.2 แสดงระดับพลังงานพาหะในสารกึ่งตัวนำ (ก) ชนิดเอ็น (ข) ชนิดพี

ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลมีค่าเป็นดังนี้

$$n = n_1 \exp \frac{(E_F - E_1)}{KT} \quad (\text{ก-1})$$

$$p = n_1 \exp \frac{(E_1 - E_F)}{KT} \quad (\text{ก-2})$$

โดยที่ n_1 = ความหนาแน่นของพาหะในสารกึ่งตัวนำชนิดอินทรีนซิก

K = ค่าคงที่ของโบลต์ซมาน

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ K

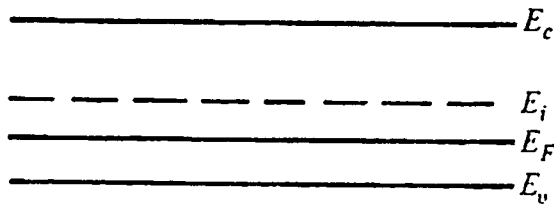
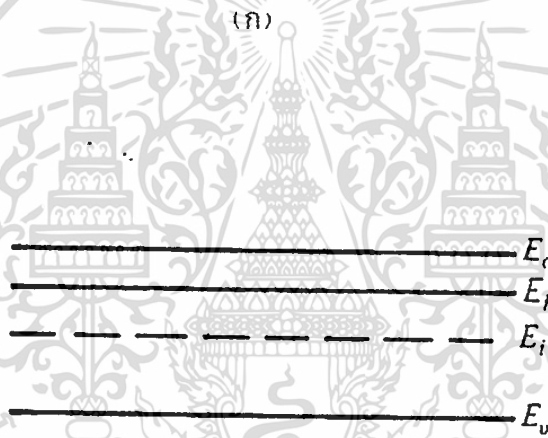
E_1 = ระดับพลังงานอินทรีนซิก

E_F = ระดับพลังงานเฟอร์มิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำชนิดอินทรีนซิก, ชนิดเอ็น และ ชนิดพี มีแบบจำลองของแถบพลังงาน แสดงดังรูปที่

ก.3 (ก) , (ข) และ (ค) ตามลำดับ



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ก.3 แสดงลักษณะแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (ก) ชนิดอินทรีนซิก (ข) ชนิดเอ็น (ค) ชนิดพี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายอนุชา เรืองพานิช เกิดเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2506 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียน สวนกุหลาบวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ (Solid State Electronic) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2528 เข้าศึกษาต่อระดับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2533



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้