

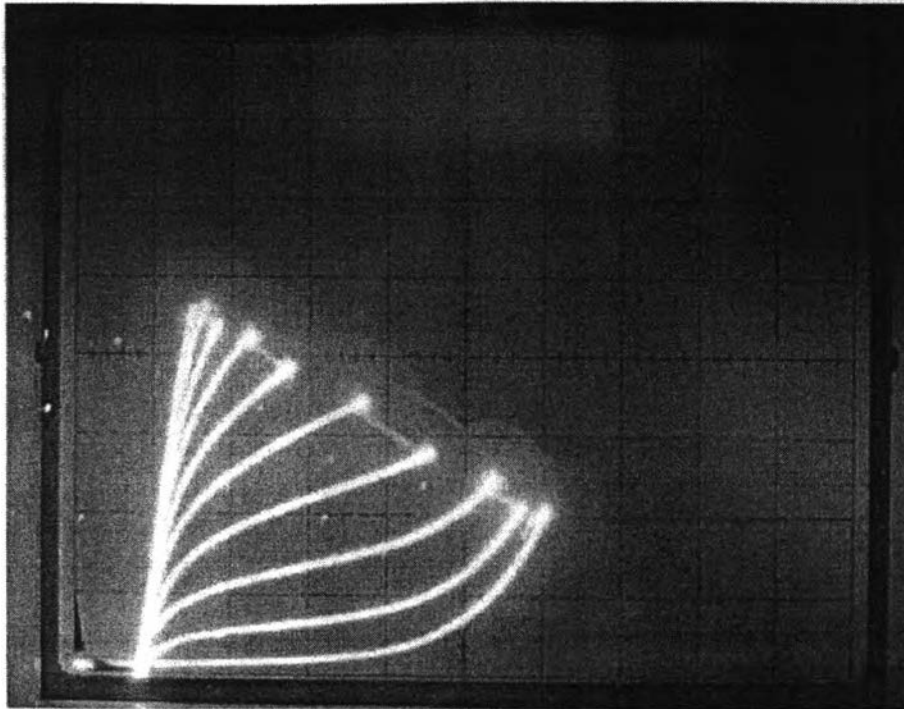
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองทางด้านกระแสตรง โดยพิจารณาจากลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ซึ่งสามารถให้ข้อมูลอัตราขยายกระแสทั้งทางด้าน โมดปกติ และ โมดกลับทาง (หรือ Collector-up Mode)  $V_{CESat}$  แรงดันพังทลาย จากนั้นจะวิเคราะห์ให้เห็นความเกี่ยวเนื่องระหว่างความลาดชันของหัวต่อ ปริมาณอวลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์และคอลเล็กเตอร์ ที่มีต่ออิทธิพลของ "Spike" ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของทรานซิสเตอร์ และเพื่อความสะดวกในการอ้างถึงทรานซิสเตอร์แต่ละโครงสร้างจะกำหนดรหัสอักษรย่อแทนโครงสร้างแต่ละโครงสร้างเป็น TR(x,y) โดย TR หมายถึง Transistors x และ y หมายถึงสัดส่วนอวลูมิเนียมในอิมิตเตอร์และคอลเล็กเตอร์ตามลำดับ

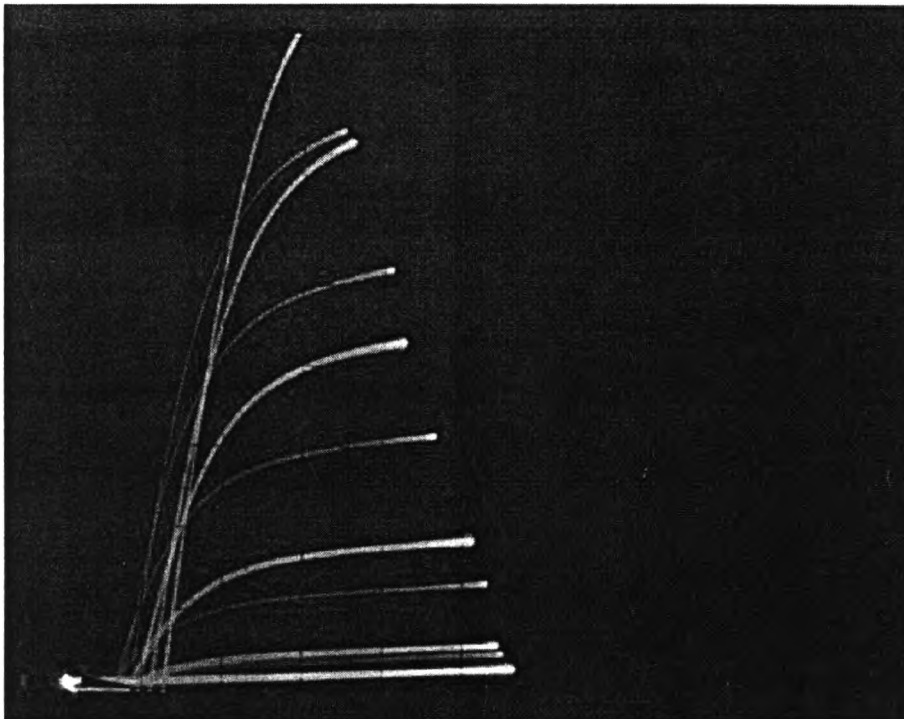
#### 4.1 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ( $I_C, V_{CE}$ ), ( $I_E, V_{CE}$ )

ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันทั้งทางด้าน โมดปกติ ( $I_C, V_{CE}$ ) และทางด้าน โมดกลับทาง (Inverted Mode) หรือ โมดคอลเล็กเตอร์อยู่ด้านบน (Collector-up Mode) ( $I_E, V_{CE}$ ) ถูกบันทึกด้วย Curve Tracer ของ Tektronic โดยทำงานร่วมกับ Probe Station KARL Suss ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทั้ง 5 โครงสร้างแสดงไว้ตามรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 ซึ่งจากรูปทั้ง 8 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกระแสตรงกับระดับกระแสขาออก  $I_C$  กรณีโมดปกติ และกระแสขาออก  $I_E$  กรณีโมดกลับทาง เมื่อ  $V_{CE}$  คงที่ ทั้งหมดแสดงไว้ในรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16 นอกจากนี้ยังให้ข้อมูล  $V_{CESat}$  แรงดันพังทลาย ซึ่งทั้งหมดนำเสนอไว้ในตารางที่ 4.1



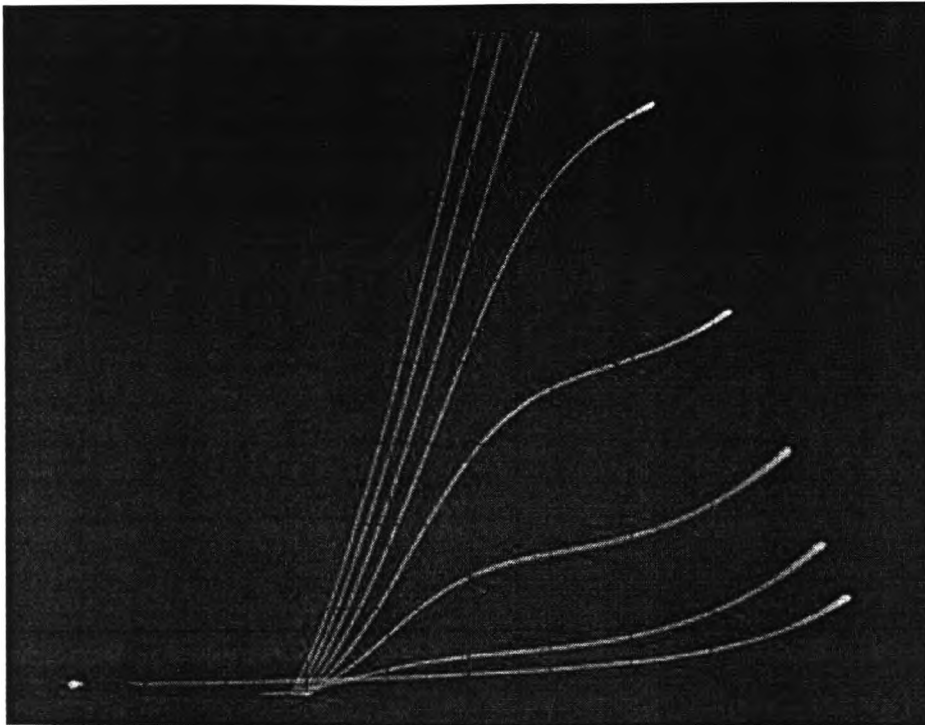
$I_E = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.5 \text{ V/div}$   
 $I_B = 0.1 \text{ mA/step}$

รูปที่ 4.1 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Inverted Mode ของ TR(0.2,0.2)



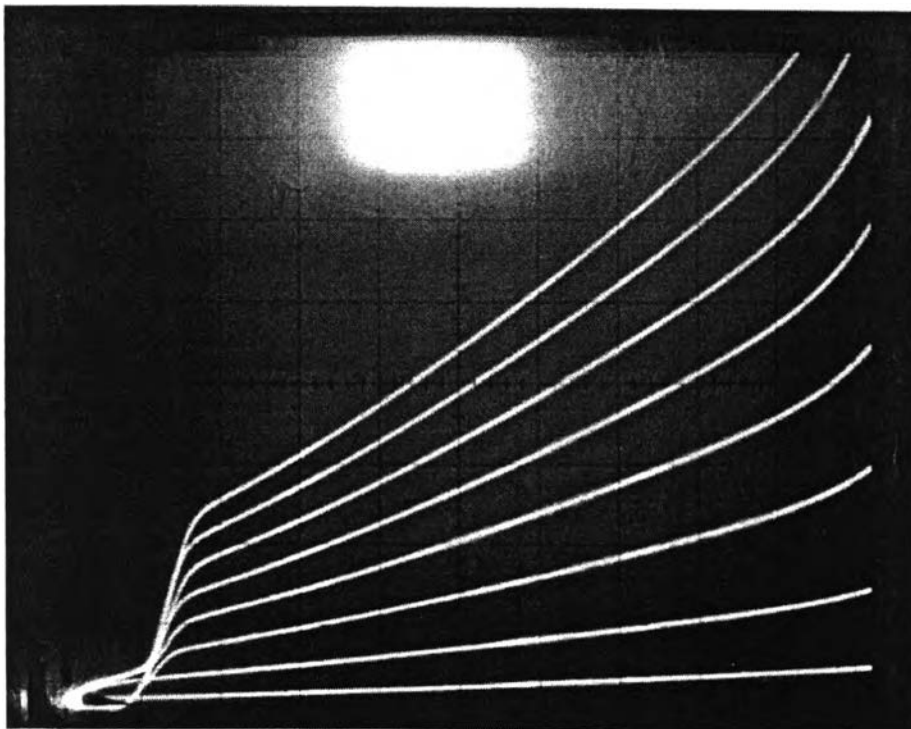
$I_C = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.1 \text{ V/div}$   
 $I_B = 0.5 \text{ mA/step}$

รูปที่ 4.2 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Normal Mode ของ TR(0.3,0.3)



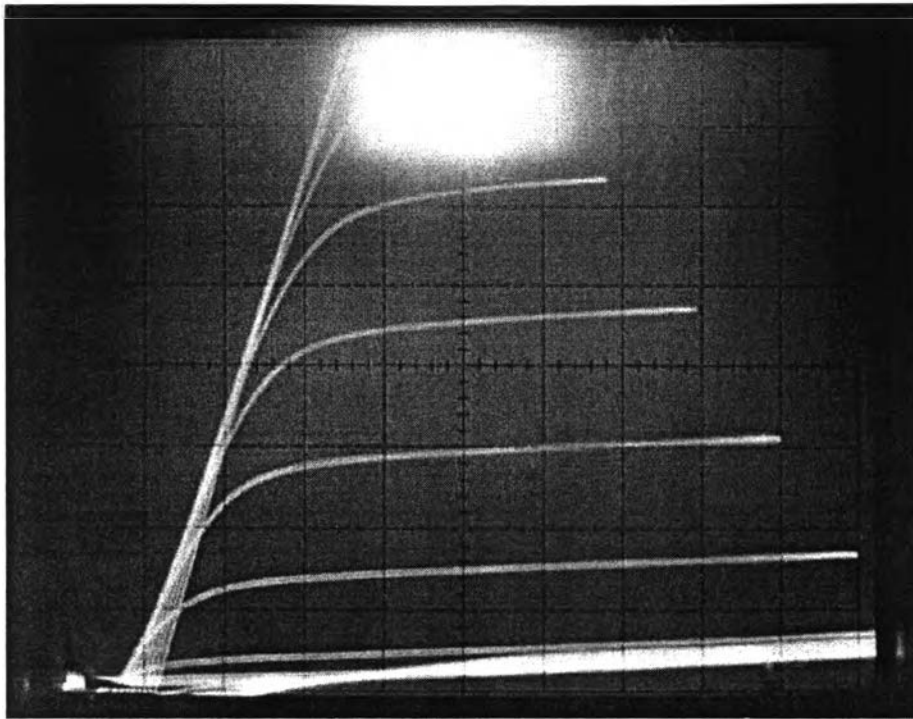
$I_E = 0.5 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.2 \text{ V/div}$   
 $I_B = 0.1 \text{ mA/step}$

รูปที่ 4.3 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Inverted Mode ของ TR(0.3,0.3)



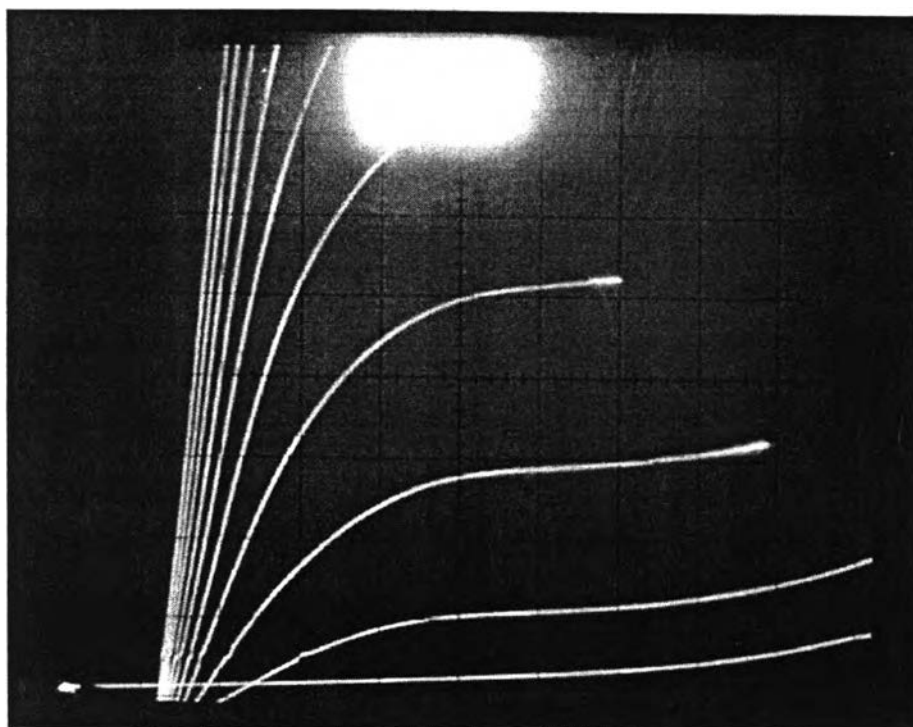
$I_C = 0.5 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.5 \text{ V/div}$   
 $I_B = 50 \mu\text{A/step}$

รูปที่ 4.4 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Normal Mode ของ TR(0.35,0.35)



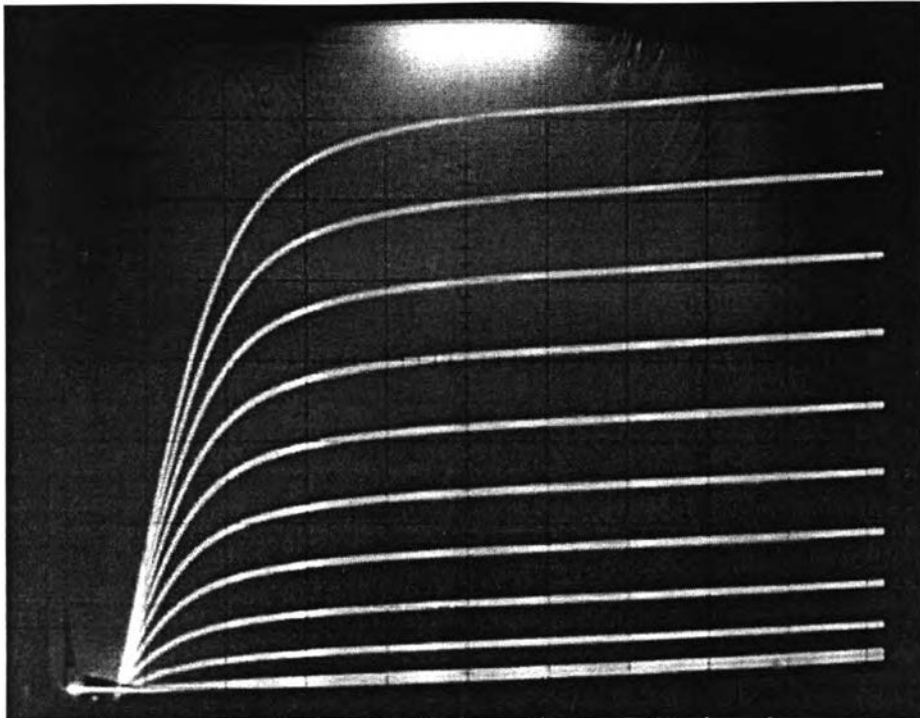
$I_C = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.1 \text{ V/div}$   
 $I_B = 0.2 \text{ mA/step}$

รูปที่ 4.5 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Normal Mode ของ TR(0.2,0.35)



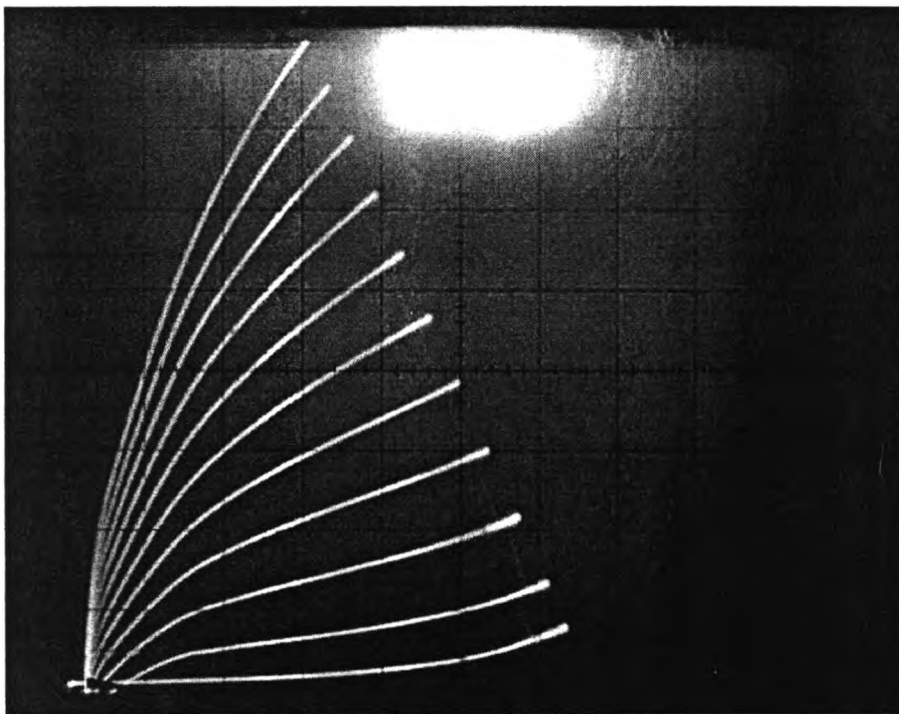
$I_C = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.2 \text{ V/div}$   
 $I_B = 50 \mu\text{A/step}$

รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Inverted Mode ของ TR(0.2,0.35)



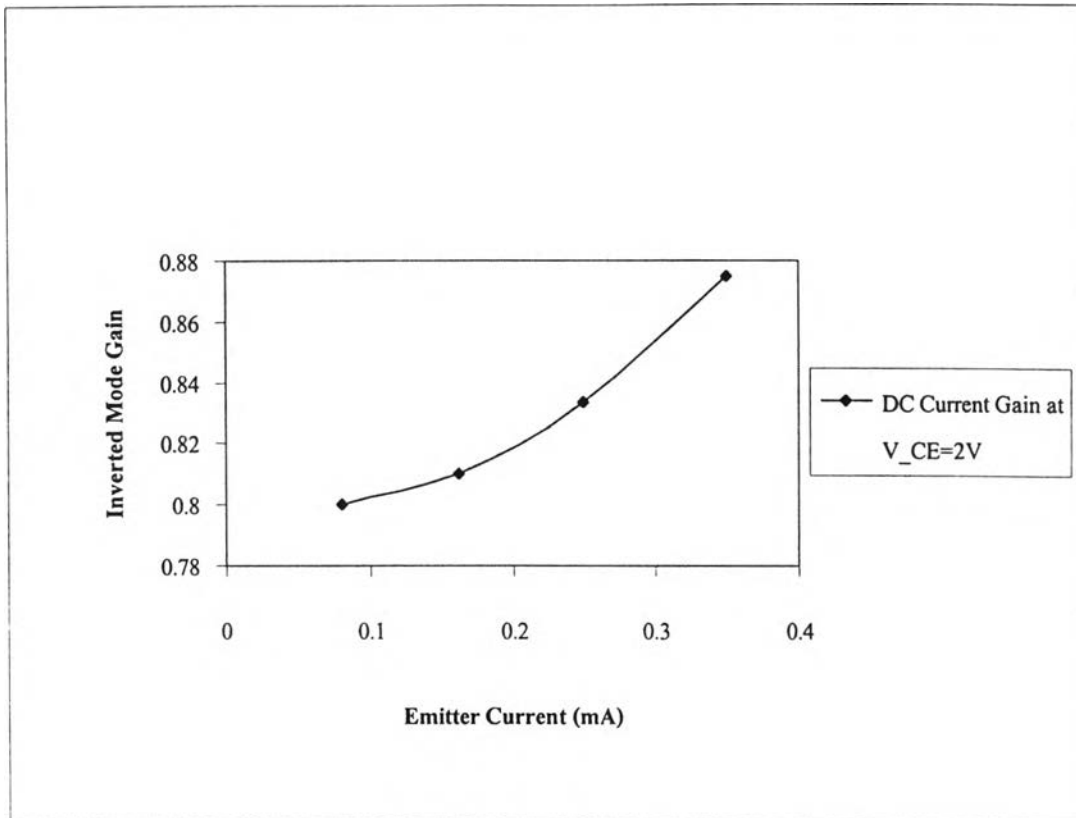
$I_C = 0.2 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.1 \text{ V/div}$   
 $I_B = 0.1 \text{ mA/step}$

รูปที่ 4.7 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Normal Mode ของ TR(0.35,0.2)

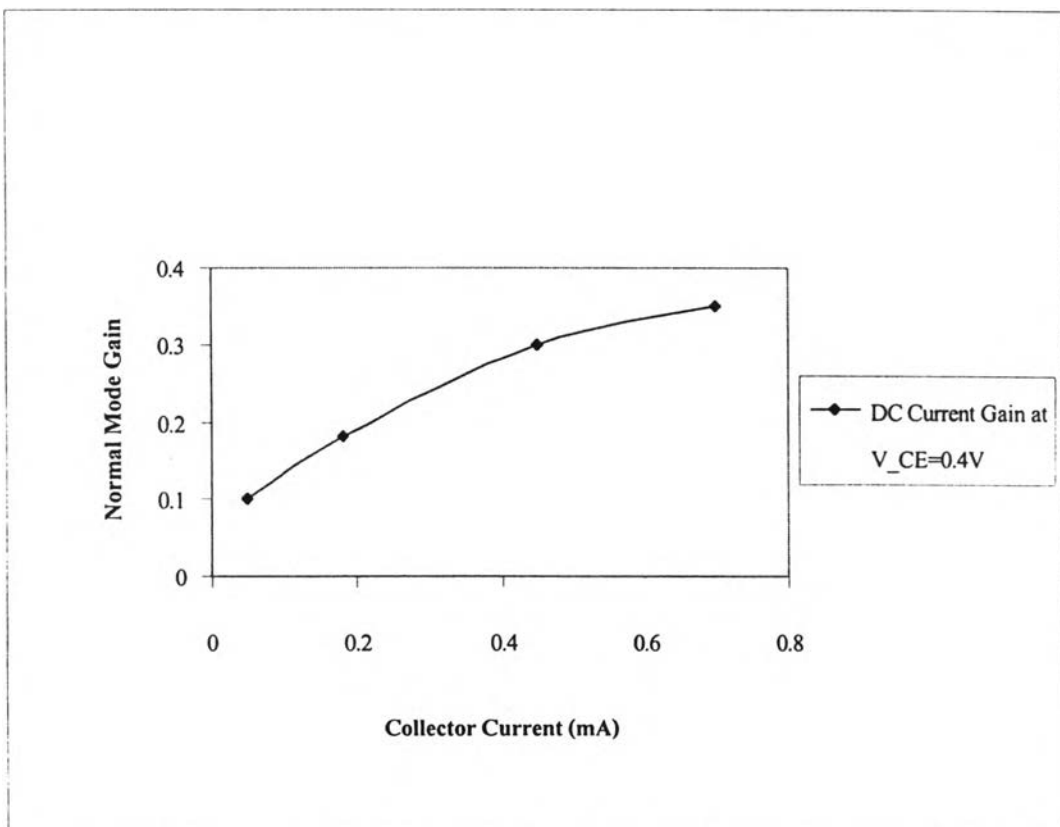


$I_E = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{CE} = 0.5 \text{ V/div}$   
 $I_B = 0.1 \text{ mA/step}$

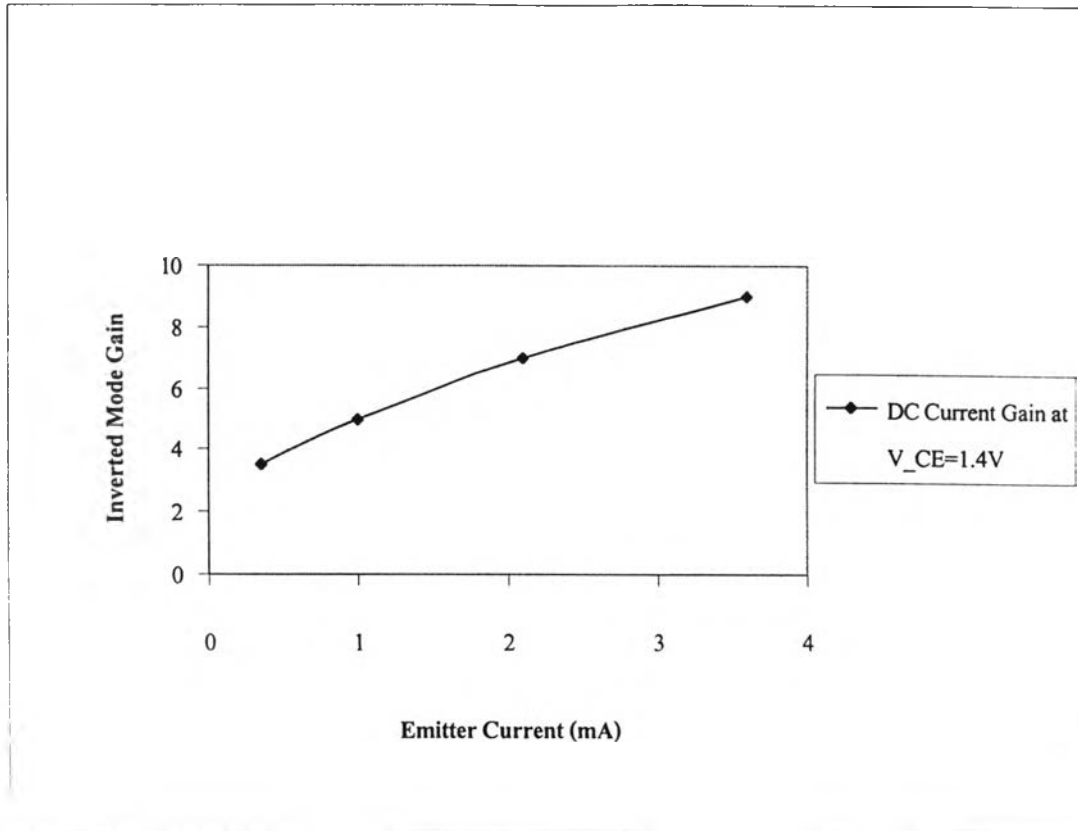
รูปที่ 4.8 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ใน Inverted Mode ของ TR(0.35,0.2)



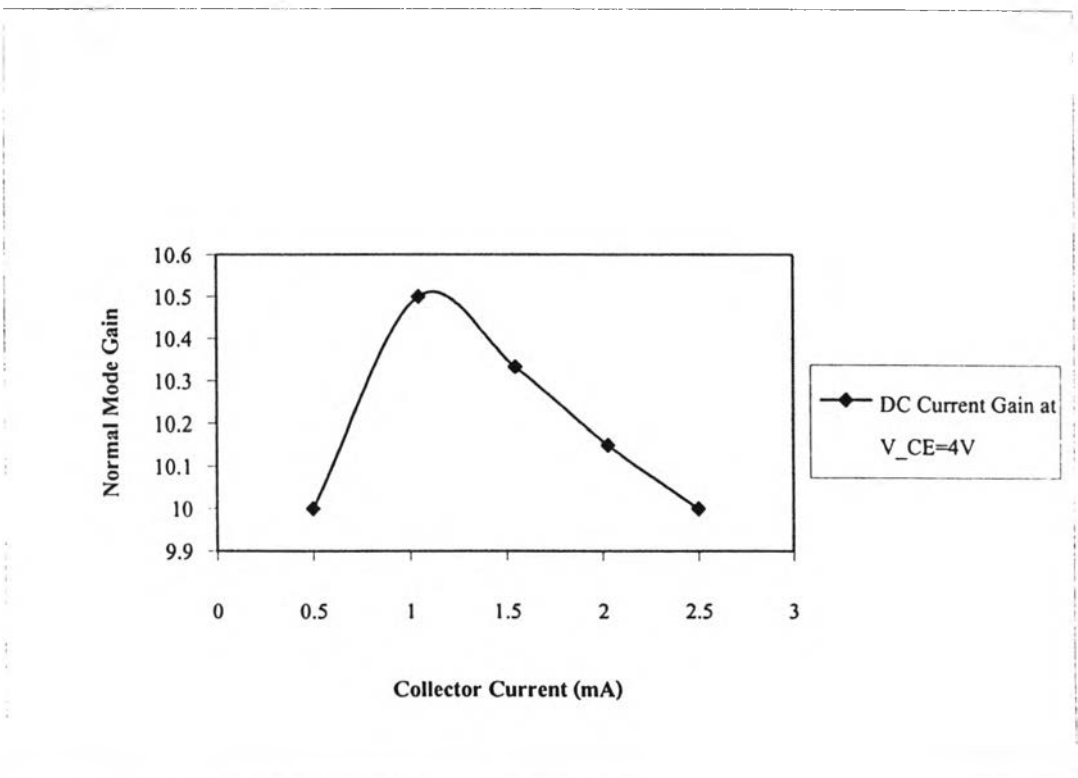
รูปที่ 4.9 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสมีตเตอร์ค่าใดๆใน Inverted Mode ของ TR(0.2,0.2)



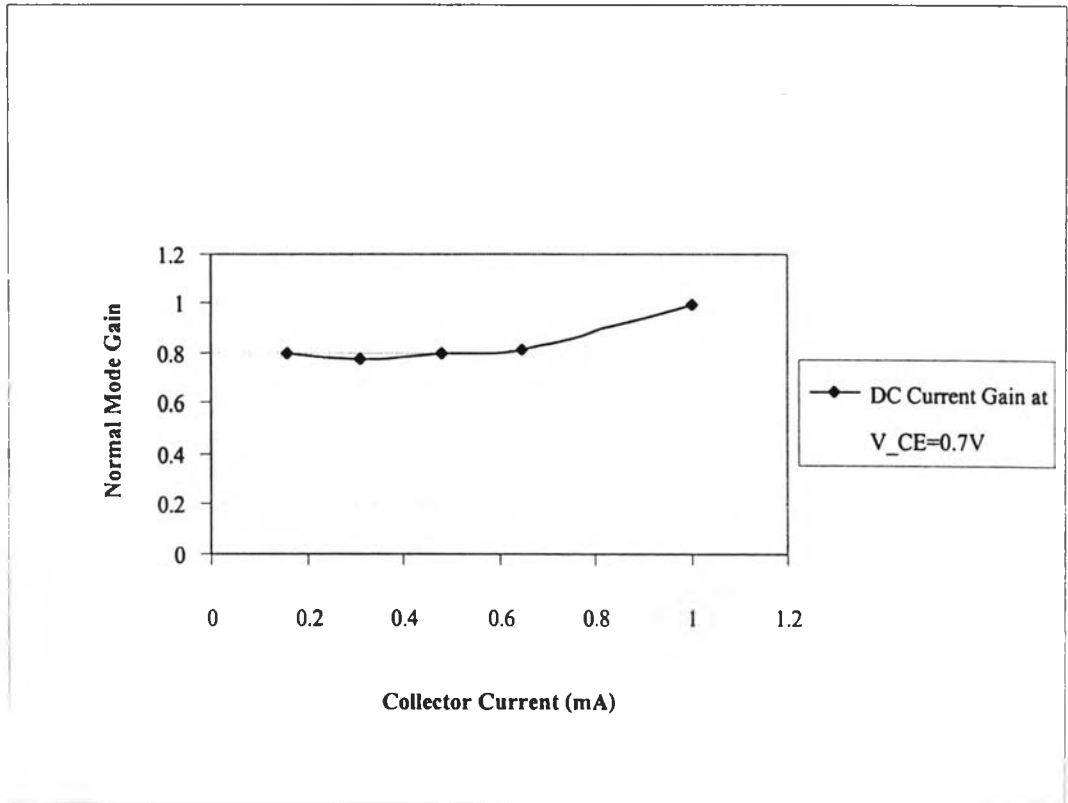
รูปที่ 4.10 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสคอลเล็กเตอร์ค่าใดๆใน Normal Mode ของ TR(0.3,0.3)



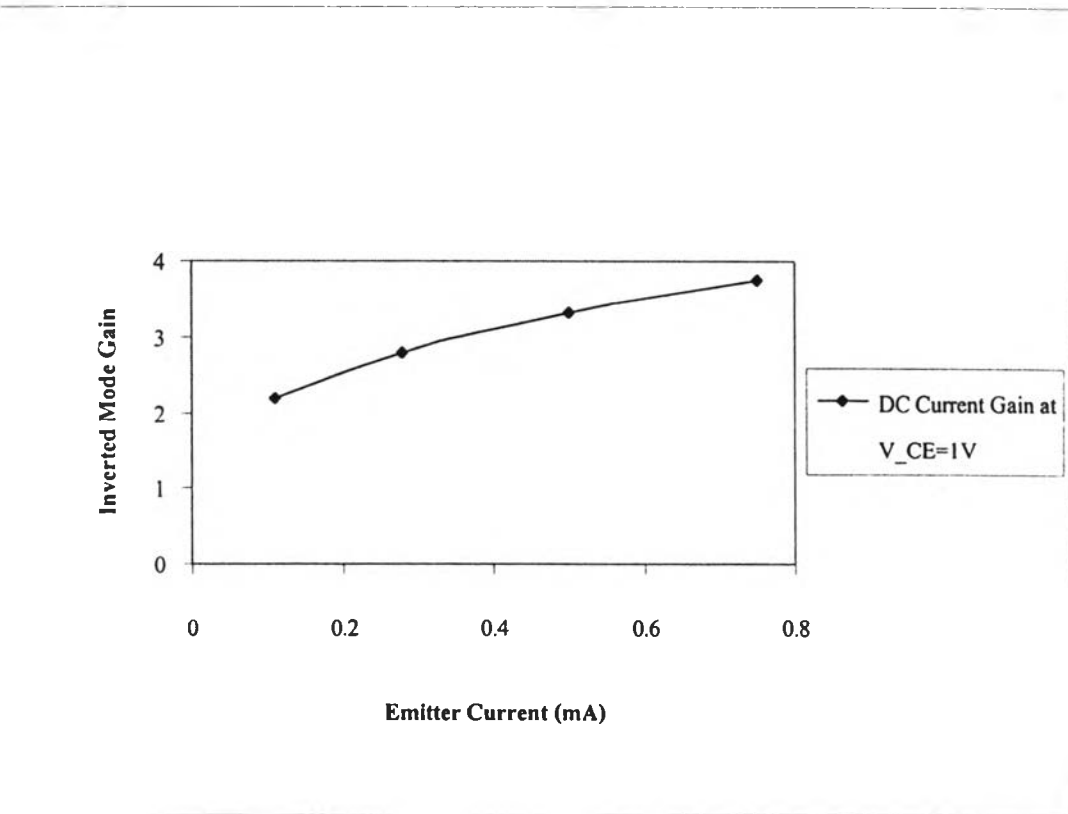
รูปที่ 4.11 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสมีตเตอร์ค่าใดๆใน Inverted Mode ของ TR(0.3,0.3)



รูปที่ 4.12 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสคอลเล็กเตอร์ค่าใดๆใน Normal Mode ของ TR(0.35,0.35)

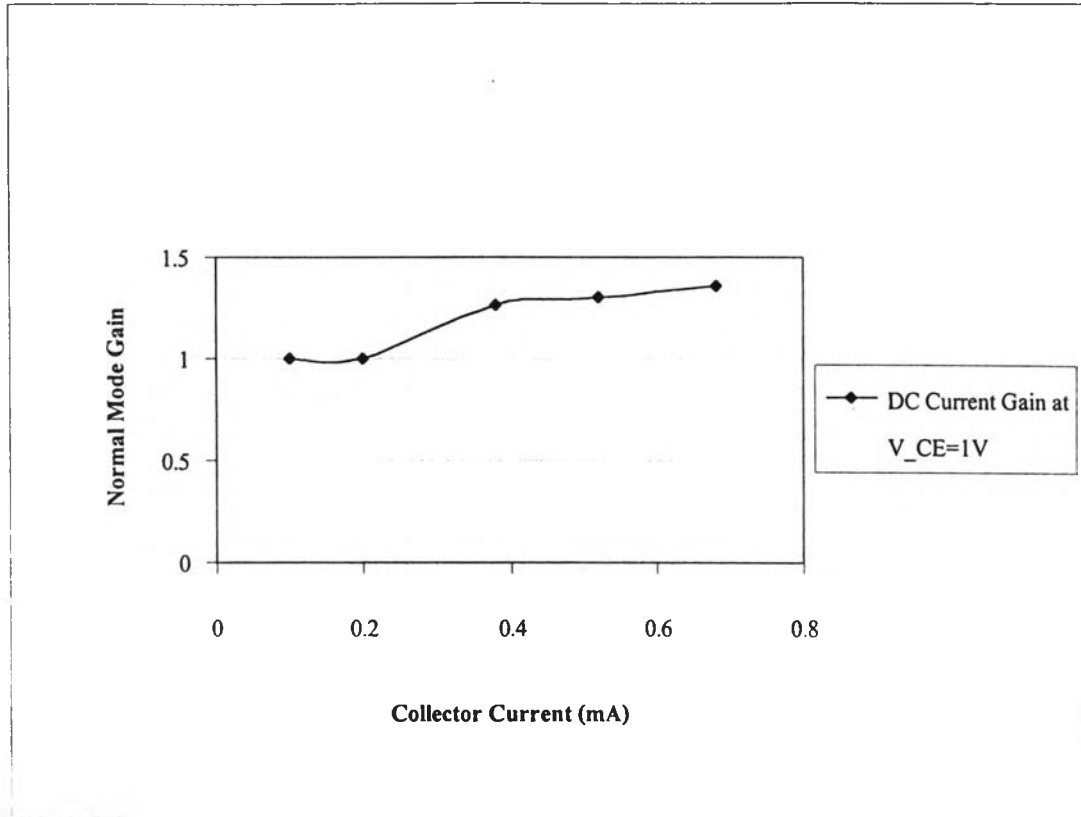


รูปที่ 4.13 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสคอลเล็กเตอร์ค่าใดๆใน Normal Mode ของ TR(0.2,0.35)

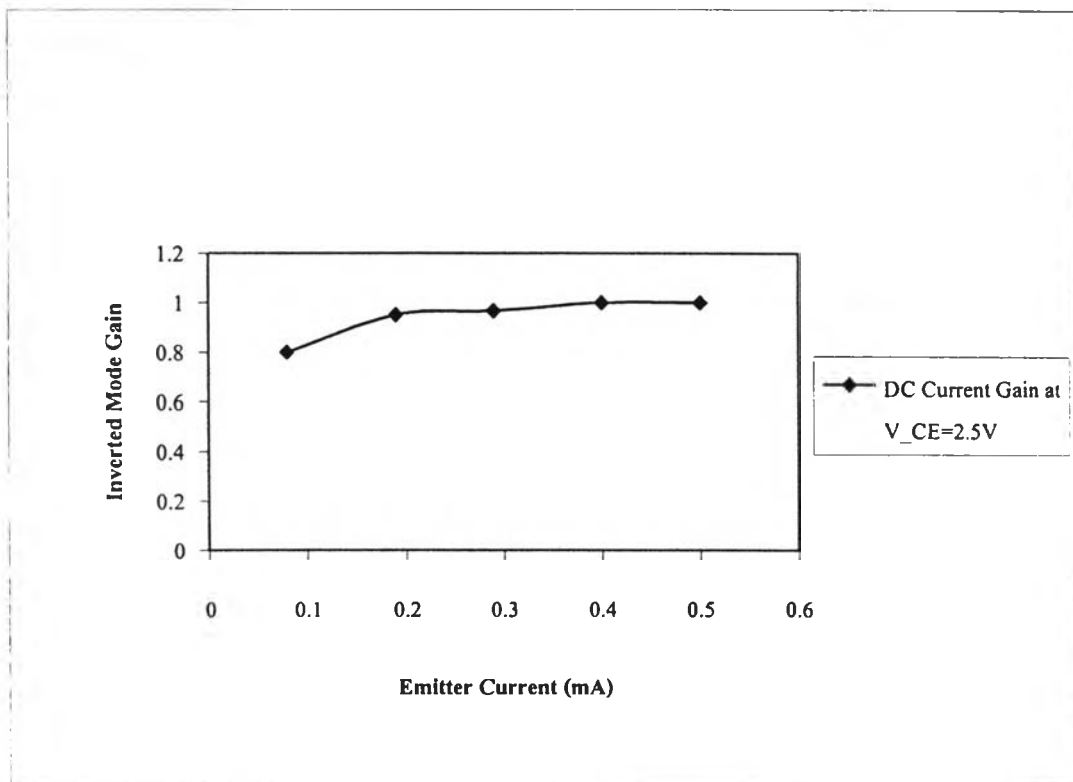


รูปที่ 4.14 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสเอมิเตอร์ค่าใดๆใน Inverted Mode ของ TR(0.2,0.35)





รูปที่ 4.15 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสคอลเล็กเตอร์ค่าใดๆใน Normal Mode ของ TR(0.35,0.2)



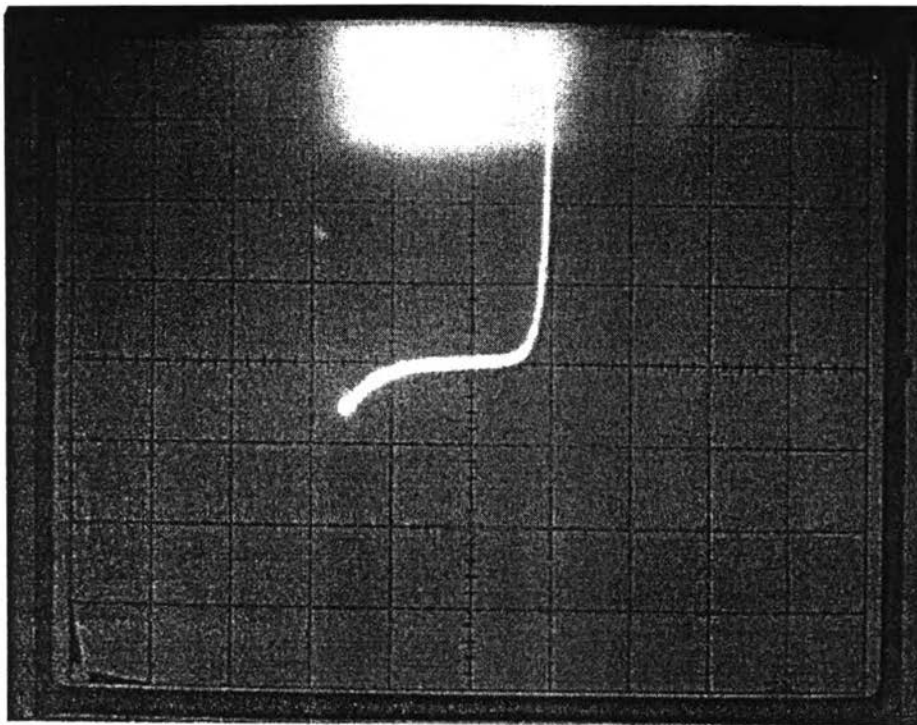
รูปที่ 4.16 กราฟอัตราขยายกระแสที่กระแสอีมิเตอร์ค่าใดๆใน Inverted Mode ของ TR(0.35,0.2)

โครงสร้าง	Normal Mode					Inverted Mode				
	Gain	$I_C$ (mA)	$V_{CE}$ (V)	$V_{CESat}$ (V)	$V_{CEO}$ (V)	Gain	$I_E$ (mA)	$V_{CE}$ (V)	$V_{CESat}$ (V)	$V_{CEO}$ (V)
TR(0.2,0.2)	$\ll 1$	ทุกค่า	ทุกค่า	***	***	0.88	0.35	2	0.5	6
TR(0.3,0.3)	$\ll 1$	ทุกค่า	ทุกค่า	0.1	***	9	3.6	14	0.6	***
TR(0.35,0.35)	11	1	4	0.5	6.5	$\ll 1$	ทุกค่า	ทุกค่า	***	***
TR(0.2,0.35)	1	1	0.7	0.1	***	3.8	0.75	1	0.2	3
TR(0.35,0.2)	1.4	0.68	1	0.07	10	1	0.4	25	0.1	6

ตารางที่ 4.1 อัตราขยายกระแสทั้งในโหมดปกติและ โหมดกลับทาง รวมทั้ง  $V_{CESat}$  และค่าแรงดัน พังทลาย  $V_{CEO}$  ของทรานซิสเตอร์โครงสร้างต่างๆ

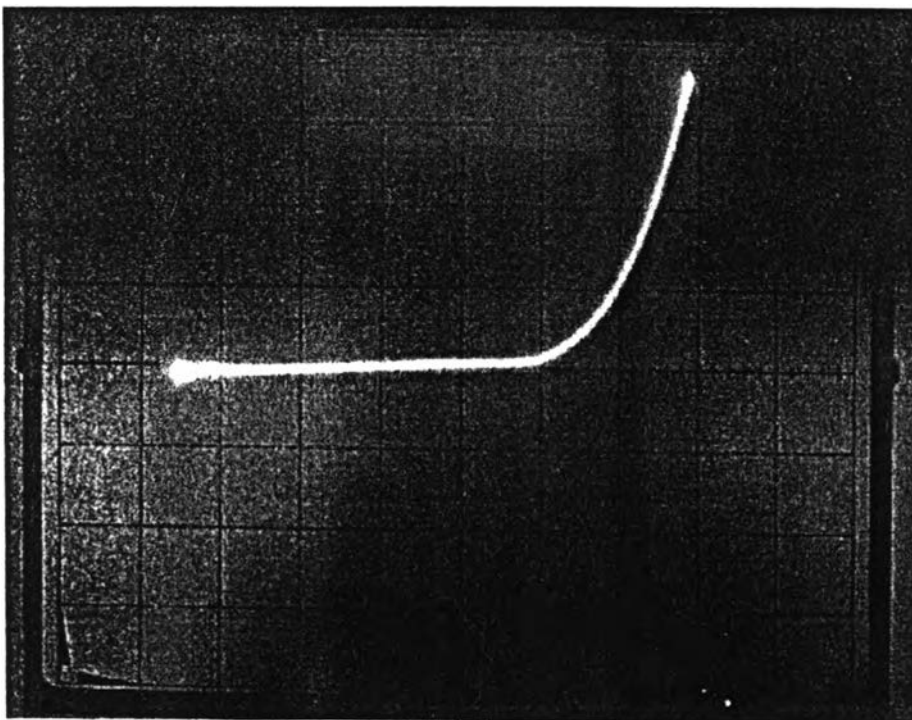
#### 4.2 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน หัวต่อต่างชนิดพี-เอ็นของ GaAs (p<sup>+</sup>)/Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As (n)

ด้วย Curve Tracer ร่วมกับ Probe Station ทำการบันทึกลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของ หัวต่อต่างชนิดของอิมิตเตอร์-เบส และคอลเล็กเตอร์-เบส ของทรานซิสเตอร์ทุกโครงสร้างและ แสดงไว้ในรูปที่ 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 และ 4.26 จากกราฟที่บันทึกจะ ได้ข้อมูล  $V_{Cut\ in}$  และแรงดันพังทลายของหัวต่อ ทั้งหมดนำเสนอในตารางที่ 4.2



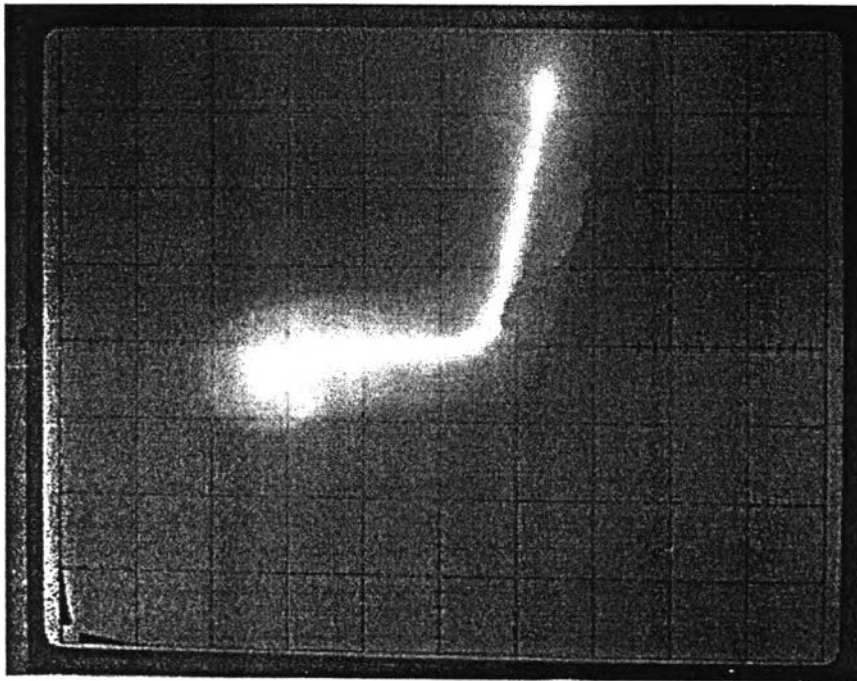
$I_E = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{EB} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.17 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส ของ TR(0.2,0.2)



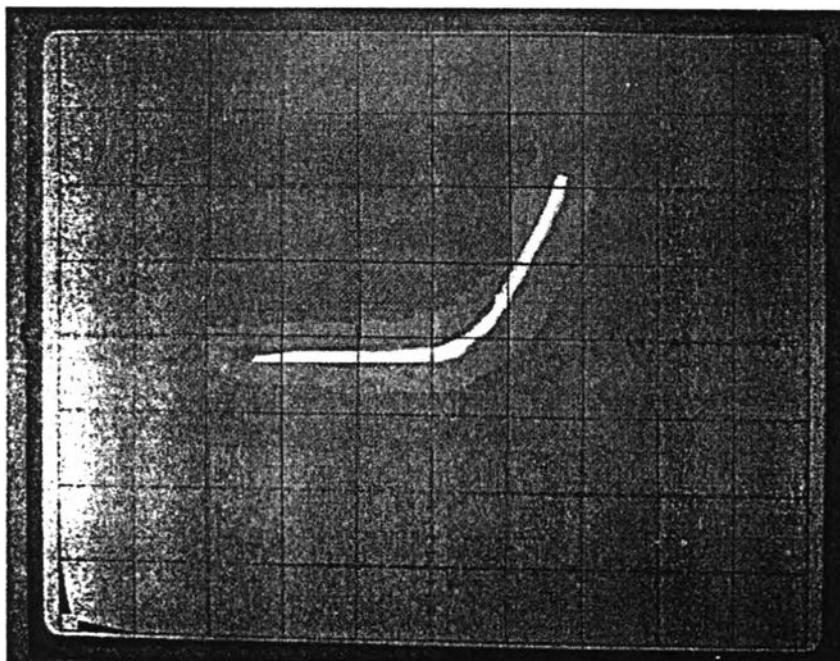
$I_C = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{CB} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.18 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่อกอลเล็กเตอร์-เบส ของ TR(0.2,0.2)



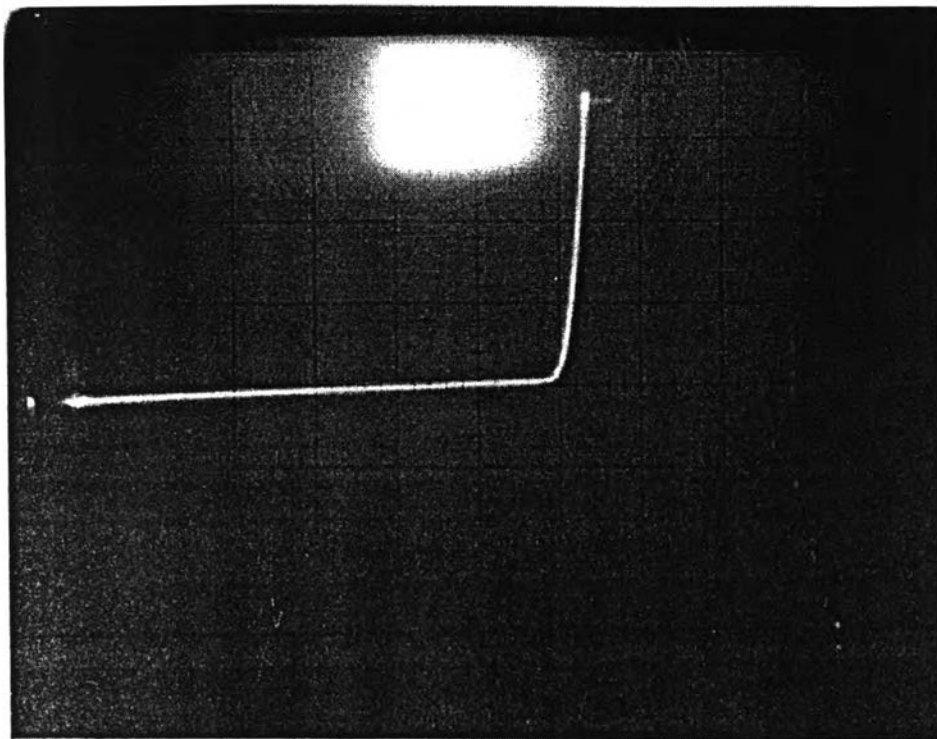
$I_E = 0.5 \text{ mA/div}$   
 $V_{EB} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.19 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส ของ TR(0.3,0.3)



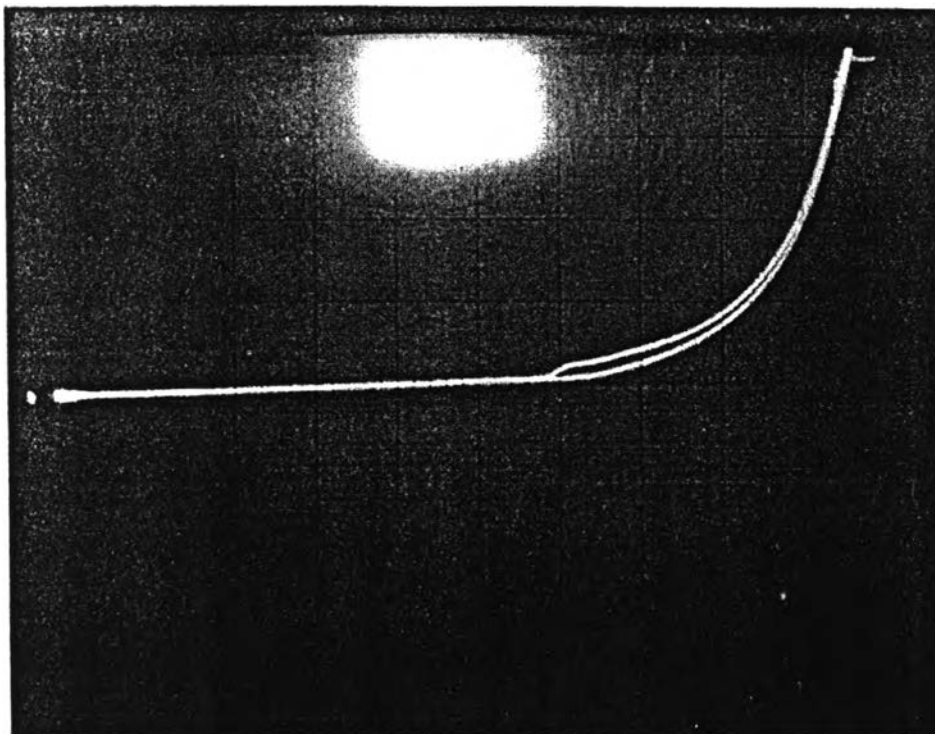
$I_C = 0.5 \text{ mA/div}$   
 $V_{CB} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.20 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบส ของ TR(0.3,0.3)



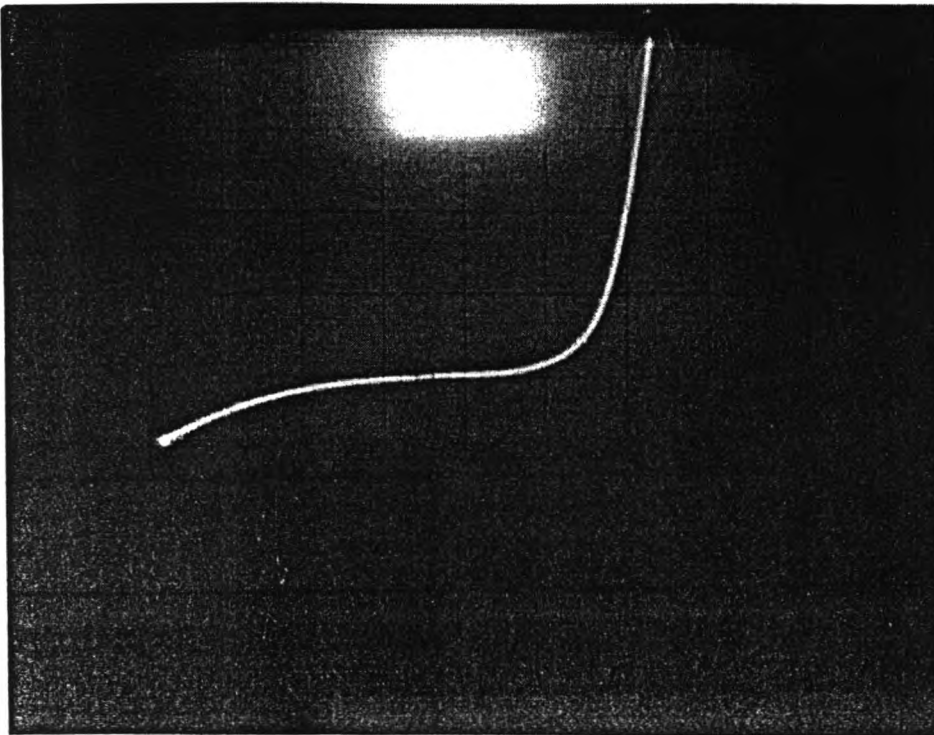
$I_E = 0.5 \text{ mA/div}$   
 $V_{EB} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.21 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส ของ TR(0.35,0.35)



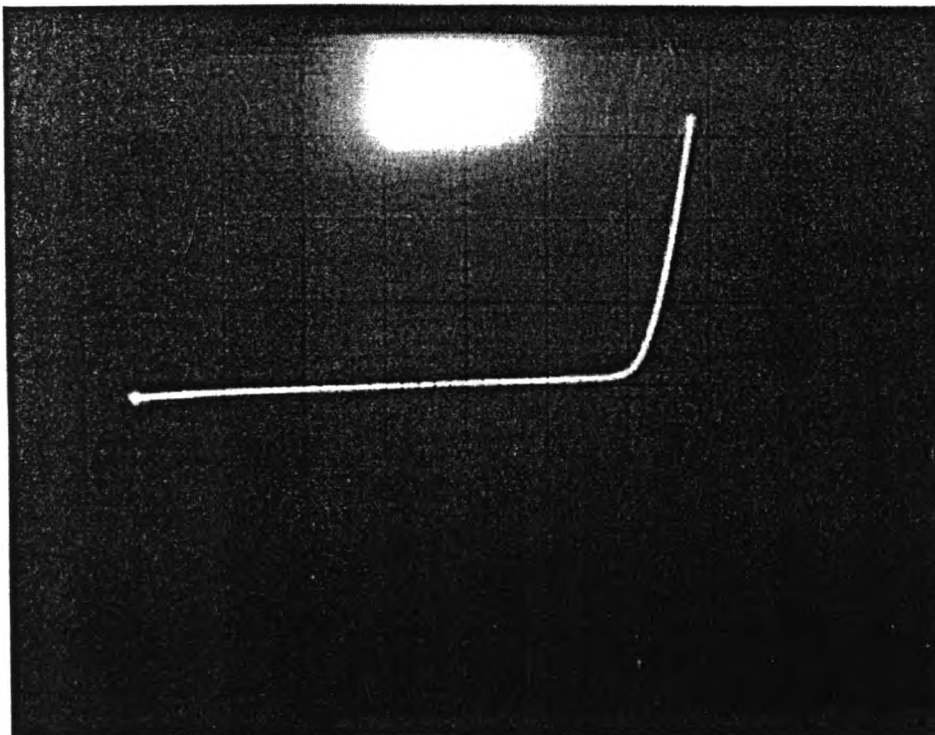
$I_C = 0.5 \text{ mA/div}$   
 $V_{CB} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.22 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบส ของ TR(0.35,0.35)



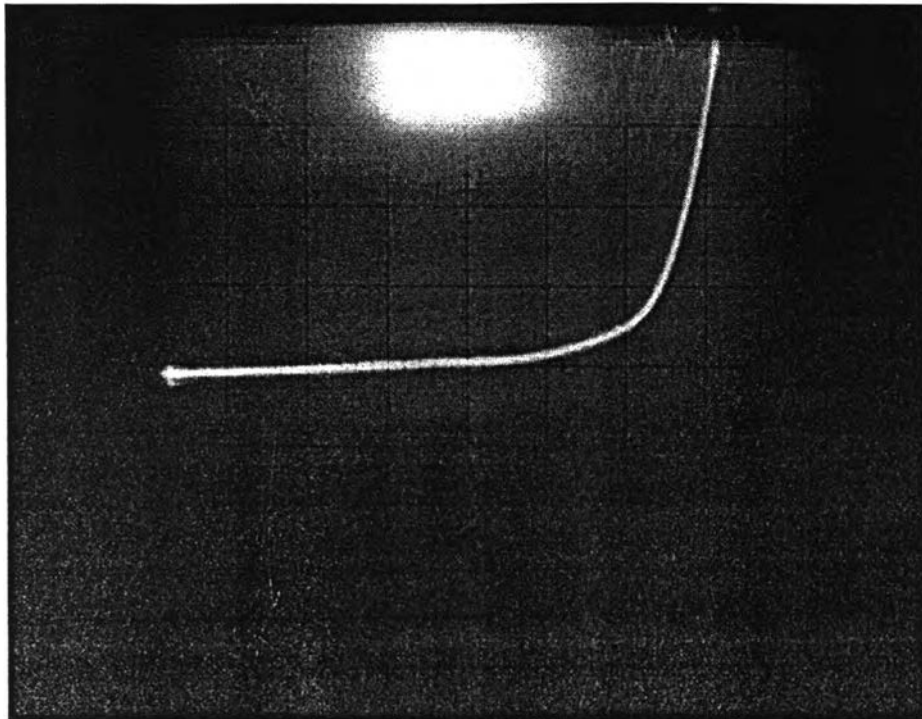
$I_E = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{EB} = 0.5 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.23 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส ของ TR(0.2,0.35)

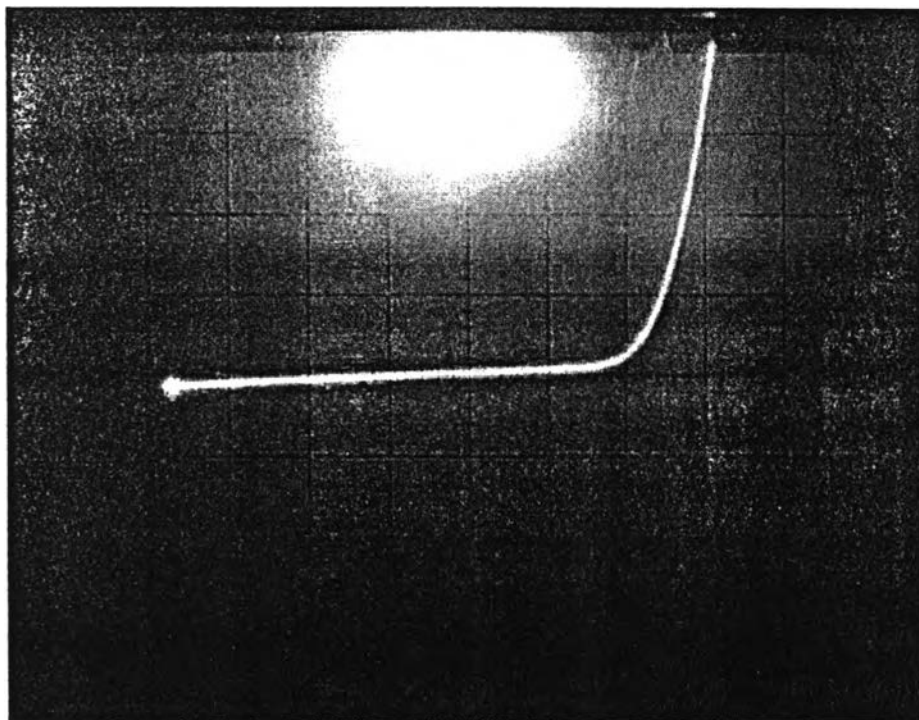


$I_C = 0.1 \text{ mA/div}$   
 $V_{CB} = 0.5 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.24 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่อกอลเล็กเตอร์-เบส ของ TR(0.2,0.35)



รูปที่ 4.25 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส ของ TR(0.35,0.2)



รูปที่ 4.26 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบส ของ TR(0.35,0.2)

โครงสร้าง	หัวต่ออิมิตเตอร์-เบส		หัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบส	
	$V_{Cut\ in}$ (V)	$V_{EBO}$ (V)	$V_{Cut\ in}$ (V)	$V_{CBO}$ (V)
TR(0.2,0.2)	0.9	3	1.9	12
TR(0.3,0.3)	0.6	3	0.7	9
TR(0.35,0.35)	1.2	7	3.5	10
TR(0.2,0.35)	0.85	3	1.15	9
TR(0.35,0.2)	1.3	4	1.2	9

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า  $V_{Cut\ in}$  และแรงดันทั้งทลยของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส และคอลเล็กเตอร์-เบส ของทรานซิสเตอร์โครงสร้างต่างๆ

#### 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 ที่แสดงลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์ที่ผลิต ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญๆ เช่น อัตราขยายกระแส  $V_{CESat}$  อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้มีทั้งที่สอดคล้องและขัดแย้งกับทฤษฎีพื้นฐาน จะวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของข้อมูล ซึ่งจะมีผลกระทบจากพารามิเตอร์ทุกๆตัว

##### 4.3.1 อัตราขยายกระแสใน Normal Mode

เมื่อนำค่าของอัตราขยายกระแสใน Normal Mode และใน Inverted Mode มาเปรียบเทียบโดยตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงคือ สัดส่วนของอลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์และในชั้นคอลเล็กเตอร์ จะพบว่า เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของอลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์ ในขณะที่สัดส่วนของอลูมิเนียมในชั้นคอลเล็กเตอร์คงที่นั้น ค่าอัตราขยายกระแสใน Normal Mode สูงขึ้น โดยเปรียบเทียบได้จากโครงสร้าง TR(0.2,0.2) และโครงสร้าง TR(0.35,0.2) ซึ่งค่าอัตราขยายใน Normal Mode เปลี่ยนแปลงจากค่าที่ต่ำกว่า 1 มาเป็น 1.4 หรือจากโครงสร้าง TR(0.2,0.35) และโครงสร้าง TR(0.35,0.35) ซึ่งให้ค่าอัตราขยายใน Normal Mode เปลี่ยนแปลงจาก 1 เพิ่มขึ้นเป็น 11 ตามค่าดังตารางที่ 4.1 ทั้งนี้เนื่องจากความต่างของช่องว่างพลังงาน ( $\Delta E_g$ ) มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการฉีดพาหะจากอิมิตเตอร์ไปสู่เบสและกระแสคอลเล็กเตอร์สูงขึ้น นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างกระแสคอลเล็กเตอร์และกระแสเบสสูงขึ้นด้วย แต่ในทางกลับกัน เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของอลูมิเนียมในชั้นคอลเล็กเตอร์ ในขณะที่สัดส่วนของอลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์คงที่นั้น ค่าอัตราขยายกระแสใน Normal Mode ควรจะลดลง



ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มอลูมิเนียมในชั้นคอลเล็กเตอร์ จะทำให้ยอดของ Spike สูงขึ้น ทำให้เกิดการดักจับพาหะมากขึ้น ส่งผลให้กระแสคอลเล็กเตอร์ลดต่ำลง ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ในทางที่เลวลง แต่เมื่อสังเกตจากผลที่ได้จากโครงสร้าง TR(0.2,0.2) และ TR(0.2,0.35) จะพบว่าค่าอัตราขยายใน Normal Mode เปลี่ยนแปลงจากเดิมที่ต่ำกว่า 1 เพิ่มขึ้นเป็น 1 หรือผลที่ได้จากโครงสร้าง TR(0.35,0.2) และ TR(0.35,0.35) จะพบว่าค่าอัตราขยายใน Normal Mode เปลี่ยนแปลงจาก 1.4 เพิ่มขึ้นเป็น 11 ทั้งๆที่ควรจะลดต่ำลง ทั้งนี้อาจจะอธิบายได้เป็น 2 กรณี กรณีแรก Spike ที่สูงขึ้นเนื่องจากปริมาณในอลูมิเนียมในคอลเล็กเตอร์ที่สูงขึ้นน่าจะถูกลดอิทธิพลลงด้วยพารามิเตอร์ตัวอื่นที่สำคัญ เช่น ความลาดของหัวต่อซึ่งแปรปรวนตามลักษณะการปลูกผลึกตามตารางที่ 4.3 TR(0.35,0.2) มีอัตราขยายตามทฤษฎีประมาณ 4.5 ที่  $L_{gE}=50 \text{ \AA}$   $L_{gC}=100 \text{ \AA}$  ในขณะที่ TR(0.35,0.35) ซึ่งมีปริมาณอลูมิเนียมสูงขึ้น มีอัตราขยายตามทฤษฎีเป็น 8 ที่  $L_{gE}=L_{gC}=100 \text{ \AA}$  หรือเป็น 40 ที่  $L_{gE}=100 \text{ \AA}$   $L_{gC}=200 \text{ \AA}$  กรณีที่สองที่อธิบายได้น่าจะเป็นผลจากลักษณะของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส และคอลเล็กเตอร์-เบส ซึ่งถูกแพร์ซิมสังกะสีด้านข้าง แม้ว่าเราจะพยายามจำกัดให้ พารามิเตอร์ต่างๆทั้งอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารเจือปนสังกะสี เท่ากันในทุกๆ โครงสร้าง แต่จากลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส  $Ga_{1-x}Al_xAs(n)/GaAs(p^+)$  ของโครงสร้างที่มีสัดส่วนของอลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์ที่เท่ากันมีลักษณะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.17 TR(0.2,0.2) กับรูปที่ 4.23 TR(0.2,0.35) หรือในรูปที่ 4.25 TR(0.35,0.2) กับรูปที่ 4.21 TR(0.35,0.35) ทำให้ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎี ประเด็นนี้จะกล่าวอีกครั้งในหัวข้อ 4.3.3

#### 4.3.2 อัตราขยายกระแสใน Inverted Mode

ในทำนองเดียวกันกับอัตราขยายกระแสใน Normal Mode เพียงแต่ การสลับหน้าที่ระหว่างอิมิตเตอร์และคอลเล็กเตอร์ ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนอลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์ ในขณะที่สัดส่วนอลูมิเนียมในชั้นคอลเล็กเตอร์คงที่ ควรจะทำให้อัตราขยายกระแสใน Inverted Mode ลดลง ซึ่งก็สอดคล้องกับโครงสร้าง TR(0.2,0.35) และโครงสร้าง TR(0.35,0.35) ที่ค่าอัตราขยายกระแสใน Inverted Mode ลดลงจาก 3.8 เป็นค่าที่ต่ำกว่า 1 มากๆ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของ Spike ในแถบนำไฟฟ้าของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส การเพิ่มอลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์ จะทำให้ยอดของ Spike สูงขึ้น ทำให้เกิดการดักจับพาหะมากขึ้นส่งผลให้กระแสอิมิตเตอร์ลดต่ำลง ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ในทางที่เลวลง และอย่างไรก็ตามในโครงสร้าง TR(0.2,0.2) กับ TR(0.35,0.2) อัตราขยายใกล้เคียงกัน แสดงว่าอิทธิพลของ Spike คงถูกลดความรุนแรงไปด้วยความลาดเอียงของหัวต่อ และเมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนอลูมิเนียมในชั้นคอลเล็กเตอร์ ในขณะที่จำกัดให้สัดส่วน

ส่วนอูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์คงที่ ดังโครงสร้าง TR(0.2,0.2) และโครงสร้าง TR(0.2,0.35) จะได้ว่าค่าอัตราขยายกระแสใน Inverted Mode เพิ่มขึ้นจาก 0.88 เป็น 3.8 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าความต่างของช่องว่างแถบพลังงาน ( $\Delta E_g$ ) มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการฉีดพาหะจากคอลเล็กเตอร์ไปสู่เบสและอิมิตเตอร์สูงขึ้น นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างกระแสอิมิตเตอร์และกระแสเบสสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อสังเกตถึงผลที่ได้จากโครงสร้าง TR(0.35,0.2) และโครงสร้าง TR(0.35,0.35) ซึ่งค่าอัตราขยายกระแสใน Inverted Mode ลดลงจากเดิมที่เป็น 1 กลายเป็นค่าที่ต่ำกว่า 1 ทั้งๆที่ควรจะเพิ่มขึ้นตามผลที่ได้จากการคำนวณ น่าจะมีผลจากลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่อ คอลเล็กเตอร์-เบส  $\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{As}(n)/\text{GaAs}(p^+)$  ทางด้านไบแอสตรงของโครงสร้าง TR(0.35,0.2) ดังรูปที่ 4.26 ดีกว่าและแตกต่างกับของโครงสร้าง TR(0.35,0.35) ดังรูปที่ 4.22 อย่างชัดเจน ในขณะที่เดียวกันลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบส  $\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{As}(n)/\text{GaAs}(p^+)$  ของโครงสร้าง TR(0.2,0.2) ดังรูปที่ 4.18 และโครงสร้าง TR(0.2,0.35) ดังรูปที่ 4.24 ค่อนข้างคล้ายคลึงกัน

นอกจากนี้แล้ว จะสังเกตเห็นว่า ถ้าลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบส และหัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบส ดังจะเห็นได้จากโครงสร้าง TR(0.35,0.2) ดังรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 ตามลำดับ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จะทำให้ค่าแรงดัน Turn on ( $V_{\text{CESat}}$ ) ของทรานซิสเตอร์ทั้งในโหมดปกติ และโหมดกลับทาง มีค่าต่ำไม่เกิน 0.1 โวลต์ ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถกระทำได้ในงานชิ้นนี้แต่อย่างไรก็ดีค่าแรงดันพังทลายของทรานซิสเตอร์ในทุกโครงสร้างที่ทำการผลิตยังมีค่าต่ำ คือ มีค่าโดยเฉลี่ย 6 โวลต์ แต่ไม่เกิน 10 โวลต์ เนื่องจากระดับสารเจือในอิมิตเตอร์และคอลเล็กเตอร์มีค่า  $\approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  เพื่อลดอิทธิพลของ "Spike" ในหัวต่อทั้งสองไม่ให้มีค่ามากนัก

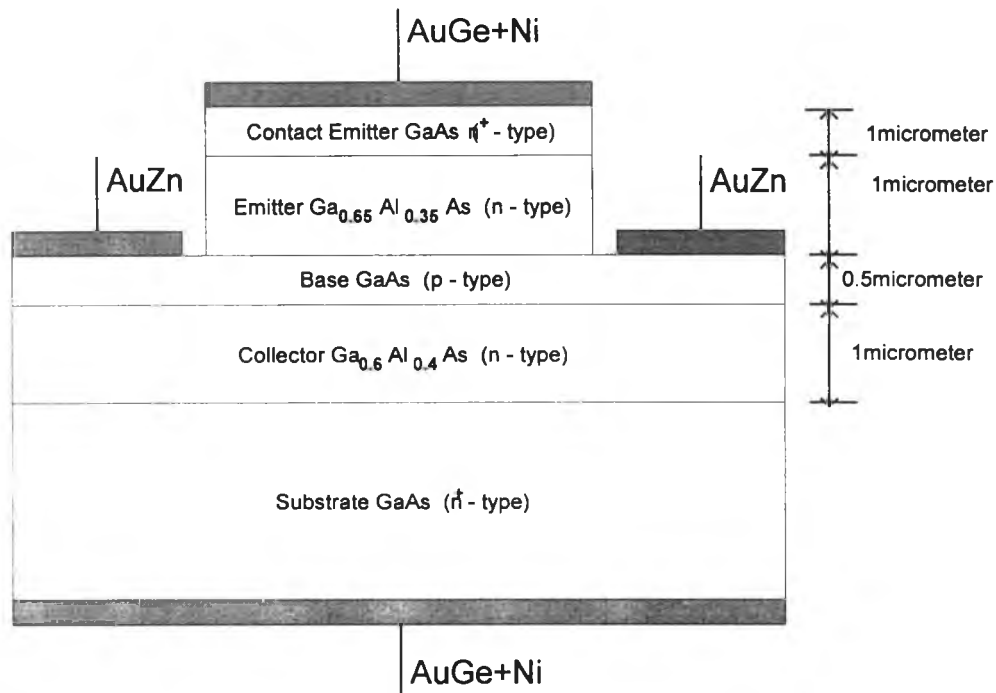
โครงสร้าง	Normal Mode						
	ทดลอง	$L_{gE}=50 \text{ \AA}$ $L_{gC}=50 \text{ \AA}$	$L_{gE}=50 \text{ \AA}$ $L_{gC}=100 \text{ \AA}$	$L_{gE}=100 \text{ \AA}$ $L_{gC}=100 \text{ \AA}$	$L_{gE}=100 \text{ \AA}$ $L_{gC}=200 \text{ \AA}$	$L_{gE}=200 \text{ \AA}$ $L_{gC}=200 \text{ \AA}$	$L_{gE}=500 \text{ \AA}$ $L_{gC}=100 \text{ \AA}$
TR(0.2,0.2)	<<1	0.4	1.5				
TR(0.3,0.3)	<<1	0.6	2.5				
TR(0.35,0.35)	10.5			8	40		
TR(0.2,0.35)	1					0.1	0.25
TR(0.35,0.2)	1.35	<<1	4.5				

โครงสร้าง	Inverted Mode				
	ทดลอง	$L_{gE}=50 \text{ \AA}$ $L_{gC}=50 \text{ \AA}$	$L_{gE}=100 \text{ \AA}$ $L_{gC}=100 \text{ \AA}$	$L_{gE}=100 \text{ \AA}$ $L_{gC}=200 \text{ \AA}$	$L_{gE}=200 \text{ \AA}$ $L_{gC}=200 \text{ \AA}$
TR(0.2,0.2)	0.88	0.4	3		
TR(0.3,0.3)	9		6	30	
TR(0.35,0.35)	<<1	0.8	8		
TR(0.2,0.35)	3.8	<<1	10		
TR(0.35,0.2)	1		<<1		0.2

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอัตราขยายกระแสที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทฤษฎี  
 จำนวนที่  $L_{gE}$  และ  $L_{gC}$  ต่างๆ โดยให้  $N_{DE}=N_{DC}=10^{17} \text{ cm}^{-3}$   $V_{BC} = -5 \text{ Volt}$

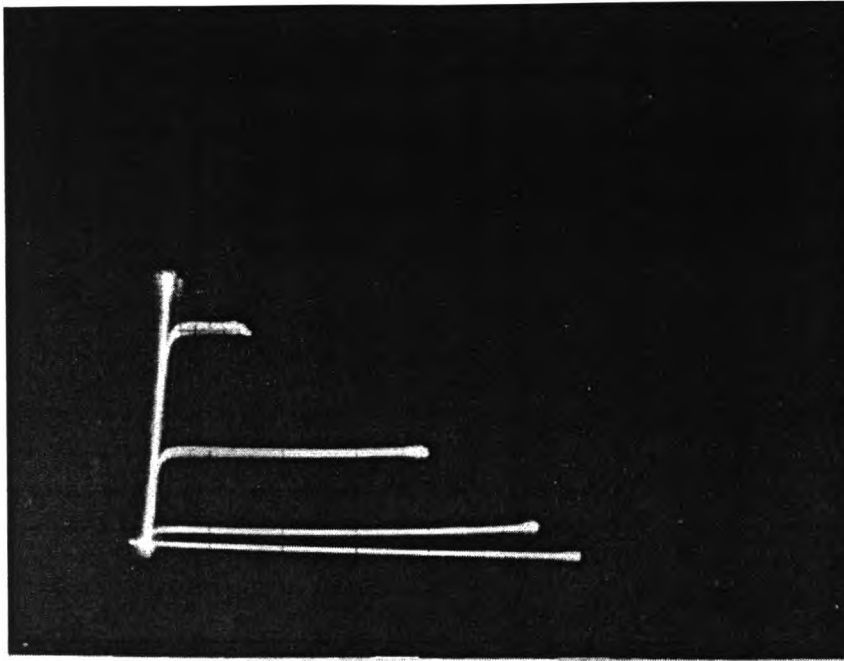
### 4.3.3 DHBT โครงสร้างเมฆา

ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ที่มีโครงสร้างเมฆาได้ถูกผลิตขึ้น [10,11] และมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ทรานซิสเตอร์โครงสร้างเมฆา

โดยมีสัดส่วนอลูมิเนียมในชั้นอิมิตเตอร์และคอลเล็กเตอร์เป็น 0.35 และ 0.4 ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นของสารเจือปนในชั้นอิมิตเตอร์ ชั้นเบส และชั้นคอลเล็กเตอร์ เป็น  $1 \cdot 10^{17}$   $1 \cdot 10^{19}$  และ  $1 \cdot 10^{16}$   $\text{cm}^{-3}$  ตามลำดับ รูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 แสดงลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันที่ได้ จากรูปจะพบว่าค่าอัตราขยายกระแสใน โมดปกติเป็น 10 ในขณะที่ค่าอัตราขยายใน โมดกลับทางเป็น 4 และเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโครงสร้างแบบระนาบที่มีสัดส่วนอลูมิเนียมในอิมิตเตอร์และคอลเล็กเตอร์ใกล้เคียงกันนี้ คือ TR(0.35,0.35) ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งมีอัตราขยายกระแสใน โมดปกติเป็น 11 แต่อัตราขยายใน โมดกลับทางมีค่าต่ำกว่า 1 ดูเสมือนว่าสมรรถนะของทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอย่างละเอียดพบว่า ทรานซิสเตอร์โครงสร้างเมฆามีสมรรถนะที่คิดว่าจะมาก กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารเจือปนในชั้นเบส ( $10^{19}$ : $5 \cdot 10^{18}$ ) ทรานซิสเตอร์โครงสร้างเมฆาควรมีอัตราขยายใน โมดปกติเป็น 2 เท่าของทรานซิสเตอร์โครงสร้างระนาบ ถ้ามีสารเจือปนในชั้นเบสเป็น  $5 \cdot 10^{18}$   $\text{cm}^{-3}$  ในขณะที่โมดกลับทางจะมีอัตราขยายเป็น  $20 \cdot 4$



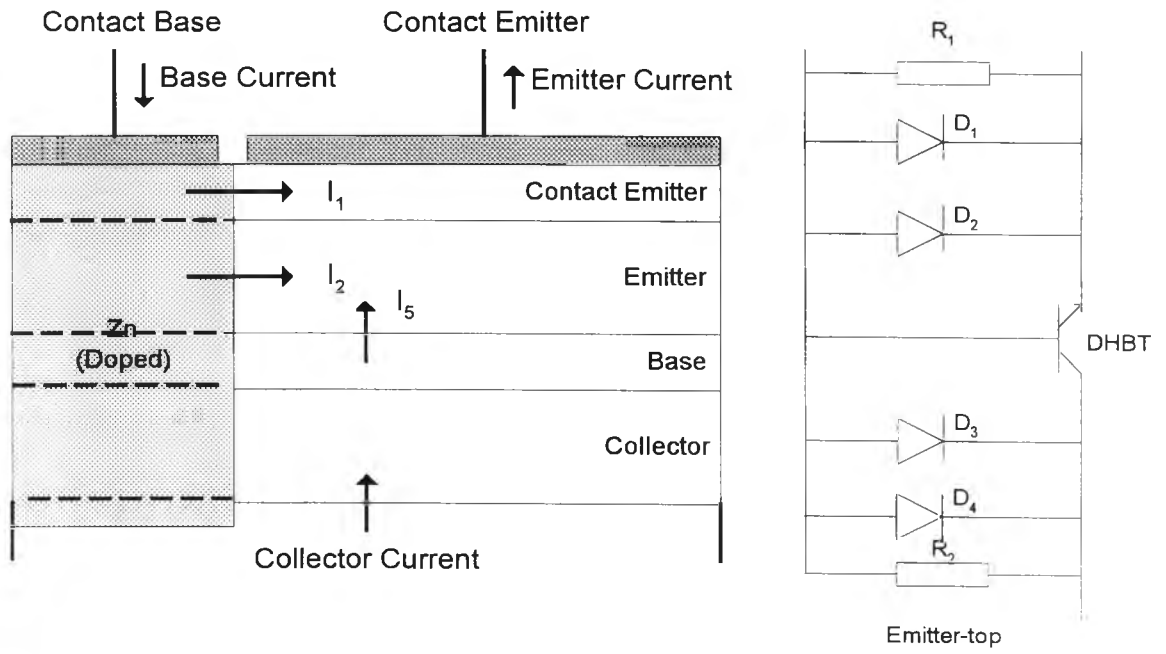
$I_C = 0.2 \text{ mA/div}$   
 $I_B = 50 \mu\text{A/step}$   
 $V_{CE} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.28 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์โครงสร้างเมฆาใน Normal Mode ของ TR(0.35,0.4)

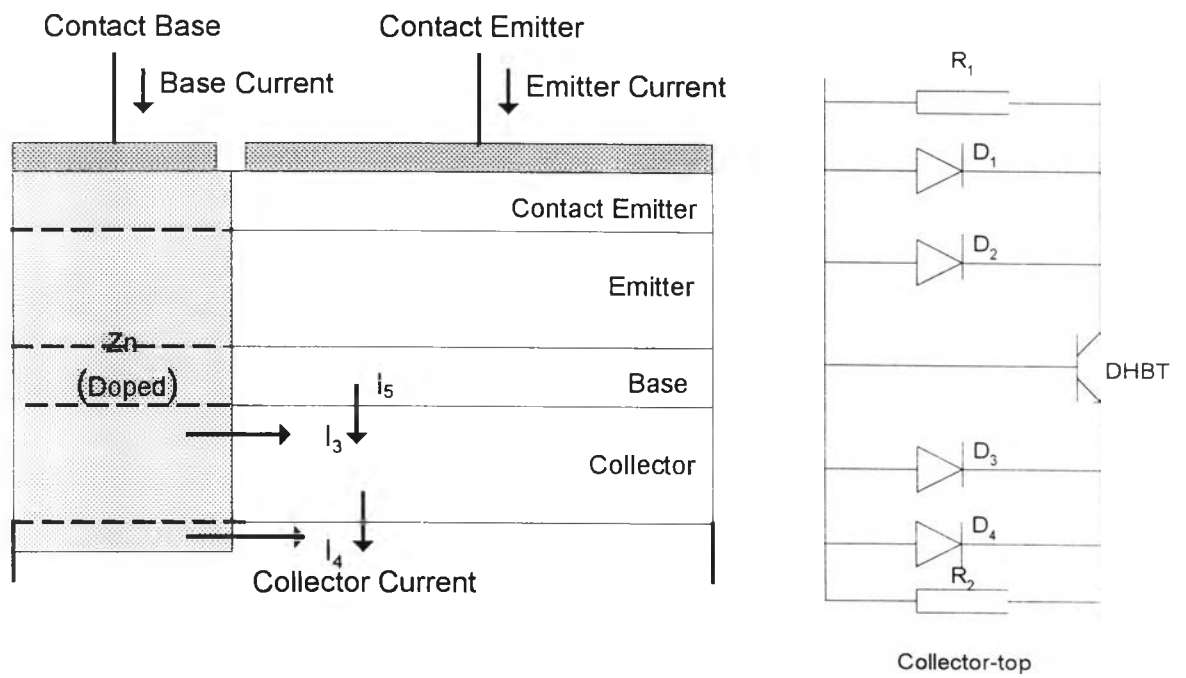


$I_E = 20 \mu\text{A/div}$   
 $I_B = 10 \mu\text{A/step}$   
 $V_{CE} = 1 \text{ V/div}$

รูปที่ 4.29 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของทรานซิสเตอร์โครงสร้างเมฆาใน Inverted Mode ของ TR(0.35,0.4)



รูปที่ 4.30(a) แสดงกระแสรั่วด้านข้างของโครงสร้างระนาบเมื่อทำงานในโหมดปกติ



รูปที่ 4.30(b) แสดงกระแสรั่วด้านข้างของโครงสร้างระนาบเมื่อทำงานในโหมดกลับทาง

$\left( = \frac{10^{19}}{5 \cdot 10^{18}} * \frac{10^{17}}{10^{16}} * 4 \right)$  ถ้าปรับสารเจือในชั้นเบสและชั้นคอลเล็กเตอร์ของโครงสร้างเมฆาเป็น  $5 \cdot 10^{18}$  และ  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอาจจะเกิดกระแสรั่ว  $I_1$  และ  $I_2$  ทางด้านข้างของหัวต่ออิมิตเตอร์-เบสโครงสร้างระนาบ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมดปกติ หรือกระแสรั่ว  $I_3$  และ  $I_4$  ทางด้านข้างหัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบสโครงสร้างระนาบในกรณีโหมดกลับทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.30 ในขณะที่โครงสร้างเมฆาปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการฉีดพาหะของหัวต่อทั้งสองด้อยกว่า ลักษณะสมบัติที่ดีกว่าของโครงสร้างเมฆาอีกอย่างที่เราเห็นได้ชัดเจนก็คือ ไม่มี Early Effect ให้เห็นในขณะที่ของทรานซิสเตอร์โครงสร้างระนาบมีให้เห็นเป็นส่วนใหญ่ เหตุผลเนื่องจากระดับสารเจือในเบสของโครงสร้างเมฆาสูงถึง  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  (GaAs-p<sup>++</sup>) ในขณะที่ในคอลเล็กเตอร์ระดับสารเจือมีค่าเพียง  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  จึงไม่เกิด Base Width Modulation