



ทรานซิสเตอร์ชนิดใหม่โครงสร้างแบบ MOIS
New Transistor Structure of MOIS

โดย

น.ส. มนธนา ศรีเสือนาม

เลขประจำตัว 313416

ชั้น ET 3 บำส

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อนันต์ ชัยเลิศวิมลกุล

อ. วิเศษ ชูดีรุ่งเรือง

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2533

เลขหมู่ T 33075 ๗3
เลขทะเบียน 027908
วัน, เดือน, ปี 12 ก.ค. 34

ทรานซิสเตอร์ชนิดใหม่โครงสร้างแบบ MOIS

ชื่อ นางสาว มนชนก ศรีเสือขาม

เลขประจำตัว 313416

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. อนันต์ ชัยเลิศวิมลกุล

อ. วิสุมิ จิตรุ่งเรือง

ปีการศึกษา 2533

ABSTRACT

The genneral MOS transistor structure use the difference type of substrate from its drain and source. Sometime there is no substrate that difference from the type of drain and source of the MOS transistor. And when there is no suitable substrate ,the fabrication must be stop. So the strdy of the new structure of the substrate that difference from the N-type. and P-type semiconductor is begun. And call it the MOISFET

In this thesis show the design , fabrication and analysis the parameter of the n-channel and p-channel enhancement mode MOISFET. The result of this study guide to fabricate the integrated circuit by using this structure.

บทคัดย่อ

โครงสร้างของมอสเฟตเป็นโครงสร้างที่จะต้องให้ฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันกับของเดรน และซอส ซึ่งเป็นการไม่สะดวกในการที่จะต้องจัดเตรียมแผ่นซิลิกอนให้เป็นชนิดเดียวกันกับฐานรองทุก ๆ ครั้งที่จะทำการออกแบบ ในบางครั้งที่ชนิด

ของแห่งรัชกาลก่อนที่มีอยู่ไม่ตรงตามความต้องการ ดังนั้นการศึกษาในเรื่องที่ออกแบบไว้ต้องหยุดชะงักลง จึงเริ่มมีการศึกษาการออกแบบมอสรูปแบบใหม่ที่มีฐานรองที่เป็นเสาอิงตัวนำชนิดที่แตกต่างกับเดนมและซอส และเป็นเสาอิงตัวนำชนิดเอ็นหรือพีก็ได้ เรียกว่าการออกแบบแผ่นชนิดนี้ว่า มอสรูปแบบ

สำหรับในปฏิญญาฉบับนี้จะได้กล่าวถึงการออกแบบ การสร้าง และวิเคราะห์ หากค่าพารามิเตอร์ของมอสรูปแบบเอ็นแท่นแนลเอ็นฮาร์โมนิกใหม่และแท่นแนลเอ็นฮาร์โมนิกใหม่ ซึ่งผลจากการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาให้เป็นลักษณะของวงจรรวมเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 มอชซ์เฟด	6
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างมอชซ์เฟด	11
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	22
บทที่ 5 การทดลองพัฒนามอชซ์เฟดเป็นวงจรรวมและผลการทดลอง	43
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์	59
กิตติกรรมประกาศ	61
หนังสืออ้างอิง	62

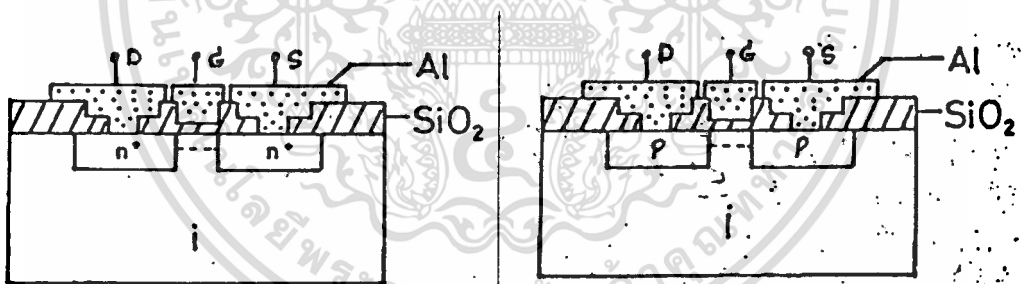


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไปของมอยซ์เฟด

ลักษณะโครงสร้างที่สำคัญของมอยซ์เฟดแสดงดังรูปที่ 1-1 ประกอบด้วย ส่วนเกต เดรน ซอสและฐานรอง ที่ส่วนเกตนั้น เป็นส่วนที่ใช้เหนี่ยวนำให้เกิดช่องทางเดินกระแสระหว่างซอสและเดรน การให้ไบอัสที่เกตขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ซอสและเดรน สำหรับส่วนซอสและเดรนจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกัน โดยที่ส่วนซอสนั้นทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายประจุพาหะที่ทำให้เกิดกระแสไหล และส่วนเดรนเป็นทางออกไปสู่วงจรภายนอกของประจุพาหะที่มาจากส่วนซอส และที่ฐานรองนั้นจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดใดก็ได้ เพราะจะต้องแพร่ระดมทองคำเข้าไปรวมตัวกับประจุพาหะของฐานรองชนิดนั้น ๆ ทำให้ฐานรองนั้นเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์



รูปที่ 1-1 แสดงโครงสร้างของมอยซ์เฟด

จากการที่ได้มีการวิจัยมาแล้วว่าเมื่อฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ และเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกับสารกึ่งตัวนำบริเวณเดรนและซอส ที่เป็นชนิดพีหรือเอ็น สามารถเกิดปรากฏการณ์ของรอยต่อระหว่างเดรนและซอสกับฐานรอง เหมือนกับปรากฏการณ์ของรอยต่อพีกับเอ็น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน เป็นการต้านทานเคลื่อนที่ของประจุพาหะจากส่วนซอสไปยังส่วนเดรน ที่ผ่านทางช่องทางเดินกระแสขณะใช้งาน ซึ่งลักษณะโครงสร้างของมอยซ์เฟดและการเกิดปรากฏการณ์ของรอยต่อเหมือนกับ โครงสร้างและปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับมอสเฟด

โครงสร้างและการทำงานของมอสเฟตโดยสังเขป

1.2 โครงสร้างและการทำงานของมอสเฟต

โครงสร้างของมอสเฟตประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนซอร์ส เคน และเกต สำหรับฐานรองนั้นจะต้องเป็นสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันกับเคนและซอร์ส ลักษณะโครงสร้างของมอสเฟตแสดงดังรูปที่ 1-2 โดยส่วนซอร์ส เคน และเกต มีหน้าที่การทำงานดังนี้

ซอร์ส เป็นสารกึ่งตัวนำที่ต่างชนิดกับฐานรอง ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายประจุพาหะที่ทำให้เกิดกระแส (I_{DS})

เคน เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกับซอร์ส ทำหน้าที่เป็นทางออกไปสู่วงจรภายนอกของประจุพาหะที่มาจากส่วนซอร์ส

เกต เป็นเป็นบริเวณที่เชื่อมอยู่ระหว่างส่วนซอร์สกับส่วนเคน มีโครงสร้างทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยชั้นล่างสุดเป็นสารกึ่งตัวนำซึ่งใช้เป็นฐานรองด้วย ถัดมาเป็นออกไซด์และชั้นบนสุดเป็นโลหะตัวนำ มีหน้าที่ควบคุมปริมาณประจุพาหะที่เคลื่อนที่จากซอร์สไปยังเคน



รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างของมอสเฟต

โดยปกติแล้วส่วนซอร์สและเคน จะมีโครงสร้างเหมือนกันทุกประการ จึงสามารถใช้แทนกันได้ คุณสมบัตินี้เรียกว่ามีความสมมาตร และเนื่องจากที่เกตต้องการความต่างศักย์ที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดช่องทางเดินกระแสระหว่างซอร์สกับเคนเท่านั้น ดังนั้นมอสเฟตจึงมีความต้องการพลังงานในขณะใช้งานต่ำ

มอสเฟตสามารถแบ่งตามชนิดของประจุพาหะ ที่ทำให้เกิดกระแสไหลได้

2 ชนิดคือ

1. มอสเฟตชนิดเอ็นแชนแนล (NMOS) หมายถึงมอสเฟตที่มีประจุลบ หรืออิเล็กตรอนเป็นประจุพาหะส่วนมากที่ทำให้เกิดกระแสไหล ดังนั้นมอสเฟตชนิดนี้ ส่วนซอสและเดรนจึงเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

2. มอสเฟตชนิดพีแชนแนล (PMOS) หมายถึงมอสเฟตที่มีประจุบวก หรือโฮล เป็นประจุพาหะส่วนมากที่ทำให้เกิดกระแสไหล ดังนั้นมอสเฟตชนิดนี้ส่วนซอสและเดรนจึงเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี

อย่างไรก็ตามในสภาวะปรกติของมอสเฟตก่อนให้ไบอัส ที่บริเวณช่องทางเดินกระแสอาจเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ มี 2 ชนิดดังนี้

ดีพลีชัน (depletion) หมายถึงสารกึ่งตัวนำบริเวณช่องทางเดินกระแส ที่มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกับกับ สารกึ่งตัวนำส่วนซอสและเดรน

เอ็นฮานซ์เมนท์ (enhancement) หมายถึงสารกึ่งตัวนำบริเวณทางเดินกระแสที่มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกับสารกึ่งตัวนำส่วนซอสและเดรน

จากลักษณะการควบคุมปริมาณประจุพาหะในช่องทางเดินกระแส สามารถแบ่งมอสเฟตได้เป็น 4 แบบคือ

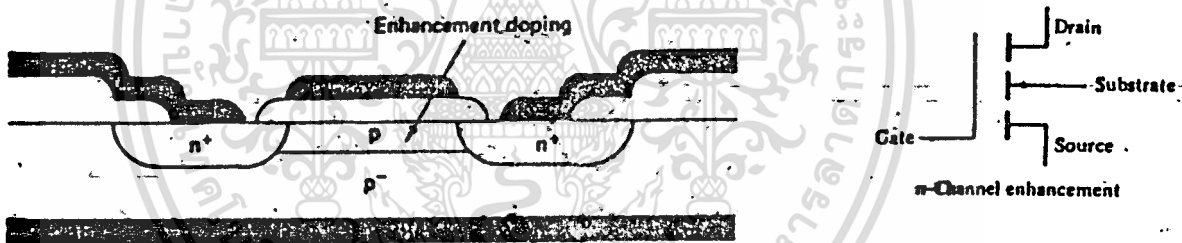
1. มอสเฟตชนิดเอ็นแชนแนลเอ็นฮานซ์เมนท์โหมด หมายถึง มอสเฟตที่มีซอสและเดรนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และที่ช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี เมื่อให้ไบอัสที่เกตเป็นบวก จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้บริเวณช่องทางเดินกระแสเปลี่ยนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเกิดความต่างศักย์ระหว่างซอสและเดรน

2. มอสเฟตชนิดเอ็นแชนแนลดีพลีชันโหมด หมายถึง มอสเฟตที่มีช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เชื่อมระหว่างซอสกับเดรนก่อนให้ไบอัสที่เกตสามารถควบคุมการไหลของกระแสได้โดย ถ้าให้ไบอัสที่เกตเป็นลบจะทำให้ปริมาณการไหลของกระแสมีน้อยลง แต่ถ้าให้ไบอัสที่เกตเป็นบวกจะทำให้ปริมาณการไหลของกระแสมากขึ้น

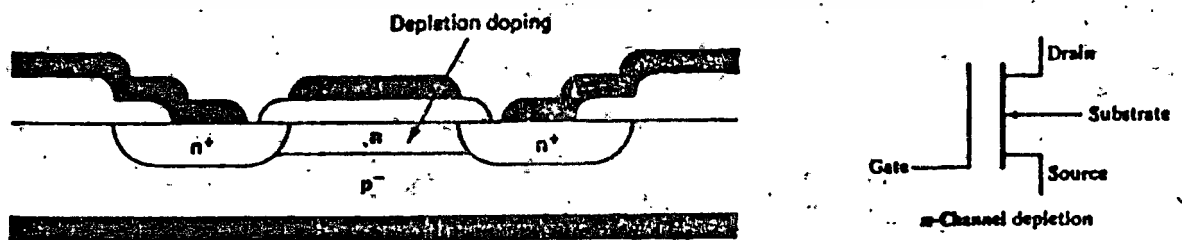
3. มอสเฟตชนิดนี้เช่นแนลเอ็นฮานซ์เมนต์ใหม่ หมายถึง ในสภาวะปรกติ ก่อนให้ไบอัสที่เกตบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เมื่อจ่ายไบอัสที่เกตเป็นลบเมื่อเทียบกับกราวด์ (ซอส) จะเหนี่ยวนำให้บริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ทำให้เกิดกระแสไหลระหว่างซอสกับเดรน สามารถควบคุมการไหลของกระแสเมื่อป้อนไบอัสที่เกตเป็นลบมากหรือน้อยเมื่อเทียบกับกราวด์

4. มอสเฟตชนิดนี้เช่นแนลดีพลักชันใหม่ หมายถึง ก่อนการให้ไบอัสบริเวณช่องทางเดินกระแสเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ปริมาณการไหลของกระแสระหว่างซอสกับเดรนควบคุมได้โดยการให้ไบอัสที่เกตเป็นลบเมื่อเทียบกับฐานรองเมื่อต้องการให้กระแสไหลมากขึ้น และให้ไบอัสที่เกตเป็นบวกเมื่อเทียบกับกราวด์เมื่อต้องการให้กระแสไหลน้อยลง

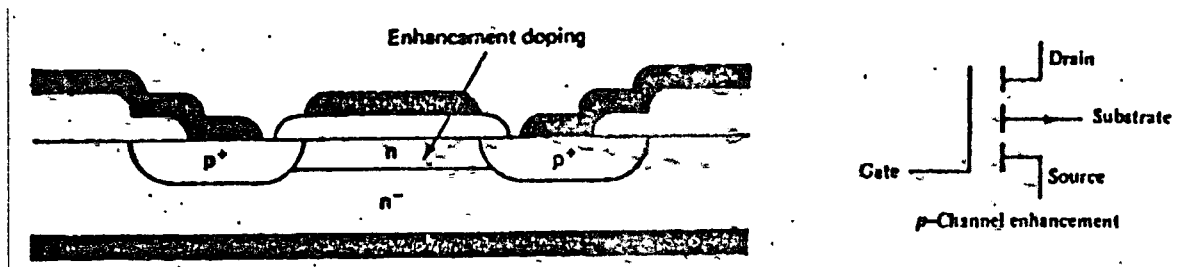
ลักษณะ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตทั้ง 4 แบบนี้แสดงดังรูปที่ 2-3



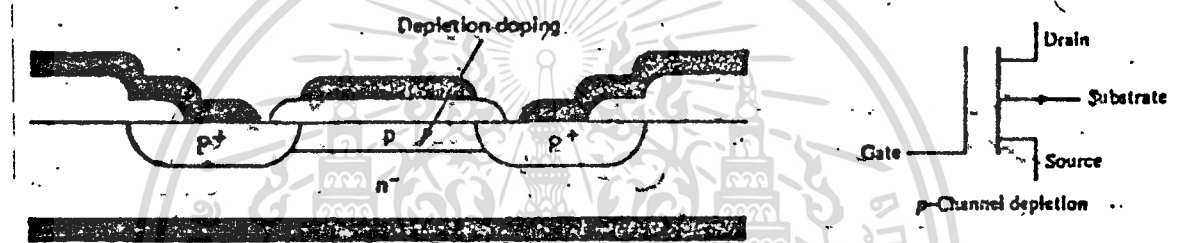
(ก) ลักษณะ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด เอ็นเช่นแนล เอ็นฮานซ์เมนต์ใหม่



(ข) แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด เอ็นเช่นแนลดีพลักชันใหม่



(ค) แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิดพีแชนแนล เอ็นแฮนซ์ เมกเก้ โหมด



(ง) แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิดพีแชนแนลดีพลีชั่น โหมด

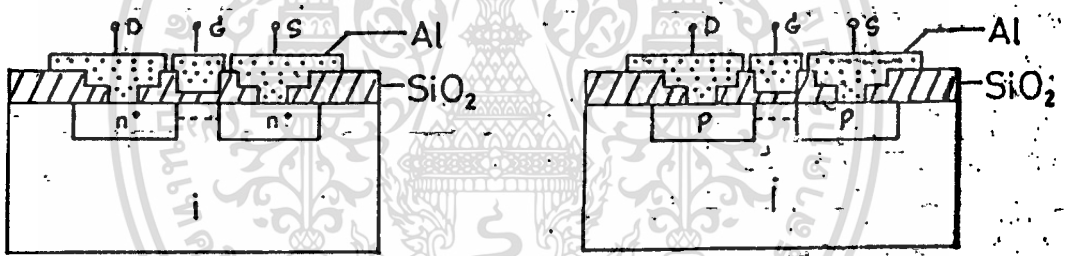
รูปที่ 2-3 แสดง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟตที่กล่าวมาทั้ง 4 แบบ

บทที่ 2

มอซซีเฟด

2.1 ลักษณะ โครงสร้างของมอซซีเฟด

มอซซี หรือ MOIS มีชื่อเต็มคือ metal oxide intrinsic semiconductor สำหรับมอซซีเฟด มีส่วนประกอบเป็นโครงสร้างที่สำคัญคือ เกท , เดรน , ซอส และฐานรอง ดังรูปที่ 2-1 ประกอบ ในส่วนเดรนและซอสนั้นจะเกิดจากการแพร่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น หรือพี อย่างใดอย่างหนึ่งเข้าไปในแผ่นซิลิกอน ซึ่งแผ่นซิลิกอนนั้นจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น หรือพีก็ได้ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนต่อไป สำหรับในส่วนเกท จะมีเกทออกไซด์ที่บริเวณผิวของแผ่นซิลิกอน ตรงทางที่เชื่อมอยู่ระหว่างส่วนเดรนกับส่วนซอส และในชั้นบนสุดที่เกท เดรนและซอส จะเป็นโลหะที่ใช้เป็นจุดเชื่อมออกไปใช้งาน



รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะ โครงสร้างของมอซซีเฟด

หลังจากที่ได้กล่าวในตอนต้นว่าแผ่นซิลิกอนจะเป็นชนิดเอ็นหรือพีก็ได้ เนื่องจากเมื่อสร้างส่วนเกท เดรนและซอสสมบูรณ์แล้ว จะต้องทำการแพร่อะตอมทองคำเข้าไปทางด้านหลังของแผ่นซิลิกอน เพื่อให้อะตอมของทองคำเข้าไปรวมตัวกับประจุพาหะของสารกึ่งตัวนำชนิดนั้น ๆ ทำให้บริเวณที่อะตอมทองคำรวมตัวกับประจุพาหะนั้นมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (intrinsic semiconductor) คือไม่แสดงตัวเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพีหรือชนิดเอ็น (ซึ่งในส่วนนี้ก็คือส่วนของฐานรองนั่นเอง)

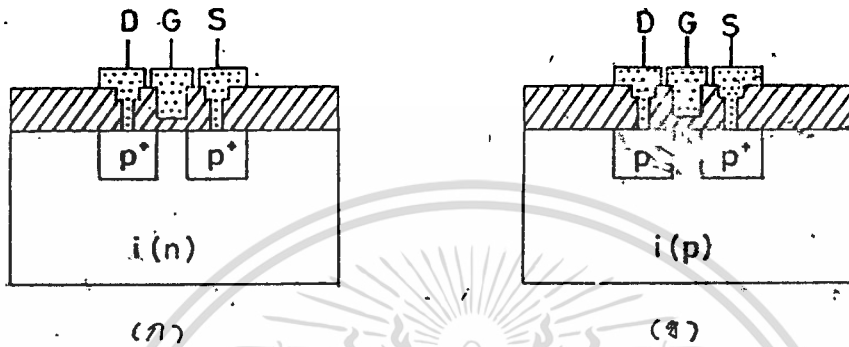
2.2 ลักษณะ โครงสร้างและการทำงานของมอซซีเฟดชนิด พีเอ็มอส

เอ็นเอ็มอส เมทโทมอด

ลักษณะ โครงสร้างของมอซซีเฟลด์

ชนิดพื้นชั้นบนและ ชั้นฐานซีเมนต์ที่ใหม่

ประกอบด้วยส่วนซอสและเดรนที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ ที่สร้างบนแผ่นซิลิกอน เป็นฐานรองชนิดเอ็นหรือพี และแพวอะตอมทองคำเข้าไปรวมตัวกับประจุพาหะ ทำให้สภาพของฐานรองนี้เมื่อสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ลักษณะ โครงสร้างของมอซซีเฟลด์ชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ลักษณะ โครงสร้างของมอซซีเฟลด์ชนิดพื้นชั้นบนและ ชั้นฐานซีเมนต์ที่ใหม่

- (ก) ลักษณะ โครงสร้างที่สร้างบนแผ่นซิลิกอน เป็นฐานรองชนิดเอ็น และแพวอะตอมทองคำที่ฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์
- (ข) ลักษณะ โครงสร้างที่สร้างบนแผ่นซิลิกอน เป็นฐานรองชนิดพี และแพวอะตอมทองคำที่ฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

ลักษณะการทำงานของมอซซีเฟลด์ชนิดนี้คือ การให้ไบแอสโดยการให้แรงดัน

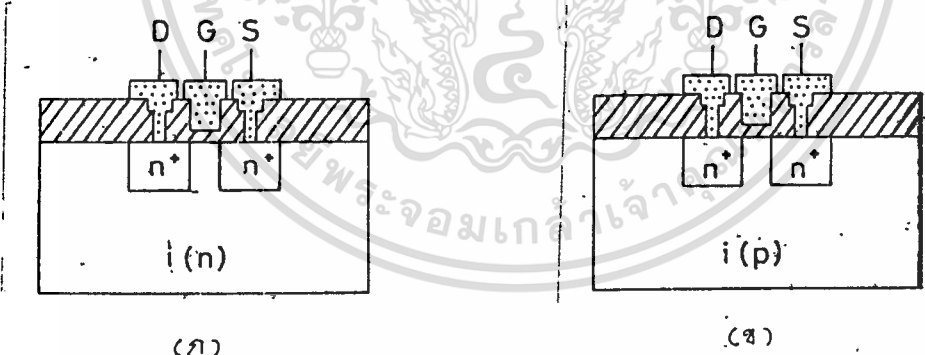
เป็นลบที่เกตมีค่ามากกว่า V_T (V_T คือค่าแรงดันขีดเริ่มที่จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำบริเวณช่องทางเดินกระแสได้) เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดประจุบวกเป็นช่องทางเดินกระแสระหว่างซอสกับเดรน และใช้ศักดาไฟฟ้าแก่ส่วนซอสเมื่อเทียบกับส่วนเดรนแล้ว ส่วนซอสจะต้องเป็นแหล่งจ่ายประจุพาหะส่วนมากเสมอ ในกรณีนี้เป็นของมอซซีเฟลด์ชนิดพื้นชั้นบนจะต้องให้ศักดาไฟฟ้าเป็นบวกที่ส่วนซอส เมื่อเทียบกับส่วนเดรน จะได้ว่าตรงรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดนี้กับฐานรอง จะมีบริเวณปลอดประจุพาหะอยู่เสมอ (จากทฤษฎีของรอยต่อพี-เอ็น) เมื่อให้ความต่างศักดาไฟฟ้าระหว่างส่วนเดรน กับส่วนซอสมีค่าเป็น $V_G - V_T$ แล้ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนประจุพาหะที่ช่องทางเดินกระแส บริเวณใกล้กับส่วนซอส แต่เนื่องจากแรงดันไบแอส V_G พอดีเท่ากับแรง

ดัน $V_G - V_T$ ที่ทำให้เกิดช่องทางเดินกระแส ดังนั้นช่องทางเดินกระแสยังคงเชื่อมต่อกับส่วนซอสเสมือนเป็นความต้านทานตัวหนึ่ง ฉะนั้นกระแส I_{DS} จึงเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นกับค่าแรงดัน V_D ที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง $V_G - V_T$ และเมื่อให้ศักดาไฟฟ้าที่ส่วนซอสมีค่ามากกว่าแรงดัน $V_G - V_T$ ซึ่งจะทำให้ช่องทางเดินกระแสถูกแยกออกจากส่วนซอส โดยสนามไฟฟ้าของรอยต่อพีกับฐานรอง ที่เกิดจากการไบอัสย้อนกลับด้วยแรงดันไบอัส V_S ในกรณีที่ความต่างศักดาไฟฟ้า ระหว่างส่วนซอสกับเดรนส่วนใหญ่จะปรากฏอยู่ที่รอยต่อพีกับฐานรองทางด้านไบอัสย้อนกลับ ดังนั้นถึงแม้จะเพิ่มแรงดัน V_S ใช้นมากขึ้นอีก แต่ความต่างศักดาไฟฟ้า ระหว่างปลายทั้งสองของสารกึ่งตัวนำ บริเวณช่องทางเดินกระแส ก็ยังคงมีค่าประมาณเท่าเดิม ดังนั้นกระแส I_{DS} จึงมีค่าประมาณคงที่

2.3 ลักษณะ โครงสร้างและการทำงานของมอซัพเฟตชนิด เอ็นแซนแนล

เอ็นแซนแนลเมกไทมด

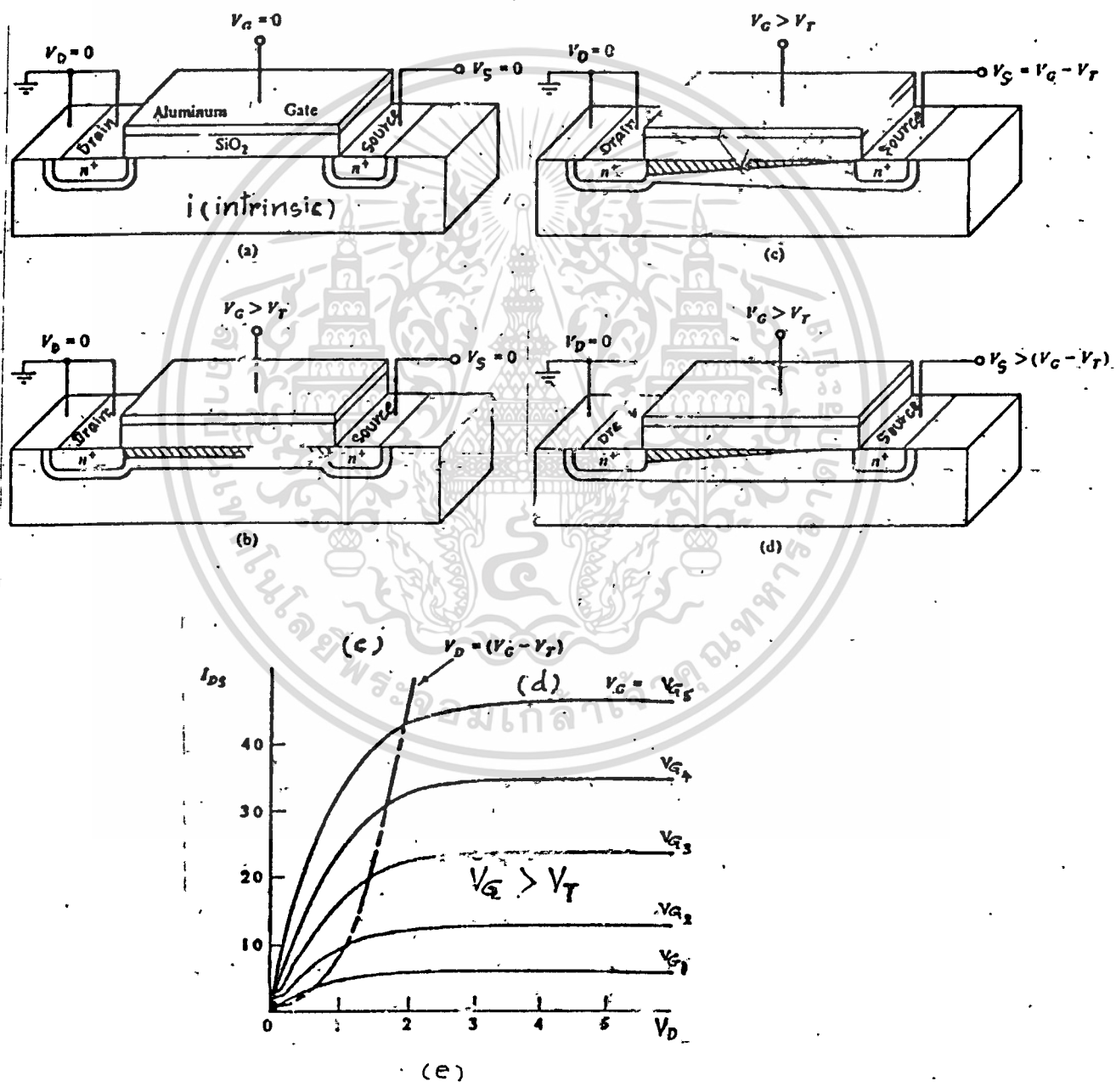
ลักษณะ โครงสร้างของมอซัพเฟตชนิดนี้คือ ส่วนซอสและเดรนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ที่สร้างขึ้นอยู่บนแผ่นซิลิกอนที่เป็นฐานรองชนิดพีหรือเอ็น แล้วแพร่อะตอมทองคำเข้าไปรวมตัวกับประจุพาหะของฐานรองชนิดนั้น ๆ ทำให้ฐานรองนี้เป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ แสดงลักษณะ โครงสร้างดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงลักษณะ โครงสร้างของมอซัพเฟตชนิด เอ็นแซนแนล เอ็นแซนแนลเมกไทมด

- (ก) ลักษณะ โครงสร้างที่สร้างบนแผ่นซิลิกอนเป็นฐานรองชนิดเอ็น และแพร่อะตอมทองคำที่ฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์
- (ข) ลักษณะ โครงสร้างที่สร้างบนแผ่นซิลิกอนเป็นฐานรองชนิดพี และแพร่อะตอมทองคำที่ฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

การทำงานมีลักษณะคล้ายกับชนิดพีเอ็นเอ แต่ต่างกันที่การให้ไบอัสโดย
 การให้แรงดันเป็นบวกที่เกต ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำประจุลบเกิดขึ้นที่บริเวณช่องทางเดิน
 กระแสระหว่างซอสและเดรน สำหรับที่ซอสดีจะให้แรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับเดรนที่
 ต่อลงกราวด์ ลักษณะการทำงานของมอซซีเฟตชนิดเอ็นเอ็นเอเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็น
 แสดงดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงลักษณะการทำงานของมอซซีเฟตชนิดเอ็นเอ็นเอเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็นเอ็น

- (a) ขณะยังไม่จ่าย ไบอัส ให้เกตและซอส
- (b) เมื่อจ่าย ไบอัส ที่เกตมีค่าพอที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นเช่นเนล
- (c) เมื่อจ่ายความต่างศักย์ที่ซอสมีค่า $V_G - V_T$ มีกระแสไหลเป็นเชิงเส้น
- (d) เมื่อจ่ายความต่างศักย์ที่ซอสมีค่ามากกว่า $V_G - V_T$ ทำให้มีกระแสไหลเกือบคงที่
- (e) แสดงลักษณะการไหลของกระแส (I_{DS}) ที่ V_G ค่าต่าง ๆ เทียบกับ V_D



การออกแบบและการสร้างมอยซ์เฟต

3.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบ

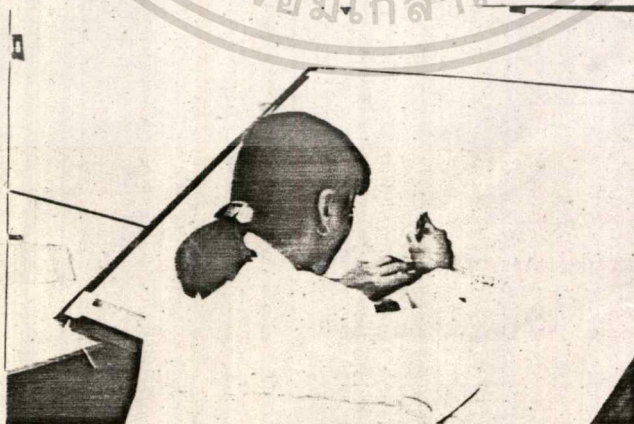
ในการทำครั้งนี้ได้ออกแบบให้มอยซ์เฟตมีความยาวแชนแนล (L) มีขนาด 20 ไมครอน และ 40 ไมครอน ค่าความกว้างแชนแนล (W) มีขนาด 100 ไมครอน , 200 ไมครอน และ 300 ไมครอน เพื่อศึกษาค่าของกระแสในตัว MOISFET ที่เหมาะสมในการสร้างมอยซ์เฟตเป็นวงจรรวมในขั้นต่อไป ลักษณะการออกแบบตัวมอยซ์เฟตลงบนมาร์กส์ แสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แสดงลักษณะตัวมอยซ์เฟตที่ออกแบบ

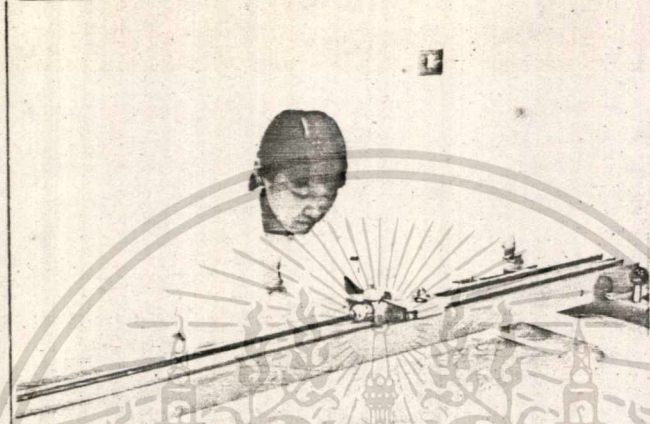
ขั้นตอนการทำแผ่นกระจกมาส์กดังนี้

1. ออกแบบมอยซ์เฟตใหม่ขนาดความกว้างแชนแนล (W) และความยาวแชนแนล (L) ตามที่ต้องการและเขียนแบบลงบนกระดาษกราฟ (20 ไมครอน=1มม., 50 เท่า)



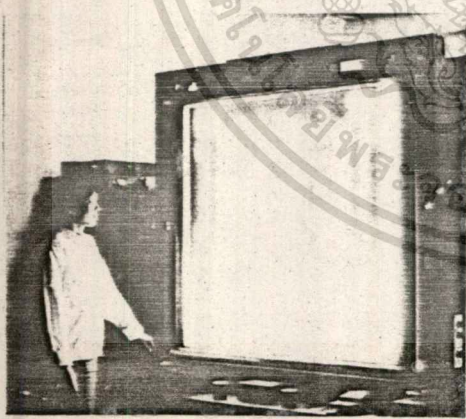
รูปที่ 3-2 แสดงการเขียนแบบลงบนกระดาษกราฟ

2. นำแผ่นผิวโค้ดที่เป็นแผ่นพลาสติก 2 หน้า คือหน้าทั้งสีแดงและอีกหน้าหนึ่งเป็นพลาสติกใสติดกัน มาวางทาบลงบนโต๊ะที่ใช้สำหรับตัดมาร์กบนกระดาษกราฟที่เขียนแบบเรียบร้อยแล้ว เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง และทำการตัดแผ่นผิวโค้ดให้เป็นลักษณะตามทีออกแบบไว้ในแต่ละขั้นตอน ซึ่งในการสร้างมอยซ์เฟดชุดนี้ใช้กระจกมาร์กทั้งหมด 5 มาร์ก จึงมีแผ่นผิวโค้ด 5 แผ่นเช่นกัน

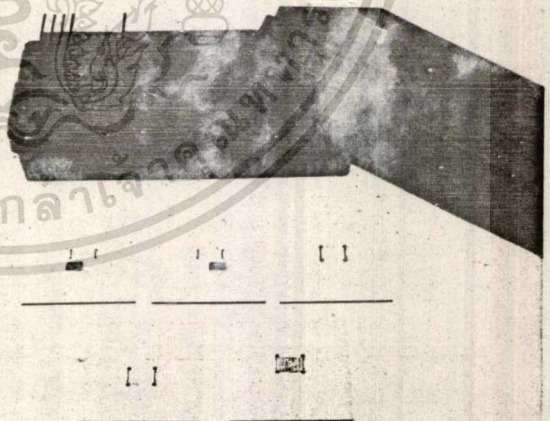


รูปที่ 3-3 แสดงการตัดมาร์กบนโต๊ะตัดมาร์ก

3. นำแผ่นผิวโค้ดที่ตัดเรียบร้อยแล้ว มาถ่ายย่อลงบนกระจกมาร์กด้วยเครื่องถ่ายย่อ 50 เท่า ในแต่ละแผ่น และนำแผ่นกระจกมาร์กไปล้างในน้ำยาล้าง (developer) จะได้แผ่นกระจกมาร์กที่สมบูรณ์เพื่อนำไปใช้งานต่อไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-4 (ก) แสดงการถ่ายย่อจากแผ่นผิวโค้ดลงบนกระจกมาร์ก

(ข) แสดงแผ่นกระจกมาร์กที่สมบูรณ์แล้ว

3.2 ขบวนการสร้าง

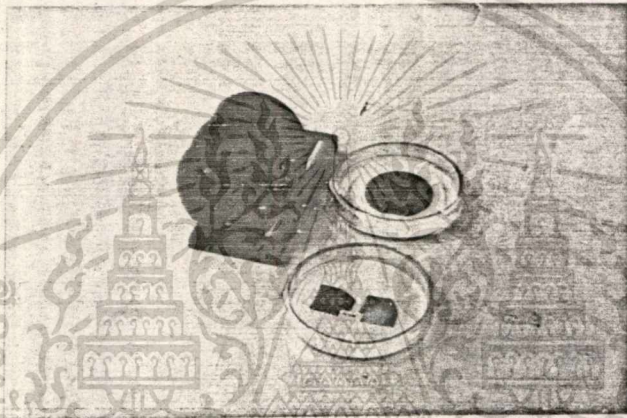
ในขบวนการสร้างนี้จะสร้างมอยซ์เฟดลงบนแผ่นซิลิกอนชนิดอื่น ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 มีความหนาแผ่น 300 ไมครอน มีค่าพิกัดความต้านทาน 5 โอห์ม-เซ็นติเมตร มาสร้างตามขบวนการสร้างดังนี้

1. ขบวนการทำความสะอาดแผ่นซิลิกอน มีขั้นตอนดังนี้

- 1.1 กำจัดไขมัน ด้วย Trichloethleny
- 1.2 กำจัดโลหะหนัก ด้วย กรดไนตริกต้ม
- 1.3 กำจัดฝุ่น ด้วยการสั่นด้วยเครื่องรูดเปอร์โซไดค
- 1.4 กำจัดออกไซด์ที่ผิวบาง ๆ ด้วย HF 5%



รูปที่ 3-5 แสดงแผ่นซิลิกอนที่ทำความสะอาดผิวแล้ว

2. ขบวนการออกซิเดชัน เป็นการสร้างออกไซด์ชั้นที่ผิวของแผ่นซิลิกอน ขนาดความหนาของออกไซด์ชั้นกับอุณหภูมิ และเวลาในการสร้าง สำหรับขบวนการสร้างชุดนี้ ใช้ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสร้างออกไซด์แบบแห้ง 60 นาที ต่อด้วยการสร้างออกไซด์แบบเปียก 120 นาที และสร้างออกไซด์แบบแห้งอีก 120 นาที โดยการสร้างออกไซด์แบบแห้งนั้นจะมีความพรุนของเนื้อออกไซด์น้อยกว่าแบบเปียก แต่ที่ระยะเวลาเท่ากันแบบเปียกจะให้ความหนาของออกไซด์มากกว่า สามารถเทียบความหนาของออกไซด์ได้จากกราฟรูปที่ 3 (ก) และ (ข)

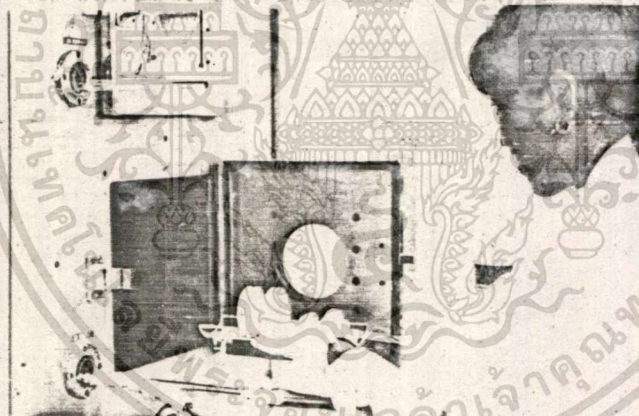
3. ขบวนการโฟโตลิโทกราฟีที่ 1 เป็นขบวนการกัดหรือเปิดช่องของออกไซด์โดยใช้น้ำยาไวแสงชนิดลบเคลือบทับชั้นออกไซด์ แล้วนำไปฉายแสงโดยผ่านกระจกมาสก์ที่ 1 เพื่อแพร่สารเจือโบรอนซึ่งเป็นสารเจือชนิด P ลักษณะของน้ำยาไวแสงชนิดลบคือส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดมแสงจะติดแน่น และส่วนที่ไม่โดมแสงจะละลายออกเมื่อนำไปล้างในน้ำยาล้าง (developer) และนำแผ่นซิลิกอนไปกัดดอก ไซต์ออกด้วย buffer ส่วนของออก ไซต์ที่ไม่มีฟิล์มของสารไวแสงเคลือบอยู่จะถูกน้ำยากัดละลายออกไป และส่วนออก ไซต์ที่มีน้ำยาไวแสงเคลือบอยู่จะไม่ถูกกัดออกไป

เมื่อกัดดอก ไซต์ในบริเวณที่ต้องการแล้วจะทำการลอกฟิล์มไวแสงออก ด้วยกรดซีเฟอริก

4. ขบวนการแพร์สารเจือโบรอน จะทำโดยใช้แผ่นหลักเดี่ยวของสารเจือโบรอน หรือสารกึ่งตัวนำชนิดพี เป็นแหล่งจ่ายอะตอมสารเจือชนิดพีโดยวางแผ่นซิลิกอนสลับกับแผ่นหลักเดี่ยวของ โบรอน โดยหันหน้าของแผ่นซิลิกอนเข้าหาแผ่นซอส เพื่อให้สาร เจือ โบรอนมาเกาะที่บริเวณผิวหน้าตรงส่วนที่ไม่มี ออก ไซต์ได้เต็มที่ โดยใช้เตาแพร์สารเจือ โบรอน สำหรับขบวนการนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 970 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 3-6 แสดงการนำแผ่นซอสเข้าเตาเพื่อแพร์สารเจือโบรอน

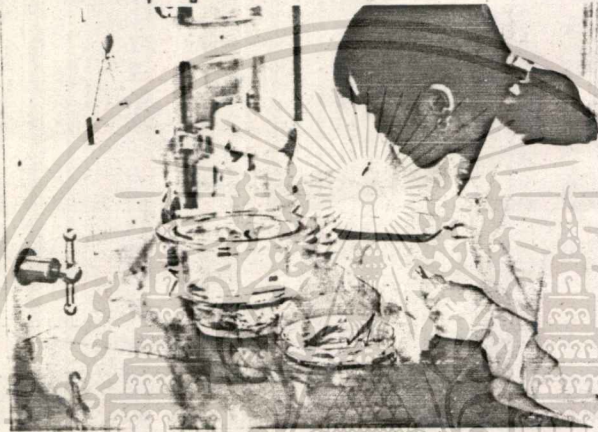
เมื่อได้แผ่นซิลิกอนที่มีสารเจือ โบรอนเกาะอยู่ที่ผิวในบริเวณที่ต้องการแล้ว จะต้องนำแผ่นซิลิกอนไปทำการขัดลิก เพื่อให้สารเจือ โบรอนที่เกาะอยู่ที่ผิวแพร่เข้าไปในเนื้อซิลิกอนเป็นส่วนของซอสและเดรนชนิดพีเช่นแนล โดยใช้เตาขัดลิกของโบรอน ในขบวนการนี้ใช้ความร้อนของเตาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และในช่วงเวลาขัดลิกนี้จะสร้างออก ไซต์ขึ้นพร้อม ๆ กัน โดยใช้การสร้างออก ไซต์แบบแห้งเป็นเวลา 10 นาที และการสร้างออก ไซต์แบบเปียกเป็นเวลา 20 นาที และต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการสร้างออกไซด์แบบแห้งอีก 10 นาที เพื่อให้ได้ความหนาของออกไซด์ตามต้องการ

5. ขบวนการไฟโตลิโทกราฟีที่ 2 เป็นขบวนการกัดและเปิดช่องออกไซด์ของมาร์กซ์ ชุดที่ 2 เพื่อแพร่สารเจือฟอสฟอรัสหรือสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น มีขบวนการทำเหมือนการเปิดช่องออกไซด์ของมาร์กซ์ชุดที่ 1

6. ขบวนการแพร่สารเจือฟอสฟอรัส มีลักษณะเหมือนกับการแพร่สารเจือโบรอน แต่ใช้แผ่นจ่ายอะตอมสารเจือชนิดอื่นด้วยฟอสฟอรัส โดยใช้เตาแพร่สารฟอสฟอรัส ในขบวนการชุดนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที



รูปที่ 3-7 แสดงการวางแผ่นซอสของสารเจือชนิดฟอสฟอรัสลงบนโบท

เมื่อได้แผ่นซิลิกอนที่มีสารเจือฟอสฟอรัสอยู่ที่บริเวณผิวหน้า แล้วจึงนำไปแช่ลิทโดยใช้เตาแช่ลิทของฟอสฟอรัส ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้สารเจือฟอสฟอรัสแพร่เข้าไปในเนื้อของซิลิกอนเป็นส่วนหนึ่งของซอสและเดรนชนิดอื่นเช่นเนล และในขณะที่จะสร้างออกไซด์คลุมแผ่นซิลิกอนพร้อม ๆ กัน

7. ขบวนการไฟโตลิโทกราฟีที่ 3 เป็นขบวนการกัดและเปิดช่องออกไซด์ของมาร์กซ์ ชุดที่ 3 เพื่อใช้ในการสร้างเกตออกไซด์ มีลักษณะขบวนการสร้างเหมือนเดิม

8. ขบวนการสร้างสันเกตออกไซด์ เป็นขบวนการสร้างออกไซด์ขึ้นเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นช่องทางเดินกระแสระหว่างซอสกับเดรน โดยใช้เตาออกซิเดชัน ในขบวนการนี้จะใช้การสร้างออกไซด์แบบแห้ง ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ได้ความหนาของเกตออกไซด์มีค่าประมาณ 700 อังสตรอม เป็นเส้นน้ำตาล

9. ขบวนการแพร่ทองคำ เป็นขบวนการแพร่ทองคำเข้าไปในฐานรอง ทำให้ที่

ฐานรอง เป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำน้ำยาไวแสงชนิดบวกบนผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน
2. กัดออกไซด์ด้านหลังแผ่นซิลิกอนให้หมด โดยนำไปลอยในน้ำยา buffer
3. ล้างน้ำยาไวแสงชนิดบวกออกด้วย acetone
4. เคลือบทองคำที่ด้านหลังของแผ่นซิลิกอน ด้วยวิธีการเคลือบโลหะใน

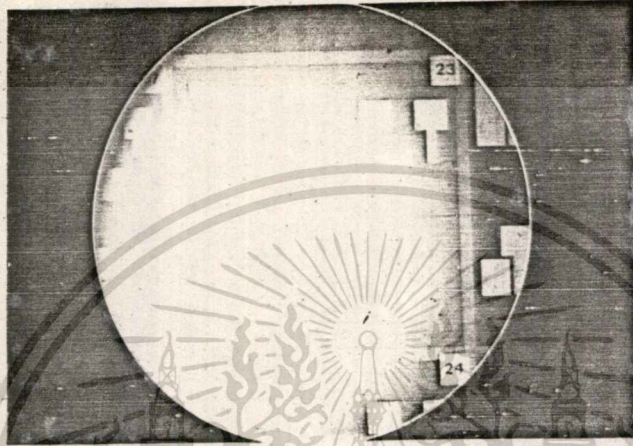
สุญญากาศ โดยใช้ลวดทองคำ 5 เส้น กระแส 80 แอมป์ ที่ความดัน $1.4 * 10^{-6}$ bar

5. ทำการขัปลึกให้ทองคำที่เคลือบอยู่ที่ผิวด้านหลังของแผ่นซิลิกอน แพร่เข้าไปในเนื้อของซิลิกอนเพื่อรวมตัวกับประจุพาหะทำให้ที่ส่วนของฐานรอง มีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์คือ ไม่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p หรือ n โดยนำเข้าเตาขัปลึกที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที แล้วนำออกมาให้บริเวณด้านหลังที่แพร่ทองคำกระทบกับความเย็นในทันทีทันใด เพื่อให้ทองคำที่แพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับความเย็นทำให้ไม่ย้อนกลับออกมาอยู่ที่ผิวอีก

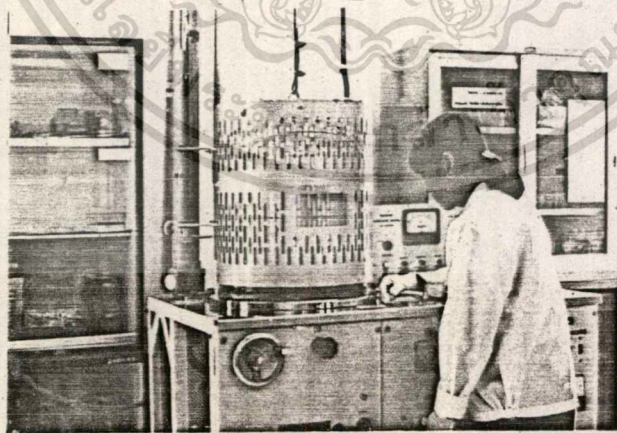
10. ขบวนการโฟโตลิโทกราฟี เป็นขบวนการกัดและเปิดช่องออกไซด์ ของมาส์กชุดที่ 4 เพื่อสร้างช่องสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับจุดที่จะต่อขั้วไฟฟ้า โดยใช้สารไวแสงชนิดลบและมีขบวนการสร้างเหมือนเดิม

11. ขบวนการสร้างขั้วโลหะ เป็นขบวนการเคลือบโลหะอลูมิเนียมลงบนผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน ด้วยวิธีการเคลือบโลหะในสุญญากาศ โดยใช้อลูมิเนียม 8 ซ.ม. ความดัน $1.4 * 10^{-6}$ bar กระแส 50 แอมป์ แล้วนำแผ่นซิลิกอนที่เคลือบอลูมิเนียมอยู่ด้านบนมาเคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก และถ่ายมาส์กชุดที่ 5 ซึ่งเป็นมาส์กที่แบ่งขั้วโลหะแต่ละขั้วออกจากกัน การกัดอลูมิเนียมใช้กรดฟอสฟอริก เมื่อกัดอลูมิเนียมเรียบร้อยแล้วจะล้างน้ำยาไวแสงชนิดบวกออกด้วย acetone

12. ขบวนการซินเตอร์ริง เป็นขบวนการทำให้รอยสัมผัสระหว่างซิลิกอนกับอลูมิเนียม เป็นรอยสัมผัสโอห์มิกที่ดี โดยนำแผ่นซิลิกอนเข้าเตาซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที



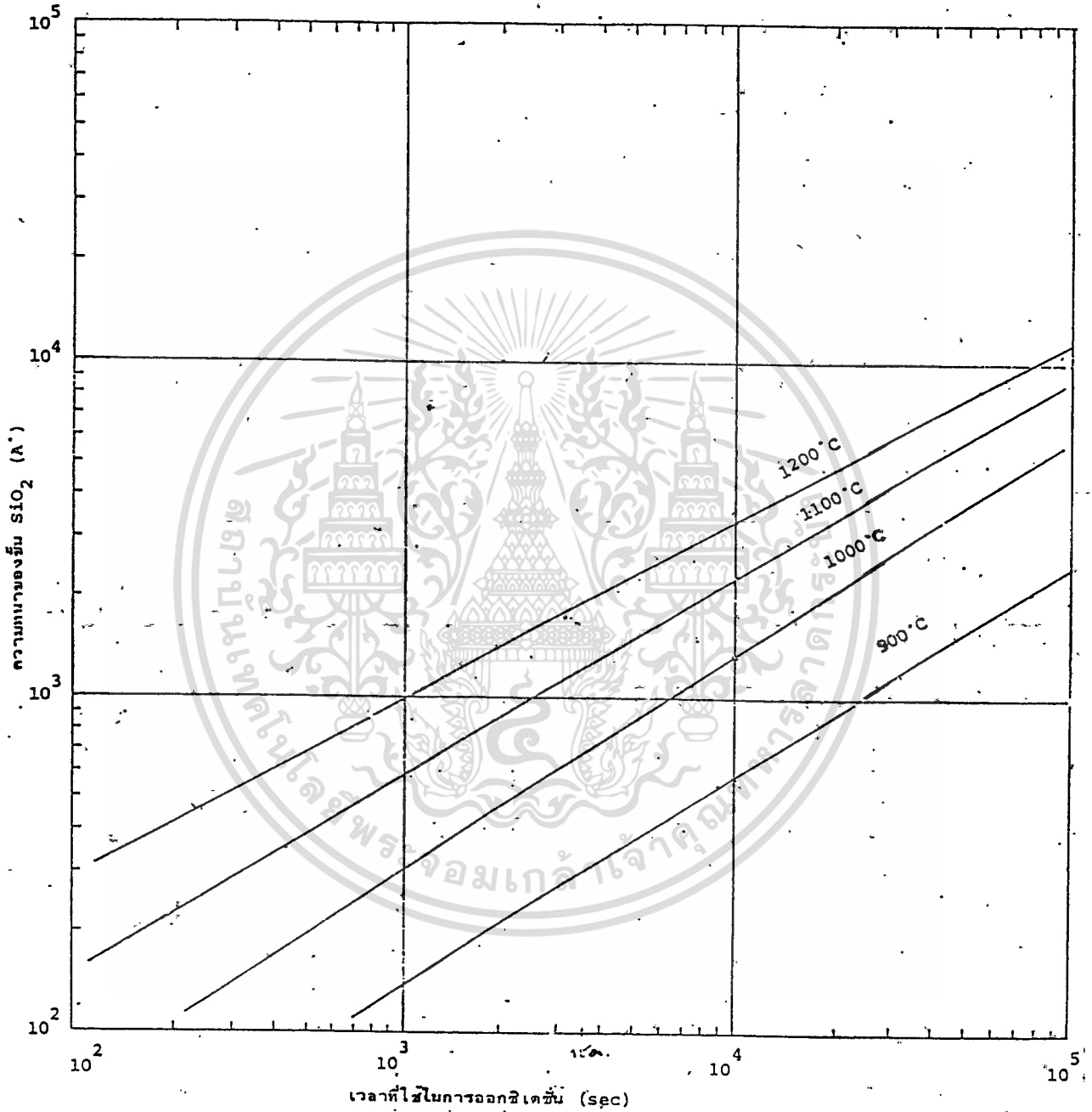
รูปที่ 3-8 แสดงรูปแผนที่ลักษณะทางด้านแผนที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว



รูปที่ 3-9 แสดงการเคลือบโลหะในสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

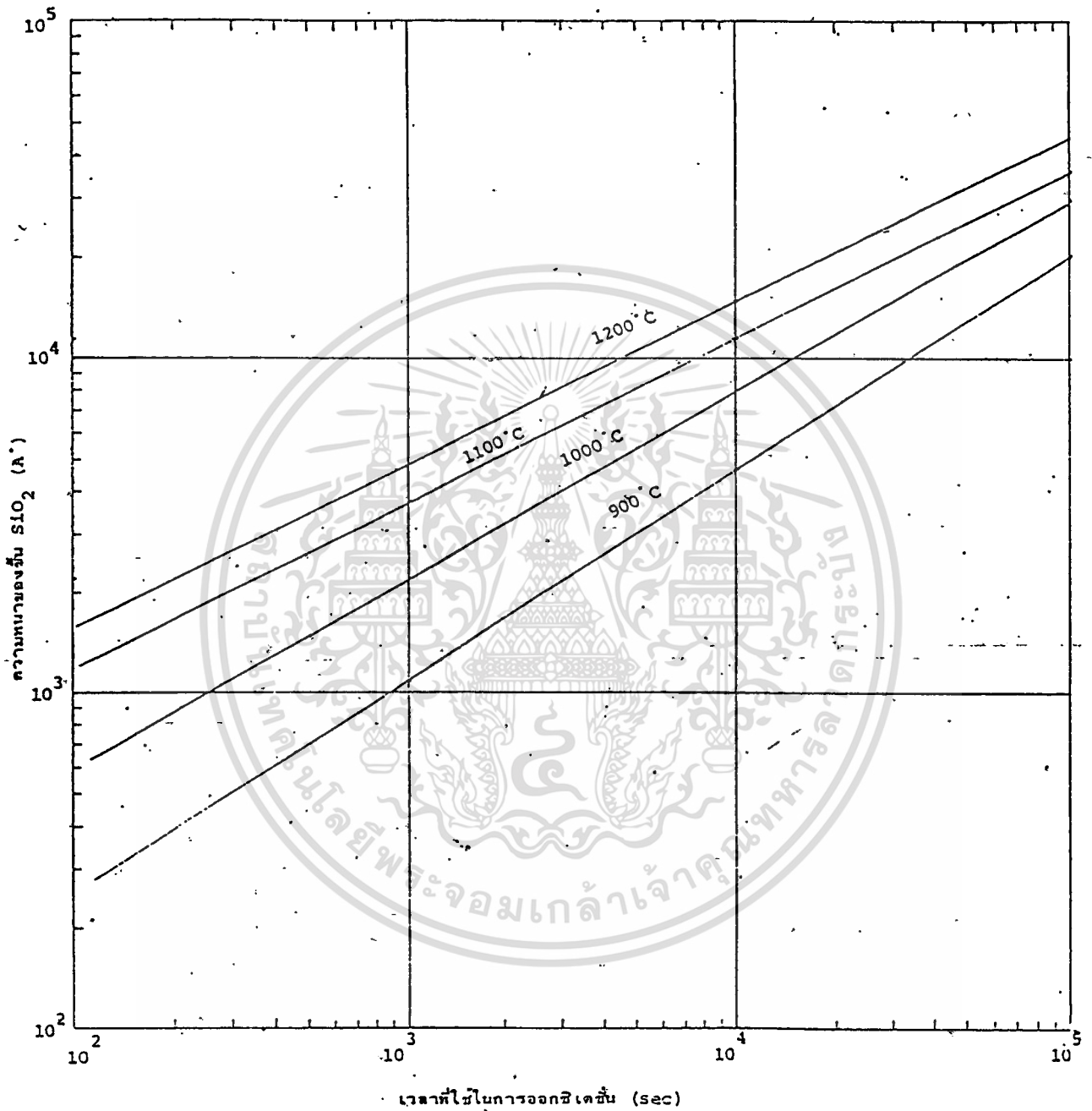
Dry Oxidation



รูปที่ ๑ (ก) : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น SiO₂ บนผลึกซิลิกอนกับเวลาและอุณหภูมิ สำหรับการออกซิเดชันอย่างแห้ง (Dry Oxidation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

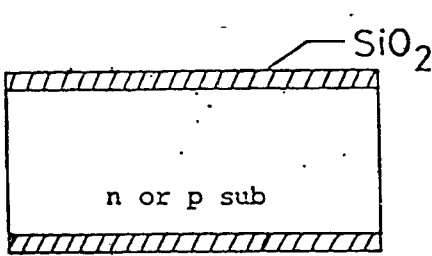
Wet Oxidation



รูปที่ 3(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น SiO₂ บนผลึกซิลิกอนกับเวลาและอุณหภูมิ สำหรับการออกซิเดชันอย่างชื้น (Wet Oxidation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปทบทวนการสร้างมอยท์เฟส



1. เลือกใช้ฐานรองซิลิกอนชนิดเอ็น หนา < 100>
ทำความสะอาดผิวแล้วทำการสร้างกั้นออกไซด์ด้วย

กระบวนการออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

1. สร้างออกไซด์แบบแห้ง 60 นาที คือการสร้างออกไซด์ด้วย O₂ โดยปราศจากไอน้ำ ได้

ความหนาของออกไซด์ประมาณ 1300 อังสตรอม

2. สร้างออกไซด์แบบเปียกอีก 120 นาที คือการสร้างออกไซด์ด้วย O₂ + H₂O ได้ความหนา

ของออกไซด์ประมาณ 10000 อังสตรอม

3. สร้างออกไซด์แบบแห้งอีก 120 นาที ได้ความหนาออกไซด์ประมาณ 1800 อังสตรอม

ขั้นตอนนี้จะ ได้ความหนาออกไซด์ทั้งหมดประมาณ 13100 อังสตรอม

2. เปิดช่องออก ไซด์และแพร์สารเจือที่ส่วนเดรนและซอส

1. ถ้าแพร์สารเจือโบรอนใช้ที่อุณหภูมิ 970 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

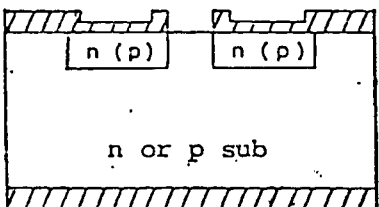
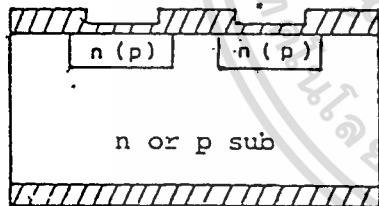
2. ถ้าแพร์สารเจือฟอสฟอรัสใช้ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

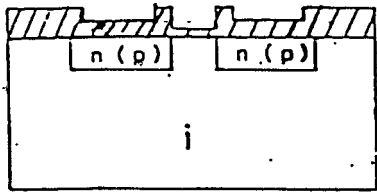
แล้วทำการซบลิทต่อไป

(10⁻⁴ μm = 1 อังสตรอม)

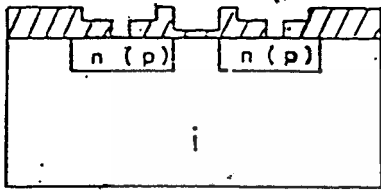
3. เปิดช่องออก ไซด์ เพื่อสร้างเกตออก ไซด์หนา 700 อังสตรอม

โดยใช้อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

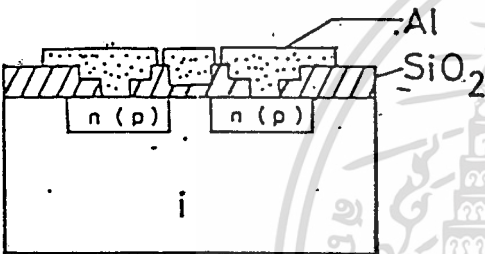




4. เคลือบทองคำทางด้านหลังด้วยกระบวนการเคลือบโลหะในสุญญากาศ แล้วแพร่ทองคำเข้าไปในเนื้อของซิลิกอนที่ฐานรอง ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที



5. เปิดช่องออกไซด์เพื่อทำขั้วสัมผัส

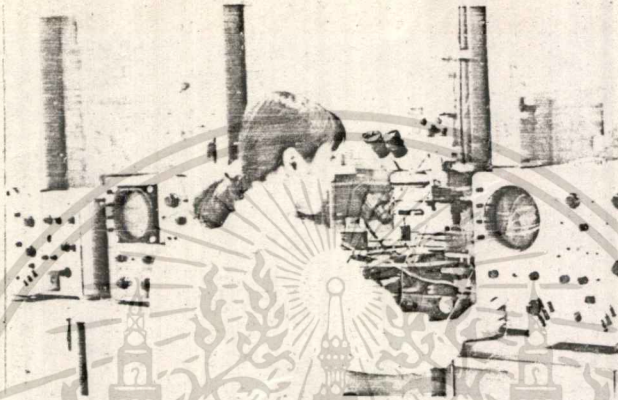


6. เคลือบอลูมิเนียมที่ผิวหน้าด้วยกระบวนการเคลือบโลหะในสุญญากาศ และสร้างลวดลายอลูมิเนียมเพื่อแบ่งขั้วโลหะแต่ละขั้วออกจากกัน และทำการขึ้นเตอร์ริง เพื่อสร้างรอยสัมผัสระหว่างซิลิกอนกับอลูมิเนียม ให้เป็นรอยสัมผัสโอห์มมิกที่ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

การทดลองและผลการทดลอง

คุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของมอซท์เฟด

ในการวัดคุณสมบัติของมอซท์เฟด สามารถวัดได้โดยการต่อขั้วโลหะเข้ากับ เครื่องวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ (Transistor curvetracer) ได้ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงการวัดคุณสมบัติด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

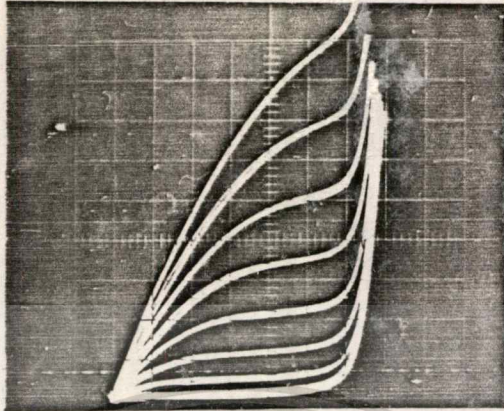
ค่าต่าง ๆ ที่สามารถวัดได้จากเครื่องวัดมีดังต่อไปนี้

1. V_{BF} คือค่าแรงดันเบ่งทลยระหว่างขอสกับเดรน เมื่อได้รับ forward bias
2. I_{DSS} คือค่ากระแสรั่วไหลระหว่างขอสกับเดรน เมื่อ $V_G = 0$ (วัดที่ $V_D = 0$)
3. $g_{m, sat}$ คือค่าความนำมีค่าเท่ากับ $\Delta I_D / \Delta V_G$ เมื่อ V_D คงที่ โดยวัดที่ $V_G = 5 V$ ถึง $10 V$ และค่าแรงดัน $V_D = 10 V$
4. R_{on} คือค่าความต้านทานระหว่างขอสและเดรนในช่วงเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ $\Delta V_D / \Delta I_D$ ที่ V_G คงที่ โดยวัดที่ $V_G = 10 V$ และ V_D ที่ $2V$ ถึง $3V$

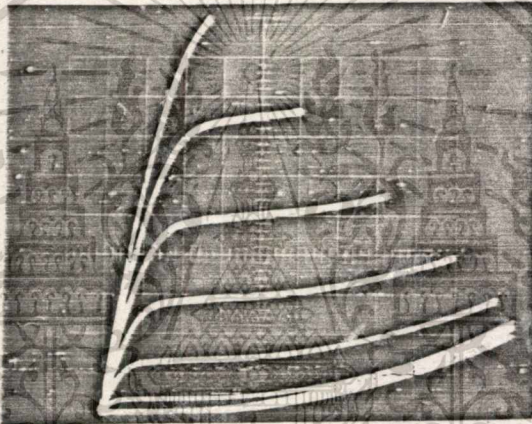
รูปกราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของมอซท์เฟด ที่ใช้หาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ดังที่กล่าวมา แสดงดังรูปที่ 4-2 (ก) และ 4-2 (ข)

แต่นอกเหนือจากใช้เครื่องวัดคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์แล้ว ยังสามารถ ใช้การเขียนด้วยเครื่องเขียนกราฟ ด้วยการต่อวงจรให้เป็นในลักษณะดังรูปที่ 4-3

ซึ่งสามารถหาคณสมบัติได้เหมือนกับเครื่องวัดคุณสมบัติ

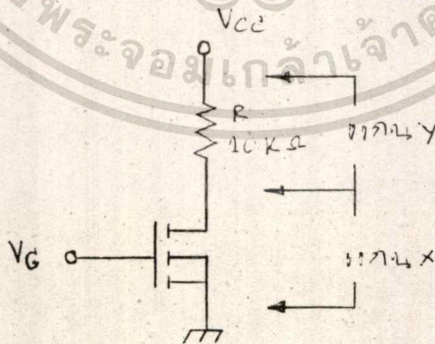


(ก) เมื่อมอซซ์เฟตเป็นชนิดเอ็นแชนแนลเอ็นฮานซ์เมทท์โหมด



(ข) เมื่อมอซซ์เฟตเป็นชนิดพีแชนแนลเอ็นฮานซ์เมทท์โหมด

รูปที่ 4-2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของมอซซ์เฟต

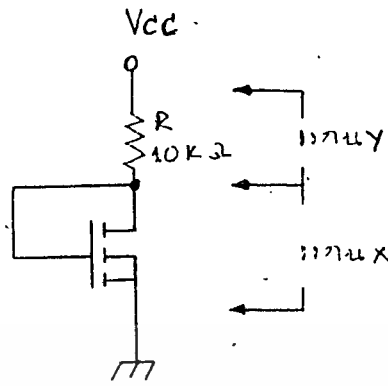


รูปที่ 4-3 แสดงวงจรที่ใช้กับเครื่องเขียนกราฟในการหาคณสมบัติต่าง ๆ

สำหรับการวัดค่า V_T ซึ่งก็คือค่าแรงดันเริ่มแรกที่เกต ที่ทำให้กระแสไหล

ได้ สามารถเขียนออกมาได้ด้วยการต่อวงจรให้เป็นในลักษณะดังรูปที่ 4-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 แสดงวงจรที่ใช้กับเครื่องเขียนกราฟในการหาค่า V_T

ที่ค่าความยาวแชนแนล (L) และความกว้าง (W) ในค่าต่าง ๆ จะแสดงดังต่อไปนี้ พร้อมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วย

มอซาร์ทเทคโนโลยีเอ็นแชนแนลเอ็นชานส์เมททีโหนด

ที่ $W = 100$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (n-ch)

จากกราฟ V_T ในรูปที่ 4-5 (ก) และกราฟ $I-V$ ในรูปที่ 4-5 (ข) ของ

MOIS 1

$$V_T = 3.2 \text{ V}$$

$$R_{on} = (3V - 2V) / (70\mu A - 40\mu A) \text{ เมื่อ } V_D = 10 \text{ V}$$

$$= 33 \text{ K } \Omega$$

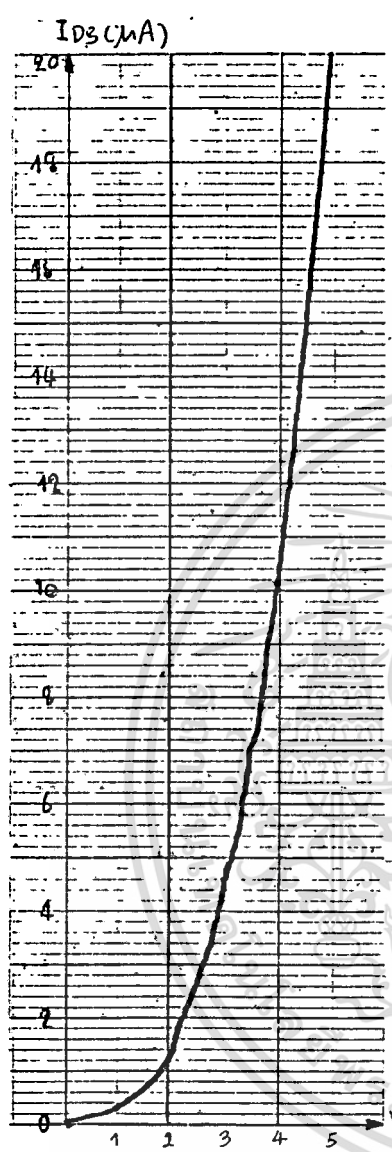
$$g_{m,sat} = (175\mu A - 25\mu A) / (10V - 5V) \text{ เมื่อ } V_D = 10 \text{ V}$$

$$= 30 \mu \text{ S}$$

$$I_{DSS} \text{ เมื่อ } V_G = 0 \text{ และ } V_D = 10 \text{ V มีค่า } 10 \mu A$$

$$V_{BF} = 12 \text{ V}$$

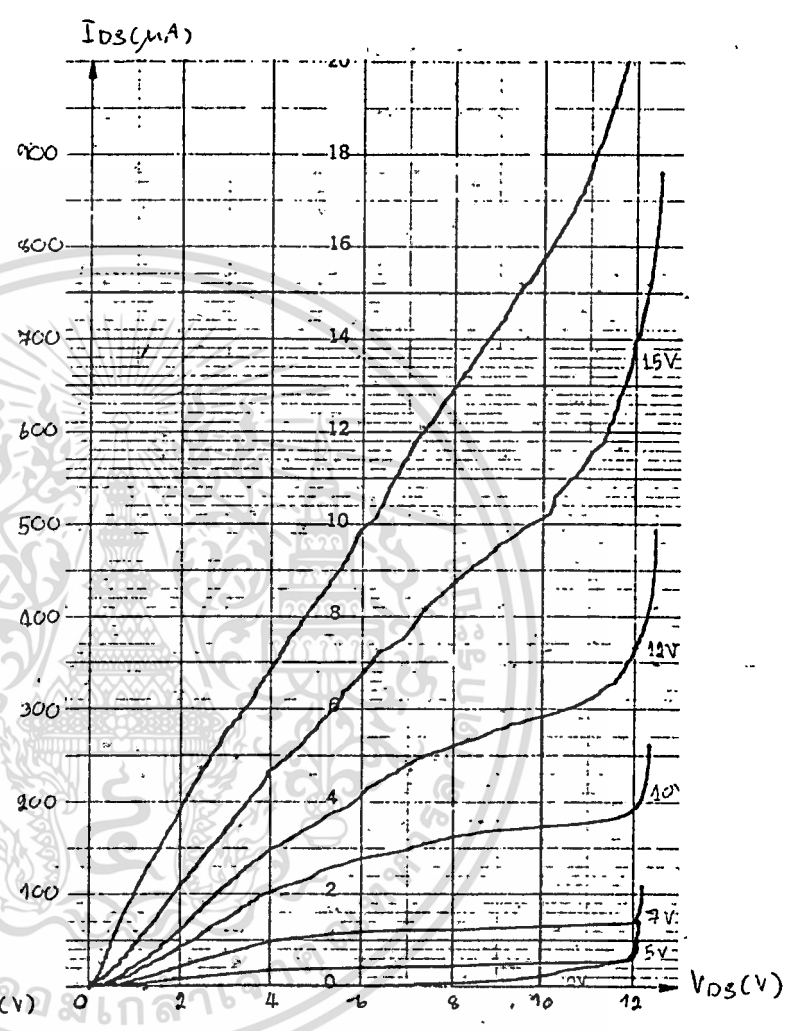
ที่ $W = 100$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (n-ch)



(ก)

กราฟ V_T

MOIS 1 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$
 แกน $y = 1 \text{ uA} / \text{ช่อง}$



(ข)

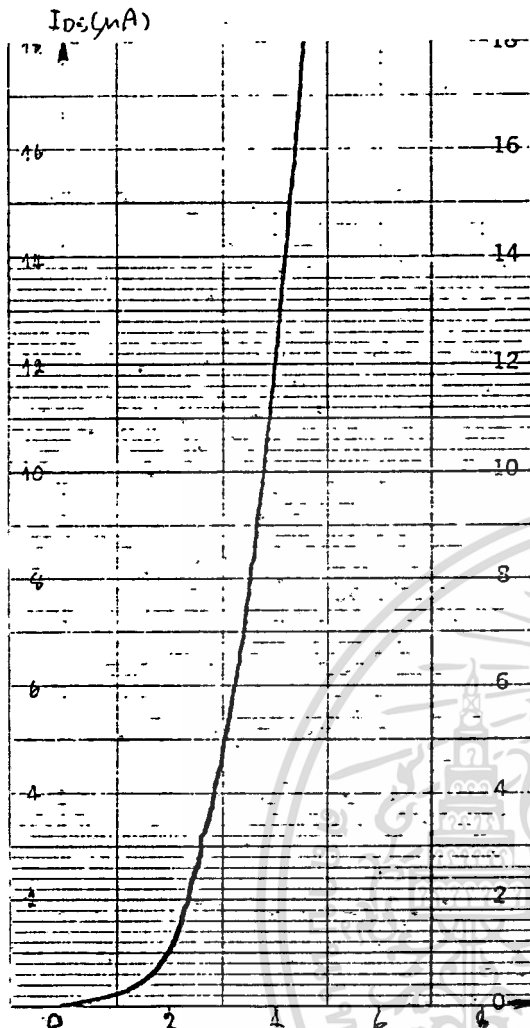
กราฟ I-V

MOIS 1 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$
 แกน $y = 50 \text{ uA} / \text{ช่อง}$

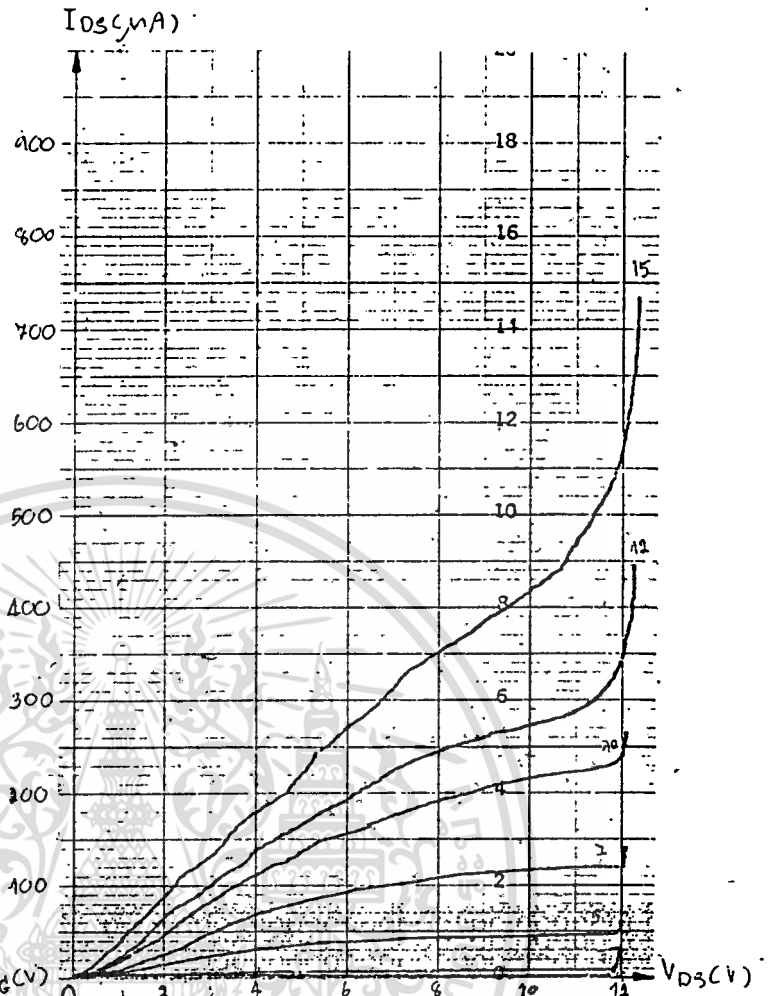
รูปที่ 4-5 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

ที่ $W = 100$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (n-ch)



(ก) กราฟ V_T



(ข) กราฟ I-V

MOIS 2 แกน $x = 1$ V / ช่อง

MOIS 2 แกน $x = 1$ V / ช่อง

แกน $y = 1$ μ A / ช่อง

แกน $y = 50$ μ A / ช่อง

รูปที่ 4-6 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 2.8 \text{ V}$$

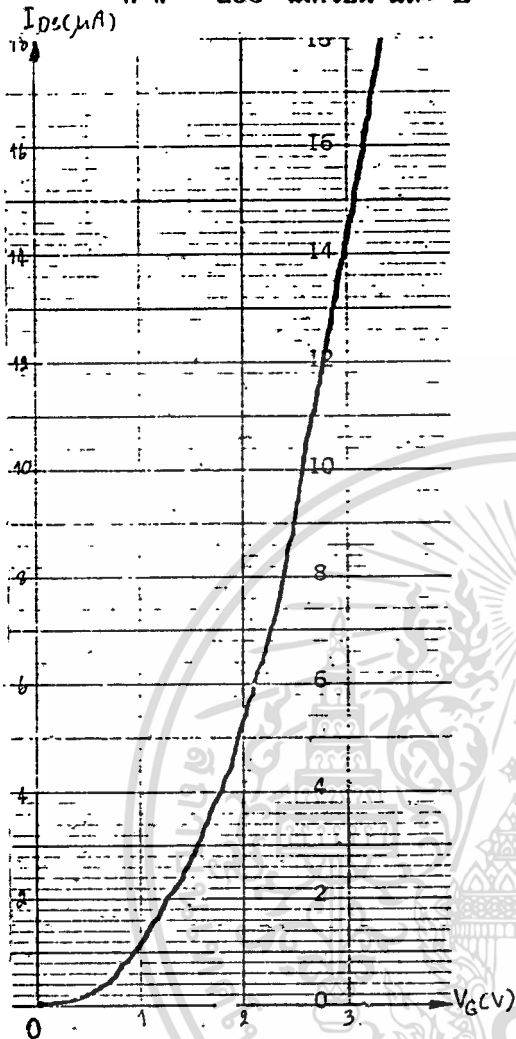
$$R_{on} = 33 \text{ K } \Omega$$

$$g_{m, sat} = 34 \text{ } \mu \text{ S}$$

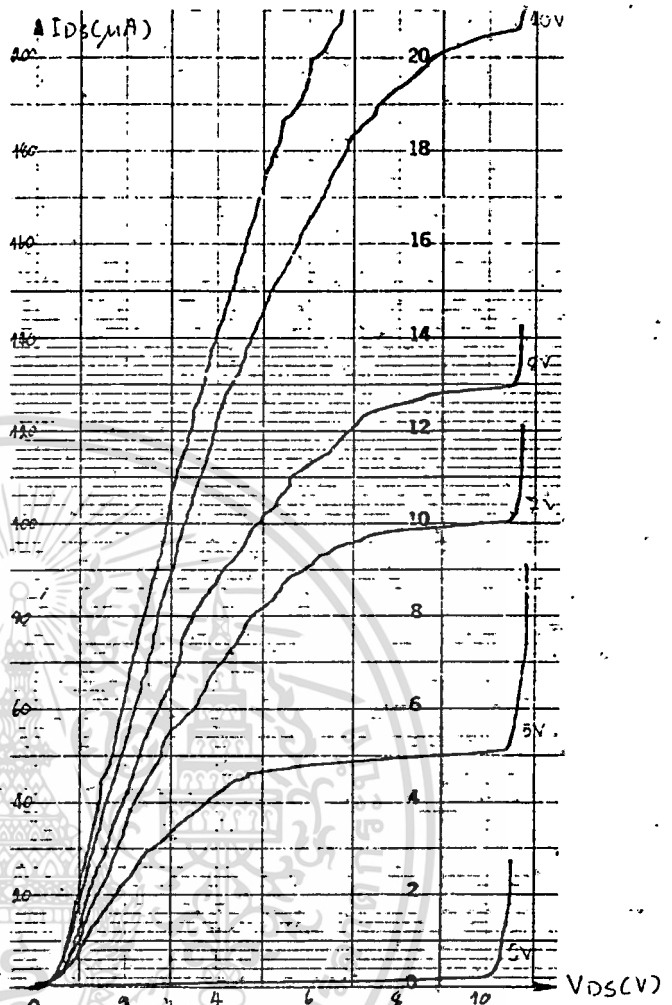
$$I_{DSS} = 0 \text{ A}$$

$$V_{BF} = 11.8 \text{ V}$$

ที่ $W = 200$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (n-ch)



(ก) กราฟ V_{T_0}



(ข) กราฟ I-V

MOIS 3 แกน $x = 0.5$ V / ช่อง

MOIS 3 แกน $x = 1$ V / ช่อง

แกน $y = 1$ μ A / ช่อง

แกน $y = 10$ μ A / ช่อง

รูปที่ 4-7 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 1.6 \text{ V}$$

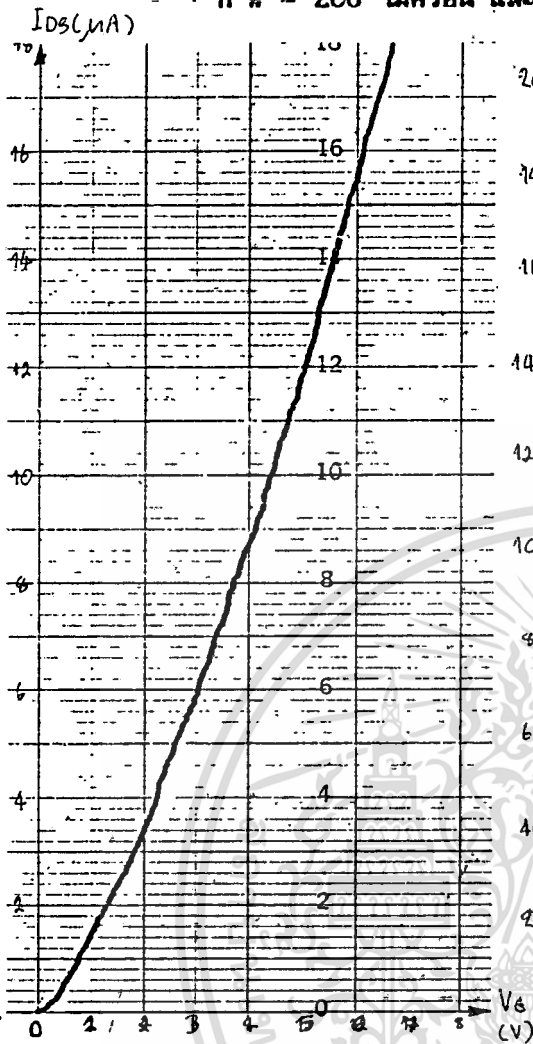
$$R_{on} = 27.8 \text{ K } \Omega$$

$$g_{m, sat} = 40 \text{ } \mu \text{ S}$$

$$I_{DSS} = 2 \text{ } \mu \text{ A}$$

$$-V_{BF} = 10 \text{ V}$$

ที่ $W = 200$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (n-ch).

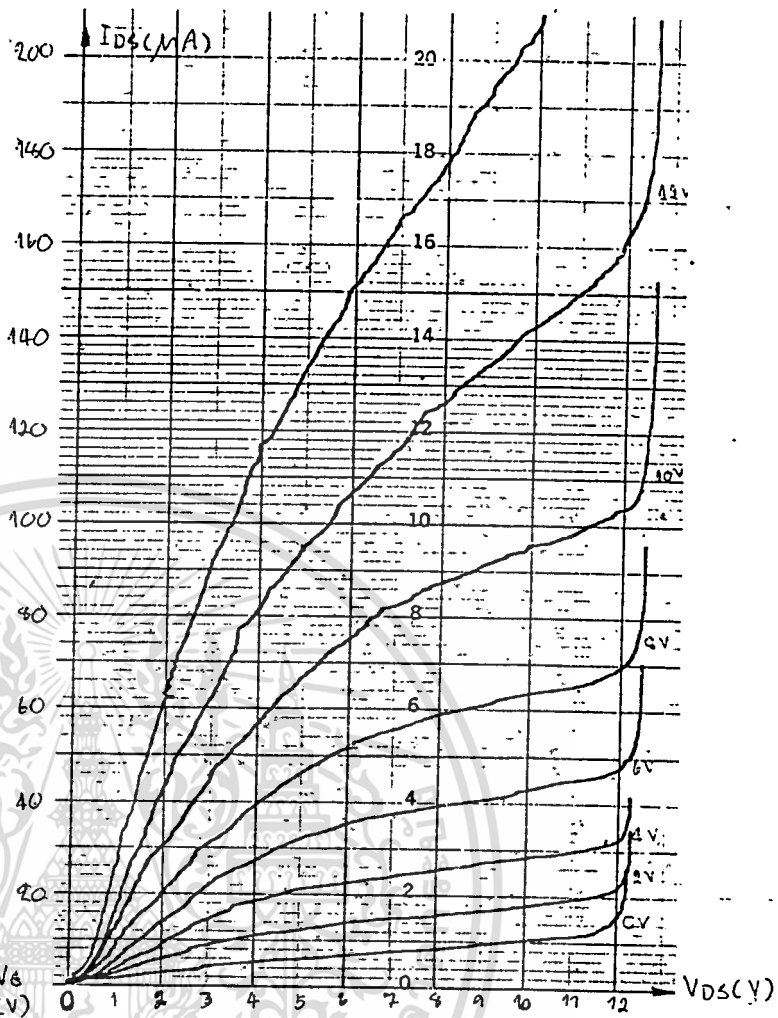


(ก) กราฟ V_T

MOIS 4 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 1 \mu\text{A} / \text{ช่อง}$

รูปที่ 4-8 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)



(ข) กราฟ I-V

MOIS 4 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 10 \mu\text{A} / \text{ช่อง}$

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 3.1 \text{ V}$$

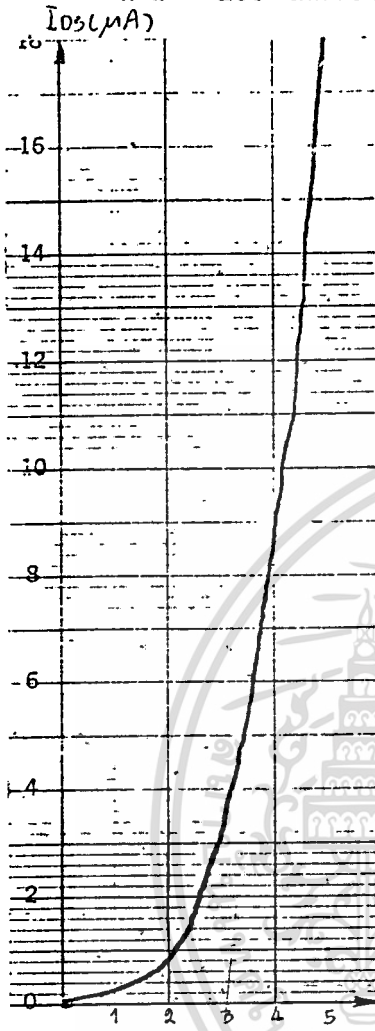
$$R_{on} = 33.3 \text{ K } \Omega$$

$$g_{m, sat} = 39.2 \mu\text{ S}$$

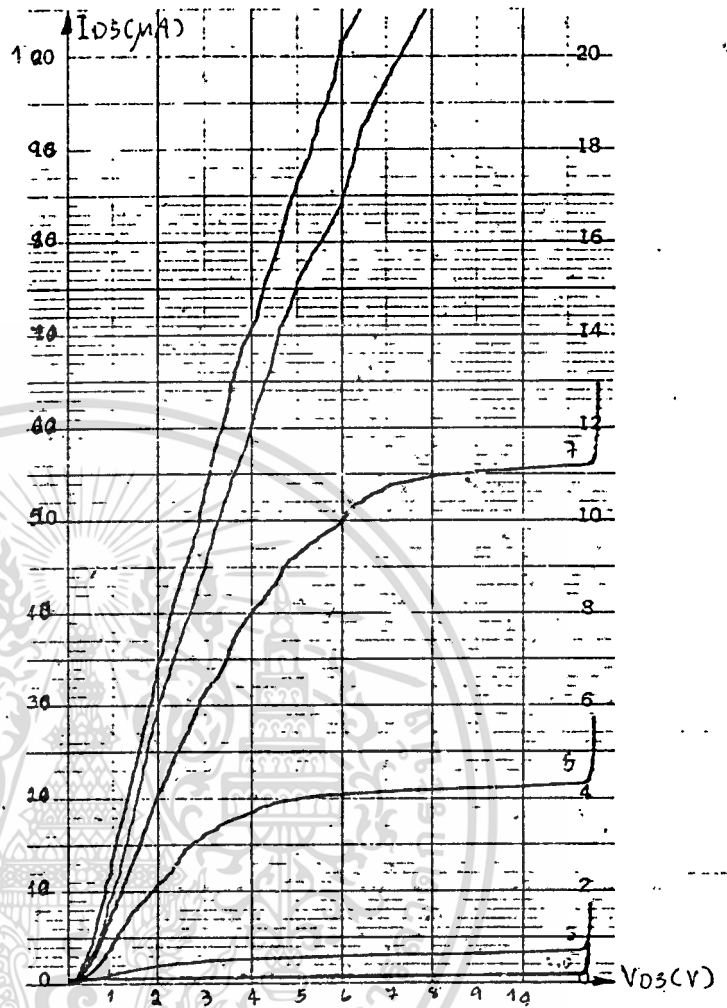
$$I_{DSS} = 2 \mu\text{A}$$

$$V_{BF} = 11 \text{ V}$$

ที่ $W = 200$ ไมครอน และ $L = 40$ ไมครอน (n-ch)



(ก) กราฟ V_T



(ข) กราฟ I-V

MOIS 5 แกน $x = 1$ V / ช่อง

MOIS 5 แกน $x = 1$ V / ช่อง

แกน $y = 1$ μ A / ช่อง

แกน $y = 5$ μ A / ช่อง

รูปที่ 4-9 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 1.5 \text{ V}$$

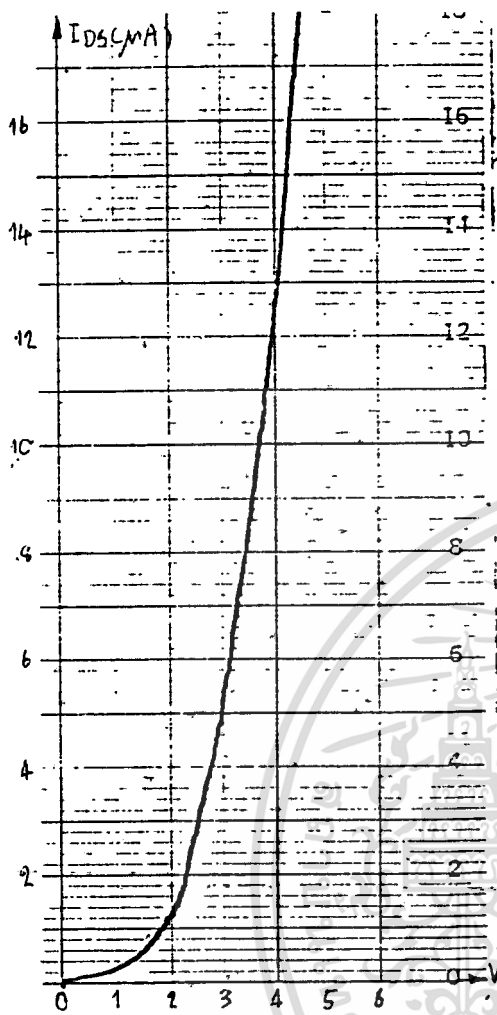
$$R_{on} = 125 \text{ K } \Omega$$

$$g_{m, sat} = 5.7 \text{ } \mu \text{ S}$$

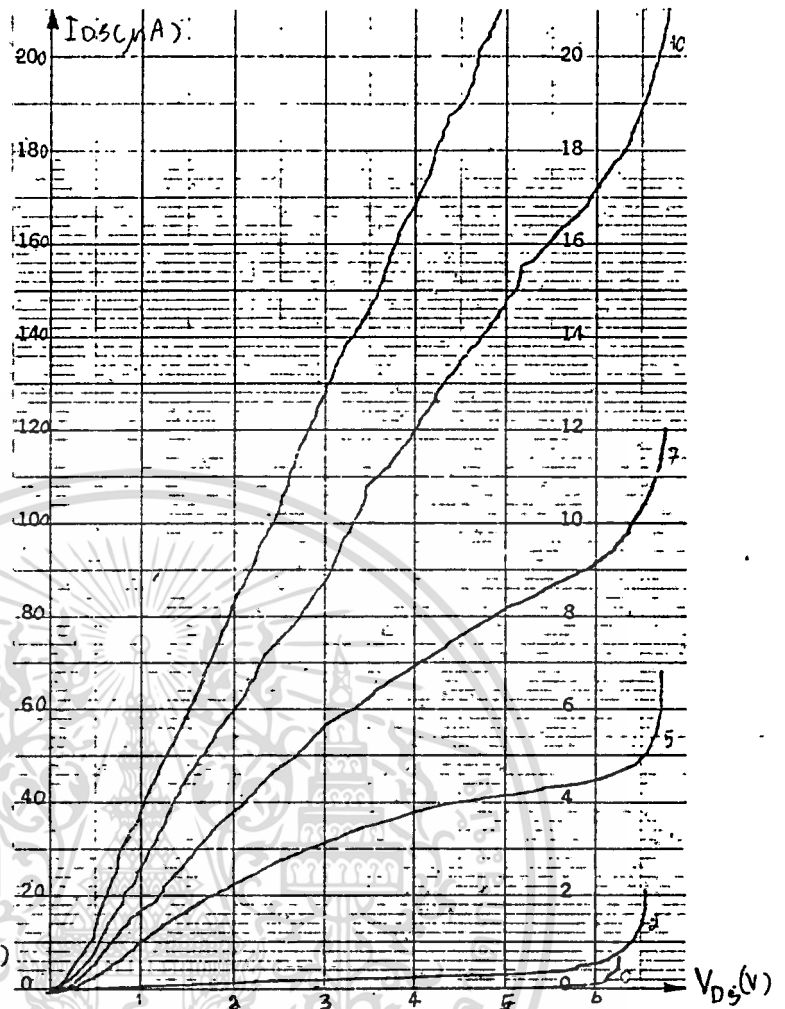
$$I_{DSS} = 5 \text{ } \mu \text{ A}$$

$$V_{BF} = 12 \text{ V}$$

ที่ $W = 300$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (n-ch)



(ก) กราฟ V_T



(ข) กราฟ I-V

MOIS 6 แกน $x = 1$ V / ช่อง

MOIS 6 แกน $x = 0.5$ V / ช่อง

แกน $y = 1$ μ A / ช่อง

แกน $y = 10$ μ A / ช่อง

รูปที่ 4-10 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 2.6 \text{ V}$$

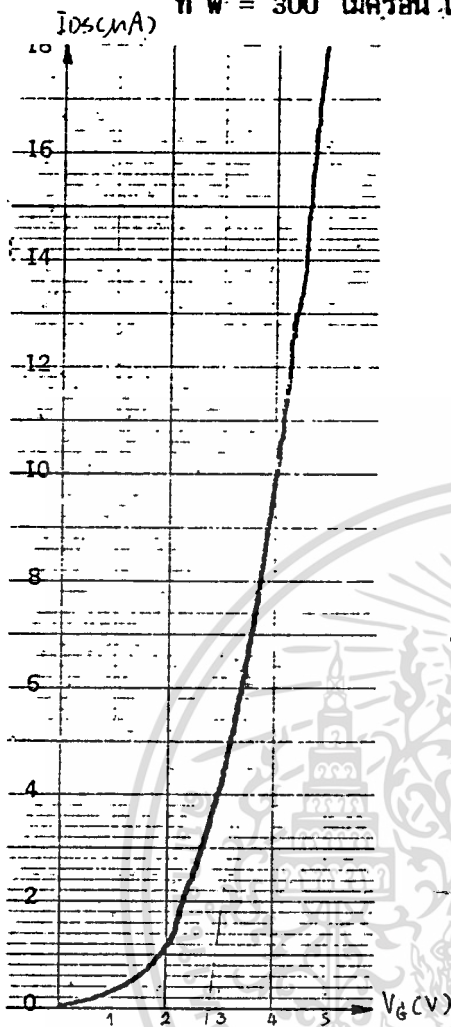
$$R_{on} = 35.7 \text{ K } \Omega$$

$$g_{m, sat} = 21.2 \text{ } \mu \text{ S}$$

$$I_{DSS} = 0 \text{ A}$$

$$V_{BF} = 6 \text{ V}$$

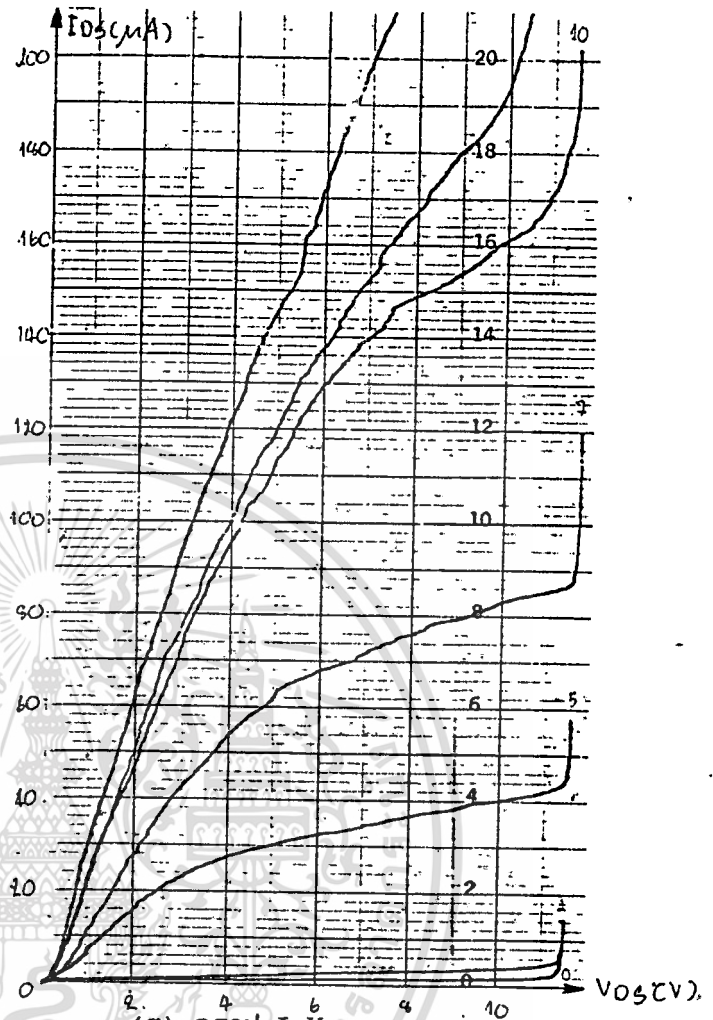
ที่ $W = 300$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (n-ch)



(ก) กราฟ V_T

MOIS 7 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 1 \mu\text{A} / \text{ช่อง}$



(ข) กราฟ I-V

MOIS 7 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 10 \mu\text{A} / \text{ช่อง}$

รูปที่ 4-11 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 2.8 \text{ V}$$

$$R_{on} = 34.5 \text{ K } \Omega$$

$$g_{m, sat} = 24.2 \mu \text{ S}$$

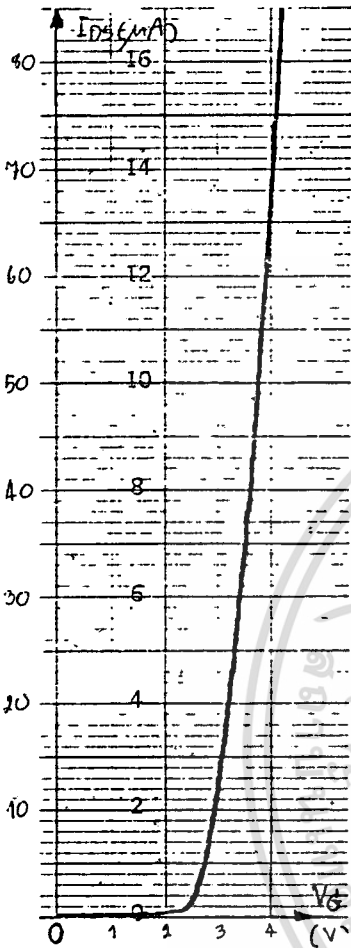
$$I_{DSS} = 1 \mu\text{A}$$

$$V_{BF} = 11 \text{ V}$$

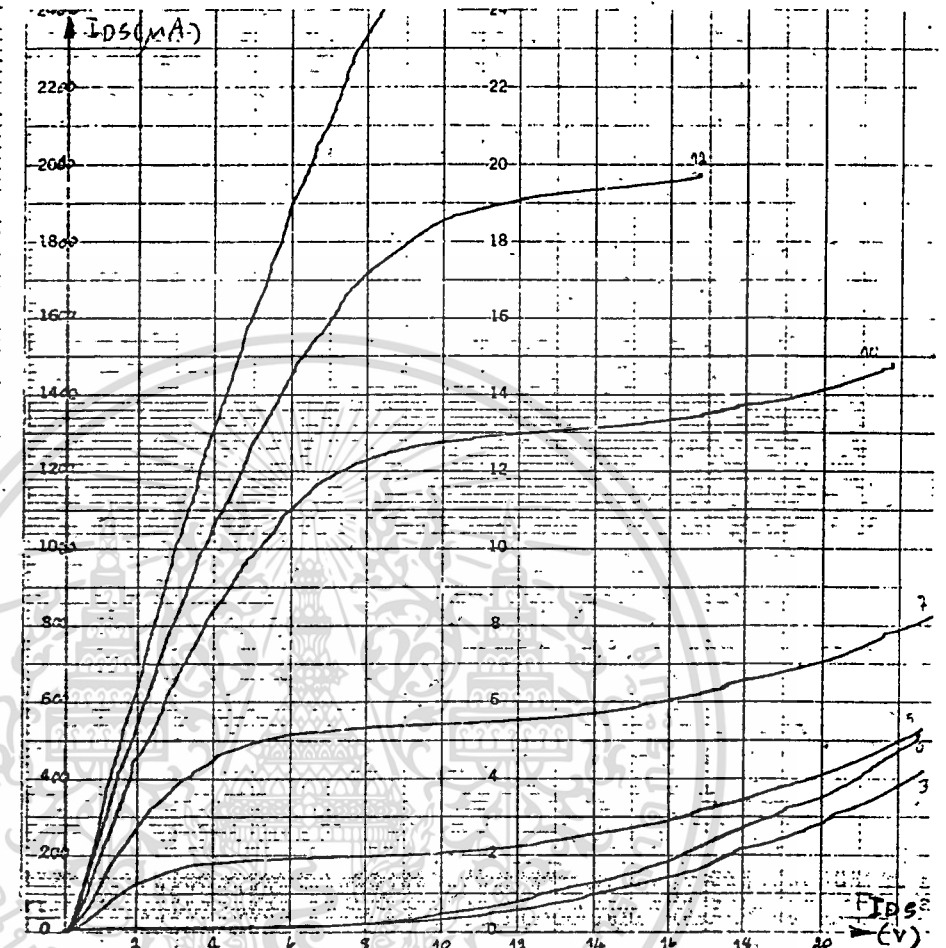
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอซาร์ทเฟลตชนิดอินเวชันแนล เอ็นฮานซ์เมนท์โหมด

ที่ $W = 100$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (p-ch)



(ก) กราฟ V_T



(ข) กราฟ I-V

MOIS 8 แกน $x = 1$ V / ช่อง

MOIS 8 แกน $x = 1$ V / ช่อง

แกน $y = 5$ μA / ช่อง

แกน $y = 100$ μA / ช่อง

รูปที่ 4-12 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 3.2 \text{ V}$$

$$R_{on} = 5 \text{ K } \Omega$$

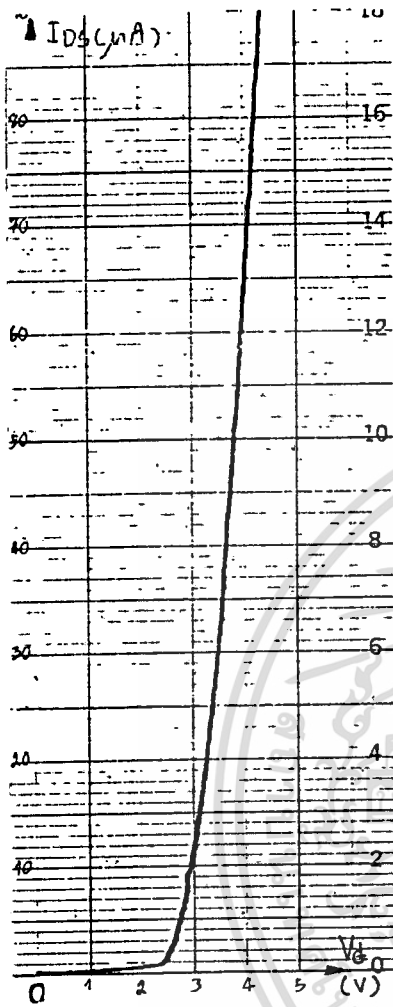
$$g_{m, sat} = 216 \text{ } \mu \text{ S}$$

$$I_{DSS} = 50 \text{ } \mu \text{ A}$$

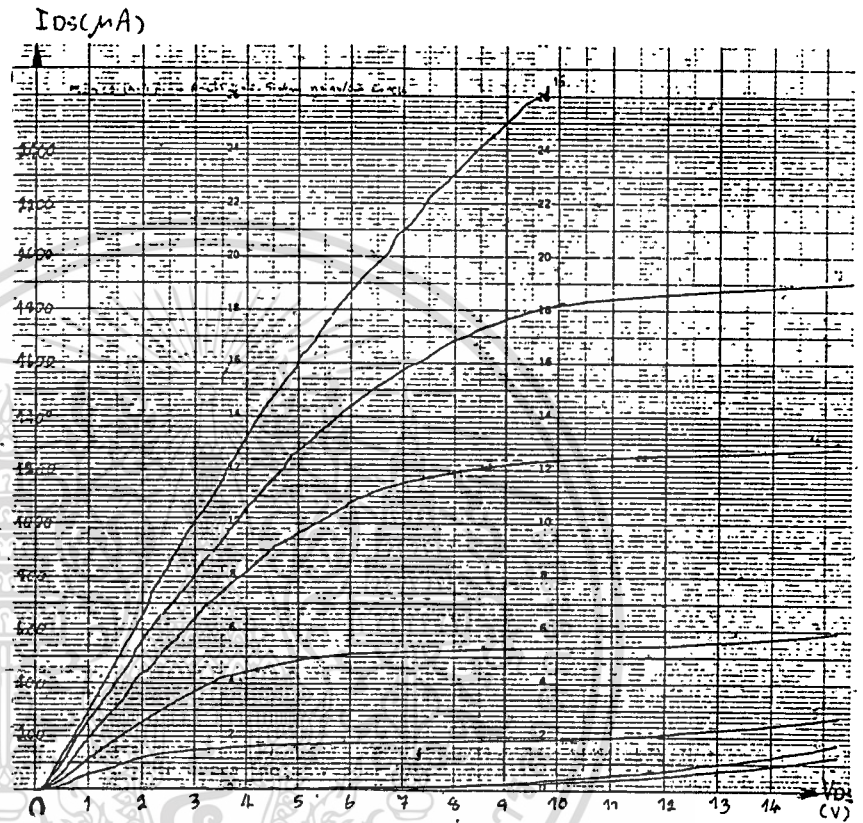
$$V_{BF} > 23 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $W = 100$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (p-ch).



(ก) กราฟ V_T



(ข) กราฟ I-V

MOIS 9 แกน $x = 1$ V / ช่อง

MOIS 9 แกน $x = 0.5$ V / ช่อง

แกน $y = 5$ μ A / ช่อง

แกน $y = 100$ μ A / ช่อง

รูปที่ 4-13 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 3.2 \text{ V}$$

$$R_{on} = 5 \text{ K } \Omega$$

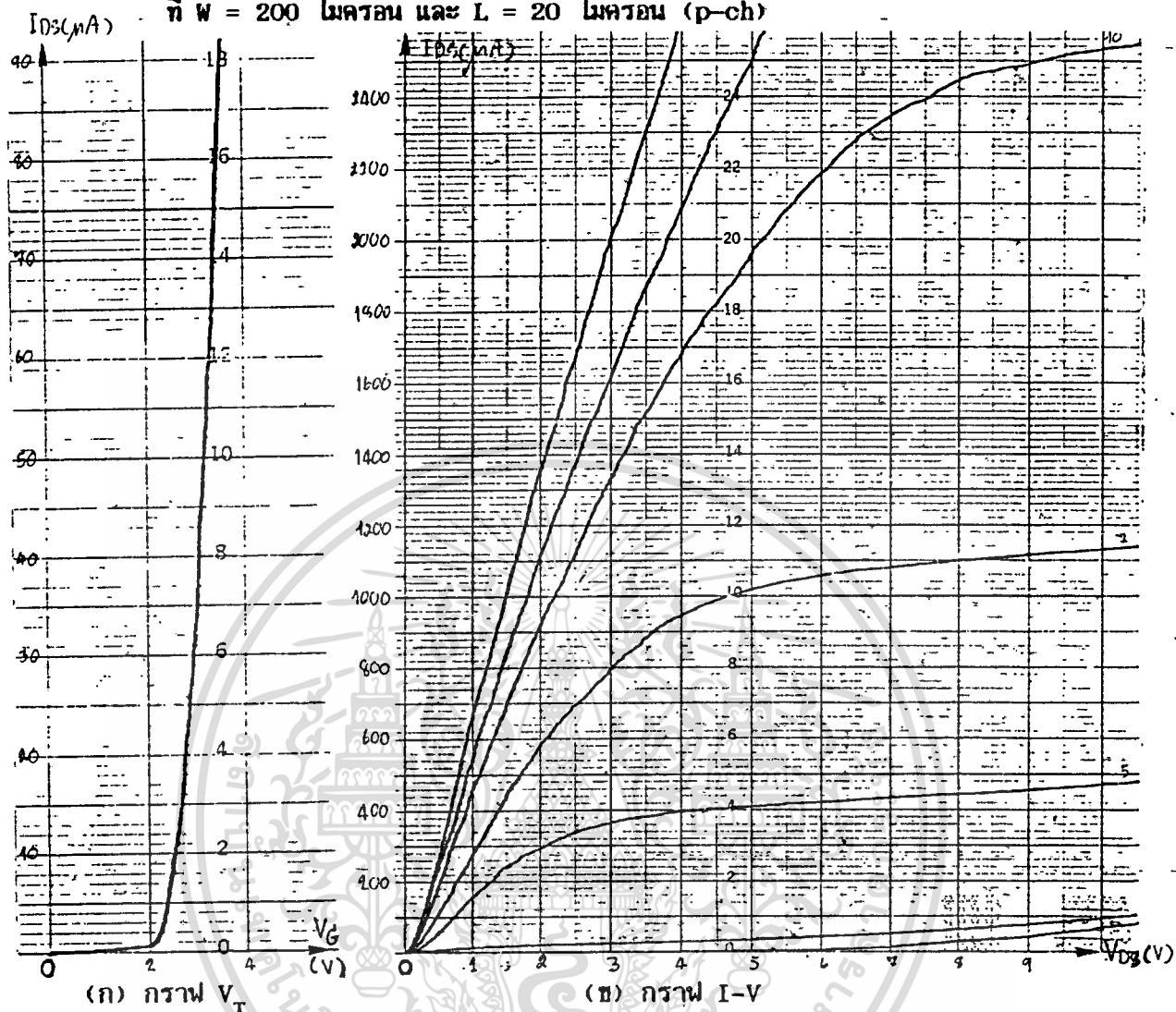
$$g_{m, sat} = 206 \text{ } \mu \text{ S}$$

$$I_{DSS} = 40 \text{ } \mu \text{ A}$$

$$V_{BF} > 15 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $W = 200$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (p-ch)



(ก) กราฟ V_T

(ข) กราฟ I-V

MOIS 10 แกน $x = 1$ V / ช่อง

MOIS 10 แกน $x = 0.5$ V / ช่อง

แกน $y = 5$ μA / ช่อง

แกน $y = 100$ μA / ช่อง

รูปที่ 4-14 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 2.6 \text{ V}$$

$$R_{on} = 2.4 \text{ K } \Omega$$

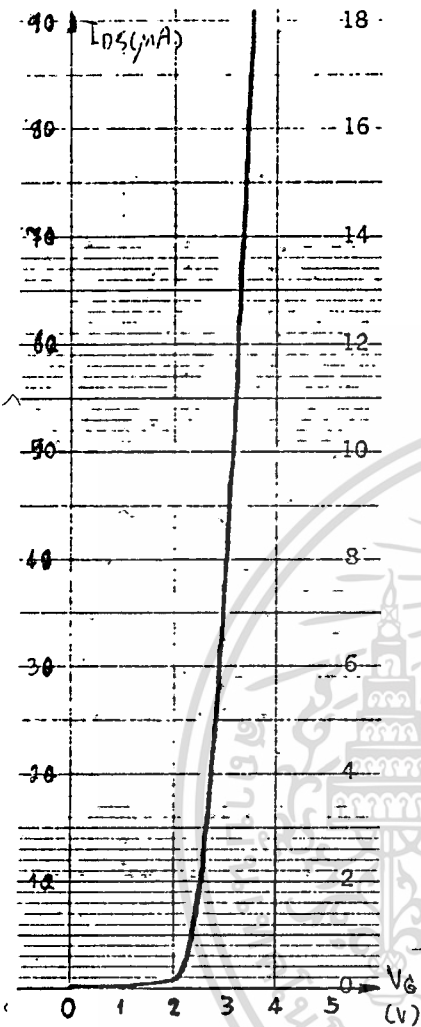
$$g_{m, sat} = 412 \text{ } \mu \text{ S}$$

$$I_{DSS} = 70 \text{ } \mu A$$

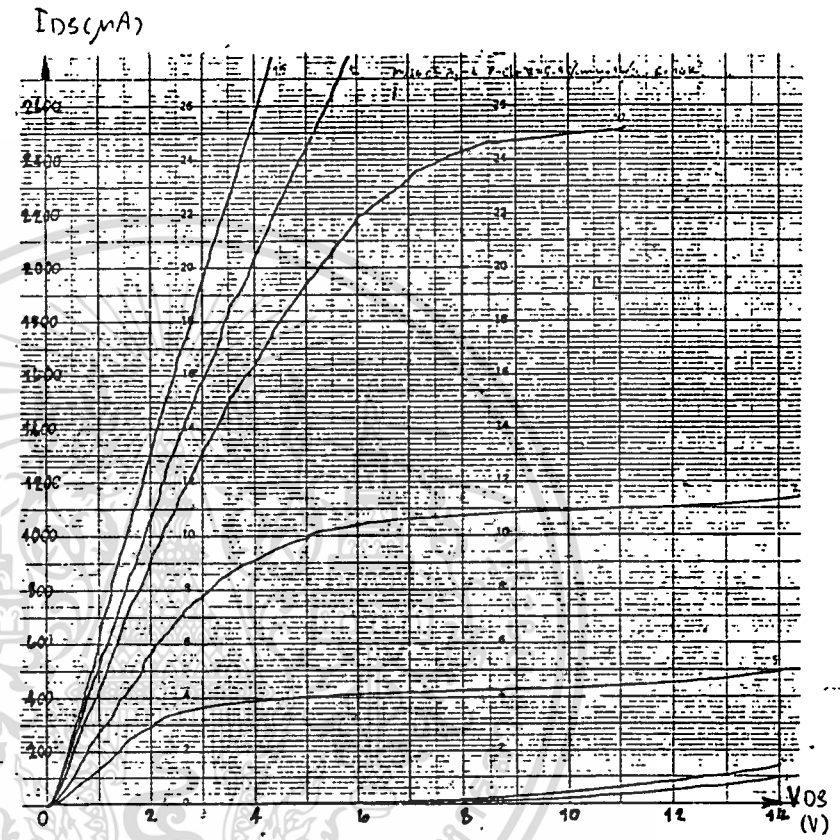
$$V_{BF} > 10 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาไปใช้

ที่ $W = 200$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (p-ch)



(ก) กราฟ V_T



(ข) กราฟ I-V

MOIS 11 แกน $x = 1$ V / ช่อง

MOIS 11 แกน $x = 0.5$ V / ช่อง

แกน $y = 5$ μ A / ช่อง

แกน $y = 100$ μ A / ช่อง

รูปที่ 4-15 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 2.6 \text{ V}$$

$$R_{on} = 2.5 \text{ K } \Omega$$

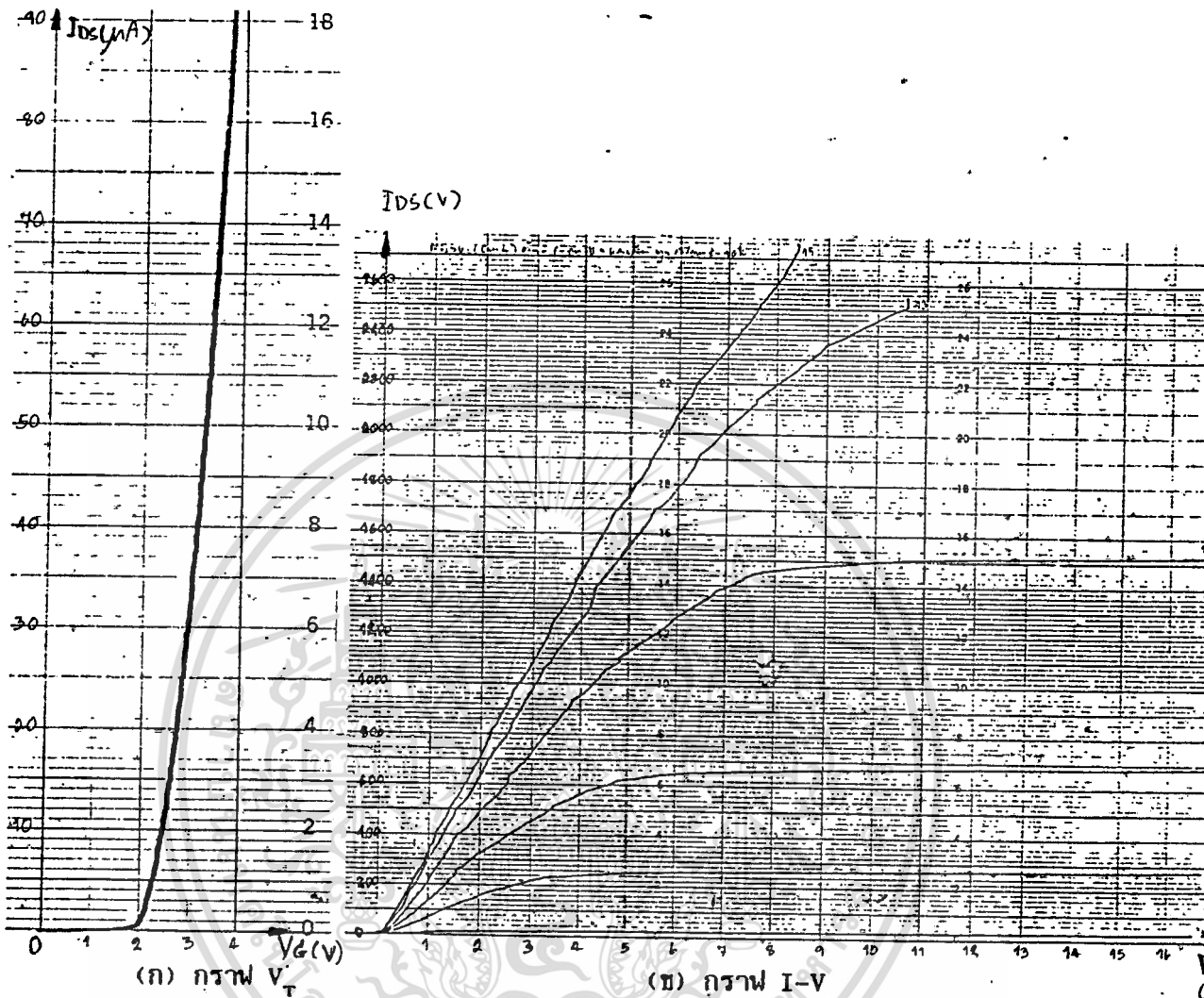
$$g_{m, sat} = 412 \text{ } \mu \text{ S}$$

$$I_{DSS} = 40 \text{ } \mu \text{ A}$$

$$V_{BF} > 14 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $W = 200$ ไมครอน และ $L = 40$ ไมครอน (p-ch)



MOIS 12 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$

MOIS 12 แกน $x = 0.5 \text{ V} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 5 \text{ } \mu\text{A} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 100 \text{ } \mu\text{A} / \text{ช่อง}$

รูปที่ 4-16 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 2.6 \text{ V}$$

$$R_{on} = 4.3 \text{ K } \Omega$$

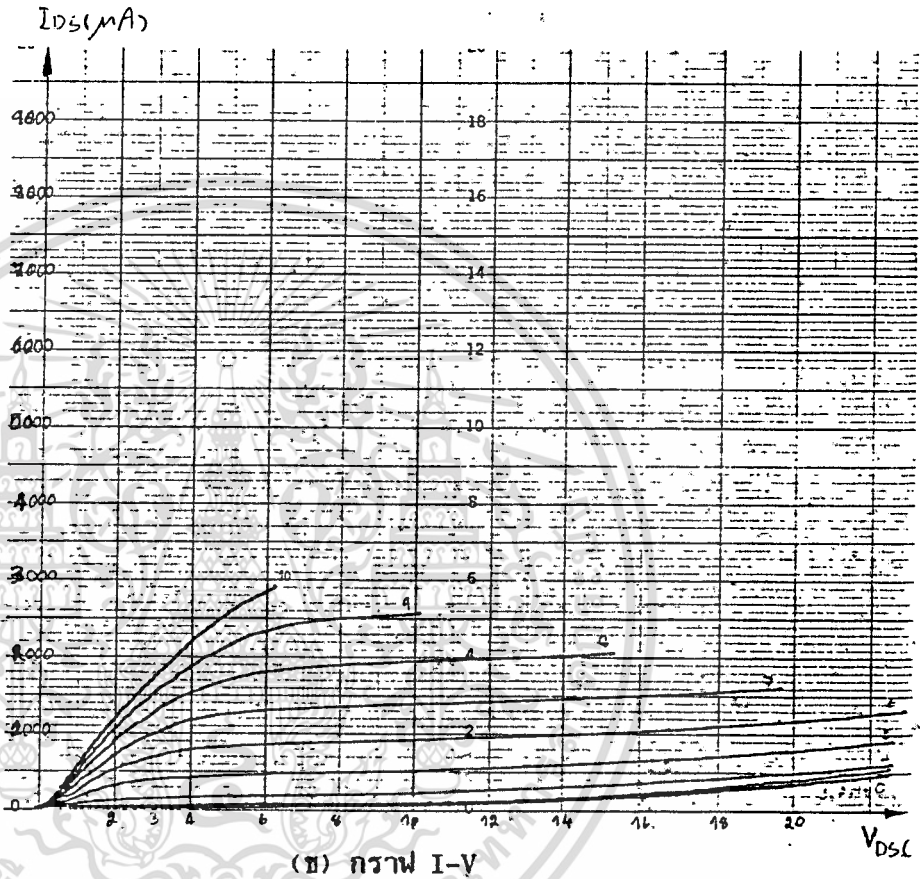
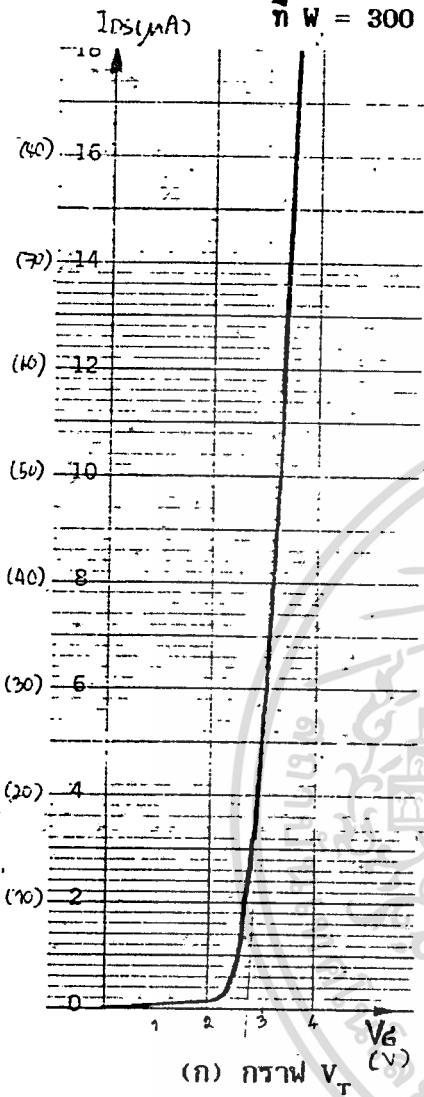
$$g_{m, sat} = 247.4 \text{ } \mu\text{ S}$$

$$I_{DSS} = 0 \text{ A}$$

$$V_{BF} > 16 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $W = 300$ ไมครอน และ $L = 20$ ไมครอน (p-ch)



MOIS 14 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$

MOIS 14 แกน $x = 1 \text{ V} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 5 \mu\text{A} / \text{ช่อง}$

แกน $y = 500 \mu\text{A} / \text{ช่อง}$

รูปที่ 4-18 (ก) กราฟแสดงแรงดันขีดเริ่ม (V_T)

(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติกระแสและแรงดัน (IV CHARACTERISTIC)

$$V_T = 2.8 \text{ V}$$

$$R_{on} = 3.3 \text{ K } \Omega$$

$$g_{m, sat} = 450 \mu\text{ S}$$

$$I_{DSS} = 90 \mu\text{A}$$

$$V_{BF} > 22 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่หาได้จากกราฟ นำมาเขียนเป็นตารางได้ดัง

ตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอดูลเฟกซ์ชนิดเอ็นเอ็มแอลเอ็นฮ้านเม็นโหมด

ความกว้าง แชนแนล	ความยาว แชนแนล	พารามิเตอร์	ตัวอุปกรณ์	
			MOIS 1	MOIS 2
100 ไมครอน	20 ไมครอน	V_T (V)	3.2	2.8
		R_{on} (K Ω)	33	33
		$g_{m,sat}$ (μS)	34	34
		I_{DSS} (μA)	10	0
		V_{BF} (V)	12	11.8
200 ไมครอน	20 ไมครอน	V_T (V)	1.6	3.1
		R_{on} (K Ω)	27.8	33.3
		$g_{m,sat}$ (μS)	40	39.2
		I_{DSS} (μA)	2	2
		V_{BF} (V)	10	11
200 ไมครอน	40 ไมครอน	V_T (V)	1.5	
		R_{on} (K Ω)	125	
		$g_{m,sat}$ (μS)	5.7	

ตารางที่ 1(ต่อ) แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอซาร์ทเฟกชนิดเอ็นแชนแนลเอ็นซีทีเอ็มโมด

ความกว้าง แชนแนล	ความยาว แชนแนล	พารามิเตอร์	ตัวอุปกรณ์	
300 ไมครอน	20 ไมครอน	I_{DSS} (μA)	5	
		V_{BF} (V)	12	
			MOIS 6	MOIS 7
		V_T (V)	2.6	2.8
		R_{on} (K Ω)	35.7	34.5
		$g_{m,max}$ (μS)	21.2	24.2
		I_{DSS} (μA)	0	1
	V_{BF} (V)	6	11	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอซาร์ทเฟตชนิดนี้ที่ขันแนล เอ็นฮาร์โมนิกโมด

ความกว้าง ขันแนล	ความยาว ขันแนล	พารามิเตอร์	ตัวอย่าง	
			MOIS 8	MOIS 9
100 ไมครอน	20 ไมครอน	V_T (V)	3.2	3.2
		R_{on} (K Ω)	5	5
		$g_{m,sat}$ (μS)	216	206
		I_{DSS} (μA)	50	40
		V_{BF} (V)	>23	>15
200 ไมครอน	20 ไมครอน	V_T (V)	2.6	2.6
		R_{on} (K Ω)	2.4	2.5
		$g_{m,sat}$ (μS)	412	412
		I_{DSS} (μA)	70	40
		V_{BF} (V)	>10	>14
200 ไมครอน	40 ไมครอน	V_T (V)	2.6	
		R_{on} (K Ω)	4.3	
		$g_{m,sat}$ (μS)	247.4	
		I_{DSS} (μA)	0	
		V_{BF} (V)	>16	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2(ต่อ) แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอดูลเฟตชนิดจัมแกนเนล เอ็นฮานซ์ เมทโทมอด

ความกว้าง แกนเนล	ความยาว แกนเนล	พารามิเตอร์	ตัวอุปกรณ์	
			MOIS 13	MOIS 14
300 ไมครอน	20 ไมครอน	V_T (V)	2.7	2.8
		R_{on} (K Ω)	3.1	3.3
		$g_{m,sat}$ (μS)	465	450
		I_{DSS} (μA)	70	90
		V_{BF} (V)	>11	>22

บทที่ 5

การทดลองหาค่า MOISFET เป็นวงจรรวม และผลการทดลอง

จากการทดสอบและการสร้าง MOISFET จากบทก่อนหน้านี้ จะพบว่า คุณสมบัติโดยทั่ว ๆ ไปของอุปกรณ์ประเภท MOIS นี้มีความเหมาะสมที่จะพัฒนาโครงสร้างเพื่อประกอบเป็นวงจรรวมได้ ทว่าด้านวงจรดิจิทัลเนื่องจากปริมาณของกระแสที่สวนารกไหลได้ในตัวอุปกรณ์มีค่าค่อนข้างต่ำ แต่ตัวอุปกรณ์มีข้อดีคือ ใช้พื้นที่ในการสร้างน้อย จากคุณลักษณะข้างต้นจะขอกกล่าวถึงคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของอุปกรณ์ดิจิทัลที่จำเป็นต้องตรวจสอบดังนี้

5.1 คุณสมบัติของวงจรดิจิทัล

คุณสมบัติที่สำคัญในการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ ในระบบดิจิทัลแบ่งเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้คือ

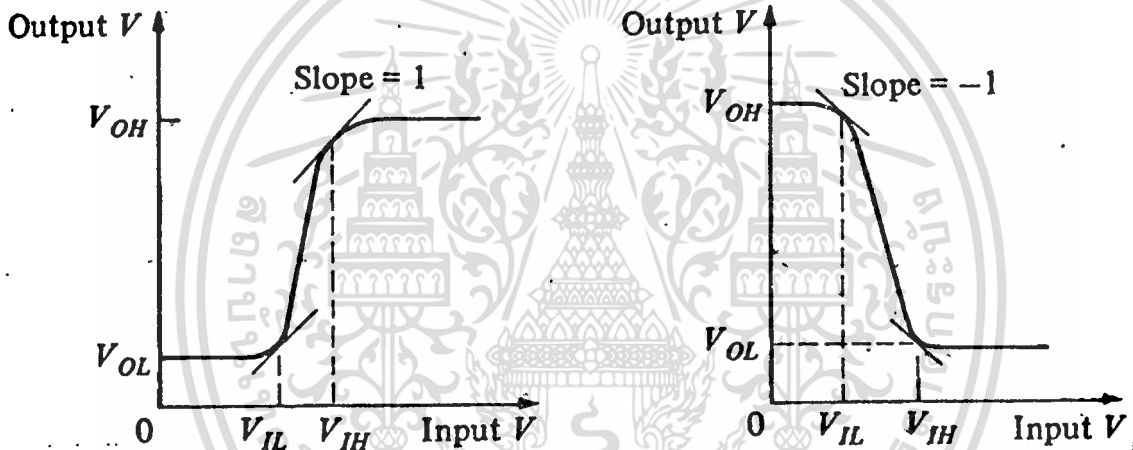
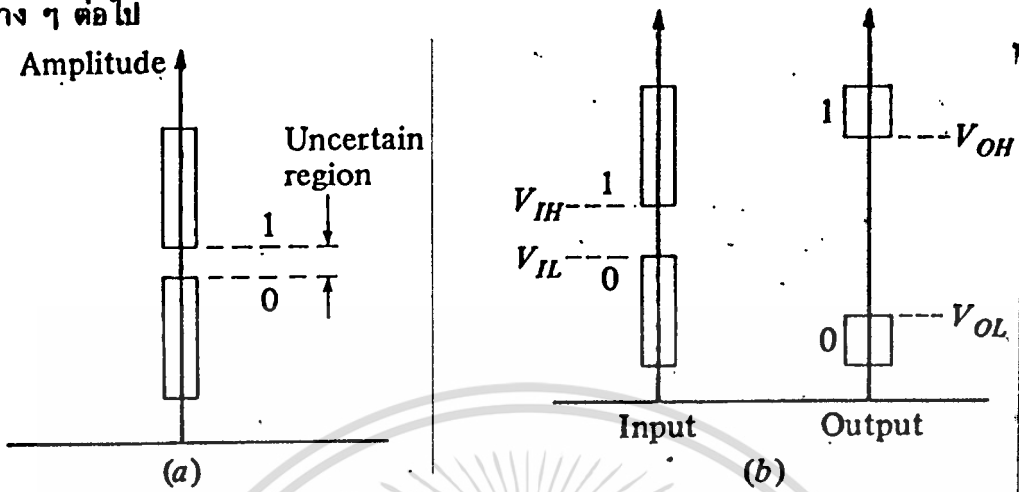
1. ค่าสถานะทางสัญญาณขาออกจะต้องมีความสัมพันธ์กับสถานะสัญญาณทางด้านสัญญาณขาเข้า ในลักษณะระบบของเลขฐานสอง

2. ค่าความต่างศักย์ของสถานะ OUTPUT จะต้องอยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (a) ค่าความต่างศักย์ที่สามารถใช้งานได้จะต้องตอบสนองต่อสถานะในเลขฐานสอง ที่กำหนดขึ้นดังในรูปที่ 5.1 (b) และในรูปที่ 5.1 (a) ช่วงสถานะที่ไม่สามารถใช้งานได้จะต้องมีค่าเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้

3. ค่าความต่างศักย์ของสัญญาณขาเข้า และสัญญาณขาออกควรมีค่าเท่ากัน และถ้าค่าสัญญาณขาออกมีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบบจะรับรู้ได้แล้ว จำเป็นต้องมีวงจรช่วยในการสร้างความต่างศักย์ ให้สามารถใช้งานได้ในสถานะต่อไป ซึ่งค่าสัญญาณเหล่านี้จะสามารถแสดงได้โดยใช้กราฟคุณสมบัติการส่งผ่านสัญญาณ ดังที่แสดงในรูปที่ 5.1 (c) ค่าสถานะที่รู้จักกันโดยทั่ว ๆ ไปคือ V_{OL} , V_{OH} , V_{IH} และ V_{IL} การหาค่าศักย์ต่าง ๆ จะเป็นไปตามมาตรฐานทั่ว ๆ ไป คือค่า V_{IH} และ V_{IL} จะหาค่าจากกราฟได้โดยการหาจุดซึ่งความชันของกราฟมีค่า -1 (ในกรณีที่ของวงจรที่สัญญาณขาออกกลับเฟสกับสัญญาณขาเข้า) และมีค่า $+1$ ในกรณีที่วงจรมีสัญญาณขาออกเฟสเดียวกับสัญญาณขาเข้า

จากนั้นจึงลากเส้นตรงไปยังแกนสัญญาณขาออก และสัญญาณขาเข้าเพื่อทราบค่าของศักดา

ต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปของวงจรดิจิทัล

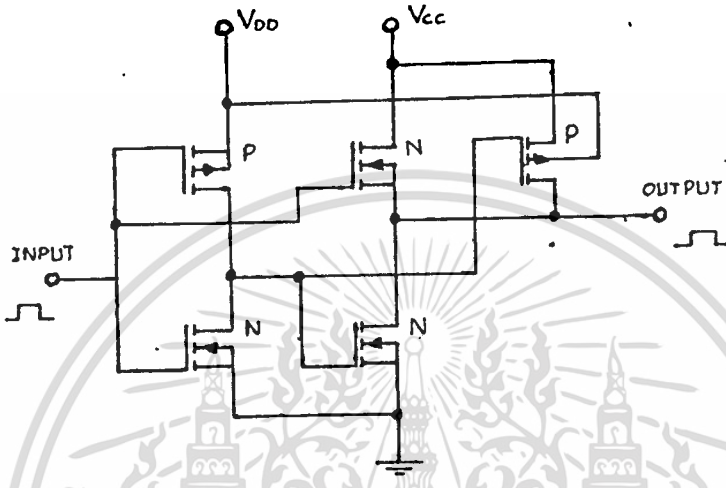
4. การเปลี่ยนแปลงสัญญาณขาออกของวงจรจะเกิดขึ้นต่อเมื่อ มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณขาเข้าของวงจรเท่านั้นคือ วงจรดิจิทัลจะต้องเป็นวงจรที่มีสถานะสมดุลย์อยู่เสมอ โดยผลกระทบของสภาวะแวดล้อมต่อวงจรควรมีน้อยมาก (STABILITY ของวงจร)

5. สถานะสัญญาณขาออกของวงจรจะต้องมีความสามารถกับวงจรดิจิทัลถัดมาอย่างน้อย 1 วงจรได้ ซึ่งจำนวนของวงจรที่ขับได้นี้เรียกว่าเป็น FAN-OUT ของวงจร จากข้างต้นเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรดิจิทัล ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นพื้นฐานในการออกแบบวงจรทั่ว ๆ ไป

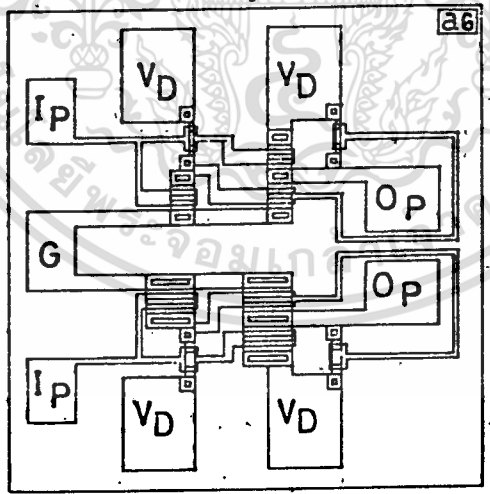
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดลองสร้างวงจรดิจิทัลเบื้องต้นที่เสนาโดยใช้โครงสร้าง MOIS

วงจรเบื้องต้นที่จะแนะนำเป็นวงจร DIGITAL CONVERTER ชนิดไม่กลับเฟสของสัญญาณ (BUFFER CONVERTER) รูปแบบของวงจรจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-1 และลวดลายวงจรที่ได้ทำการออกแบบ และทำการสร้างจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-2



รูปที่ 5.2-1 แสดงวงจร BUFFER CONVERTER ชนิดโครงสร้างแบบ MOIS



รูปที่ 5.2-2 แสดงแผนที่ที่ใช้ในการแพร่สารเจือของวงจร BUFFER CONVERTER ชนิดโครงสร้างแบบ MOIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 5.2-1 ใช้ X-Y RECORDER PLOT ค่า ระดับสัญญาณ OUTPUT เทียบกับระดับสัญญาณ INPUT โดยพารามิเตอร์ของ MOIS FET ของวงจรเป็นดังนี้

ชนิด N-CH มีค่า $W = 100$ ไมครอน , $L = 20$ ไมครอน

และ P-CH มีค่า $W = 20$ ไมครอน , $L = 80$ ไมครอน (ตัวที่ A4.1น)

ซึ่งผลการทดสอบจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-3

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 5$ โวลต์

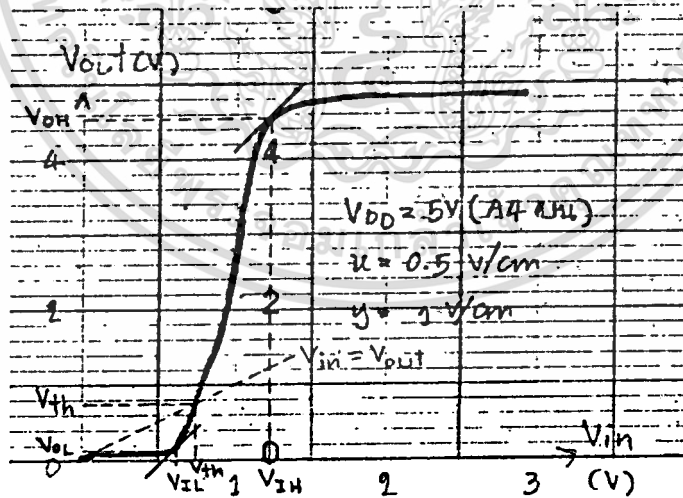
$V_{IH} = 1.05$ โวลต์

$V_{OH} = 4.55$ โวลต์

$V_{IL} = 0.65$ โวลต์

$V_{OL} = 0.1$ โวลต์

$V_{TH} = 0.75$ โวลต์



รูปที่ 5.2-3 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$V_{DD} = V_{CC} = 5$ โวลต์

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 10$ โวลต์ ผลการทดสอบจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-4

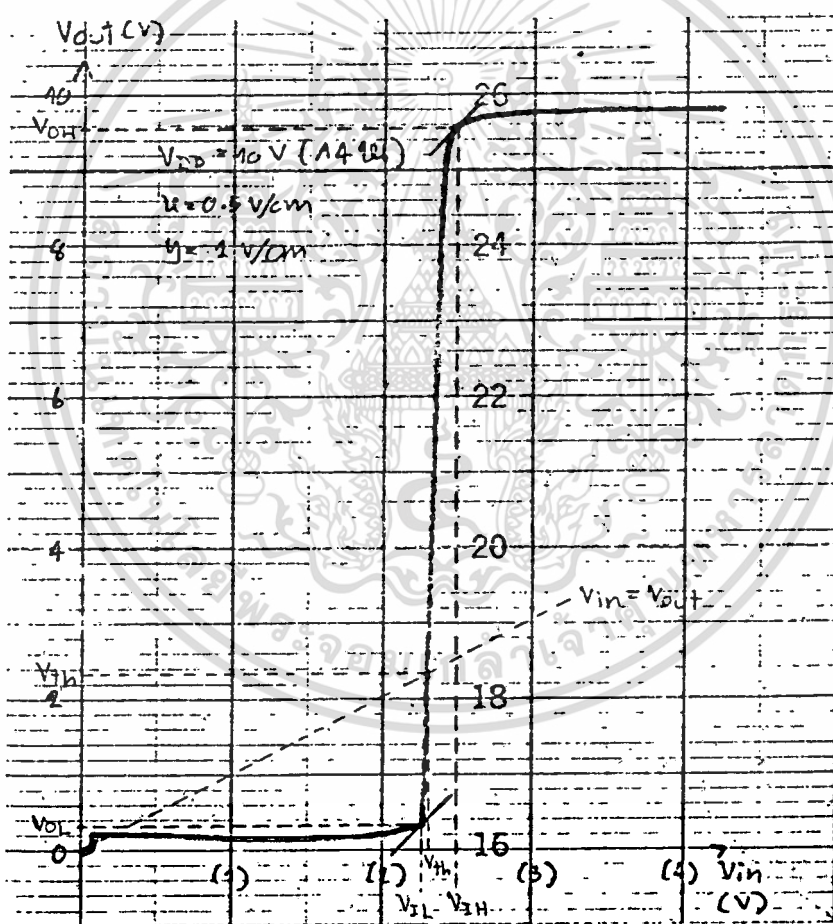
$V_{IH} = 2.5$ โวลต์

$V_{OH} = 9.6$ โวลต์

$V_{IL} = 2.25$ โวลต์

$V_{OL} = 0.3$ โวลต์

$V_{TH} = 2.3$ โวลต์



รูปที่ 5.2-4 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$$V_{DD} = V_{CC} = 10 \text{ โวลต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 15$ โวลต์ ผลการทดสอบจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-5

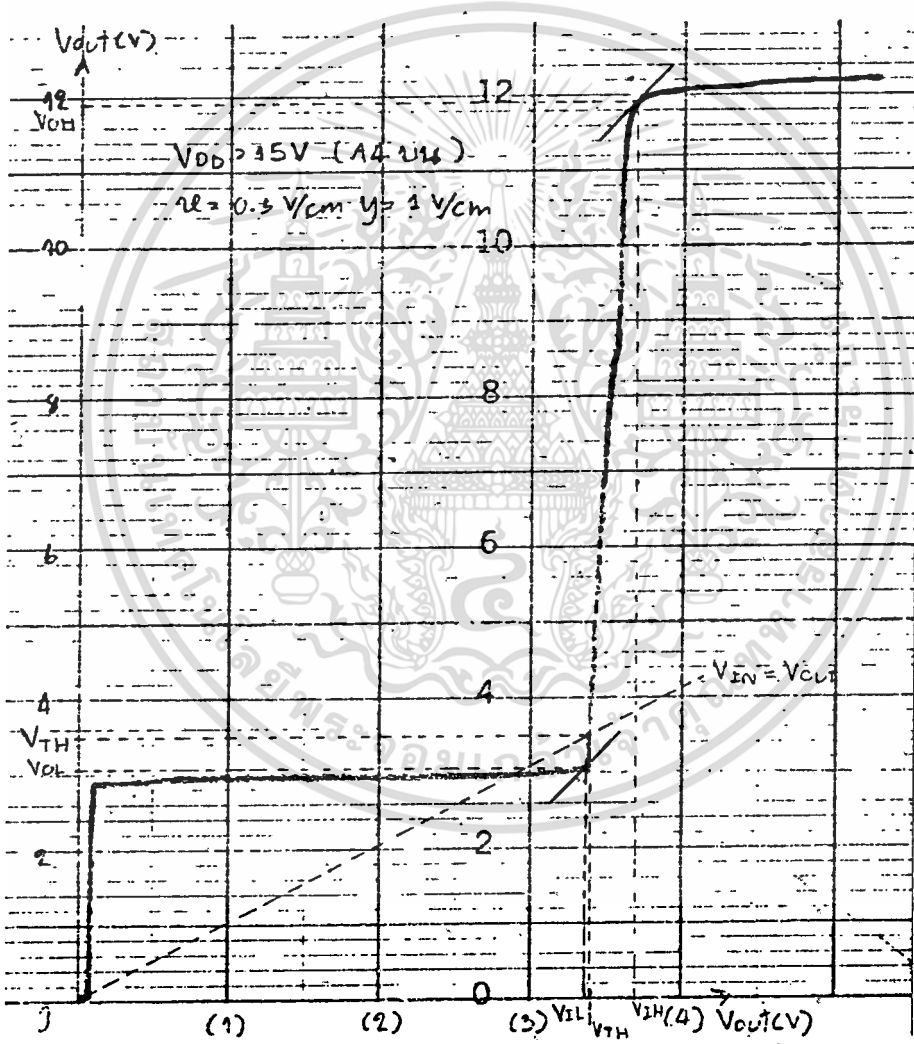
$V_{IH} = 3.7$ โวลต์

$V_{OH} = 11.9$ โวลต์

$V_{IL} = 3.35$ โวลต์

$V_{OL} = 3.1$ โวลต์

$V_{TH} = 3.5$ โวลต์



รูปที่ 5.2-5 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$V_{DD} = V_{CC} = 15$ โวลต์

จากวงจรในรูปที่ 5.2-1 ใช้ X-Y RECORDER PLOT ค่าระดับสัญญาณ OUTPUT เทียบกับระดับสัญญาณ INPUT โดยพารามิเตอร์ของ MOIS FET ของวงจรเป็นดังนี้

ชนิด N-CH มีค่า $W = 100$ ไมครอน , $L = 20$ ไมครอน

และ P-CH มีค่า $W = 40$ ไมครอน , $L = 80$ ไมครอน (. ตัวที่-A6 นน.)

ซึ่งผลการทดสอบจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-6

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 5$ โวลต์

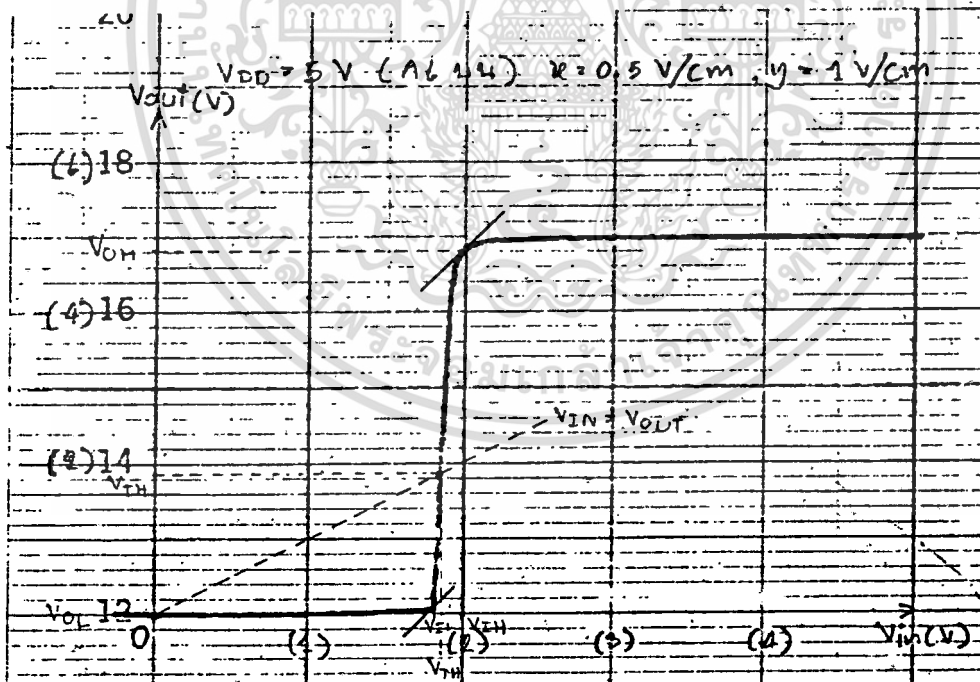
$V_{IH} = 2$ โวลต์

$V_{OH} = 4.8$ โวลต์

$V_{IL} = 1.8$ โวลต์

$V_{OL} = 0$ โวลต์

$V_{TH} = 1.85$ โวลต์



รูปที่ 5.2-6 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$V_{DD} = V_{CC} = 5$ โวลต์

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 10$ โวลต์ ผลการทดสอบจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-7

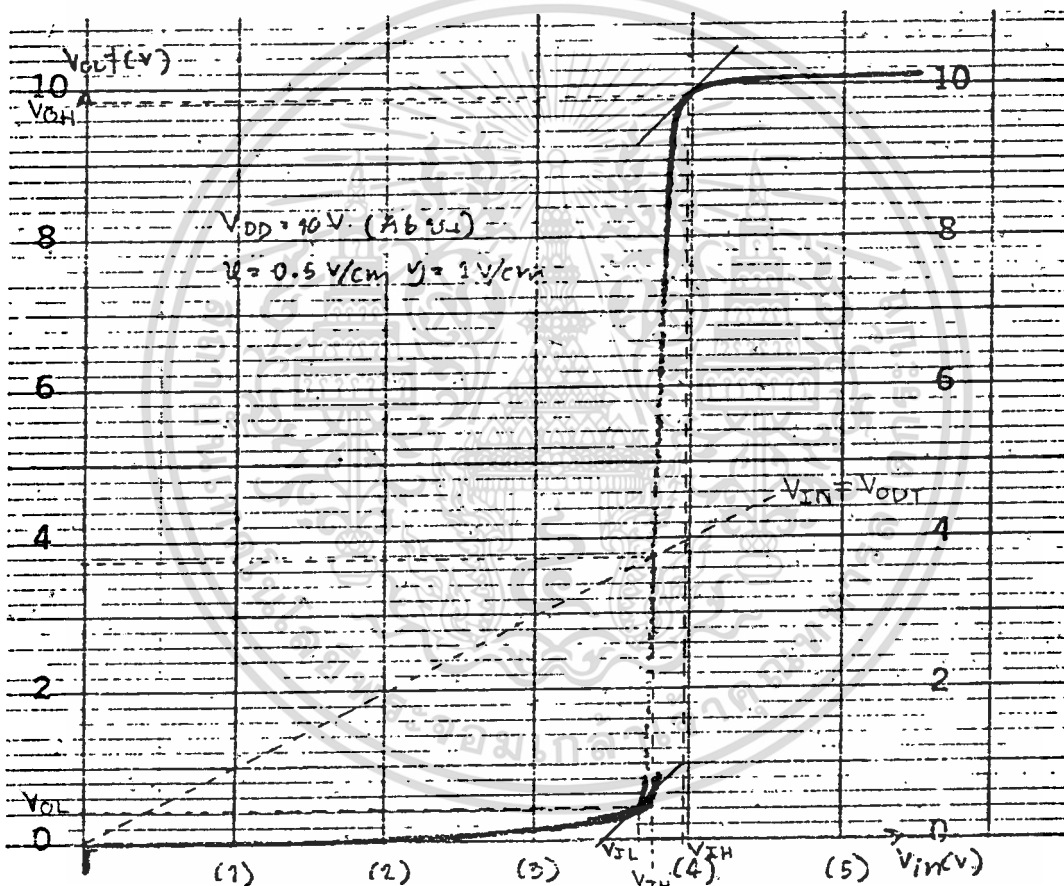
$V_{IH} = 3.95$ โวลต์

$V_{OH} = 9.8$ โวลต์

$V_{IL} = 3.67$ โวลต์

$V_{OL} = 0.4$ โวลต์

$V_{TH} = 3.75$ โวลต์



รูปที่ 5.2-7 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$$V_{DD} = V_{CC} = 10 \text{ โวลต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 15$ โวลต์ ผลการทดสอบจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-8

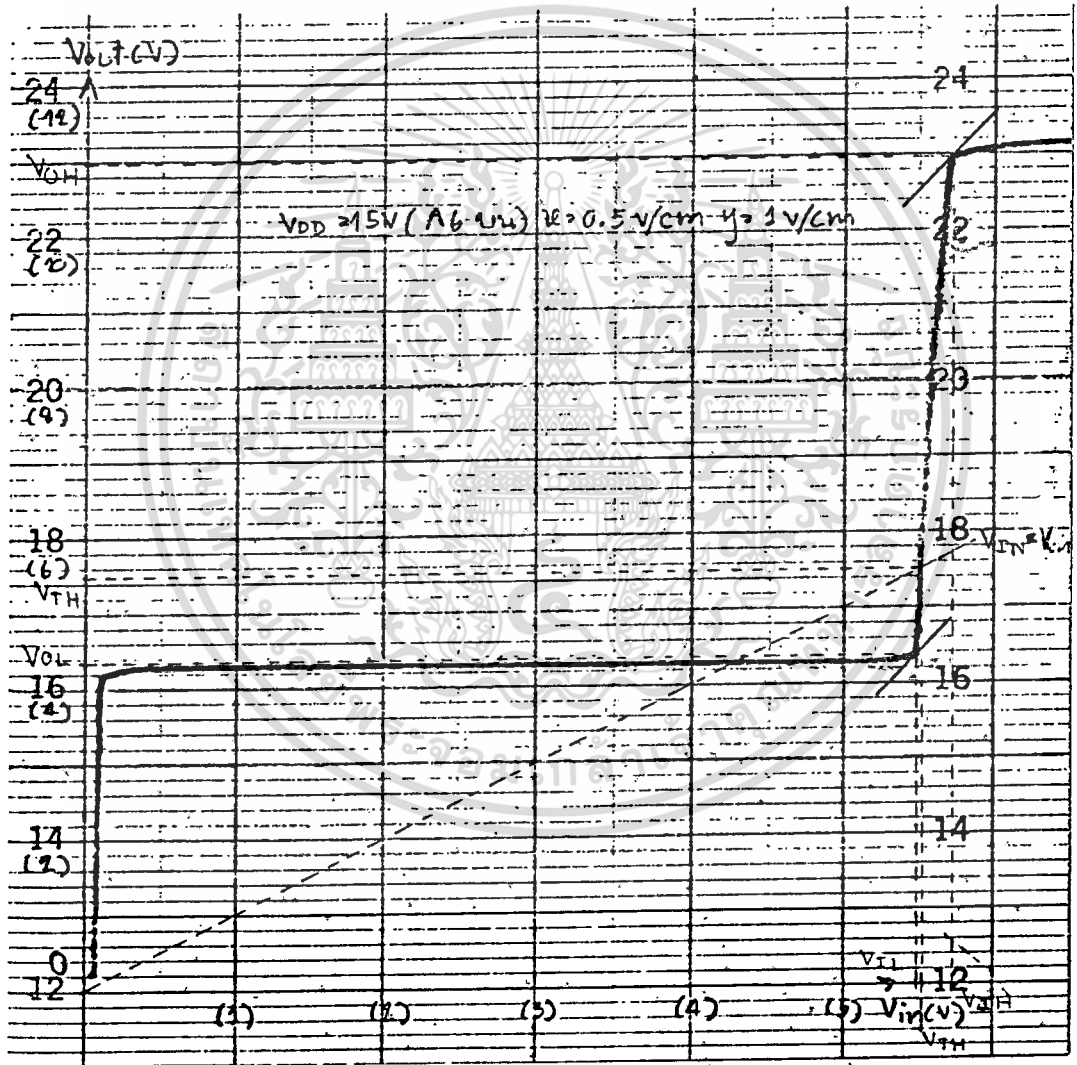
$V_{IH} = 5.75$ โวลต์

$V_{OH} = 11$ โวลต์

$V_{IL} = 5.47$ โวลต์

$V_{OL} = 4.4$ โวลต์

$V_{TH} = 5.5$ โวลต์



รูปที่ 5.2-8 แสดง OUTPUT VOLTAGE เกี่ยวกับ INPUT VOLTAGE ที่

$$V_{DD} = V_{CC} = 15 \text{ โวลต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 5.2-1 ใช้ X-Y RECORDER PLOT ค่าระดับสัญญาณ OUTPUT เทียบกับระดับสัญญาณ INPUT โดยพารามิเตอร์ของ MOIS FET ของวงจรเป็นดังนี้

ชนิด N-CH มีค่า $W = 200$ ไมครอน , $L = 20$ ไมครอน

และ P-CH มีค่า $W = 40$ ไมครอน , $L = 80$ ไมครอน (ตัวที่ A4 ล่าง)

ซึ่งผลการทดลองจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-9

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 5$ โวลต์

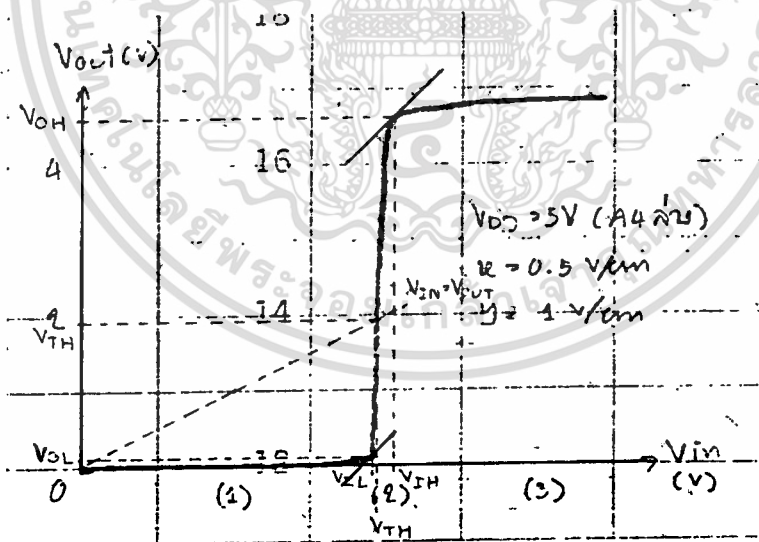
$V_{IH} = 2.05$ โวลต์

$V_{OH} = 4.6$ โวลต์

$V_{IL} = 1.9$ โวลต์

$V_{OL} = 0.1$ โวลต์

$V_{TH} = 1.9$ โวลต์



รูปที่ 5.2-9 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$$V_{DD} = V_{CC} = 5 \text{ โวลต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 10$ โวลต์ ผลการทดลองจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-10

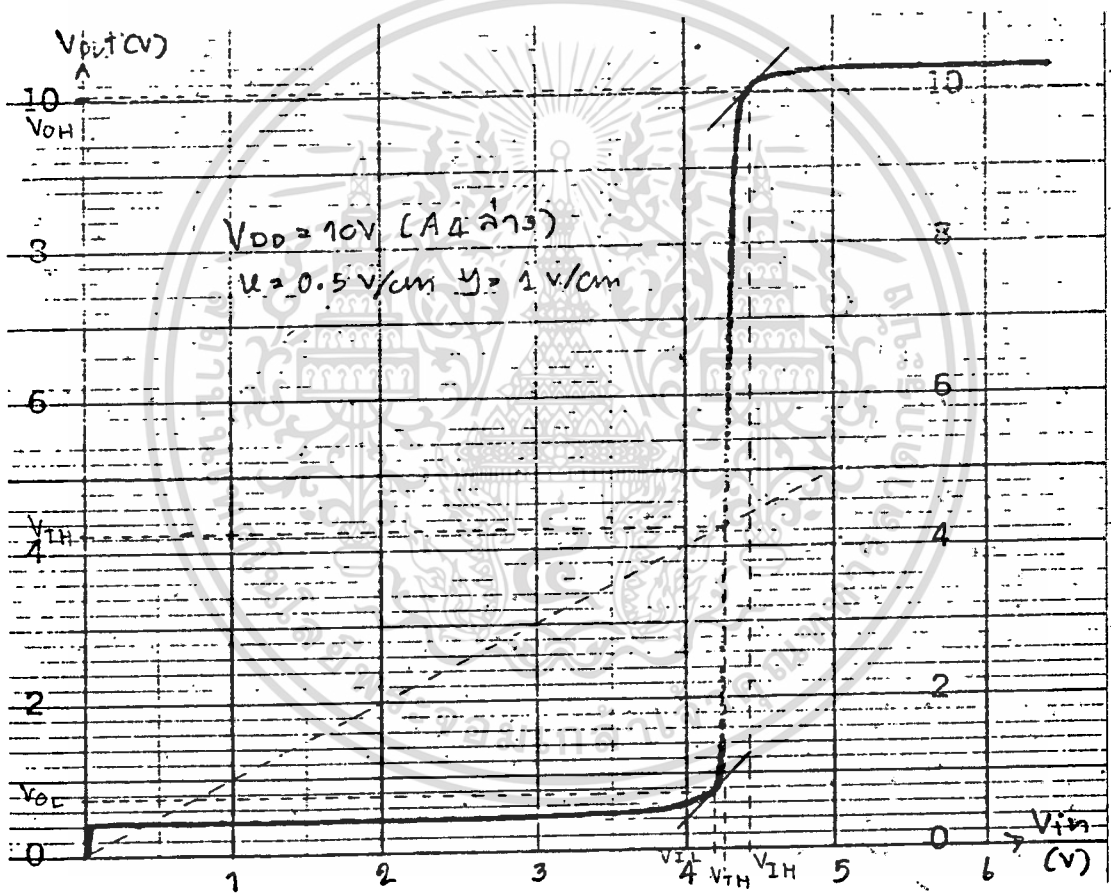
$V_{IH} = 4.4$ โวลต์

$V_{OH} = 10$ โวลต์

$V_{IL} = 4.18$ โวลต์

$V_{OL} = 0.75$ โวลต์

$V_{TH} = 4.22$ โวลต์



รูปที่ 5.2-10 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$V_{DD} = V_{CC} = 10$ โวลต์

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 15$ โวลต์ ผลการทดลองจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-11

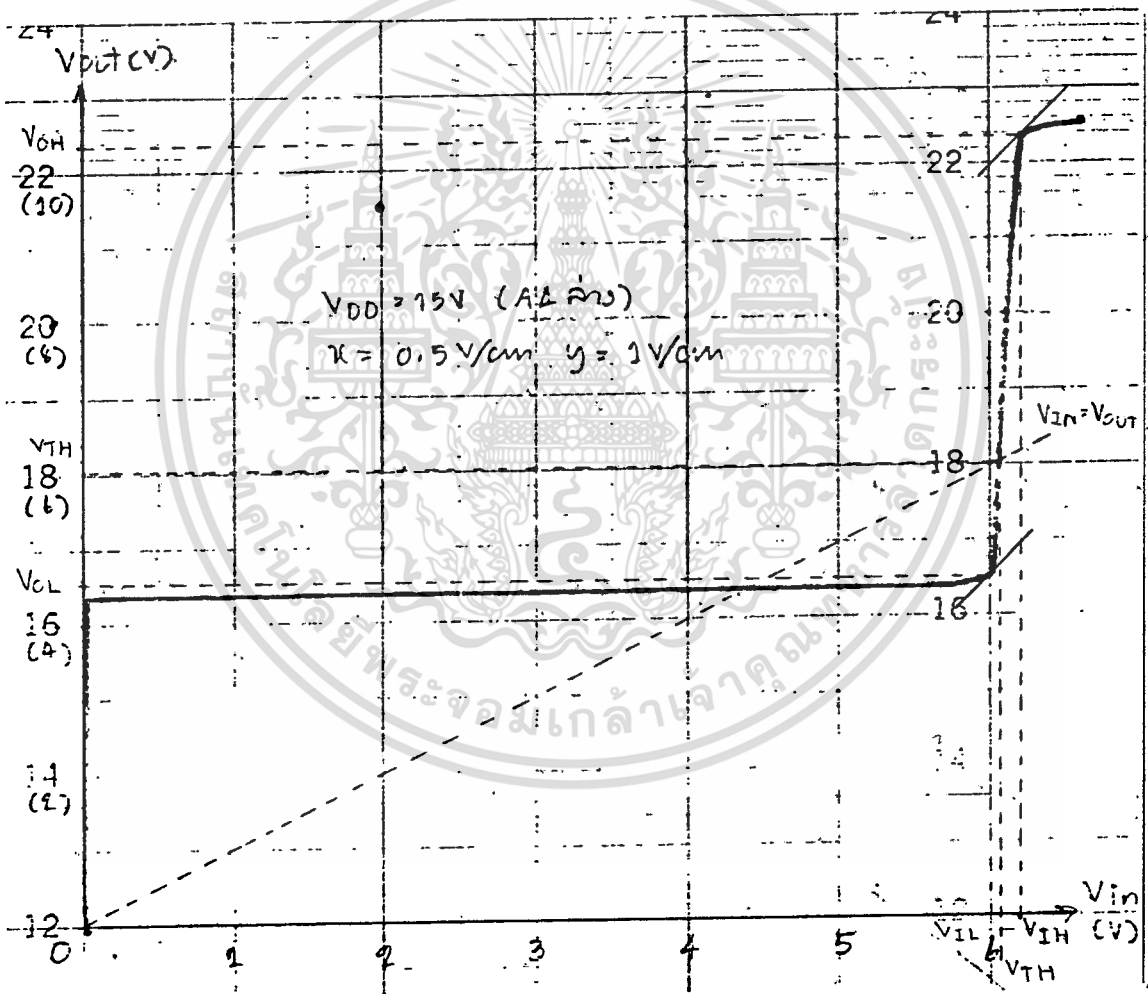
$V_{IH} = 6.2$ โวลต์

$V_{OH} = 14$ โวลต์

$V_{IL} = 6$ โวลต์

$V_{OL} = 4.5$ โวลต์

$V_{TH} = 6.05$ โวลต์



รูปที่ 5.2-11 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$$V_{DD} = V_{CC} = 15 \text{ โวลต์}$$

จากวงจรรูปที่ 5.2-1 ใช้ X-Y RECORDER PLOT ค่าระดับสัญญาณ OUTPUT เทียบกับระดับสัญญาณ INPUT โดยพารามิเตอร์ของ MOIS FET ของวงจรเป็นดังนี้

ชนิด N-CH มีค่า $W = 200$ ไมครอน , $L = 20$ ไมครอน

และ P-CH มีค่า $W = 40$ ไมครอน , $L = 40$ ไมครอน (ตัวที่ A6 ล่าง)

ซึ่งผลการทดลองจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-12

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 5$ โวลต์

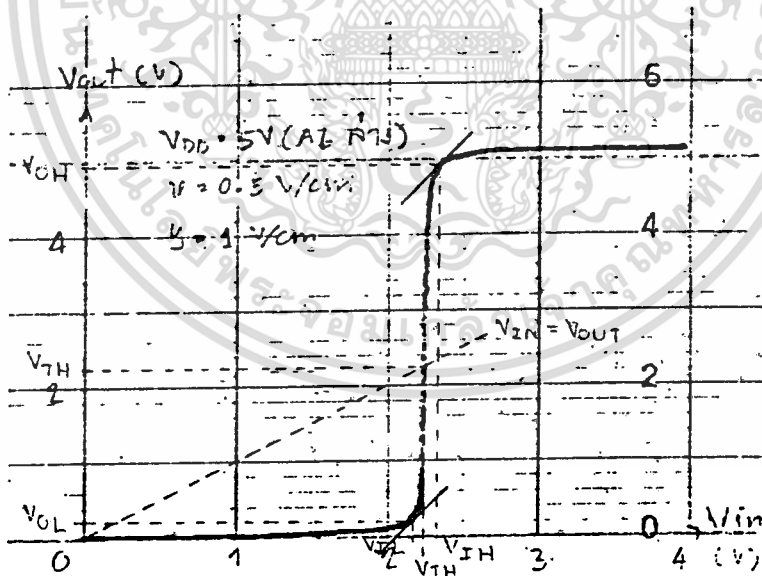
$V_{IH} = 2.3$ โวลต์

$V_{OH} = 4.9$ โวลต์

$V_{IL} = 2.15$ โวลต์

$V_{OL} = 0.2$ โวลต์

$V_{TH} = 2.2$ โวลต์



รูปที่ 5.2-12 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$V_{DD} = V_{CC} = 5$ โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 10$ โวลต์ ผลการทดลองจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-13

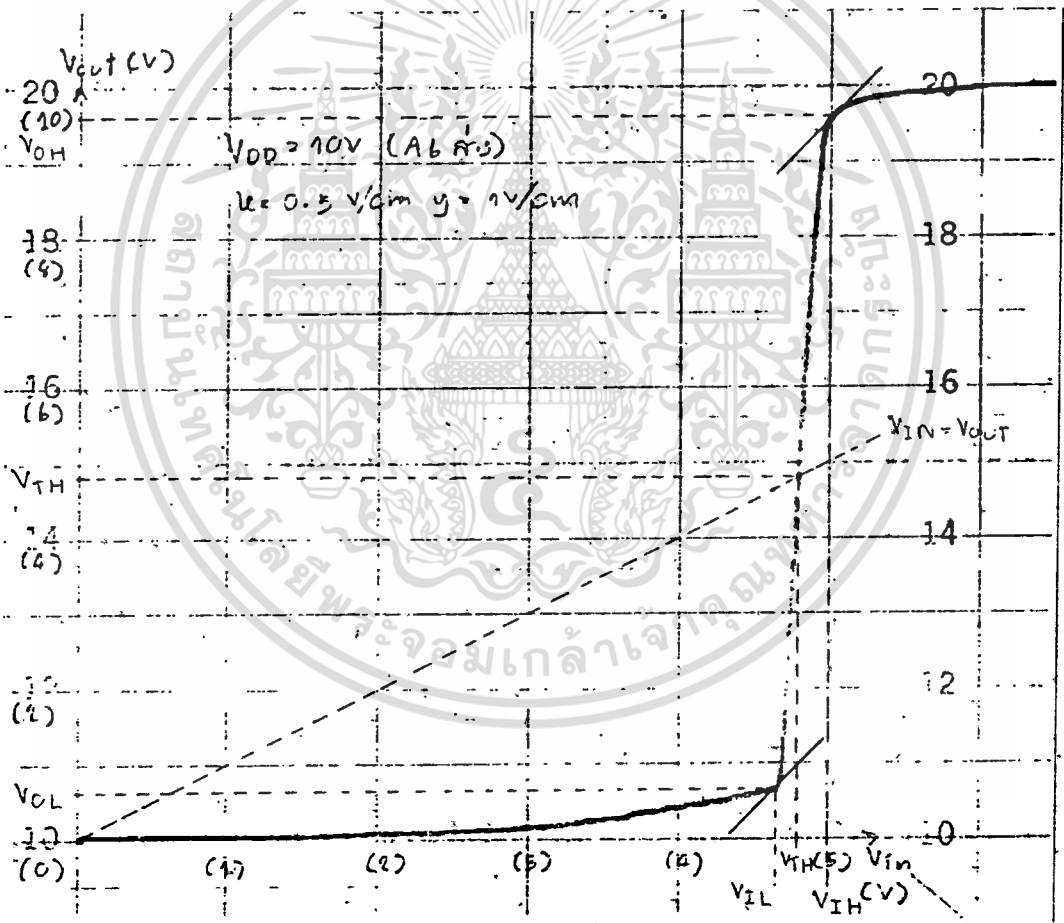
$V_{IH} = 5$ โวลต์

$V_{OH} = 9.6$ โวลต์

$V_{IL} = 4.65$ โวลต์

$V_{OL} = 0.6$ โวลต์

$V_{TH} = 4.8$ โวลต์



รูปที่ 5.2-13 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$V_{DD} = V_{CC} = 10$ โวลต์

ที่ $V_{DD} = V_{CC} = 15$ โวลต์ ผลการทดลองจะเป็นไปดังรูปที่ 5.2-14

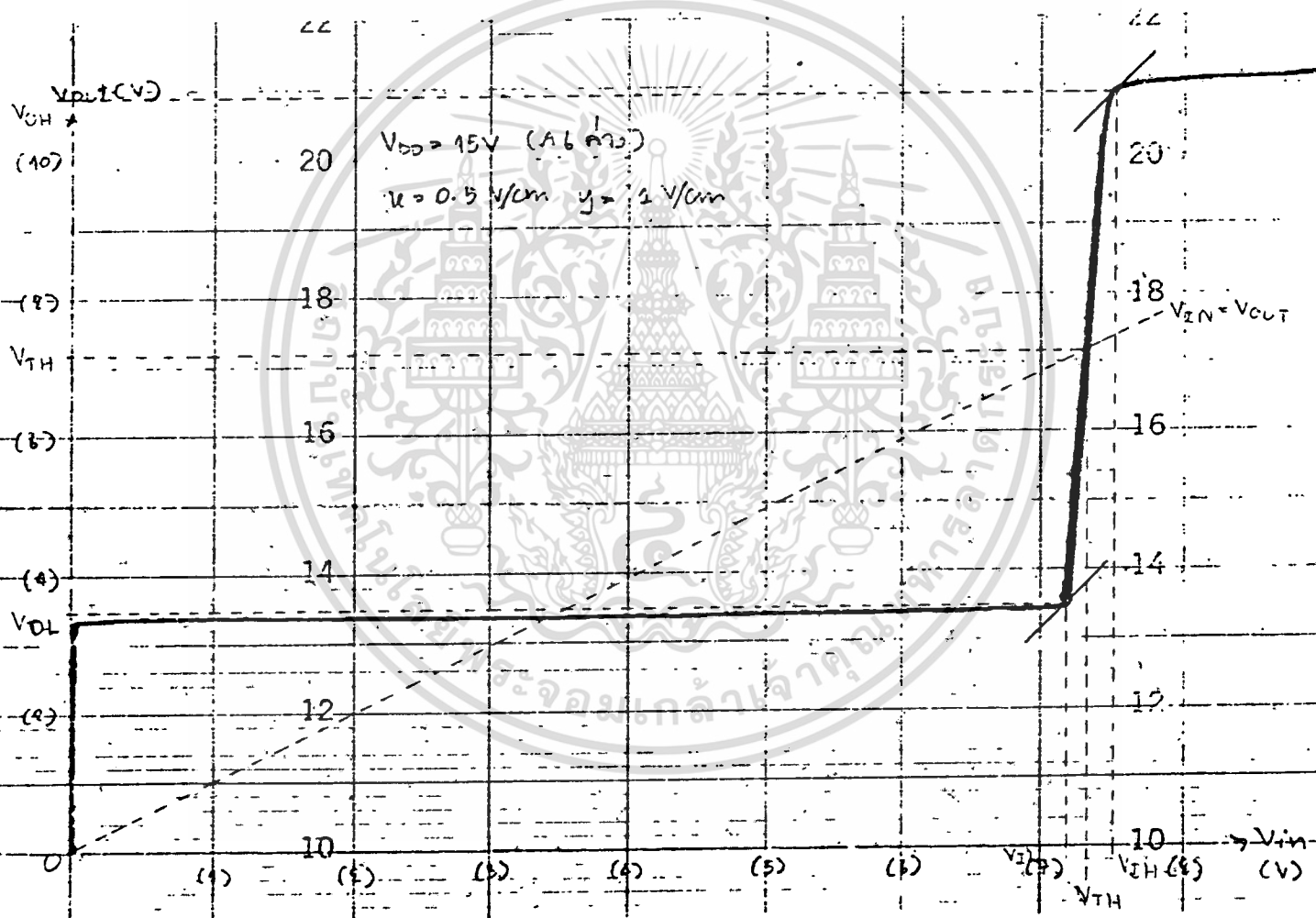
$V_{IH} = 7.5$ โวลต์

$V_{OH} = 18.5$ โวลต์

$V_{IL} = 7.2$ โวลต์

$V_{OL} = 3.4$ โวลต์

$V_{TH} = 7.18$ โวลต์



รูปที่ 5.2-14 แสดง OUTPUT VOLTAGE เทียบกับ INPUT VOLTAGE ที่

$$V_{DD} = V_{CC} = 15 \text{ โวลต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์ของวงจรดิจิทัลเบื้องต้นโดยใช้โครงสร้าง MOIS ที่หาได้จากกราฟที่ PLOT จากวงจรเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

วงจรที่	A4 (บน)			A6 (บน)			A4 (ล่าง)			A6 (ล่าง)		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
$V_{DD} = V_{CC}$ (V)	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
V_{IH} (V)	1.05	2.5	3.7	2	3.95	5.75	2.05	4.4	6.2	2.3	5	7.5
V_{OH} (V)	4.55	9.6	11.9	4.8	9.8	11	4.6	10	14	4.9	9.6	18.5
V_{IL} (V)	0.65	2.25	3.35	1.8	3.67	5.47	1.9	4.18	6	2.15	4.65	7.2
V_{OL} (V)	0.1	0.3	3.1	0	0.4	4.4	0.1	0.75	4.5	0.2	0.6	3.4
V_{TH} (V)	0.75	2.3	3.5	1.85	3.75	5.5	1.9	4.22	6.05	2.2	4.8	7.18

ตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจร BUFFER CONVERTER ชนิดโครงสร้าง MOIS FET

บทที่ 6

สรุปผลและวิจารณ์

MOISFET เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดใหม่ที่มีโครงสร้างที่สำคัญคือ ส่วนเกท ส่วนเดรน ส่วนซอร์ส และฐานรอง และการทำงานเหมือนกับ MOISFET ทั่ว ๆ ไป ดังนั้นอุปกรณ์ประเภทนี้จึงรวมเอาข้อดีของ MOSFET เข้าไว้ด้วย คือ มีค่าความต้านทานสัญญาณขาเข้าสูง และมีความสมมาตรของขั้วซอร์สและเดรน เช่นเดียวกับ MOISFET ทั่ว ๆ ไป ซึ่งค่าความต้านทานนี้มีจากรวมจากโครงสร้าง และการทำงานที่คล้ายกัน นอกจากนี้ อุปกรณ์ประเภท MOISFET ยังมีฐานรองของเอ็นแชนแนล และ พีเอ็นแชนแนล เป็นชนิดเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำมาประกอบเป็นวงจรแบบคอมพิเมนทารีแล้ว จึงลดขั้นตอนการสร้างบ่อแยกในโครงสร้าง MOS ลงได้ ดังนั้นจึงทำให้ประหยัดเวลาในการสร้างลงได้ นอกจากนี้ตัว อุปกรณ์ชนิดเอ็นแชนแนล และชนิดพีเอ็นแชนแนล ยังสามารถอยู่ติดกันได้ ทำให้ลดพื้นที่ในการสร้างเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ประเภท MOSFET ทั่ว ๆ ไป

เนื่องจากข้อดีดังกล่าวข้างต้นแล้ว อุปกรณ์ประเภทนี้มีค่าความต้านทานในช่องทางเดินกระแสค่อนข้างสูง คือมีค่าประมาณ 30 กิโลโอห์ม ซึ่งโดยโครงสร้างของมอส จะมีค่าความต้านทานในช่องทางเดินกระแสมีค่าเป็นโอห์มเท่านั้น ดังนั้นทำให้กระแสที่ไหลได้ในวงจรมีค่าต่ำ ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์ประเภทนี้ไป เป็นอุปกรณ์กำลังจึงเป็นไปได้ยาก แต่ในวงจรดิจิตอลทั่ว ๆ ไป ซึ่งทำงานโดยใช้กระแสในการทำงานค่อนข้างต่ำ จึงเป็นวงจรที่น่าจะพัฒนาได้โดยอาศัยอุปกรณ์ประเภท MOISFET นี้ และจากการทดลองสร้างวงจรทางดิจิตอลโดยใช้โครงสร้างของ MOISFET วงจรที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้วสามารถทำงานได้ดังคุณสมบัติที่ระบบดิจิตอลต้องการ ดังนั้นอุปกรณ์ประเภท MOISFET จึงเหมาะที่จะพัฒนาเป็นวงจรดิจิตอลต่อไป และเนื่องจากค่าความต้านทานในช่องทางเดินกระแสที่ค่อนข้างสูงนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์ประเภท ACTIVELOAD ได้เป็นอย่างดี หรือทำเป็นอุปกรณ์ชนิด VCR ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองที่กล่าวมานี้ ต้องการค่าความต้านทานที่สูง

สำหรับการลดค่าความต้านทานในช่องทางเดินกระแสนี้สามารถทำได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมสารเจือชนิดเดียวกันกับข้าวชอสและเดวนของ MOISFET เพื่อทำการชดเชยกับ
อะตอมของทองคำในช่องทางเดินกระแสก็จะทำให้ค่าความต้านทานในช่วงทางเดินกระแส
ลดลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ และ
สภาวิจัยที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนการวิจัย รวมทั้งนักศึกษาระดับปริญญาโท และเจ้าหน้าที่
ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำปริญ
ญานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. อุปกรณ์และเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ โดย รศ. ดร. สมเกียรติ สุภเดช
2. MODERN MOS TECHNOLOGY PROCESSES , DEVICES AND DESIGN
BY DEWITT G. ONG
MC GRAW-HILL BOOK COMPANY . NEW YORK
3. ANALYSIS AND DESIGN OF DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS
BY DAVID A. HODGES
HORACE G. JACKSON
KIM HUP LEE CO. PTE LTD , SINGAPORE , 1988
4. FUNDAMENTALS OF MOS DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS
BY JOHN P. UYEMURA
ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY , 1988