สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการสร้างวงจรรวมชนิดซีมอส ด้วยโปรแกรมจำลองแบบ

STUDY OF CMOS IC FABRICATED PROCESS BY SIMULATION PROGRAM

T055473

โดย

นาย ศิขรินทร์ ทองกาญจน์

นาย วิโรจน์ ธรรมบัญชา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55473
วัน,เดือน,ปี 9 พ.ค. 2548

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

การศึกษากระบวนการสร้างวงจรรวมชนิดซีมอส ด้วยโปรแกรมจำลองแบบ

STUDY OF CMOS IC FABRICATED PROCESS BY SIMULATION PROGRAM

โดย

นาย ศิขรินทร์ ทองกาญจน์ 44015217

นาย วิโรจน์ ธรรมบัญชา 44015253

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

นาย วีระ เพ็งจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง การศึกษากระบวนการสร้างวงจรรวมชนิดซีมอส ด้วยโปรแกรมจำลองแบบ
STUDY OF CMOS IC FABRICATED PROCESS BY SIMULATIONP ROGRAM

จัดทำโดย นาย ศิขรินทร์ ทองกาญจน์ 44015217
นาย วิโรจน์ ธรรมบัญชา 44015253

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
นาย วีระ เพ็งจันทร์

รายงานนี้ได้ผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษากระบวนการสร้างวงจรรวมชนิดซีมอส ด้วยโปรแกรมจำลองแบบ

STUDY OF CMOS IC FABRICATED PROCESS BY SIMULATION PROGRAM

นาย ศิขรินทร์ ทองกาญจน์
นาย วิโรจน์ ธรรมบัญชา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
นาย วีระ เพ็งจันทร์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโปรแกรมช่วยสอนเกี่ยวกับกระบวนการสร้าง CMOS ซึ่งเขียนขึ้นจากโปรแกรม Authorware Professional 6.5 ภายในโปรแกรมช่วยสอนได้นำเสนอในส่วนของทฤษฎี กระบวนการสร้าง simulation และแบบทดสอบ ด้วยภาพกราฟฟิกซึ่งสามารถทำให้เข้าใจได้ยิ่งขึ้น โปรแกรมช่วยสอนนี้ได้ออกแบบเพื่อให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษาเรียนรู้ได้ตามศักยภาพของตนเอง หรือนำไปใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF CMOS IC FABRICATED PROCESS BY SIMULATION PROGRAM

MR. SIKARIN THONGKARN

MR. WIROTE THAMBANCHA

ADVISOR

Asst. Prof SURASAK NIEMCHAREON

MR. WEERA PENGCHAN

Abstract

This is thesis presents the Computer-Based Instruction (CBI) in study of CMOS IC fabricated process by simulation program which is written through Authorware Professional for windows version 6.5. In this CBI consists of theory, process of CMOS, simulation, and test with wonderful graphics. This program is designed for self-study or assisting in teaching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสร้างซีมอสเป็นเรื่องที่ค่อนข้างเข้าใจยาก ดังนั้น ผู้จัดทำจึงได้นำเสนอให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น นั่นคือ การสร้างโปรแกรมช่วยสอนเรื่องกระบวนการสร้างซีมอสขึ้น ภายในโปรแกรมช่วยสอนนี้ ประกอบด้วยทฤษฎี, กระบวนการสร้าง, SIMULATION และ แบบทดสอบ โดยส่วนที่สำคัญในการสร้างจะแสดงเป็นรูปเคลื่อนไหว ให้เห็นถึงภาพและกระบวนการสร้างเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น สำหรับในส่วนของ SIMULATION จะเป็นการคำนวณหาความหนา เวลาของชั้นต่างๆ และในตอนท้ายของโปรแกรม จะมีแบบทดสอบเพื่อวัดความเข้าใจในการเรียนด้วย โปรแกรมช่วยสอนนี้เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจซึ่งสามารถเรียนรู้ได้ตามศักยภาพของตนเอง

วิโรจน์ ธรรมบัญชา
ศิขรินทร์ ทองกาญจน์
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ความหมายของ CAI	3
2.2 คุณสมบัติของ CAI	3
2.3 การออกแบบบทเรียน CAI	4
2.4 การออกแบบโปรแกรมช่วยสอนด้วยคอมพิวเตอร์	7
2.5 ประโยชน์ของโปรแกรมช่วยสอนสำหรับผู้เรียน	10
2.6 ประโยชน์ของโปรแกรมช่วยสอนสำหรับผู้สอน	10
2.7 การพัฒนาการของ CAI จะเกี่ยวข้องกับระบบการศึกษา	10
2.8 แนวความคิดพื้นฐานของ CAI	11
2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับ Autorware Professional 6.5	13
2.10 การใช้โปรแกรม Authorwsre Professional 6.5	14
2.10.1 การเริ่มเข้าโปรแกรม Authorwsre Professional 6.5	14
2.10.2 การออกจาก Authorwsre Professional 6.5	15
2.10.3 สัญลักษณ์ที่ใช้โปรแกรม Authorwsre Professional 6.5	15
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	18
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบสร้างโปรแกรมช่วยสอน	18
3.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม	19
3.3 โครงสร้างของโปรแกรม	20
3.4 โครงสร้างของโปรแกรมช่วยสอนกระบวนการสร้าง CMOS	21
3.5 ทฤษฎี	22
3.6 กระบวนการสร้าง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
3.7 กระบวนการ Simulation	24
3.8 แบบทดสอบ	31
3.9 Credit	32
3.10 การสร้างโปรแกรม	32
บทที่ 4 ลักษณะการใช้งานและการทดสอบโปรแกรม	35
4.1 คำแนะนำสำหรับผู้เริ่มใช้คอมพิวเตอร์	35
4.2 ความต้องการพื้นฐานของโปรแกรม	35
4.3 การเข้าสู่บทเรียน	35
4.4 การทดสอบส่วนของทฤษฎี	36
4.5 การทดสอบส่วนของกระบวนการสร้าง	38
4.6 การเตรียมแผ่นฐานรองเบื้องต้น (Wafer Preparation)	38
4.7 กระบวนการอ๊อกซิเดชั่น (Oxidation)	39
4.8 กระบวนการ โฟโตลิโทรกราฟฟี (Photolithography)	42
4.9 กระบวนการแพร่สารเจือ (Deposition)	44
4.9.1 การแพร่สารเจือขั้นต้น	44
4.9.2 การขับลึก	47
4.10 กระบวนการเมตัลไลเซชั่น (Metalization)	47
4.11 มอสทรานซิสเตอร์แบบโพลีซิลิคอนเกท (Silicon gate MOS Transistor : SIGFET)	48
4.11.1 คุณสมบัติของวงจรคอมพลีเม็นทารี่ (CMOS Characteristics)	50
4.11.2 มอสแบบเกทซิลิคอน (Silicon gate Technology)	51
4.11.3 กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบ LOCOS ซีมอส ชนิดซิลิคอนเกท	52
4.11.4Gate Fabrication เป็นกระบวนการสร้างส่วนเกท	54
4.11.5 Source and Drain Fabrication	55
4.11.6 Glass & contact	55
4.12 การทดสอบส่วนของแบบทดสอบ	56
4.13 การทดสอบส่วนของ CREDIT	58
4.14 การทดสอบส่วนของ EXIT	61
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา และ แนวทางแก้ไข	63
5.1 สรุปผลของโครงงาน	64
5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงงาน	64
5.3 การแก้ปัญหา	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง **หน้า**

5.4 แนวทางในการพัฒนา 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตมนุษย์ คุณลักษณะและความสามารถของมนุษย์ จึงสามารถพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าและเปลี่ยนแปลงได้การพัฒนาคุณลักษณะและความสามารถของมนุษย์ในแต่ละสังคมจะได้ผลเพียงใดขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแต่ละบุคคลด้วยเหตุที่ว่ามนุษย์ มีความแตกต่างกัน แต่ละคนจึงมีความสามารถความสนใจ และความต้องอการที่แตกต่างกันทำให้การเรียนรู้ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการจัดการศึกษาจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล โดยมุ่งหวังเพื่อจัดการเรียนการสอนแบบนี้ เป็นการจัดที่รวมแนวทางใหม่ในการปฏิรูปการเรียนการสอน และการจัดห้องเรียนแบบเดิม ที่มีครูเป็นผู้นำแต่เพียงอย่างเดียว มาเป็นระบบที่ครูและผู้เรียนมีส่วนรับผิดชอบ

การจัดการศึกษาที่มีครูเป็นผู้นำ ปัญหาที่เกิดขึ้นด้านทรัพยากรประเด็นหนึ่ง คือการขาดแคลนบุคลากร โดยเฉพาะทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงจำเป็นที่จะต้องจัดหาสื่อหรือวิธีสอนที่ช่วยลดบทบาทของครูลง ซึ่งได้มีการนำเทคนิคและสื่อการสอนมาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อให้สอดคล้องกันความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน เช่น บทเรียนโปรแกรมชุดการเรียนการสอน การจัดตารางเรียนแบบยืดหยุ่น การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน เป็นต้นเทคนิคและสื่อการสอนที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากคือ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เมื่อมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการสอนในลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สิ่งที่ตามมาคือความต้องการในการใช้คอมพิวเตอร์เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้คอมพิวเตอร์ไม่เพียงพอกับความต้องการในการใช้งาน ซึ่งเป็นผลมาจากงบประมาณทางการศึกษาที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น ถ้าต้องการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการสอนจะต้องทำอย่างไร ให้ความต้องการใช้ทางด้านปริมาณคอมพิวเตอร์ลดลง

การจัดการเรียนที่นับว่าเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลหรือ การเรียนเป็นคู่ นั่นคือ การที่ผู้เรียนสองคนกระทำกิจกรรมการเรียนร่วมกันจะทำให้ผู้เรียนได้มีโอกาสพัฒนาการสื่อสารกับบุคคลอื่น และมีโอกาสที่ปรับเปลี่ยนมาเป็นบทบาทของผู้สอนให้กับคู่ของต้นทำให้การเรินมีความเข้มข้นสูง

จะเห็นได้ว่า ถ้าได้มีการผสมผสานระหว่างเทคนิคการเรียนแบบเป็นคู่ และสื่อการสอนแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเข้าด้วยกันแล้ว จะทำให้สามารถลปริมาณความต้องการในการใช้คอมพิวเตอร์ลดลงครึ่งหนึ่งของความต้องการในการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบรายบุคคล และการขาดแคลนบุคลากรทางด้านวิทยาสาสตร์และเทคโนโลยีอีกด้วยเพราะด้วยเทคนิคการเรินเป็นคู่และลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะทำให้บทบาทของครูในลักษณะเป็นผู้นำและเป็นศูนย์กลางลดลง ทำให้สามารถเพิ่มขนาดของห้องเรียนให้ใหญ่ขึ้นโดยใช้ครูเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการใช้งานของโปรแกรม Authorwsre Professional 6.5
2. เพื่อออกแบบโปรแกรมช่วยสอนเรื่องกระบวนการสร้าง cmos
3. เพื่อสร้างโปรแกรมช่วยสอนเรื่องกระบวนการสร้าง cmos
4. เพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอน
5. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาทั้งในระบบและนอกระบบ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. โครงงานเรื่องกระบวนการสร้าง cmos มีดังนี้
   1. ขบวนการสร้าง cmos
   2. Sinulation
   3. แบบทดสอบ
   4. Credit
2. โครงงานสร้างจากโปรแกรม Authorwsre Professional 6.5
3. สามารถใช้เมาส์และคีย์บอร์ดได้
4. บทเรียนแสดงภาพและเสียงในระบบมัลติมีเดีย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีและสื่อการสอน
2. เขียนสคริป
3. เขียนผังงานของโปรแกรม
4. เขียนโปรแกรมและทดลองใช้งาน
5. ส่งโปรแกรมให้อาจารย์ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไข

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้งานของโปรแกรม Authorware Professional 6.5 ได้
2. สามารถออกแบบโปรแกรมช่วยสอนเรื่องกระบวนการสร้าง cmos ได้
3. สามารถสร้างโปรแกรมช่วยสอนเรื่องกระบวนการสร้าง cmos ได้
4. สามารถใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนได้
5. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาทั้งในระบบและนอกระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความหมายของ CAI

CAI (Computer Assisted Instruction) เป็นศัพท์เดิมที่นิยมใช้กันในสหรัฐอเมริกา มีความหมายว่า การสอนโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องช่วยสอน แต่ในปัจจุบันมีผู้นิยมใช้คำว่า(Computer-Base Teaching หรือ Computer-Based Teaching) มากกว่า ซึ่งหมายความว่า การสอนหรือการฝึกอบรมโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นหลักนั่นคือจะเป็นการเน้นการฝึกในด้านต่างๆ แทนเช่นฝึกการซ่อมเครื่องจักร ฝึกการซ่อมวิทยุการฝึกโปรแกรม ฯลฯ นอกจากนี้ในอเมริกาก็ยังมีคำที่นิยมใช้กันอีกคำหนึ่งคือ CMI (Computer Managed Instruction) หมายถึงการสอนโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยจัดการให้ส่วนในยุโรป มักใช้คำที่แตกต่างจากอเมริกา คำที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันคือ CBE (Compute Assisted Learning) และ CML (Computer Managed Learning) นั่นคือเปลี่ยนตัวสุดท้ายจากการสอน (Instruction) เป็นการเรียน (learning) สำหรับประเทศไทยมักใช้คำว่า CBI มากกว่าตัวอื่นๆ ซึ่ง CBI (Computer-Base Instruction) มีความหมายว่า โปรแกรมช่วยสอนที่สามารถใช้ได้ด้วยตนเอง โดยไม่จำเป็นต้องมีอาจารย์ผู้สอนคอยชี้แนะ

2.2 คุณสมบัติของ CAI

การใช้งานคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ส่วนใหญ่จะหนักไปทางการเรียนด้วยตนเองมากกว่า แม้จะช่อบทเรียนช่วยสอนก็ตาม กล่าวคือ ผู้เรียนจะเป็นผู้ใช้บทเรียน CAI หรือผู้เข้าฝึกอบรมจะใช้เป็นบทเรียน CBT แนวคิดของ CAI เกิดขึ้นจากนักเทคโนโลยีทางการศึกษาที่ประยุกต์เข้ากับการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษาโดยแท้จริงแล้ว พื้นฐานของ CAI ก็คือ เครื่องช่วยสอน (Teaching Machine) การมีเครื่องช่วยสอนทำให้ต้องมีโปรแกรมที่เป็นเนื้อหาแบบฝึกหัด และข้อทดสอบที่จะต้องใช้กับเครื่องช่วยสอน ซึ่งก่อนหน้านี้จะมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ การใช้บทเรียนสำเร็จรูปต่างๆ เช่น บทเรียนโปรแกรม (Program Instruction) บทเรียนโมดูล(Module Instruction) ชุดการเรียนการสอนสำเร็จรูป (IMP Instructional Package) เป็นต้น โดยเป็นความพยายามที่จะหาวิธี ที่จะทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเอง ตามความสามารถของตนเองจะใช้เวลามากน้อยต่างกันอย่างไร ไม่ว่าจะเกิดการพัฒนาบทเรียนสำเร็จรูปเหล่านี้ขึ้น โดยแทนที่จะใช้เครื่องช่วยสอนเป็นตัวเสนอเนื้อหา ก็ใช้หนังสือ (Programmed Test) เป็นต้นเสนอเนื้อหา โดยออกแบบวิธีเสนอเนื้อหาให้สามารถดึงดูดความสนใจของผู้เรียน ใช้เทคนิคของการเสริมแรงและหลักการทางจิตวิทยาการเรียนรู้หลายๆ อย่างมาประกอบกันเป็นระบบ

อย่างไรก็ตาม จุดอ่อนของบทเรียนสำเร็จรูปเหล่านี้คือ ความน่าเบื่อหน่าย ซึ่งเกิดจากความจำกัดของกิจกรรม ความจำกัดของสิ่งที่นำมาใช้ ความจำเจอันเกิดจากการอ่านเพียงอย่างเดียว การต้องเปิดหนังสือกลับไปกลับมา ความจำเจที่ต้องใช้ประสาทตามอย่างเดียว เมื่อเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์พัฒนาขึ้น ทำให้นักการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาหันไปมองหาวิธีขจัดปัญหาต่างๆ ดังกล่าว โดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวนำเสนอเนื้อหาแทนบทเรียนสำเร็จรูป ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวเสนอเนื้อหาทำให้ได้เปรียบบทเรียนสำเร็จรูปในด้านต่างๆ เหล่านี้

1. เสนอเนื้อหาได้รวดเร็วฉับไว แทนการเปิดหนังสือทีละหน้า
2. สามารถเสนอภาพเคลื่อนไหวได้
3. มีเสียงประกอบ ทำให้เกิดความน่าสนใจ
4. สามารถเก็บข้อมูลเนื้อหาได้มากกว่าหนังสือ
5. ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์กับบทเรียนอย่างแท้จริง คือ มีการโต้ตอบระหว่างบทเรียนกับผู้เรียนได้
6. สามารถนำติดตัวไปเรียนในสถานที่ต่าง ๆ ที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์
7. เหมาะสำหรับการเรียนการสอนผ่านการสื่อสาร

2.3 การออกแบบบทเรียน CAI

บทเรียน CAI หรือคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการสอน มีหลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งการแบ่งรูปแบบ หรือประเภทของบทเรียนช่วยเสนอด้วยคอมพิวเตอร์ จะขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านนี้ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสอนและการรับรู้ของผู้เรียน โดยสรุปมี 5 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. แบบศึกษาเนื้อหาใหม่ (Tutorials)
2. แบบฝึกทบทวน (Drill and Practice)
3. แบบสร้างสถานการณ์จำลอง (Simulation)
4. แบบเกมส์การสอน (Instructional Games)
5. แบบใช้ทดสอบ (Test)

รายละเอียดของบทเรียนช่วยสอนด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละรูปแบบมีดังนี้

1. บทเรียนCAI แบบศึกษาเนื้อหาใหม่

บทเรียน CAI แบบศึกษาเนื้อหาใหม่ มีจุดมุ่งหมายที่จะสอนเนื้อหาของเนื้อหาของหลักการหรือวิชาให้มากที่สุด คือ จะให้คอมพิวเตอร์มีบทบาทเป็นพระเอก โปรแกรม CAI ประเภทนี้ ความจริงเหมือนตำราชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Programmed Textbook ซึ่งแบ่งข้อความในตำราเป็นกรอบ แต่ละกรอบอธิบายเนื้อหานิดหน่อย แล้วก็ตั้งคำถาม ถ้ามีการตอบผิด ก็จะมีการแนะนำให้พลิกไปอ่านเนื้อหาเพิ่มเติมในหน้าอื่นๆ เป็นต้น โปรแกรม CAI แบบนี้ทำหน้าที่คล้ายกันแต่ดีกว่าเพราะคอมพิวเตอร์สามารถเลือกข้อความต่างๆ มาแสดงให้ดูได้ทันที

บทเรียน CAI แบบศึกษาเนื้อหาใหม่ มี 2 รูปแบบ คือ ชนิดแสดงคำอธิบายต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ไม่กระโดดไปหยิบยกเนื้อหาและคำอธิบายอื่นมาเสนอ เรียกว่า ชนิด Linear Tutorial กับอีกรูปแบบ คือ ชนิดสามารถเลือกบทเรียนต่างๆ ได้ตามต้องการ เรียกว่า Branching Tutorial ซึ่งจะเขียนได้ยากกว่า และความสำเร็จของโปรแกรม ขึ้นอยู่กับความสามารถของครูที่จะกำหนดเนื้อหาให้สะสม

ดังนั้นผู้ที่จะทำโปรแกรมแบบนี้ จะต้องเป็นคนที่สอนวิชานั้นเป็นประจำจนชำนาญ รู้ว่าตรงไหนควรเน้นอะไร และควรมีลำดับเนื้อหาอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทเรียนประเภทแรกกนี้เป็นรูแบบของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีผู้พัฒนากันมากที่สุด มากกว่า 80% ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทั่วโลกจะเป็นประเภทนี้ เนื่องจากมีพื้นฐานการพัฒนาขึ้นจากความเชื่อที่ว่าคอมพิวเตอร์น่าจะเป็นสื่อประเภทอุปกรณ์ที่ช่วยให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการเรียนในชั้นเรียน สรุปคือ น่าจะใช้แทนครูได้หลายๆ วิชา แนวความคิดตรงนี้มีพื้นฐานในมุมกว้างว่า การเรียนการสอนนั้นไม่ได้จำกัดอยู่แต่ในโรงเรียนประถม มัธยมหรืออุดมศึกษาเท่านั้น แต่ยังขยายกว้างไปถึงการฝึกอบรมในระดับและสาขาอาชีพต่างๆ ซึ่งอาจผสมผสานการสอน การเรียนรู้และการฝึกฝนด้วยตนเองในหลายรูปแบบและ CAI แบบ Tutorial ก็อาจเป็นวิธีหนึ่งที่เข้าไปมีบทบาทได้

การใช้บทเรียน CAI แบบ Tutorial ในระบบการศึกษาปกติ โดยมีพื้นฐานแนวความคิดที่จะใช้สอนแทนครู ทั้งในห้องเรียนและสอนเสริมนอกเวลาเรียนนั้น ยังเป็นปัญหาที่ต้องใช้เวลาวิเคราะห์กันอีกระยะหนึ่ง ประเด็นไม่ได้อยู่ที่จะทำให้จำนวนครูลดลงหรือขาดบทบาทสำคัญในความเป็นครู แต่จะอยู่ที่ความเชื่อ ในส่วนลึกของผู้คนอีกจำนวนมากที่ชเอว่าไม่มีสื่อชนิดใดในโลกที่จะถ่านยทอดความรู้ความคิด ทัศนคติ และทักษะได้ดีเท่ามนุษย์ด้วยกันเอง ซึ่งหมายถึงครูนั่นเองปัญหาการใช้บทเรียน CAI แบบ Tutorial เพื่อสอนแทนครูดังกล่าวยังรวมถึงความพร้อมทางด้านงบประมาณ โรงสร้างของระบบการศึกษา รวมทั้งปัญหาเฉพาะด้านของของแต่ละแห่ง แม้ปัญหาจะมีอยู่มากมาย แต่จากควาทเชื่อในการพัฒนาด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีวันสิ้นสุด ทำให้นักคอมพิวเตอร์การศึกษาเชื่อว่ามีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง ในอนาคตที่จะใช้บทเรียน CAI แบบนี้เพื่อสอนเสริม สอนกึ่งทบทวน หรือเพื่อให้ผู้เรียนนศึกษาหาความรู้ล่วงหน้าก่อนการเรียนในชั้นเรียนปกติตามแต่กรณี

2. บทเรียน CAI แบบฝึกทบทวน

บทเรียน CAI แบบทบทวน มุ่งเน้น ที่จะพัฒนาความรู้ความเข้าใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ เริ่มต้นด้วยการแสดงตัวอย่าง ซึ่งคอมพิวเตอร์จะแก้ปัญหาให้ดูทีละขั้น จากนั้นจึงหยิบเอาโจทย์มาให้นักเรียนลองแก้ปัญหาดู ปกติโปรแกรมนี้จะเก็บสถิติเอาไว้ ว่านักเรียนตอบปัญหาถูกกี่ข้อ แล้วสุดท้ายจะแสดงสถิติให้นักเรียนดู บางโปรแกรมอาจบันทึกเวลาไว้ด้วย CAI ประเภทนี้สร้างได้ง่ายไม่ซับซ้อน ใช้เวลาไม่มานัก

บทเรียนช่วยสอนด้วยคอมพิวเตอร์รูปแบบที่สองนี้เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่มีผู้พัฒนากันมากรองลงมาจากประเภทแรกซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อทบทวนบทเรียนที่ได้เรียนไปแล้ว รูปแบบจะเป็นการผสมผสาน การทบทวนแนวความคิดหลักและการฝึกฝนในรูปแบบการทดสอบ บทเรียนที่พบส่วนมากจะเป็นบทเรียนด้านภาษา คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ซึ่งลักษณะของเนื้อหาจะเน้นด้านความรู้เป็นส่วนมาก จึงไม่เน้นส่วนประกอบหลักๆ ของการเรียนรู้ที่จะต้องมีองค์ประกอบหลายๆ ด้าน เช่น การนำเสนอเนื้อหาอย่างเป็นระบบตามลำดับขั้น การเสริมแรง การตรวจปรับเนื้อหา สื่อการเรียนการสอน กิจกรรมการเรียนการสอน และอื่นไๆ แต่จะเน้นที่แบบฝึกหัดมากว่า ดังนั้นบทเรียนช่วยสอนประเภทนี้จึงมักจะต้องใช้ควบคู่กับ กิจกรรมอย่างอื่น เช่นใช้ควบคู่กับการสอนปกติในห้องเรียน การให้แบบฝึกหัดเพิ่มเติมในการเรียนเสริมเป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบแรกที่เป็นรูปแบบที่สมบูรณ์ในตัวเองสามารถใช้ในการเรียนการสอนได้ทั้งในและนอกห้องเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บทเรียน CAI แบบสร้างสถานการณ์จำลอง

บทเรียน CAI แบบนี้ จะออกแบบเพื่อสอนเนื้อหาใหม่ หรือใช้เพื่อทบทวนหรือสอนเสริมในสิ่งที่ศึกษาหรือทดลองไปแล้ว โดยเน้นรูปแบบการสร้างสถานการณ์ การจำลองสถานการณ์จริงลำดับเหตุการณ์ต่างๆ และเนื้อหาอื่นๆ ที่มีลำดับการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยเป็นสิ่งที่เข้าใจยาก ไม่สามารถมองเห็นได้ ต้องอาศัยจินตนาการช่วย ซับซ้อนหรืออันตรายที่จะไปศึกษาในเหตุการณ์จริง ตัวอย่างเช่น อวัยวะร่างกายมนุษย์ โครงสร้างของอะตอม การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหลักการหมุนของมอเตอร์และอื่นๆ ซึ่งไม่ได้จำกัดเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้นแต่ในด้านธุรกิจสังคมก็สามารถประยุกต์ได้เช่น การสร้างสถานการณ์ซื้อขาย เพื่อเรียนรู้ หรือทบทวน การบวก ลบ คูณ หาร การสร้างสถานการณ์ในรูปแบบของบทบาทสมมุติ เพื่อสอนหรือทบทวนบทเรียนเป็นต้น

4. บทเรียน CAI แบบเกมสอน

บทเรียน CAI ในลักษณะนี้พัฒนาจาแนวคิดและทฤษฎีทางด้านการเสริมแรง หรือบนพื้นฐานการค้นพบที่ว่า ความต้องการในการเรียนรู้และความคงทนในการจำดีกว่าการเรียนรู้ที่เกิดจากแรงจูงใจภายนอก แนวคิดและทักษะที่ได้เรียนไปแล้ว คล้ายกับแบบ Drill and Practice แต่เปลี่ยนรูปแบบการนำเสนอ ให้สนุกตื่นเต้นขึ้น โดยมีหลักการพัฒนาว่า บทเรียนแบบเกมสอนที่ดีควรต้องท้าทายกระตุ้นจินตนาการเพ้อฝัน และกระตุ้นความอยากรู้อยากเห็น จึงเหมาะกับผู้เรียนในระดับต่ำๆ มากกว่าระดับสูง ทั้งนี้เนื่องจากผู้เรียนในระดับต่ำ จำเป็นต้อมีการกระตุ้นด้วยสี แสดง เสียง ที่ก่อให้เกิดความสนใจ ความอยากรู้อยากเห็น จึงเหมาะกับเนื้อหาทั่วไป

5. บทเรียน CAI แบบใช้ทดสอบ

บทเรียนช่วยสอนด้วยคอมพิวเตอร์ประเภทนี้ เป็นรูปแบบที่สร้างง่ายกว่าแบบอื่น จุดประสงค์หลักก็เพื่อทดสอบความรู้ความสารถของผู้เรียน การสอบดังกล่าวอาจเป็นการสอบก่อนเรียน (Pre-Test) หรือหลังการเรียน (Post-Test) หรือทั้งก่อนและหลังการเรียนแต่การออกแบบหากเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น ข้อสอบอาจถูกเก็บในรูปของคลังข้อสอบ (Item Bank) เพื่อสะดวกต่อการสุ่มมาใช้ลักษณะของข้อสอบดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์สามรถประเมินถูกผิดได้เช่นแบบเลือกตอบ (Multiple Choice) หรือแบบถูกผิด (True-false) การตั้งคำถามอาจผสมผสานวิธีการสร้างบทเรียน CAI แบบสร้างสถานการณ์จำลองเข้ามาร่วมด้วยกันได้

ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นการสรุปรูปแบบของ CAI ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาใช้อย่างคร่าวๆ แต่ละรูปแบบมีข้อดีไปคนละด้าน อย่างไรก็ตาม ถ้าจะกล่าวจึงเทคนิคการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นักคอมพิวเตอร์การศึกษาส่วนมากจะนึกถึงบทเรียนแบบศึกษาเนื้อหาใหม่เพราะโดยหลักการแล้ว บทเรียนแบบนี้จะมีการประยุกต์เทคนิคและหลักการของบทเรียนอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นแบบฝึกทบทวนแบบสร้างสถานการณ์จำลองแบบเกมการศึกษาหรือแบบใช้ทดสอบ เข้ามาอยู่ด้วยกันตามความเหมาะสม โดยอยู่ภายใต้พื้นฐานของธรรมชาติของเนื้อหาที่จะสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากความยากง่ายของเนื้อหา และระดับของผู้เรียนก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งที่จะต้องพิจารณาเลือกรูแบบของบทเรียนที่จะสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การออกแบบโปรแกรมช่วยสอนด้วยคอมพิวเตอร์

การออกแบบโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์แบบ Tutorials จะยึดหลักการเรียนการสอนเป็นหลักพื้นฐาน โดยจะดัดแปลงมาจากกระบวนการเรียนกานสอน 9 ขั้นของ Gagneตามลำดับขั้นดังนี้

1. เร้าความสนใจ (Gain Attention)

ก่อนที่จะเริ่มเรียนนั้น มีความจำเป็นอย่งยิ่งที่ผู้เรียนควรจะได้รับแรงกระตุ้นและแรงจูงใจที่อยากจะเรียน ดังนั้นบทเรียนควรจะเริ่มลักษณะของการใช้ภาพแสง เสียง หรือการประกอบหลายๆ อย่างโดยมีสิ่งที่สร้างขึ้นมานั้นเกี่ยวข้องกับเนื้อหาและน่าสนใจ ซึ่งจะมีผลต่อความสนใจจากผู้เรียน และเป็นการเตรียมผู้เรียนให้พร้อมที่จะศึกษาเนื้อหาต่อไป การเตรียมตัวและกระตุ้นผู้เรียนในขันแรกนี้เป็นการสร้าง title ของบทเรียน ข้อสำคัญประการหนึ่งในขั้นนี้คือการสร้างTitle ควรออกแบบเพื่อให้เป็นการตอบสนองอย่างง่าย เช่น การกด spacebar หรือการกด Key ใดๆ

สิ่งที่ต้องพิจารณา เพื่อเร้าความสนใจของผู้เรียนมีดังนี้

1. ใช้กราฟิกที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาและกราฟิกนั้นควรมีขนาดใหญ่ ง่ายและไม่ซับซ้อน
2. ใช้ภาพเคลื่อนไหว หรือเทคนิคอื่นๆ เข้าช่วยเพื่อแสดงการเคลื่อนไหว แต่ควรสั้นและง่าย
3. ควรใช้สีเข้าช่วย โดยเฉพาะสีเขียว แดง น้ำเงิน หรือสีเข้มอื่นๆ ที่ตัดกับพื้นชัดเจ
4. ใช้เสียงให้สอดคล้องกับกราฟิก
5. กราฟิกควรจะค่างบนจอภาพจนกว่าผู้เรียนจะกดKey
6. ในกราฟิกดังกล่าว ควรบอกชื่อเรื่องบทเรียนไว้ด้วย
7. ควรใช้เทคนิคเขียนกราฟิกที่แสดงบนจอได้เร็ว
8. กราฟิกเน้นบอกอาจจะเกี่ยวกับเนื้อหาแล้ว ต้องเหมาะสมกับวัยของผู้เรียนด้วย

2. บอกวัตถุประสงค์(Define Objectives)

บอกวัตถุประสงค์ของการเรียนในบทเรียนคอมพิวเตอร์นั้นเพื่อให้ผู้เรียนได้รู้ล่วงหน้าถึงประเด็นสำคัญของเนื้อหาแล้วยังเป็นการบอกถึงเค้าโครงเรื่องอีกด้วย การที่ผู้เรียนทราบถึงโครงร่างของเนื้อหาอย่างกว้างๆ จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถผสมผสานแนวความคิดในรายละเอียดหรือส่วนย่อยของเนื้อหาให้สอดคล้องและสัมพันธ์กับเนื้อหาส่วนใหญ่ได้ ซึ่งมีผลทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพขึ้น และนอกจากจะมีผลดังกล่าวแล้ว การวิจัยยังพบว่าผู้เรียนที่ทราบวัตถุประสงค์ของการเรียนก่อนบทเรียนจะสามารถและเข้าใจในเนื้อหาได้อีกด้วย

การบอกวัตถุประสงค์ทำได้หลายแบบ ตั้งแต่แบบที่เป็นวัตถุประสงค์กว้างๆ จนกระทั่งการบอกวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ในการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น หลักการที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ ข้อความที่เสนอบนจอ ควรเป็นข้อความที่สั้น ได้ใจความและควรมีส่วนจูงใจผู้เรียนด้วย ดังนั้นการบอกถึงวัตถุประสงค์ในบทเรียน CAI จึงนิยมใช้ข้อความที่สั้นและโน้มน้าวใจผู้เรียน

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการบอกวัตถุประสงค์มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใช้คำสั้นๆ และเข้าใจง่าย

2. หลีกเลี่ยงคำที่ยังไม่รู้จัก

3. ไม่ควรกำหนดวัตถุประสงค์หลายข้อเกินไปในเนื้อหาแต่ละส่วน

4. ผู้เรียนควรมีโอการทราบว่าหลังการเรียนจบแล้วจะนำไปใช้ทำอะไรได้บ้าง

5. หากบทเรียนนั้นมีบทเรียนย่อยหลายบท หลังจากที่บอกวัตถุประสงค์กว่างๆ แล้วอาจจะบอกวัตถุประสงค์อีกครั้งในแต่ละส่วนย่อยได้

6. เพื่อให้วัตถุประสงค์น่าสนใจยิ่งขึ้นอาจใช้กราฟิกง่ายๆ เข้าช่วย เช่น กรอบ,ลูกศร และรูปทรงเลขาคณิต แต่ไม่ควรใช้การเคลื่อนไหวกับตัวหนังสือ

3. ทวนความรู้เดิม(Activate Prior Knowledge)

ก่อนที่จะให้ความรู้ใหม่แก่ผู้เรียน ซึ่งในส่วนของเนื้อหาและแนวความคิดนั้นๆ ผู้เรียนอาจไม่มีพื้นฐานมาก่อน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบบทเรียน CAI จะต้องหาวิธีการประเมินผลความรู้เดิมที่จำเป็นก่อนที่จะได้รับความรู้ใหม่เพื่อเป็นการเตรียมผู้เรียนให้พร้อมที่จะรับความรู้ใหม่

ในขั้นทบทวนความรู้เดิมนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นการทดสอบเสมอไปหากเป็นบทเยรียนที่สร้างขึ้นเป็นชุดบทเรียนที่เรียนต่อๆ กัน ไปตามลำดับ การทบทวบทเรียนความรู้เดิมอาจเป็นไปในรูปแบบของการกระตุ้นให้ผู้เรียนคิดย้อนหลังถึงสิ่งที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ การกระตุ้นดังกล่าวอาจแสดงด้วยคำพูด การเขียน หรือเป็นการผสมผสานกันแล้วแต่ความเหมาะสม จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเนื้อหา

สิ่งที่ต้องพิจารณาในกาทบทวนความรู้เดิม มีดังนี้

1. ไม่ควรคาดเดาว่าผู้เรียนมีความรู้พื้นฐานก่อนการศึกาเนื้อหาใหม่เท่ากัน ควรมีการทดสอบหรือให้ความรู้เพื่อเป็นการทบทวนให้ผู้เรียนพร้อมที่จะรับความรู้ใหม่

2. การทบทวนหรือทดสอบควรให้กระชับและตรงตามวัตถุประสงค์มากที่สุด

3. ควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนออกจากเนื้อหาหรือแบบทดสอบ เพื่อไปศึกษาทบทวนได้

4. หาไม่มีการทดสอบความรู้เดิม ผู้เขียนโปรแกรมควรหาทางกระตุ้นให้ผู้เรียนย้อนคิดจะทำให้บทเรียนน่าสนใจขึ้น

4. การเสนอเนื้อหา(Present Information)

การเสนอภาพที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ประกอบกับคำพูดที่สั้น ง่ายและได้ใจความเป็นหัวใจสำคัญของบทเรียนช่วยสอนด้วยคอมพิวเตอร์การใช้ภาพประกอบจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาง่ายขึ้นซึ่งภาพจะช่วยอธิบายสิ่งที่เป็นนามธรรม

ภาพที่ใช้ในบทเรียนช่วยสอนจำแนกออกได้สองส่วนใหญ่ๆ คือ ภาพนิ่ง (Still Picture) ได้แก่ภาพลายเส้น ภาพสองมิติ ภาพถ่ายของจริง แผนภาพ กราฟ และอื่นๆ อีกส่วนหนึ่งได้แก่ ภาพเคลื่อนไหว (Motion Picture)เช่นภาพจากสัญญาณวิดิทัศน์ (Video) ภาพจาสัญญาณดิจิตอลอื่นๆ เช่นจาก Photo CD จาก laser disk จากกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของเนื้อหาที่เสนอเป็นคำอ่านหรือคำอธิบายนั้น ในแต่ละกรอบไม่ควรมีมากเกินไปเพราะจำทำให้ผู้เรียนเบื่อที่ต้องอ่าน โดยไม่ได้ทำอะไรเลย นอกจากการกดแป้นพิมพ์ และยังทำให้อ่านยากอีกด้วย

5. ชี้แนวทางการเรียนรู้ (Guide Learning)

ตามหลักการเรียนรู้ ผู้เรียนจะจำได้ดี หากมีการจัดระบบการนำเสนอเนื้อหาที่ดีและสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิม ทฤษฎีบางทฤษฎีได้กล่าวว่าการเรียนรู้ที่กระจ่างชัด จะเกิดขึ้นได้ เมื่อผู้เรียนเกิดการตีความของเนื้อหาใหม่บนพื้นฐานความรู้เดิม รวมกันเป็นความรู้ใหม่ ดังนั้นหน้าที่ของผู้ออกแบบบทเรียน CAI ก็คือพยายามหาเทคนิคในการที่จะกระตุ้นให้ผู้เรียนนำความรู้เดิมมาใช้ในการศึกษาความรู้ใหม่ นอกจากนั้นยังต้องพยาบามหาวิถีทางที่จะทำให้การศึกษาความรู้ใหม่ของผู้เรียนนั้นมีความกระจ่างเท่าที่จะทำได้

ในบางเนื้อหาผู้ออกแบบบทเรียน CAI อาจใช้หลักของ Guided Discovery ซึ่งหมายถึงการพยายามให้ผู้เรียนคิดหาเหตุผล ค้นคว้าและวิเคราะห์หาคำตอบด้วยตนเอง และเทคนิคการให้ตัวอย่าง นอกจากนั้นการใช้คำพูดกระตุ้นให้ผู้เรียนได้คิดก็เป็นเทคนิคอีกอย่างหนึ่งที่จะใช้ได้

6. กระตุ้นการตอบสนอง (Elicit Responses)

ทฤษฎีการเรียนรู้ที่กล่าวว่า การเรียนรู้จะมีประสิทธิภาพมากน้อยนั้น เกี่ยวข้องโดยตรงระดับและขั้นตอนของการประมวลข้อมูล หากผู้เรียนได้มีโอกาสร่วมคิดร่วมกิจกรรม ในส่วนที่เกี่ยวกับเนื้อหาการถามตอบ ในด้านของการจำจะดีกว่าการคัดลองเนื้อหามาเพียงอย่างเดียว

คอมพิวเตอร์มีข้อได้เปรียบเหนืออุปกรณ์อื่นๆ อย่างเช่น วีดีโอเทป ภาพยนต์สไลด์ เทปหรือสื่อการสอนอื่นๆ ซึ่งเป็นการสอนแบบ Non-interactive คือ การเรียนจากคอมพิวเตอร์นั้นผู้เรียนสามารถมีกิจกรรมร่วมได้หลายลักษณะ แม้จะเป็นการแสดงความคิดเห็นการโต้ตอบกับเครื่องทำให้ผู้เรียนไม่เบื่อหน่าย

7. ให้ข้อมูลย้อนกลับ (Provide Feedback)

การค้นคว้าพบว่าบทเรียน CAI นั้นกระตุ้นความสนใจจากผู้เรียนมากขึ้น ถ้าบทเรียนนั้นท้าทายผู้เล่นโดยการบอกจุดหมายที่ชัดเจนและให้ Feedback เพื่อบอกว่าขณะนั้นผู้เรียนอยู่ตรงไหนห่างจากเป้าหมายเท่าใด

การ Feedback ที่เป็นภาพจะช่วยเร้าความสนใจยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าภาพนั้นเกี่ยข้องกับเนื้อหา

8. ทดสอบความรู้หลังบทเรียน (Access Performance)

บทเรียน CAI จัดเป็นบทเรียนสำเร็จรูปประเภทหนึ่ง การทดสอบความรู้ใหม่ซึ่งอาจจะเป็นการทดสอบระหว่างบทเรียน หรือการทดสอบในช่วงท้ายของบทเรียน เรียกว่า Post Test เป็นสิ่งที่จำเป็นการทดสอบดังกล่าวอาจเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดสอบตนเองเพื่อเก็บคะแนนหรือเป็นการวัดผลว่าผู้เรียนผ่านเกณฑ์ เพื่อที่จะได้ศึกษาในบทต่อไป

การทดสอบดังกล่าว นอกจากจะเป็นการประเมินการเรียนแล้ว ยังมีผลในการจำระยะยาวของผู้เรียนด้วยข้อสอบจึงควรถามเรียงตามวัตถุประสงค์ของบทเรียน

9. การจำและแนะจำการใช้ (Promote Retention and Transfer)

ในการเตรียมการสอนสำหรับชั้นเรียนปกติ ตามข้อเสนอแนะของ Gagne นั้น ในขั้นนี้จะเป็นกิจกรรมสรุปเฉพาะประเด็นสำคัญ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนมีโอกาสได้ทบทวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ประโยชน์ของโปรแกรมช่วยสอนสำหรับผู้เรียน

1. เพื่อใช้เวลาว่าให้เป็นประโยชน์ คือ โปรแกรม CAI ใช้หลักการที่เรียกว่า Individualized Learning หมายความว่า นักเรียนสามารถเรียนได้ช้าหรือเร็วเท่ากับความสามารถของตนเองใครที่ฉลาดและเรียนรู้ได้เร็วก็เรียนจบเร็วกว่าคนอื่น ไม่ต้องเสียเวลารอคอยไปด้วยกันทั้งชั้น

2. ใครพร้อมก็เรียนได้ ในกรณีการฝึกอบรมนั้น บางครั้งผู้เรียนมีหลายคนทำให้ไม่พร้อมกัน การฝึกก็ต้องเลื่อนออกไปทำให้เสียเวลารอคอย

3. บทเรียนมีลักษณะคงเส้นคงวา การเรียนกับครูนั้น บางครั้งผู้เรียนต่างห้องจะได้รับความรู้ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอารมณ์และการเตรียมการสอนของครู

4. ลดเวลาเดินทาง บทเรียน CAI สามารถที่เรียนที่บ้านได้ถ้ามีคอมพิวเตอร์ ไม่ต้องเสียเวลาเดินทาง

5. สามารถเรียนได้ทั้งกลางวันและกลางคืน

2.6 ประโยชน์ของโปรแกรมช่วยสอนสำหรับผู้สอน

1. ลดเวลาเตรียมการสอนในระยะยาว ในการเตรียมการสอนนั้นต้องใช้เวลานานถึงแม้ว่าจะเป็นวิชาที่เคยสอนมากก่อน

2. ปรับปรุงแก้ไขบทเรียนได้เร็วและง่าย คือ สามารถที่จะเพิ่มเติมเนื้อหาและรายละเอียดต่างๆเข้าไปได้ง่าย

3. สามารถควบคุมผลสัมฤทธิ์ได้ง่าย

2.7 การพัฒนาการของ CAI จะเกี่ยวข้องกับระบบการศึกษา

ข้อดีของ CAI มากกว่าแบบสอนธรรมดา

1. ใช้งบประมาณจำนวนน้อย, การพัฒนาที่เร็วและมีประสิทธิภาพ, เป็นการเรียนรู้ในระยะเวลาที่สั้น, สะดวกในการเคลื่อนย้าย และ การเก็บรักษา, สะดวกและเมื่อเทียบกับสอนแบบธรรมดาราคาจะต่ำกว่า, สามารถแจกจ่ายไปยังเครือข่ายต่างๆ ได้

2. ภาพเคลื่อนไหว ทำได้ง่าย, เร็ว, ง่ายต่อการแก้ไปดัดแปลง, ราคาไม่แพงเลยสำหรับการจำหน่าย

ขีดจำกัด

1. การเก็บข้อมูลเหมือนกับการพูดโดยเป็นการโต้ตอบแบบทางเดียว

2. ไม่เป็นธรรมชาติ การสื่อสารจะใช้ คีย์บอร์ด,เมาส์,ตัวหนังสือ

การพัฒนา

1. เสียงสำหรับการจำและส่วนประกอบทั้งหมดที่รวมกัน

2. ความรู้พื้นฐาน

3. วิธีการสอนแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รูปแบบของนักเรียน

5. มัลติมีเดีย

6. ภาพที่สมจริง

7. เครือข่าย

2.8 แนวความคิดพื้นฐานของ CAI

การทำให้คอมพิวเตอร์ทำได้เท่าเทียมกับแบบที่ครูสอน

1. การทำโดยไม่ซ้ำแบบกับผู้อื่น
2. แก้ไขปรับปรุงการโต้ตอบ
3. ต้องคิดด้วยตนเอง

ประสบการณ์พิเศษ

มีการโต้ตอบแบบฉับพลัน

โครงสร้าง

1. ข้อมูลเป็นปัจจุบัน
2. ตั้งคำถาม
3. ยอมรับการตอบสนอง
4. ผลการประเมิน, เตรียมการโต้ตอบ
5. พิจารณาข้อมูลต่อไป/ คำถามต้องเป็นปัจจุบัน

จะทำการพัฒนาอย่างไรให้ CAI ดึงดูดความสนใจได้

1. สามารถใช้ประสาทสัมผัสได้หลายทาง
2. มีการโต้ตอบแบบ2 ทิศทาง
3. ใช้แทนบทบาทของครู
4. การสร้างนักเรียนเป็นศูนย์กลาง
5. การสอนที่สอนไกลๆ ได้

ผลการทบของ CAI ในการสร้าง / การเรียน

1. เป็นการลงทุนเพื่อหาผลประโยชน์
2. ราคาต่ำ
3. แรงจูงในอยู่ในระดับสูง
4. ความหมกมุ่นในการใช้ CBT lab
5. กลุ่มที่รวมกันและการเรียนรายบุคคล
6. ทำให้นักเรียนอาจใช้ข้อมูลใน CAI มากกว่า
7. ประสิทธิภาพของการเรียนจากประสบการณ์ที่เป็นจินตนาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การเห็นภาพที่เป็นจินตนาการ, ความคิดริเริ่มจากตนเอง และความคิดแบบทันทีทันใด, ความจำที่มาก
9. การเปลี่ยนแปลงบทบาทของครูและนักเรียน
10. การเปลี่ยนแปลงบทบาทในโครงสร้างของจริยศาสตร์
11. หลักสูตรเปลี่ยนแปลง
12. การวิจัยที่ต้องการในการทางปรัชญาหรือจริยศาสตร์

ขีดจำกัด

1. ขีดจำกัดของเสียงในการจำ
2. การมองโลกในการดำรงชีวิต
3. ประสบการณ์จากการทำด้วยมือ
4. ขีดจำกัดของนักเรียน
5. ความรู้พื้นฐานที่ไม่เท่ากัน
6. ความคิดที่สับสน
7. สื่อที่ไม่ธรรมดาในการเรียน-การสอน
8. นักเรียนใช้ความชำนาญในการเรียน

รูปแบบของการเรียนด้วยคอมพิวเตอร์

1. ความสนใจของนักเรียนกับภาพจินตนาการ
2. สนับสนุนกิจกรรมกับนักเรียนหรือไม่
3. ช่วยเหลือความต้องการของนักเรียนหรือไม่
4. การวางแผนการสอดคล้องกับบทเรียนหรือไม่
5. เหมาะสมกับการสอนแบบเดี่ยวหรือแบบกลุ่ม
6. สามารถเรียนด้วยตนเองหรือเป็นการสอบแบบทางไกล
7. บทบาทของครูในรูปแบบนี้คืออะไร

โครงสร้างเกี่ยวกับการสอน

1. ข้อมูลเป็นปัจจุบัน ตัวอักษร, กราฟฟิกส์, รูปภาพ, เสียง, วิดีโอ
2. ตั้งคำถาม
3. ยอมรับการตอบสนอง
4. วิเคราะห์การตอบสนอง
5. วิธีการตอบสนองกลับ
6. การเชื่อมต่อกับฉากต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

1. ใช้แนะนำบทเรียนใหม่, แนวความคิด, การสร้างฯลฯ
2. นอกจากนี้เป็นการพัฒนารูปแบบที่เปลี่ยนได้และความสามารถของระบบ

แบบฝึกหัด

1. กำหนดแบบฝึกหัดให้กับนักเรียน
2. คำแนะนำและ ความช่วยเหลือ ในผลเฉลยของปัญหา
3. การประเมินผลของนักเรียน
4. การทดสอบตนเอง
5. เวลาในการทำ

2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับ Authorware Professional 6.5

Authorware Professional 6.5 นับเป็นวิวัฒนาการอีกขั้นหนึ่งของโปรแกรมประเภท Authoring System ที่ใช้สำหรับการสร้าง Application ในระบบมัลติมีเดีย ด้วยการออกแบบการทำงานในลักษณะแผนภูมิที่ทำให้แม้แต่ผู้ที่ไม่ได้เป็นโปรแกรมเมอร์ก็สามารถที่จะสร้างขึ้นมาโดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับภาษโปรแกรม Authorware Professional 6.5 มีคุณสมบัติสามประการที่สนับสนุนงาน สร้าง ออกแบบ Application รวมทั้งการกระจายไปบังผู้ใช้ได้แก่

Objects Authoring ด้วยการออกแบบโปรแกรมด้วยเทคนิค Objest Authoring ทำให้ผู้ใช้ที่ไม่คุ้นเคยกับการออกแบบโปรแกรมหรือผู้ที่มีประสบการณ์มาแล้วก็ตามสามารถทุ่มเทความสนใจไปยังรายละเอียดของเนื้อหา และวิธีการโต้ตอบของผู้ใช้ โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม การใช้สัญลักษณ์ (Icon) แทนคำสั่งทำให้ผู้ใช้สามารถสร้างโปรแกรมที่มีคุณรูปสูงได้อย่างง่ายดาย โดยภายในแต่ละ Application ที่สร้างโดย Authorware Professional 6.5 สามารถใช้งานไอคอนได้ถึง 16,000 ไอคอน

Multimedia Tool ในโปรแกรม Authorware Professional 6.5 ประกอบด้วยเครื่องไม้เครื่องมือด้านมัลติมีเดียอย่างพร้อมมูล ทำให้ผู้ใช้สามารสร้าง Application ที่ประกอบด้วยข้อความรูปเสียง รูปเคลื่อนไหว และวีดีโอ เข้าด้วยกัน ทำให้ Application ที่มีประสิทธิรูปที่จะใช้ในการเรียนการสอนการอ้างอิง จำลองการทำงานในการนำเสนอ สินค้า และการโฆษณา

Object Authoring TM กล่าวได้ว่าส่วนหนึ่งที่ทำให้โปรแกรม Authorware Professional 6.5 เป็นโปรแกรมที่ใช้งาน ก็คือการที่ออกแบบคำสั่งต่างๆ อยู่ในรูปของสัญลักษณ์ (Icon) การสร้างโปรแกรมทำได้ด้วยการวางไอคอน เรียงไว้บนเส้นโฟลว์งานด้วยวิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องเรียนรู้การใช้คำสั่งเป็นลักษณะภาษาโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีพัฒนาโปรแกรม ลักษณะการทำงานประกอบด้วยไอคอน ที่จะเรียงลงบนโฟลว์งานเป็นการกำหนดลอจิกในการทำงานโปรแกรม นอกจากนี้ยังมีคำสั่งที่เป็นเมนูเพื่อกำหนดรายละเอียดของการทำงาน สามารถกำหนดรายละเอียดของโปรแกรมเช่น ขนาดหรือรูปแบบของ Presentation Window เลือกลักษณะทำงานของโปรแกรมว่าให้ทำต่อจากที่ค้างไว้ หรือเริ่มต้นใหม่ทุกครั้งที่เรียก รวมทั้งสามารถกำหนดชื่อของโปรแกรม

ลักษณะที่เอื้ออำนวยในการทำงานของโปรแกรม

1. สามารถทดสอบและแก้ไขโปรแกรมได้ในเวลาเดียวกัน

2. ความสามารถในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงลอจิกของโปรแกรมได้โดยตรง ทำง่ายต่อการพัฒนาและบำรุงรักษาโปรแกรม อีกทั้งโครงสร้างของโปรแกรมสามารถเปลี่ยนแปลงและนำกลับมาใช้ได้

3. สามารถกำหนดวิธีการโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ถึง 10 วิธี ได้แก่ ด้วยการป้อนข้อความผ่านคีย์บอร์ด สร้างปุ่มกดบนจอรูป กำหนดพื้นที่ บนจอรูปที่ตอบสนองเมื่อกดปุ่ม Mouse ด้วยการเลื่อนรูปไปยังตำแหน่งที่กำหนดเป็นเมนูตรวจเช็คคีย์บอร์ด ด้วยการกำหนดเงื่อนไขการทำงาน กำหนดจำนวนครั้งที่ผิด กำหนดวัตถุบนจอรูปที่ตอบสนองเมื่อกดปุ่ม Mouse หรือกำหนดเวลาในการทำงาน

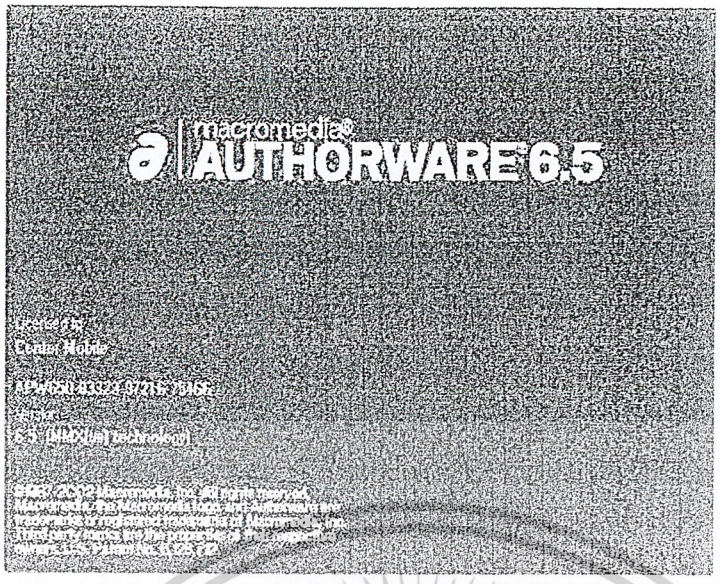
4. คุณสมบัติที่เอื้ออำนวยอื่นๆ ได้การผสมผสานสื่อต่าง ๆ เข้าด้วยกัน รวมทั้งคำแนะนำการใช้ที่ติดอยู่ในแต่ลำคำสั่ง

2.10 การใช้โปรแกรม Authorware Professional 6.5

2.10.1 การเริ่มเข้าโปรแกรม Authorware Professional 6.5

1. เข้าโปแกรมวินโดวส์จะปรากฏ Program manager
2. Double Click ที่กลุ่มไอคอนของ Authorware Professional 6.5
3. Double Click ที่ไอคอนของ Authorware Professional 6.5 จะปรากฏ ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.1 แสดงหน้าแรกของ Authorware Professional 6.5

2.10.2 การออกจาก Authorwsre Professional 6.5

การออกจาก Authorware Professional 6.5 ทำได้หลายวิธีดังนี้

1. Click ที่ Control Menu Box แล้วเลือกคำสั่ง Close
2. Double Click ที่ Control Menu Box ของ Authorware Professional 6.5
3. Click ที่เมนู File แล้วเลือกคำสั่ง Quit
4. กดคีย์ ctrl-Q

2.10.3 สัญลักษณ์ที่ใช้โปรแกรม Authorware Professional 6.5

Display Icon

เป็นคำสั่งสำหรับทำงานกราฟฟิกส์ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการวาดรูป การอ่านแฟ้มข้อมูลกราฟฟิกส์ จากภายนอกเข้ามารวมทั้งการแสดงรูปข้อความโดยมี Special effectต่างๆ

Motion Icon

เป็นคำสั่งทำรูปเคลื่อนไหวด้วยการกำหนดรูปที่จะเคลื่อนที่ปลายทาง ความเร็ว จำนวนรอบที่แสดงรูป

Erase Icon

ใช้สำหรับลบรูป หรือข้อความออกจากจอ โดยสามารถกำหนด Special effect ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wait Icon

ใช้หยุดการทำงานของโปรแกรม อาจเป็นการหยุดโดยกำหนดระยะเวลา หรือหยุดจนกว่าผู้ใช้จะให้ทำงานต่อ

Navigate Icon

ใช้ในการเชื่อมต่อไอคอนต่างๆ เป็นตัวค้นหาข้อความที่ต้องการ หรือกำหนดไปตามผู้ใช้กำหนด

Frame work Icon

เป็นไอคอนที่สร้างทางเดิน ประกอบไปด้วยปุ่มเดินหน้า ย้อนกลับ ค้นหา การกระโดดไปเริ่มต้นและไปเฟรมสุดท้ายซึ่งภายในบรรจุ Navigate แบบต่างๆ ไว้โดยผู้ใช้ไม่ต้องกำหนด

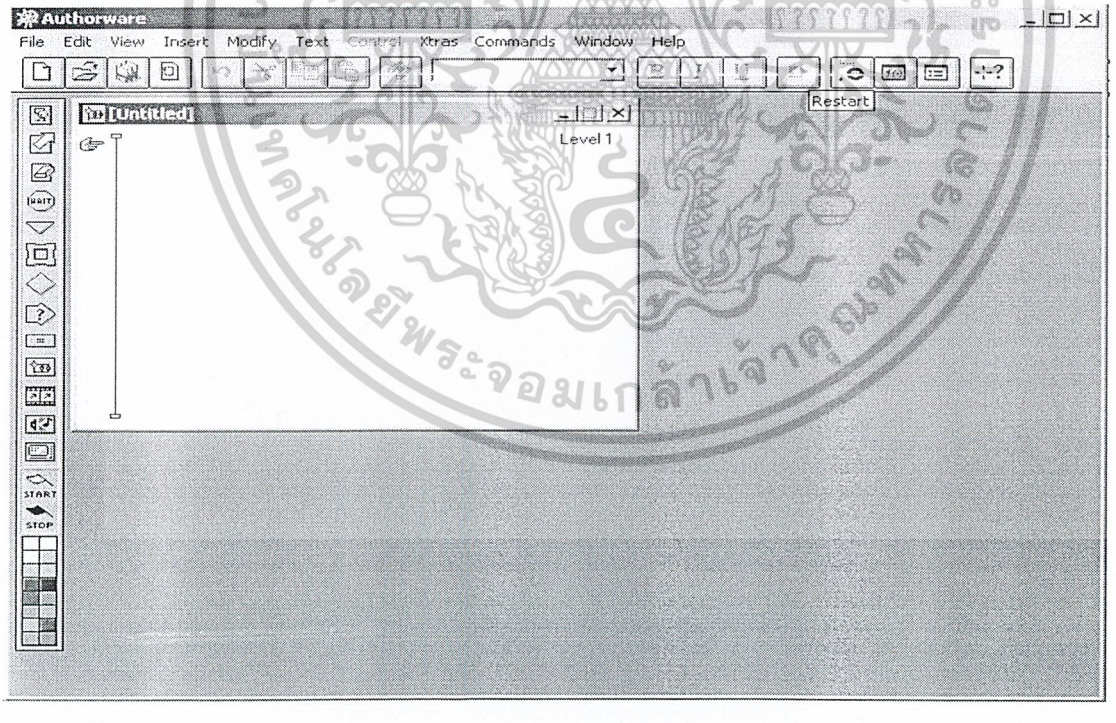
Decision Icon

ประกอบด้วยคำสั่งควบคุมการทำงาน ไม่ว่าเป็นการทำงานตามลำดับขั้น การทำงานแบบสุ่ม หรือการทำงานโดยการกำหนดขั้นตอนด้วยค่าของตัวแปร

Interaction Icon

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการวิธีการติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งอาจกำหนดเป็นปุ่มกด เป็นPull down Menu และอีกหลายแบบรวมทั้งกำหนดทิศทางการทำงานของโฟล์งาน

ส่วนประกอบของ Design Window สามารถแสดงได้ดังรูปที่2.2



รูปที่2.2 ส่วนประกอบของ Design Window

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Beginning of File	ตำแหน่งเริ่มต้น File
Flow line	เส้นลำดับการทำงาน
End of File	ตำแหน่งจบ File
Paste Pointer	ตัวชี้ตำแหน่งในการทำ Icon Paletteมาวาง
Design Window	วินโดว์สำหรับออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55473

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

โปรแกรมนี้มีเป้าหมายที่จะนำเสนอโปรแกรมช่วยสอนเกี่ยวกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ CMOS โดยการใช้โปรแกรม Authorware 6.5 ซึ่งภายในของโปรแกรมจะประกอบด้วยเรื่อง ทฤษฎี MOS, กระบวนการสร้าง, Simulate และ แบบทดสอบ

โปรแกรมนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อนให้ผู้เรียน ได้เรียนรู้เนื้อหาด้วยตนเองตามความสามารถ ความสนใจ และความพร้อมของผู้เรียนเอง ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักที่ต้องการจะนำไปใช้แทนการสอนแบบเดิม

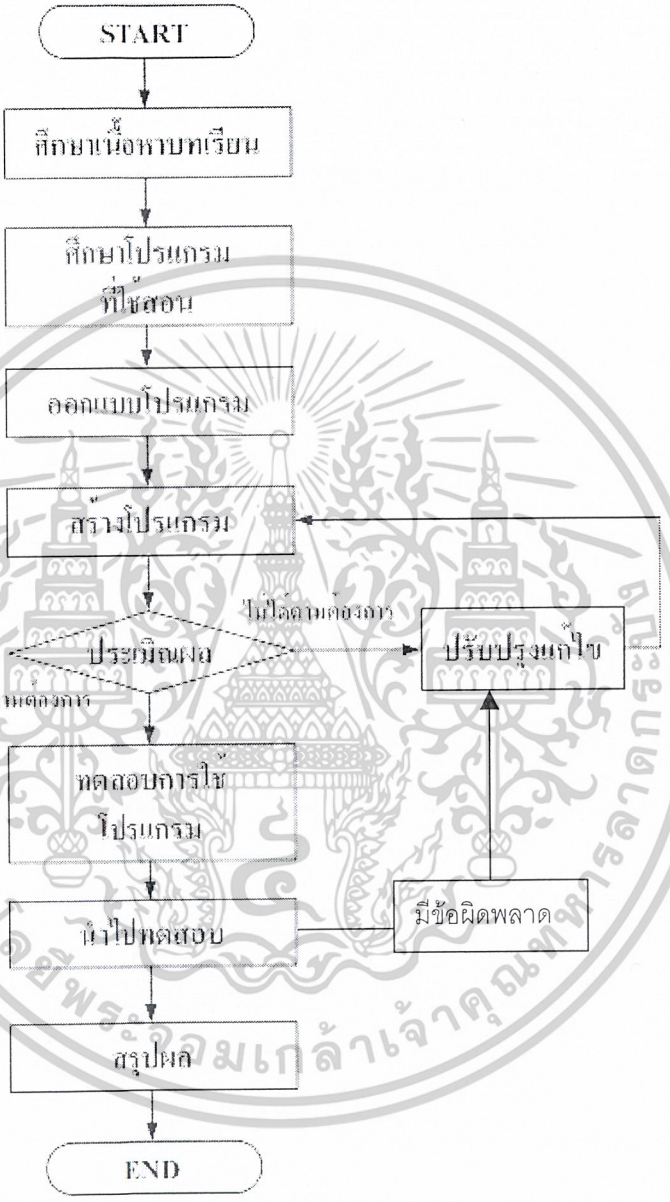
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบสร้างโปรแกรมช่วยสอน

1. ทางด้านฮาร์ดแวร์(HARD WARE)
   - เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 200 ขึ้นไป
   - หน่วยความจำ (RAM) 16 Mbytes ขึ้นไป
   - ฮาร์ดดิสก์ (HARD DISK)
   - เมาส์ (MOUSE)
   - สแกนเนอร์ (SCANNER)
   - ไมโครโฟน (MICROPHONE)
   - CD-ROM Drive
2. ทางด้านซอฟแวร์ (SOFT WARE)
   - Macromedia Authorware 6.5
   - Adobe Photoshop 7.0
   - Macromedia Flash MX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

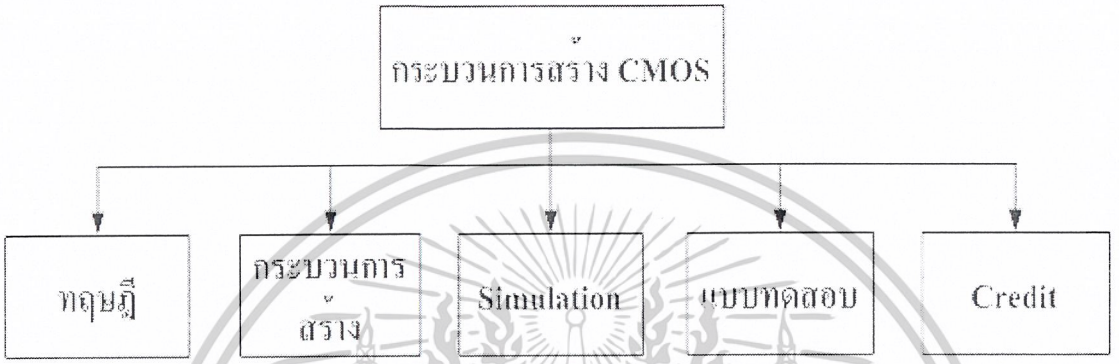


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โครงสร้างของโปรแกรม

โครงสร้างของโปรแกรมช่วยสอนนี้ได้แบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้ 4 ส่วน เพื่อให้การทำงานเกิดความเป็นระเบียบ สามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ ทฤษฎี, กระบวนการสร้าง, Simulation, แบบทดสอบ สามารถแสดงได้ดังรูป ที่3.2

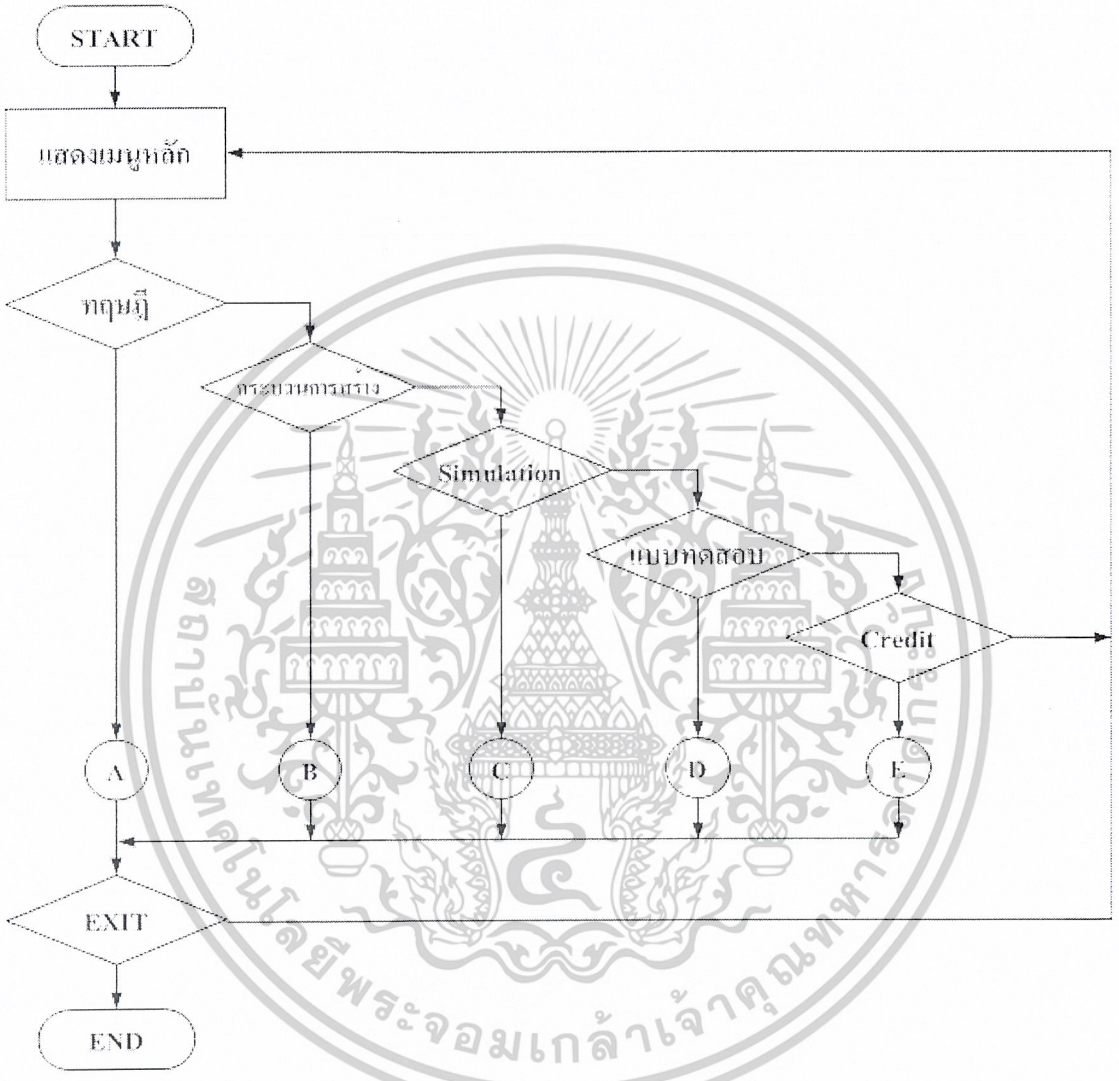


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของโปรแกรมช่วยสอนกระบวนการสร้าง CMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โครงสร้างของโปรแกรมช่วยสอนกระบวนการสร้าง CMOS

โครงสร้างของโปรแกรมช่วยสอนกระบวนการสร้าง CMOS สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของโปรแกรมช่วยสอนกระบวนการสร้าง CMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ทฤษฎี

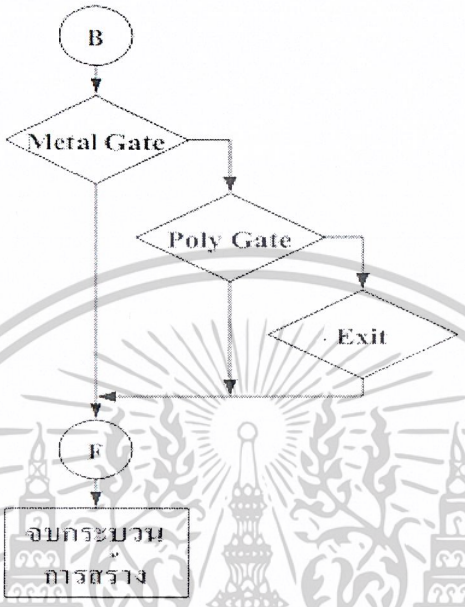
ผังงานของบทเรียน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ผังงานของทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 กระบวนการสร้าง

ผังงานของกระบวนการสร้าง CMOS สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

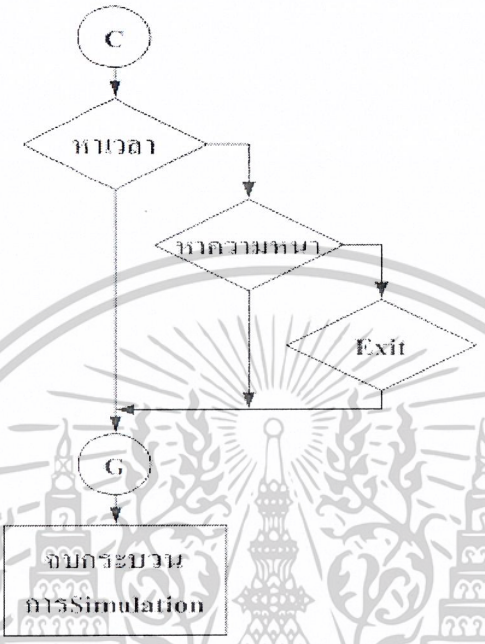


รูปที่ 3.5 ผังงานของกระบวนการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 กระบวนการ Simulation

ผังงานของกระบวนการ Simulation สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ผังงานของกระบวนการ Simulation

เหตุผลที่เลือกใช้ Visual Basic

รายละเอียดของVB

โปรแกรมไมโครซอฟต์ Visual Basic เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการสร้างแอพพลิคเคชั่นบน Microsoft Windows การสร้างแอพพลิเคชั่นที่แสดงผลในหน้าต่างของเว็บบราวเซอร์ (Web Browser) ได้อย่างรวดเร็ว และภายใน VB จะมีเครื่องมือช่วยในการสร้างแอพพลิเคชั่นอยู่อย่างมากมาย

การสร้างแอพพลิเคชั่นโดยใช้ VB จะเป็นไปในลักษณะตามขั้นตอนต่อไปนี้

- การออกแบบส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยการเลือกคอนโทรลที่ตอบสนองการใช้งานตามที่ต้องการลงบนหน้าจอ จัดตำแหน่ง และขนาดตามความเหมาะสม

- การเขียนคำสั่งโปรแกรมที่ต้องตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เช่น การตอบสนองต่อผู้ใช้ เป็นต้น (เราเรียกว่าการเขียนโปรแกรมแบบ Event-driven) ใน VB นั้นได้ใช้ภาษา BASIC ซึ่งอาจจะมีรูปแบบที่คล้ายกับรูปแบบของภาษา BASIC แบบดั้งเดิม เนื่องจากภาษา BASIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นภาษาที่ออกแบบมาสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน แต่ยังคงความสามารถในการสร้างแอพพลิเคชั่นที่ต้องการได้เป็นอย่างดี

ความสามารถที่เด่นของ VB

- ความสามารถในการคอมไพต์โปรเจ็กต์ของ VB ไปเป็นรหัสของคอมพิวเตอร์โดยตรง ทำให้โปรแกรมที่คอมไพต์สามารถทำงานได้เร็วขึ้นกว่าเดิม รวมทั้งมีตัวเลือกในการออปติไมซ์ (Optimize) สำหรับการคอมไพต์ด้วย

- ช่วยให้สามารถสร้าง ActiveX Control ที่เป็นของเราเองได้ โดยการสร้างคุณสมบัติ, เมดถอด (method) , อีเว็นต์, พร็อพพรอตี้เพจ (Property Page) ของคอนโทรล รวมทั้งยังสามาถนำคอนโทรลที่สร้างมาใช้บนอินเตอร์เน็ตได้

- สามารถสร้าง ActiveX Documents ที่ทำให้แอพพลิเคชั่น สามารถแสดงบนอินเตอร์เน็ต หรือ อินทราเน็ตได้

- ใน VB มีวิซาร์ดอยู่มากมาย เช่น Application Wizard, ActiveX Control Interface Wizard เป็นต้น ที่ช่วยในการทำงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

- ความสามารถของอิดิเตอร์ (Editor) ที่ใส่รหัสโปรแกรมที่เราเรียกว่า Code Editor ที่ช่วยให้เราสามารถรู้ถึงคุณสมบัติ, เมดถอด และอีเว็นต์ของออบเจ็กต์ รวมทั้งข้อมูลของโปรแกรมย่อย (Sub) และฟังก์ชัน (Function) ได้อย่างรวดเร็ว

- ความสามารถในตัวภาษาที่มีเพิ่มมากขึ้น เช่น โครงสร้างข้อมูลแบบ Enum, Polymorphism ที่เป็นคุณสมบัติของภาษาแบบออบเจ็กต์ออเรียนเตด (Object Oriented) เป็นต้น

- อินเตอร์เฟสของ VB ที่ปรับปรุงไปอย่างมากมาย เช่น สามารถปรับเปลี่ยนเป็นMDI หรือ SDI ก็ได้ ที่จะช่วยให้สามารถทำงานกับโปรเจ็กต์หลายๆโปรเจ็กต์ในคราวเดียวได้ เป็นต้น

- คอนโทรลที่มีความสามารถมากขึ้น เช่น พิกเจอร์บ็อกซ์ และ อิมเมจบ็อกซ์ที่สามารถอ่านไฟล์ภาพที่มีส่วนขยายเป็น JPG และ GIF ได้, คุณสมบัติ ToolTipText ที่เป็นคุณสมบัติที่มีใหม่ในทุกคอนโทรล เป็นต้น

- จำนวนคอนโทรลที่มีมาก และหลากหลายขึ้น เช่น คอนโทรลทางด้านมัลติมีเดีย, คอนโทรลทางด้านอินเตอร์เน็ต, คอนโทรล MSFlexGrid เป็นต้น

- คุณสมบัติทางด้านฐานข้อมูลที่ถูกปรับปรุงขึ้นอย่างมากมาย เช่น DAO ที่มีความสามารถมากขึ้น และ RDO เวอร์ชั่น 2.0 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมไพต์ (Compile) เป็นการแปลงจากโปรแกรมที่เราได้พัฒนาไปเป็นคำสั่งที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้

MDI ย่อมาจาก Multiple Document Interface ใช้เรียกรูปแบบการอินเตอร์เฟสของโปรแกรมที่มีการทำงานได้กับไฟล์หลายๆไฟล์ในคราวเดียว เช่น โปรแกรม Microsoft Word เป็นต้น

SDI ย่อมาจาก Single Document Interface ใช้เรียกรูปแบบการอินเตอร์เฟสของโปรแกรมที่มีการทำงานกับไฟล์ได้ครั้งละไฟล์ เช่น โปรแกรม Notepad เป็นต้น

DAO ย่อมาจาก Data Access Object เป็นออบเจ็กต์ที่ใช้ในการทำงานกับฐานข้อมูลในรูปแบบต่างๆ

RDO ย่อมาจาก Remote Data Object เป็นออบเจ็กต์ที่ใช้ในการทำงานกับฐานข้อมูลในระยะไกล

ความต้องการของระบบ

ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows NT 3.51 หรือใหม่กว่า หรือ Microsoft Windows 95 และXP
หน่วยประมวลผลกลางรุ่น 80486 หรือสูงกว่า
เนื้อที่ในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 เมกกะไบต์
ต้องการ CD-ROM ไดรฟ์
การ์ดจอ VGA หรือสูงกว่า
RAM อย่างน้อย 16 เมกกะไบต์

ลักษณะทั่วไปของ VB

การพัฒนาแอพพลิเคชั่นใน VB จะไม่เหมือนกับการเขียนโปรแกรมที่เราเคยเขียนมาก่อนในภาษาโปรแกรมแบบอื่นๆ บน DOS ที่โปรแกรมจะทำงานตั้งแต่คำสั่งแรกจนถึงคำสั่งสุดท้าย ซึ่งอาจจะมีทางเลือกการทำซ้ำ หรือการเรียกโปรแกรมย่อยมาทำงาน

ใน VB จะเป็นการเขียนโปรแกรมแบบ Event-driven การเขียนโปรแกรมแบบนี้เป็นการเขียนโปรแกรมที่ต้องตอบสนองต่อเหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นมาเป็นเหตุการณ์ๆ ไป อีเว็นต์ (Event) สามารถเกิดขึ้นมาได้ ดังตัวอย่างเช่น จากการตอบสนองของผู้ใช้ เช่น การกดแป้นคีย์บอร์ด, การ Click mouse เป็นต้น หรือ จากระบบปฏิบัติการ เช่น สั่งให้วาดสิ่งที่อยู่บนฟอร์มใหม่ เป็นต้น

ตัวอย่างของการเกิดอีเว็นต์ (Event) เช่น กรอบข้อความสำหรับป้อนข้อความ (คอนโทรลเท็กซ์- บ็อกซ์) เมื่อผู้ใช้ได้ใส่ข้อความลงไป จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเหตุการณ์ (อีเว็นต์) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท็กซ์บ็อกซ์ที่ชื่อว่า Change ซึ่งเราสามารถเขียนคำสั่งโปรแกรมไปตอบสนองการทำงานของอีเว็นต์นั้นได้เป็นต้น

ขั้นตอนในการพัฒนาแอพพลิเคชั่นอย่างง่ายๆ โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- การเขียนรหัสโปรแกรม
- การคอมไพต์โปรแกรม
- การทดสอบโปรแกรม

ใน VB มีเครื่องมือที่ช่วยให้การทำงานทั้ง 3 ขั้นตอนนั้นอยู่อย่างครบถ้วน เมื่อเราคอมไพต์แอพพลิเคชั่นที่เราได้เขียนขึ้นมา เมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในการคอมไพต์ เราสามารถแก้ไขคำสั่งโปรแกรมที่เกิดข้อผิดพลาดได้ทันที และคอมไพต์ต่อจากเดิมได้โดยไม่ต้องเริ่มต้นคอมไพต์ใหม่ ทำให้เราสามารถทดสอบการทำงานของแออลิเคชั่นได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเสียเวลาในการคอมไพต์น้อยลง

ความรู้พื้นฐานในการเขียนโปรแกรมด้วย VB

ในการเขียนโปรแกรมโดยทั่วไป เราต้องเข้าใจโครงสร้างของภาษาในหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้

- ชนิดของข้อมูลที่มีใช้ในภาษานั้น จะต้องเหมาะสมกับข้อมูลที่เราต้องในโปรแกรมเพราะจะทำให้โปรแกรมของเราทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้หน่วยความจำน้อยลงกว่าเดิม

- คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของโปรแกรม เช่น คำสั่งเลือกการทำงานของโปรแกรม และ คำสั่งในการทำงานซ้ำของโปรแกรม

- การสร้าง และการเรียกใช้งานโปรแกรมย่อย รวมทั้งชนิดของการส่งพารามิเตอร์ให้กับโปรแกรม

นอกจากนี้ในการเขียนโปรแกรมใน VB จะรวมขั้นตอนในการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ซึ่งจะเป็นการทำงานกับฟอร์ม เมนู และคอนโทรล

จุดประสงค์ของโปรแกรม

สำหรับจุดประสงค์ของการออกแบบโปรแกรมนี้นั้น เพื่อต้องการให้ผู้ใช้ได้ข้องมูลพื้นฐานของตัวอุปกร MOS ทั้งแบบ n-channel และแบบ P-channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นข้อมูลพื้นฐานทั้งแบบ Process และ device โดยมิได้เน้นหนักไปทางข้อมูลด้านใดด้านหนึ่ง และในการออกแบบครั้งนี้เป็นเพียงโปรแกรมต้นแบบ เพื่อนำไปพัฒนาต่อไป ฉะนั้นในตัวโปรแกรมเองอาจจะยังไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างครบวงจร หรือครบครัน และนอกจากนี้ในการเขียนโปรแกรมเชื่อมโยงระหว่างวัตถุต่างๆนั้น เป็นการเขียนโปรแกรมให้ยืดหยุ่น เพื่อให้ผู้สนใจในตัวโปรแกรมนี้ ได้สามารถเข้ามาพัฒนาโปรแกรมนี้ได้อย่างสะดวกอีกด้วย

ในส่วนของเมนูหลัก ได้ออกแบบให้เข้าใจง่าย แบ่งแยกสัดส่วนชัดเจน ทั้งให้ส่วนของข้อมูลที่เป็น Text file และแบบ graph file

ในส่วนการคำนวณนั้น ได้ออกแบบให้อยู่ใน From เดียวกันทั้งหมด เพื่อมิให้สับสนกับตัวแปรง หากมีการเรียก From อื่นซ้อนขึ้นมา

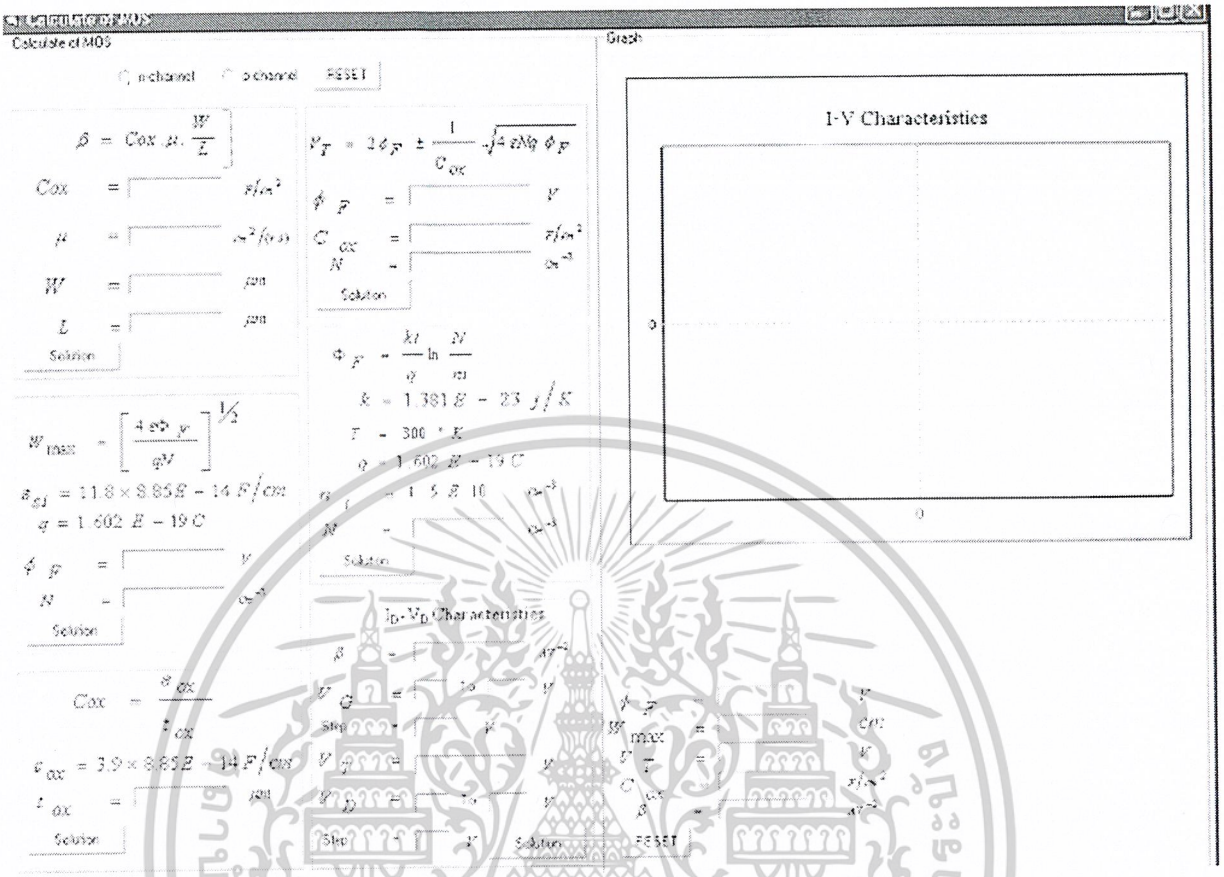
ในส่วนของหน่วย Unit การคำนวณนั้นได้มีการระบุไว้อย่างชัดเจนเพื่อให้เป็นการง่ายต่อการเข้าใจความหมายของตัวแปลว่ามีหน่วยใด

ในส่วนของการแสดงผลลัพธ์การคำนวณนั้นได้มีการแสดงทั้งแบบ Text และแบบ graph เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ดีขึ้น

การออกแบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

โดยโปรแกรมจะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกนั้นจะเป็นการคำนวณที่จะเป็นการคำนวณที่เป็น Text คือ β,C_{ox}, V_T, W_{max},ϕ_F, I_D จากนั้นในส่วนที่ 2 จะเป็นการนำสิ่งที่คำนวณได้ในส่วนแรกมาทำการแสดงผลออกมาเป็นกราฟได้แก่ กราฟ I-V

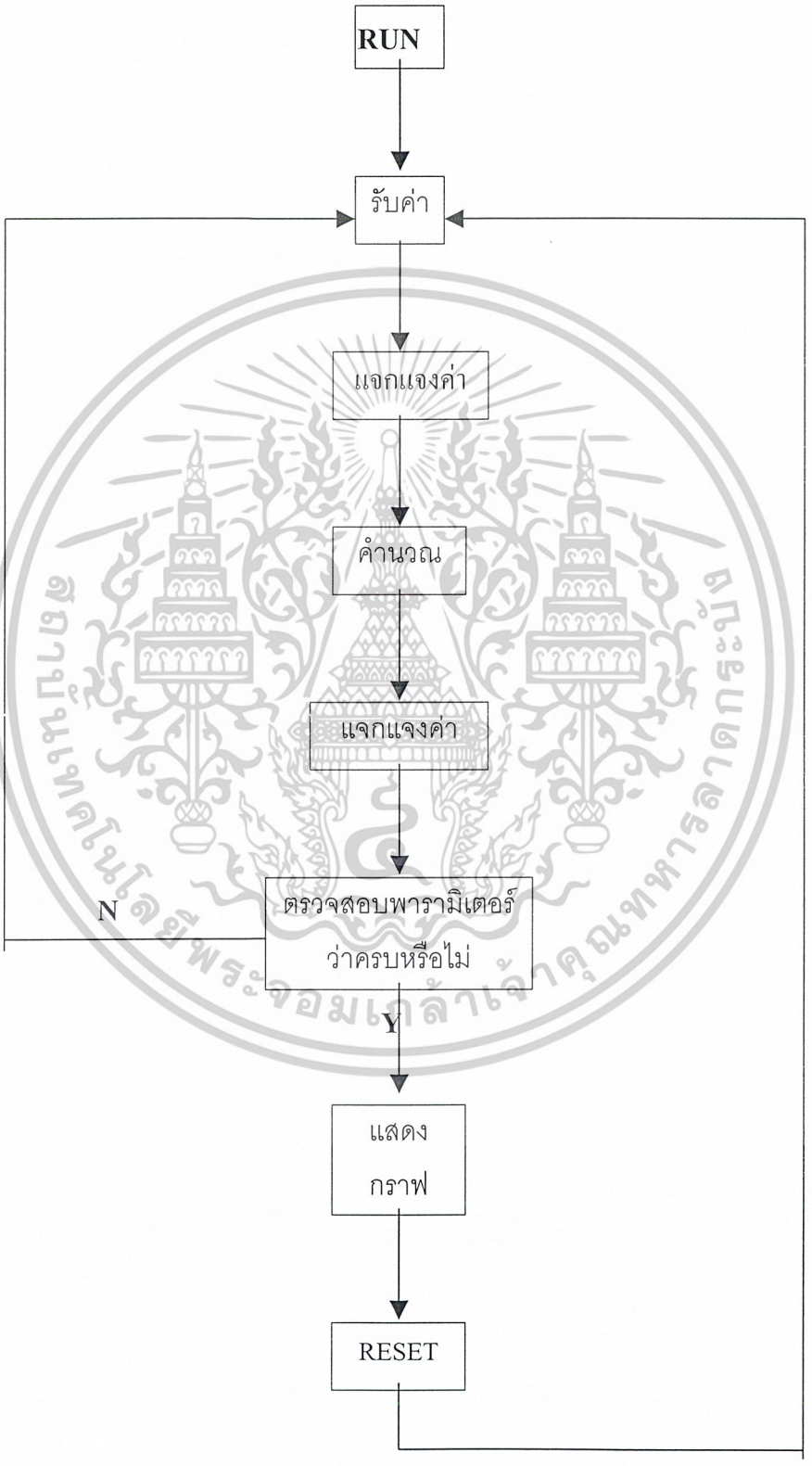
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปร่างหน้าตาโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มการเขียนโปรแกรม



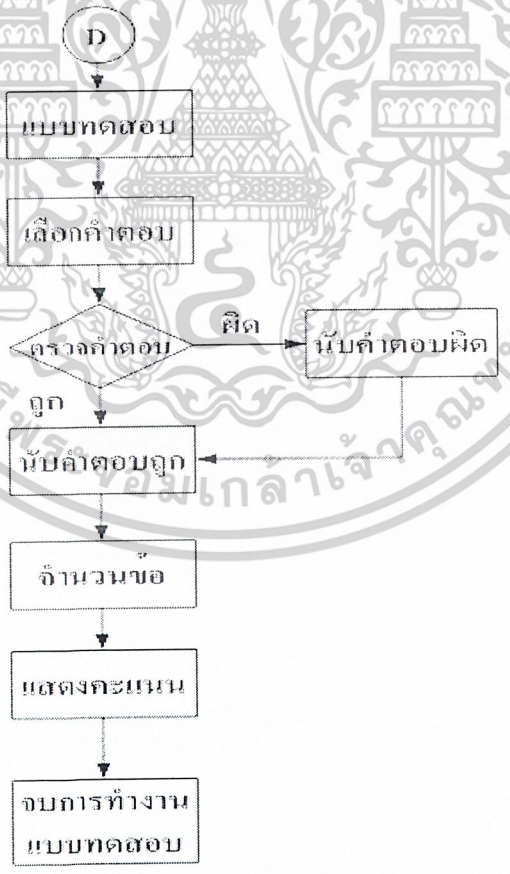
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมเริ่มจากการรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ User กำหนด จากนั้นโปรแกรมจะทำการแจกจ่ายค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นไปทุกโปรแกรมย่อยที่ต้องใช้พารามิเตอร์เหล่านั้นเป็นส่วนประกอบในการคำนวณ หากโปรแกรมย่อยใดมีตัวแปรที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณครบก็พร้อมที่คำนวณ โดยเพียงแต่รอการกดปุ่ม Solution จาก User เท่านั้น ผลของการคำนวณก็จะแสดงขึ้นมาที่ช่องต่างๆของโปรแกรม

จากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบดูว่าค่าต่างๆที่จำเป็นในการพลอตกราฟพร้อมหรือไม่ ถ้าค่าต่างๆเหล่านั้นพร้อม Subโปรแกรมที่ทำการพลอตกราฟก็จะทำงาน แต่ถ้าหากค่าเหล่านั้นยังไม่พร้อม ตัวโปรแกรมก็จะวนกลับไปเตรียมรับค่าใหม่จนกว่าค่าต่างๆจะครบพร้อมที่จะพรอตกราฟได้

3.8 แบบทดสอบ

ผังงานของแบบทดสอบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

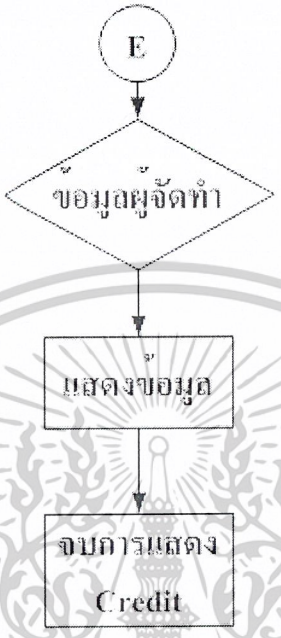


รูปที่ 3.7 ผังงานของแบบทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 Credit

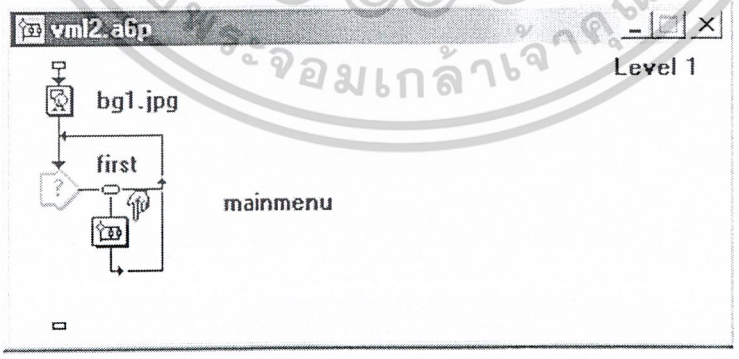
ผังงานของ Credit สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผังงานของ Credit

3.10 การสร้างโปรแกรม

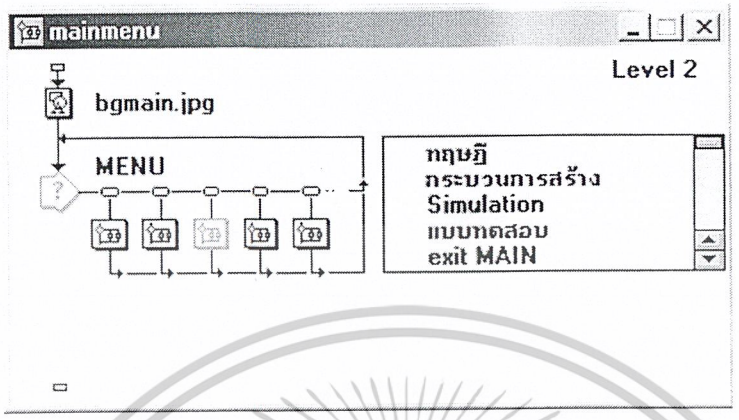
การสร้างโปรแกรม คือ การที่เรานำเอาส่วนต่างๆที่ร่างไว้มาออกแบบเป็นโปรแกรมขึ้นมา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างการสร้างโปรแกรม ในส่วนของเมนูหลักได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 จอภาพการสร้างเมนูหลัก

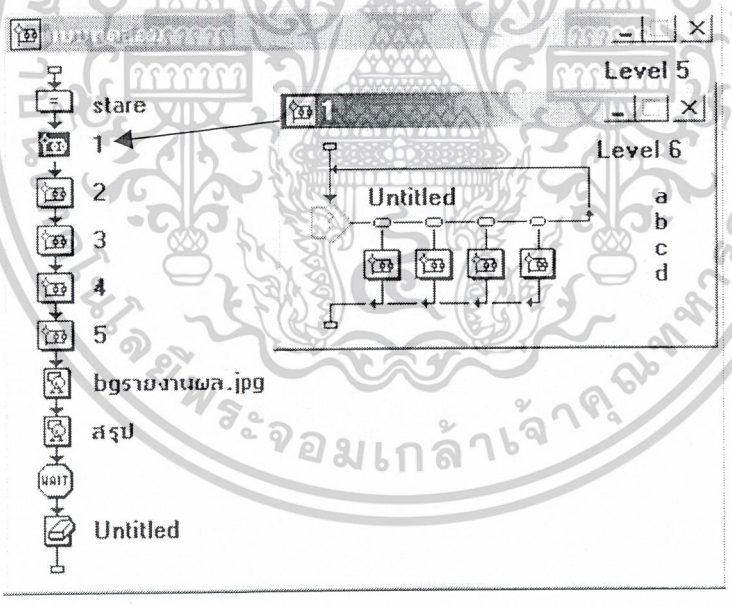
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน Icon first สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 รายละเอียดภายใน Icon first

รูปข้างล่าง เป็นการแสดงจอภาพการออกแบบ แบบทดสอบ



รูปที่ 3.11 การออกแบบ แบบทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปข้างล่าง เป็นรูปการแสดงผลโดยการใช้ตัวแปร y ซึ่งอยู่ในวงเล็บปีกกา เป็นการเขียนอีกอย่างหนึ่ง

รูปที่ 3.12 การออกแบบ แบบทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ลักษณะการใช้งานโปรแกรมและการทดสอบโปรแกรม

4.1 คำแนะนำสำหรับผู้เริ่มใช้คอมพิวเตอร์

ผู้ใช้งานโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้ ควรมีพื้นฐานความรู้เรื่องการใช้เมาส์มาบ้าง สำหรับผู้ใช้ที่ยังไม่มีพื้นฐานมาเลย อาจใช้เมาส์ไม่ค่อยคล่องเท่าไรนัก แต่ก็จะมีการอธิบายการใช้งานต่างๆไว้ในตัวบทเรียนแล้ว

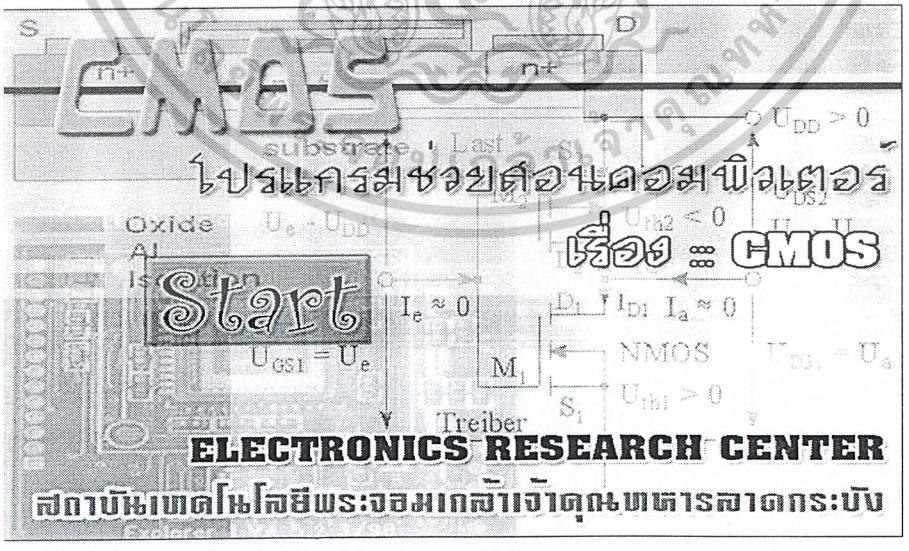
4.2 ความต้องการพื้นฐานของโปรแกรม

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 100 ขึ้นไป
2. หน่วยความจำต้องไม่ต่ำกว่า 16 MB
3. ระบบปฏิบัติการ WINDOWS 95 , 98 , ME ,2000,XP

4.3 การเข้าสู่บทเรียน

โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเมื่อติดตั้งลงบนฮาร์ดดิสก์เรียบร้อยแล้ว ก็จะสามารถเรียกใช้งานได้ทันที

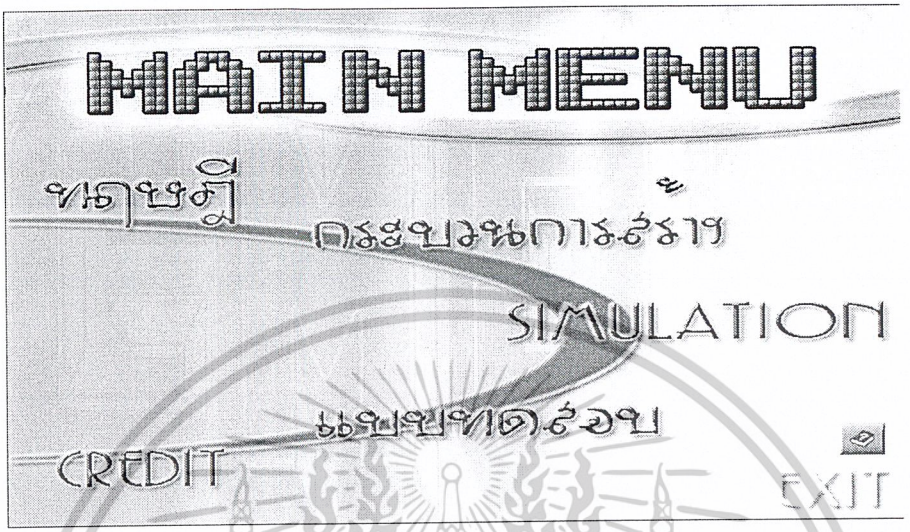
เมื่อเรียกใช้โปรแกรมช่วยสอนแล้วจะแสดงจอภาพ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการกดปุ่ม Start หน้าของส่วนเมนูต่างๆซึ่งเป็นเมนูหลักของหัวข้อต่างๆ ก็จะปรากฏ ดังรูปที่ 4.2

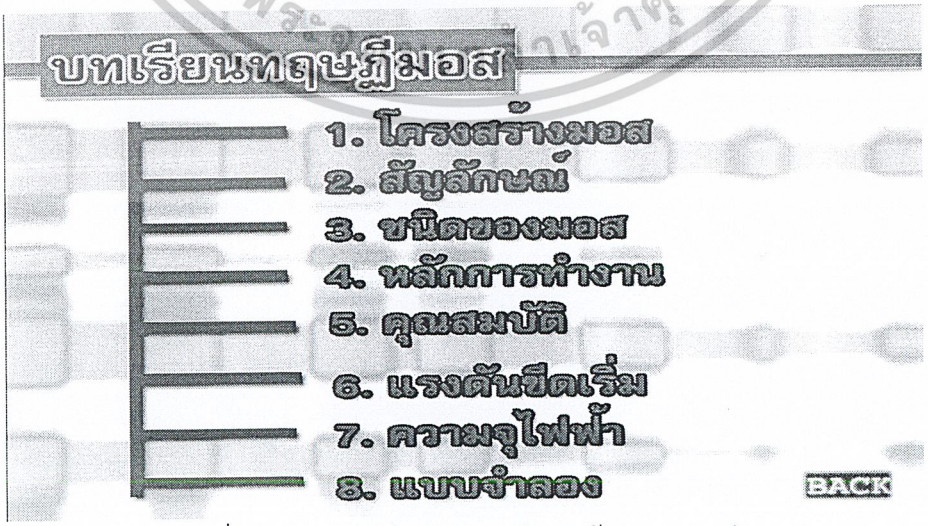


รูปที่ 4.2 แสดงเมนูหลักต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 จะประกอบไปด้วยหัวข้อหลักๆ ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎี, กระบวนการสร้าง, Simulation, แบบทดสอบ, Credit, Exit

4.4 การทดสอบส่วนของทฤษฎี

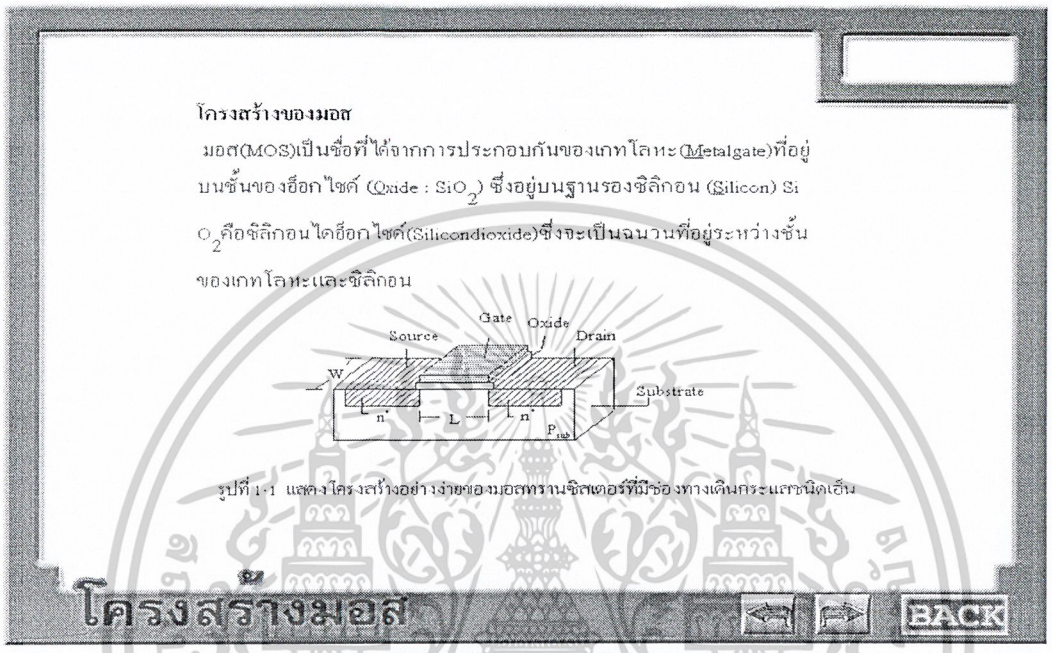
เมื่อทำการเลื่อนเมาส์ไปในตำแหน่งของทฤษฎีในหน้าแสดงเมนูหลักแล้วทำการคลิ๊ก ก็จะเข้าไปสู่หัวข้อต่างๆ ในหัวข้อของทฤษฎี ดังรูปที่ 4.3



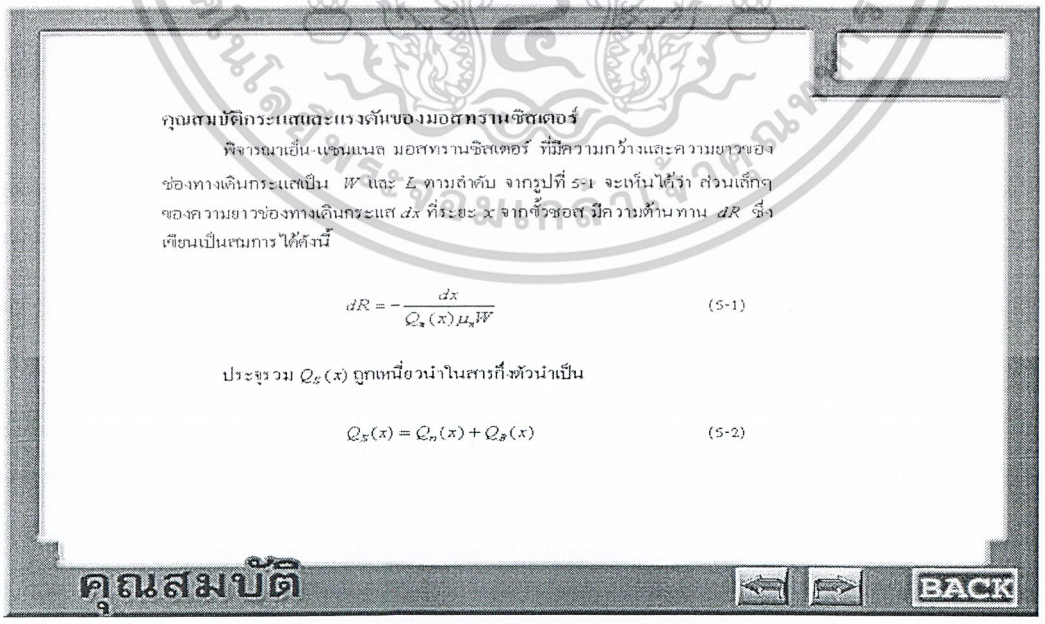
รูปที่ 4.3 แสดงหัวข้อต่างๆภายในหัวข้อของทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ายังมีหัวข้อย่อยต่างๆ จะเป็นแต่ละหัวข้อที่บอกเกี่ยวกับทฤษฎีของมอส ซึ่งจะประกอบไปด้วย โครงสร้างมอส, สัญลักษณ์, ชนิดของมอส, หลักการทำงาน, คุณสมบัติ, แรงดันขีดเริ่ม, ความจุไฟฟ้า, แบบจำลอง ซึ่งแต่ละหัวข้อก็จะเป็นเนื้อหานั่นเอง



รูปที่ 4.4 เนื้อหาของโครงสร้างมอส

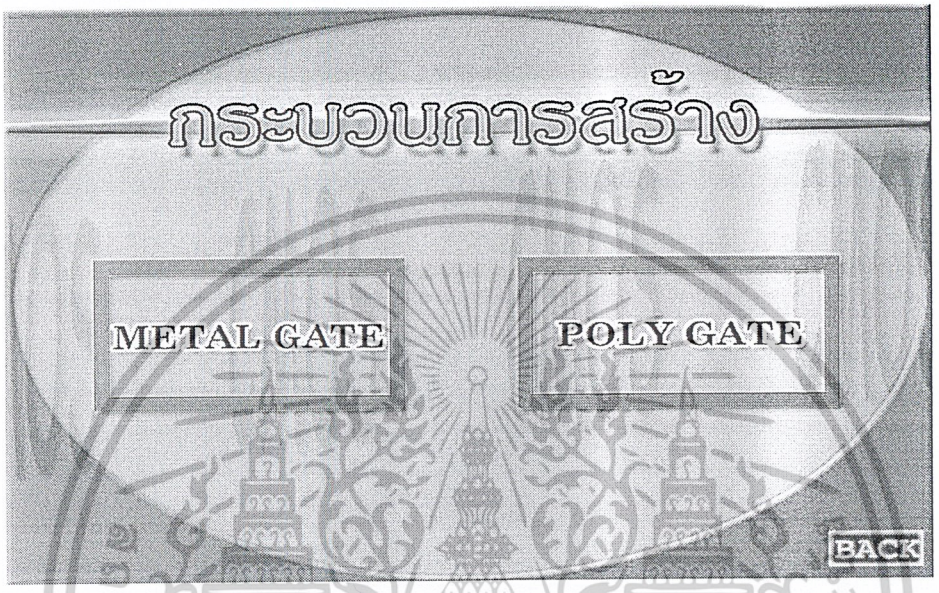


รูปที่ 4.5 เนื้อหาของคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบส่วนของกระบวนการสร้าง

เมื่อทำการเลื่อนเมาส์ไปในตำแหน่งของกระบวนการสร้างในหน้าแสดงเมนูหลักแล้วทำการคลิ๊กก็จะเข้าไป สู่หัวข้อต่างๆ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รูปแสดงเมนูกระบวนการสร้าง

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าภายในเมนูของกระบวนการสร้าง ที่ได้คลิ๊กจากหน้าเมนูหลัก ภายในจะยังประกอบไปด้วย 2 เมนู คือ Metal Gate และ Poly Gate ซึ่งแต่ละหัวข้อก็จะเป็นการสร้าง CMOS ที่มีกระบวนการสร้างต่างกันนั่นเอง

4.6 การเตรียมแผ่นฐานรองเบื้องต้น (Wafer Preparation)

ในการเตรียมแผ่นฐานรองเบื้องต้นมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณสมบัติที่มีต่อวงจรรวม เนื่องจากอุปกรณ์ประเภทมอสทรานซิสเตอร์ทำงานด้วยกระแสที่บริเวณผิว ดังนั้น การเลือกแผ่นฐานรองจึงต้องพิจารณาถึงพารามิเตอร์ต่างๆของแผ่นฐานรองด้วย เช่น ความเข้มข้นฐานรอง ระนาบผลึก ค่าพิกัดความต้านทาน และอื่นๆ- ฐานรองชนิดเอ็น ระนาบ (100) ความหนา 400 μm. พิกัดความต้านทาน 4-6 Ω.cm.

ภายหลังจากที่เลือกแผ่นฐานรองซิลิกอนแล้ว ต้องมีการทำความสะอาดผิวหน้า เพื่อเป็นการล้างสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่ติดอยู่ที่ผิดของแผ่นซิลิกอนรวมทั้งอ๊อกไซด์ที่เกิดบนผิวของแผ่นซิลิกอนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

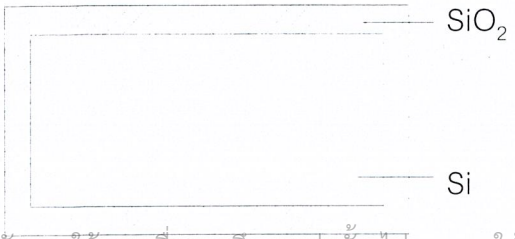
อก เพื่อให้ผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนสะอาด ซึ่งขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้า แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิกอนเบื้องต้น

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time (mins)	Note
Super Sonic in Solution	DI water	-	-	5	
<SSS>	DI water	-	-	-	Rinse
Surface	HNO_3	-	hot	10	Boil
cleaning	DI water	-	-	-	Rinse
	DI water	-	hot	5	Boil
	DI water	-	hot	5	Boil
	DI water	-	-	-	Rinse
	Dry	N_2	-	-	Blow
	Tri chlo.	-	hot	5	Boil
	Acetone	-	-	2	<SSS>
	DI water	-	-	-	Rinse
Slice etching	HF 5%	-	-	15	-
	DI water	-	-	-	Rinse
	Dry	N_2	-	-	Blow

4.7 กระบวนการอ๊อกซิเดชั่น (Oxidation)

ภายหลังจากขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนเรียบร้อยแล้ว จึงนำมาสร้างชั้นซิลิกอนไดอ๊อกไซด์ ขึ้นปกคลุมทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแผ่น ดังรูปที่ 4.3-1



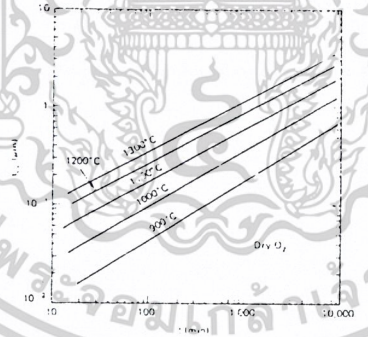
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงภาคตัดขวางของแผ่นซิลิกอนที่ผ่านกระบวนการอ๊อกซิเดชั่น

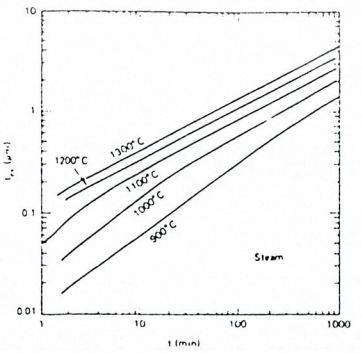
ชั้นซิลิกอนไดอ๊อกไซด์ (SiO_2) จะใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 อย่าง คือ

1. เพื่อเป็นหน้ากากป้องกันการแพร่ (diffusion mask) ใช้ขั้นตอนการแพร่ชั้นสารเจือ
2. เพื่อป้องกันผิวหน้าแผ่นซิลิกอนเพื่อป้องกันอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

ชั้นซิลิกอนไดอ๊อกไซด์ที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลักดังกล่าว โดยทั่วไปจะมีความหนาอยู่ในช่วง 5,000 - 10,000 Å กระบวนการสร้างชั้นอ๊อกไซด์หนานี้จะเรียกว่า กระบวนการอ๊อกซิเดชั่นด้วยความร้อน (thermal oxidation process) โดยการให้แผ่นซิลิกอนทำปฏิกริยากับอ๊อกซิเจน (O_2) หรือบรรยากาศที่มีไอน้ำ (O_2+H_2O) ที่อุณหภูมิสูงในช่วง 950 ถึง 1,150 °C อัตราการเกิดอ๊อกไซด์ที่ได้จากกระบวนการแบบชื้นจะเร็วกว่าอัตราการเกิดที่ได้จากกระบวนการแบบแห้งถึง 4 เท่า เนื่องจากขนาดของโมเลกุล H_2O เล็กกว่าของโมเลกุล O_2 ครึ่งหนึ่ง ดังนั้น อัตราการแพร่ของ H_2O ไปยังชั้น SiO_2 จึงมากกว่าอัตราการแพร่ของ O_2 แม้ว่าอัตราการเกิดอ๊อกไซด์ด้วย H_2O จะมากกว่า O_2 แต่อ๊อกไซด์แบบแห้งจะมีความหนาแน่นของโครงสร้างอ๊อกไซด์สูงกว่าแบบชื้น กระบวนการอ๊อกซิเดชั่นทั่วๆไปจะใช้ "แห้ง-ชื้น-แห้ง" โดยเริ่มต้นการสร้างชั้นอ๊อกไซด์แบบแห้ง จากนั้นจึงสร้างชั้นอ๊อกไซด์แบบชื้นเพื่อให้ชั้นอ๊อกไซด์หนาขึ้น เนื่องจากการสร้างชั้นอ๊อกไซด์แบบชื้นจะสร้างได้เร็วกว่า และสร้างชั้นอ๊อกไซด์แบบแห้งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ชั้นไอกอบอ๊อกไซด์แสดงดังรูปที่ 4.3-3



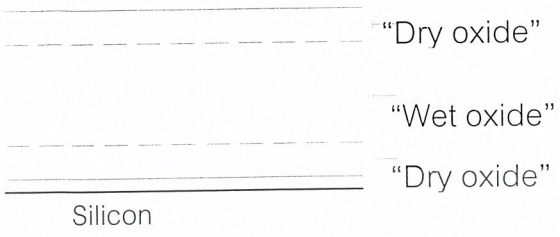
(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาอ๊อกไซด์กับเวลาในการอ๊อกซิเดชั่น
(ก) กระบวนการแบบแห้ง (ข) กระบวนการแบบชื้น (95 °C H_2O)



รูปที่ 4.9แสดงชั้นอ๊อกไซด์ประกอบ "แห้ง-ชื้น-แห้ง"

ในกระบวนการสร้างวงจรรวมจะมีการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ 2 แบบ คือ ชั้นอ๊อกไซด์หนา (thick oxide layer) และชั้นเกทอ๊อกไซด์ (gate oxide layer) ในกระบวนการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ทั้ง 2 แบบ แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงขั้นตอนกระบวนการสร้างชั้นอ๊อกไซด์หนา

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (°C)	Time (mins)	Note
Oxidation	Dry	O_2 1200	1150	240	-
	Wet	O_2 1000	1150	60	H_2O 85-90 °C
	Dry	O_2 1200	1150	60	-

ตารางที่ 4.3 แสดงขั้นตอนกระบวนการสร้างชั้นเกทอ๊อกไซด์

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (°C)	Time (mins)	Note
Oxidation	Dry	O_2 1200	980	120	-
	Dry	N_2 1000	980	10	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 กระบวนการโฟโตลิโทรกราฟฟี (Photolithography)

ภายหลังการอ๊อกซิเดชั่นแผ่นผลึกซิลิกอนแล้ว ชั้นของ SiO_2 จะเคลือบผิวซิลิกอนทั้งหมด เพื่อป้องกันการแพร่สารเจือเข้าไปในเนื้อซิลิกอน ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำต่างๆ จึงจำเป็นต้องเปิดช่องอ๊อกไซด์ออก ซึ่งเรียกว่า กระบวนการทางแสง (photolithography) โดยกระบวนการดังกล่าวนี้ มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำวงจรรวม ซึ่งจำเป็นต้องมีการเปิดช่องอ๊อกไซด์หลายครั้ง

การสร้างลวดลายฟิล์มเพื่อการเปิดช่องอ๊อกไซด์ ต้องใช้น้ำยาไวแสง (photo resist) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำยาไวแสง 2 ชนิด คือ

1. น้ำยาไวแสงเชิงลบ (negative photo resist) ได้แก่ DTFR way coat
2. น้ำยาไวแสงเชิงบวก (positive photo resist) ได้แก่ AZ -1350

ซึ่งน้ำยาไวแสงทั้งสองชนิดนี้ ให้ผลที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.4-1 ซึ่งภายหลังที่แผ่นซิลิ กอนถูกสร้างชั้นอ๊อกไซด์แล้วทำการเคลือบน้ำยาไวแสงที่ผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนด้วยเครื่องสปินเนอร์ (spinner) โดยใช้ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที และได้ฟิล์มหนา 1,000 Å จากนั้นจึงทำการอบฟิล์มครั้งแรก (prebake) ที่อุณหภูมิ 80-95 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำแผ่นซิลิกอนไปทำการจัดวางมาส์กด้วยกระจกมาส์กตามลวดลายที่ต้องการ แล้วจึงฉายด้วยแสงอุลตร้าไวโอเลต เป็นเวลา 10 วินาที ด้วยเครื่องจัดวางมาส์ก (mask alignner) หลังจากฉายแสงแล้วจึงทำการสร้างลวดลายฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างลวดลายฟิล์ม (developer) แล้วจึงทำการอบแห้งฟิล์มครั้งหลังอีกครั้ง (postbake) ที่อุณหภูมิ 80-95 °C เป็นเวลา 30 นาที ทำการทาด้านหลังแผ่นและอบแห้งอีกครั้ง จากนั้นจึงนำไปทำการกัด (etching) ซึ่งเป็นการลอกชั้นอ๊อกไซด์ตรงบริเวณที่ไม่มีฟิล์มคลุมอยู่ โดยทำการกัดชั้นอ๊อกไซด์ในสารละลายบัฟเฟอร์ (bufffer) ที่มี $HF : NH_4F = 1:6$ และมีอัตราการกัดประมาณ 1,000 Å/ นาที จนกระทั่งชั้นอ๊อกไซด์ถูกกัดออกจนหมด และขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการโฟโตลิโทรกราฟฟีคือ การลอกฟิล์ม (photo resist & stripping) ซึ่งน้ำยาไวแสงเชิงบวก เช่น AZ-1350 จะลอกออกได้ง่ายในสารละลายออร์แกนนิก เช่น อาซิโตน ส่วนน้ำยาไวแสงเชิงลบลอกด้วยการต้มในกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ภายหลังจากการลอกฟิล์มแล้ว ต้องทำความสะอาดแผ่นซิลิกอนอีกครั้ง ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการอื่นๆต่อไป โดยรูปที่ 4.4-2 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการโฟโตลิโทรกราฟฟี ตั้งแต่การเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์ม การสร้างลวดลายบนฟิล์ม การกัดชั้นอ๊อกไซด์ และการลอกฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.5 แสดงถึงขั้นตอนของกระบวนการโฟโต้ลิโทรกราฟฟี กระบวนการกัดชั้นอ๊อกไซด์ กระบวนการลอกฟิล์มเชิงบวกและเชิงลบ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการโฟโต้ลิโทรกราฟฟี

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time	Note
Photolitho-graphy	Spin (5000rpm)	-	-	30 sec	way coat
	Prebake	-	95	30 mins	-
	Expose	-	-	10 sec	UV light
Develope	Xyiene	-	-	90 sec	2 times
	Isopropyl Alcohol	-	-	30 sec	3 times
	DI water	-	-	-	Rinse
	Dry	N_2	-	-	blow
Back coating	Back coating	-	-		way coat
	Postbake	-	95	30 mins	-

ตารางที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการกัดชั้นอ๊อกไซด์

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time	Note
Etching	Buffer	-	-	5 mins	1000 Å/min
	DI water	-	-	-	Rinse
	Dry	N_2	-	-	blow

ตารางที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการลอกฟิล์มน้ำยาไวแสงเชิงบวก

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time (mins)	Note

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photo resist	Acetone	-	-	1	2 times
strip	DI water	-	-	-	Rinse
	Dry	N_2	-	-	blow

ตารางที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการลอกฟิล์มน้ำยาไวแสงเชิงลบ

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time (mins)	Note
Photo resist	H_2SO_4	-	hot	5	2 times
strip	DI water	-	-		
	DI water	-	hot	5	2 times
	DI water	-	-	-	Rinse
	Dry	N_2	-	-	blow

4.9 กระบวนการแพร่สารเจือ (Deposition)

กระบวนการแพร่สารเจือเป็นกระบวนการแพร่สารเจือลงในแผ่นฐานรอง ด้วยวิธีการแพร่ที่อุณหภูมิสูง ทำให้อะตอมจากแหล่งสารเจือ (source) เคลื่อนที่ไปยังผลึกแผ่นฐานรอง และถ้าความเข้มข้นอะตอมของสารเจือสูงกว่าของแผ่นฐานรอง ทำให้เกิดเป็นรอยต่อพี-เอ็นขึ้น

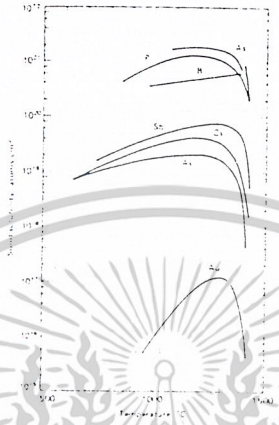
ขั้นตอนของการแพร่สารเจือ ทำโดยการกระตุ้นแหล่งสารเจือที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดเป็นบรรยากาศของสารเจือ ซึ่งแหล่งสารเจือโบรอน (Boron source) ใช้ในการสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดพี และใช้ฟอสฟอรัส ในการสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เมื่อนำแผ่นฐานรองเข้าไปยังบรรยากาศของสารเจือ อะตอมสารเจือจะเคลื่อนที่ไปยังแผ่นฐานรอง และแพร่เข้าไปยังผลึกฐานรอง ความเข้มข้นของบรรยากาศอะตอม ความดัน อุณหภูมิ ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ในการแพร่ มีอิทธิพลต่อความลึกและความเข้มข้นของการแพร่ ในกระบวนการแพร่สารเจือ แบ่งได้เป็นสองขั้นตอนคือ การแพร่สารเจือขั้นต้น (Pre-deposition) และการขับลึก (Drive-in)

4.9.1 การแพร่สารเจือขั้นต้น

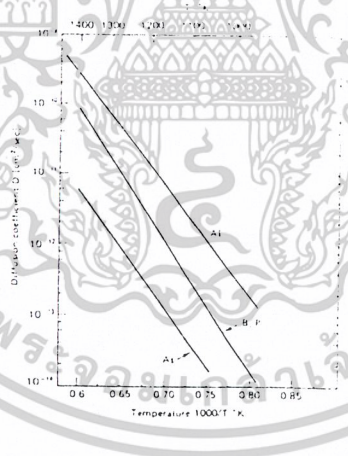
การแพร่สารเจือขั้นต้นในอุณหภูมิสูง เป็นการควบคุมปริมาณสารเจือ โดยการควบคุมเวลาและอุณหภูมิในการแพร่สารเจือ โดยที่อุณหภูมิหนึ่งๆจะมีปริมาณสารเจือสูงสุดในการแพร่เข้าไปยังผลึกฐานรอง ซึ่งเรียกการกำหนดปริมาณนี้ว่า ความสามารถในการแพร่เข้าในของแข็ง (solid solubility) และปริมาณสารเจือที่ผิวผลึกฐานรอง จะเรียกว่า ความเข้มข้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(surface concentration: N_S) โดยความสัมพันธ์ของค่า solid solubility กับอุณหภูมิในการแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



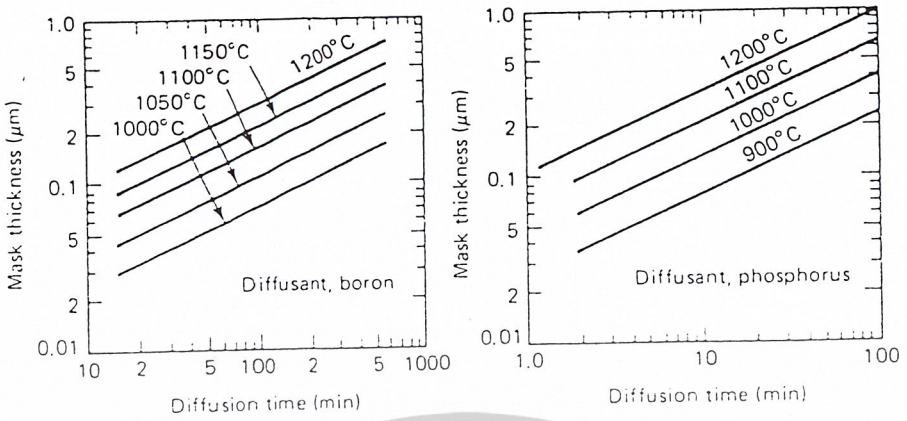
รูปที่ 4.10 ค่า solid solubility ของธาตุต่างๆ ในซิลิกอน



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กับอุณหภูมิ

สำหรับความสามารถในการแพร่ของสารเจือ เช่น As,P หรือ B สามารถแพร่ในชั้นซิลิกอนไดอ๊อกไซด์ได้น้อยกว่าในผลึกฐานรองซิลิกอน ดังนั้นชั้นซิลิกอนไดอ๊อกไซด์ จึงถูกใช้เป็นหน้ากาก (mask) เพื่อป้องกันการแพร่ที่ผิวหน้าของผลึกฐานรอง โดยความหนาของชั้นซิลิกอนไดอ๊อกไซด์ ที่ใช้พิจารณาจากอุณหภูมิ เวลา และสารเจือที่ใช้ในการแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความหนาของชั้น SiO_2 ที่ใช้เพื่อป้องกันการแพร่ของโบรอนและฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.8 ขั้นตอนกระบวนการ Phosphorus Deposition

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^oC)	Time	Note
Deposition	Deposition	N_2 700	1050	12 mins	-

ตารางที่ 4.9 ขั้นตอนกระบวนการ Boron Deposition

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^oC)	Time	Note
Deposition	Deposition	N_2 700	950	30 mins	-
-	-	O_2 1000	950	5 mins	Strip BSG

ตารางที่ 4.10 ขั้นตอนกระบวนการ P-well Deposition

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^oC)	Time	Note
Activation	Activate BN	O_2 1000	850	30 mins	-
Stabilization	-	N_2 700	850	30 mins	-
Deposition	Deposite BN	N_2 700	850	5 mins	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2 การขับลึก

เป็นขั้นตอนที่ทำให้สารเจือบริเวณผิวที่ได้จากขั้นตอนการแพร่ขั้นต้น แพร่ลงไปในเนื้อสารมากขึ้น ความหนาแน่นอะตอมสารเจือที่แพร่เข้าไปในแผ่นผลึกซิลิกอน

ตารางที่ 4.11 ขั้นตอนกระบวนการ Phosphorus Drive in

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time (mins)	Note
Drive in	Drive in	O_2 1200	1000	15	-
		O_2 1000	1000	20	H_2O 85-90 ^{o}C
		O_2 1200	1000	15	-

ตารางที่ 4.12 ขั้นตอนกระบวนการ Boron Drive in

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time (mins)	Note
Drive in	Drive in	O_2 1200	1000	30	-
		O_2 1000	1000	30	H_2O 85-90 ^{o}C
		O_2 1200	1000	30	-

ตารางที่ 4.13 ขั้นตอนกระบวนการ P-well Drive in

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{o}C)	Time (hrs.)	Note
Drive in	Drive in	O_2 1000	1050	8	-
		N_2 1000	1050	6	-

4.10 กระบวนการเมตัลไลเซชั่น (Metalization)

ภายหลังจากสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำด้วยกระบวนการแพร่สารเจือด้วยความร้อน ตามลำดับขั้นตอนต่างๆจนกระทั่งได้ชิ้นส่วนต่างๆของอุปกรณ์ แต่ส่วนต่างๆของอุปกรณ์เหล่านี้จะยังคงแยกกันอยู่ในสภาพที่ยังไม่สามารถใช้งานทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเชื่อมต่อส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอุปกรณ์เข้าด้วยกันตามรูปแบบโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ทำงานตามหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ ขั้นตอนการเชื่อมต่อส่วนต่างๆของอุปกรณ์ด้วยโลหะเรียกว่า กระบวนการเมตัลไลเซชั่น ซึ่งกระบวนการนี้สามารถสร้างรอยต่อโอห์มมิค (ohmic contact) ซึ่งเป็นแถบโลหะที่ใช้ในการต่อขั้วไฟฟ้า

สำหรับการเลือกโลหะที่ใช้เคลือบบนแผ่นซิลิกอน เพื่อให้เป็นรอยสัมผัสโอห์มมิคหรือแถบความนำต่อเชื่อมภายใน (Interconnector) ของวงจรรวม ควรมีคุณสมบัติ เช่น ทำให้รอยสัมผัสกับซิลิกอนมีค่าความต้านทานต่ำ มีความนำไฟฟ้าสูง ติดแน่นกับผิวของซิลิกอนไดอ๊อกไซด์ และสามารถต่อเข้ากับลวดความนำภายนอกได้ดี ซึ่งโลหะที่นิยมใช้ ได้แก่ อลูมิเนียม (Al) ทอง (Au) และเงิน (Ag) เป็นต้น

เทคนิคในกระบวนการเมตัลไลเซชั่น ใช้เทคนิคการเคลือบสาร ในระบบสุญญากาศ ซึ่งมีเทคนิคหลายอย่างด้วยกัน แต่ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการระเหยด้วยไส้ความร้อน (Filament Evaporation) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สิ้นเปลืองน้อย ไม่มีผลของการแพร่กระจายออกซิเจน หลังจากทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมบนแผ่นซิลิกอน และทำการโฟโตลิโทรกราฟฟีแล้ว จะได้ลวดลายของวงจรรวมตามที่ออกแบบไว้ โดยอลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นแถบตัวนำเชื่อมต่อ และก่อให้เกิดรอยสัมผัสโอห์มมิคขึ้น แต่รอยสัมผัสนี้อาจไม่สมบูรณ์เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องทำการซินเตอร์ริ่ง (sintering) เพื่อให้รอยสัมผัสเป็นโอห์มมิคที่สมบูรณ์ และไม่เปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อมโดยง่าย

กระบวนการซินเตอร์ริ่ง ทำโดยการนำแผ่นซิลิกอนภายหลังทำการเคลือบด้วยโลหะ ไว้ในบรรยากาศไนโตรเจน ดังมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.6-1

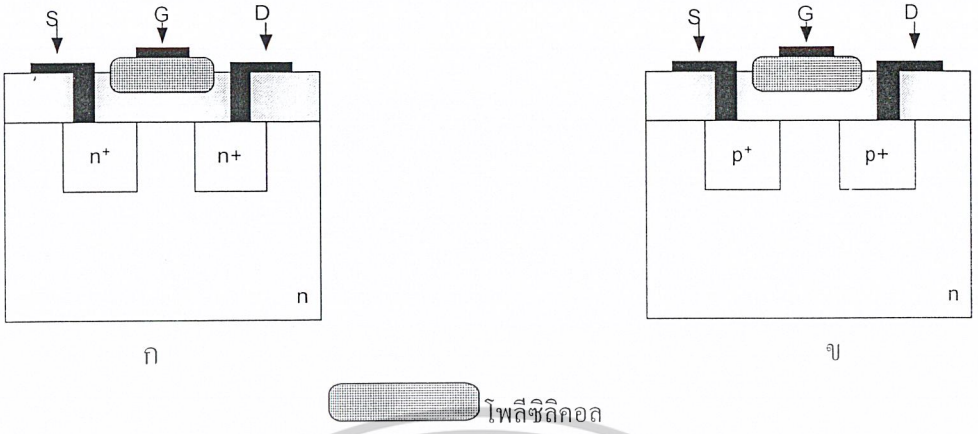
ตารางที่ 4.14 ขั้นตอนการ sintering

Process	Detail	Gas rate (cc/min)	Temp (^{0}C)	Time (mins)	Note
Sintering	Sintering	N_2 1000	480	12	-

4.11 มอสทรานซิสเตอร์แบบโพลีซิลิคอนเกท (Silicon gate MOS Transistor : SIGFET)

ลักษณะโครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์แบบ โพลีซิลิคอนเกทอย่างธรรมดาของทั้งกรณี n-ch และ p-ch แสดงได้ดังในรูปที่ 4.17 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์แบบเกทโลหะ ต่างกันเฉพาะเกทที่ใช้โพลิซิลิคอนแทนอะลูมิเนียม

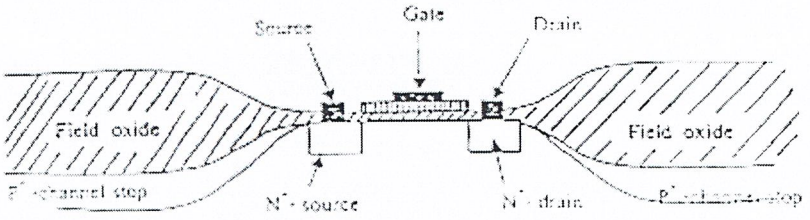
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 โครงสร้างพื้นฐานของมอสทรานซิสเตอร์ชนิดเกทเป็นโพลีซิลิคอน (ก)แบบเอ็นแชนแนลและ (ข)แบบพีแชนแนล

อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันนี้มอสทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในวงจรรวมขนาดใหญ่เช่น VLSI Chip ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นมอสทรานซิสเตอร์แบบโพลีเกทชนิดที่มีโครงสร้างเป็นแลล LOCOS (Local Oxidation on Silicon) ดังในรูปที่ 4.18 ซึ่งใช้ได้จากกระบวนการสร้างแบบLOCOS (LOCOS Process) ในกรณีนี้ทำให้สามารถลดขนาดของมอสทรานซิสเตอร์ลงได้เป็นอย่างมาก เช่น มีขนาดความยาวของแชนแนลน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร

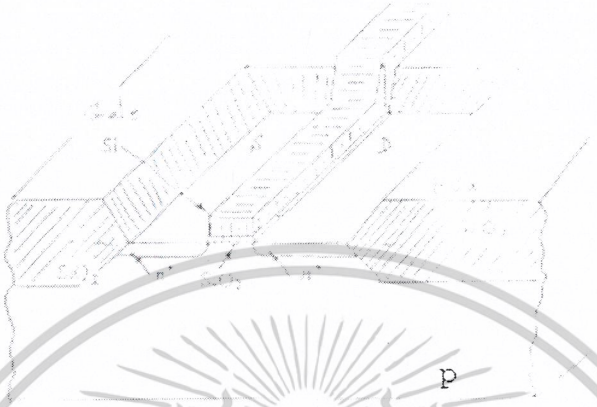
ในโครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์แบบ LOCOS (Local Oxidation on Silicon) ดังในรูปที่ 4.14 ส่วนเกทจะใช้ ชั้นของโพลีซิลิคอน (Poly Silicon) แทนโลหะอะลูมิเนียม มอสทรานซิสเตอร์แต่ละตัว จะถูกแยกจากกันด้วยชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์หนา (ราว 8000 อังสตรอม) ที่เรียกว่า "Field oxid" (FOX) ชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์หนานี้ จะถูกสร้างให้ล้อมรอบตัวมอสทรานซิสเตอร์แต่ละตัวไว้ และใต้ชั้นของ Field oxide จะมีชั้นของ P^+ channel stop ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดชั้นกลับ (Inversion layer) ที่อาจจะเกิดขึ้นได้



รูปที่ 4.14 โครงสร้างของมอสทรานซิสเตอร์แบบ LOCOS ที่มีเกทโพลีซิลิคอนชนิด n-ch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

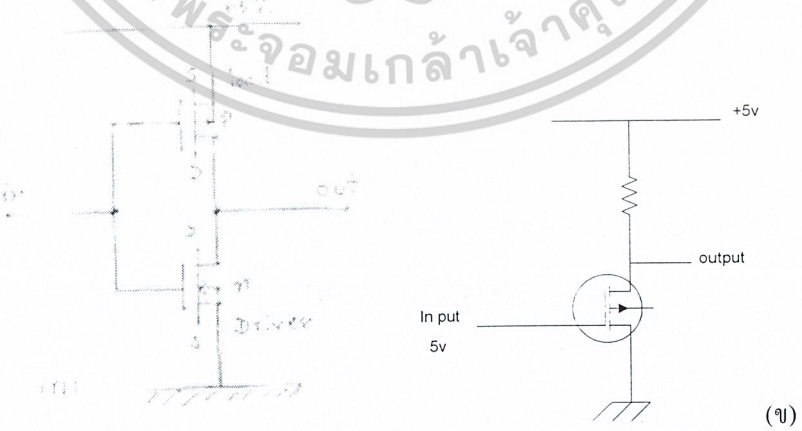
ตัวอย่างลักษณะรูปร่างและลวดลายของมอสทรานซิสเตอร์ แบบ LOCOS ที่ใช้กันทั่วๆไป แสดงได้ดังในรูปที่ 4.19 ซึ่งอาจจะเป็นชนิด N-ch และ P-ch ก็ได้



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างรูปร่าง และลวดลายของมอสทรานซิสเตอร์แบบ LOCOS

4.11.1 คุณสมบัติของวงจรคอมพลีเม็นทารี่ (CMOS Characteristics)

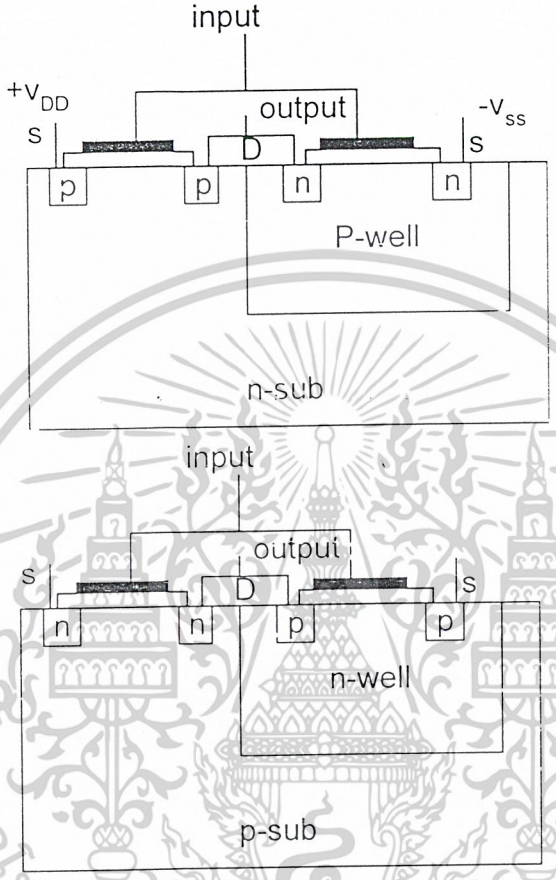
วงจรคอมพลีเม็นทารี่ (Complementary MOS หรือ CMOS) หรือ "วงจรเติมเต็ม" หรือบางทีเรียกสั้นๆ ว่า "วงจรซีมอส" (CMOS) เป็นการนำเอามอสทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด n-ch และ p-ch มาต่อร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 4.23(ก) วงจรลักษณะเช่นนี้จะมีคุณสมบัติที่เด่นที่สุดก็คือ การประหยัดพลังงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากประการหนึ่งของวงจรรวม และเป็นคุณสมบัติที่เหนือกว่าวงจรรวมแบบไบโพล่าร์ (Bipolar IC)



รูปที่ 4.16 (ก) วงจรอินเตอร์แบบซีมอส และ (ข) วงจรอินเวอเตอร์แบบเอ็นมอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติโครงสร้างของวงจรรวมแบบซีมอส มีได้ 2 แบบคือ 1. แบบบ่อแยกชนิดเอ็น (n-well CMOS IC) และ 2. แบบบ่อแยกชนิดพี (p-well CMOS IC)ดังแสดงในรูปที่ 4.17(ก) และ (ข) ตามลำดับ แต่โดยทั่วไปวงจรรวมซีมอสแบบบ่อแยกชนิดพีจะเป็นที่นิยมกัน



รูปที่ 4.17 ลักษณะโครงสร้างของวงจรซีมอสแบบบ่อแยกชนิดพี และบ่อแยกชนิดเอ็น

4.11.2 เทคโนโลยีวงจรรวมของมอสแบบเกทซิลิคอน (Silicon gate Technology)

เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้สำหรับการสร้างวงจรรวมชนิดมอสในระดับ LSI หรือ VLSI ซึ่งในวงจรจะประกอบด้วย มอสทรานซิสเตอร์ชนิดที่มีส่วนเกทเป็นโพลีซิลิคอน (Poly Silicon) อาจเรียกสั้นๆ ว่า โพลีเกท หรือซิลิคอนเกท จัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้วงจรรวมแบบนี้มีประสิทธิภาพและคุณภาพดีกว่าแบบเกทโลหะ กล่าวคือ สามารถสร้างมอสทรานวิสเตอร์ที่ มีขนาดระดับไมโครเมตรได้ จึงทำให้ได้วงจรรวม ที่มีความหนาแน่นของตัวอุปกรณ์สูงหรือก็คือเป็น วงจรรวมที่มีคุณสมบัติ high density และนอกจากนี้แล้วยังทำให้ได้วงจรรวมที่มีความเร็วในการทำงานสูง (high speed) อีกด้วย และถือเป็นเทคโนโลยีมาตรฐานสำหรับการผลิตวงจรรวมของมอส โดยเฉพาะวงจรรวมระดับ VLSI ซึ่งเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ที่เป็นแบบซิลิคอนเกทและเป็นโครงสร้าง LOCOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์หนาหรือ Thick oxide ถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฟิลด์ออกไซด์ (Field Oxide) จะทำหน้าที่แยกส่วนระหว่างตัวทรานซิสเตอร์ (Tr Isolation) ที่อยู่ใกล้กัน และส่วน p^+ ทำหน้าที่เป็นตัวตัดแชนแนล (channel stop) เนื่องจากถ้าหากด้านบนของบริเวณนี้มีแถบโลหะอะลูมิเนียม พาดผ่านอาจจะทำให้มีสนามไฟฟ้าตกคร่อมออกไซด์ และเกิดการเหนี่ยวนำประจุกระทั่งเกิดเป็นแชนแนล หรือช่องทางเดินกระแส ต่อเชื่อมมอสทรานซิสเตอร์ที่อยู่ใกล้กันได้ จึงทำให้คล้ายกับมีทรานซิสเตอร์ ตัวใหม่เกิดขึ้นซึ่งเรียกว่า Field Transistor และถือว่าเป็นปรสิตทรานซิสเตอร์ (Parasitic Transistor) ดังนั้นส่วนของ p+ จึงเป็นส่วนที่ตัดแชนแนลออกจากกันหรือทำหน้าที่เป็น Channel stop ทำให้แชนแนลที่เกิดขึ้นไม่สามารถต่อเชื่อมระหว่างทรานซิสเตอร์ที่อยู่ใกล้กันได้ หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าส่วน p+ จะช่วยเพิ่มค่าแรงดันขีดเริ่ม (V_T : Threshold Voltage) ของฟิลด์ทรานซิสเตอร์ ให้มีค่าสูงๆ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ฟิลด์ทรานซิสเตอร์ทำงาน การสร้างส่วน P^+ นี้สามารถทำได้ด้วยการ ฝังไอออนหรือ อิออนอิมพลานเตชั่น Ion Implantation ของโบรอนเข้าไปในแผ่นผลึกชนิด P

4.11.3 กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบ LOCOS ซีมอส ชนิดซิลิคอนเกท

Fabrication Process of LOCOS C-MOS Si Gate

กระบวนการสร้างนี้สามารถกล่าวสรุปลำดับขั้นตอนของการสร้างได้ดังแสดงในรูปที่ 5.6 โดยดำเนินการเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1) Initial wafer เริ่มจากแผ่นผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น(n-Type Si) ซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานรองหรือ Substrate

2) Isolation ทำการแยกส่วนของแต่ละอุปกรณ์ โดย

เริ่มทำการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ด้วยวิธี Thermal Oxidation

ใช้กระบวนการโฟโต้ลิโธกราฟี เปิดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์รอบๆ บริเวณที่จะสร้าง

p-well โดยใช้โฟโต้มาส์กที่ 1 ซึ่งเรียกว่า "ฟิลด์มาส์ก" และขั้นตอนนี้นิยมใช้วิธีการ Wet etching หลังจากสกัดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์แล้ว ชั้นของน้ำยาไวแสงที่อยู่เหนือชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ จะถูกปล่อยทิ้งไว้ เพื่อเป็นหน้ากากป้องกันการกัดออกไซด์ในกระบวนการ etching

ค) ทำการฝังอิออนอะตอมสารเจือชนิดพี เพื่อสร้างส่วน p-well ด้วยกระบวนการฝังอิออน โดยใช้อะตอมโบรอนซึ่งอะตอมของโบรอนจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูง ด้วยสนามไฟฟ้า แล้วถูก Implant ให้ทะลุผ่านชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ เข้าไปในผลึกซิลิกอนฐานรองชนิดเอ็น ความเร็วสูง ด้วยสนามไฟฟ้า แล้วถูก Implant ให้ทะลุผ่านชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ เข้าไปในผลึกซิลิกอนฐานรองชนิดเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ p-well ที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่ เป็นบ่อฐานรองชนิดพี หรือที่เรียกว่า p-well เป็นบ่อแยกส่วนระหว่างมอสทรานซิสเตอร์ 2 ชนิด

จ) ลอกชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ผิวแผ่นผลึกออกให้หมด จากนั้นทำการสร้างซิลิคอนไดออกไซด์ ที่มีความหนาประมาณเพียง 15 nm ด้วยวิธี Dry Oxidation แล้วทำการสร้างชั้นซิลิคอนไนไตรด์ ทับบนชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์อีกครั้งหนึ่ง

ฉ) ทำการกัดซิลิคอนไนไตรด์ (Silicon nitride : Si_3Ni_4)ด้วยวิธี CVD ให้เป็นช่องด้วยวิธีโฟโต้ลิโธกราฟี แล้วทำการลอกซิลิคอนไนไตรด์ส่วนที่ไม่ต้องการออก จากนั้นสร้างฟิล์มขึ้นมาคลุมซิลิคอนไนไตรด์ในส่วน p-well เพื่อเตรียมการแพร่สารเจือ หลังจากนั้นแพร่สารเจือชนิดเอ็นด้วยวิธีฟอสฟอรัส Phosphorus Implantation

ช) ทำการลอกฟิล์มที่คลุมซิลิคอนไนไตรด์ ทางฝั่ง p-well ออก แล้วสร้างฟิล์มคลุมซิลิคอนไนไตรด์ ด้านที่เป็นฐานรอง จากนั้นทำการแพร่สารเจือด้วยวิธี Boron Implantiation หลังจากนั้นทำการลอกฟิล์มออกจนหมด

ซ) ทำการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา (Field Oxide) ด้วยกระบวนการออกซิเดชั่น ชั้นของออกไซด์นี้ถูกเรียกว่า "LOCOS"(Local Oxidation on Silicon) มีความหนาราว 0.85-1 ไมโครเมตร และจะเกิดขึ้นเหนือบริเวณชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์เดิม ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีชั้นซิลิคอนไนไตรด์ปกคลุมอยู่ ดังนั้นชั้นของ channel stop จะอยู่ใต้ชั้นของ LOCOS oxide ทุกๆ ที่ ซึ่งสิ่งนี้เป็นข้อดีของกระบวนการ LOCOS นอกจากนี้จะพบว่า ชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ที่บริเวณริมหรือขอบของส่วนซิลิคอนไนไตรด์ จะขยายยื่นเข้าไปใต้ชั้นของซิลิคอนไนไตรด์ ทำให้ลักษณะที่เรียกว่า "Bird's beak" หรือ "จะงอยปากนก"

ฌ) ทำการลอกชั้นของซิลิคอนไนไตรด์ออก โดยใช้วิธีการ wet etching ด้วยกรดฟอสฟอริค(H_3PO_4) ในบริเวณที่ชั้นซิลิคอนไนไตรด์ถูกลอกออกนี้ จะเป็นบริเวณที่มอสทรานซิสเตอร์จะถูกสร้างขึ้น

ซึ่งในขณะนี้จะเห็นได้ว่า ส่วนหรือบริเวณที่จะสร้างมอสทรานซิสเตอร์ ได้ถูกเตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว โดยมีชั้นของฟิลด์ออกไซด์ (Field Oxide) หรือ LOCOS Oxide ที่เป็นซิลิคอนไดออกไซด์หนา (Thick Oxide) ทำหน้าที่เป็นส่วนแยก หรือ Isolation region โดยล้อมรอบบริเวณนี้อยู่

ขั้นตอนต่อไปก็คือการสร้างตัวมอสทรานซิสเตอร์ ในบริเวณที่เตรียมไว้นี้ ซึ่งเทคโนโลยีแบบเกทโลหะโดยทั่วไป ปกติจะสร้างส่วนซอสและเดรนก่อนแล้วจึงสร้างส่วนเกท แต่กรณีของเทคโนโลยีแบบโพลีเกท จะสร้างส่วนเกทก่อน แล้วจึงสร้างส่วน ซอสและเดรนทีหลัง ซึ่งเราเรียกเทคนิคนี้ว่า "Self alignment" ดังนั้น กระบวนการต่อไปก็คือการสร้างส่วนเกทซึ่งเป็นชั้นของโพลีซิลิคอน (Poly Silicon Gate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11.4Gate Fabrication เป็นกระบวนการสร้างส่วนเกท โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

ก) ทำการสกัดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีอยู่เดิมบริเวณส่วนเกท ออกให้หมดโดยจุ่มลงในกรดกัดออกไซด์ เนื่องจากความหนาของซิลิคอนไดออกไซด์บริเวณเกท จะบางกว่าชั้นของออกไซด์บริเวณฟิลด์ออกไซด์ ดังนั้นออกไซด์ที่เกทจึงถูกสกัดออกไปได้โดยง่าย ส่วนบริเวณฟิลด์ออกไซด์ จะยังคงเหลืออยู่

ข) ทำการสร้างชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ ที่บริเวณเกทขึ้นมาใหม่ ด้วยวิธี Dry Oxidation ชั้นของเกทออกไซด์นี้ต้องสภาพเป็นชนวนที่ดี มีความหนาสม่ำเสมอตลอด มีความ บริสทธิ์สูง หรือที่เรียกว่า Defect Free and High Quality ซึ่งขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากที่สุดของกระบวนการสร้างมอสทรานซิสเตอร์ หรือวงจรรวมแบบซีมอส เพราะคุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงานของมอสทรานซิสเตอร์ จะขึ้นกับคุณภาพของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่เกทนี้ โดยปกติชั้นของเกทออกไซด์ จะมีความหนาราวในช่วง 250-700 อังสตรอม ในกรณีที่มีการควบคุมแรงดันขีดเริ่ม (Threshold voltage adjustment) ซึ่งนิยมใช้วิธีการฝังอิออนอะตอมสารเจือ ผ่านชั้นออกไซด์บางที่ส่วนเกท หลังจากการฝังอิอนแล้ว ชั้นออกไซด์นี้จะถูกลอกทิ้ง เพราะอาจจะตอบแปลกปลอมอื่นเช่น เหล็ก หรือทองแดงปะปนอยู่ ดังนั้นชั้นของออกไซด์ที่สะอาดจะถูกสร้างขึ้นมาใหม่อีกครั้งหนึ่ง

ค) ทำการสร้างชั้นของโพลีซิคอน (Poly Silicon) เพื่อทำหน้าที่เป็นส่วนเกท โดยกระบวนการ CVD จะทำให้ได้ชั้นของโพลีซิลิคอนเคลือบอยู่เต็มผิวหน้าของผลึก ความหนาของชั้นโพลีซิลิคอนอยู่ในช่วง 0.5-1 ไมโครเมตร

ง) ทำการแพร่อะตอมสารเจือชนิดเอ็นของฟอสฟอรัส เข้าไปในชั้นของโพลีซิลิคอน เพื่อเพิ่มค่าความนำไฟฟ้าของชั้น โพลีซิลิคอนเกทให้สูงขึ้น โดยมีค่าสภาพต้านทานแผ่น หรือ Sheet resistivity ราว 20-50 โอม นอกจากนั้นโพลีซิลิคอนจะเป็นส่วนเกทแล้ว ยังสามารถใช้เป็นชั้น Interconnection layer ต่อเชื่อมอุปกรณ์คล้ายชั้นของโลหะอีกด้วย

จ) ใช้กระบวนการโฟโต้ลิโธกราฟี ทำการสกัดชั้นของโพลีซิลิคอนเกท ให้เหลืออยู่เฉพาะส่วนที่เป็นบริเวณส่วนเกทเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11.5 Source and Drain Fabrication เป็นการสร้างส่วนของซอสและเดรนชนิดเอ็น และชนิดพี โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

ก) ทำการสร้างพีมอสทรานซิสเตอร์ โดยใช้น้ำยาไวแสง (Photo Resist) เคลือบผิวหน้าแผ่นผลึกทั้งหมด แล้วใช้ไฟโต้มาส์ก ที่เรียกว่า Negative n-select mask เปิดชั้นของน้ำยาไวแสงเฉพาะบริเวณที่จะสร้างพีมอสทรานซิสเตอร์ออก และบริเวณที่เป็นขั้วสัมผัสของท่อแยกชนิดพี โดยบริเวณบ่อแยกจะมีชั้นน้ยาไวแสงเคลือบไว้จากนั้นจึงทำการสร้างส่วนซอสและเดรนของเอ็นมอส และบริเวณขั้วสัมผัสของบ่อแยกชนิดพี (p-well contact) โดยการImplant อิออนของสารเจือชนิดพี แล้วจึงลอกน้ำยาไวแสงออกให้หมด

ข) ทำการสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ โดยใช้น้ำยาไวแสงเคลือบผิวหน้าแผ่นผลึกทั้งหมด แล้วใช้โฟโต้มาส์ก ที่เรียกว่า N- select mask เปิดชั้นของน้ำยาไวแสงเฉพาะบริเวณที่จะสร้างเอ็นมอสออก โดยบริเวณพีมอสมอสทรานซิสเตอร์ที่สร้างเสร็จแล้วจะมีชั้นน้ำยาไวแสงปกคลุมอยู่ จากนั้นจึงทำการสร้างส่วนของซอสและเดรนชนิดเอ็น โดยการ Implan อิอนของสารเจือชนิดเอ็น แล้วลอกชั้นของน้ำยาไวแสงออกทั้งหมด

4.11.6 Glass & contact เป็นการสร้างชั้น Phospho Silicate Glass หรือเรียกสั้นๆ ว่า PSG และสร้างบริเวณช่องสัมผัสให้แก่ส่วนต่างๆของอุปกรณ์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก) ทำการสร้างชั้น Phospho Silicate Glass ซึ่งเป็นชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีอะตอมฟอสฟอรัสแทรกอยู่ ชั้น PSG นี้สร้างโดยกระบวนการซีวีดี (CVD) แบบ LPCVD (Low Pressure CVD) และบางครั้งถูกเรียกว่า SILOX layer หลังจากนั้นทำการ Reflow โดยใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้ชั้นของ PSG มีการอ่อนตัว ทำให้มีผิวที่เรียบ และบริเวณที่เป็นขอบของช่องสัมผัสจะมีความมนโค้ง

ข) ใช้กระบวนการโฟโต้ลิโธกราฟี เปิดชั้นของออกไซด์ PSG บริเวณที่จะเป็นช่องสัมผัส (Contact Window) ด้วยโฟโต้มาส์ก ที่เรียกว่าคอนแท็กซ์ (Contact mast)

4.11.7 Metallization เป็นขั้นตอนของการทำขั้วโลหะ หรือแถบตัวนำ ที่ต่อเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ภายในชิป ซึ่งทำได้ดังนี้

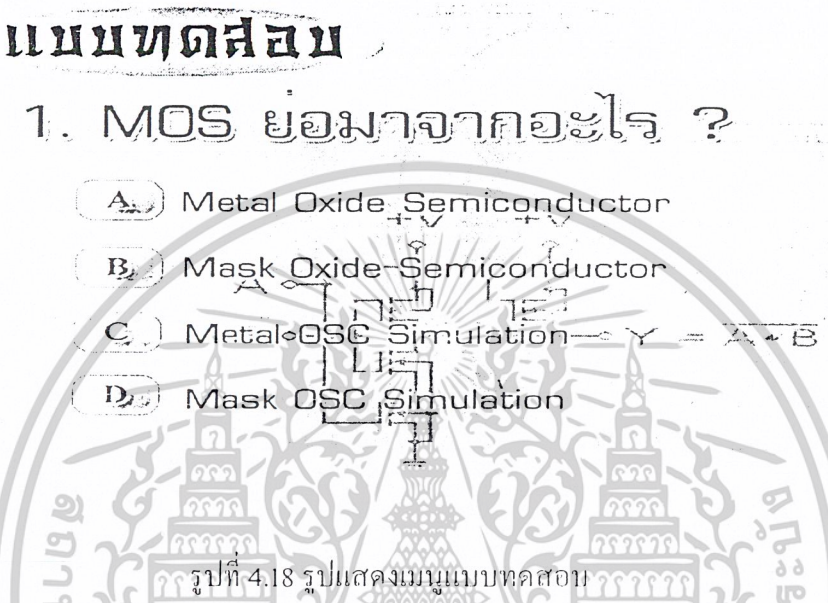
ก) ทำการสร้างชั้นของอะโลมิเนียม โดยกระบวนการสปัตเตอร์ลิ่งค์ (Sputting) หรือกระบวนการ Vacuum evaporation ก็ได้ จะทำให้ได้ชั้นของอะลูมิเนียม เคลือบอยู่ทั่วผิวของแผ่นผลึก

ข) ใช้กระบวนการโฟโต้ลิโธกรฟี สกัดอะลูมิเนียมบริเวณที่ไม่ต้องการออก โดยใช้โฟโต้มาส์ก เมตัลมาส์ก (Metal mast) ชั้นของอะลูมิเนียมจะเหลืออยู่เฉพาะบริเวณที่เป็นขั้วสัมผัส และเป็นแถบเชื่อมต่อชิ้นส่วนต่างๆ ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

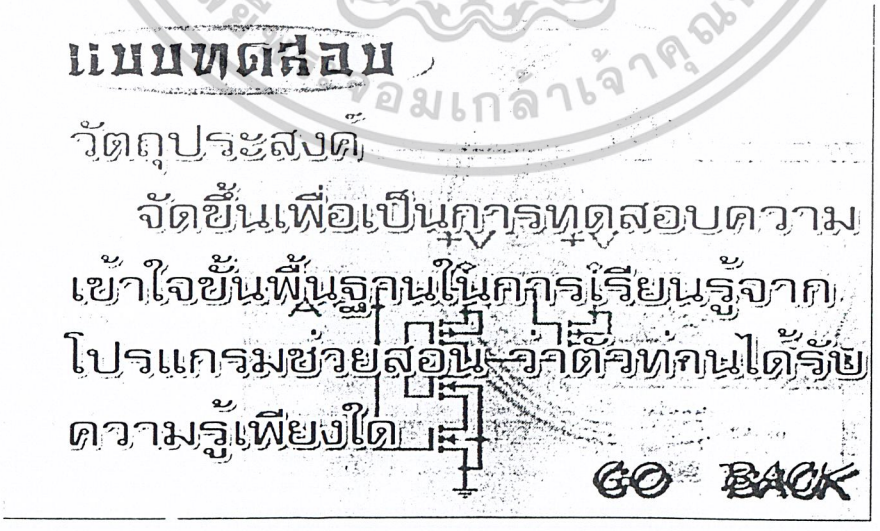
4.12 การทดสอบส่วนของแบบทดสอบ

เมื่อทำการเลื่อนเมาส์ไปในตำแหน่งของแบบทดสอบในหน้าแสดงเมนูหลักแล้วทำการคลิ๊ก ก็จะเข้าไปสู่แบบทดสอบของเรื่อง CMOS ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 รูปแสดงเมนูแบบทดสอบ

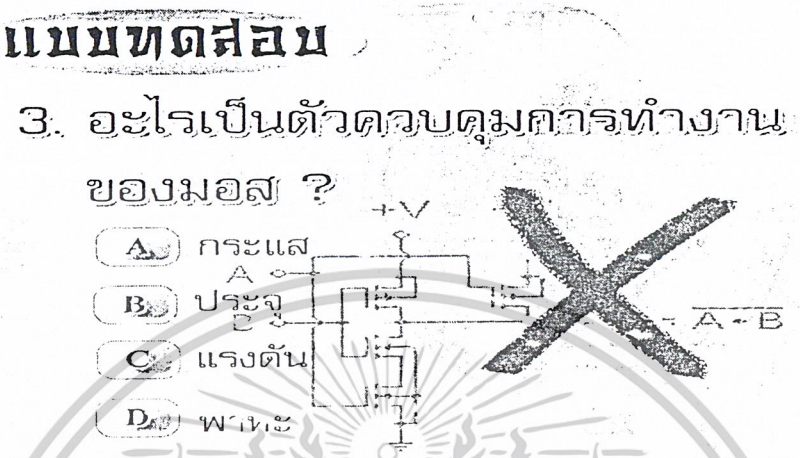
จากรูปที่ 4.18 เป็นหน้าหลักของแบบทดสอบ เพื่อทดสอบความเข้าใจในสิ่งที่ได้เรียนรู้จากที่ได้ดูมา ว่ามีความเข้าใจมากน้อยเพียงใด จะเห็นว่าหน้าของแบบทดสอบ จะมีให้เลือกอยู่ 2 ปุ่ม คือ GO และ BACK หากต้องการที่จะทดสอบก็กดที่ปุ่ม GO แต่ถ้าไม่ต้องการก็กดปุ่ม BACK



รูปที่ 4.19 รูปแสดงแบบทดสอบข้อที่ 1

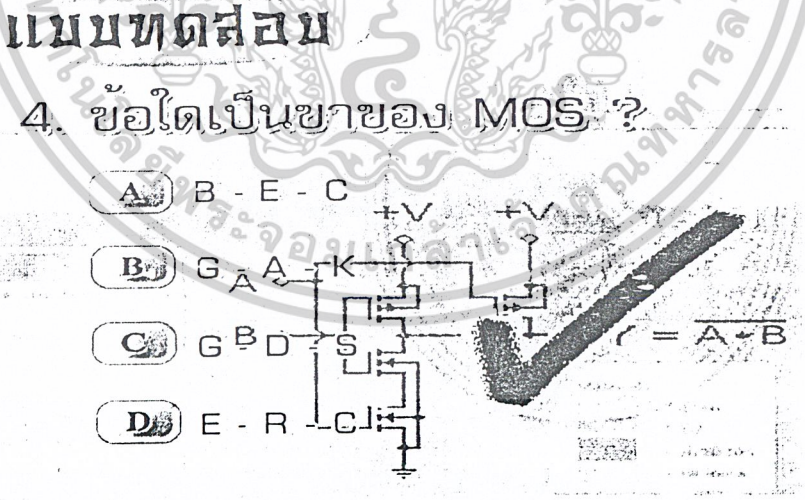
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 เป็นรูปแสดงแบบทดสอบข้อที่ 1 ซึ่งจะมีคำตอบให้เลือกซึ่งจะเป็นปุ่มคือ A, B, C, และ D หากต้องการที่จะเลือกคำตอบใดก็กดที่ปุ่มนั้น



รูปที่ 4.20 รูปแสดงแบบทดสอบข้อที่ 3

จากรูปที่ 4.20 แสดงการเลือกคำตอบที่ผิด ซึ่งจะมีเครื่องหมายผิดแสดงขึ้นมาให้เห็นทันทีหลังการเลือกคำตอบ หากเลือกคำตอบที่ถูกต้องก็จะมีเครื่องหมายถูกแสดงให้เห็นด้วย ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 รูปแสดงแบบทดสอบข้อที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำแบบทดสอบครบแล้ว ก็จะมีการรวมคะแนนที่ทำมาทั้งหมด พร้อมทั้งคิดเป็นร้อยละ แสดงให้เห็นเป็นการรายงานผล ดังรูปที่ 4.22

รูปที่ 4.22 รูปแสดงการรายงานผล

4.13 ทดสอบโปรแกรมการคำนวณ

การทดสอบโปรแกรมสามารถทำได้โดยการกำหนดสถานการณ์จำลองดังนี้

โครงสร้างมอสที่ฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดพี ซึ่ง $N_A = 10^{15}$ อะตอมต่อ ลบ.ซม. ที่จุดเริ่มเกิดภาวะ " สตรองอินเวอร์ชั่น " จงคำนวณหาค่าต่างๆดังนี้

ศักดิ์เฟอร์มิ หรือ Fermi potential

อัตราการขยายของ MOS (β)

แรงดันขีดเริ่ม

ความกว้างสูงสุดของบริเวณปลอดภาระในสารกึ่งตัวนำ

ค่าประจุไฟฟ้าในชั้นออกไซด์ของมอส

แรงดันขีดเริ่ม

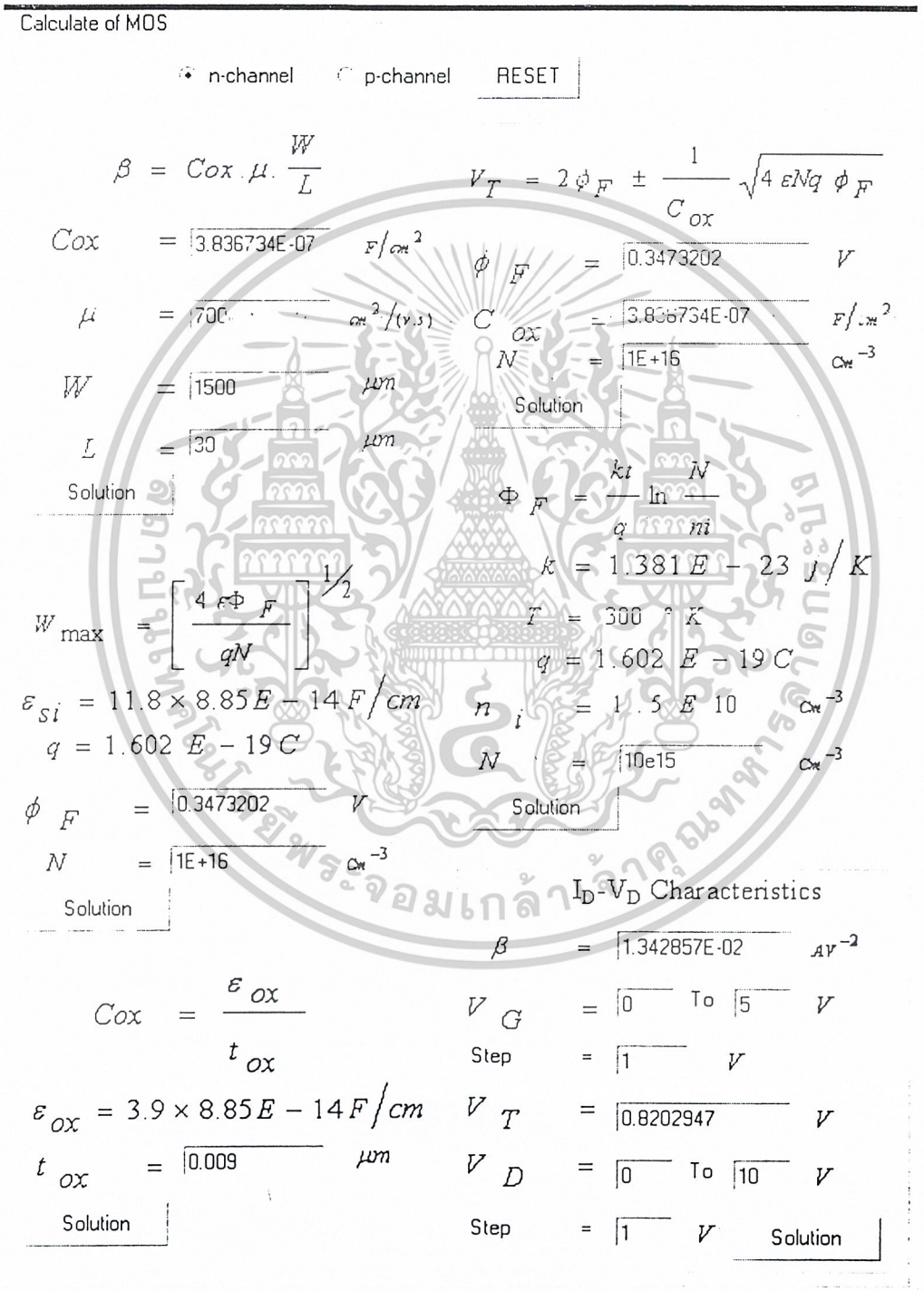
กระแส I_D

กำหนดให้ สำหรับซิลิคอน $\in_{Si}$=11.8 x 8.854 x 10^{-14} F/cm. และที่ 300K, n_i=1.5 x 10^{10} $cm.^3$,μ_n=700

สำหรับซิลิคอนไดออกไซด์ $\in_{ox}$=3.9 x 8.85 x 10^{-14} F/cm. และ t_{ox}=90 Angstroms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

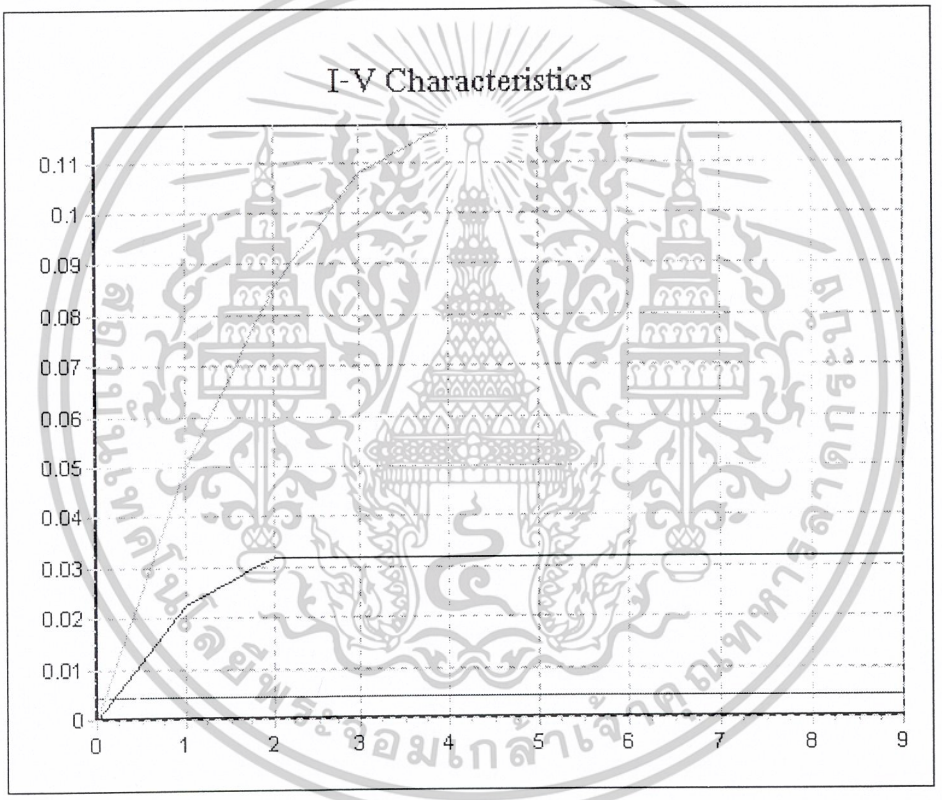
หลังจากทำการทดลอง เราได้ค่า ϕ_F ซึ่งได้จากการคำนวณของโปรแกรม =0.347 V C_{ox}= 3.836E-7 F/cm^2,β= 1.342857E-02 AV^{-2},W_{max}= 3.009376E-05 μm, V_T= 0.8202947 V, ดังรูปด้านล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϕ_F	=	0.3473202	V
W_{max}	=	3.009376E-05	cm
V_T	=	0.8202947	V
C_{ox}	=	3.836734E-07	F/cm^2
β	=	1.342857E-02	AV^{-2}

RESET



สรุปผล

จากผลการทดลอง ผลปรากฏว่าค่าที่ได้นั้นตรงรามทฤษฎีบทพื้นฐาน คือ ทำให้เราทราบค่าพื้นฐานของอุปกรณ์ประเภท MOS พร้อมทั้งกราฟแสดง Characteristics I_O และ V_O ของตัวอุปกรณ์ที่ค่า V_O และ V_G ต่างๆ ซึ่งทำให้สะดวกมากขึ้นในการวิเคราะห์ หรือการนำอุปกรณ์ไปใช้ และนอกจากนี้ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งต้องนำสมการมาตีความและวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆในความหมายในตัวมันเอง ทำให้หลังจากการเขียนโปรแกรม ผู้เขียนจึงมีความรู้สึกว่าในตัวสมการนั้นๆ ได้แฝงความหมายและความสัมพันธ์ต่างๆไว้มาก หากไม่มานั่งพิจารณาให้ดี หรือไม่จริงจังกับการพิจารณาแล้ว ก็อาจทำให้เราพลาดความหมายดีๆ ที่มีอยู่ในตัวสมการไป

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมต้นแบบ จึงทำให้ยังมีจุดบกพร่องอยู่อีกมากมาย เช่น กรแสดงผลลัพธ์เต็มจำนวน โดยไม่มีการกำหนดหลักทศนิยมที่ต้องการทำให้บางครั้งได้ผลลัพธ์ที่ยาวเกินไป หรือหน่วยที่ไม่ยืดหยุ่นให้มีการเปลี่ยนหน่วยได้ทำให้ผู้ใช้ USER ต้องมาทำการเปลี่ยนแปลงหน่วยให้เหมาะสมเอง แต่อย่างไรก็ดีตัวโปรแกรมถือว่าบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ สะดวกใช้งานง่ายและแม่นยำ

4.14การทดสอบส่วนของ CREDIT

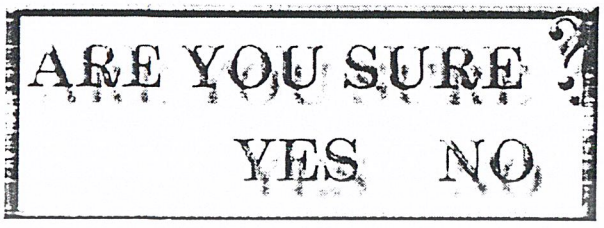
ส่วนของ CREDIT จะเป็นส่วนที่บอกรายละเอียดของผู้จัดทำ พร้อมทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา

รูปที่ 4.23 แสดงหน้าของ CREDIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.15การทดสอบส่วนของ EXIT

เมื่อทำก เรกดปุ่ม EXIT จะมีเมนูขึ้นมาให้เลือกว่าต้องการออกหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.23 แสดงหัวข้อ EXIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

บทสรุป ปัญหา และ แนวทางแก้ไข

ในการเรียนการสอนหรือการศึกษากระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอสนั้นนั้นหากผู้ศึกษาไม่มีความรู้ในเรื่องกระบวนการสร้างหรือกรรมวิธีในการใช้เครื่องมือในห้องทดลองแล้วนั้น ก็จะเป็นการยากในการที่จะเข้าใจหรือมองเห็นภาพในการสร้างวงจรรวมแบบซีมอสขึ้นจริง ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงตั้งใจที่จะแสดงให้ผู้สนใจได้มองเห็นภาพและหลักการพื้นฐานของการสร้างวงจรรวมอย่างสะดวงและรวดเร็ว

โดยคณะผู้จัดทำได้จัดทำโปรแกรมขึ้นมา โดยใช้โปรแกรมออโต้แวร์เป็นโปรแกรมหลักในการนำเสนอข้อมูลเป็นส่วนใหญ่ โดยในโปรแกรมจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้คือ

1. ทฤษฎีของมอสทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะนำเสนอในส่วนของทฤษฎีพื้นฐานของมอสทรานซิสเตอร์ทั่วๆไป โดการนำเสนอนั้นจะเป็นแบบ text
2. กระบวนการสร้าง ซึ่งจะเป็นการจำลองแบบการสร้างจริงในห้องแล็บ ซึ่งนำเสนอโดยโปรแกรม Flash โดยจะเป็นภาพตัดขวาง 2 มิติ ในการนำเสนอ ซึ่งในส่วนนี้ในอนาคตเราสามารถปรับปรุงเป็นการนำเสนอแบบ 3มิติ เพื่อให้เกิดความสมจริงมากขึ้น และอาจเจาะลึกลงไปในการปฏิบัติจริงมากกว่าทางทฤษฎี
3. การจำลองแบบด้วยวิธีการคำนวณ ซึ่งจะเป็นการคำนวณสมการต่างๆในกระบวนการสร้าง ในส่วนนี้นั้นจะได้มีการจัดทำและพัฒนาโปรแกรมในส่วนนี้ต่อไปในเทรอมหน้า
4. แบบทดสอบความเข้าใจ ในส่วนนี้เป็นการการทดสอบความเข้าใจพื้นฐานของมอสทรานซิสเตอร์
5. ในส่วนนี้เป็นรายนามคณะผู้จัดทำและอาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 สรุปผลของโครงงาน

โครงงานโปรแกรมช่วยสอนกระบวนการสร้าง CMOS ที่ได้จัดทำขึ้นนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ กล่าวคือ

- สามารถนำโปรแกรมช่วยสอนนี้ไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้
- สามารถออกแบบโปรแกรมช่วยสอนที่มีคุณภาพได้
- สามารถนำโปรแกรมช่วยสอนไปใช้งานได้จริง

จากผลการทดลอง ผลปรากฏว่าค่าที่ได้นั้นตรงรามทฤษฎีบทพื้นฐาน คือ ทำให้เราทราบค่าพื้นฐานของอุปกรณ์ประเภท MOS พร้อมทั้งกราฟแสดง Characteristics I_O และ V_O ของตัวอุปกรณ์ที่ค่า V_O และ V_G ต่างๆ ซึ่งทำให้สะดวกมากขึ้นในการวิเคราะห์ หรือการนำอุปกรณ์ไปใช้ และนอกจากนี้ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งต้องนำสมการมาตีความและวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ต่างๆในความหมายในตัวมันเอง ทำให้หลังจากการเขียนโปรแกรม ผู้เขียนจึงมีความรู้สึกว่าในตัวสมการนั้นๆ ได้แฝงความหมายและความสัมพันธ์ต่างๆไว้มาก หากไม่มานั่งพิจารณาให้ดี หรือไม่จริงจังกับการพิจารณาแล้ว ก็อาจทำให้เราพลาดความหมายดีๆ ที่มีอยู่ในตัวสมการไป

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมต้นแบบ จึงทำให้ยังมีจุดบกพร่องอยู่อีกมากมาย เช่น กรแสดงผลลัพธ์เต็มจำนวน โดยไม่มีการกำหนดหลักทศนิยมที่ต้องการทำให้บางครั้งได้ผลลัพธ์ที่ยาวเกินไป หรือหน่วยที่ไม่ยืดหยุ่นให้มีการเปลี่ยนหน่วยได้ทำให้ผู้ใช้ USER ต้องมาทำการเปลี่ยนแปลงหน่วยให้เหมาะสมเอง แต่อย่างไรก็ดีตัวโปรแกรมถือว่าบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ สะดวกใช้งานง่ายและแม่นยำ

5.2 ปัญหาที่พบในการทำโครงงาน

1 การออกแบบกราฟฟิก ค่อนข้างใช้เวลานาน

2 การนำเสนอที่จะต้องทำให้น่าสนใจใช้เวลานาน

3. การทำส่วนของกระบวนการสร้าง ต้องใช้เวลาในการศึกษาที่ค่อนข้างลึกซึ้ง

5.3 การแก้ปัญหา

1. ต้องเรียนรู้ในการออกแบบกราฟฟิกให้มากๆ ต้องฝึกการจินตนาการ

2. ศึกษาลูกเล่นต่างๆ ในโปรแกรมให้มากที่สุด

3. ต้องอ่านกระบวนการสร้างและทำความเข้าใจตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาโปรแกรมส่วนของทฤษฎีให้มีมากขึ้นและให้มีบทเรียนที่มีความเหมาะสมมากขึ้น
2. เพิ่มส่วนประกอบของเสียงให้บทเรียนมีความน่าสนใจเพิ่มมากขึ้น
3. เพิ่มแบบทดสอบให้มีมากขึ้น
4. ทำภาพกราฟฟิกต่างๆให้สวยงามยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

```
Private Const Eox As Single = 3.45306E-13
Private Const ktq As Single = 0.0259
Private Const ni As Single = 15000000000#
Private Const Esi As Single = 11.8 * 8.85E-14
Private Const q As Single = 1.602E-19


Private Sub Command1_Click()
Dim Cox As Single
Dim u As Single
Dim W As Single
Dim B As Single
Dim L As Single

Cox = xoct.Text
u = tu.Text
W = tW.Text
L = tL.Text
If L = 0 Then
ERROR1.Show
Else
B = Cox * u * (W / L)
End If



If B <> 0 Then
ttttttB.Text = B
tansB.Text = B
End If

End Sub

Private Sub Command2_Click()
Dim Cox As Single
Dim tox As Single
Dim ttox As Single
tox = ttxot.Text
ttox = tox * 0.0000000001
Cox = Eox / (ttox * 100)

If Cox <> 0 Then
xoct.Text = Cox
tttttxoc.Text = Cox
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
tansCox.Text = Cox
End If

End Sub

Private Sub Command3_Click()
Dim N As Single
Dim FF As Single


    N = tttN.Text
    FF = ktq * (Log(N / ni) / Log(2.718281828))
tansFF.Text = FF

If FF <> 0 Then
    tttttFF.Text = FF
  ttttFF.Text = FF
End If
If N <> 0 Then
  ttttN.Text = N
  tttttN.Text = N
End If

End Sub

Private Sub Command4_Click()
Dim Wmax As Single
Dim FF As Single
Dim N As Single

    FF = ttttFF.Text
    N = ttttN.Text
    Wmax = (((4 * Esi * FF) / (q * N)) ^ 0.5) '* 0.0001
    tansWmax.Text = Wmax

End Sub

Private Sub Command5_Click()
Dim FF As Single
Dim Cox As Single
Dim N As Single
Dim Vt As Single

    FF = tttttFF.Text
    Cox = tttttxoc.Text
    N = tttttN.Text
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If nch.Value = True Then
   Vt = myfunctionnch(FF, Cox, N)
End If
If pch.Value = True Then
'Elself pch.Value = True
   Vt = myfunctionpch(FF, Cox, N)
   End If

   tansVt.Text = Vt
If Vt <> 0 Then
   ttttttVt.Text = Vt
   tansVt.Text = Vt
   End If
   End Sub

Private Function myfunctionnch(nFF As Single, nCox As Single, nN As Single)
   Dim nVt As Single
   nVt = (2 * nFF) + ((1 / nCox) * (4 * Esi * nN * q * nFF) ^ 0.5)
   myfunctionnch = nVt
End Function
Private Function myfunctionpch(pFF As Single, pCox As Single, pN As Single)
   Dim pVt As Single
   pVt = (2 * pFF) - ((1 / pCox) * (4 * Esi * pN * q * pFF) ^ 0.5)
   myfunctionpch = pVt
End Function
'End Sub

Private Sub Command6_Click()
Dim ID As Double
Dim B As Single
Dim Vt As Single
Dim SVg As Single
Dim SVd As Single
Dim Vg As Single
Dim ToVg As Single
Dim Vd As Single
Dim ToVd As Single
Dim Vdsat As Integer



If nch.Value = True Then
Dim X As Single
Dim Y As Single
X = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Y = 0

    B = tttttB.Text
    Vg = tttttVg.Text
    ToVg = tttttToVg.Text
    SVg = tttttSVg.Text
    Vt = tttttVt.Text
    Vd = tttttVd.Text
    ToVd = tttttToVd.Text
    SVd = tttttSVd.Text

Dim Lvg As Single
Dim Lvd As Single
Lvg = ((ToVg - Vg) / SVg) + 1
Lvd = ((ToVd - Vd) / SVd)

Dim ArrayID(1000) As Double

Dim ArrayVg(1000) As Single
Dim ArrayVd(1000) As Single

Do While Vg <= ToVg
 ArrayVg(Y) = Vg
 Y = Y + 1
 Vdsat = Vg - Vt

 Vd = tttttVd.Text
  Do While Vd <= ToVd
  If Vd <= Vdsat Then
    ID = (B * ((Vg - Vt) * Vd - ((Vd ^ 2) / 2))) * 1000#
    ArrayID(X) = ID
    ArrayVd(X) = Vd
    X = X + 1
    'X = X - 1
    Vd = Vd + SVd
    ElseIf Vd >= Vdsat Then
    ID = ((B / 2) * ((Vg - Vt) ^ 2)) * 1000#

    ArrayID(X) = ID
    ArrayVd(X) = Vd
    X = X + 1
        Vd = Vd + SVd
   End If
      Loop

    Vg = Vg + SVg
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 Loop

showe.Text = ArrayID(0)
showe1.Text = ArrayID(1)
showe2.Text = ArrayID(2)
showe3.Text = ArrayID(3)
showe4.Text = ArrayID(4)
showe5.Text = ArrayID(5)
showevd.Text = ArrayVd(0)
showevd1.Text = ArrayVd(1)
showevd2.Text = ArrayVd(2)
showevd3.Text = ArrayVd(3)
showevd4.Text = ArrayVd(4)
showevd5.Text = ArrayVd(5)
showevg.Text = ArrayVg(0)
showevg1.Text = ArrayVg(1)
showevg2.Text = ArrayVg(2)
showevg3.Text = ArrayVg(3)
showevg4.Text = ArrayVg(4)
showevg5.Text = ArrayVg(5)



Dim xx, yy, zz, xxx As Integer
   zz = 0
   xx = 0



   xxx = 0
   Do While xx < Lvg


      Do While xxx < 16
         With TChart1.Series(xxx)
         .Clear
         xxx = xxx + 1

      End With
     Loop


     With TChart1.Series(xx)
        yy = 0
        Do While yy < Lvd
        .Add ArrayID(zz), ArrayVd(zz), vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        yy = yy + 1
        zz = zz + 1
        Loop
      xx = xx + 1
      zz = zz + 1
      End With
    Loop
                End If


  ' P-ch


If pch.Value = True Then
   Dim Xp As Single
   Dim Yp As Single
   Xp = 0
   Yp = 0
   B = ttttttB.Text
   Vg = tttttVg.Text
   Vg = Vg * (-1)
   ToVg = tttttToVg.Text
   ToVg = ToVg * (-1)
   SVg = tttttSVg.Text
   Vt = tttttVt.Text
   Vt = Vt * (-1)
   Vd = tttttVd.Text
   Vd = Vd * (-1)
   ToVd = tttttToVd.Text
   ToVd = ToVd * (-1)
   SVd = tttttSVd.Text
   Dim Lvgp As Single
   Dim Lvdp As Single
   Lvgp = ((ToVg - Vg) / SVg) + 1
   Lvdp = ((ToVd - Vd) / SVd)
   Dim ArrayIDp(1000) As Double

Dim ArrayVgp(1000) As Single
Dim ArrayVdp(1000) As Single
Do While Vg <= ToVg
Vg = Vg * (-1)
 ArrayVgp(Yp) = Vg
 Vg = Vg * (-1)
 Yp = Yp + 1
 Vdsat = Vg - Vt
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Vd = ttttttVd.Text
 Do While Vd <= ToVd
 If Vd <= Vdsat Then
   ID = (B * ((Vg - Vt) * Vd - ((Vd ^ 2) / 2))) * 1000#
   ID = ID * (-1)
   ArrayIDp(Xp) = ID
   Vd = Vd * (-1)
   ArrayVdp(Xp) = Vd
   Xp = Xp + 1
   Vd = Vd * (-1)
   Vd = Vd + SVd
   ElseIf Vd >= Vdsat Then
   ID = ((B / 2) * ((Vg - Vt) ^ 2)) * 1000#
   ID = ID * (-1)
   ArrayIDp(Xp) = ID
   Vd = Vd * (-1)
   ArrayVdp(Xp) = Vd
   Xp = Xp + 1
   Vd = Vd * (-1)
    Vd = Vd + SVd
    End If
       Loop

   Vg = Vg + SVg

Loop
Dim xxp, yyp, zzp, xxxp As Integer
   zzp = 0
   xxp = 0



   xxxp = 0
   Do While xxp < Lvgp


      Do While xxxp < 16
         With TChart1.Series(xxxp)
         .Clear
         xxxp = xxxp + 1

      End With
     Loop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        With TChart1.Series(xxp)
           yyp = 0
           Do While yyp < Lvdp
           .Add ArrayIDp(zzp), ArrayVdp(zzp), vbRed
           yyp = yyp + 1
           zzp = zzp + 1
           Loop
            xxp = xxp + 1
        zzp = zzp + 1
        End With
    Loop
                    End If

If nch.Value = False Then
   If pch.Value = False Then
   ERROR.Show
   End If
   End If




End Sub

Private Sub Text5_Change()

End Sub

Private Sub Command7_Click()

End



End Sub

Private Sub Command8_Click()
xoct.Text = 0
tu.Text = 0
tW.Text = 0
tL.Text = 0
ttttFF.Text = 0
ttttN.Text = 0
ttxot.Text = 0
tttttFF.Text = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
tttttxoc.Text = 0
tttttN.Text = 0
tttN.Text = 0
tttttB.Text = 0
tttttVg.Text = 0
tttttToVg.Text = 0
tttttSVg.Text = 0
tttttVt.Text = 0
tttttVd.Text = 0
tttttToVd.Text = 0
tttttSVd.Text = 0
tansFF.Text = 0
tansWmax.Text = 0
tansVt.Text = 0
tansCox.Text = 0
tansB.Text = 0

End Sub

Private Sub Equation4_GotFocus()

End Sub

Private Sub Command9_Click()
TChart1.Printer.ShowPreview
End Sub

Private Sub nch_Click()
If nch.Value = True Then
 tu.Text = 1500
 End If

End Sub

Private Sub pch_Click()
If pch.Value = True Then
tu.Text = 475
 End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Randall L. Geiger, Phillip E. Allen and Noel R. Strader. "VLSI Design Techniques for Analog and Digital Circuits". New York: McGraw-Hill, 1990.
2. S. Wolf, R. Tauber, "Silicon Processing for VLSI Era Volume1: Process Technology" Lactice Press, New York, 1986.
2. รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช. "เทคโนโลยีวงจรรวม" เอกสารประกอบวิชาเทคโนโลยีวงจรรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้