บทที่ 6

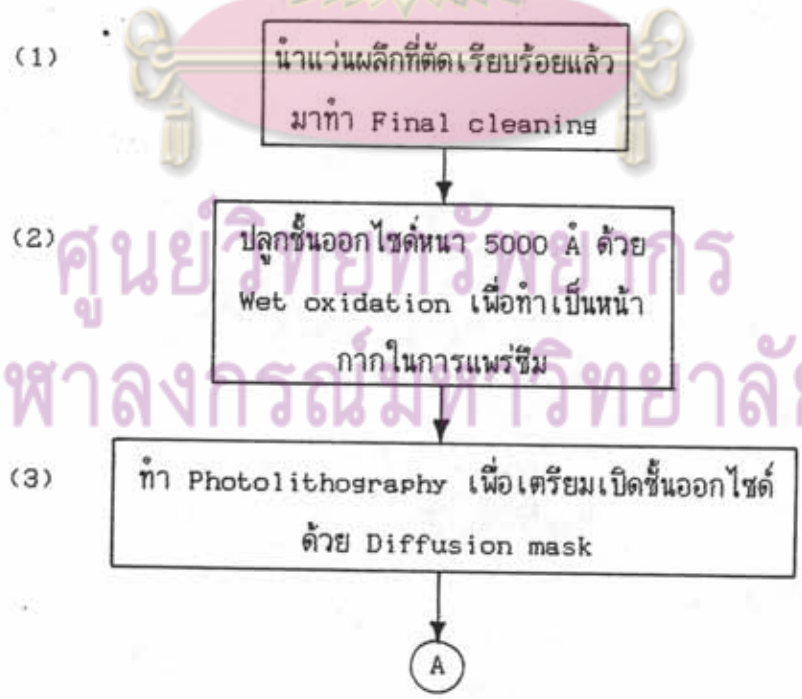
กระบวนการผลิตและการทดลอง

6.1 กระบวนการผลิตตัวเก็บประจุมอสและทรานซิสเตอร์แบบมอส

ในการผลิตตัวเก็บประจุมอส ตัวต้านทานแพร่ซึม และทรานซิสเตอร์แบบมอส แว่นผลึกที่ใช้เป็นแว่นผลึกชนิดพี มีค่าความต้านทานจำเพาะ (ρ) 18-24 Ω-cm หนาประมาณ 525 μm ผิวของแว่นผลึกเป็นชนิดขัดมันหน้าเดียว เนื่องจากตัวเก็บประจุมอส ตัวต้านทานแพร่ซึม และทรานซิสเตอร์แบบมอสอยู่บนวัสดุฐานรองเดียวกัน ดังนั้นการผลิตสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้จึงผ่านกระบวนการผลิตเดียวกัน ขั้นตอนในการผลิตแสดงดังในแผนภูมิที่ 6.1 (รายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการผลิตบางขั้นตอนกล่าวไว้ในภาคผนวก ข.)

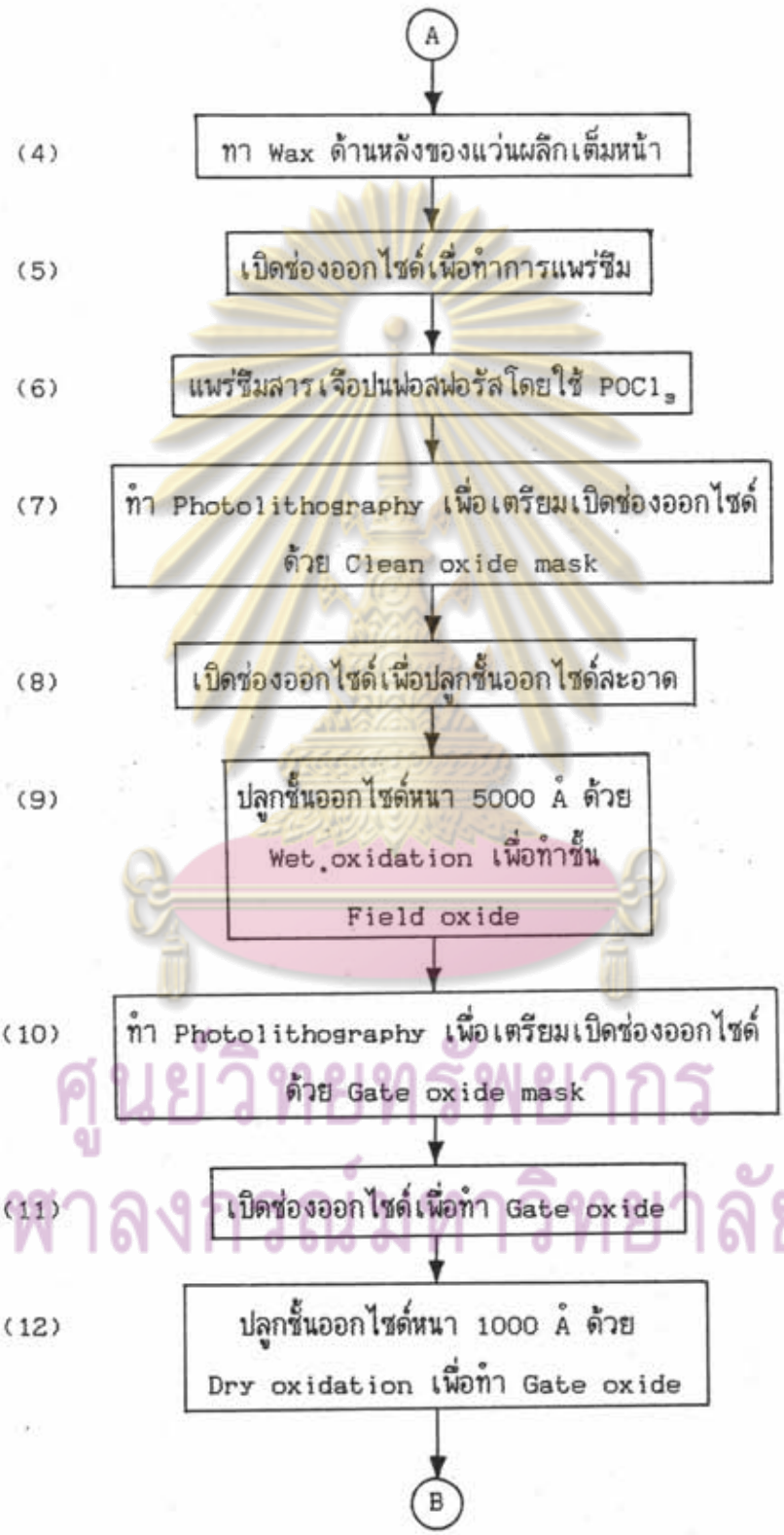
แผนภูมิที่ 6.1

กระบวนการผลิตตัวเก็บประจุมอสและทรานซิสเตอร์แบบมอส



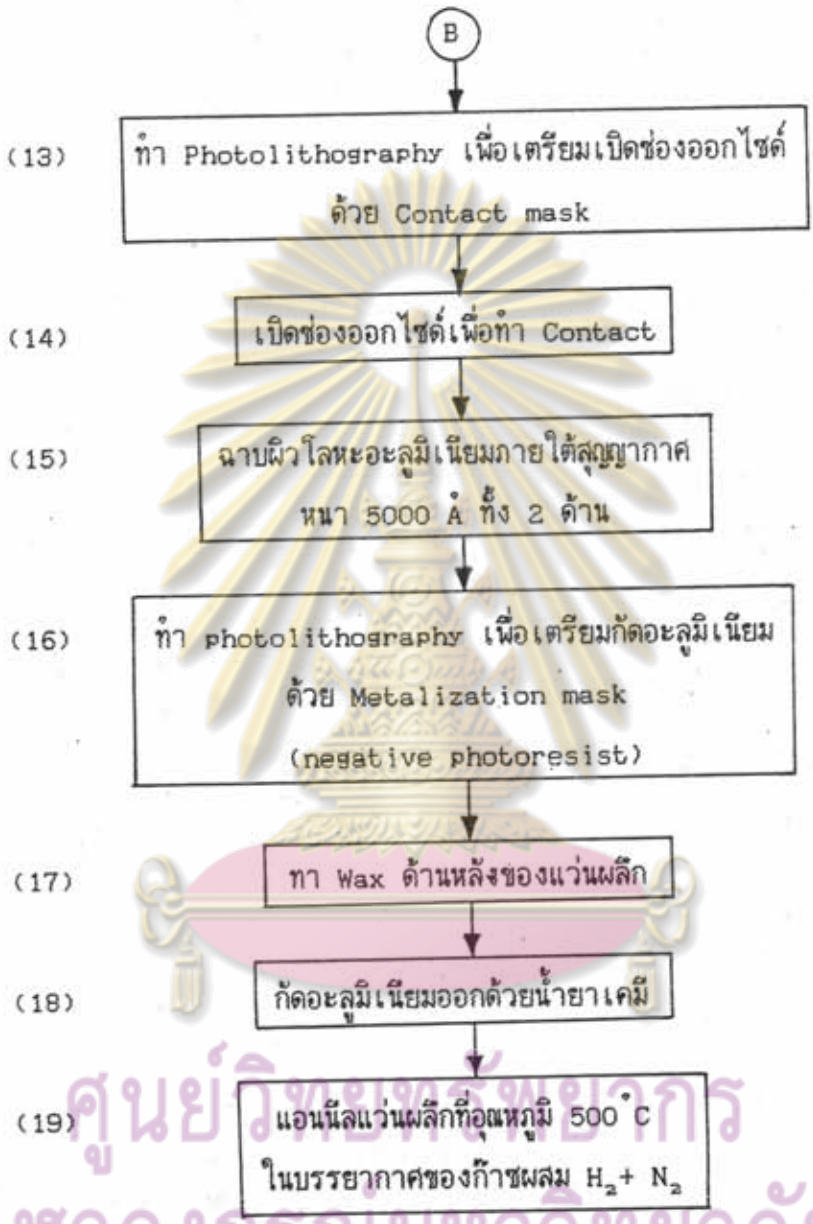
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 6.1 (ต่อ)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 6.1 (ต่อ)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2 การปลูกชั้นออกไซด์

การปลูกชั้นออกไซด์ในการผลิตตัวเก็บประจุมอสและทรานซิสเตอร์แบบมอส ใช้อุณหภูมิในการปลูกชั้นออกไซด์ 1000°C สาเหตุที่เลือกอุณหภูมินี้เนื่องจากการปลูกชั้นออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้คุณภาพของชั้นออกไซด์ดีกว่าการปลูกชั้นออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ และไม่ใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้เพราะจะทำให้ท่อควอทซ์งอตัวได้ อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เตาเป็น 0.4 ลิตร/นาที ทั้งการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบเปียกและแบบแห้ง เนื่องจากอัตราการไหลค่านี้จะทำให้อัตราการเกิดชั้นออกไซด์สูงที่สุด (47) อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เตาเป็น 0.4 ลิตร/นาที อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบเปียกเป็น 95°C เวลาที่ใช้ในการปลูกชั้นออกไซด์ 5000 Å ด้วยการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบเปียกเป็น 1 ชั่วโมง 30 นาที และเวลาที่ใช้ในการปลูกชั้นออกไซด์ 1000 Å ด้วยการทำออกซิเดชันด้วยความร้อนแบบแห้งเป็น 2 ชั่วโมง

6.3 การแพร่ซึมสารเจือปนฟอสฟอรัสโดยใช้ $POCl_3$

การสร้างชั้นแพร่ซึมเดรน ซอร์ส และตัวต้านทานแพร่ซึม ทำโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน Bubble ผ่าน $POCl_3$ ซึ่งเป็นของเหลว ก๊าซไนโตรเจนจะพาโมเลกุลของ $POCl_3$ เข้าไปในเตาแพร่ซึม โมเลกุลของ $POCl_3$ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนซึ่งถูกปล่อยเข้าสู่เตา ได้ฟอสฟอรัสบริเวณผิวของแว่นผลึก ตามปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ (6.1) และ (6.2) ฟอสฟอรัสที่ผิวของแว่นผลึกจะแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อซิลิกอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$4POCl_3 + 3O_2 \longrightarrow 2P_2O_5 + 6Cl_2 \qquad (6.1)$$

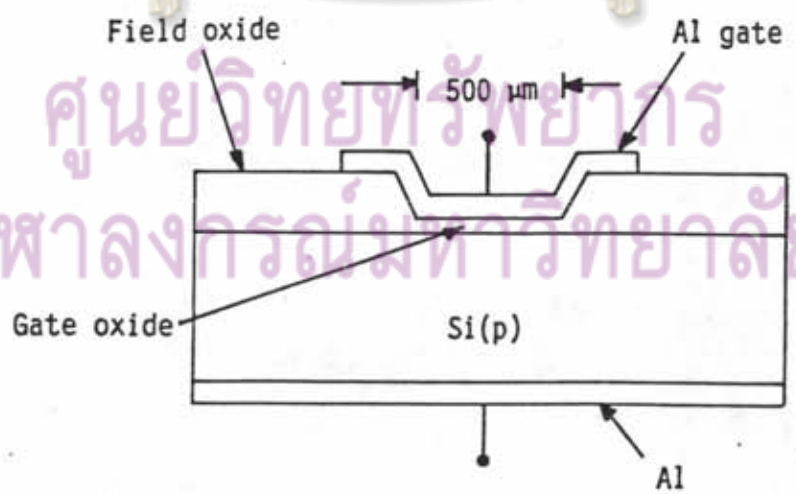
$$2P_2O_5 + 5Si \longrightarrow 4P + 5SiO_2 \qquad (6.2)$$

ในการสร้างชั้นแพร่ซึมเพื่อทำเดรนและซอร์สนี้จะทำเฉพาะการแพร่ซึมฝากเท่านั้น เพราะเนื่องจากการแพร่ซึมฝากจะทำให้ชั้นแพร่ซึมมีค่าความเข้มข้นของสารเจือปนที่ผิวสูงเท่ากับค่า Solid solubility ของสารเจือปน ซึ่งเป็นคุณสมบัติของชั้น n^+ อุณหภูมิที่ใช้ในการแพร่ซึม

เป็น 1000°C ซึ่งจะทำให้ค่า Solid Solubility ของฟอสฟอรัสในซิลิกอนมีค่าสูงสุด และมีค่าประมาณ 4.0×10^{20} cm^{-3} อุณหภูมิของ $POCl_3$ เป็น 7.0°C อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เตาเป็น 0.10 ลิตร/นาที อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เตาเป็น 0.64 ลิตร/นาที และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนผ่าน $POCl_3$ เป็น 0.25 ลิตร/นาที (47) กระบวนการแพร่ซึมนี้จะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการนำแว่นผลึกเข้าสู่เตาแพร่ซึม (ปล่อยก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนเข้าสู่เตา) ค่อย ๆ ปล่อยให้แว่นผลึกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิแพร่ซึม เวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้เป็น t_1 ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการแพร่ซึมฝาก (Predeposition) ก๊าซไนโตรเจนจะถูกปล่อยผ่าน $POCl_3$ เข้าสู่เตา เวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้เป็น t_2 ขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนที่ปล่อยเฉพาะก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนเข้าสู่เตา หยุดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนผ่าน $POCl_3$ เพื่อไล่ก๊าซคลอรีนออกจากเตาเวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้เป็น t_3 ช่วงเวลา t_1, t_2 และ t_3 ที่ใช้ในการแพร่ซึมจะขอกล่าวในหัวข้อ 6.6

6.4 ลักษณะโครงสร้างของตัวเก็บประจุมอส ตัวต้านทานแพร่ซึมและทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ใช้ในการศึกษา

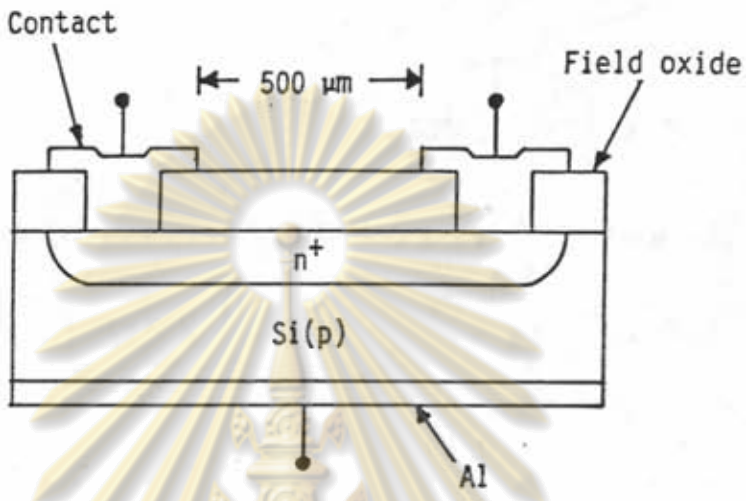
ตัวเก็บประจุมอสที่ใช้ในการศึกษามีความหนาของชั้นออกไซด์ 1000 Å ลักษณะของเกตเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 500×500 μm^2 เกตทำด้วยโลหะอะลูมิเนียมหนา 5000 Å ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 โครงสร้างของตัวเก็บประจุมอส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวต้านทานแพร่ซึมที่ใช้ในการศึกษามีความยาว 500 μm ความกว้าง 50 μm Contact ของตัวต้านทานทำด้วยอะลูมิเนียมหนา 5000 Å ดังแสดงในรูปที่ 6.2

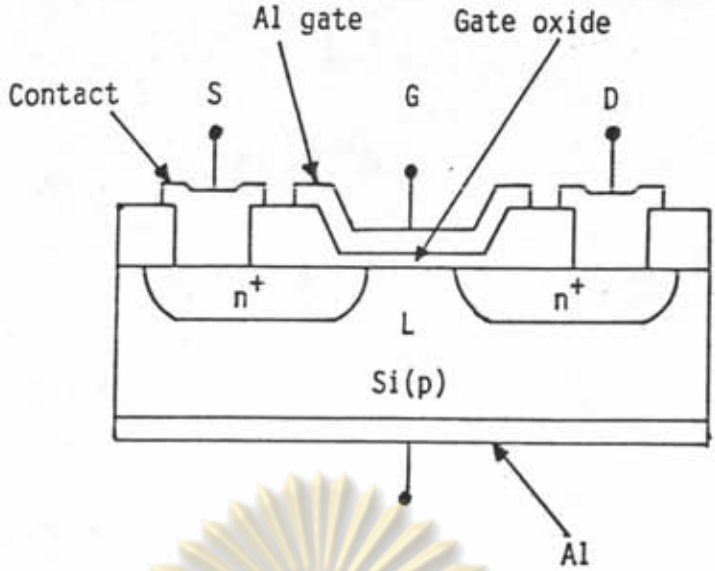


รูปที่ 6.2 โครงสร้างของตัวต้านทานแพร่ซึม

ทรานซิสเตอร์แบบมอสที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 แบบ แบบแรกจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมโดยมีซอร์สอยู่ตรงกลาง ถูกล้อมรอบด้วยเกตและเดรนตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 มุมขวาบน การผลิตทรานซิสเตอร์แบบมอสลักษณะนี้ไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากเกิดปัญหาในขั้นตอนการทำ Photolithography ทำให้ไม่สามารถผลิตทรานซิสเตอร์ขึ้นได้ และนอกจากนี้ทรานซิสเตอร์แบบนี้เมื่อผลิตขึ้นแล้วปรากฏว่าไม่แสดงลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์เลย ส่วนอีก 3 แบบจะมีโครงสร้างคล้าย ๆ กัน คือ มีความหนาของเกตออกไซด์ 1000 Å เกตและ Contact ต่าง ๆ ทำด้วยอะลูมิเนียมหนา 5000 Å และเกตมีความกว้าง (W) 700 μm ส่วนแตกต่างกันคือ แบบที่หนึ่งเกตจะมีความยาว (L) 50 μm แบบที่สองเกตยาว 75 μm และแบบที่สามเกตยาว 100 μm โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบมอส แสดงดังในรูปที่ 6.3

จากลักษณะโครงสร้างดังกล่าว ชุดอุปกรณ์ 1 ชุด ที่ใช้ในการศึกษาจะประกอบด้วย ตัวเก็บประจุมอส 1 ตัว ตัวต้านทานแพร่ซึม 1 ตัว และทรานซิสเตอร์แบบมอส 3 ตัว ในกระบวนการผลิต แว่นผลึก 1 ชิ้นจะประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ 100 ชุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบมอส

6.5 <u>การศึกษาอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิของแว่นผลึกหลังการทำเกตออกไซด์ต่อคุณภาพของเกตออกไซด์</u>

การทดลองนี้ทำโดยการเปลี่ยนระยะเวลาในการดึงแว่นผลึกออกจากเตาที่อุณหภูมิการทำออกซิเดชันหลังจากทำเกตออกไซด์แล้ว การทดลองแต่ละครั้งใช้แว่นผลึก 1 ชิ้น ซึ่งมีชุดอุปกรณ์อยู่ 100 ชุด เวลาที่ใช้ในการดึงแว่นผลึกออกจากเตาคือ 90, 60 และ 30 วินาที เสร็จแล้วนำไปวัดและวิเคราะห์ผลของตัวเก็บประจุมอสที่ผลิตขึ้น

6.6 <u>การศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการแพร่ซึมฝากสารเจือปนฟอสฟอรัสต่อความลึกของหัวต่อ</u>

การทดลองนี้ทำโดยการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการแพร่ซึมฝาก (t_2) และวัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานแพร่ซึม การทดลองแต่ละครั้งใช้แว่นผลึก 1 ชิ้น เงื่อนไขเวลาในการแพร่ซึมฝากมีดังนี้คือ

1) t_1 = 5 นาที t_2 = 15 นาที t_3 = 5 นาที
2) t_1 = 5 นาที t_2 = 20 นาที t_3 = 5 นาที
3) t_1 = 5 นาที t_2 = 25 นาที t_3 = 5 นาที
4) t_1 = 5 นาที t_2 = 30 นาที t_3 = 5 นาที

ผลการทดลองและการวิเคราะห์จะกล่าวต่อไปในบทที่ 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย