สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

Single Zone Oxidation Furnace

จัดทำโดย

นายรังสรรค์ เมืองเหลือ

RCH
TP
841
ร314ต

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....120296
วัน, เดือน, ปี...13..ก.ค..2555

b.12336598
i.....

ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปีงบประมาณ 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนอุดหนุนในการศึกษาและทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. นราธิป วิทยากร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ขอกราบอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนกระทั้งงานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์

รังสรรค์ เมืองเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้าง เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ฮีตเตอร์, ฉนวนความร้อน และ ตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยที่ตัวฮีตเตอร์เป็นตัวกำเนิดความร้อน ในขณะที่ตัวฉนวนความร้อนทำหน้าที่เก็บความร้อน และตัวควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ในกำหนดอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิ จากการทดสอบเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวในช่วงอุณหภูมิ 100-1100 ^{0}C และได้ช่วงอุณหภูมิคงที่ประมาณ 10 cm สุดท้ายจะเป็นการทดสอบการสร้างซิลิคอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The project presents fabrication of single zone Oxidation furnace. It is mainly composed of Heater, Insulator and temperature controller. Heat is generated by Heater. Heat is keep by Insulator. Temperature is go up/down by temperature controller. We test properties of furnace interval temperature 100 – 1100 ^{0}C. Flat temperature is approximately 10 cm. Finally, Silicon dioxide is fabricated by single zone Oxidation furnace.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 วัสดุซิลิคอน	3
2.2 กระบวนการออกซิเดชั่น	8
2.3 การวัดความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	7
บทที่ 3 เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	14
3.1 องค์ประกอบของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	18
3.2 การทำงานเบื้องต้น	22
3.3 วิธีการใช้งานเครื่องเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	19
3.4 การเริ่มการทำงานของโปรแกรม	22
3.5 การใช้เครื่อง Oxigen purifier	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง	25
4.1 การทดสอบอุณหภูมิของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	25
4.2 กระบวนการสร้างซิลิคอนไดออกไซด์แบบแห้ง	36
4.3 การประยุกต์ใช้งานเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	37
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสีของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาแตกต่างกัน	11
4.1 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C	26
4.2 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 200 ^{0}C	27
4.3 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 300 ^{0}C	28
4.4 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 400 ^{0}C	29
4.5 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C	30
4.6 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 600 ^{0}C	31
4.7 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 700 ^{0}C	32
4.8 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 800 ^{0}C	33
4.9 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 900 ^{0}C	34
4.10 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1000 ^{0}C	35
4.11 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1100 ^{0}C	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลองของอะตอมซิลิคอน	3
2.2 แบบจำลองพันธะโควาเลนซ์ระหว่างอะตอมซิลิคอน	4
2.3 โครงสร้างของผลึกซิลิคอน	4
2.4 ลักษณะโครงสร้างพลังงานของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์	5
2.5 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงาน	6
2.6 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงานชนิดเอ็น	7
2.7 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงานชนิดพี	8
2.8 แสดงโครงสร้างภาพตัดขวางฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์บนฐานรองซิลิคอน	9
2.9 แผนภาพการประยุกต์ใช้งานซิลิคอนไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ กัน	10
2.10 ลักษณะการเกิดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับผิวหน้าฐานรองซิลิคอนเดิม	10
3.1 ภาพเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	14
3.2 ภาพเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวแสดงฉนวนความร้อนด้านนอก	15
3.3 ภาพเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวแสดงส่วนของฮีตเตอร์	15
3.4 ภาพตัดขวางเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	16
3.5 ภาพแผนวงจรของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	16
3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ X รุ่น PRX-4	17
3.7 แผนหน้าปัทม์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ X รุ่น PRX-4	17
3.8 แผนหน้าปัทม์ เมื่อเริ่มทำงาน	18
3.9 แผนหน้าปัทม์ เมื่อเปลี่ยนค่า Parameter	18
4.1 ภาพตัดขวางของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว	25
4.2 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิที่ระยะทาง (X) ต่าง ๆ ในท่อ	25
4.3 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C	26
4.4 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 200 ^{0}C	27
4.5 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 300 ^{0}C	28
4.6 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 400 ^{0}C	29
4.7 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C	30
4.8 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 600 ^{0}C	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 700 ^{0}C	32
4.10	แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 800 ^{0}C	33
4.11	แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 900 ^{0}C	34
4.12	แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1000 ^{0}C	35
4.13	แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1100 ^{0}C	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย

ในการสร้าง "เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว" เพื่อสร้างชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ที่ใช้สำหรับกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำ ซึ่งในห้องปฏิบัติการนี้สามารถสร้างได้ด้วยกัน 2 วิธี คือ การสร้างชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์แบบแห้ง (dry oxidation)และการสร้างชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์แบบเปียก (wet oxidation)

ในปัจจุบันนี้ วิวัฒนาการทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการกล่าวถึงเป็นอย่างมาก ทำให้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว กระบวนการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือที่เรียกว่า "วงจรรวม(IC)" ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญคือ

1. กระบวนการออกแบบและสร้างกระจกต้นแบบ
2. กระบวนการทำความสะอาด
3. กระบวนการออกแบบและสร้างกระจกต้นแบบ
4. ระบวนการออกซิเดชัน
5. กระบวนการโฟโต้ลิโธกราฟี
7. กระบวนการแพร่สารเจือและขับลึก
6. กระบวนการฟิล์มบางโลหะ

สำหรับกระบวนการสร้าง วงจรรวม ต้องอาศัยเครื่องจักร เช่น เครื่องโฟโต้ลิโธกราฟี เตาออกซิเดชัน เตาแพร่สารเจือ เป็นต้น บริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรจะผลิตเป็นเครื่องจักรที่ใช้กับงานอุตสหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งไม่เหมาะสมกับใช้ในห้องปฏิบัติการเพราะว่าเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ ราคาแพงและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูงและเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษาต่อปีสูง ปัจจุบันทางศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์มีเครื่องจักรที่ใช้ประเภทนี้อยู่แต่สภาพค่อนข้างเก่า จึงทำให้ผู้วิจัยคิดที่จะสร้างเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการซึ่งราคาไม่แพงและเสียค่าใช้จ่ายต่ำสำหรับการดูแลรักษา

เป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการออกซิเดชันเป็นกระบวนการหนึ่งที่สร้างซิลิคอนไดออกไซด์(SiO_2) แบบความร้อน การทำออกซิเดชันของซิลิคอนเป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องใช้ในเกือบทุกกระบวนการของการสร้างวงจรรวม เนื่องจากในกระบวนการสร้างมักต้องมีการเติมสารเจือในบริเวณที่ต้องการ และในขณะเดียวกัน บางบริเวณก็ไม่ต้องการให้มีการเติมสารเจือ ดังนั้นต้องมีการสร้างชั้นกั้นหรือชั้นหน้ากากคลุมผิวหน้าแว่นผลึกทั้งหมด จากนั้นจะทำการเปิดช่องหรือหน้าต่างในชั้นดังกล่าวโดยกระบวนการโฟโต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิโธกราฟีและทำการกัดกร่อนเพื่อให้เป็นบริเวณที่สารเจือสามารถผ่านลงมาเติมได้ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) สามารถปลูกลงบนผิวหน้า Si ได้เพื่อสร้างเป็นชั้นหน้ากากสำหรับใช้ในกระบวนการแพร่ซึมสารเจือ หรือกระบวนการฝังไอออน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นชั้นเฉื่อยงาน หรือใช้ในการแยกโดดสิ่งประดิษฐ์ตัวหนึ่งออกจากสิ่งประดิษฐ์ตัวอื่นในวงจรรวม (ซึ่งเรียกว่า oxide isolation) หรือใช้เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างมอส และยังใช้เป็นชั้นแยกโดดทางไฟฟ้าสำหรับระบบการฉาบไอระเหยโลหะหลายชั้น(multilevel metallization) โดยทั่วไปการปลูกชั้นออกไซด์สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การทำออกซิเดชันด้วยกระบวนการทางความร้อน การทำแอโนไดเซชัน (anodization) แบบเปียก และการใช้เทคนิคการสร้างชั้นสารจากไอสารเคมี[chemical vapour deposition (CVD)] เป็นต้น สำหรับกรณีที่ปลูกชั้นออกไซด์เพื่อทำให้ความหนาแน่นประจุระหว่างผิว Si-SiO_2 มีค่าต่ำ มักใช้วิธีการทำออกซิเดชันทางความร้อน และการแพร่ซึมสารเจือโดยทั่วไปมักใช้กระบวนการนี้ช่วยในการสร้างหน้ากากกั้นการแพร่ซึม ดังนั้นชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) จะใช้เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 3 อย่าง คือ

1. เพื่อเป็นหน้ากากป้องกันการแพร่(diffusion mask) ใช้ขั้นตอนการแพร่ชั้นสารเจือ
2. เพื่อป้องกันผิวหน้าแผ่นซิลิกอนเพื่อป้องกันอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น
3. เพื่อเป็นชั้นฉนวนของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. สร้างเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานในห้องปฏิบัติการ
2. พัฒนาเทคนิคและกระบวนการในการสร้างฟิล์มบางซิลิคอนไดออกไซด์
3. ศึกษาพัฒนาปรับปรุงกระบวนการสร้างฟิล์มบางซิลิคอนไดออกไซด์
4. เสริมสร้างความรู้ของบุคลากรทางด้านเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 วัสดุซิลิคอน

2.1.1 โครงสร้างของผลึกซิลิคอน

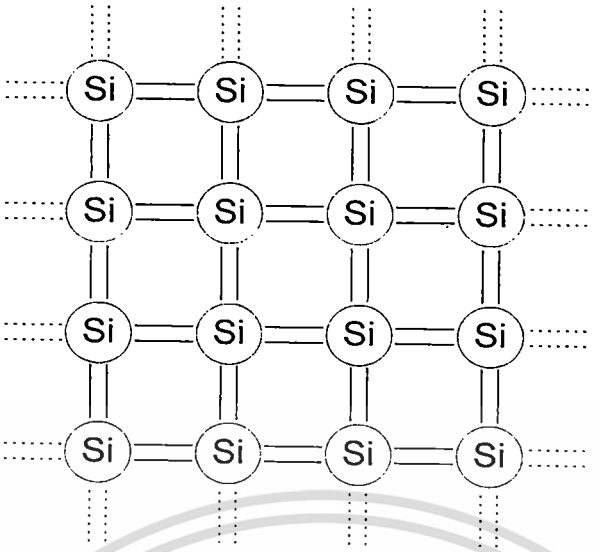
ซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำที่ประกอบขึ้นจากอะตอมของธาตุซิลิคอนหลายๆ อะตอมมาอยู่ใกล้ชิดกัน โดยอะตอมดังกล่าวจะมีการยึดเกาะเกี่ยวซึ่งกันและกันเพื่อความมั่นคงของอะตอม การเกาะเกี่ยวกันระหว่างอะตอมซิลิคอนเหล่านี้เรียกว่า พันธะ (bond) กลไกลในการเกาะเกี่ยวหรือการเกิดพันธะนี้มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะพันธะที่เกิดขึ้นในผลึกซิลิคอนเท่านั้น

ในผลึกซิลิคอนเมื่ออะตอมของซิลิคอนเข้ามาอยู่ใกล้ชิดกันจะทำให้วงโคจรชั้นนอกสุดของแต่ละอะตอมซิลิคอนซึ่งประกอบด้วยอิเล็กตรอนวงนอกสุด (valence electron) อยู่ถึง 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แบบจำลองของอะตอมซิลิคอน

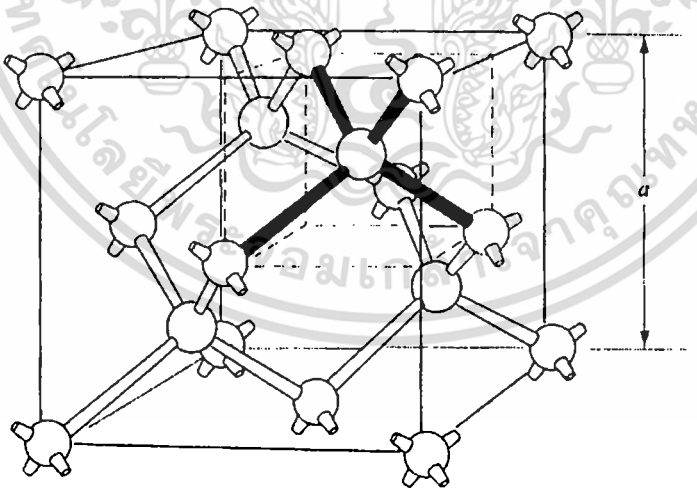
เกิดการทับซ้อนกัน อันจะทำให้เกิดพันธะแบบที่เรียกว่า พันธะโควาเลนซ์ (covalent bond) เกิดขึ้น โดยพันธะดังกล่าวนี้เกิดจากอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกันจะมีการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกัน ทั้งนี้ก็เพื่อให้อะตอมอยู่ในภาวะที่มั่นคง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แบบจำลองพันธะโควาเลนซ์ระหว่างอะตอมซิลิคอน

จากรูปข้างต้นจะเป็นโครงสร้างของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์ในสองมิติ โดยอะตอมจะมีการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดทั้ง 4 ร่วมกันกับอิเล็กตรอนนี้เองทำให้อะตอมข้างเคียง 4 อะตอม เกิดพันธะโควาเลนซ์ขึ้น 4 พันธะด้วยกัน การใช้อิเล็กตรอนร่วมกันนี้เองทำให้อะตอมของซิลิคอนต่างๆ มีความมั่นคง และสามารถประกอบรวมกันเป็นโครงสร้างของผลึกซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของผลึกซิลิคอน

2.1.1 ชนิดของผลึกซิลิคอน

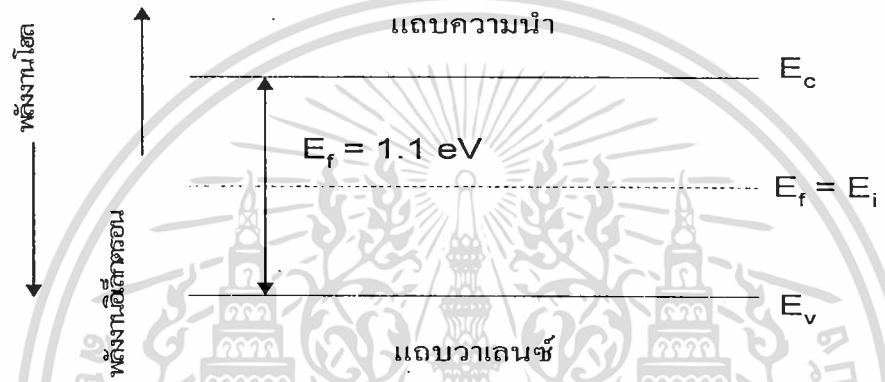
ผลึกสารกึ่งตัวนำซิลิคอนนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิดใหญ่ๆ ได้คือ ซิลิคอนบริสุทธิ์และซิลิคอนเจือปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 ซิลิคอนบริสุทธิ์ (Intrinsic Silicon)

ผลึกซิลิคอนซึ่งไม่ได้ถูกเติมหรือเจือปนด้วยอะตอมสารเจือของธาตุอื่น จะมีลักษณะแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.4

จากภาพเป็นลักษณะโครงสร้างพลังงานของซิลิคอนบริสุทธิ์ ซึ่งประกอบไปด้วยแถบวาเลนซ์ แถบความนำและแถบพลังงานต้องห้ามโดยระดับพลังงานซึ่งแสดงเป็นเส้นประโครงที่อยู่ระหว่างกึ่งกลางแถบวาเลนซ์และแถบความนำ คือระดับพลังงานเฟอร์มิ สำหรับสารกึ่งตัวนำซิลิคอนบริสุทธิ์



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างพลังงานของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์

ระดับพลังงานนี้จะถูกเรียกว่าเป็นระดับพลังงานอินทรินซิค และเมื่อทำการพิจารณาแถบพลังงานของซิลิคอนบริสุทธิ์ การที่พันธะโควาเลนซ์ถูกแตกออกเนื่องจากการกระตุ้นด้วยพลังงานภายนอก นั่นก็คือการที่อิเล็กตรอนภายในแถบวาเลนซ์ ได้รับพลังงานจากภายนอกเพิ่มขึ้นมากพอที่จะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ที่ในระดับพลังงานในแถบความนำ และจะทำให้เกิดที่ว่าง (โฮล) ขึ้นที่แถบวาเลนซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยสภาพความนำไฟฟ้าของซิลิคอนบริสุทธิ์จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนของอิเล็กตรอนในแถบความนำและโฮลในแถบวาเลนซ์นี้ ซึ่งการเกิดประจุพาหะในซิลิคอนบริสุทธิ์จะเกิดได้เฉพาะในกรณีนี้เท่านั้น และจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นในแถบความนำ จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนของโฮลที่เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์สามารถเขียนสมการได้เป็น

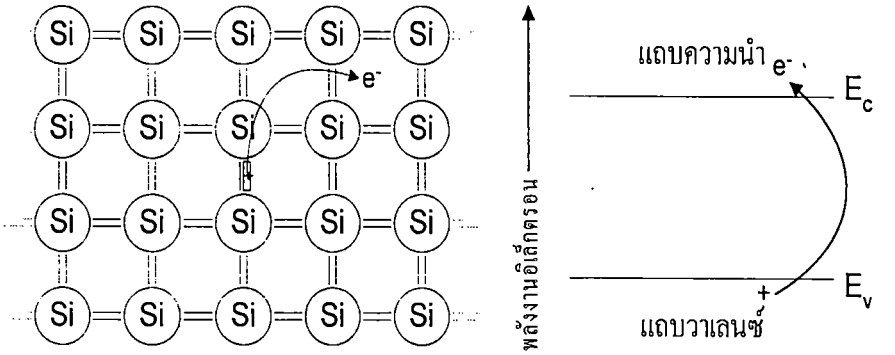
$$n = p = n_i \tag{2.1}$$

โดยที่ n = ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ

p = ความหนาแน่นของโฮล

n_i = ความหนาแน่นอินทรินซิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงาน

2.1.1.2 ซิลิคอนเจือปน (Extrinsic Silicon)

ซิลิคอนบริสุทธิ์หรือที่เรียกว่าอินทรินซิคซิลิคอนนั้น ตามความจริงแล้วจะถูกนำไปใช้งานเพื่อการสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้น้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากซิลิคอนบริสุทธิ์มีสภาพความนำไฟฟ้าต่ำและมีค่าจำกัด โดยค่าความนำไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงได้เฉพาะในกรณีที่ได้รับการกระตุ้นจากพลังงานภายนอก เช่น ความร้อนหรือแสง เป็นต้น ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มสภาพความนำไฟฟ้าให้เกิดแก่ผลึกซิลิคอนจึงมีการเติมอะตอมสารเจือธาตุอื่นเข้าไปในผลึกด้วย ผลึกซิลิคอนที่ถูกเจือปนด้วยอะตอมของธาตุเจือปน (impurity atom) ถูกเรียกว่า ซิลิคอนเจือปน หรือ เอ็กทรินซิคซิลิคอน ทำให้ผลึกซิลิคอนดังกล่าวมีคุณสมบัติที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปใช้สร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำต่างๆ

สำหรับอะตอมของธาตุที่นำมาใช้เป็นสารเจือปน (impurity) เติมลงไปในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. อะตอมธาตุเจือปนชนิดเอ็น (n-type impurity atom)

ได้แก่อะตอมของธาตุหมู่ที่ 5 ของตารางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส สารหนู พลวง เป็นต้น เมื่อเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์แล้วจะทำให้ได้ผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น สามารถนำไฟฟ้าได้ดี โดยมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก อะตอมสารเจือชนิดเอ็นนี้ถูกเรียกว่า อะตอมผู้ให้ (donor atom)

2. อะตอมธาตุเจือชนิดพี (p-type impurity atom)

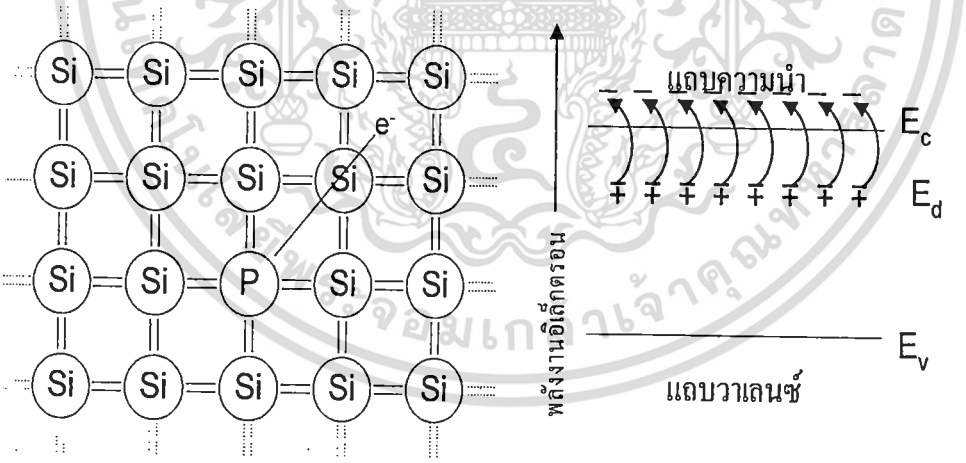
ได้แก่อะตอมธาตุเจือชนิดพีในหมู่ที่ 3 ของตารางธาตุเช่น โบรอน อะลูมิเนียม อินเดียม เป็นต้น เมื่อเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์แล้ว จะทำให้ผลึกซิลิคอนชนิดพี สามารถนำไฟฟ้าได้ดี โดยมีโฮลซึ่งเป็นประจุพาหะชนิดบวกจำนวนมาก อะตอมสารเจือชนิดพีนี้ถูกเรียกว่าอะตอมผู้รับ (acceptor atom)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนซิลิคอนเจือปนที่ได้หลังจากการเติมอะตอมสารเจือแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type silicon)

ได้แก่ผลึกซิลิคอนที่ถูกเต็มด้วยอะตอมสารเจือชนิดเอ็น หรืออะตอมผู้ให้ เช่น อะตอมของฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุในหมู่ที่ 5 ดังนั้นจึงมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัวเมื่ออะตอมถูกเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนก็จะไปเกาะเกี่ยวกับอะตอมข้างเคียงอีก 4 อะตอม ซึ่งอยู่รอบๆ เกิดเป็นพันธะโควาเลนซ์ขึ้น 4 พันธะ ดังนั้นจึงเหลือวาเลนซ์อิเล็กตรอนอีก 1 ตัว ซึ่งไม่มีพันธะจับอยู่ อิเล็กตรอนดังกล่าวนี้จะอยู่ในอิทธิพลของนิวเคลียสด้วยแรงยึดเหนี่ยวเพียงเล็กน้อยเกือบจะเป็นอิสระ ดังนั้นที่อุณหภูมิห้องปกติพลังงานจากความร้อนก็สามารถทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวได้รับพลังงานและหลุดออกมาเป็นอิสระได้เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างเสรีกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระอยู่ในแถบความนำ และสามารถนำไฟฟ้าได้ ในสภาพเช่นนี้ปรากฏการณ์พันธะแตกเนื่องจากพลังงานความร้อนก็จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในพันธะโควาเลนซ์หลุดมาเป็นอิสระได้เช่นกัน และทิ้งให้เกิดโฮล ซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าชนิดบวกเกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ แต่ปริมาณโฮล และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากพันธะแตกนี้จะมีจำนวนน้อย ดังนั้นในผลึกซิลิคอนชนิดนี้จึงมีปริมาณของประจุพาหะอิเล็กตรอนที่มากกว่าโฮล ทำให้ผลึกซิลิคอนชนิดจึงนำไฟฟ้าได้ด้วยประจุพาหะชนิดลบ (Negative charge) ดังนั้นเราจึงเรียกผลึกซิลิคอนชนิดนี้ว่าผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น (n : ย่อมาจาก negative) การเกิดอิเล็กตรอนอิสระเนื่องจากอะตอมสารเจือผู้ให้ และลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น แสดงได้ดังในรูปที่ 2.6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



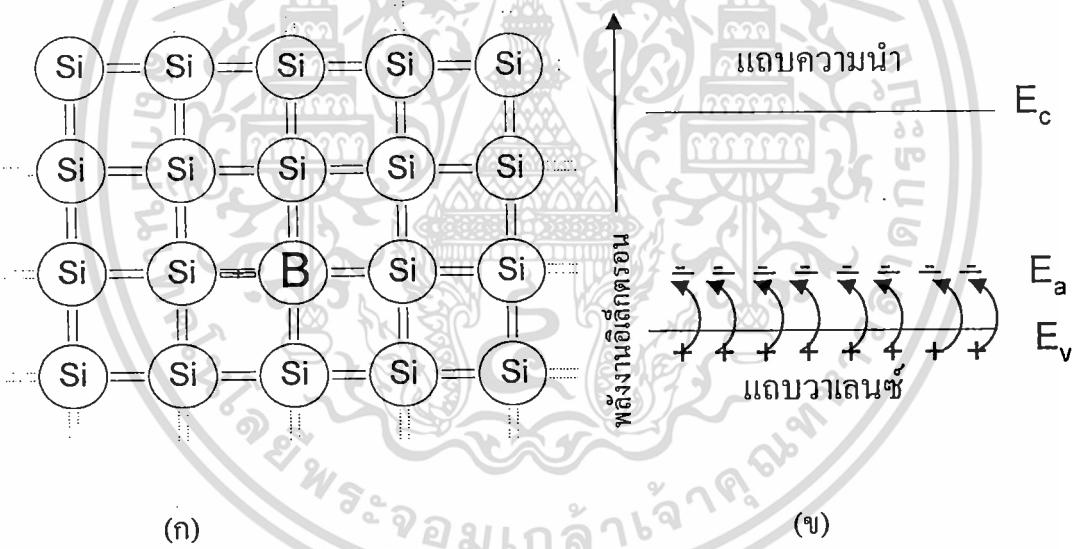
รูปที่ 2.6 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงานชนิดเอ็น

2. ผลึกซิลิคอนชนิดพี (p-type silicon)

ได้แก่ผลึกซิลิคอนที่ถูกกเติมด้วยอะตอมสารเจือชนิดพี หรือที่เรียกว่า อะตอมผู้รับ เช่น อะตอมของโบรอน ซึ่งเป็นธาตุในหมู่ที่ 3 ดังนั้นจึงมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเพียง 3 ตัว เมื่ออะตอมสารเจือผู้รับถูกเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนก็จะไปเกาะเกี่ยวกับอะตอมของผลึกซิลิคอนที่อยู่ข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีก 4 อะตอม แต่อะตอมสารเจือชนิดนี้มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว ดังนั้นจึงสามารถเกาะเกี่ยวและเกิดเป็นพันธะโควาเลนซ์ได้เพียง 3 ตัวพันธะเท่านั้น ส่วนอีกหนึ่งพันธะไม่มีความสมบูรณ์ เนื่องจากขาดอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในพันธะโควาเลนซ์ใกล้ๆ มีโอกาสที่จะเข้าไปอยู่ในที่ดังกล่าวเพื่อทำให้เป็นพันธะที่สมบูรณ์ เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกไปจากพันธะโควาเลนซ์ก็จะทิ้งให้เกิดโฮลขึ้นมา โฮลซึ่งเป็นประจุพาหะชนิดบวกสามารถนำไฟฟ้าได้ อะตอมของสารเจือชนิดนี้ เมื่อได้อิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาก็จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นไอออนลบ และขณะเดียวกันอิเล็กตรอนและโฮลจำนวนเล็กน้อยที่สามารถเกิดขึ้นได้เช่นกัน เนื่องจากพลังงานจากความร้อนซึ่งทำให้พันธะแตกออก ดังนั้นในผลึกซิลิคอนชนิดพีจึงมีปริมาณของประจุพาหะโฮลมากกว่าจำนวนของอิเล็กตรอน และสามารถนำไฟฟ้าได้ด้วยประจุพาหะชนิดบวก (positive charge) เราจึงเรียกผลึกซิลิคอนชนิดนี้ว่า ผลึกซิลิคอนชนิดพี (p : ย่อมาจาก positive) การเกิดโฮลเนื่องจากอะตอมสารเจือผู้รับและลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนชนิดพีแสดงได้ดังในรูปที่ 2.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงานชนิดพี

2.2 กระบวนการออกซิเดชั่น

ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนลักษณะโปร่งใสใช้เป็นสารเคลือบผิวหน้าของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี ชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์สามารถสร้างได้โดยกระบวนการออกซิเดชัน โดยทิ้งให้แผ่นผลึกซิลิคอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแห้งหรือไอน้ำในอุณหภูมิ 1000-1200 ^{0}C โดยมีปฏิกิริยาเคมีของการเกิดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปและแสดงดังรูปที่ 8

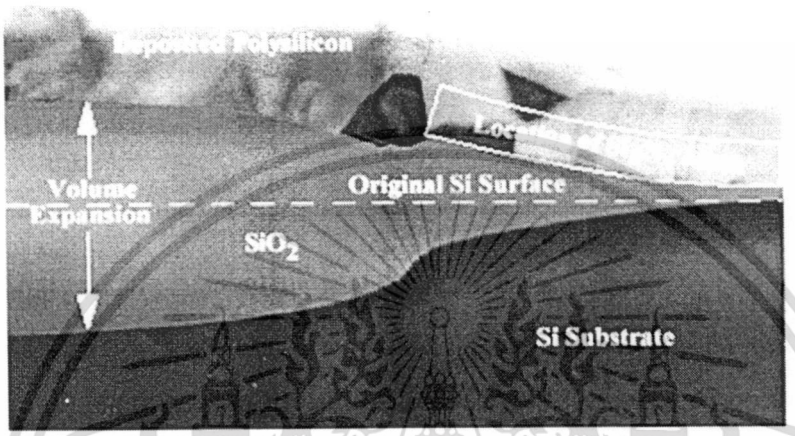
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระบวนการออกซิเดชันแบบแห้ง (Dry Oxidation)

$$Si + O_2 \longrightarrow SiO_2$$

2. กระบวนการออกซิเดชันแบบชื้น (Wet Oxidation)

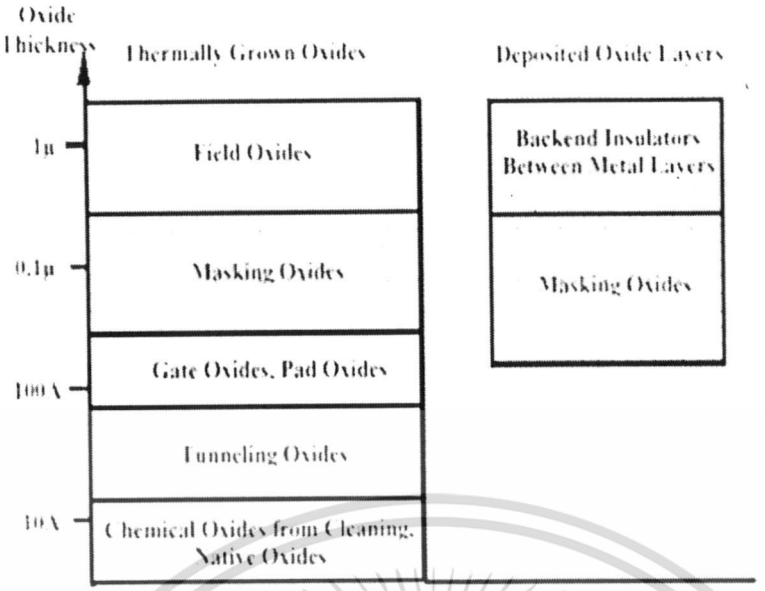
$$Si + 2H_2O \longrightarrow SiO_2 + 2H_2$$



รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างภาพตัดขว้างฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์บนฐานรองซิลิคอน

สำหรับหน้าที่สำคัญของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ในกระบวนการสร้างอุปกรณ์ ประเภทแรกคือใช้เป็นส่วนปกคลุมผิวของซิลิคอน และป้องกันสิ่งเจือปนจากภายนอกที่ไม่ต้องการไม่ให้ทำไปฏิกิริยากับผิวซิลิคอน (passivation layer) ประการที่สองก็คือ เป็นหน้ากากป้องกันการแพร่สารเจือเข้าไปในส่วนที่ไม่ต้องการ ประการที่สามใช้เป็นส่วนเกทที่เรียกว่าเกทออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากในอุปกรณ์ประเภทมอสเฟท เนื่องจากเป็นส่วนที่เหนี่ยวนำให้เกิดช่องทางเดินกระแส ประการสุดท้ายใช้เป็นฉนวนบนผิวซิลิคอน เพื่อป้องกันการลัดวงจรของลวดลายอลูมิเนียมกับผิวของซิลิคอนในส่วนอื่น ๆ และจากวัตถุประสงค์ในการใช้งานชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ที่กล่าวมา ทำให้ต้องการที่จะใช้ซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาที่แตกต่างกันเช่น ซิลิคอนไดออกไซด์ในส่วนที่จะใช้เป็นหน้ากากป้องกันการแพร่อะตอมสารเจือ จำเป็นที่จะต้องมีความหนาประมาณ 4000-5000 Å ขึ้นไปและชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ในส่วนที่ใช้เป็นหน้ากากป้องกันสารเคมีที่ใช้กัดซิลิคอนให้เป็นไดอะแฟรมต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 10000 Å ซึ่งความหนาขนาดนี้ การสร้างโดยใช้วิธีการสร้างซิลิคอนไดออกไซด์แบบแห้งอย่างเดียวจะทำให้ต้องใช้เวลานานและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นในกรณีของออกไซด์ที่ใช้เป็นหน้ากากจะทำการสร้าง โดยใช้วิธีการสร้างโดยวิธีการสร้างแบบแห้งสลับกับแบบชื้นและแบบแห้งอีกครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากการสร้าง ซิลิคอนไดออกไซด์แบบชื้นสามารถสร้างความหนาได้เร็ว แต่มีคุณภาพต่ำหรือมีรูพรุนมาก จึงจำเป็นจะต้องสร้างสลับกับการสร้างแบบแห้ง แสดงการใช้งานชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ดังรูปที่ 9

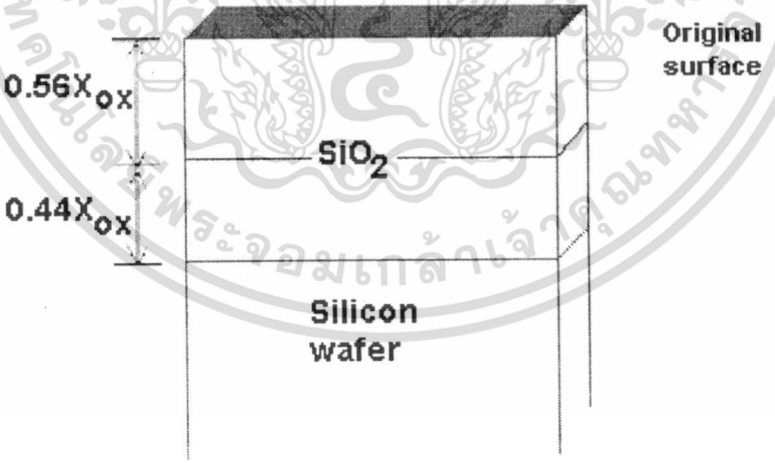
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แผนภาพการประยุกต์ใช้งานซิลิคอนไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ กัน

กลไกการเกิดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

กลไกการเกิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ คือการที่ออกซิเจนแพร่ผ่านชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นก่อน เข้าไปจนถึงผิวหน้าสัมผัสระหว่างซิลิกอนกับซิลิกอนไดออกไซด์ เพื่อทำปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะพบว่าสำหรับซิลิกอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น จะมีซิลิกอนที่ถูกใช้ไป 44 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 10 ลักษณะการเกิดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับผิวหน้าฐานรองซิลิคอนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวัดความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

1. Optical Interference

ใช้หลักการแทรกสอดที่เกิดระหว่างแสงที่สะท้อนจากผิวสัมผัสระหว่างอากาศซิลิกอนไดออกไซด์กับผิวสัมผัสระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์กับซิลิกอน สามารถวัดได้ที่ความหนาตั้งแต่ 100 อังสตอมขึ้นไป

2. Ellipsometry

ใช้หลักการการโพลาไรเซชันของแสงเมื่อแสงเกิดการสะท้อนกับตัวกลางและเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการโพลาไรซ์ ซึ่งจะสามารถวัดได้ที่ค่าความหนาน้อยกว่า 100 อังสตอม

3. Capacitance

โดยการพิจารณาค่าพื้นที่ของเกท และ Permittivity เมื่อคำนวณแล้วจะได้ค่าความหนาของชั้นออกไซด์ ตามสมการ

$$Xo=CoxAg/\varepsilon ox\varepsilon o$$

Xo = ความหนาซิลิคอนไดออกไซด์

Cox = ค่าความจุของซิลิคอนไดออกไซด์

Ag = พื้นที่ของเกท

εox = Dielectric constant ของ ซิลิคอนไดออกไซด์

εo = Permittivity of free space

4. เทียบสี

การเทียบสีจะกระทำโดยการสะท้อนฟิล์มกับแสงฟลูออเรสเซนต์โดยตรง สีสะท้อนที่สังเกตได้จะนำมาเทียบสีกับตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงสีของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาแตกต่างกัน

ความหนา(Å)	สี
500	สีน้ำตาลอ่อน
700	สีน้ำตาล
1000	สีม่วงเข้มถึงสีแดงม่วง
1200	สีฟ้า
1500	สีน้ำเงินอ่อนถึงสีเทาน้ำเงิน
1700	สีน้ำเงินถึงสีเหลือง-เขียวอ่อน
2000	สีทองถึงสีเหลือง
2200	สีทองค่อนข้างเหลืองแกมส้ม
2500	สีส้มถึงสีเขียวอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2700	สีแดงม่วง
3000	สีน้ำเงินถึงสีม่วงน้ำเงิน
3100	สีน้ำเงิน
3200	สีน้ำเงินถึงสีน้ำเงินเขียว
3400	สีเขียวอ่อน
3500	สีเขียวถึงสีเหลืองเขียว
3600	สีเหลืองเขียว
3700	สีเขียวเหลือง
3900	สีเหลือง
4100	สีส้มอ่อน
4200	สีชมพูอ่อน
4400	สีม่วงแดง
4600	สีแดงม่วง
4700	สีม่วง
4800	สีน้ำเงินม่วง
4900	สีน้ำเงิน
5000	สีน้ำเงินเขียว
5200	สีเขียว
5400	สีเหลืองเขียว
5600	สีเขียวเหลือง
5700	สีเหลืองถึงสีเทาอ่อน
5800	สีส้มอ่อนหรือเหลืองถึงสีชมพู
6000	สีชมพูอ่อน
6300	สีม่วงแดง
6800	สีคล้ายสีเทา
7200	สีน้ำเงินเขียวถึงสีเขียว
7700	สีเหลืองอ่อน
8000	สีส้ม
8200	สีชมพู
8500	สีแดงม่วงอ่อน
8700	สีน้ำเงินม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8900	สีน้ำเงิน
9200	สีน้ำเงินเขียว
9500	สีเหลืองเขียว
9700	สีเหลืองถึงเหลืองอ่อน
9000	สีส้ม
10000	สีชมพูอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

3.1 องค์ประกอบของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว แสดงดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 2 ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

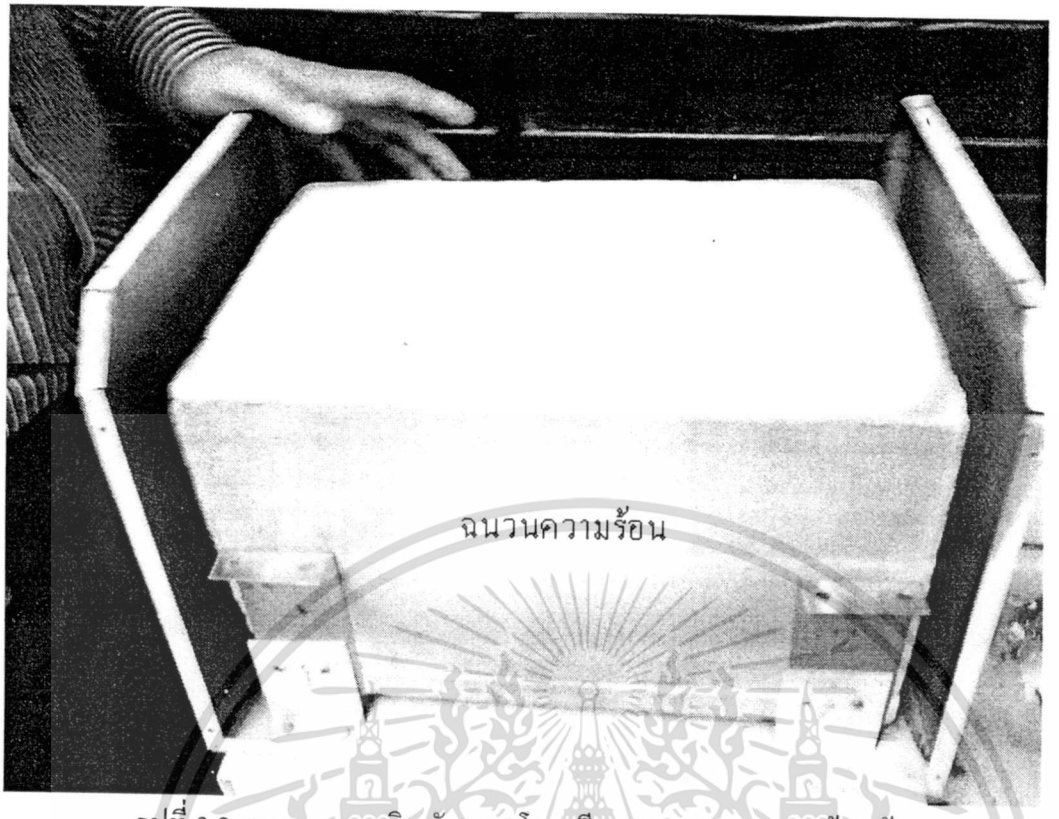
- ท่ออลูมินา ขนาด 1.5 นิ้ว
- ขดลวดให้ความร้อน แบบ 1 โซน ให้อุณหภูมิสูงสุด 1200 ^{0}C
- ชุดควบคุมอุณหภูมิ 1 ชุด
- ฉนวนกันความร้อน

ในการสร้างเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

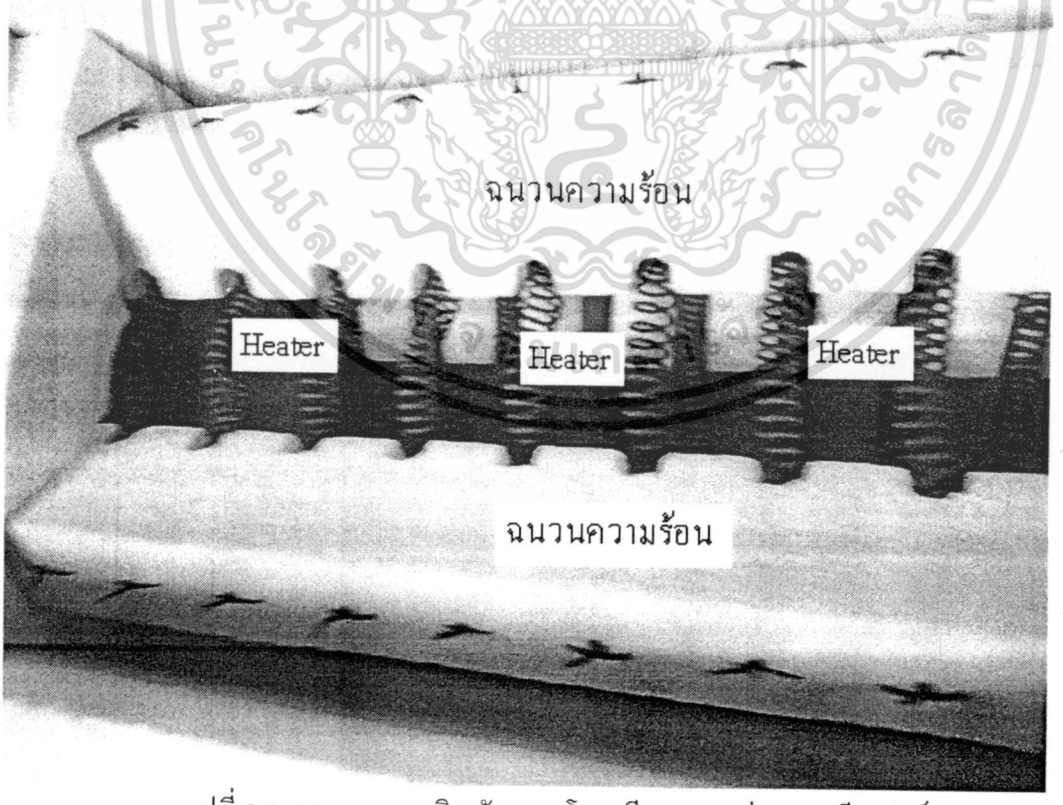
- เป็นเตาที่เหมาะกับการใช้งานในห้องแล็ประดับปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย
- ซึ่งจะมีขนาดเล็ก
- ใช้กระแสไฟฟ้าไม่มาก น้อยกว่า 10 แอมป์
- ที่สำคัญราคาไม่แพง
- สะดวกและง่ายในดูแลบำรุงรักษาในราคาต่ำต่อปี

รูปที่ 3.1 ภาพเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

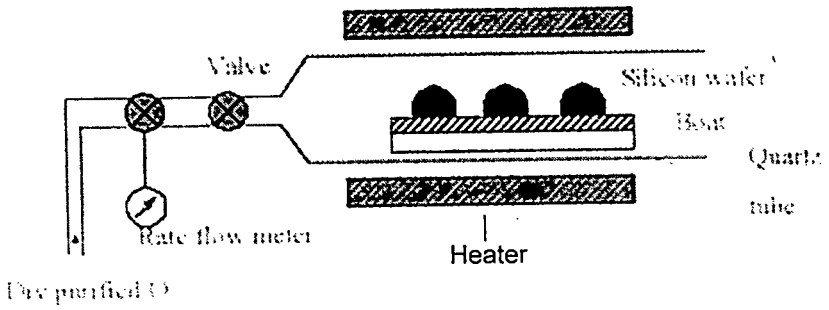


รูปที่ 3.2 ภาพเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวแสดงฉนวนความร้อนด้านนอก

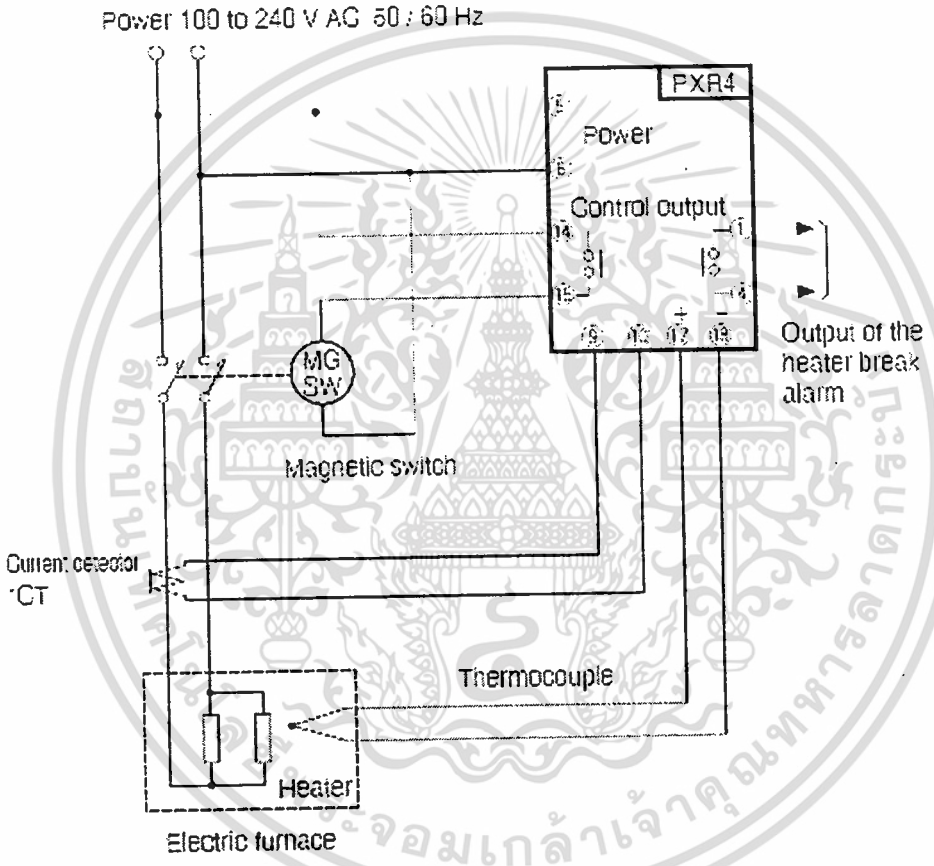


รูปที่ 3.3 ภาพเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวแสดงส่วนของฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ภาพตัดขวางเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว



รูปที่ 3.5 ภาพแผนวงจรของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

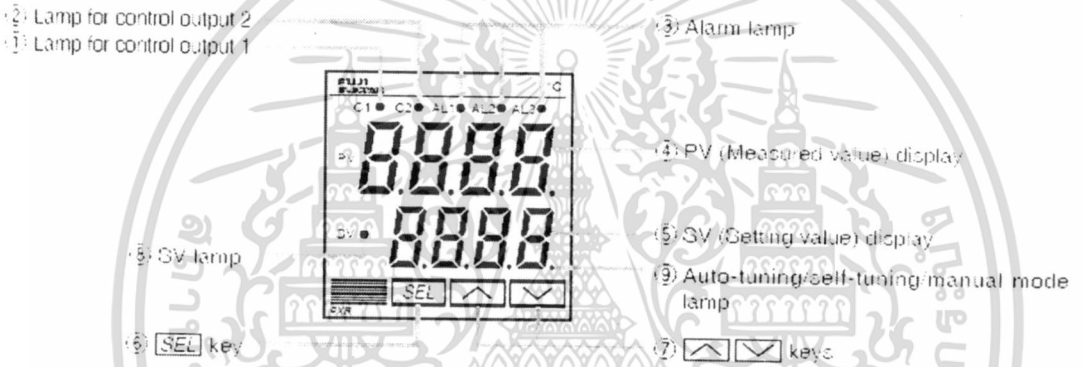
จากโครงสร้างแผนวงจรของเตาออกซิเดชันซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ X รุ่น PRX-4 (FUJI ELETRIC)
2. เทอร์โมคัปเปิล
3. ฮีตเตอร์
4. ฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รูปที่ 3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ X รุ่น PRX-4



รูปที่ 3.7 แผนหน้าปัทม์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ X รุ่น PRX-4

1. ปุ่มไฟของ Control output 1

   ไฟติดเมื่อ Control output อยู่ในสถานะ ON

2. ปุ่มไฟของ Control output 2

   ไฟติดเมื่อ Control output อยู่ในสถานะ ON

3. ปุ่มไฟสัญญาณเตือน

   ไฟติดเมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้น เมื่อไฟติด Alarm output อยู่ในสถานะ ON

4. จอแสดงค่า PV (ค่าที่วัดได้)

   จอแสดงค่า PV ชื่อของ PV จะปรากฏขึ้นขณะตั้งค่า Parameter

5. จอแสดงค่า SV (ค่าที่วัดได้)

   แสดงค่า SV ค่าจะปรากฏขึ้นเมื่อตั้งค่า Parameter

6. ปุ่ม SEL

   ใช้เลือก Parameter block และ Parameters และสำหรับบันทึกค่า SV

7. ปุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

120296

ใช้สำหรับเลือกค่า SV, call Parameter และปรับเปลี่ยนค่า Parameters

8. ปุ่มไฟ SV

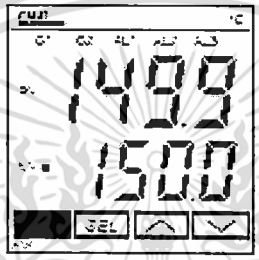
ไฟติดเมื่อมีการแสดงค่า SV บนจอ ไฟ SV จะดับเมื่อมีการแสดงค่า Parameters และข้อมูล

9. ปุ่มไฟการปรับอัตโนมัติและการป้องกัน

ไฟจะกระพริบขณะมีการปรับอัตโนมัติและการปรับเอง

3.2 การทำงานเบื้องต้น

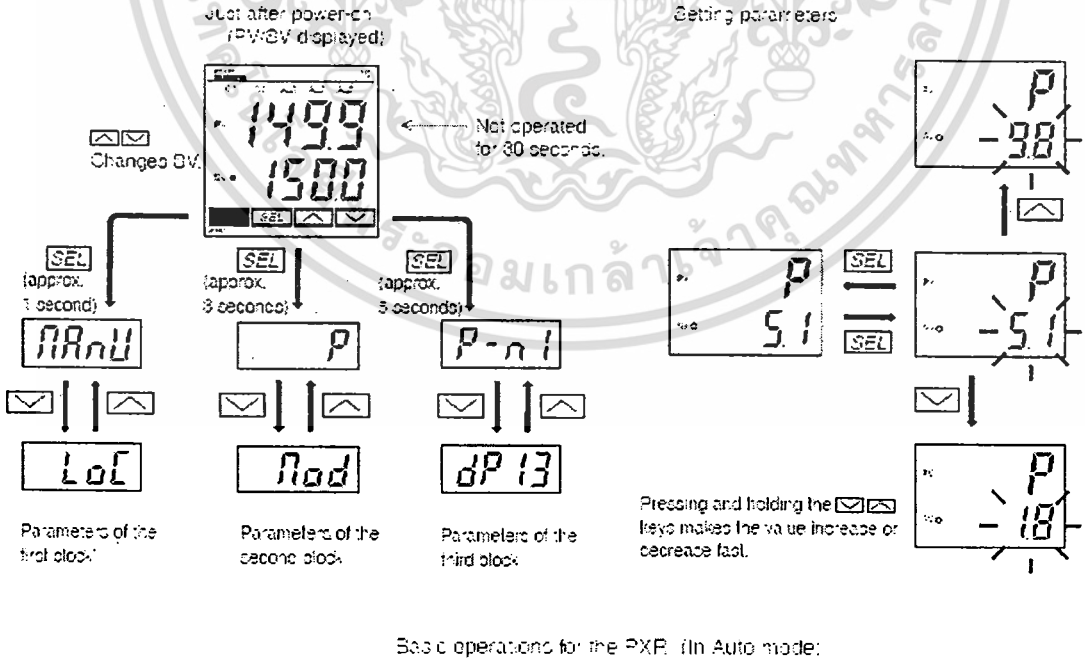
จะมีการแสดงผลดังต่อไปนี้เมื่อเริ่มทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนหน้าปัทม์ เมื่อเริ่มทำงาน

การเปลี่ยนค่า Parameter

จากรูปที่ 3.9 แสดงการทำงานเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ X รุ่น PRX-4 เมื่อไม่มีการใช้งานแสดงผลนาน 30 วินาที จอจะกลับสู่สภาพเหมือนเมื่อเพิ่งเปิดปุ่มทำงาน (PV/SV)



รูปที่ 3.9 แผนหน้าปัทม์ เมื่อเปลี่ยนค่า Parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่า Parameter

ปุ่ม : การกดแต่ละครั้งจะเพิ่มค่าครั้งละ 1

กดปุ่มค้างไว้หากต้องการเพิ่มค่าโดยรวดเร็ว

ปุ่ม : การกดแต่ละครั้งจะลดค่าครั้งละ 1

กดปุ่มค้างไว้หากต้องการลดค่าโดยรวดเร็ว

การบันทึกข้อมูล

ค่าที่แสดงจะถูกบันทึกโดยการกดปุ่ม SEL โปรดสังเกตว่า SV(SVO) จะถูกบันทึกภายใน 3 วินาที โดยไม่ต้องมีการทำงานใดๆ

3.3 วิธีการใช้งานเครื่องเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

การตั้งโปรแกรมการเผานี้สามารถตั้งโปรแกรมการเผาได้ถึง 8 step ดังกราฟข้างล่าง

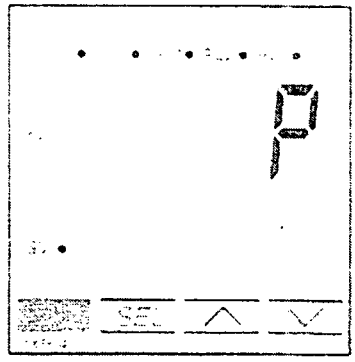
จากกราฟมีตัวแปรอยู่ทั้งหมดสามตัวแปรนั้นคือ

1. **SV** คืออุณหภูมิเป้าหมายมีหน่วยเป็นเซลเซียส
2. **r** คือเวลาที่ใช้ในการขึ้นหรือลงของอุณหภูมิไปถึงเป้าหมาย
3. **s** คือเวลาที่ใช้ในการแช่อุณหภูมินั้น

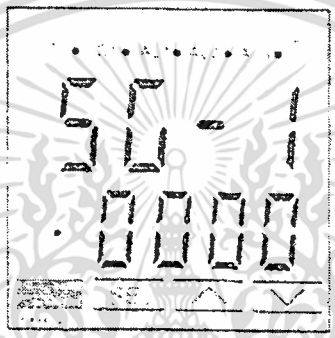
วิธีการตั้งโปรแกรมทำได้ดังนี้

1. กดปุ่ม **SEL** ค้างไว้จนบรรทัด **PV** เป็น **P** (ประมาณ 3 วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

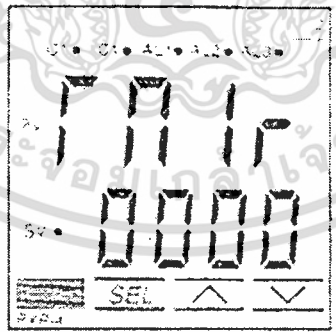


2. กดปุ่มลงจนขึ้นสัญลักษณ์ดังรูป



สัญญาลักษณ์นี้คือการตั้งอุณหภูมิเป้าหมายที่ 1 ซึ่งจะตั้งอุณหภูมิได้ด้วยการกด **SEL** 1 ครั้งแล้ว ตัวเลขในบรรทัด **SV** จะกระพริบแล้วกดปุ่ม**ขึ้นหรือลง**เพื่อตั้งอุณหภูมิที่ต้องการแล้วกด **SEL** อีกครั้ง

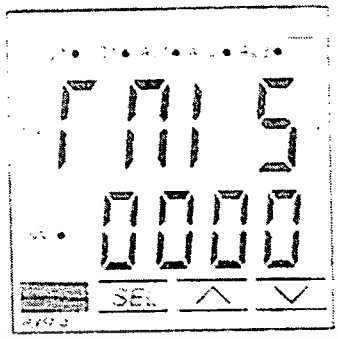
3. จากนั้นกดปุ่ม ลง จะปรากฏดังรูป



สัญลักษณ์นี้คือการตั้งเวลาที่อุณหภูมิภายในเตาขึ้นหรือลงไปถึงอุณหภูมิเป้าหมายที่ 1 ซึ่งจะตั้งเวลาได้ด้วยการกด **SEL** 1ครั้ง แล้วกดตัวเลขในบรรทัด **SV** จะกระพริบแล้วกดปุ่ม**ขึ้นหรือลง** เพื่อตั้งเวลาที่ใช้ โดยสองหน่วยแรกเป็นชั่วโมง สองหน่วยหลังเป็นนาที แล้วกด **SEL** อีกครั้ง

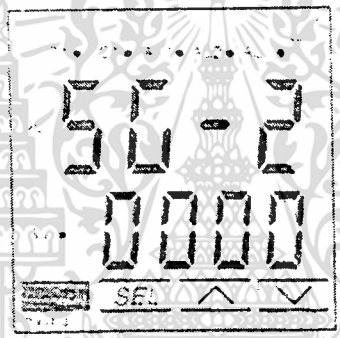
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นกดปุ่มลงจะปรากฏดังรูป



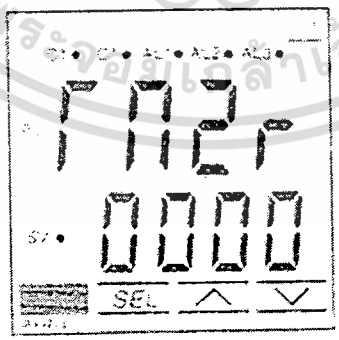
สัญลักษณ์นี้คือการตั้งเวลาแช่ของอุณหภูมิเป้าหมายที่ 1 ซึ่งจะตั้งเวลาได้ด้วยการกด **SEL** 1 ครั้ง แล้วตัวเลขในบรรทัด **SV** จะกระพริบแล้วกดปุ่ม**ขึ้นหรือลง**เพื่อตั้งเวลาที่ใช้ โดยสองหน่วยแรกเป็นชั่วโมง สองหน่วยหลังเป็นนาที แล้วกด **SEL** อีกครั้ง

5. จากนั้นกดปุ่ม **ลง** จะปรากฏดังรูป



สัญลักษณ์นี้คือการตั้งอุณหภูมิเป้าหมายที่ 2 ซึ่งจะตั้งอุณหภูมิเหมือนการตั้งอุณหภูมิเป้าหมายแรก

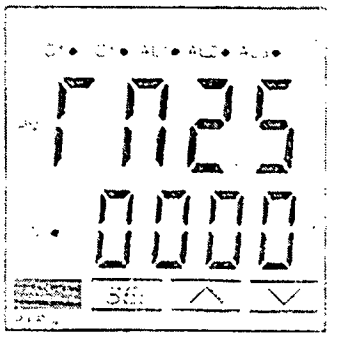
6. จากนั้นกดปุ่ม **ลง** จะปรากฏดังรูป



ตั้งเวลาที่ใช้ในการขึ้นหรือลงของอุณหภูมิจากอุณหภูมิเป้าหมายแรกถึงเป้าหมายที่สอง

7. จากนั้นกดปุ่ม **ลง** แล้วจะปรากฏดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



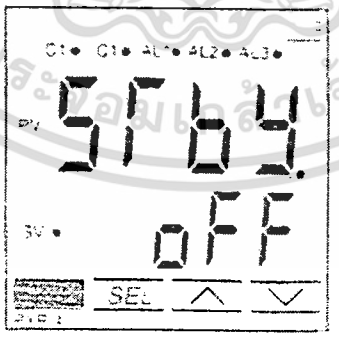
8. ทำซ้ำข้อ 5 ในกรณีต้องการตั้งอุณหภูมิเป้าหมายที่ 3 -8 แล้วเวลาที่ใช้จากเป้าหมายหนึ่งไปอีกเป้าหมายหนึ่ง และเวลาที่ใช้ในการแช่ โดยการสังเกต segment ตำแหน่งสุดท้ายสำหรับบอกถึงแต่ละ step ของการตั้ง และตำแหน่ง segment ที่ 3 สำหรับการตั้งเวลาขึ้นลวหรือเวลาแช่

9. สำหรับกรณี stepที่ไม่ใช้ให้ตั้งค่าเป็นศูนย์จะถือว่าเป็นการยุติโปรแกรม

10. กดปุ่ม **SEL** ค้างไว้ หน้าจอจะกลับไปสู่โหมดปกติ

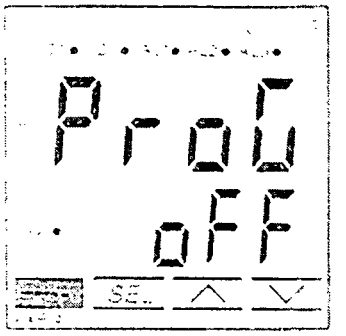
3.4 การเริ่มการทำงานของโปรแกรม

1. กดปุ่ม **Heater on**
2. หลังจากหน้าจออยู่โหมดปกติแล้ว ให้กดปุ่มค้างไว้ 1 วินาที จอจะแสดงดังรูป



3. แล้วกดปุ่มลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. กด **SEL** 1 ครั้ง

5. แล้วกดปุ่มลงเพื่อ **run**

6. แล้วเตาจะเริ่มทำงานตามที่โปรแกรม หลังจากนั้น 30 วินาทีจอจะเข้าสู่โหมดปกติ

3.5 การใช้เครื่อง Oxigen purifier

- เช็ค Pressure gauge ที่ 5 kg/cm^2
- เช็คตำแหน่งเข็ม Regenerate time ที่ Δ ด้านบนหรือล่าง
- รอ Regenerate temperature ให้มีอุณหภูมิ 400 ^0C

การเปิดเครื่อง

1. เปิด Power switch S1 และ Ractor S2
2. เปิด Valve NV1 ของ Pure gas และปรับแรงดันก๊าซที่ 1.5 Nm^3/h
3. เปิด Valve NV1 ของ Regenerate Pure gas

การปิดเครื่อง

1. ถ้าเข็ม Regenerate อยู่ระหว่าง 4-8 ชั่วโมง ให้เปิด Swith S1
2. ถ้าเข็ม Regenerate อยู่ระหว่าง 0-4 ชั่วโมง ให้กระทำดังนี้

กรณีที่ 1 ให้เครื่องทำงานต่อไปจนเกิน 4 ชั่วโมง แล้วถึงปิด switch S1

กรณีที่ 2 ปิด switch S1 และหมุนเข็ม Regenerate timer ในทิศทวนเข็มไปยังตำแหน่ง 0 ชั่วโมง

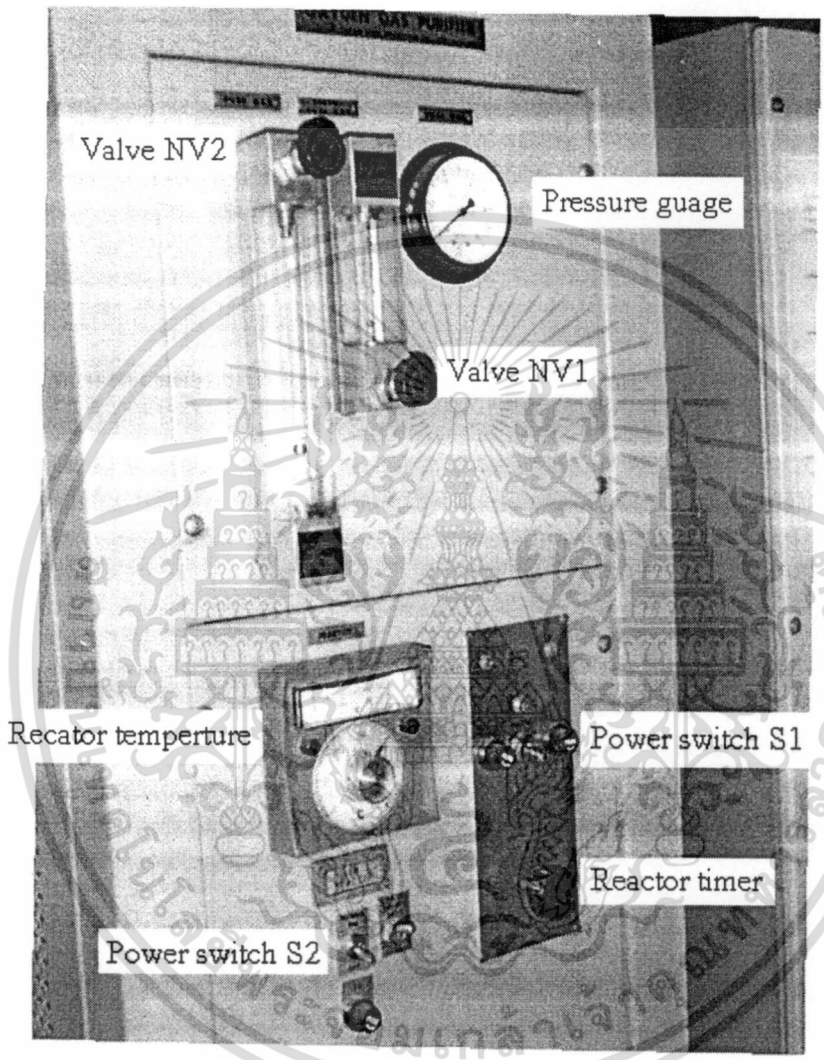
หมายเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การปิดในกรณีที่ 2 ต้องหยุดพักเครื่องไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง

2. กรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องเป็นระยะสั้นให้เปิด Valve ของ Pure gas โดยไม่ต้องปิด Valve ของ Feed gas

3. กรณีที่ไฟดับนานกว่า 5 นาที ให้ปิด switch S1



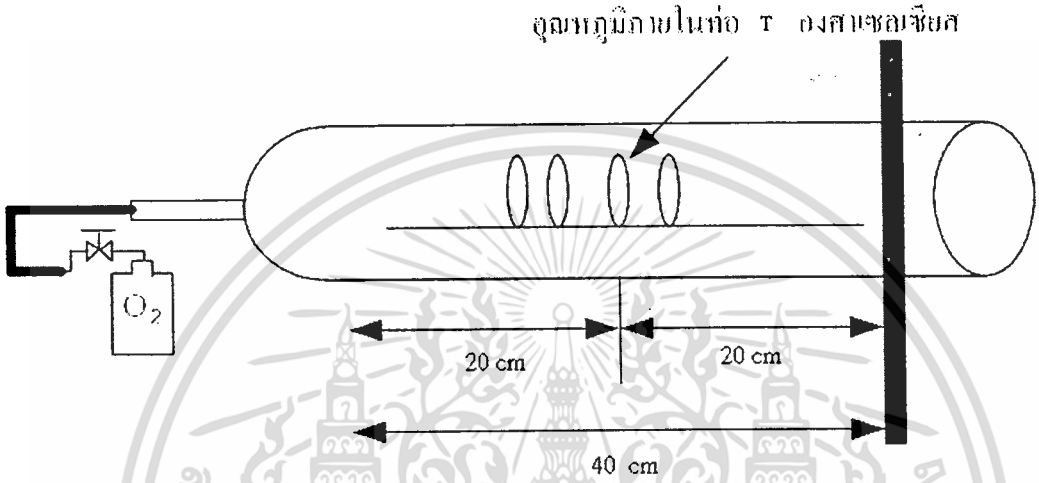
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

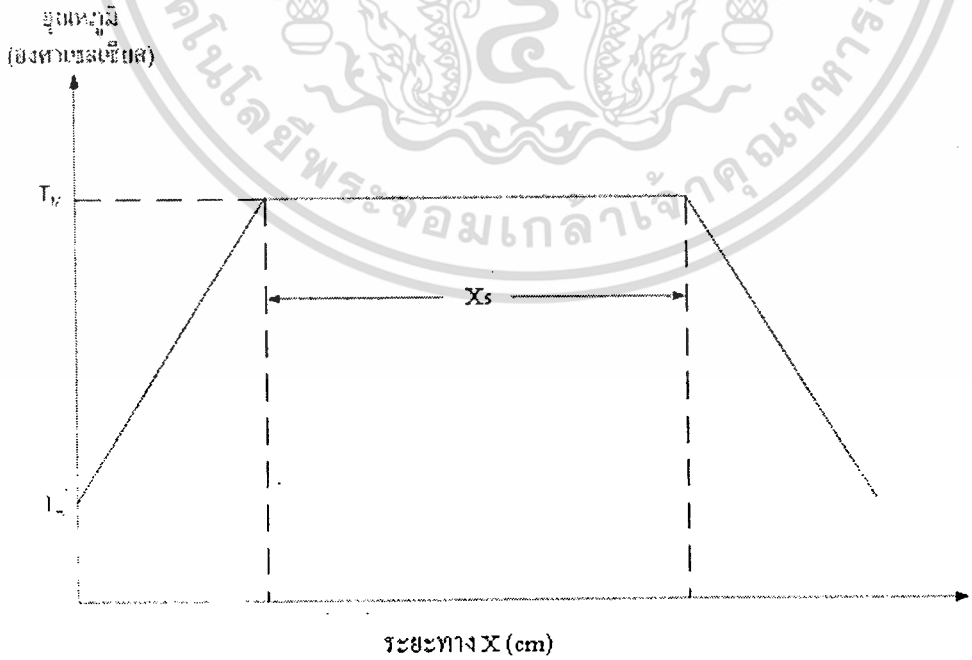
ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบอุณหภูมิของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว

เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวนั้นมีขนาด 40 x 30 x 30 cm และท่ออลูมินามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 cm และยาว 180 cm



รูปที่ 4.1 ภาพตัดขวางของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว



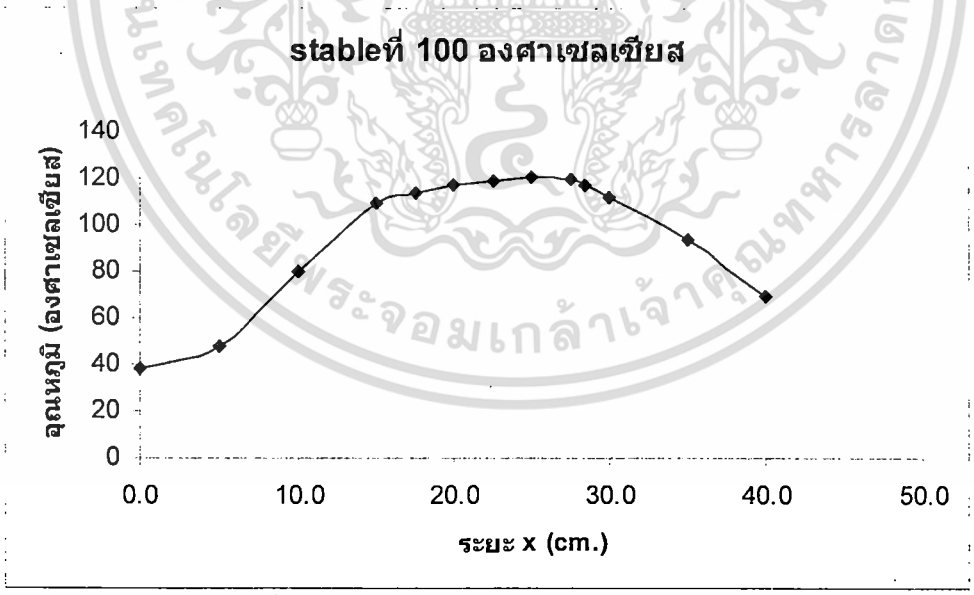
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิที่ระยะทาง (X) ต่าง ๆ ในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงช่วงอุณหภูมิที่ระยะทาง x ต่างๆ ในท่อ ที่อุณหภูมิเริ่มแรกคืออุณหภูมิห้อง (T_R) เมื่อระยะ X เลื่อนเข้าไปในเตาจะทำให้ค่าอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น เมื่อระยะ X เข้าใกล้กึ่งกลางของเตาจะทำให้อุณหภูมิคงที่ เป็นระยะ Xs มีระยะที่อุณหภูมิคงที่ประมาณ 10 cm และเมื่อเลื่อนระยะเข้าไปในเตาเลื่อยจะทำให้มีค่าอุณหภูมิลดลง สำหรับการทดลองนี้จะทดสอบอุณหภูมิต่างๆ กันคือ 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 และ 1100 ^{0}C ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	38
5.0	48
10.0	80
15.0	110
17.5	114
20.0	117
22.5	119
25.0	121
27.5	120
28.5	117
30.0	112
35.0	94
40.0	70



รูปที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C

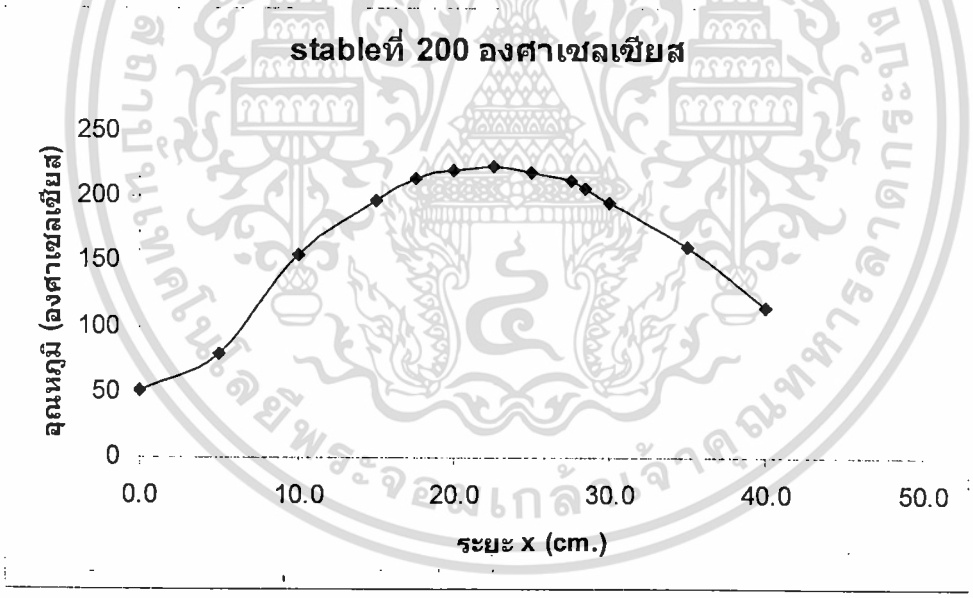
ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 114-121 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

118 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 100 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 118 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 82 ^{0}C

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 200 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	52
5.0	79
10.0	155
15.0	197
17.5	214
20.0	220
22.5	223
25.0	219
27.5	212
28.5	207
30.0	195
35.0	162
40.0	115



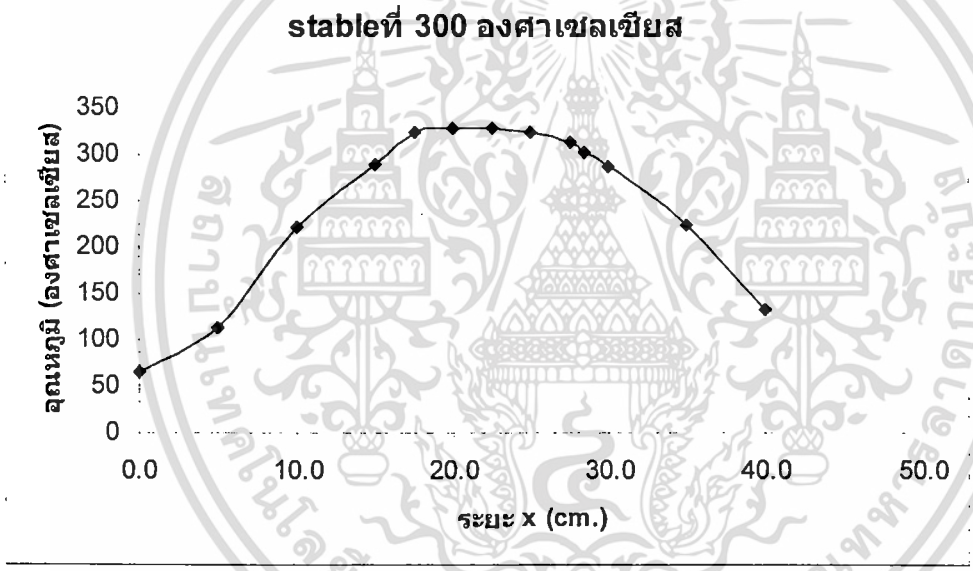
รูปที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 200 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 207-223 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 216 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 200 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 216 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 194 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 300 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	65
5.0	113
10.0	222
15.0	290
17.5	323
20.0	328
22.5	328
25.0	323
27.5	312
28.5	302
30.0	288
35.0	225
40.0	133



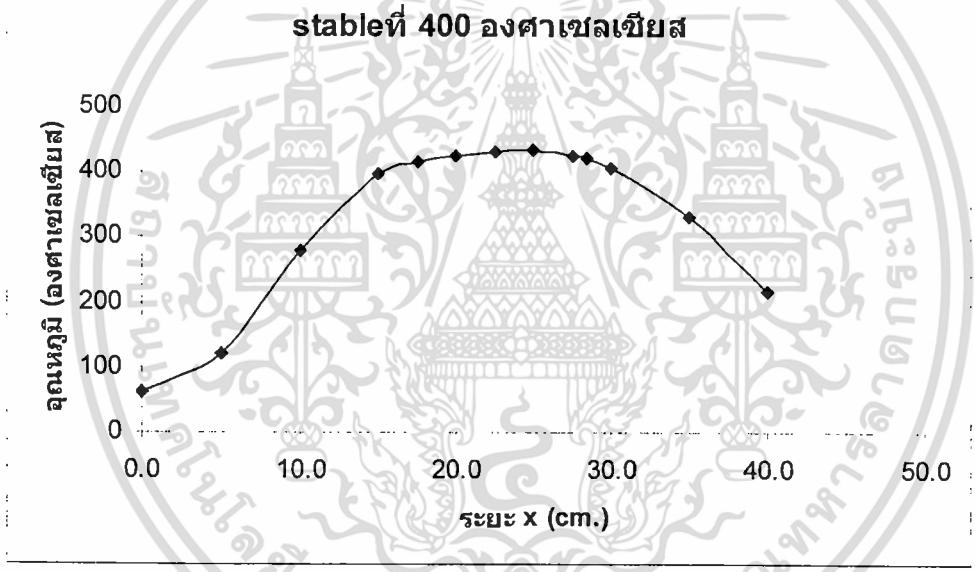
รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 300 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 312-228 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 322 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 300 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 322 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 278 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 400 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	62
5.0	120
10.0	279
15.0	396
17.5	416
20.0	426
22.5	433
25.0	434
27.5	427
28.5	421
30.0	407
35.0	333
40.0	216



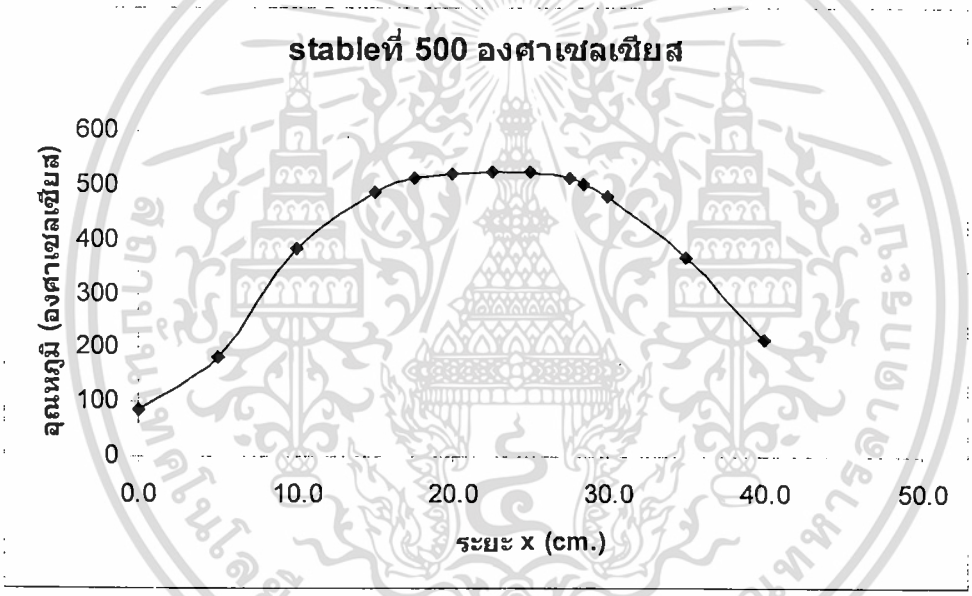
รูปที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 400 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 416-421 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 426 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 400 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 426 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 384 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	84
5.0	183
10.0	383
15.0	490
17.5	514
20.0	522
22.5	527
25.0	524
27.5	514
28.5	504
30.0	480
35.0	368
40.0	215



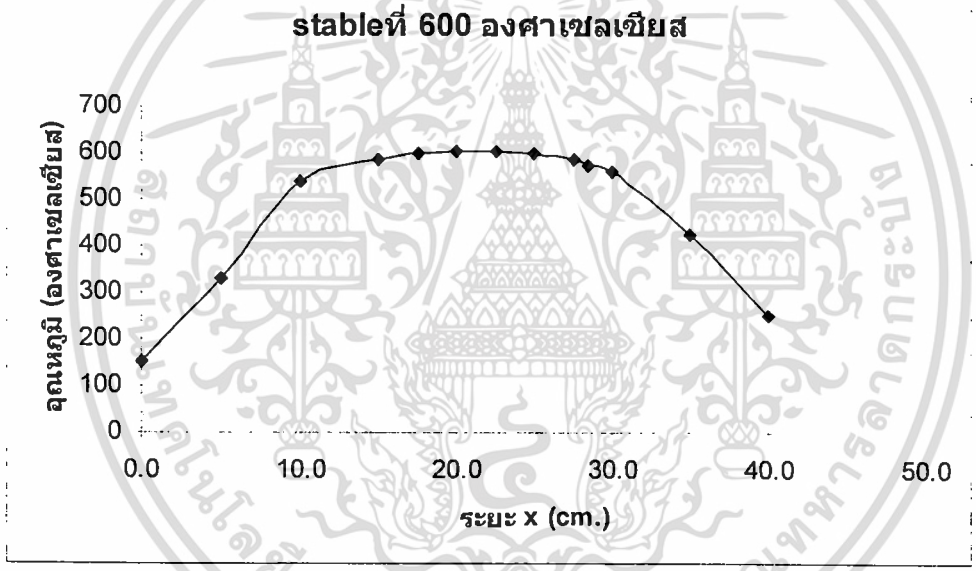
รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 514-527 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 520 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 500 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 520 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 480 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 600 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	153
5.0	332
10.0	538
15.0	589
17.5	601
20.0	606
22.5	606
25.0	601
27.5	589
28.5	576
30.0	559
35.0	428
40.0	252



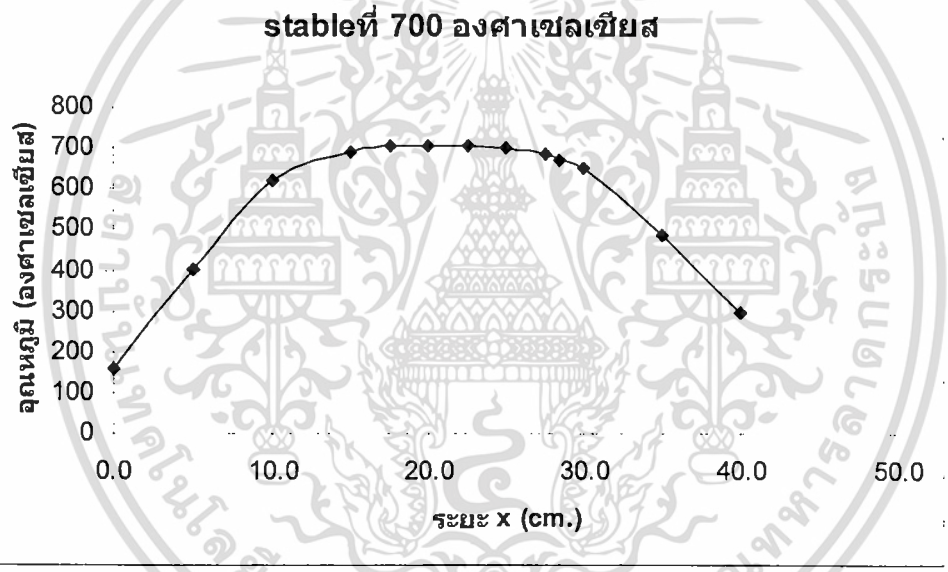
รูปที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 600 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 589-606 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 600 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 600 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 600 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 600 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 700 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	157
5.0	402
10.0	620
15.0	693
17.5	704
20.0	707
22.5	707
25.0	701
27.5	685
28.5	671
30.0	653
35.0	488
40.0	296



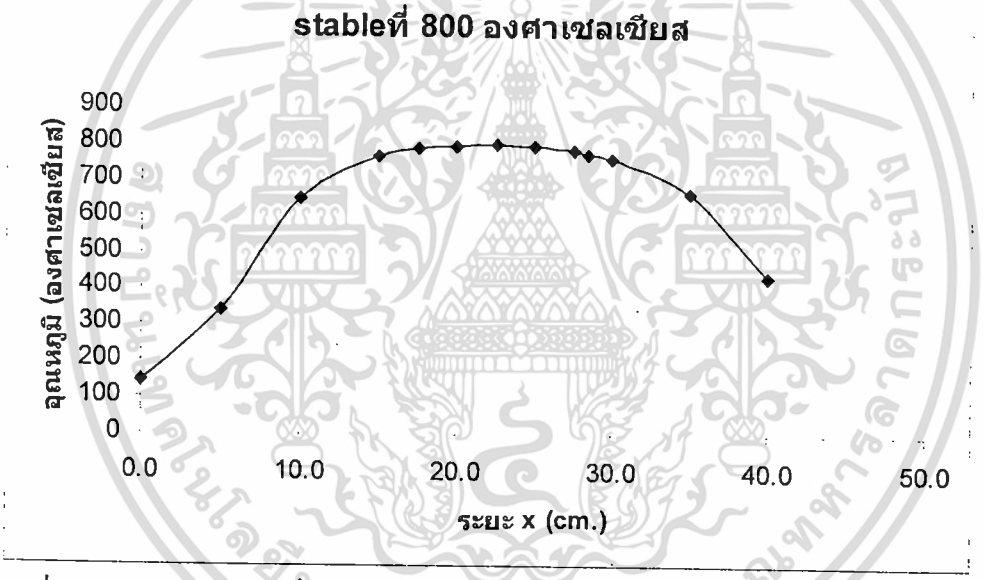
รูปที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 700 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 693-707 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 700 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 700 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 700 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 700 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 800 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	146
5.0	339
10.0	651
15.0	765
17.5	789
20.0	795
22.5	798
25.0	795
27.5	784
28.5	774
30.0	763
35.0	665
40.0	435



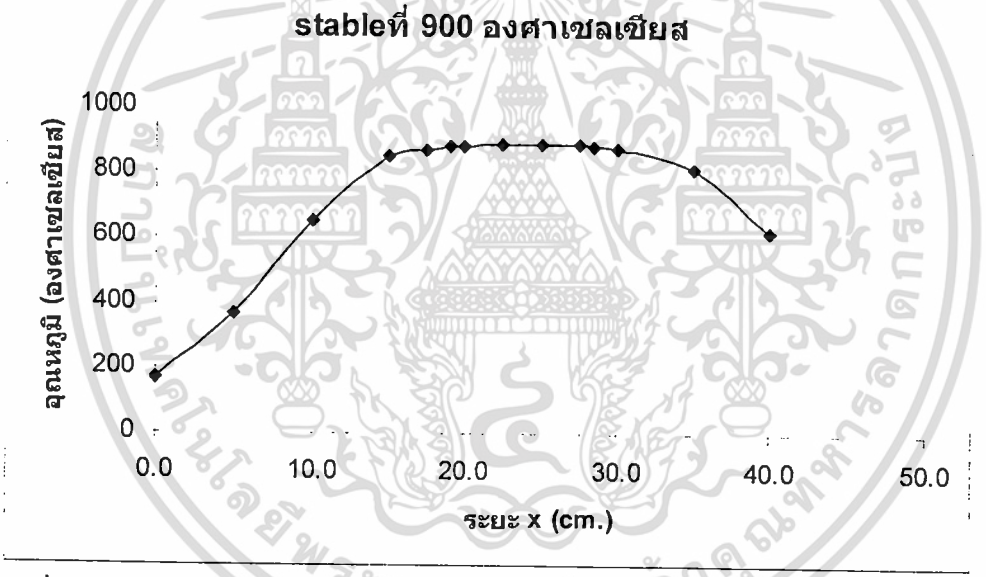
รูปที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 800 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 774-798 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 789 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 800 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 789 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 811 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 900 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	170
5.0	366
10.0	655
15.0	850
17.5	872
19.0	879
20.0	884
22.5	890
25.0	890
27.5	887
28.5	883
30.0	876
35.0	812
40.0	621



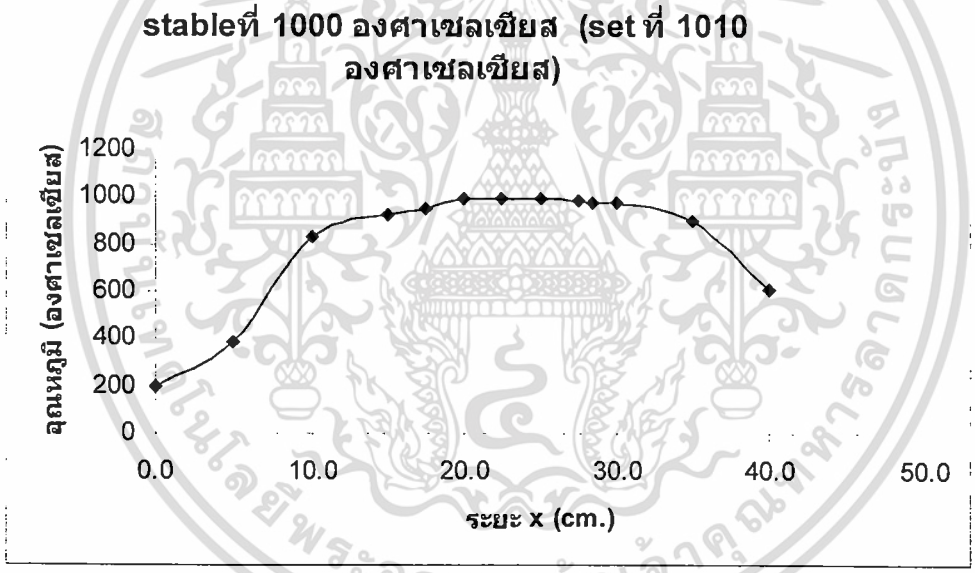
รูปที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 900 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 879-890 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 885 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 900 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 885 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 915 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1000 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	199
5.0	382
10.0	828
15.0	930
17.5	954
20.0	991
22.5	998
25.0	996
27.5	989
28.5	980
30.0	974
35.0	899
40.0	606



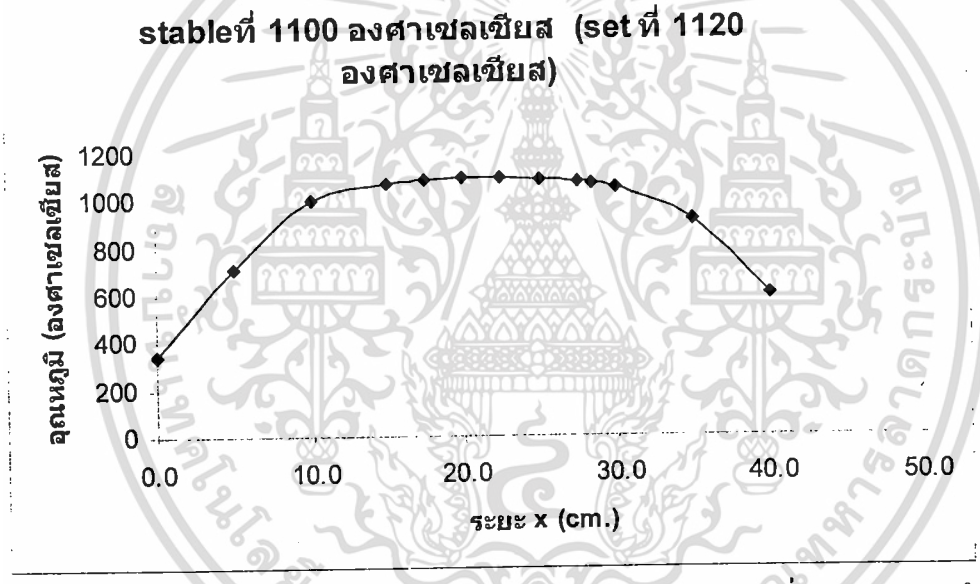
รูปที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1000 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 980-998 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 990 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 1010 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 990 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 1020 ^{0}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1100 ^{0}C

ระยะ x(cm.)	T(°C)
0.0	345
5.0	714
10.0	1000
15.0	1073
17.5	1091
20.0	1097
22.5	1097
25.0	1091
27.5	1077
28.5	1070
30.0	1053
35.0	915
40.0	602



รูปที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิที่ระยะต่างในเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว ที่อุณหภูมิ 1100 ^{0}C

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาระยะ Xs นั้นสามารถหาระยะได้ ประมาณ 10 cm ซึ่งอยู่ในช่วง 18-28 cm ของระยะทางจากปากท่อ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 1077-1097 ^{0}C และอุณหภูมิเฉลี่ย 1090 ^{0}C จากผลการทดสอบอุณหภูมิที่ 1120 ^{0}C และวัดได้อุณหภูมิประมาณ 1090 ^{0}C เราสามารถทำการชดเชยอุณหภูมิได้โดยทำการตั้งอุณหภูมิไว้ 1130 ^{0}C

4.2 กระบวนการสร้างซิลิคอนไดออกไซด์แบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในห้องปฏิบัติการสารกึ่งตัวจะสร้างซิลิคอนไดออกไซด์นั้นจะใช้อุณหภูมิในช่วง 900-1100 ^{0}C และในการทดสอบการสร้างซิลิคอนไดออกไซด์ที่เวลาต่างกันคือ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ได้ความหนาแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

อุณหภูมิ	ความหนาชั้นซิลิคอนไดออกไซด์(Å)		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
900	216	430	645
1000	725	1150	1640
1100	1672	2555	3090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

เตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ฮีตเตอร์, ฉนวนความร้อน และตัวควบคุมอุณหภูมิ สำหรับหลักการทำงานของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวนั้นโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดฮีตเตอร์จะทำให้เกิดความร้อนและอุณหภูมิสูงขึ้น ระดับของอุณหภูมินั้นถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิซึ่งสามารถกำหนดอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิ และสามารถกำหนดช่วงเวลาที่ให้อุณหภูมิคงทีในแต่ละช่วงตามต้องการ แต่สำหรับการกำหนดอัตราการขึ้นของอุณหภูมินั้นมีขีดจำกัดในเรื่องของศักยาภาพของขวดลวดฮีตเตอร์ ไม่ควรกำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเกิน 10 ^{0}C/ min เพราะจะให้ฮีตเตอร์มีอายุการใช้งานสั้น ฉนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิควรอยู่ในช่วง 5 ^{0}C/ min

ในการทดสอบคุณสมบัติของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียว โดยต้องวัดอุณหภูมิที่ระยะต่างๆ ในเตา เพื่อต้องการช่วงที่อุณหภูมิคงทีของเตา ในแต่ละอุณหภูมิ จากการทดสอบหาช่วงอุณหภูมิคงที ได้ระยะของช่วงอุณหภูมิคงที 10 ซม. ซึ่งเริ่มทดสอบจากอุณหภูมิ 100 ถึง 1100 ^{0}C

สำหรับในการทดสอบกระบวนการซิลิคอนไดออกไซด์แบบความร้อน จะต้องระบบเตาออกซิชันแบบโซนเดียวมาต่อเข้าระบบการจ่ายก๊าซของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสมบูรณ์อยู่แล้ว จากการทดสอบกระบวนการสร้างพบว่า จำนวนแผ่นที่ใช้ในการสร้างครั้งละ 4 แผ่น ซึ่งมีขนาด 2.5X2.5 cm ในขณะที่ระบบของเตาออกซิเดชันของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้ครั้งละ 10 แผ่น แต่ในการใช้ทรัพยากรทั้งก๊าซและกำลังงานไฟฟ้า ในส่วนของการใช้ก๊าซของเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวนั้นจะใช้ก๊าซเป็นปริมาณ 500 cc/min ในขณะที่เตาออกซิเดชันใช้ก๊าซประมาณ 1000 cc/min และเตาออกซิเดชันแบบโซนเดียวยังใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 5 แอมป์ ในขณะที่เตาออกซิเดชันใช้กระแสไฟฟ้า 30 แอมป์ จากการทดลองพบว่าคุณสมบัติของแผ่นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันมีคุณสมบัติไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สมเกียรติ ศุภเดช. "วงจรรวมเบื้องต้น." คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2552.

[2] ดร.ไพรัช ธัชยพงษ์. "อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ." คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2551.

[3] Lothar Stern, "Fundanientals of Integratedd Circuits", Hayden book Company 1969.

[4] John Allison, "Electronic Integrated Circuits", McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. 1975.

[5] สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. "หลักการวัดและใช้งานเครื่องมือวัดอุตหกรรม". กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเซียเพรส จำกัด. 2536.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้