

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาต้นแบบเครื่องทำความสะอาดซีดีคอนเวเยอร์ด้วยเทคนิคสปีน



นายสุศักดิ์ พิธีสานต์ศิริ
นายสุรพล โมฬีพันธ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 47281
วัน, เดือน, ปี..... 2.7 ส.ย. 2546

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

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Wafer Cleaner using Spinning Technique



A Special Project Submitted on Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Faculty of Science



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาต้นแบบเครื่องทำความสะอาดชิลิกอนเวเฟอร์
 นักศึกษา นายชูศักดิ์ ทิฐิฐานต์ศิริ
 นายสุรพล โมฬีพันธ์
 ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ.บดินทร์ คำรงค์ศักดิ์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.นุจรินทร์ รามัญกุล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ออนุมัติให้นับโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.วราวุฒิ เกาส์คดา	
กรรมการ รศ.วิชิต สิริโชค	
กรรมการ ผศ.วิชาญ เตชะธีระ	
กรรมการ อ.บดินทร์ คำรงค์ศักดิ์	
กรรมการ ดร.นุจรินทร์ รามัญกุล	



(ผศ.วิชาญ เตชะธีระ)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาต้นแบบเครื่องทำความสะอาดชนิดิกอนเวเฟอร์
นักศึกษา	นายชูศักดิ์ ทิฐีสานต์ศิริ นายสุรพล โมฬีพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.บดินทร์ คำรงค์ศักดิ์ ดร.นุจรินทร์ รามัญกุล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2545

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องทำความสะอาดชนิดิกอนเวเฟอร์ด้วยเทคนิคสปีน ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมานี้สามารถควบคุมการหมุนของฐานรอง โดยความเร็วในการหมุนแผ่นเวเฟอร์สูงสุดเท่ากับ 2000 รอบต่อนาที และสามารถควบคุมการปิด-เปิดของวาล์วน้ำ DI และก๊าซไนโตรเจนได้ นอกจากนี้ในโครงการพิเศษได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้และแนวทางการพัฒนาเพื่อนำชุดต้นแบบเครื่องทำความสะอาดไปใช้งานจริงในห้องวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Development of Wafer Cleaner using Spinning
Technique
Name Mr.Chusak Thithisansiri
Mr.Surapon Molepan
Advisor Mr.Badin Damrongsak
Co-advisor Dr.Nudjarin Ramungul
Department Applied Physics
Year 2002

Abstract

In the special project, the prototype of wafer cleaner using spinning technique was designed and developed. The operations of the wafer cleaner, such as wafer spinning up to 2000 RPM and flow control of deionized water (DI) and nitrogen, are controlled by microcontroller, AT89c52. In addition, the feasibility study of the prototype was carried out in this special project.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษในครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตาจาก อาจารย์บัณฑิต ดำรงค์ดี (พี่เจิน) ที่ได้ให้สิ่งดี ๆ ต่างๆ มากมายไม่ว่าจะเป็น โอกาส วิธีการดำเนินโครงการ วิธีวิเคราะห์ปัญหา ความรู้ต่างๆ ตลอดจนคำปรึกษา คำแนะนำตลอดการทำโครงการ 1 ปีที่ผ่านมา ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบคุณ ดร.นุจรินทร์ รามัญกุล และห้องปฏิบัติการวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้การสนับสนุนสนับสนุนเงินทุน เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษ รวมไปถึงการช่วยสร้างอุปกรณ์ประกอบต่างๆที่ใช้ในโครงการนี้ และบุคคลต่างๆที่เกี่ยวข้องใน MTEC

ขอขอบคุณท่านรองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ต่างๆ ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์และให้คำแนะนำ คำปรึกษาต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอบคุณพี่ป๋ม ที่กรุณาให้ใช้ห้องทำโครงการพิเศษนี้ ให้หยิบยืมอุปกรณ์ต่างๆและรุ่นพี่ๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดจนเพื่อนๆ ที่รักทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆด้วยดีตลอดมา

ขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

ชูศักดิ์ ทิฐีสานต์ศิริ

สุรพล โมฬีพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	1
1.3 ขอบเขตของงานที่ทำ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการของการยึดเกาะอนุภาคบนพื้นผิว.....	3
2.2 ความหนืดและความเสถียร.....	6
2.3 ความหนืดกับอุณหภูมิ.....	7
2.6 วิเคราะห์การหลุดออกของอนุภาคเมื่อทำการล้างแบบสปีน.....	8
2.7 กลศาสตร์ของการนำสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว.....	9

บทที่ 3 การออกแบบชุดต้นแบบเครื่องล้างเวเฟอร์แบบสปีน

3.1 ชุดล้างเวเฟอร์

3.1.1 มอเตอร์.....	12
3.1.2 คลັปล้าง.....	16
3.1.3 หัวยึดจับเวเฟอร์.....	16
3.1.4 โครงป้องกันมอเตอร์.....	16
3.1.5 หัวฉีดสารเคมี.....	17

3.2 ชุดควบคุมการล้างเวเฟอร์

3.2.1 ชุดขับมอเตอร์.....	17
3.2.2 ชุดควบคุมการขับ.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.3 ชุดควบคุมความเร็ว.....	21
3.2.4 ชุดควบคุมวาล์ว.....	24
3.2.5 ชุดแสดงผล.....	25
3.2.6 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	25
3.3 ชุดวาล์ว.....	31
บทที่ 4 การทดลอง	
4.1 การทดสอบคุณสมบัติของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น.....	33
4.2 ศึกษาถึงแนวทางการออกแบบระบบการทำความสะอาดเวเฟอร์ที่จะต้องพัฒนาต่อไป ในอนาคต.....	38
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอ.....	42
บรรณานุกรม.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ของ Hamaker	6
ตารางที่ 2-2 ความหนืดของสารต่างๆเป็นมิลลิปอยส์ที่ 20°C	7
ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่อ่านได้ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับสโตโบส- โคป.....	33
ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการจ่ายไฟตรงที่ระดับต่างๆ	35
ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนระดับแรงดันกับความถี่ PWM	37
ตารางที่ 4-4 แสดงเวลาการเป่าแห้ง โดยใช้หัวฉีดแบบสเปรย์.....	39
ตารางที่ 4-5 แสดงเวลาการเป่าแห้ง โดยใช้หัวฉีดแบบปล่อยน้ำทิ้ง.....	40
ตารางที่ 4-6 สรุปผลการทดลอง(ที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที).....	41
ตารางที่ 4-7 สรุปผลการทดลอง(ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที).....	41
ตารางที่ 4-8 สรุปผลการทดลอง(ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที).....	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 แสดงค่าพลังงานศักย์กับระยะทางดึงดูดกันและผลักกันของประจุ.....	4
รูปที่ 2-2 อนุภาคบนพื้นผิวที่ระยะทาง h_0	5
รูปที่ 2-3 แสดงการหมุนของเวเฟอร์เมื่อทำการปล่อยน้ำที่ทำความสะอาด.....	8
รูปที่ 2-4 วิเคราะห์การหมุนเมื่อใส่น้ำเข้ามาบนเวเฟอร์.....	9
รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีการไหลของน้ำเมื่อ $h_0 \ll a_p$	9
รูปที่ 2-6 แสดงถึงสิ่งกีดขวางอันเนื่องมาจากความขรุขระของพื้นผิวและแรงที่เกี่ยวข้อง.....	10
รูปที่ 3-1 แสดงชุดต้นแบบที่พัฒนาขึ้น.....	11
รูปที่ 3-2 โครงสร้างทั่วไปของคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	12
รูปที่ 3-3-1 การขับมอเตอร์ brushless แบบ 120 องศาตามเข็มนาฬิกา.....	14
รูปที่ 3-3-2 การขับมอเตอร์ brushless แบบ 120 องศาทวนเข็มนาฬิกา.....	15
รูปที่ 3-4 คลิปปลั๊ก.....	16
รูปที่ 3-5 หัวฉีดจับเวเฟอร์.....	16
รูปที่ 3-6 แสดงลักษณะหัวสเปรย์(ด้านซ้ายมือ)และหัวแบบปล่อยน้ำทิ้ง(ด้านขวามือ).....	17
รูปที่ 3-7 three-phase bridge inverter.....	18
รูปที่ 3-8 แสดงลักษณะช่วงเวลาหน่วง rise time(t_r) และ fall time(t_f).....	18
รูปที่ 3-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{GS} กับ I_p	19
รูปที่ 3-10 การขับมอเตอร์ brushless ของชิพ MC33033	20
รูปที่ 3-11 ไดอะแกรมการทำงานของ MC33033.....	20
รูปที่ 3-12 การเชื่อมต่อ inverter (74LS04) กับคำสั่งการทำงานของชิพ MC33033.....	21
รูปที่ 3-13 ไดอะแกรมการทำงานของ PWM	22
รูปที่ 3-14 ลักษณะการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับความเร็วในชิพ MC33033.....	22
รูปที่ 3-15 Transfer curve เชงอุดมคติของ DAC ขนาด 3 บิต.....	23
รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของรีเลย์ที่ใช้ในโครงงานพิเศษ.....	24
รูปที่ 3-17 วงจรสวิตช์รีเลย์.....	24
รูปที่ 3-18 ไดอะแกรมวงจรอินเทอร์เฟซโมดูล LCD.....	25
รูปที่ 3-19 แสดงการเชื่อมต่อกับส่วนต่างๆที่ใช้งาน.....	27
รูปที่ 3-20 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมในโหมด Manual.....	29

๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-21 แสดงโฟลวชาร์ตในโหมด Program.....	30
รูปที่ 3-22 แสดงชุดการติดตั้งวาล์ว.....	31
รูปที่ 4-1 เครื่องสโตโบสโคป.....	32
รูปที่ 4-2 การต่อแหล่งกำเนิดไฟจากภายนอก.....	34
รูปที่ 4-3 ภาพจำลอง การเตรียมพร้อมที่จะทดลอง.....	34
รูปที่ 4-4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับ แกน X กับความเร็ว(รอบต่อนาที) แกน Y.....	35
รูปที่ 4-5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับความเร็ว(รอบต่อนาที).....	36
รูปที่ 4-6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับแกน X กับความถี่(Hz) แกน Y.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันงานวิจัยทางด้านเซมิคอนดักเตอร์มีการคิดหาเทคนิควิธีการใหม่ๆ ที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้นและต้นทุนการผลิตต่ำ กระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำนั้นต้องการเวเฟอร์ที่ความสะอาดก่อนจะเข้าสู่กระบวนการอื่นๆต่อไป ดังนั้นการทำให้เวเฟอร์สะอาดจึงเป็นสิ่งจำเป็นมาก ถ้าหากมีสิ่งสกปรกเพียงเล็กน้อยก็อาจจะทำให้การประดิษฐ์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำไม่สำเร็จ นั่นก็เป็นอุปสรรคแรกๆที่พบเห็นได้ทั่วไปในห้องวิจัย หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ประดิษฐ์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ นี่ก็เป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจึงไม่อาจละเลยที่จะต้องทำความสะอาดเวเฟอร์ทุกครั้งไป การทำความสะอาดผิวหน้าซิลิกอน เวเฟอร์นั้นก็มีหลากหลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีไหนก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม จำนวนการล้างต่อแผ่นก็สำคัญ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมก็ควรที่จะทำความสะอาดที่เดียวหลายๆแผ่น ถ้าใช้ในระดับห้องวิจัยก็ทำความสะอาดที่ละแผ่นเป็นต้น นอกจากนี้ความเหมาะสมในเรื่องนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายๆ อย่างมาช่วยตัดสินใจเลือกใช้ เช่น ใช้เวลาล้างเวเฟอร์ไม่นาน มีความปลอดภัย ความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือ งบประมาณ จำนวนสารเคมีที่ใช้ ความสะดวกในการใช้งาน เป็นต้น สำหรับโครงการพิเศษนี้ได้เลือกวิธีการทำความสะอาดเวเฟอร์แบบเทคนิคสปิน(ล้างที่ละแผ่น) ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีที่ใช้แรงสปินมาช่วยในการทำความสะอาด โดยพ่นสารเคมีลงบนแผ่นเวเฟอร์ในขณะที่หมุนเพื่อให้อนุภาคสิ่งสกปรกถูกแรงพัดพาจากการไหลของสารเคมี และเวลาที่ใช้นั้นน้อยกว่าแบบที่ใช้กันทั่วไปในห้องวิจัย (ในอนาคตสามารถนำสารเคมีที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดสารเคมีลงอย่างมากและเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง) ในส่วนของรายงาน รายงานฉบับนี้มุ่งเน้นงานด้านการสร้างและการออกแบบระบบเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาวิธีการทำความสะอาดผิวหน้าซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยเทคนิคการสปิน
2. พัฒนาต้นแบบเครื่องทำความสะอาดซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยเทคนิคสปิน
3. ศึกษาถึงความเป็นไปได้และแนวทางพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานจริงในห้องวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานที่ทำ

โครงการพิเศษนี้จะทำการพัฒนาเครื่องต้นแบบวิธีการทำความสะอาดซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยเทคนิคสปีน โดยเบื้องต้นจะใช้น้ำธรรมดาแทนน้ำ DI(น้ำที่ปลอดประจุ หรือเรียกว่า Deionized water)และใช้ก๊าซไนโตรเจน(N_2)มาใช้ในการทำความสะอาดซึ่งต้นแบบนี้จะใช้ ตัวควบคุมเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89C52) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของฐานรองและควบคุมการปิด-เปิดวาล์วน้ำ DI และ N_2 รวมไปถึงการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้จริงในห้องวิจัยและหาแนวทางการพัฒนาต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีทักษะในด้านการสร้างและออกแบบเครื่องมือที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์
2. รู้จักวิธีการทำงานอย่างเป็นระบบ และสามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาอย่างมีหลักการและเหตุผล
3. สามารถนำชุดต้นแบบที่สร้างไปศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อไปให้ใช้งานได้จริงในห้องวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

การยึดเกาะของอนุภาคเล็กๆในระดับไมคอนบนผิวซิลิกอนเวเฟอร์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการทำอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ การที่จะนำสิ่งสกปรกเหล่านี้ออกจำเป็นต้องเข้าใจการยึดเกาะระหว่างอนุภาคและผิวซิลิกอนเวเฟอร์ ในปี ค.ศ. 1971 Johnson Kendall และ Robert ได้ขยายความทฤษฎีของการยึดเกาะของวัสดุ 2 ชนิดที่เข้ามาใกล้กัน จนกลายมาเป็นทฤษฎี JKR ต่อมา ในทฤษฎีนี้ได้กล่าวถึงเรื่องแรงดึงดูด (attractive force) และแรงผลัก (repulsion force) กันของอนุภาค[4] ซึ่งในบทนี้ได้อธิบายฟิสิกส์ของการยึดเกาะจากแรงดังกล่าว การทำความสะอาดเวเฟอร์ด้วยเทคนิคสปิน ซึ่งอาศัยแรงหมุนในการทำให้กระแสของของไหลช่วยพัฒนาอนุภาคสิ่งสกปรกออกไป ปัจจัยที่ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปนั้น มีสาเหตุหลายประการด้วยกัน ในโครงการนี้สนใจเรื่องของกระแสของของไหลที่อยู่ภายใต้การหมุน ซึ่งคำว่า “ของไหล” นั้น ในที่นี้หมายถึง สสารที่ไหลไปมาได้ เช่น ของเหลวและก๊าซ

2.1 ฟิสิกส์ของการยึดเกาะอนุภาคบนพื้นผิว(The physics of adhesion of particle to surface)

เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ของอนุภาคขนาดเล็กมากๆที่สัมผัสกับพื้นผิวพบว่า มีแรงกระทำซึ่งกันและกันโดยมีระยะห่างเป็นเงื่อนไข(ระดับอังสโตม(A^0)) แรงดังกล่าวเป็นแรงแวลเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) หรือเรียกว่า แรงลอนดอน(London force) แรงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสตลอดเวลา จึงทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนรอบๆนิวเคลียสหรืออิเล็กตรอนในอนุภาคเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้อนุภาคกลายเป็นอนุภาคมีขั้วอย่างอ่อนๆขึ้นชั่วขณะหนึ่ง(เกิดขึ้นเนื่องจากด้านหนึ่งของอนุภาคมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากกว่าอีกด้านหนึ่ง) เมื่ออนุภาคไม่มีขั้วกลายเป็นอนุภาคมีขั้วก็จะไปชักนำอนุภาคใกล้เคียงกลายเป็นอนุภาคมีขั้วด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคซึ่งเรียกว่า แรงลอนดอน

ถ้ามองแรงลอนดอนเป็นเรื่องของแรงทางประจุไฟฟ้าที่มีประจุกระทำต่อกันตามกฎของเกาส์ (Gauss's law)จะเขียนสมการได้เป็น[2]

$$F = \frac{-Z_1 e Z_2 e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาพลังงานศักย์ในระบบรวมแล้วจะมีเทอมของการผลักกันอยู่ด้วย เขียนสมการได้เป็น

$$V = -A \frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + B \frac{1}{r^n} \quad (3)$$

โดยค่า B สามารถหาได้จากการทดลอง

n จะอยู่ในช่วง 7-9 ตามแต่ละชนิดของประจุ

จากที่กล่าวไปข้างต้นจะเห็นได้ว่าไม่ทางที่ประจุ 2 ประจุจะเข้ามาอยู่ติดกันได้เลย นั่นจึงเป็นคำตอบที่พอจะอธิบายถึงอนุภาคของสิ่งสกปรกขนาดเล็กที่เกาะบนแผ่นเวเฟอร์ได้คือว่า อนุภาคสิ่งสกปรกนั้นไม่ได้ติดกับผิวหน้าซิลิคอนเวเฟอร์จริงๆแต่อนุภาคนั้นมีแรงดึงดูดกันตามแรงแวลเดอร์วาลส์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น [1]

$$F_{ad} = \frac{AR}{6h_0^2} \quad (4)$$

เมื่อ

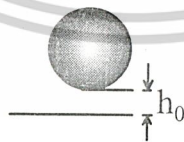
R เป็นรัศมีของอนุภาค

h_0 เป็นระยะห่าง พื้นผิวกับอนุภาค

A เป็นสัมประสิทธิ์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ 2 ชนิด(อนุภาคกับพื้นผิว) สมการนี้คิดที่สูญญากาศ

สัมประสิทธิ์ A นี้จะทราบได้จากค่าคงที่ของ Hamaker โดยปกติ

$$A = 0(10^{-19} \text{ จูล})$$



รูปที่ 2-2 อนุภาคบนพื้นผิวที่ระยะทาง h_0

ตารางที่ 1 แสดงค่าต่างๆไปที่ใช้พิจารณาในการประมาณของค่าคงที่ Hamaker ของวัสดุต่างๆทั่วไป แล้วสัญลักษณ์ A_{11} หมายถึงค่าคงที่ระหว่างพื้นผิวที่เหมือนกันและ A_{12} หมายถึงพื้นผิวที่ไม่เหมือนกัน ถ้าพื้นผิวที่แยกกันด้วยน้ำจะใช้สัญลักษณ์เป็น A_{131} หรือ A_{132} (เลข 3 หมายถึงน้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอนุภาคที่ต่างกันค่าคงที่ของ Hamaker A_{12} มีความสัมพันธ์กับ A_{11} และ A_{22} เป็นดังนี้

$$A_{12} = (A_{11} A_{22})^{1/2} \quad (5)$$

สำหรับการคำนวณในสมการ 1 การหาแรงยึดเกาะต้องทราบค่าคงที่ของ Hamaker และ ระยะทาง h_0 ซึ่งระยะทางนี้ไม่ทราบอย่างแน่นอน โดยทั่วไปมักใช้ค่า 4-6 อังสตรอม

ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ของ Hamaker

Material	A_{11}	A_{13i}
Water(A_{33})	4.4	
Polystyrene	6.3	0.35
Al_2O_3	16	4.2
Fe_2O_3	23	3.4
Au	46	33
Si	26	13
SiO_2	10-50	0.2-1.7
Quartz	4-19	1.3
Graphite	47	
Carbon	22	
Diamond	28	
Polyethylene	10	0.4
PTFE(Teflon)	5.6	0.04
Polyvinylfluoride	20	

2.2 ความหนืดและความเหลว(Viscosity and Fluidity)

การกำจัดสิ่งสกปรกออกโดยใช้น้ำ แน่นอนว่าน้ำที่จะนำมาล้างเป็นของเหลว ซึ่งมีความต้านทานการไหล เรียกว่าความหนืด(viscosity) โดยทั่วไปแล้วมักหมายถึงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (relative motion) ระหว่างของเหลว 2 ชั้น ดังนั้นอาจจะถือว่าเป็นความเสียดทานภายใน (internal friction) ก็ได้ สำหรับการไหลของของเหลวที่เป็นสาย(stream line) เขียนสมการได้ดังนี้[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu = \frac{\pi r^4 t p}{8vL} \quad (6)$$

เมื่อ

μ = สัมประสิทธิ์ความหนืด(เรียกสั้นๆว่าความหนืด)

v = ปริมาตรของเหลวมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

L = ความยาวของท่อที่ของเหลวไหลผ่านมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

r = รัศมีของท่อ

p = ความดันที่ใช้ มีหน่วยเป็นคานันต์ต่อตารางเซนติเมตร

ถ้าของเหลวมีความหนืดต่ำเรียกว่าโมไบล์(mobile) แต่ถ้าสัมประสิทธิ์สูง ของเหลวนั้นก็เรียกว่าวิสคอส(viscous) ของเหลวชนิดนี้จะไหลยาก ส่วนกลับของความหนืดเรียกว่า ความไหล(fluidity)

ตารางที่ 2-2 ความหนืดของสารต่างๆเป็นมิลลิปอยส์ที่ 20°C

น้ำ	10.09
เบนซิล	6.47
อะซิโตน	3.29
คาบอนเตตระคลอไรด์	9.68
กลีเซอรอล	8500
เอสธานอล	12

2.3 ความหนืดกับอุณหภูมิ(viscosity and temperature)

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดของของเหลว แตกต่างไปจากพฤติกรรมของก๊าซ ในขณะที่สัมประสิทธิ์ของความหนืดของก๊าซเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ความหนืดของของเหลวจะลดลงจนเห็นได้เด่นชัดในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของเหลวที่มีต่ออุณหภูมิแสดงได้โดยสมการเอ็กโปเนนเชียล หรือสมการของลอคการ์ริธึมดังนี้[10]

$$\mu = Ae^{E/RT} \quad (7)$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

ϵ_0 เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของอากาศ (8.85×10^{-14} F/cm)

Z_1 และ Z_2 เป็นวาเลนซ์ (valence) ของไอออน

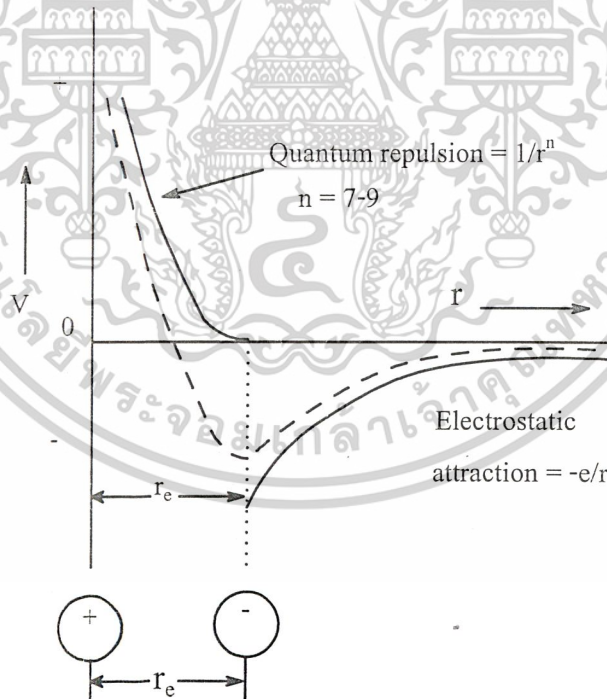
e เป็น electronic charge per electron

ดังนั้นพลังงานศักย์จากระยะไกลๆจนมาถึงระยะ r เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$V = \int_r^\infty F dr = -A \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2)$$

A เป็นค่าคงที่ของ Madelung

จากกราฟรูปที่ 1 เห็นได้ว่าการดึงดูดกันของประจุทั้ง 2 ที่ตรงกันข้ามจะไม่สามารถเข้าใกล้กันได้แบบสนิทเพราะยังคงมีแรงผลักรันอยู่ แต่จะมีระยะทางที่ประจุทั้ง 2 สามารถเข้าใกล้กันที่สุดอยู่ค่าหนึ่ง (r_e)



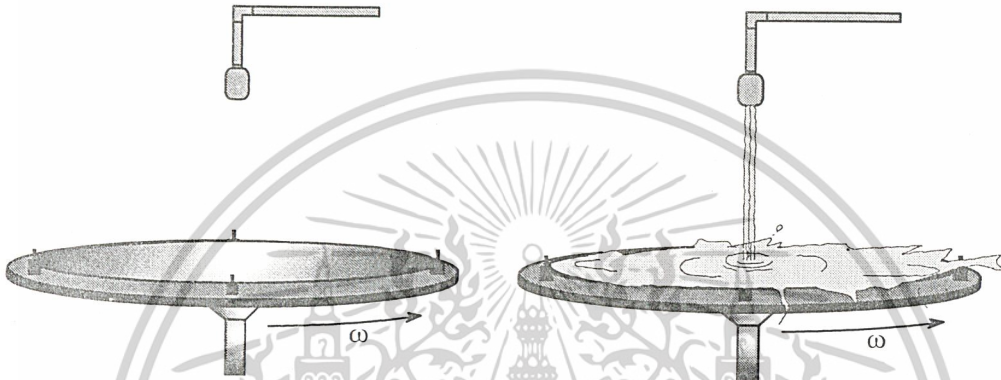
รูปที่ 2-1 แสดงค่าพลังงานศักย์กับระยะทางดึงดูดกันและผลักรันของประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\log \mu = \frac{B}{T} + C \quad (8)$$

เมื่อ A และ E หรือ B และ C เป็นค่าคงที่ของของเหลวที่กำหนดให้ ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $\log \mu$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิ $1/T$ จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งของเหลวส่วนใหญ่จะประพฤติตัวเช่นนี้

2.4 วิเคราะห์การหลุดออกของอนุภาคเมื่อทำการล้างแบบสปิน



รูปที่ 2-3 แสดงการหมุนของเวเฟอร์เมื่อทำการปล่อยน้ำที่ทำความสะอาด[1]

ในการหมุน(ดูรูปที่ 2-4 ประกอบ)พบว่าน้ำที่ไหลเข้ามา (Q) ที่แผ่นเวเฟอร์ ขณะหมุนจะมีความหนาของน้ำที่แพร่กว้างคิดเป็นสมการได้ว่า

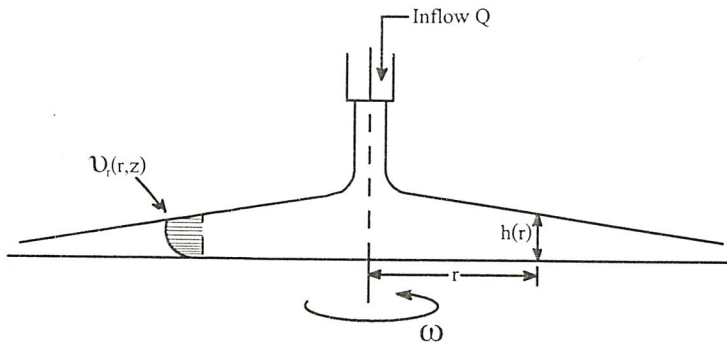
$$Q = 2\pi \int_0^h v_r dz = \frac{2\pi}{3\mu} \rho r^2 \omega^2 h^3 \quad (9)$$

เมื่อ v_r คือ ความเร็วที่พัดพา

ค่าความสูงของความหนานี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h(r) = \frac{3\mu Q}{2\pi\rho r^2\omega^2}^{1/3} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 วิเคราะห์การหมุนเมื่อใส่น้ำเข้ามาบนแนวเฟออร์

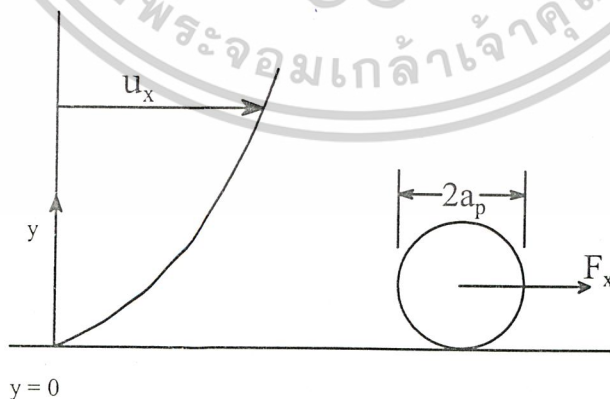
จะหาความเค้นในแนวเลื้อนเนื่องจากความหนาของน้ำที่ถูกหมุนได้จาก

$$\tau_0 = \mu \left. \frac{v_r}{z} \right|_{z=0} = \rho r \omega^2 h \quad (11)$$

เมื่อแทน h จากสมการ 10 จะได้ว่า

$$\tau_0 = \rho r \omega^2 \left(\frac{3\mu Q}{2\pi\rho r^2 \omega^2} \right)^{1/3} \quad (12)$$

2.5 กลศาสตร์ของการนำสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว (Mechanism of removal of particles from surface)



รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีการไหลของน้ำเมื่อ $h_0 \ll a_p$ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคของเวเฟอร์จะอยู่ในของไหลอันเนื่องมาจากการทำความสะอาดว่ามีแรงที่ทำให้อนุภาคทรงกลมเกิดการเคลื่อนที่ได้ โดยแรงที่นั่นมาจากความเร็วของการไหลในลักษณะเฉือนเข้าหาอนุภาคสามารถเขียนได้เป็น

$$F_x = 10.2\pi\mu a_p u_{x,ap} \quad (13)$$

เมื่อ

μ เป็นความหนืด (viscosity)

a_p เป็นรัศมีของอนุภาค

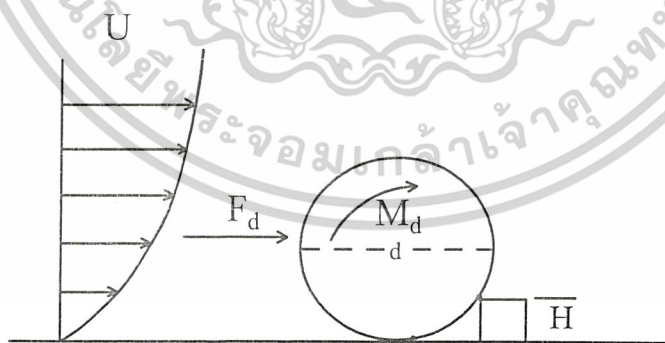
$u_{x,ap}$ เป็นความเร็วของการไหลตามอุดมคติ

ถ้าพิจารณาการไหลในเชิงกลศาสตร์พบว่ามีความเสียดทานเกิดขึ้น โดยสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$F_x = \alpha F_y = \alpha F_{ad} \quad (14)$$

เมื่อ α เป็นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

เนื่องจากในความเป็นจริงพื้นผิวมันไม่ได้ราบเรียบ อาจจะมี ความขรุขระซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมีแรงต้านการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นและเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมาก โดยต้องคำนึงถึงเรื่องแรงโมเมนต์รอบจุดหมุนเข้ามาเป็นเงื่อนไขในการหลุดออก ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ไม่ขอกล่าวถึง



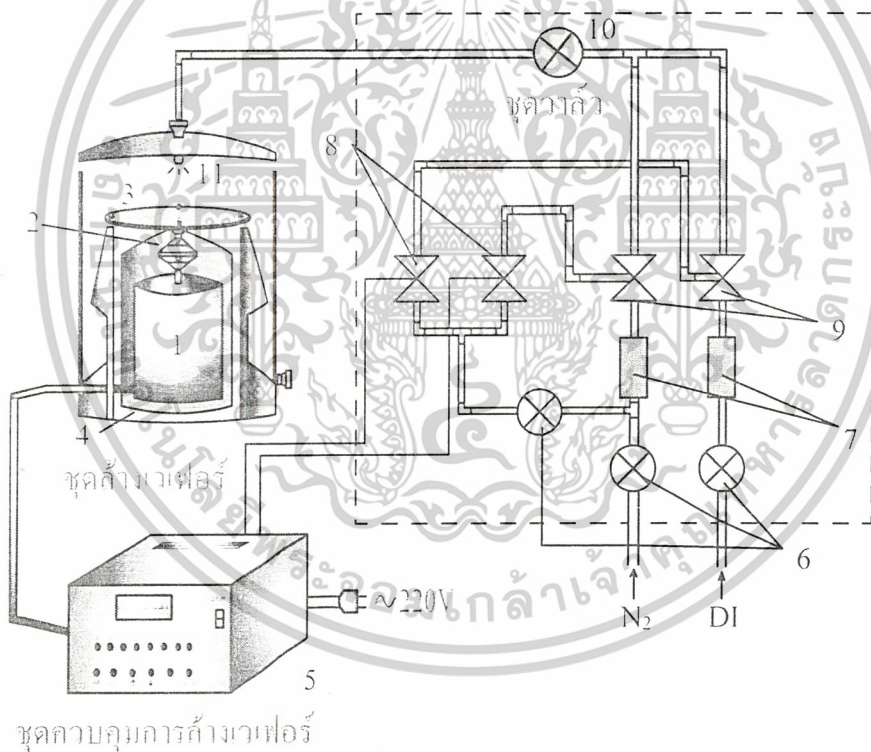
รูปที่ 2-6 แสดงถึงสิ่งกีดขวางอันเนื่องมาจากความขรุขระของพื้นผิวและแรงที่เกี่ยวข้อง[4]

จากเนื้อหาที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้เห็นแนวทางในการทำออกแบบเครื่องล้างเวเฟอร์ด้วยเทคนิคสปิน โดยในเบื้องต้นแล้วได้สร้างระบบขึ้นมาเพื่อทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง โดยได้กล่าวถึงในบทความต่อไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบชุดต้นแบบเครื่องล้างเวเฟอร์แบบสปิน

จากทฤษฎีที่กล่าวถึงในบทที่ผ่านมา ความเร็วในการพัฒนาของการไหลอันเนื่องมาจากหมุน จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความเร็วเชิงมุมสูงขึ้น สิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนผิวหน้าซิลิกอนเวเฟอร์ถูกพัดพา ออกตามความเร็วของความเร็วของน้ำที่ถูกหมุน ในบทนี้ได้อธิบายถึงการสร้างเครื่องมือต้นแบบที่ใช้ เทคนิกสปิน ซึ่งเทคนิคดังกล่าวสามารถช่วยกำจัดสิ่งสกปรกออกได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการล้าง แบบธรรมดา และสามารถสร้างขึ้นมาเองได้ไม่ยากนัก นอกเหนือจากการทำความสะอาดเวเฟอร์แบบ เทคนิกสปินแล้ว เครื่องมือนี้ยังสามารถใช้ในการเคลือบสารไวแสง(photo resist)ในกระบวนการ Photolithography ก่อนสร้างเป็นไอซีต่อไป



รูปที่ 3-1 แสดงแบบจำลองชุดต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

หน้าที่หลักในส่วนต่างๆของของชุดต้นแบบการล้างเวเฟอร์แบบสปินเป็นดังนี้(ดูรูปที่ 3-1 ประกอบ)

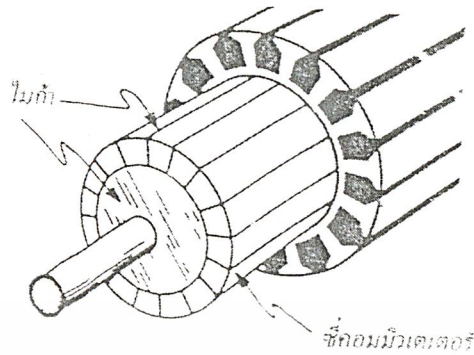
1. มอเตอร์ทำหน้าที่ในการหมุน
2. ตัวขับปลิงทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างแกนหมุนมอเตอร์กับหัวยึดจับเวเฟอร์
3. หัวยึดจับเวเฟอร์ทำหน้าที่ในการยึดเวเฟอร์เพื่อไม่ให้เวเฟอร์กระเด็นออกเมื่อทำการหมุน
4. โครงป้องกันตัวมอเตอร์ทำหน้าที่ในการปกป้องตัวมอเตอร์จากการล้างด้วยสารเคมีต่างๆ
5. ชุดควบคุมการล้างแผ่นเวเฟอร์หน้าที่ควบคุมการล้างแผ่นเวเฟอร์ โดยสามารถควบคุมวาล์วต่างๆได้สูงสุด 8 วาล์ว โปรแกรมได้สูงสุด 10 ขั้นตอนการล้าง ตั้งเวลาในแต่ละขั้นได้สูงสุด 1 ชั่วโมง ตั้งความเร็วในการหมุนสูงสุด 2000 รอบต่อนาที เซพข้อมูลการล้างได้ด้วย EEPROM และแสดงผลด้วยจอ LCD ขนาด 32 ตัวอักษร
6. วาล์วสารเคมีทำหน้าที่เปิดเปิดสารเคมี
7. โพลมิเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำและก๊าซในโตรเจน
8. โซลินอยด์วาล์วทำหน้าที่ควบคุมการปิด-เปิดวาล์วลม(หมายเลข 8) โดยวาล์วนี้ถูกควบคุมด้วยชุดควบคุมการล้างแผ่นเวเฟอร์
9. วาล์วลมทำหน้าที่ควบคุมการปิด-เปิดน้ำ DI และก๊าซในโตรเจน
10. วาล์วรวมทำหน้าที่ปิด-เปิดน้ำ DI และก๊าซในโตรเจนก่อนออกไปหัวฉีด
11. หัวฉีดทำหน้าที่ฉีดสารเคมีในการทำความสะอาดแผ่นเวเฟอร์ (ในโครงการนี้ใช้หัวแบบสปรอยและหัวแบบปล่อยน้ำทิ้ง)

3.1 ชุดล้างเวเฟอร์

3.1.1 มอเตอร์(Motor)

มอเตอร์มีอยู่หลายชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามแหล่งจ่ายไฟฟ้าของมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ(AC Motor) มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สำคัญหลักการของ แม่เหล็กและไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่แล้ว มอเตอร์ไฟฟ้าได้แบ่งส่วนประกอบเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ได้เรียกว่า โรเตอร์ (rotor) และส่วนที่อยู่กับที่ เรียกว่า สเตเตอร์ (stator) โดยที่โครงสร้างอาจจะเป็นขดลวดหรือแท่งแม่เหล็กก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



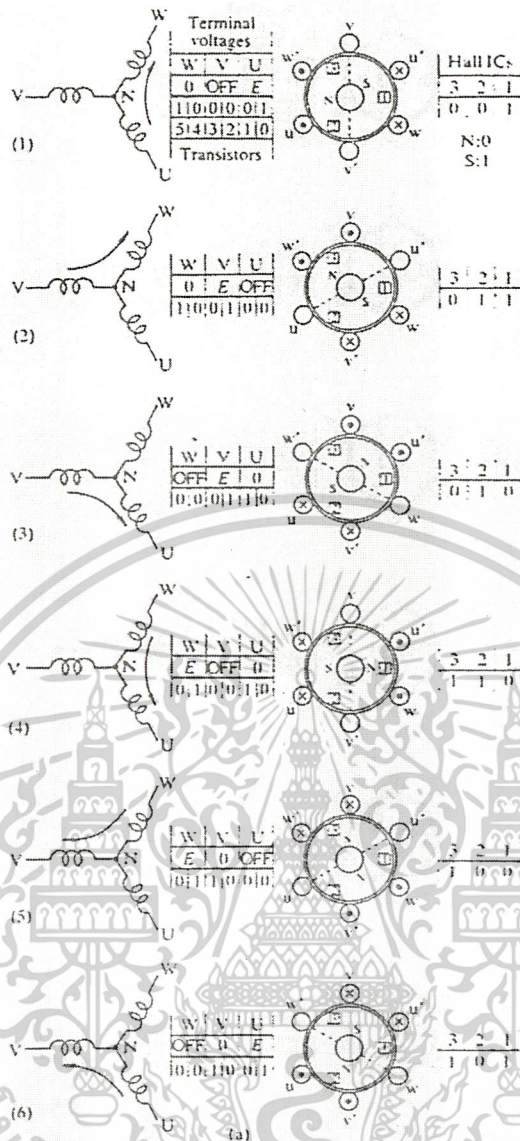
รูปที่ 3-2 โครงสร้างทั่วไปของคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปจะมีส่วนที่อยู่กับที่เป็นแท่งแม่เหล็ก และส่วนที่หมุนได้เป็น ขดลวด เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดนี้ จะเกิดแรงกระทำบนขดลวดทำให้เกิดการหมุนขึ้น ส่วนในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีขดลวดอยู่ที่ส่วนที่อยู่กับที่ และมีแท่งแม่เหล็กอยู่ที่ส่วนที่หมุนได้ การหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมาก และแตกต่างกันตามชนิดของมอเตอร์ด้วย

*คอมมิวเตเตอร์ ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายซี่ อัดกดด้วยความร้อนแล้วนำไปกลึงให้ได้รูปทรงกระบอก ซี่คอมมิวเตเตอร์แต่ละซี่คั่นด้วยฉนวนไม้ก้ำเพื่อไม่ให้ต่อถึงกัน มีหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแปรงถ่านเพื่อส่งไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ ถ้าคอมมิวเตเตอร์และอาร์เมเจอร์มีขนาดใกล้เคียงกันแล้ว ปลายของขดลวดจะสามารถต่อกับคอมมิวเตเตอร์ได้เลย แต่ถ้ามีขนาดไม่เท่ากันจะต้องใช้ไรเซอร์ (riser) เพิ่มขนาดคอมมิวเตเตอร์ให้เท่ากัน

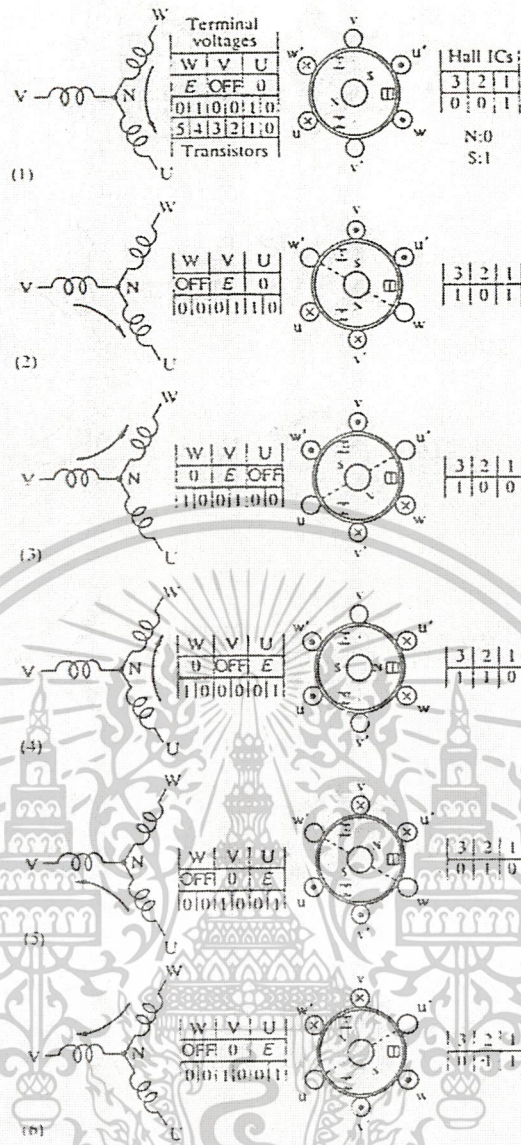
ชุดต้นแบบเครื่องล้างเวเฟอร์แบบสปินเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดบรัชเลส (brushless dc motor) เนื่องจากประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรงทั่วไปซึ่งมอเตอร์บรัชเลสขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้ามากกว่ากระแส

วิธีการขับมอเตอร์บรัชเลสสามารถทำได้โดยใช้ตำแหน่งของฮอลล์เซ็นเซอร์ในตัวมอเตอร์เองซึ่งทำงานตามรูปที่ 3-3-1 และ 3-3-2



รูปที่ 3-3-1 การขั้วมอเตอร์ไร้แปรงถ่านแบบ 120 องศาตามเข็มนาฬิกา [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3-2 การขับมอเตอร์ไร้แปรงแบบ 120 องศาวนเข็มนาฬิกา[3]

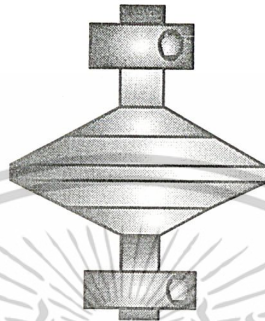
ลักษณะเบื้องต้นของมอเตอร์ไร้แปรง

มอเตอร์ที่นำมาใช้ในการสปีนผลิตโดยบริษัท MFM Technology รุ่น NM23A-1.5-A-1000 ขับด้วยแรงดันสูงสุด 150 โวลต์ ทนกระแสมากที่สุด 1.5 แอมป์เปร์ มีสัญญาณพัลส์ที่ได้จากชุดเข้ารหัส(encoder) 1 พัลส์ต่อรอบ ซึ่งได้นำมาใช้เชื่อมต่อกับภาคไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อมาแปลงเป็นความเร็วรอบต่อนาทีต่อไปโดยมีรายละเอียดในหัวข้อ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 คลิปปลีง(coupling)

ตัวคลิปปลีงที่ใช้มีลักษณะเป็นหัวจับ 2 หัวคือ จับมอเตอร์และจับหัวล่างเวเฟอร์ดัง
รูป 3-4 ใช้นี้อดทกเหลี่ยมเป็นตัวประกบให้หัวประกอบแน่นเมื่อทำการเชื่อมต่อกับแกนมอเตอร์
และหัวจับ



รูปที่ 3-4 คลิปปลีง

3.1.3 หัวยึดจับเวเฟอร์

หัวยึดจับเวเฟอร์ออกแบบให้มีหัวยึด 4 หัวเพื่อป้องกันการหลุดกระเด็นระหว่างหมุน โดย
ในเบื้องต้นนี้ได้ออกแบบตามเครื่องล่างที่มีจำหน่ายทั่วไปซึ่งเป็นหัวจับเวเฟอร์ขนาด 100 mm



รูปที่ 3-5 หัวยึดจับเวเฟอร์

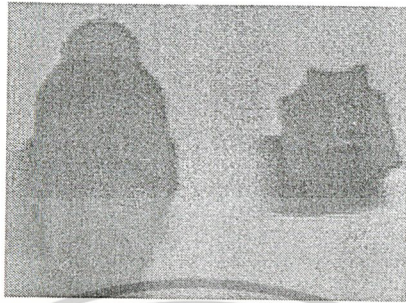
3.1.4 โครงป้องกันมอเตอร์

ส่วนของโครงป้องกันมอเตอร์ได้ออกแบบให้กันสารเคมีที่เป็นของเหลวในขณะที่การล้าง
ในขณะที่สารเคมีเป็นลักษณะไอยังคงเป็นปัญหาที่จะต้องมีการออกแบบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 หัวฉีดสารเคมี

หัวฉีดสารเคมีโครงการพิเศษนี้ใช้หัวแบบสเปรย์และหัวแบบปล่อยน้ำทิ้ง



รูปที่ 3-6 แสดงลักษณะหัวสเปรย์(ด้านซ้ายมือ)และหัวแบบปล่อยน้ำทิ้ง(ด้านขวามือ)

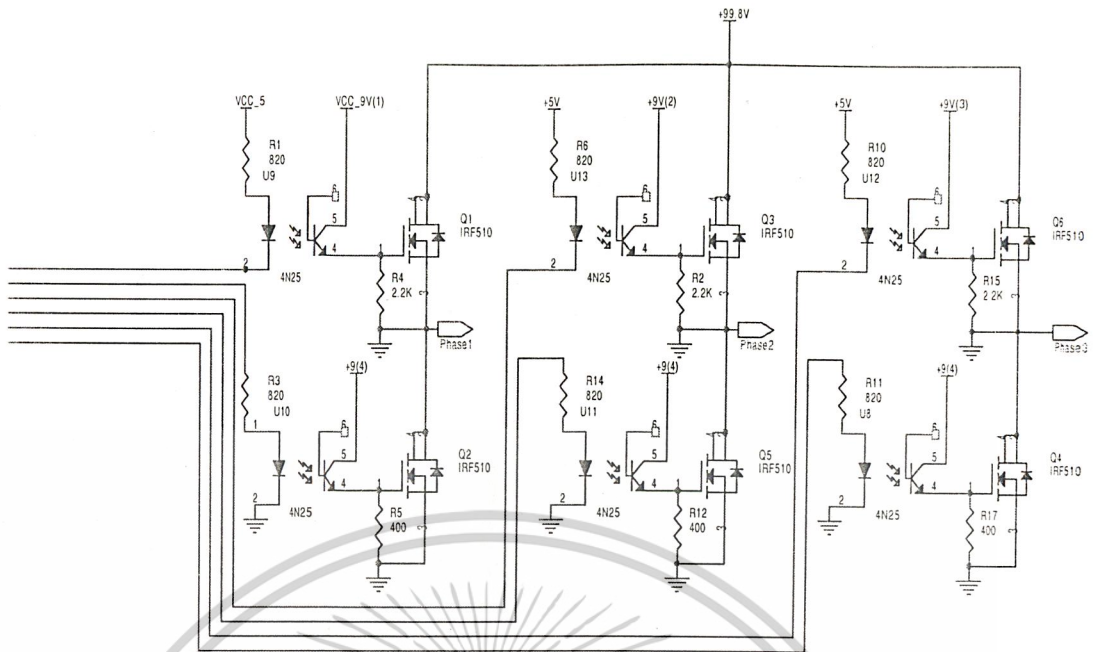
3.2 ชุดควบคุมการล้างวเฟอร์

3.2.1 ชุดขับมอเตอร์

ในโครงการพิเศษนี้ใช้ MOSFET ชนิด n-channel เบอร์ IRF510 ซึ่งทนแรงดันตกคร่อมสูงสุดประมาณ 100 โวลต์ ทนกระแสสูงสุด 5.6 แอมป์แปรโดยมีออปโตคัปเปิล (Opto Couple) เบอร์ 4N25 ทำหน้าที่เป็นตัวแยกกราวด์ (ground) ระหว่างชุดขับมอเตอร์กับชุดควบคุมการขับมอเตอร์(MC33033) ใช้แหล่งจ่ายไฟ 4 ชุด 9 โวลต์ ในการให้มอเตอร์ทำงาน (turn on) โดยชุดบน 3 ชุดและชุดล่าง 1 ชุด ซึ่งต่อเป็นวงจร bridge inverter ตามรูปที่ 3-7

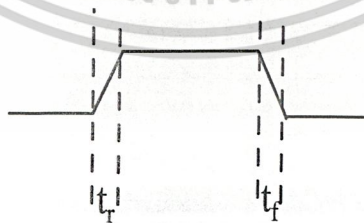
47281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 three-phase bridge inverter[3]

จากการทดลองพบว่าตัวต้านทานที่ต่อคร่อมระหว่างขาเกต (G-gate) กับซอส (S-source) ของมอสเฟตที่ซุดล่าง (Bottom drives) นั้นมีความสำคัญมากเพราะมีผลต่อความละเอียดในการปรับความเร็วในชิพ MC33033 และจะเป็นการสร้างข้อจำกัดที่เกิดขึ้นให้กับซุดข้างบน เนื่องจากใช้ตัวต้านทานมาคร่อมที่ขาเกตกับซอสเพื่อให้ MOSFET ทำงาน ถ้าใช้ความต้านทานที่พอเหมาะก็สามารถ turn on ได้ แต่ในซุดข้างล่างต้องทำหน้าที่เป็นตัวรับ pulse width modulation (ดูหัวข้อ 3.2.3 ประกอบ) จากตัวชิพ MC33033 ซึ่งมีความถี่สูงจึงต้อง switch ON/OFF ให้ทัน ดังนั้นต้องหาตัวต้านทานที่สามารถทำให้มอสเฟตทำงานได้เพื่อให้เกิด rise time(t_r) และ fall time(t_f) น้อยที่สุด

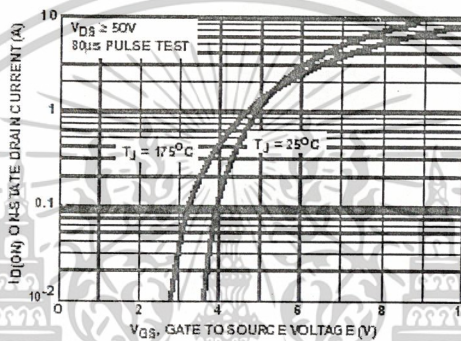


รูปที่ 3-8 แสดงลักษณะช่วงเวลาห้วง rise time(t_r) และ fall time(t_f)[9]

โดยการทำงานของ IRF510 ต้องมีแรงดันคร่อมที่ขาเกตกับซอสประมาณ 9-10 โวลต์ (ดูรูปที่ 3-9 ประกอบ) จึงสามารถทำงานได้ดี ดังนั้นควรต่อตัวต้านทานขึ้นเพื่อให้มีแรงดันถึงระดับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหากาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของ IRF510 ยิ่งค่าความต้านทานสูงเท่าใดการทำงานของ IRF510 ก็สามารถทำงานได้ง่ายขึ้น จึงเป็นข้อดีของการต่อตัวต้านทานที่สูงๆ ถ้าพิจารณาข้อเสียที่เกิดขึ้นมาพบว่าตัวต้านทานที่เพิ่มขึ้นมากๆ (1K-10K Ohm) นั้นมีผลทำให้ช่วงเวลาหน่วงมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เวลาในการ ON/OFF ของ IRF510 ช้าลงและทำให้การรับ pulse width modulation ที่ความถี่สูงๆ ตอบสนองไม่ทันจนดูเหมือนว่าความละเอียดในการปรับความเร็วนั้นต่ำกว่าค่าความเป็นจริงที่ MC33033 ทำได้ เพื่อเป็นการลดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ ควรต่อตัวต้านทานที่ต่ำที่สุดที่จะสามารถทำให้ IRF510 ทำงานได้ นั่นก็หมายความว่า จะไปลดค่าเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นมานี้ เพื่อเพิ่มความสามารถ ON/OFF ให้รวดเร็วขึ้น ในโครงการนี้ได้ใช้ตัวต้านทานขนาด 400 โอห์ม



รูปที่ 3-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{GS} กับ I_D

3.2.2 ชุดควบคุมการขับ(Brushless DC Motor Controller)

ในการควบคุมการขับมอเตอร์ไร้แปดได้ใช้ชิพ MC33033 ของบริษัท MOTOROLA ลักษณะเป็นแบบ PDIP(Plastic Dual Inline Package) ขนาด 20 ขา สามารถควบคุมการขับมอเตอร์ไร้แปด 3 เฟส โดยรับสัญญาณจาก sensor hall ที่มอเตอร์ไร้แปดส่งมา

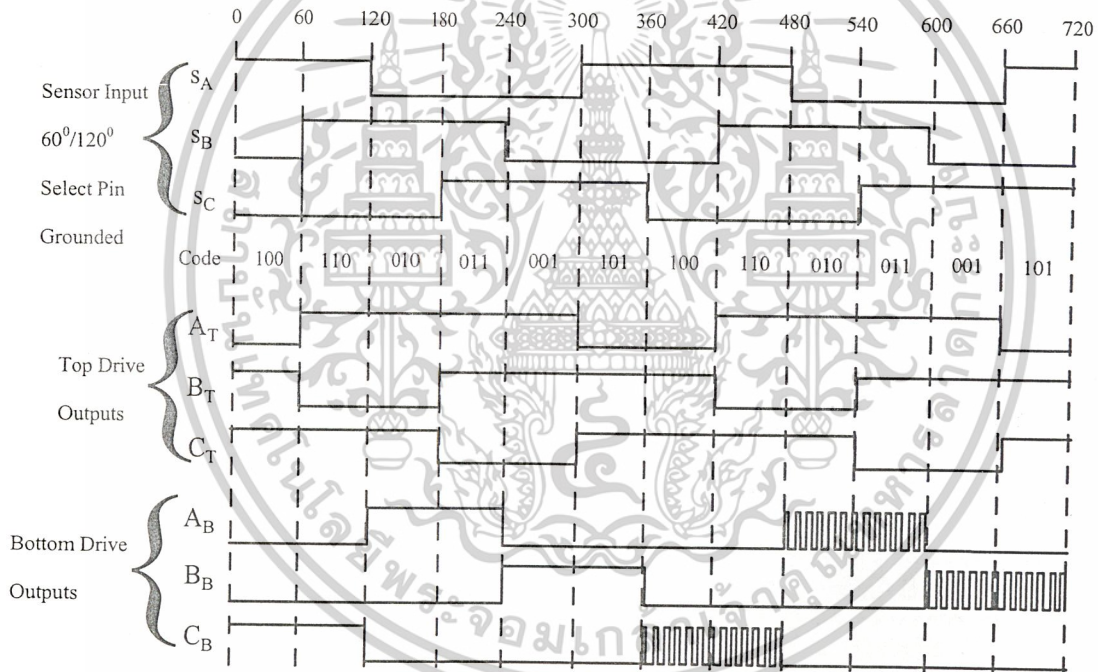
คุณสมบัติของ MC33033

1. ใช้ไฟเลี้ยงตั้งแต่ 10-30V
2. โวลเทจอ้างอิง 6.25V
3. ควบคุมการขับมอเตอร์ไร้แปด 3 เฟส ที่ต่อ MOSFET แบบ Bridge
4. จำกัดกระแสรอบต่อรอบ
5. เลือกองศาการวางตัวของ Phase 120°-240°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

120°			Current			Top Drives			Bottom Drives		
S _A	S _B	S _C	F/R	Enable	Sense	A _T	B _T	C _T	A _B	B _B	C _B
1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0

รูปที่ 3-10 การจับมอดเตอร์บิลล์เลสของชิพ MC33033

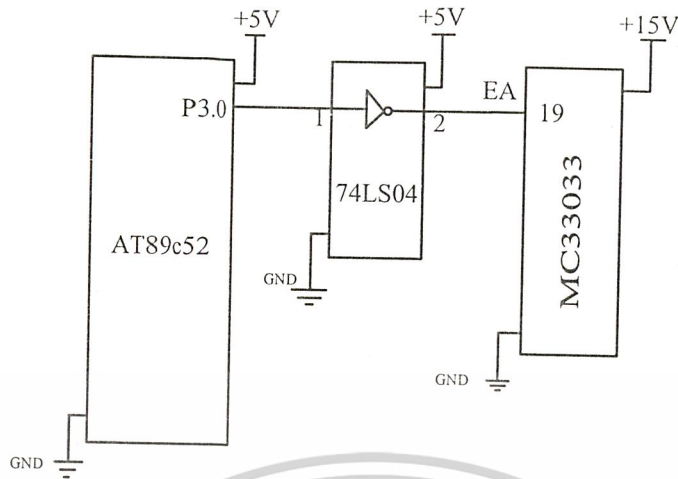


รูปที่ 3-11 ไคอะแกรมการทำงานของ MC33033

จากรูปที่ 3-10 เห็นได้ว่าการจับมอดเตอร์บิลล์เลสของชิพ MC33033 มี 6 ขั้นตอน เพื่อให้ครบ 1 รอบการหมุนเมื่อใช้ฮอสติลโคปจับจะพบสัญญาณตามรูปที่ 3-11

ในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ต่อ inverter ที่ขาสั่งการทำงานของชิพ MC33033 ตามรูปที่ 3-12 โดยชิพนี้ทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีสถานะเป็นลอจิก (logic) 1 ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสั่งลอจิก 0 ในการสั่งในชิพ MC33033 ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

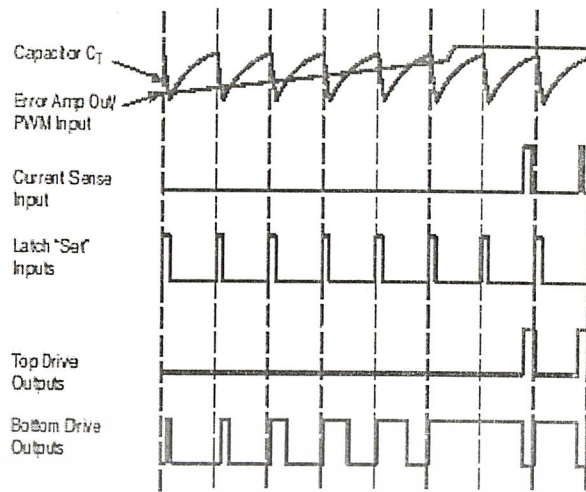


รูปที่ 3-12 การเชื่อมต่อ inverter(74LS04) กับขาสั่งการทำงานชิพ MC33033

สาเหตุหลักของการใช้ชิพ 74LS04 มี 2 สาเหตุ ประการแรกซึ่งไม่อาจละเลยได้นั้นก็คือ เป็นการป้องกันความเสียหายของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อาจเกิดขึ้นจากตัวชิพ MC33033 แทนที่จะเชื่อมต่อกันตรงๆจึงออกแบบให้มีการกันชนโดยใช้ชิพ 74LS04 ซึ่งไม่มีหน้าที่สำคัญมากนักและราคาถูกกว่าตัวประมวลผล (AT89C52) มาก สาเหตุประการที่ 2 คือถ้าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการสั่งงานและต่อแบบตรงๆจะไม่สามารถควบคุมการทำงานในเริ่มต้นได้ ซึ่งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกครั้งก่อนที่ทำงานตามที่โปรแกรมไว้มีสถานะลอจิก 1 (High) ทุกๆพอด (port) ที่สั่งการ ทำให้ให้ชิพ MC33033 ทำงานก่อนช่วงเวลาขณะหนึ่ง ซึ่งไม่ค่อยเหมาะสมในควบคุมการสั่งงาน จึงได้ออกแบบวงจรให้มีการเชื่อมต่อ inverter ขึ้นมาเพื่อขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นมาในตอนเริ่มนี้

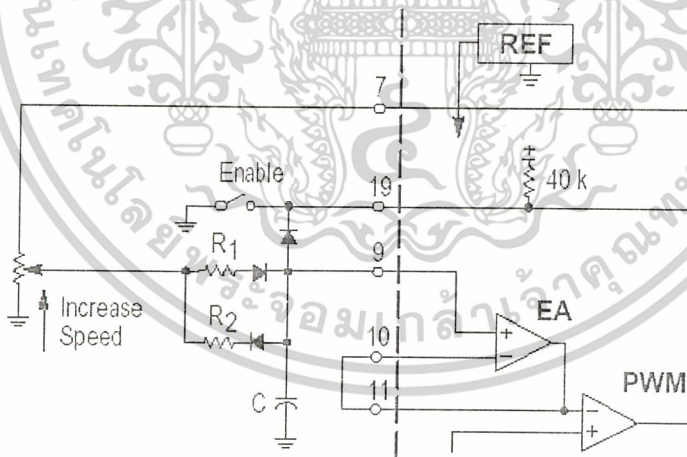
3.2.3 ชุดควบคุมความเร็ว

จากหัวข้อที่ 3.1.3 ชิพ MC33033 นั้นสามารถปรับขนาด pulse width modulation(PWM) ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์บรซ์เลส โดยการรับระดับแรงดัน(V)ที่เป็นสัญญาณอนาลอกเข้ามาเพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันที่จ่ายเข้ามากับกราวด์ (Ground) ของ ชิพ MC33033 ถ้าระดับแรงดันเป็น 0V PWM จะไม่เกิดนั้นหมายถึงความเร็วเป็น 0 เมื่อให้ระดับแรงดันเพิ่มขึ้น PWM จะเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วเพิ่มตาม PWM ด้วยจนถึงระดับแรงดันอ้างอิงของชิพ MC33033 ($\approx 6.25V$) ก็ไม่สามารถสร้าง PWM เพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 3-13 ไตอะแกรมการทำงานของ PWM

เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมระดับแรงดันสัญญาณอนาล็อกและลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการปรับแรงดันโดยปกติมักนิยมต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ตามรูปที่ 3-14 ซึ่งต้องใช้จัมป์ จึงทำให้เกิดข้อผิดพลาดง่าย การส่งข้อมูลด้วยระบบดิจิทัลไปสู่อนาล็อก(DAC-Digital to analog Converter) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดความผิดพลาดดังกล่าวได้



รูปที่ 3-14 ลักษณะการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับความเร็วในชิพ MC33033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

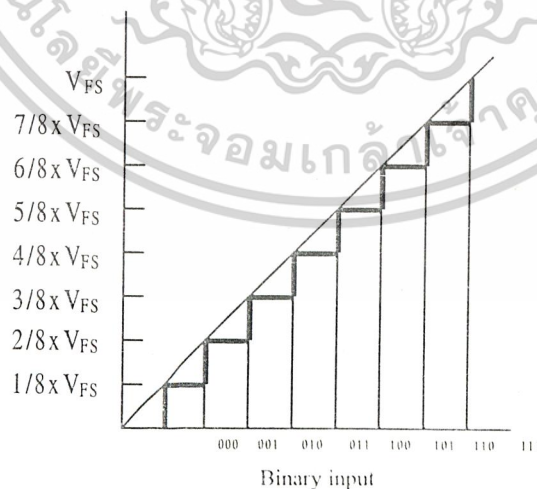
ทฤษฎีเบื้องต้นของ DAC(Digital to analog Converter)

ข้อมูลดิจิทัลซึ่งอยู่ในรูปของรหัสเลขฐานสอง สามารถแสดงระดับของสัญญาณอนาลอกได้ที่ระดับนั้น ขึ้นกับจำนวนบิตของข้อมูลดิจิทัลนั้นๆ โดยจำนวนระดับของสัญญาณอนาลอกที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ 2^n เมื่อ n คือจำนวนบิตข้อมูลดิจิทัล และข้อมูลดิจิทัลค่าหนึ่งจะสัมพันธ์กับสัญญาณอนาลอกระดับใดนั้นขึ้นกับช่วงกว้างระหว่างระดับต่ำสุด ($V_{REF(-)}$) ถึงระดับสูงสุด ($V_{REF(+)}$) ของสัญญาณอนาลอกที่ใช้งานหรือใช้อ้างอิงเราเรียกช่วงนี้ว่า ค่าเต็มสเกล(full-scale range,FSR)

จากรูปที่ 3-15 Transfer curve เชิงอุดมคติของ DACขนาด 3 บิตของข้อมูลดิจิทัลที่อินพุตพบว่า เมื่อข้อมูลดิจิทัลเพิ่มขึ้น สัญญาณอนาลอกที่เอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดทีละขั้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า monotonicity ขนาดของแต่ละขั้นหรือความละเอียด(resolution)ของ DAC คำนวณได้โดย

$$\text{ความละเอียด(resolution)} = V_{FS}/2^n$$

เมื่อ V_{FS} คือ ค่าโวลเตจเอาต์พุตเต็มสเกลและ n เป็นจำนวนบิตของข้อมูลดิจิทัลตัว เช่น DAC ขนาด 8 บิตมี $V_{FS} = 5V$ จะมีขนาดขั้น $= 5V/2^8 = 19mV$ และค่าโวลเตจเอาต์พุตสูงสุดที่ขั้น 255 ดังนั้นจึงมีค่ามากที่สุดเป็น $255 \times 19.53 \text{ mV} = 4.98 \text{ V}$ สังเกตว่า ค่าสูงสุดมีค่าสูงสุดต่ำกว่าค่าสเกลอยู่ 1 ขั้น (ขั้นที่ 1 = 0V)



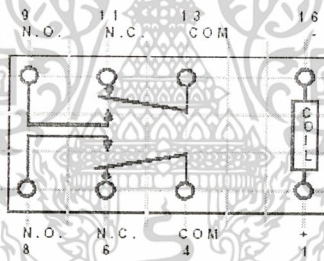
รูปที่ 3-15 Transfer curve เชิงอุดมคติของ DAC ขนาด 3 บิต[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

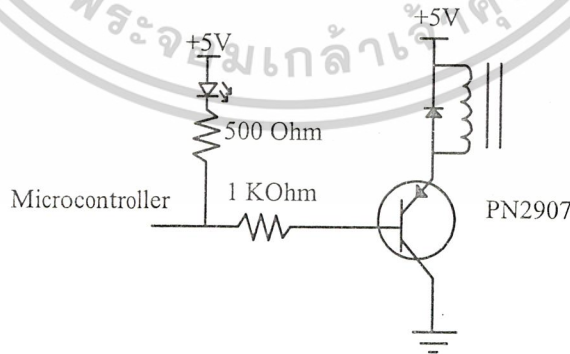
ในโครงการพิเศษนี้ได้ใช้ ไอซี DAC0832 ขนาด 8 bit มีความละเอียดในการแปลงสัญญาณ จากดิจิทัลออกไปสู่อนาลอก 255 ขั้นโดยใช้แรงดันอ้างอิงจาก MC33033 ประมาณ 6.25 โวลต์ นั่นก็ หมายถึง มีขนาดขั้น (resolution) $6.25/2^8 = 24.50\text{mV}$ ตามทฤษฎี ในการปฏิบัติพบว่าค่าขนาด ขั้นใกล้เคียงตามทฤษฎี จากการนำไปใช้งานจริงในโครงการพิเศษนี้ได้เริ่มใช้ค่าในระดับที่ 64 หรือ ประมาณ 1.568V ตามทฤษฎี เนื่องมาจากข้อจำกัดหลายๆประการด้วยกันดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น

3.2.4 ชุดควบคุมวาล์ว

ในส่วนของการควบคุมวาล์วได้ออกแบบโดยใช้ รีเลย์(relay)รูปที่ 3-16 เป็นสวิตซ์ในการ เลือการทำงานของวาล์วน้ำ DI และ ก๊าซในโครเจน โดยมีวงจรการใช้งานดังรูปที่ 3-17 มี ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP เบอร์ PN2907A ในการควบคุมรีเลย์อีกทีโดยทรานซิสเตอร์ทำงานได้เมื่อ ได้รับ logic 0 (0V) จากไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากทรานซิสเตอร์ทำงานรีเลย์ก็จะทำงานเพื่อ ให้อวาล์วทำงานต่อไป โดยในโครงการนี้ได้ทำการต่อรีเลย์จำนวน 8 ชุดที่พอร์ต 1 ดังนั้นจึงสามารถ ควบคุมวาล์วได้สูงสุดจำนวน 8 วาล์วและแสดงผลการทำงานของวาล์วด้วย LED



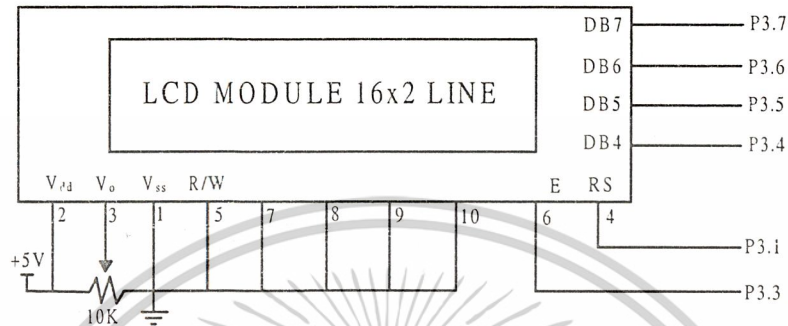
รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของรีเลย์ที่ใช้ในโครงการพิเศษ



รูปที่ 3-17 วงจรสวิตซ์รีเลย์

3.2.5 ชุดแสดงผล (Display)

ชุดแสดงผลการทำงานได้ใช้ LCD (Liquid crystal display) ขนาด 32 ตัวอักษร(2 บรรทัด) ขาว-ดำ ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ภายใน LCD มีชิพเบอร์ HD44780 ทำหน้าที่ควบคุมแบบอักษร โดยมี ไดอะแกรมวงจรอินเทอร์เฟซ โมดูล LCD กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 4 บิต ดังรูป 3-18



รูปที่ 3-18 ไดอะแกรมวงจรอินเทอร์เฟซ โมดูล LCD [6]

3.2.6 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่ง ที่รวมเอาหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้อย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

สาเหตุหลักในการเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

1. หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำสามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอกส่งผลให้สามารถใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

2. ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมากเนื่องจากไม่ต้องเครื่องมือพัฒนาจำพวกอีมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม

3. ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 ของผู้ผลิตอื่น ไม่ว่าจะเป็นอินเทล ซีเมนส์ คัลลัส

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52[6]

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
2. ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช(8 Kbytes)สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง
3. เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51
4. หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำขนาด 256 byte
5. สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
6. มี Timer/Counter ขนาด 16 Bits 3 ตัว
7. สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ (Interrupt) ได้ 6 ประเภท
8. มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
9. มี I/O พอร์ต 32 บิต

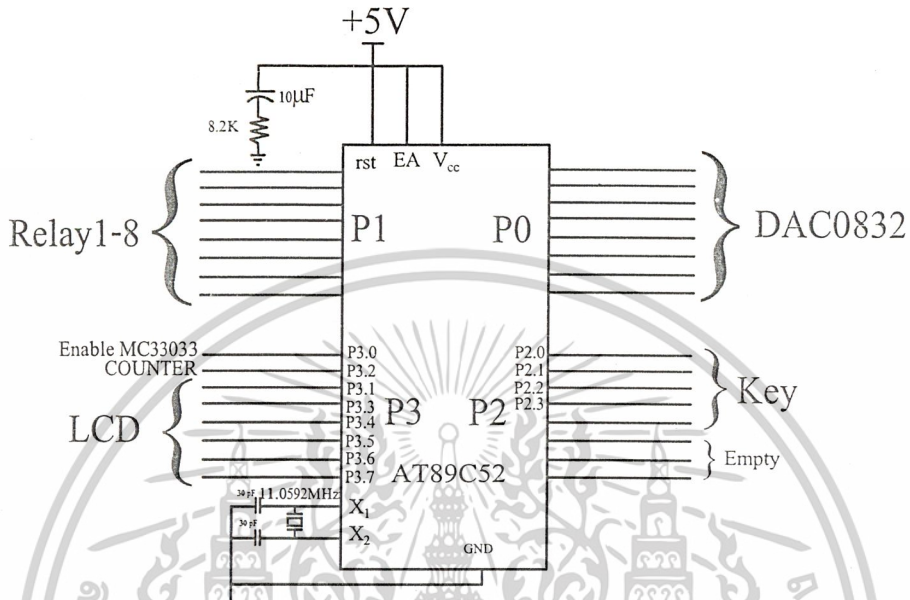
*Interrupt[7]

อินเทอร์รัปต์เป็นชื่อลักษณะการทำงานที่จะต้องวางงานที่ทำอยู่เดิมไปทำงานที่มีความสำคัญของคำสั่งมากกว่าให้เสร็จก่อนแล้วจึงค่อยกลับมาทำงานที่ค้างไว้ภายหลัง หรืออาจจะเรียกว่า “การขัดจังหวะ” เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้อย่างเดียวในเวลาใดเวลาหนึ่ง เมื่อมีการประยุกต์ใช้ระบบอินเทอร์รัปต์จะทำให้คล้ายกับว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้หลายๆอย่างพร้อมกันซึ่งเรียกการทำงานแบบนี้ว่า Multitasking เป็นสถานะการทำงานที่ใช้ระบบ real-time programming ในงานที่ต้องการตรวจสอบสถานะการทำงานบางอย่างเช่น สถานะของพอร์ตหรือสถานะของบิตแฟลคในรีจิสเตอร์ เราอาจจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กระโดดไปทำงานตอบสนองสัญญาณนั้นก็ได้ซึ่งเรียกว่าการทำงานแบบนี้ว่า “pulling” แต่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สูญเสียเวลาในการตรวจสอบสถานะของสัญญาณ ในระบบที่ต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ให้คุ้มค่าแล้วควรจะใช้การตรวจสอบสถานะการทำงานด้วย hardware ซึ่งก็คือระบบอินเทอร์รัปต์นั่นเอง โดยถ้าบิตแฟลคมีสถานะที่ทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์ได้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระโดดไปยัง interrupt service routine เพื่อทำงานตอบสนองสัญญาณร้องขอโดยทันที ในขณะที่รอคอยสัญญาณร้องขอการตอบสนองอยู่นั้นไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะทำงานได้ตามปกติจนเมื่อมีการร้องขอจึงจะวางงานนั้นไว้ชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6.1 การเชื่อมต่อกับส่วนต่างๆเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงงานพิเศษออกแบบให้มีการเชื่อมต่อกับส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3-19



รูปที่ 3-19 แสดงการเชื่อมต่อกับส่วนต่างๆที่ใช้งาน

3.2.6.2 การออกแบบส่วนของโปรแกรมการทำงาน

การทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 แบ่งออกเป็น 2 โหมดการทำงาน โหมดแรกเป็นการทำงานแบบควบคุมด้วยมือ (manual mode) สามารถควบคุมความเร็วในการหมุน และเลือกความเร็วในการทำงานได้ตามไดอะแกรมรูปที่ 3-20 การทำงานในโหมดที่สองเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติ (automatic mode) โดยสามารถโปรแกรมจำนวนรอบการทำงาน จากนั้นจึงป้อนค่าความเร็ว เลือกความเร็วและป้อนเวลาในการทำงาน จนกระทั่งครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ในตอนแรกโดยการทำงานเป็นไปตามไดอะแกรมรูปที่ 3-21 ฟังก์ชันที่เพิ่มเข้าไปนอกเหนือจากที่กล่าวมาคือการเซฟ (save) และโหลด (load) ค่าที่ป้อนเข้าไปในโหมดควบคุมแบบอัตโนมัติ

ในโครงงานพิเศษนี้ความเร็วที่อ่านได้จากการทำงานของตัวมอเตอร์ จะเป็นข้อกำหนดในเรื่องของความผิดพลาด (error) ที่เกิดจากการนับความเร็วเป็นรอบต่อนาทีในไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากตัวมอเตอร์ได้ส่งพัลส์ 1 ลูกต่อการหมุน 1 รอบ เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า รอบต่อนาที นั้นหมายถึง 1 นาทีหมุนได้จำนวนกี่รอบ หรือ 60 วินาทีหมุนไปกี่รอบ นี่ก็เป็นหลักในการออกแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมนับรอบต่อนาที ที่ได้นำมาใช้ ถ้าเขียนโปรแกรมนับรอบต่อนาทีจำเป็นที่จะรองจนกว่าจะครบ 60 วินาทีแล้วค่อยนับ ความผิดพลาดที่เกิดจากการนับพัลส์ในไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็น 0 แต่ในการนำไปใช้งานจริงๆแล้วเราจำเป็นต้องอ่านระดับความเร็วที่เกิดขึ้นในขณะนั้นให้เร็วเพื่อเราทราบว่าตอนนี้ความเร็วเป็นเท่าใด และไมโครคอนโทรลเลอร์จึงนำค่านั้นไปคำนวณต่อไป ซึ่งการที่ทราบความระดับความเร็วแบบรวดเร็วเราสามารถทำได้โดยการนับแบบประมาณ เช่น ทำการนับสัญญาณพัลส์ทุกๆ 3 วินาที นั่นคือจะต้องคูณ 20 เพื่อให้ได้ 60 วินาทีนั่นเอง นี่ก็เป็นหลักการทำให้ทราบค่าความเร็วอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามผลที่ตามมาคือ ความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบอันเนื่องมาจากการคูณค่าจำนวนเท่าเข้าไป ทำให้เกิดค่าผิดพลาดขึ้นซึ่งต้องเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

การคำนวณความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบ

ตัวอย่าง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 นับจำนวนสัญญาณพัลส์ได้ 60 ลูกภายในเวลา 3 วินาที จะสามารถหาความเร็วรอบต่อนาที และความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบดังนี้

$$\text{ความเร็วรอบต่อนาที} = (60/\text{เวลาที่นับสัญญาณพัลส์}) * \text{จำนวนพัลส์ที่นับได้}$$

∴ ความเร็วรอบต่อนาที = $20 * 60 = 1200$ รอบต่อนาที(RPM).....#

$$\text{ความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบ} = 60/\text{เวลาที่นับสัญญาณพัลส์}$$

∴ ความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบ = 20 รอบต่อนาที

ดังนั้น

ความเร็วรอบในขณะนั้นเป็น 1200 รอบต่อนาทีและ
ความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบคือ 20

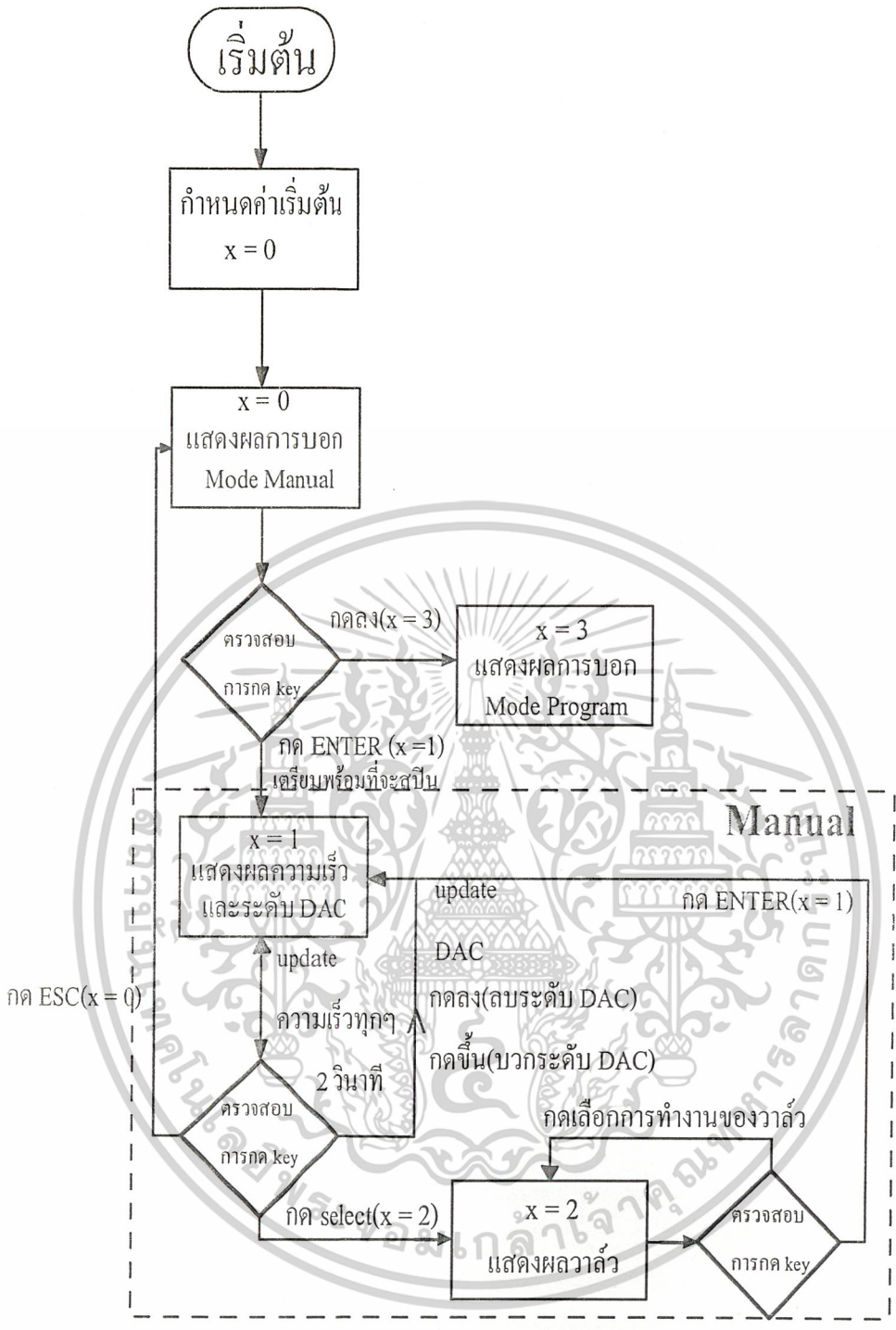
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านได้ ...,1180,1200,1220,... รอบต่อนาที

และค่าความผิดพลาดเป็น 20

ความเร็วที่อ่านได้แบบเร็วๆนั้นแปรผันตามกับความละเอียดในการอ่านความเร็วรอบ สำหรับในโครงการนี้เลือกความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบ 30 นั้นหมายความว่าได้อ่านระดับความเร็วทุกๆ 2 วินาทีนั่นเอง สาเหตุที่เลือกความละเอียดในการอ่านค่าความเร็วรอบ เนื่องจากว่าต้องการปรับระดับความเร็วในโหมดอัตโนมัติให้ถึงระดับที่ต้องการอย่างรวดเร็วและค่าความผิดพลาดอันเกิดจากความละเอียดในการอ่านต้องไม่มากเกินไป (<100)

*ค่าความผิดพลาดในที่นี้หมายถึงความผิดพลาดจากการทำความเร็วไม่ตรงกับค่าที่

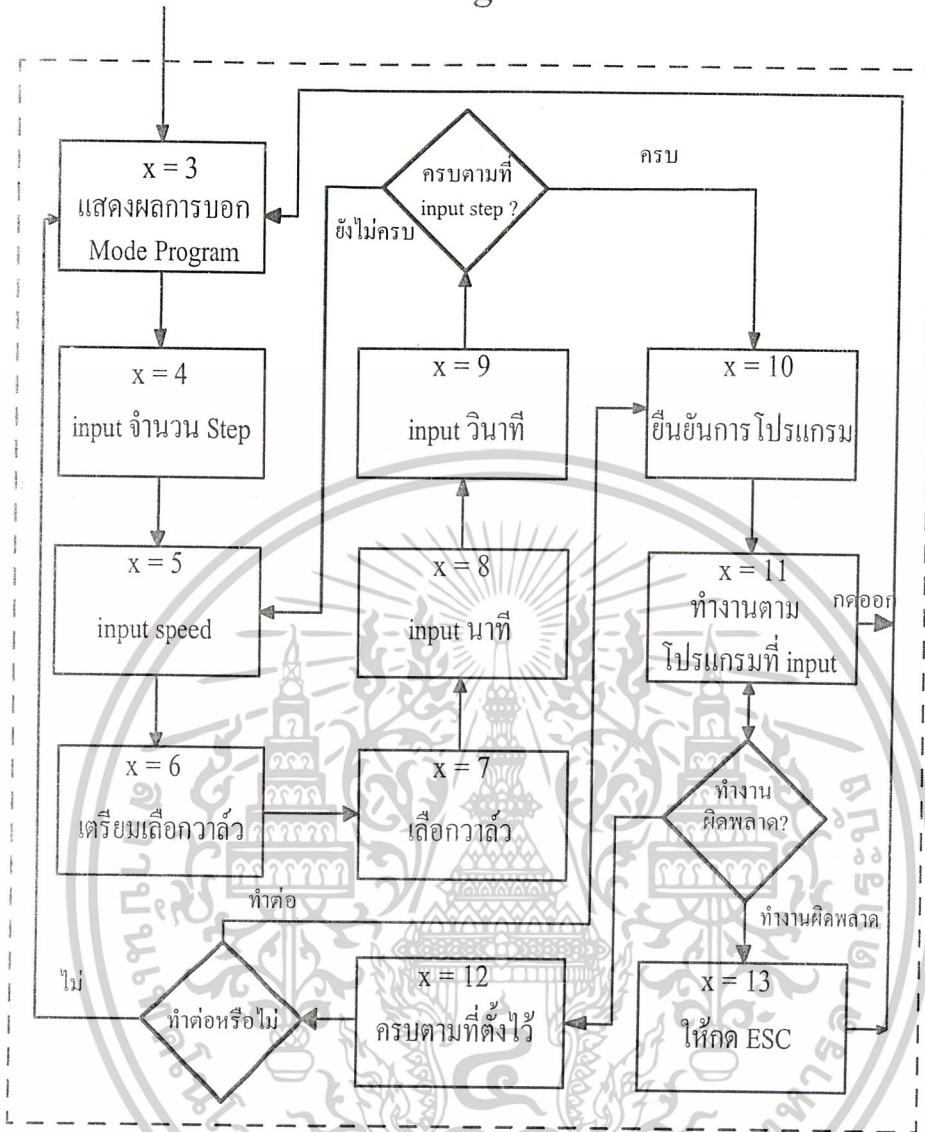
โปรแกรมไว้ เช่น ป้อนความเร็วเป็น 680 RPM แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่านั้นไม่ได้ เนื่องจากความละเอียดในการอ่านน้อยเกินไป



รูปที่ 3-20 แสดงโฟลวชาร์ตโปรแกรมในโหมด Manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program

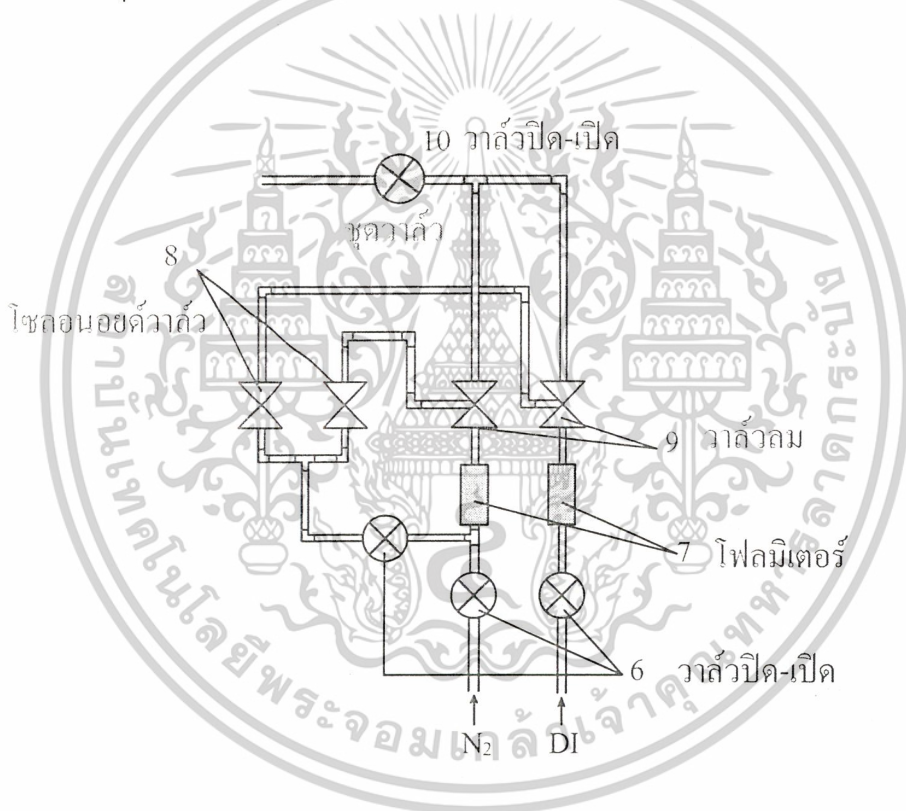


รูปที่ 3-21 แสดงโฟลวชาร์ตในโหมด Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชุดวาล์ว

ในส่วนของวาล์วได้ออกแบบให้สามารถควบคุมจากเครื่องต้นแบบโดยการควบคุมได้ใช้โซลินอยด์วาล์ว(หมายเลข 8)ซึ่งวาล์วชนิดนี้สั่งการด้วยไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมการปล่อยลม ลมในโครงการพิเศษนี้ได้ใช้ก๊าซไนโตรเจนเพราะในการล้างเวเฟอร์ได้ใช้ก๊าซไนโตรเจนซึ่งต้องมีใช้อยู่แล้ว น้ำ DI และ ก๊าซไนโตรเจนก่อนปล่อยผ่านไปสู่วาล์วลม(หมายเลข 9)ได้ผ่านโฟลมิเตอร์ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ โดยน้ำ DI ในที่นี้ใช้การควบคุมระดับการไหลได้สูงสุด 5 ลิตรต่อนาทีและก๊าซไนโตรเจนในที่นี้ใช้การควบคุมระดับการไหลได้สูงสุด 30 ลิตรต่อนาที ในโครงการนี้ได้ใช้ท่อร่วมกันระหว่างน้ำ DI และก๊าซไนโตรเจนก่อนออกไปสู่หัวฉีดโดยมีวาล์ว(หมายเลข 10) ควบคุมการปิด-เปิดการไหล

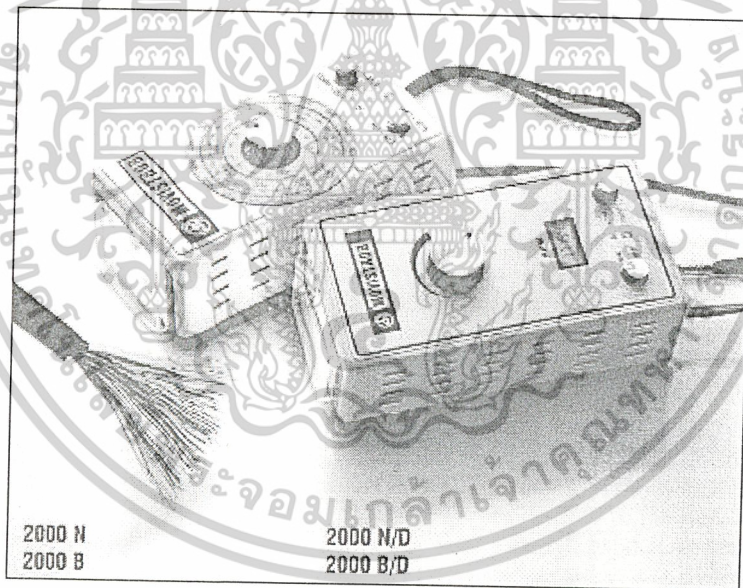


รูปที่3-22 แสดงชุดการติดตั้งวาล์ว

บทที่ 4

การทดลอง

สำหรับวัตถุประสงค์หลักของโครงการพิเศษนี้ก็เพื่อสร้างชุดต้นแบบเครื่องทำความ สะอาดผิวหน้าซิลิกอนด้วยเทคนิคสปิน โดยการทดลองได้แบ่งเป็นการทดสอบคุณสมบัติของเครื่อง มือที่พัฒนาขึ้นและศึกษาถึงแนวทางการออกแบบระบบการทำความสะอาดเวเฟอร์ที่จะต้อง พัฒนาต่อไปในอนาคต ในการทดลองส่วนของเครื่องมือได้ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าความเร็ว รอบกับเครื่อง สโตโบสโคปโคปรุ่น MINISTROB 2000N (ANALOG) ดังรูปที่ 4-1 เพื่อสร้าง ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องของความเร็วยรอบกับแหล่ง จ่ายไฟเพื่อเป็นการบอกถึงความสามารถในการหมุนของตัวมอเตอร์ และการทดลองสุดท้ายใน ส่วนนี้จะเป็นการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันที่ DAC0832 ให้กับชิพ MC33033 กับความถี่พัลส์วิทมอดดูเลชั่น(PWM)



รูปที่ 4-1 เครื่องสโตโบสโคป

ส่วนที่สองเป็นการศึกษาระบบของเครื่องมือที่สร้างขึ้น เพื่อทำความสะอาผิวหน้าซิลิกอน ในการทดสอบนี้ได้ศึกษาถึงเวลาที่ทำให้เวเฟอร์แห้งเมื่อทำการล้างด้วยของเหลว(ในโครงการนี้ใช้น้ำแทนสารเคมีต่างๆและเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน) ผลการทดลองในแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดสอบคุณสมบัติของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

ความน่าเชื่อถือในเรื่องความเร็วของเครื่องที่พัฒนาขึ้นเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก เพราะการทำ ความสะอาดผิวหน้าซิลิกอนนี้เป็นแบบเทคนิคป็นซึ่งใช้การหมุนเป็นหลัก การทดลองนี้จึงได้ทำ การทดลองเปรียบเทียบความเร็วที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์กับสโตโบสโคปเพื่อสร้างความ น่าเชื่อถือของความเร็วที่อ่านได้จากเครื่องต้นแบบ

การทดลองในส่วนนี้ทำโดยการนำสโตโบสโคปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์รุ่น MINISTROB 2000N (ANALOG) มาใช้เปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้บนจอ LCD จากเครื่องต้น แบบที่พัฒนาขึ้นซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่อ่านได้ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับสโตโบสโคป

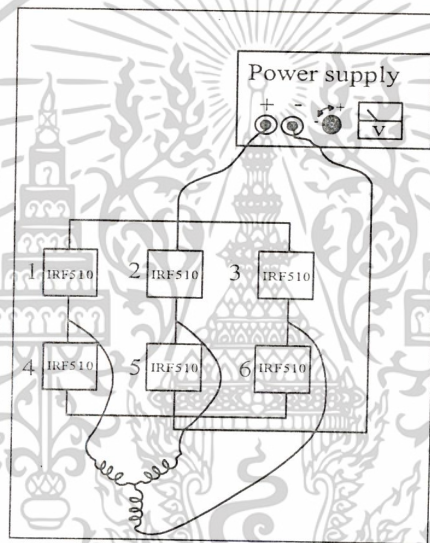
Stroboscope (RPM)	Microcontroller (RPM)				เฉลี่ย	ความแตกต่าง
	1	2	3			
600	600	630	600	610	10	
900	900	900	930	910	10	
1020	1020	1020	1020	1020	0	
1140	1110	1140	1140	1130	10	
1220	1200	1200	1230	1210	10	
1340	1320	1320	1350	1330	10	
1410	1410	1410	1410	1410	0	
1500	1500	1500	1500	1500	0	
1620	1620	1620	1620	1620	0	
1720	1710	1710	1740	1720	0	
1830	1830	1830	1800	1820	10	
1920	1920	1920	1920	1920	0	
2000	1980	1980	2100	2020	20	
2100	2100	2100	2100	2100	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

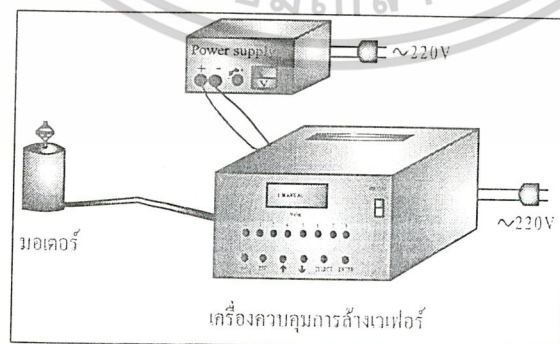
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางการทดลองที่ 4-1 เห็นได้ว่าความเร็วที่อ่านได้จากสโตโบสโคปนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งความผิดพลาดนั้นไม่เกิน 20 ถ้าพิจารณาจากผลที่ได้และสาเหตุของการอ่านค่าความเร็วไม่ตรงกันพอดีระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับสโตโบสโคปเนื่องมาจากการอ่านความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นค่าประมาณซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3

ความเร็วของการสปีนเป็นประเด็นที่น่าสนใจมากในการทำความสะอาดด้วยเทคนิคสปีน ดังนั้น การทดลองในส่วนนี้ได้ออกแบบให้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแหล่งจ่ายไฟขนาดต่างๆที่จ่ายให้กับตัวมอเตอร์ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการเลือกหาความเหมาะสมของแหล่งจ่ายไฟเมื่อต้องการระดับความเร็วที่ต้องการ ซึ่งการทดลองเป็นตามรูปที่ 4-2 โดยทำการปรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์แล้วทำการอ่านค่าความเร็วที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4-2 การต่อแหล่งกำเนิดไฟจากภายนอก

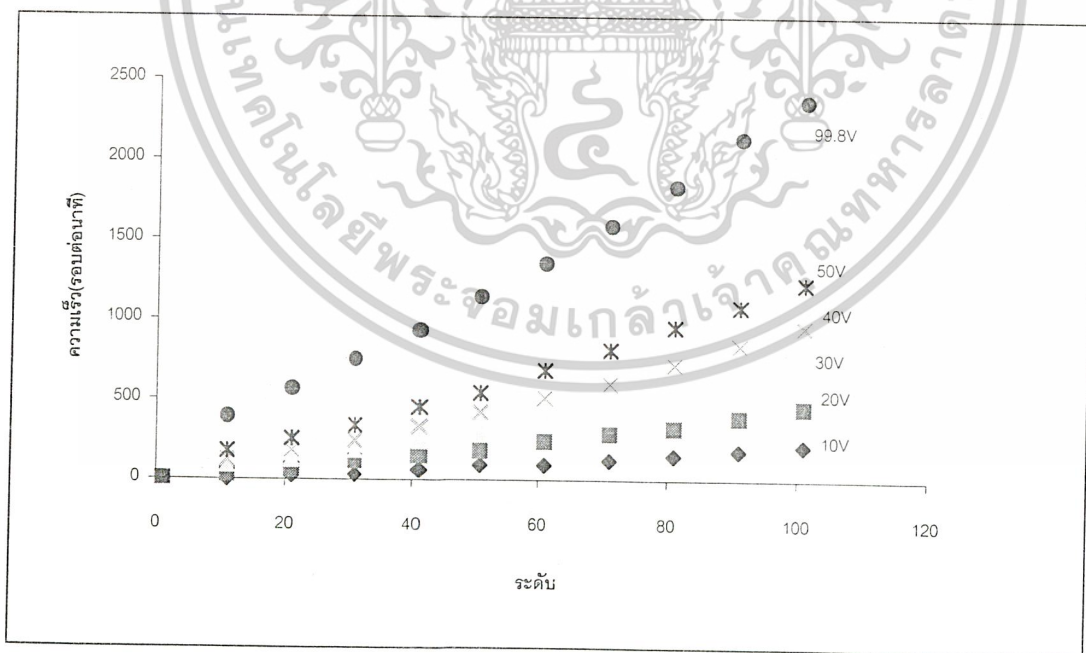


รูปที่ 4-3 ภาพจำลอง การเตรียมพร้อมที่จะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

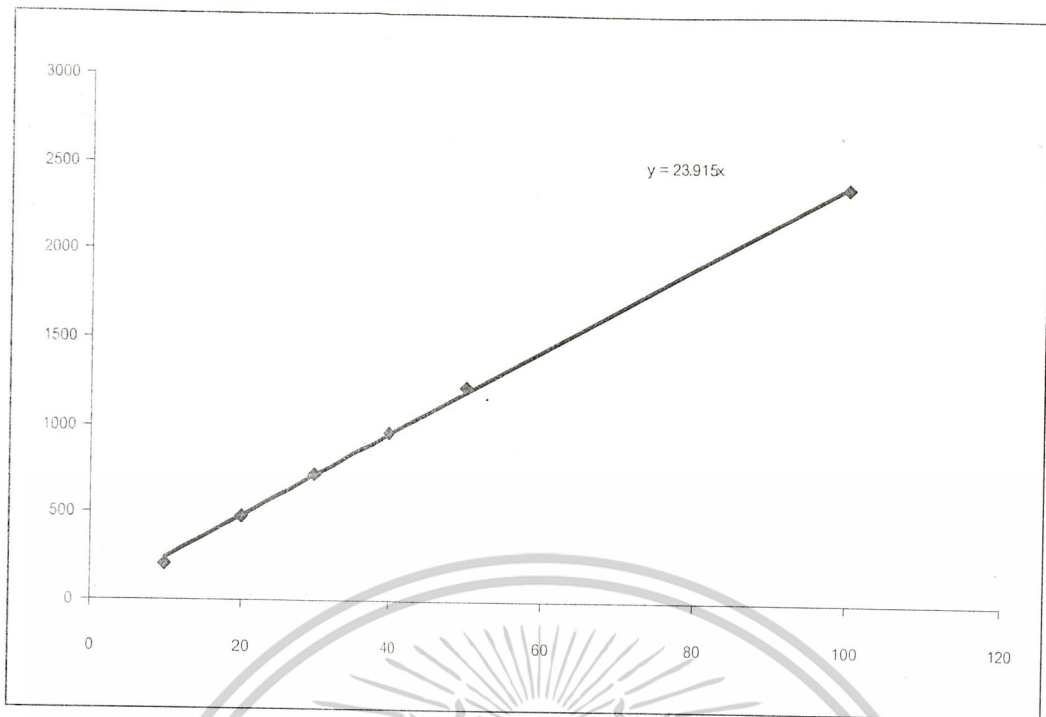
ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการจ่ายไฟตรงที่ระดับต่างๆ

Volt	Level	ที่ 10V (RPM)	ที่ 20V (RPM)	ที่ 30V (RPM)	ที่ 40V (RPM)	ที่ 50V (RPM)	ที่ 100V (RPM)
1.593137	1	0	0	0	0	0	0
1.838235	11	0	30	84	120	174	390
2.083333	21	24	60	120	180	252	564
2.328431	31	30	114	180	240	336	750
2.573529	41	60	150	240	330	450	930
2.818627	51	90	180	300	420	540	1140
3.063725	61	90	240	372	510	684	1350
3.308824	71	120	288	450	600	810	1584
3.553922	81	150	324	510	720	954	1830
3.79902	91	180	390	600	840	1080	2130
4.044118	101	210	450	714	954	1224	2364



รูปที่ 4-4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับ แกน X กับความเร็ว (รอบต่อนาที) แกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟ แกน X กับความเร็ว(รอบต่อนาที) แกน Y

จากรูปที่ 4-5 พบว่าความเร็วของมอเตอร์นั้นแปรผันตามขนาดแหล่งจ่ายไฟตรงซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$y = 23.915x$$

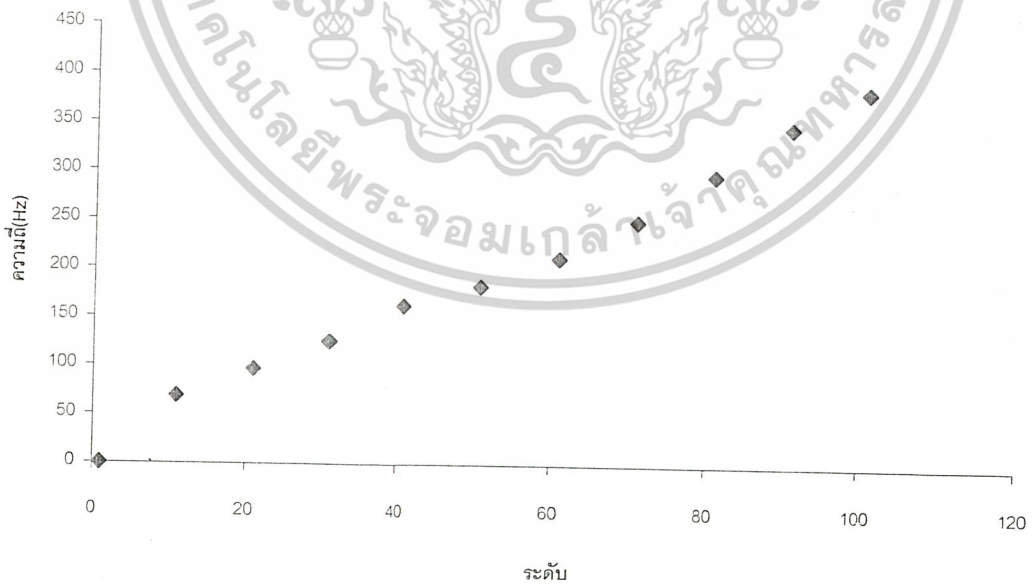
เมื่อแกน y คือความเร็วมากที่สุดที่สามารถทำได้ และแกน x คือขนาดแหล่งจ่ายไฟตรง ในโครงการนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟตรง 100 โวลท์ เนื่องจากต้องการความเร็วประมาณ 2000 รอบต่อนาทีและมีระดับการปรับความเร็วที่ละเอียดมากพอโดยพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4-4 และเนื่องจากมอเตอร์นี้สามารถทนแรงดันสูงสุดได้ 150 โวลท์ เพราะฉะนั้นแล้วมอเตอร์ตัวนี้จะทำความเร็วได้สูงสุดได้ประมาณ 3587.25 รอบต่อนาที ตามสมการที่ได้จากการทดลอง

การทดลองสุดท้ายในส่วนของเครื่องต้นแบบนี้ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันที่ DAC0832 ให้กับชิพ MC33033 กับความถี่พัลส์วิธมอดดูเลชั่น(PWM)เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงส่วนขับมอเตอร์ให้เหมาะสมต่อไป โดยได้ใช้ออสซิลอสโคปตรวจสอบความถี่ของสัญญาณที่เกิดพัลส์วิธมอดดูเลชั่นจากชิพ MC33033 ขา 17 หรือ 16 หรือ 15 ที่ระดับความเร็วต่างๆ และนำมาหาความสัมพันธ์ต่อไป ผลการทดลองเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 36 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนระดับแรงดันกับความถี่ PWM

V DAC	Level	f(Hz)			
		1	2	3	เฉลี่ย
1.593137	1	0	0	0	0
1.838235	11	69.44	69.44	67.568	68.816
2.083333	21	97.012	96.154	96.154	96.44
2.328431	31	125	125	125	125
2.573529	41	160.01	162.791	162.791	161.864
2.818627	51	182.48	182.48	182.48	182.48
3.063725	61	211.86	211.86	211.86	211.86
3.308824	71	250	250	250	250
3.553922	81	297.62	297.62	297.62	297.62
3.79902	91	347.22	347.22	347.22	347.22
4.044118	101	384.62	384.62	384.62	384.62



รูปที่ 4-6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับแกน X กับความถี่(Hz) แกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาถึงแนวทางการออกแบบระบบการทำความสะอาดเวเฟอร์ที่จะต้องพัฒนาต่อไปในอนาคต

ในการทำความสะอาดผิวซิลิกอนนั้นต้องใช้สารเคมีต่างๆซึ่งล้างเสร็จแล้วก็ต้องทำการเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน จากเหตุผลอย่างหยาบๆ นี้เองทำให้สามารถออกแบบการทดลองเรื่องของการเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ว่าการอัตราการเป่าแห้งด้วยของก๊าซไนโตรเจนต้องใช้เวลาประมาณเท่าใดและจะต้องใช้ความเร็วเท่าใดบ้าง รวมไปถึงผลอุณหภูมิที่มีส่วนในการทำให้เวเฟอร์แห้ง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นเหตุผลที่ดีในการออกแบบระบบการล้างต่อไปในอนาคต

ในส่วนของการทดลองตอนนี้ทำการควบคุมระดับการไหลก๊าซไนโตรเจน ระดับความเร็วในการหมุน โดยได้ใช้หัวฉีดพ่นน้ำลงบนแผ่นเวเฟอร์ซึ่งโครงงานนี้ได้ใช้หัวฉีดแบบ สเปรย์และแบบปล่อยน้ำทิ้ง ปล่อยน้ำประมาณ 30 วินาทีพอที่ให้เวเฟอร์มีน้ำทั่วทั้งแผ่น(หมุนอยู่ตลอดเวลา)แล้วปิดน้ำ จากนั้นทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนแทน หลังจากนั้นเริ่มจับเวลาจนกระทั่งแผ่นเวเฟอร์แห้ง ในการทดลองทำที่อุณหภูมิต่างกัน(ตามสิ่งแวดล้อม)ซึ่งจะได้สังเกตเห็นความแตกต่างกันของเวลาที่เป่าแห้ง ผลการทดลองเป็นดังนี้



ตารางที่ 4-4 แสดงเวลาการเป่าแห้งที่อัตราการไหลก๊าซไนโตรเจนในระดับต่างๆ โดยใช้หัวฉีดแบบสเปรย์

RPM	FLOW (ลิตร/นาที)	t(วินาที) ที่ 42 °C			t(วินาที) ที่ 32.9 °C			tเฉลี่ย (ที่ 42 °C)	tเฉลี่ย (ที่ 32.9 °C)
		1	2	3	1	2	3		
1000	10	140	150	140	240	240	240	143.33	240.00
	15	120	110	115	200	200	200	115.00	200.00
	20	110	100	100	150	150	160	103.33	153.33
	25	80	80	90	110	110	110	83.33	110.00
	30	60	60	60	65	70	75	60.00	70.00
1500	10	90	80	80	130	130	140	83.33	133.33
	15	60	70	70	100	100	110	66.66	103.33
	20	50	60	55	100	100	100	55.00	100
	25	45	45	50	90	90	90	46.66	90.00
	30	40	40	45	60	60	70	41.66	63.33
2000	10	80	75	75	120	110	110	76.66	113.33
	15	60	55	50	100	100	100	55.00	100.00
	20	50	50	50	80	80	80	50.00	80.00
	25	50	45	40	70	70	70	45.00	70.00
	30	40	40	40	60	60	60	40.00	60.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-5 แสดงเวลาการเป่าแห้งที่การอัดการไหลของก๊าซไนโตรเจนในระดับต่างๆ โดยใช้หัวฉีดแบบปล่อยน้ำทิ้ง

RPM	FLOW (ลิตร/นาที)	t(วินาที) ที่ 42 °C			t(วินาที) ที่ 32.9 °C			tเฉลี่ย (ที่ 42 °C)	tเฉลี่ย (ที่ 32.9 °C)
		1	2	3	1	2	3		
1000	10	170	170	180	250	250	250	173.33	250.00
	15	140	140	150	200	200	210	143.33	203.33
	20	110	110	100	180	180	180	106.66	180.00
	25	90	100	90	120	110	110	93.33	113.33
	30	65	65	65	90	90	100	65.00	93.33
1500	10	85	85	85	150	150	140	85.00	146.66
	15	70	70	70	110	120	120	70.00	116.66
	20	60	60	60	100	100	110	60.00	103.33
	25	50	50	45	90	90	100	48.33	93.33
	30	60	50	50	70	80	80	53.33	76.66
2000	10	80	80	80	120	120	130	80.00	123.33
	15	60	70	70	100	105	110	66.66	105.00
	20	55	55	55	100	100	90	55.00	96.66
	25	45	45	50	70	70	80	46.66	73.33
	30	45	45	45	60	60	70	45.00	63.33

จากข้อมูลที่ได้นำมาเห็นได้ว่าอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน และความเร็วที่หมุนมีผลกับการไล่น้ำออกไปจากแผ่นเวเฟอร์มาก ความเร็วในการหมุนที่สูงเป็นสิ่งที่ช่วยให้ น้ำถูกพัดพาได้เร็วขึ้น และอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนในการทำให้ น้ำหมดไปเนื่องมาจากน้ำมีการระเหยเกิดขึ้น รวมไปถึงหัวที่ฉีดน้ำสามารถช่วยให้เวเฟอร์แห้งได้รวดเร็วขึ้นเนื่องจากการไหลของก๊าซไนโตรเจนมีการกระจายทั่วแผ่นเวเฟอร์มากกว่าหัวฉีดน้ำแบบปล่อยน้ำทิ้ง ซึ่งสรุปเป็นตารางเพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างเวลาที่ใช้เป่าแห้งที่หัวฉีดแบบสเปรย์และแบบปล่อยน้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-6 ที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที

FLOW (ลิตร/นาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)			
	SPRAY		DRAIN	
	T=42 °C	T=32.9 °C	T=42 °C	T=32.9 °C
10	143.33	240.00	173.33	250.00
15	115.00	200.00	143.33	203.33
20	103.33	153.33	106.66	180.00
25	83.33	110.00	93.33	113.33
30	60.00	70.00	65.00	93.33

ตารางที่ 4-7 ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที

FLOW (ลิตร/นาที)	เวลาเฉลี่ย(วินาที)			
	SPRAY		DRAIN	
	T=42 °C	T=32.9 °C	T=42 °C	T=32.9 °C
10	83.33	133.33	85.00	146.66
15	66.66	103.33	70.00	105.00
20	55.00	100.00	60.00	103.33
25	46.66	90.00	48.33	93.33
30	41.66	63.33	53.33	76.66

ตารางที่ 4-8 ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที

FLOW (ลิตร/นาที)	เวลาเฉลี่ย(วินาที)			
	SPRAY		DRAIN	
	T=42 °C	T=32.9 °C	T=42 °C	T=32.9 °C
10	76.66	113.33	80.00	123.33
15	55.00	100.00	66.66	105.00
20	50.00	80.00	55.00	96.66
25	45.00	70.00	46.66	73.33
30	40.00	60.00	45.00	63.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบคุณสมบัติของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมาได้ทดลองในเรื่องของความเร็วที่สปีนโดยนำเอาสโตโบสโคปมาใช้วัดความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)เป็นตัวเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดความเร็วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้อยู่ในเครื่องต้นแบบ ผลการทดลองที่ผ่านมาเห็นว่าผลต่างของความเร็วที่วัดได้จากเครื่องมือทั้ง 2 มีค่าเกือบจะใกล้เคียงกันทั้งหมด ซึ่งแตกต่างกันไม่เกิน 20 รอบต่อนาที โดยสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการเขียนโปรแกรมที่ทำให้อ่านค่ารวดเร็ว(2 วินาทีอ่านค่าจากเอ็นโคดเดอร์ในตัวมอเตอร์ดีซีบรชเลข) โดยรวมแล้วเป็นค่าที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับความเร็วที่สูง เมื่อเป็นที่แน่ชัดแล้วว่าความเร็วที่อ่านได้จากตัวเครื่องที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง จากนั้นจึงศึกษาถึงคุณสมบัติอุปกรณ์ที่เป็นปัจจัยในการสร้างความเร็วรอบให้ถึงระดับที่ต้องการ การทดลองเรื่องระดับแหล่งจ่ายไฟกับความเร็วยรอบแหล่งจ่ายไฟเสมือนว่าเป็นหัวใจสำคัญอันหนึ่งของเครื่องต้นแบบนี้เพราะจะเกี่ยวข้องกับการหมุนโดยตรงถ้าใช้แหล่งจ่ายไฟที่น้อยเกินไปทำให้ความเร็วรอบน้อยเกินไปหรือในทางตรงข้ามถ้าใช้แหล่งจ่ายไฟมากเกินไปก็อาจจะทำให้ตัวมอเตอร์ทอร์ชไม่ได้อาจจะหมุนเร็วเกินไป เหนือที่สนใจศึกษา ดังนั้นการทดลองในเรื่องนี้จึงมีความสำคัญมากในโครงการนี้ จากผลการทดลองที่ผ่านมาในเรื่องนี้ความเร็วที่ได้สูงสุดจากแหล่งจ่ายไฟตรงที่ระดับ 10, 20, 30, 40, 50 และ 100 โวลท์คือ 210, 450, 714, 954, 1224, 2364 รอบต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งค่าความเร็วที่ได้มีลักษณะแปรผันตามแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับชุดขับของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ถ้านำไปค่าเหล่านี้ไปหาสมการความสัมพันธ์จะได้สมการเป็น $y = 23.915x$ โดยที่ y คือระดับความเร็วและ x คือขนาดแหล่งจ่ายไฟตรงจากสมการนี้ทำให้สามารถคำนวณได้ว่าจะเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟประมาณเท่าใด จึงจะสร้างความเร็วที่ต้องการได้ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ในการออกแบบเครื่องต่อไป การทดลองส่วนสุดท้ายของเครื่องมือที่สร้างขึ้นเป็นเรื่องเกี่ยวกับแนวทางในการออกแบบชุดขับ ชุดขับนั้นก็มีความสำคัญมากในโครงการนี้ ดังนั้นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ต้องสามารถรองรับการทำพัลส์วริธมอดดูเลชั่น (PWM) ที่ความถี่สูงๆได้ ผลการทดลองที่ผ่านมาในเรื่องนี้ทำให้เห็นถึงแนวโน้มของ PWM ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแรงดันที่ชิพ MC33033

การทดลองในเรื่องแนวทางออกแบบระบบโดยรวมของเครื่องสั่งเวเฟอร์ด้วยเทคนิคสปีนนั่น เบื้องต้นแล้วผู้ทดลองได้ทดสอบเวลาเป่าแห้งเมื่อเวเฟอร์มีน้ำเกาะจะอยู่ที่บนแผ่นซึ่งใช้การหมุนช่วยให้น้ำเคลือบกระจายทั่วแผ่น หลังจากนั้นทำการเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหลต่างๆภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ผลการทดลองที่ผ่านมาเห็นแนวโน้มได้ชัดเจนว่าความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหมุน อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน เวลา และอุณหภูมิ จัดว่าเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมาก ซึ่งถ้าหมุนด้วยความเร็วสูงทำให้ไอน้ำได้เร็วมากขึ้น

จากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น และระบบการทำความสะอาดเวเฟอร์ ผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวถึงใน โครงการนี้ได้เห็นถึงโครงสร้างของระบบเกือบทั้งหมดในการล้างเวเฟอร์ด้วยเทคนิคสปิน และสิ่งที่จะต้องเพิ่มเข้ามาในระบบการทำความสะอาดด้วยเทคนิคสปิน คือ การควบคุมอุณหภูมิก่อนการไหล การปรับระดับการไหลแบบอัตโนมัติ รวมไปถึงท่อน้ำทิ้ง อาจที่จะพัฒนาให้มีกรี๊ไซเคิลกลับเข้ามาในระบบได้อีกครั้งซึ่งจะเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง และสิ่งที่ต้องปรับปรุงคือเรื่องของความเร็วที่หมุนควรที่จะทำให้หมุนเร็วมากขึ้นเพื่อสามารถดูแนวโน้มในการไอน้ำที่ความเร็วสูงมากๆ อนึ่งการทำโครงการนี้เกี่ยวข้องกับการหมุน ดังนั้นการประยุกต์ใช้เครื่องมือนี้สามารถที่จะนำไปใช้ในกระบวนการโฟโตลิโธของการทำลวดลายวงจรได้



บรรณานุกรม

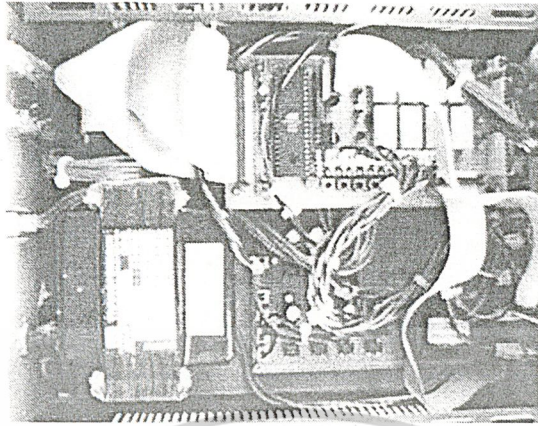
- [1] K.Hochberg, "Particle deposition and removal", Process engineering analysis in semiconductor device fabrication, pp 161-190
- [2] L.L.Hench and J.K.West, "Ionic Bonding", Principles of electronic ceramics, pp 14-17
- [3] Takashi Kenjo, "Power electronics for the microprocessor age", Brushless direct-current drives, pp 274-275
- [4] Gretchen Burdick, "Particle Adhesion/Removal Model", Describing Hydrodynamic Particle Removal From Surfaces Using the Particle Reynolds Number, pp 5-6
- [5] Fan Zhang, "The Removal of Deformed Submicron Particles from Silicon Wafers by Spin Rinse and Megasonics", Clarkson University, Feb., 2000
- [6] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, "โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์", MCS-51 Flash Microcontroller , หน้า 3-8
- [7] ภูมินทร์ จินดาจิราวัฒน์, "Interrupt", สรุปการใช้งาน 8051, หน้า 26
- [8] วิชิต สิริโชค, "การเชื่อมต่อภาคแสดงผลแบบ LCD", การทดลอง MMT-1 (MULTI MICROCONTROLLER TRAINING), หน้า 203-205
- [9] วราวุฒิ เถาถัดดา, "Digital to Analog Converter", ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 2, หน้า 9[1-5]
- [10] สมเกียรติ กรีทอง, "ความหนืดและความเหลว", เคมีฟิสิกส์, หน้า 164-167



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายชุดเครื่องควบคุมที่พัฒนาขึ้นมา



การจัดวางอุปกรณ์ภายในเครื่องควบคุมที่พัฒนาขึ้นมา

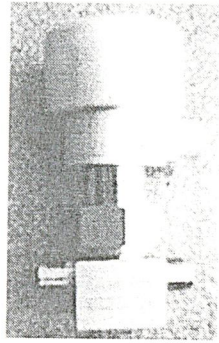


ภาพถ่ายจากทางด้านหน้าเครื่องต้นแบบ

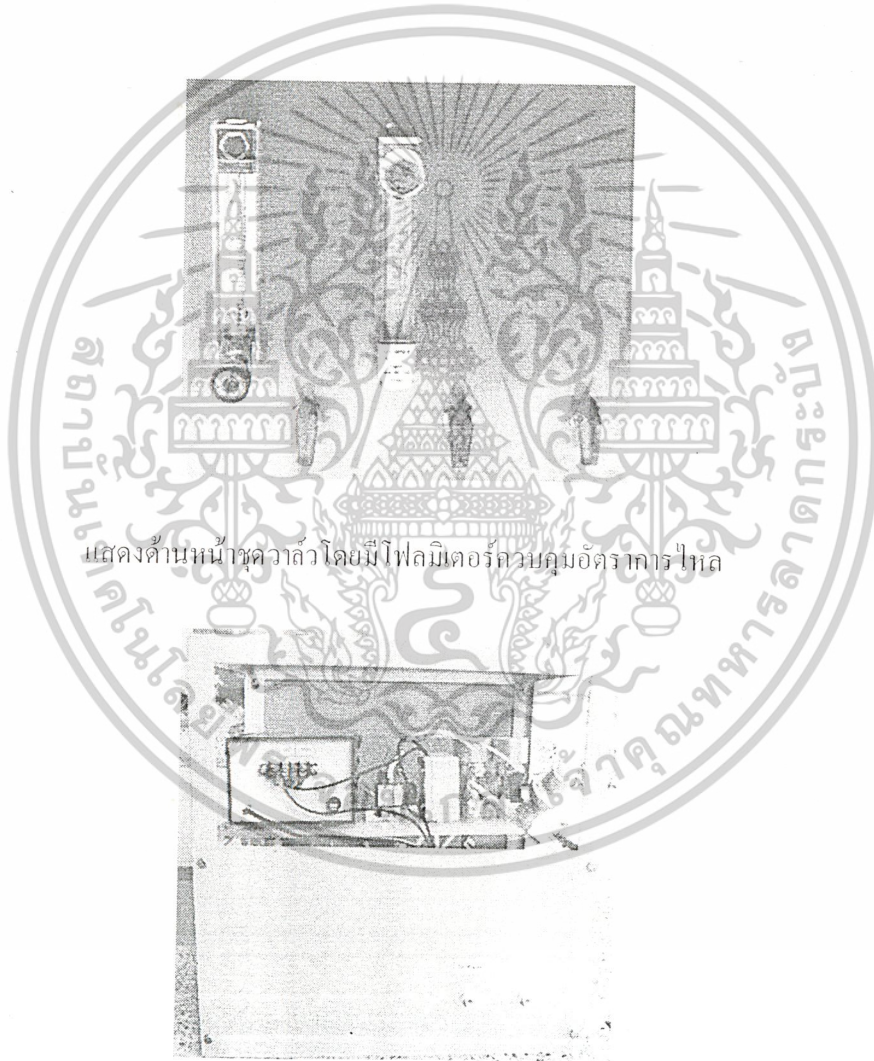
ภาพถ่ายจากทางด้านหลังเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายชุดควาล์ว



ภาพถ่ายวาล์วที่ใช้ลมควบคุมในโรงงานพิเศษ

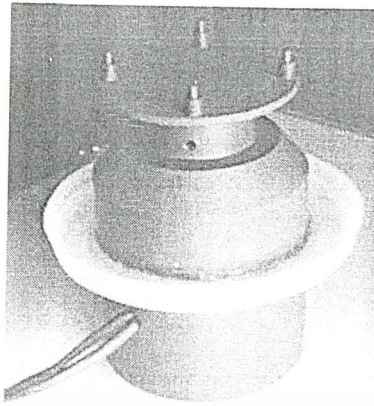


แสดงด้านหน้าควาล์วโดยมีโพลีเมอร์ควบคุมอครทาลไฮล

ด้านหลังชุดควาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายชุดมอเตอร์



ลักษณะชุดมอเตอร์



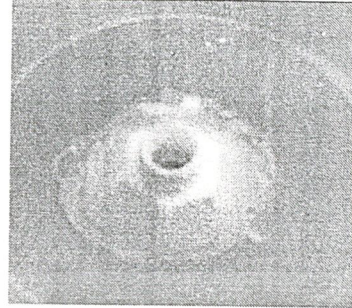
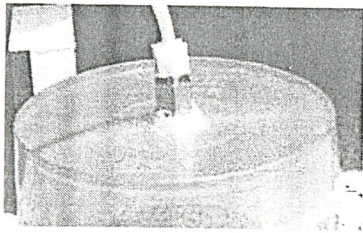
ลักษณะการยัดจานมอเตอร์



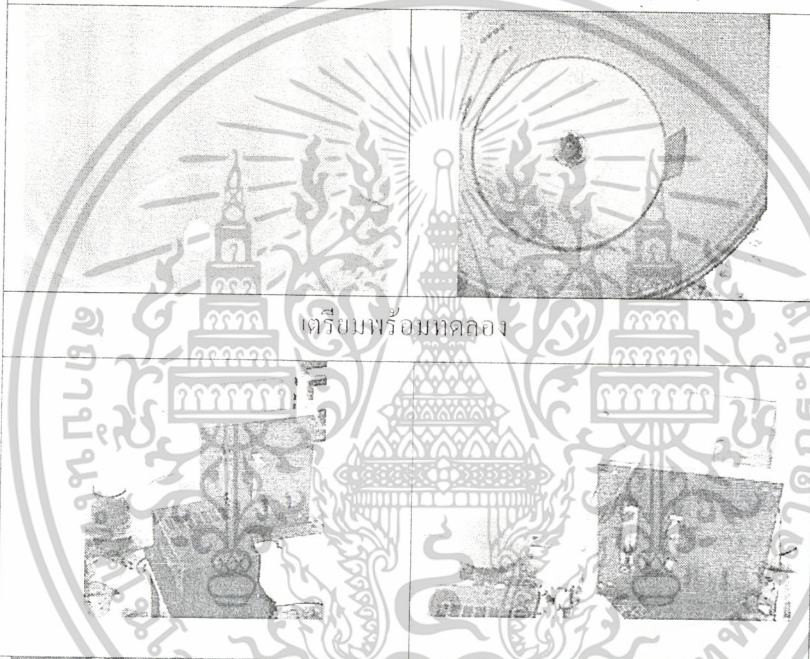
ลักษณะ Chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

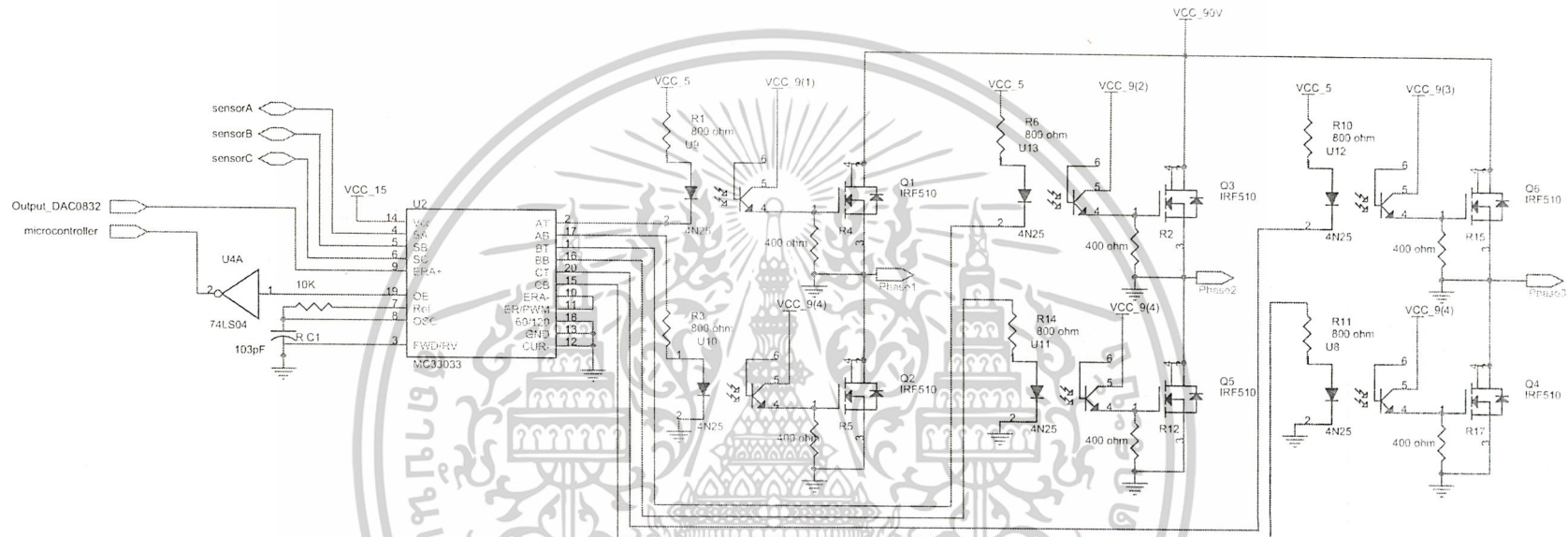
การต่อหัวฉีดน้ำที่นำมาล้างเวเฟอร์โดยตรงกลาง Chamber ด้านบน



หัวฉีดแบบสเปรย์(ซ้าย)และหัวฉีดแบบปล่อยน้ำทิ้ง(ขวา)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	<Title>	
Size	Document Number	Rev
B	<Doc>	<Rev>
Date	Monday, March 31, 2003	Sheet 1 of 1