

เครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออน
โดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา
AUTOMATIC INSTRUMENT FOR SILAR METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออน
โดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา
AUTOMATIC INSTRUMENT FOR SILAR METHOD



T149466



พชรพล ชาญโลหะ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149466
วัน เดือน ปี... 8 8 2561

b. 12884698
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC INSTRUMENT FOR SILAR METHOD



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา **ACADEMIC YEAR 2559** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

เครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

Automatic Instrument for Silar Method

ชื่อนักศึกษา

นายพชรพล ชาญโลหะ รหัสนักศึกษา 56051171

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ประธานกรรมการ	
อ.สุรชาติ กมลติลก กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา
ชื่อนักศึกษา	นายพชรพล ชาญโหละ รหัสนักศึกษา 56051171
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและผลิตเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาหรือที่เรียกว่า Successive layer adsorption and reaction method (SILAR) และศึกษาสมบัติทางแสงและโครงสร้างของฟิล์มบางที่ผ่านกระบวนการ SILAR เพื่อวิเคราะห์แผ่นฟิล์มที่ได้จากการดำเนินการกระบวนการ SILAR โดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติแทนการใช้มนุษย์ ซึ่งออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Arduino เป็นบอร์ดควบคุมหลักที่ใช้ควบคุมเครื่องมืออัตโนมัติ ตั้งเงื่อนไขการทำกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขต่างกัน 4 เงื่อนไข นำฟิล์มที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงและเปรียบเทียบโดยอาศัยกฎของเบียร์และแลมเบิร์ตในการวิเคราะห์ฟิล์มที่ได้จากกระบวนการได้ข้อสรุปว่าเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยานี้สามารถใช้งานได้จริง

คำสำคัญ : ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น จำนวนรอบในการจุ่ม เทคนิควิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาเคมี

Title	Automatic Instrument for SILAR Method
Students	Mr.Pacharapon Chanloha Student ID 56051171
Degree	Bachelor of Science (Appiled Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Dr.Witoon Yindeesuk

Abstract

This special project is to design and build an automatic instrument for successive ionic layers adsorption and reaction and analyze optical property of thin films made by automatic instrument instead of human. Automatic Instrument designed by SolidWorks and use microcontroller board Arduino as a main board for control all process of instrument. Set different condition to test instrument thin film by successive ionic layers absorption successive ionic layer adsorption and reaction with 4 conditions and analyse the result of the process with beer's and lambert law. From optical properties of thin films showed that automatic instrument can be use for SILAR method.

Keywords: concentration of precursor solution, number of dipping cycles, Pbs thin films, SILAR method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างสูงจาก ดร.วิฑูรย์ ยืนดีสุขุข ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนแนวคิดการวางแผนดำเนินโครงการพิเศษนี้ ทำให้การดำเนินการต่างๆลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก ที่คอยให้คำปรึกษาด้านการเลือกซื้ออุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นสถานที่นำมาซึ่งความรู้ และสังคมที่เปี่ยมไปด้วยคุณภาพ จากบุคลากรที่เปี่ยมไปด้วยคุณภาพทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ๆขึ้นมากมาย

พชรพล ชาญโลหะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	3
2.1.1 หลักการของวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	4
2.1.2 ข้อดีของวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	4
2.1.3 ข้อเสียของวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	4
2.2 Microcontroller Board Arduino	5
2.3 Stepper Motor	6
2.3.1 หลักการทำงานของ Stepper Motor	6
2.4 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย	7
2.4.1 SolidWorks	7
2.5 การวัดค่าการดูดกลืนและการส่องผ่าน	9
2.5.1 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	11
3.1 ออกแบบเครื่องมือโดยใช้โปรแกรม SolidWorks	11
3.2 ส่วนประกอบของตัวเครื่อง	12
3.2.1 มอเตอร์สำหรับแกนแนวระนาบ	12
3.2.2 มอเตอร์สำหรับแกนแนวตั้ง	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.2.3 โครงเหล็กฐานหลักของตัวเครื่อง	14
3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือ	15
3.4 การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมืออัตโนมัติ	16
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย	16
3.4.2 การเตรียมสารละลาย	16
3.4.3 การเตรียมกระจกสไลด์	16
3.4.4 เงื่อนไขในการทดลอง	16
3.4.5 ขั้นตอนการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	18
4.1 กระจกสไลด์ที่ผ่านกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ	21
4.2 ผลการวัดค่าการส่องผ่านของแสง	22
4.3 ผลการวัดค่าการดูดกลืนของแสง	23
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	26
ภาคผนวก ก	27
ภาคผนวก ข	29

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.5	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนกับ %Transmittance	11
3.1	แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่แนวระนาบของเครื่องมือ	13
3.2	แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่แนวตั้งของเครื่องมือ	14
3.3	แสดงคุณสมบัติของโครงเหล็กฐานหลักของตัวเครื่อง	15
3.4	แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองเพื่อเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมืออัตโนมัติ	18
4.1	แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 1	21
4.2	แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 2	22
4.3	แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 3	23
4.4	แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 4	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปแสดงขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา	3
2.2	รูปแสดงโครงสร้างของ Microcontroller Board Arduino	5
2.3	รูปแสดง Stepper Motor	6
2.4	รูปแสดงการส่องผ่านของแสง	9
2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่องผ่านและการดูดกลืนของแสง	11
3.1	รูปแสดงโครงสร้างของเครื่องมือที่ออกแบบโดย SolidWorks	12
3.2	รูปแสดงมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่แนวระนาบของเครื่องมือ	13
3.3	รูปแสดงมอเตอร์สำหรับแกนในแนวตั้งของเครื่องมืออัตโนมัติ	14
3.4	รูปแสดงโครงเหล็กฐานหลักของตัวเครื่อง	15
3.5	แผนผังแสดงการทำงานของเครื่องมือ	16
3.6	รูปแสดงการวางตำแหน่งของปีกเกอร์	18
4.1	รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 1	19
4.2	รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 2	20
4.3	รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 3	21
4.4	รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 4	22
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wavelength	23
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ Wavelength	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
XRD	X-ray Diffraction
SILAR	Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Lead(II) nitrate
Na_2S	Sodium sulfide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Successive ionic layer adsorption and reaction หรือ SILAR เป็นกระบวนการเตรียมสารตั้งต้นด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา มีการกล่าวถึงครั้งแรกโดย Y.F. Nicolau ในปี ค.ศ. 1985 ซึ่งในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่ใช้กระบวนการ Successive ionic layer adsorption and reaction หรือ SILAR โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมควอนตัมดอท โซลาร์เซลล์ ซึ่ง SILAR เป็นหนึ่งในกระบวนการที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการสร้างควอนตัมดอท

ในการพัฒนาควอนตัมดอทมีหลายวิธีที่จะสามารถสร้าง quantum dot sensitizers ได้แก่ Chemical bath deposition, Surface attachment through molecular linkers for ex situ fabrication of QDs , Successive ionic layer adsorption and reaction เป็นต้น

Successive ionic layer adsorption and reaction เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการสร้าง Quantum dot sensitizer และในกระบวนการไม่จำเป็นต้องใช้ substrate ที่มีคุณภาพสูงเหมือนกับวิธีอื่น และยังสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของ Quantum dot sensitizers ได้โดยง่าย และเป็นวิธีที่มีความปลอดภัยสูงหรือมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดอันตรายและความเสียหาย

ในกระบวนการ SILAR เป็นกระบวนการที่ดำเนินขึ้นตอนเติมซ้ำๆในจำนวนรอบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ซึ่งหากใช้มนุษย์เป็นผู้ดำเนินการทั้งหมด ทำให้การควบคุมปัจจัยทั้งหมดเป็นไปได้ยาก โดยหากใช้เครื่องมือที่ทำงานด้วยระบบอัตโนมัติจะทำให้สามารถลดค่าความคาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆและยังสามารถดำเนินกระบวนการทิ้งไว้โดยไม่ต้องควบคุมตลอดเวลาอีกด้วย ผู้ศึกษาจึงมีความคิดเห็นว่าเครื่องมือนี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการ SILAR และการพัฒนา Quantum dot sensitizers

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการปลูกฟิล์มจากกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา
- 2) เพื่อออกแบบและผลิตเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการ SILAR
- 3) เพื่อทดสอบความสามารถในการสร้างฟิล์มจากกระบวนการ SILAR จากเครื่องมืออัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ออกแบบและสร้างเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา โดยใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบและ Microcontroller Board Arduino เป็นบอร์ดหลักที่ใช้ควบคุมเครื่องมือ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาต่อไปในอนาคต
- 2) เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการวิจัย Thin films deposition ที่ใช้กระบวนการ SILAR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยอธิบายถึงกระบวนการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออน โดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาและความสำคัญในการผลิตเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

2.1 การปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR)

วิธีการปลูกฟิล์ม โดยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR) คือ กระบวนการจุ่มสารละลายที่มีประจุบวกและสารละลายที่มีประจุลบที่สลับคล้อยกันทำให้เกิดชั้นของไอออนเคลือบอยู่บนพื้นผิวของฟิล์ม ซึ่งจะเปลี่ยนคุณสมบัติของฟิล์ม



รูปที่ 2.1 รูปแสดงขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 หลักการของกระบวนการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR)

- 1) จุ่มแผ่นฟิล์มลงในสารละลายที่มีประจุบวก ทำให้ไอออนประจุบวกถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวของแผ่นฟิล์ม
- 2) ล้างแผ่นฟิล์มด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนเพื่อกำจัดไอออนประจุบวกที่ไม่ถูกดูดซับไว้บนผิวของแผ่นฟิล์ม
- 3) จุ่มแผ่นฟิล์มลงในสารละลายไอออนประจุลบ ทำให้ไอออนบวกที่ถูกดูดซับไปก่อนหน้านี้ ทำปฏิกิริยากับไอออนลบนี้บนพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม
- 4) ล้างแผ่นฟิล์มอีกครั้งด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน แผ่นฟิล์มที่ได้จะเหลือเพียงไอออนลบที่ทำปฏิกิริยากับไอออนบวกแล้ว
- 5) ทำกระบวนการนี้ซ้ำๆ จำนวนรอบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการ

2.1.2 ข้อดีของกระบวนการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR)

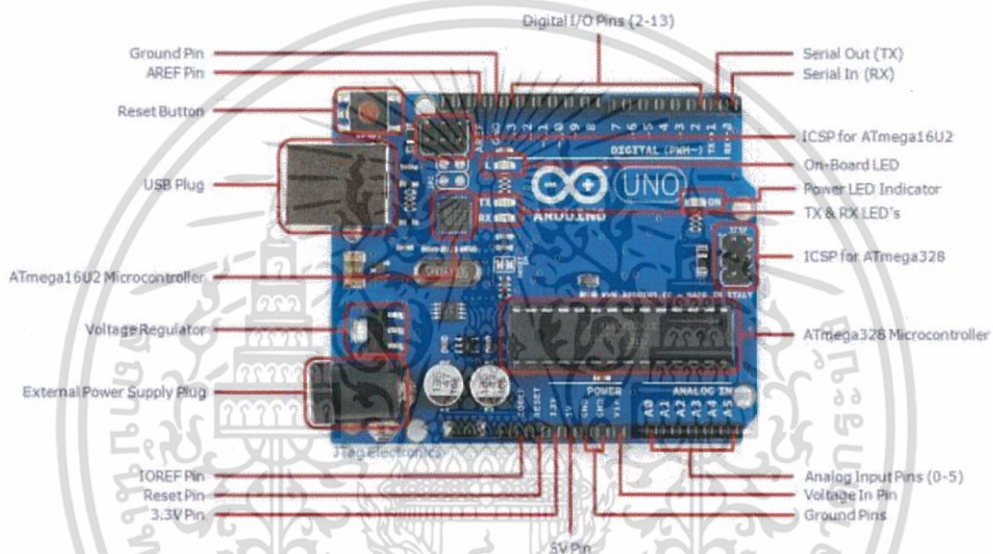
- 1) สามารถควบคุมความหนาบางของฟิล์มได้โดยการตั้งเงื่อนไขในการทดลอง
- 2) ความหนาบางของฟิล์มเป็นผลที่สำคัญของกระบวนการ

2.1.3 ข้อเสียของกระบวนการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา (SILAR)

- 1) กระบวนการนี้จำเป็นต้องทำการทดลองซ้ำๆ ซึ่งหากทดลองโดยมนุษย์ กระบวนการอาจมีการผิดพลาดได้
- 2) ใช้เวลาในการควบคุมเป็นเวลานาน ตั้งแต่เริ่มจนจบกระบวนการ

2.2 Microcontroller Board: Arduino

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino เป็นโอเพนซอร์สแพลตฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์ที่รวมเอาฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน และถูกออกแบบมาสำหรับทั้งผู้ใช้งานทั่วไปและผู้ใช้งานขั้นสูง โดย Arduino จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เรียกว่า “Arduino Board” โดยปัจจุบันใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR จากบริษัท Atmel เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ที่รวมเอาโปรแกรมบูตโหลดเดอร์(Bootloader) ไว้ในตัวบอร์ด Arduino เรียบร้อยแล้ว เพื่อให้ง่ายต่อการโปรแกรมโค้ดใหม่ และส่วนของซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า “Arduino Software”

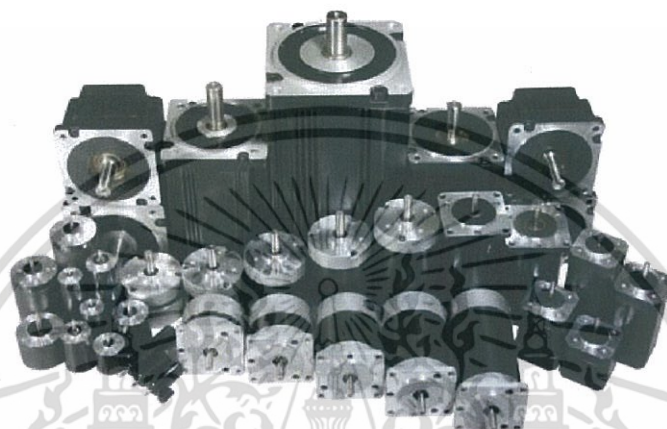


รูปที่ 2.2 รูปแสดงโครงสร้างของ Microcontroller Board : Arduino (UNO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Stepper Motor

สเต็ปมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1,1.5,1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ลักษณะที่ นำมอเตอร์ไปใช้ จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ เช่น ระบบขับเคลื่อนหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ (PRINTER)ระบบขับเคลื่อนหัวอ่านในเครื่องอ่านบันทึกเทป ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งของปากกาใน X-Y PLOTTER เป็นต้น



รูปที่ 2.3 รูปแสดง Stepper Motor

2.3.1 หลักการทำงานของ Stepper Motor

การทำงานของ Stepper Motor ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ rotor ซึ่งเป็นส่วนที่หมุนหรือเคลื่อนที่ได้คือ stator ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ สำหรับ stepping motor ก็เช่นเดียวกันที่ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนนี้ โดยที่ส่วนที่เป็น stator ของ stepping motor นี้จะเป็นส่วนซึ่งมีขดลวดพันล้อมอยู่บนแกนเหล็ก(ส่วนที่เขียน 1,2,3 ที่เป็นส่วนนอก ของ stepping motor นั้นแหละคือส่วนที่เป็น stator) เมื่อเราจ่ายไฟเข้าที่ขดลวดที่พันอยู่บน stator ที่ขด 1 ก่อน ก็จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ตำแหน่ง 1 นี้ และผลักให้ rotor เกิดการเคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่นี้เรียกว่ามันเคลื่อนที่ไป 1 step ซึ่งการที่มันจะเคลื่อนที่ไปเป็นมุมเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับ spec ของ stepping motor ดังนั้นว่ามันสามารถที่จะหมุนได้ step ละกี่องศา และต่อไปถ้าเราหยุดจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด 1 และไปจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด 2 แทนก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่บริเวณ 2 บน stator และก็จะทำให้สนามแม่เหล็กนี้ผลัก rotor ให้เคลื่อนที่ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

2.4.1 SolidWorks

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศส เป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้ยื่นออกแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting)

โปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง คือ สามารถทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็ชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface โปรแกรมมีเครื่องมือรองรับเป็นอย่างดี โดยมีลักษณะการทำงานหลักๆ 3 หมวด

Part mode เป็นหมวดการทำงานเริ่มต้นก่อนใช้งานในหมวด Assembly และ Drawing ต่อไป ในขั้นนี้จะมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ การใช้ 2D Sketch เพื่อนำไปสู่การสร้าง 3D Feature และมีเงื่อนไขเป็น Feature-Based Modeling และ Parametric โดยมีการอ้างอิงจาก Solid Mode

- 1) Feature-Based Modeling คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของ Solid Model ที่สร้างขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไข Model ในลำดับการทำงานแต่ละขั้นได้
- 2) Parametric Model คือ การออกแบบ Software ซึ่งใช้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขขนาดรูปร่าง ทางเรขาคณิตของ Model ที่สร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไข Model ในลำดับการทำงานแต่ละขั้นได้
- 3) Solid Model คือแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ที่สามารถแสดงค่าต่างๆ เช่น Density, Material, Mass, Weight เป็นต้น และยังสามารถมองเห็น 3D Model ได้ทุกมุมมอง

Assembly mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อนำ Part Model เข้าไปประกอบเป็นเครื่องจักรกลหรือกลไกต่างๆ และมีเงื่อนไขเป็น Feature Base และ Parametric เช่นเดียวกับ Part Model โดย Part Model และ Assembly จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เมื่อทำการแก้ไขในหมวดใด อีก หรือมีการประกอบที่ซ้อนหรือทับกันหมวดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการแก้ไขไปด้วย การทำงานใน Assembly สามารถช่วยให้นักออกแบบหรือวิศวกรสามารถตรวจสอบความผิดพลาดในการสร้าง Part ได้โดยการใช้คำสั่งต่างๆ เช่น คำสั่ง Interference Detection เพื่อตรวจสอบการขัดกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยใช้คำสั่ง Move Component เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไก คำสั่ง Simulation เพื่อจำลองต้นกำลังในการทำงานจริงของเครื่องจักร หรือหากชิ้นงานจำลองที่ออกแบบมีข้อผิดพลาด ก็สามารถแก้ไข Part ใน Assembly ได้ Assembly Mode มีลักษณะการทำงาน 2 กรณี

ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) Bottom-Up Assembly คือ การนำ 3D Models ต่างๆที่สร้างเสร็จแล้วใน Part Mode ไปวางในหน้าต่าง Assembly เพื่อทำการประกอบ โดยการใช้คำสั่ง Mate หรือ Smart Mate ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับผู้ใช้ในระดับเริ่มต้นหรือขั้น Basic
- 2) Top-Down Assembly คือการสร้าง 2D Sketch เป็นโครงร่างระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ระหว่าง Part หรือการสร้าง Part ใน Assembly โดยให้มีขนาดและรูปร่างที่มีการอ้างอิงกับ Part อื่น ๆ ทั้งในส่วน Sketch และ Feature วิธีนี้เหมาะกับผู้ใช้ในระดับ Advance

Drawing Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อสร้าง 2D Standard Engineering โดยในหมวดนี้เป็นการสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดตามระบบมาตรฐานต่าง ๆ โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ

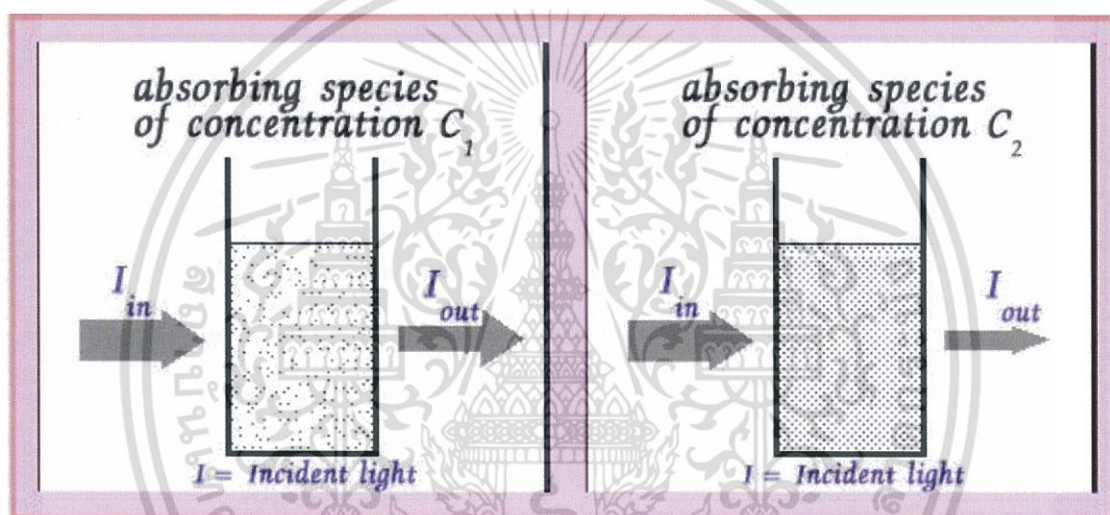
- 1) Generative Drafting ซึ่งเป็นการสร้าง 2D Sketch และ Interaction Drafting ซึ่งเป็นการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวางใน Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting จะมีลักษณะเป็น Parametric และ Relation เช่นกัน แต่จะไม่สามารถใช้คำสั่งใน Drawing Commands ได้ เพราะคำสั่งต่าง ๆ จะต้องอ้างอิงกับ 3D Model
- 2) Interaction Drafting คือการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวาง Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting การทำงานในหมวดนี้สามารถใช้คำสั่งจาก Annotation Command และ Drawing Command เพื่อสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดได้โดยอัตโนมัติ

2.5 การวัดค่าการดูดกลืนและการส่องผ่าน

การวัดค่าการดูดกลืนและการส่องผ่านก็เพื่อวิเคราะห์แผ่นฟิล์มหลังจากผ่านกระบวนการ SILAR โดยใช้กฎของเบียร์และแลมเบิร์ตอ้างอิงสำหรับผลที่ได้

2.5.1 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) มีใจความว่า “เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) ผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน” กฎของเบียร์ (Beer's Law) มีใจความว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันตรงกับ ความยาวคลื่นของแสงที่ถูกตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”



รูปที่ 2.4 แสดงการส่องผ่านของแสง

จากรูปถ้าความเข้มข้น $C_2 > C_1$ ดังนั้นแสงที่ผ่านสารละลาย C_2 ออกมาจะเหลือน้อยกว่าแสงที่ผ่านออกมาจากสารละลาย C_1 เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่าจะมีโมเลกุลที่สามารถดูดกลืนแสงขวางทางเดินแสงอยู่มากกว่า

เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นกับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่านจึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกเป็น กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law)

การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (Incident light) แล้ววัดปริมาณแสงที่เหลือผ่านออกมา โดยเทียบกับแสงที่ผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง

Transmittance (T) เป็นสัดส่วนปริมาณแสงที่ผ่านออกมา (I) ต่อปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (I_0) เขียนสมการได้ว่า

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Absorbance (A) นิยามสมการได้เป็น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T$$

โดยทั่วไปจะรายงาน transmittance เป็นเปอร์เซ็นต์ (%T) ดังนั้น

$$\%T = 100 \frac{I}{I_0}$$

$$\log \%T = \log 100 \frac{I}{I_0}$$

$$\log \%T = 2 + \log \frac{I}{I_0}$$

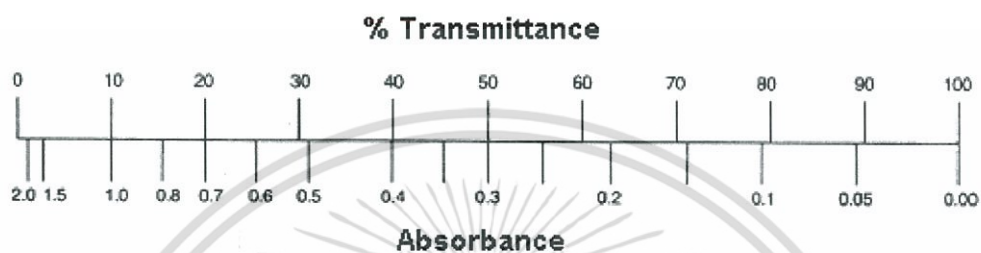
$$\log \% = 2 - A \quad \text{หรือ} \quad A = 2 - \log \%T$$

ดังนั้น ค่า T มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 และ %T มีค่าตั้งแต่ 0-100 ส่วน A=0 เมื่อแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างไม่ถูกดูดกลืนไว้ และผ่านออกมา 100%, A=1 เมื่อแสงผ่านออกมาเพียง 10% และ A=2 ถ้าแสงผ่านออกมาน้อยมากเพียง 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนกับ %transmittance

Transmittance (I/I_0)	%T ($100 I/I_0$)	Log %T	Absorbance ($-\log T$)
1	100	2	0
0.1	10	1	1
0.01	1	0	2
0.001	0.1	-1	3



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่องผ่านและการดูดกลืนของแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เป็นการออกแบบเครื่องมือโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ส่วนที่ 2 เป็นการประกอบเครื่องมือตามที่ได้ออกแบบไว้ และส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ

3.1 ออกแบบเครื่องมือโดยใช้โปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3.1 รูปแสดงโครงสร้างของเครื่องมือที่ออกแบบโดย SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวเครื่อง

3.2.1 มอเตอร์สำหรับแกนแนวระนาบ

มอเตอร์สำหรับแกนระนาบจะเป็นส่วนสำคัญสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวระนาบของแท่นจุ่ม จำเป็นต้องมีความแม่นยำ เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่เคลื่อนแท่นจุ่มไปยังตำแหน่งของปีกเกอร์ที่วางไว้ในตำแหน่งต่างๆ สำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา



รูปที่ 3.2 รูปแสดงมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่แนวระนาบของเครื่องมือ

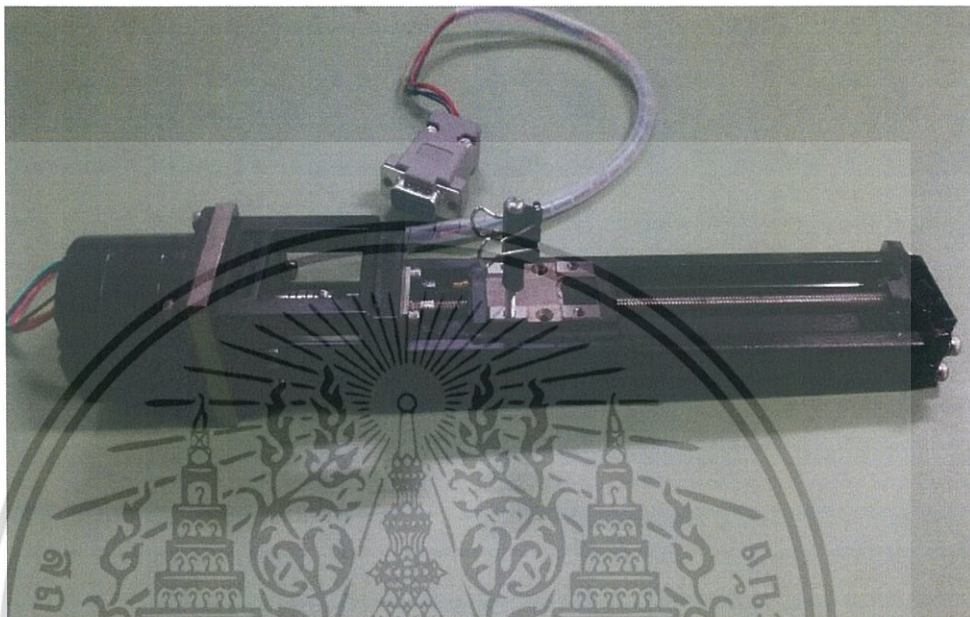
ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่แนวระนาบของเครื่องมือ

ชื่อ	Vexta PK244-01A
ขนาดหน้าปัด	42 มิลลิเมตร
แรงดันไฟฟ้า	25 โวลต์
กระแสไฟฟ้า	1.2A/เฟส (กระแสตรง)
ชนิดของเพลลา	เพลลาเดี่ยว
มุมของการหมุนพื้นฐาน	1.8°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 มอเตอร์สำหรับแกนแนวดิ่ง

มอเตอร์สำหรับแกนดิ่งจะเป็นส่วนสำคัญสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของแท่นจุ่ม จำเป็นต้องมีความแม่นยำและมีความนิ่งสูง เนื่องจากหากเกิดความไม่เสถียรขึ้นระหว่างเคลื่อนที่จะทำให้น้ำผิวสัมผัสของแผ่นฟิล์มไม่สม่ำเสมอ



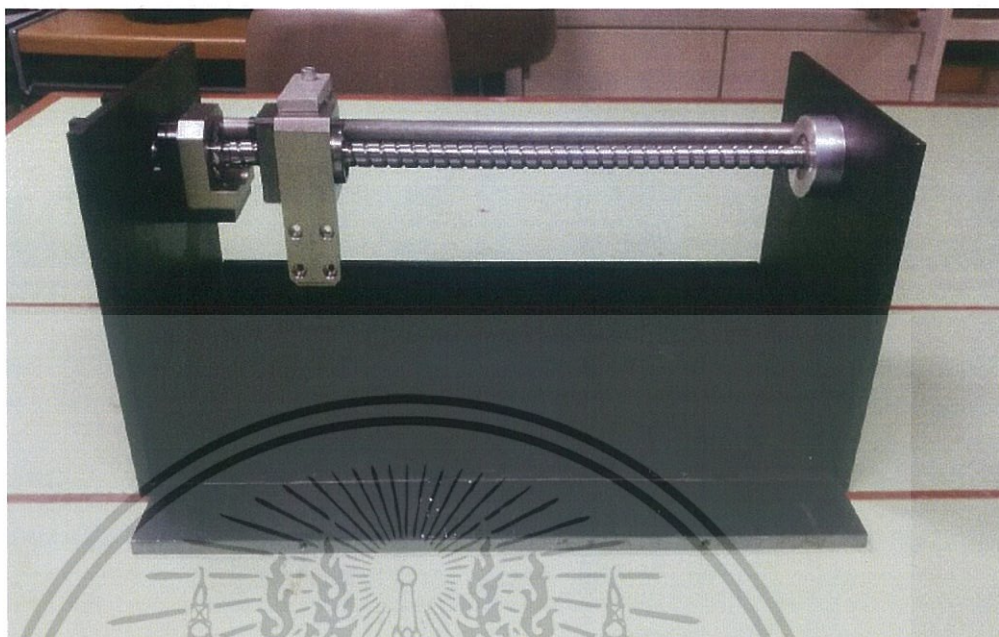
รูปที่ 3.3 รูปแสดงมอเตอร์สำหรับแกนในแนวดิ่งของเครื่องมืออัตโนมัติ

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่แนวดิ่งของเครื่องมือ

ชื่อ	Vexta PK244-01A
ขนาดหน้าปัด	40 มิลลิเมตร
แรงดันไฟฟ้า	24 โวลต์
กระแสไฟฟ้า	0.75A/เฟส (กระแสตรง)
ชนิดของเพลลา	เพลลาเดี่ยว
มุมของการหมุนพื้นฐาน	0.72°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 โครงเหล็กฐานหลักของตัวเครื่อง



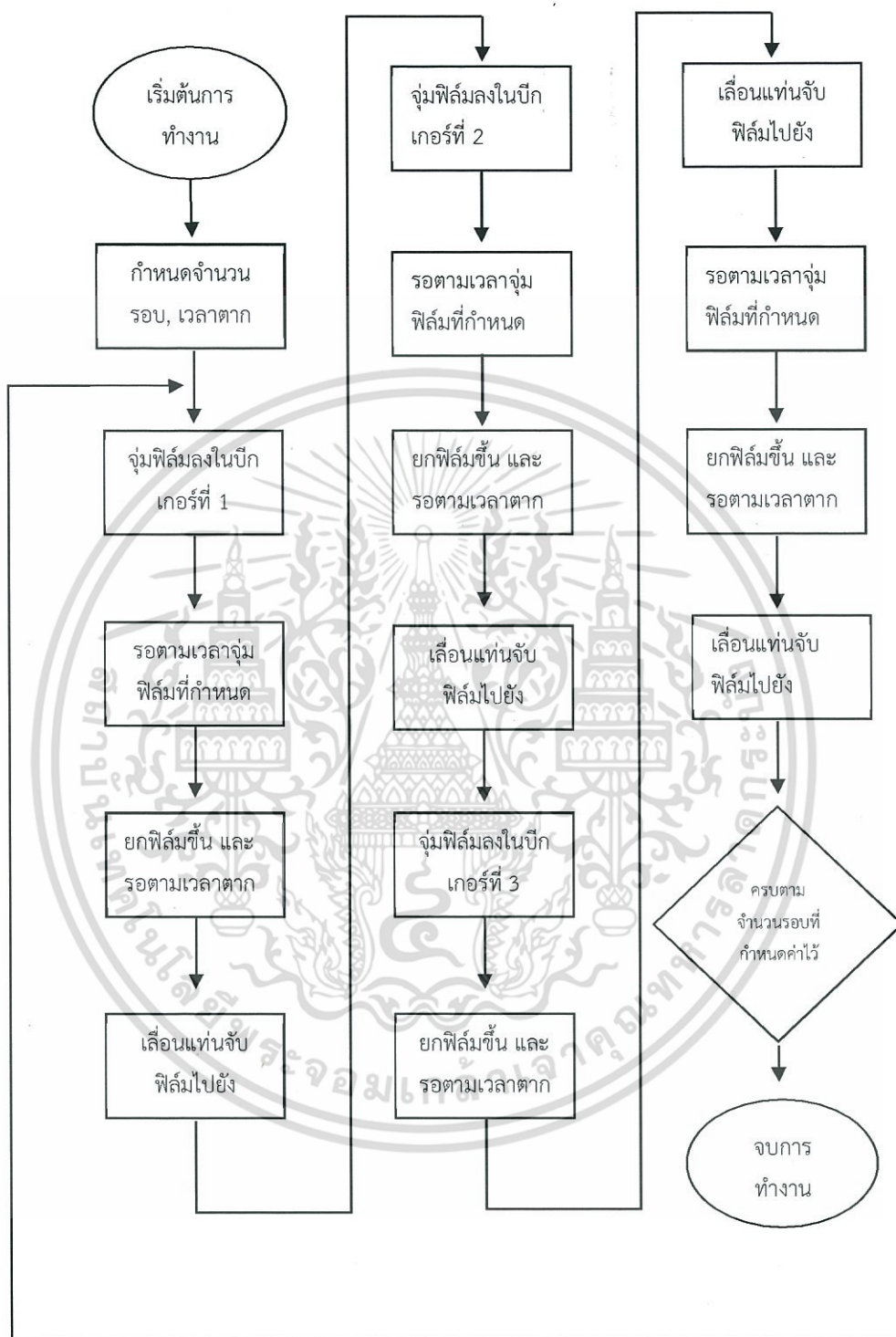
รูปที่ 3.4 รูปแสดงโครงเหล็กฐานหลักของตัวเครื่อง

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของโครงเหล็กฐานหลักของตัวเครื่อง

วัสดุ	เหล็กกล้า
ความสูง	20 เซนติเมตร
ความยาว	45 เซนติเมตร
ระยะเลื่อนของแกนสกรู	31 เซนติเมตร
วัสดุของแกนสกรู	อลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือ



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมืออัตโนมัติ

ในการทดลองนี้จะใช้การปลูกฟิล์มบาง Pbs ด้วยวิธีการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา โดยใช้เงื่อนไขต่างๆที่แตกต่างกันในการปลูกฟิล์ม

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย

- 1) Leaddinitrate $Pb(NO_3)_2$
- 2) Sodium sulfide (Na_2S)
- 3) Methanol
- 4) Di-Water
- 5) Acetone
- 6) Ethanol

3.4.2 การเตรียมสารละลาย

ในการทดลองนี้ทำการเตรียมสารละลาย 2 ชนิด คือ $Pb(NO_3)_2$ และ Na_2S โดยต้องการความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 2 ชนิด ในจำนวน 0.4 โมล ละลายใน Methanol 25 ml และ Di-Water 25 ml รวมเป็นสารละลายปริมาตร 50 ml

3.4.3 การเตรียมกระจกใส

กระจกใสเตรียมโดยขั้นแรก นำกระจกใสที่เราต้องการใช้ในการทดลองนำไปล้างด้วยน้ำยาล้างจานให้สะอาด จากนั้นแช่บีกเกอร์ที่มี Acetone นำไปใส่ในเครื่อง Ultrasonic เพื่อเป็นการทำความสะอาดกระจกใส แช่ไว้เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำกระจกใสไปแช่ในบีกเกอร์ที่มี Ethanol ใส่ในเครื่อง ultrasonic แช่เป็นเวลา 15 นาทีเช่นกัน หลังจากนั้นเป่าให้แห้ง เป็นอันเสร็จการเตรียมการ

3.4.4 เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองจะใช้ความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 2 ชนิดคือ $Pb(NO_3)_2$ และ Na_2S เท่ากันทุกการทดลองที่ 0.4 โมล แต่จะเปลี่ยนจำนวนรอบของกระบวนการ SILAR เป็น 20, 40, 60 และ 80 รอบ หลังจากนั้นเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นบนกระจกใส

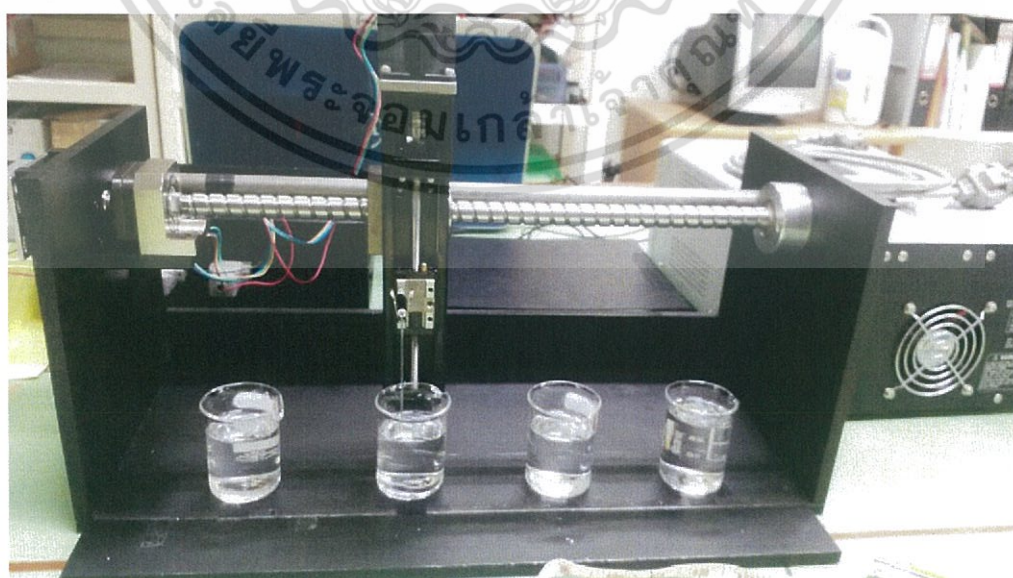
ตารางที่ 3.4 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมืออัตโนมัติ

จำนวนรอบ (รอบ)	เวลาที่ใช้ในการจุ่ม (นาที)	ความเข้มข้นของสารละลาย (โมล)
20	1	0.04
40	1	0.04
60	1	0.04
80	1	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ในการทดลองเราต้องการความเข้มข้นของสาร Leadnitrate $Pb(NO_3)_2$ และ Sodium sulfide (Na_2S) ที่ 0.04 โมล ทำการคำนวณ
- 2) เมื่อคำนวณได้แล้วพบว่าได้ปริมาณ $Pb(NO_3)_2$ ประมาณ 0.66242 กรัม และ ปริมาณ Na_2S ประมาณ 0.48036 กรัม นำไปละลายในเมทานอล (Methanol) 25 มิลลิลิตรที่ผสมกับ Di-ionize water 25 มิลลิลิตร ทำให้ได้ความเข้มข้น 0.04 โมลตามที่เรากำลังต้องการ
- 3) ล้างกระจกสไลด์ด้วยอะซิโตนโดยสั่นบนเครื่องอัลตราโซนิก และล้างด้วยเมทานอลอีกครั้งด้วยเครื่องเดียวกัน
- 4) นำกระจกสไลด์หนีบไว้กับเครื่องมืออัตโนมัติ
- 5) เตรียมปิกเกอร์ของสารละลายไว้ทั้งหมด 4 ปิกเกอร์ โดยปิกเกอร์แรกเป็นสารละลาย Leadnitrate หรือ $Pb(NO_3)_2$ และปิกเกอร์ที่ 3 สารละลาย Sodium sulfide หรือ Na_2S ที่ความเข้มข้น 0.04 โมลทั้งสองปิกเกอร์ และปิกเกอร์ที่ 2 และ 4 เป็น เมทานอล
- 6) เชื่อมต่อเครื่องมืออัตโนมัติเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ปรับไปที่ 24V
- 7) จัดวางปิกเกอร์ไว้ที่เครื่องมืออัตโนมัติตามตำแหน่งที่ระบุไว้
- 8) เปิดโปรแกรม Arduino และป้อนคำสั่งให้เครื่องมืออัตโนมัติเริ่มทำงานตามจำนวนรอบ เวลาที่ใช้ในการจุ่ม และเวลาที่ใช้ในการต่างตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.6 รูปแสดงตำแหน่งของการวางปิกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 กระจกสไลด์ที่ผ่านกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ



รูปที่ 4.1 รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 1

ตารางที่ 4.1 แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 1

สารเคมีที่ใช้	Pb(NO ₃) ₂ 0.6628g	Methanol 50ml	Na ₂ S 0.4802g	Methanol 50ml
เวลาที่ใช้ในการจุ่ม	1 นาที	1 นาที	1 นาที	1 นาที
จำนวนรอบของกระบวนการ	20 รอบ			

จากรูปที่ 4.1.1 ฟิล์มที่ได้จากการดำเนินกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติโดยใช้เงื่อนไขที่ 1 จะเห็นว่าผิวของฟิล์มนั้นไม่เรียบเนียน มีคราบของสารละลายกระจายอยู่ทั่วแผ่นฟิล์ม อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ล้างกระจกสไลด์ไม่สะอาดในขั้นตอนการเตรียมกระจกสไลด์หรือระหว่างดำเนินกระบวนการ SILAR ฟิล์มยังไม่แห้งตลอดกระบวนการทำให้การล้างฟิล์มในบีกเกอร์ที่ 2 และ 4 มีประสิทธิภาพลดลง ทำให้หน้าผิวฟิล์มไม่เรียบเนียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 2

ตารางที่ 4.2 แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 2

สารเคมีที่ใช้	Pb(NO ₃) ₂ 0.6628g	Methanol 50ml	Na ₂ S 0.4802g	Methanol 50ml
เวลาที่ใช้ในการจุ่ม	1 นาที	1 นาที	1 นาที	1 นาที
จำนวนรอบของกระบวนการ	40 รอบ			

จากรูป 4.1.2 ฟิล์มที่ได้จากการดำเนินกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติโดยใช้เงื่อนไขที่ 2 จะเห็นว่าฟิล์มมีผิวที่เรียบเนียนเป็นส่วนมาก โดยมีการสะสมของตะกอนของสารละลายที่เกาะตัวเป็นคราบชั้นบนผิวของแผ่นฟิล์มเฉพาะส่วนบนของแผ่นฟิล์มเท่านั้น เกิดจากการที่เมทานอลในบีกเกอร์ที่ 2 และ 4 ซึ่งเป็นตัวชะล้างหน้าผิวของฟิล์มนั้นระเหยไปจึงลดระดับลงส่งผลให้ชะล้างได้ไม่ทั่วทั้งหมด จึงเห็นได้ชัดว่าส่วนล่างของฟิล์มมีความเรียบเนียนมากเมื่อเทียบกับส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 3

ตารางที่ 4.3 แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 3

สารเคมีที่ใช้	Pb(NO ₃) ₂ 0.6628g	Methanol 50ml	Na ₂ S 0.4802g	Methanol 50ml
เวลาที่ใช้ในการจุ่ม	1 นาที	1 นาที	1 นาที	1 นาที
จำนวนรอบของกระบวนการ	60 รอบ			

จากรูปที่ 4.1.3 ฟิล์มที่ได้จากการดำเนินกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติโดยใช้เงื่อนไขที่ 3 ฟิล์มที่ได้เกิดคราบสะสมที่ส่วนบนของแผ่นฟิล์มจากการล้างไม่ทั่วถึงของเมทานอลที่เกิดจากการระเหยของเมทานอลทำให้ระดับของเมทานอลในบีกเกอร์ที่ 2 และ 4 ลดลงเช่นเดียวกับฟิล์มที่ได้จากเงื่อนไขที่ 2 แต่ฟิล์มมีลักษณะที่บวมกว่าอย่างเห็นได้ชัดแต่สภาพพื้นผิวของฟิล์มยังคงไม่เรียบเนียนเป็นผลมาจากการล้างกระจกสไลด์ไม่สะอาดก่อนนำเข้ากระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปแสดงฟิล์มที่ได้จากการทดลองเงื่อนไขที่ 4

ตารางที่ 4.4 แสดงเงื่อนไขในการทดลองครั้งที่ 4

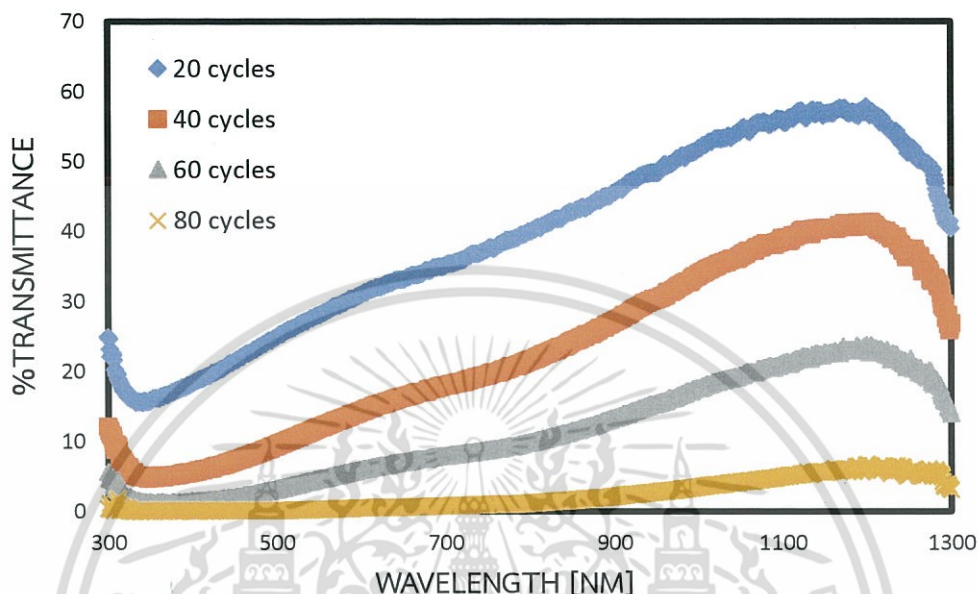
สารเคมีที่ใช้	Pb(NO ₃) ₂ 0.6628g	Methanol 50ml	Na ₂ S 0.4802g	Methanol 50ml
เวลาที่ใช้ในการจุ่ม	1 นาที	1 นาที	1 นาที	1 นาที
จำนวนรอบของกระบวนการ	80 รอบ			

จากรูปที่ 4.1.4 ฟิล์มที่ได้จากการดำเนินกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติโดยใช้เงื่อนไขที่ 4 ฟิล์มมีผิวที่ไม่เรียบเนียนทั่วทั้งแผ่นฟิล์ม เกิดได้หลายสาเหตุ เช่น การล้างกระจกสไลด์ไม่สะอาดก่อนนำเข้ากระบวนการ SILAR หรือการที่ฟิล์มไม่แห้งตลอดกระบวนการทำให้ขั้นตอนการชะล้างแผ่นฟิล์มในบีกเกอร์ที่ 2 และ 4 ด้วยเมทานอลมีประสิทธิภาพลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวัดค่าการส่องผ่าน (Transmittance)

จากการวิเคราะห์หาค่าการส่องผ่าน พบว่า แผ่นฟิล์มที่มีจำนวนรอบการจุ่มสารที่ต่างกัน มีค่าการส่องผ่านที่ต่างกัน โดยแผ่นฟิล์มที่มีรอบการจุ่มมากการส่องผ่านก็จะมีค่าน้อย

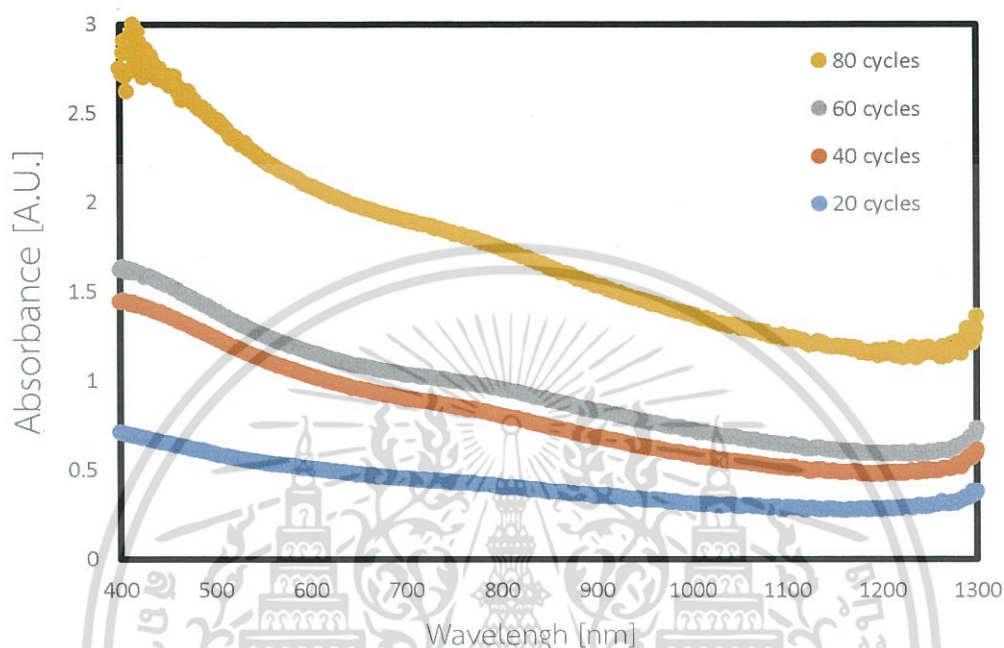


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wavelength ของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ

จากกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wavelength ของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติจะเห็นว่าฟิล์มที่มีจำนวนรอบในการจุ่ม 80 รอบ มีค่า %Transmittance แทบจะเป็น 0 และ %Transmittance เพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบในการจุ่มที่ลดลง ในแต่ละความยาวคลื่นจะมีค่า %transmittance ไม่เท่ากันโดยที่ความยาวคลื่น 1200 จะมี %transmittance มากที่สุด

4.3 ผลการวัดการดูดกลืน (Absorbance)

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืน พบว่า फिल्मที่มีจำนวนรอบการจุ่มสารที่ต่างกัน มีค่าการดูดกลืนที่ต่างกัน फिल्मที่มีจำนวนรอบการจุ่มมากการดูดกลืนจะมีค่ามาก



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ Wavelength ของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการ SILAR ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ

จากรูป 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ผลของการส่องผ่านและการดูดกลืนมีความสอดคล้องกัน फिल्मที่มีค่าการดูดกลืนมากจะมีค่าการส่องผ่านน้อย ทำให้สามารถพิสูจน์ได้ว่าแผ่นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาที่ดำเนินการด้วยเครื่องมืออัตโนมัตินั้นได้ฟิล์มที่เป็นผลลัพธ์ที่มีคุณสมบัติที่ถูกต้องตามที่คาดการณ์ไว้ด้วยกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการสังเกตลักษณะภายนอกของกระจกสไลด์ที่ผ่านกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยา จะเห็นฟิล์มที่จำนวนรอบเยาะกว่าจามีลักษณะหนาที่บกว่าซึ่งเกิดจากการจับตัวกันของไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบของ $Pb(NO_3)_2$ และ Na_2S ที่เกิดขึ้นบนผิวของกระจกสไลด์ทับถมกันไปเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมืออัตโนมัติสามารถดำเนินกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยาตามที่กำหนดไว้ได้ แต่ในผลการทดลองนี้จำเป็นต้องวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านของพบว่าฟิล์มที่มีรอบการจุ่มมากจะมีค่าการส่องผ่านน้อย และมีค่าการดูดกลืนมาก ส่วนฟิล์มที่มีรอบการจุ่มน้อยจะมีค่าการส่องผ่านมาก และการดูดกลืนน้อย ซึ่งจากผลที่ได้ทำให้สรุปได้ว่า เครื่องมืออัตโนมัติสำหรับกระบวนการเรียงชั้นไอออนโดยการดูดซับและทำปฏิกิริยานี้สามารถใช้งานได้จริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การดำเนินการด้วยเครื่องมืออัตโนมัติใช้เวลานานมากเมื่อเทียบกับการทดลองด้วยมือ ในส่วนของกระจกสไลด์ที่ได้หลังสิ้นสุดกระบวนการ มีสารประกอบ Lead sulfide อยู่แต่เนื้อสารไม่สม่ำเสมอ เป็นผลมาจากการตั้งเวลาที่ใช้ตากฟิล์มก่อนจุ่มลงในบีกเกอร์ถัดไปน้อยเกินไป

เอกสารอ้างอิง

เอกชัย มะการ. 2552. เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino.

กรุงเทพฯ : อีทีที

ประจัน พลังสันติกุล. 2553. พื้นฐานภาษา C สำหรับ Arduino. กรุงเทพฯ : แอซอพต์เทค

Sheffield Hallam University. 2560. Beer's Law.

[Online]. Available: <http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/beers1.html>.

Oriental Motor. 2560. 2-Phase PK Series PK244-01A

[Online]. Available: https://www.orientalmotor.com.sg/products/st/list/detail/?product_name=PK24401A&brand_tbl_code=ST&series_code=G000&type_code=Unipolar+6+lead+wires&type=Standard+Type.

Arduino. 2560. Language Reference

[Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

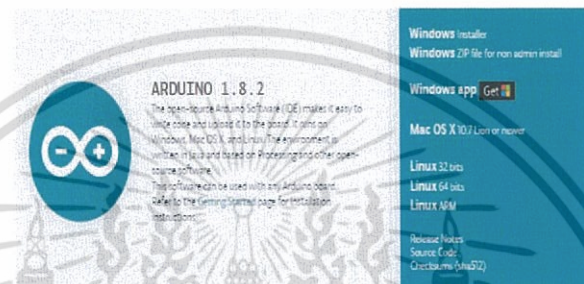
ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Arduino สำหรับควบคุมเครื่องมืออัตโนมัติ

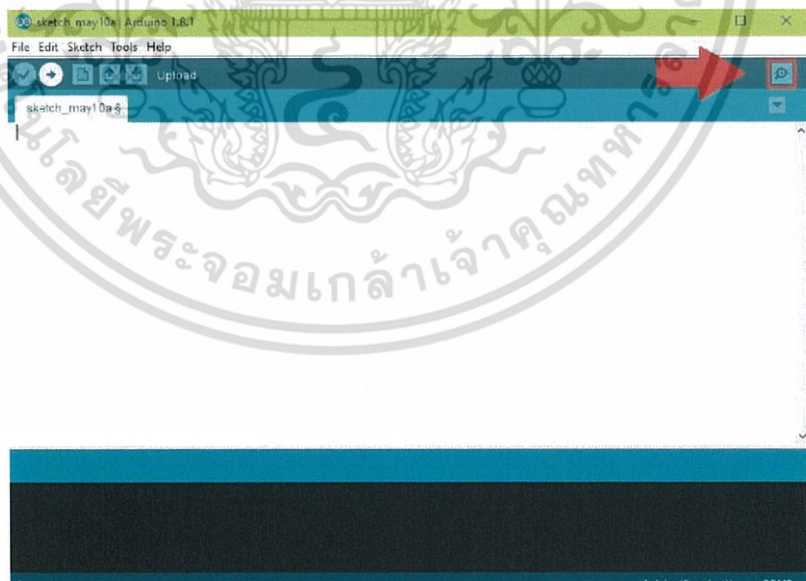
1) ทำการลงโปรแกรม Arduino.exe สามารถดาวน์โหลดได้จาก www.arduino.cc โดยสามารถดาวน์โหลดได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย



Download the Arduino IDE

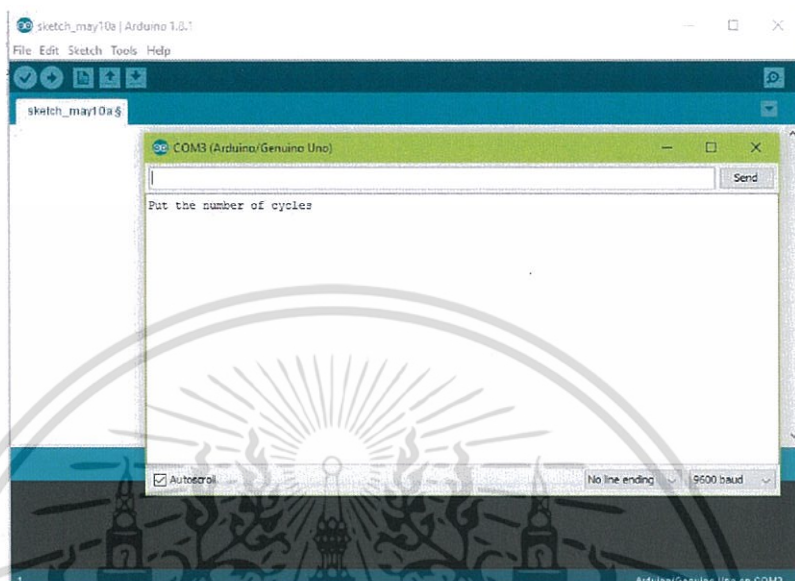


2) เปิดโปรแกรม Arduino.exe จากนั้นคลิกที่เครื่องหมายตามลูกศรสีแดงในรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กรอกจำนวนรอบ, เวลาที่ใช้ในการจุ่มฟิล์ม, เวลาที่ใช้ในการตากฟิล์ม ในหน้าต่างใหม่
ของโปรแกรม Arduino.exe ที่แสดงขึ้นมาและรอจนสิ้นสุดการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รหัสคำสั่งที่บันทึกไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Arduino

```

int moterCW = 8;
int moterCCW = 9;
int info = 0;
int i,j,f,D,U,a,k;
int STEP = 10;
int DIR = 11;
char q = 1;
int Cycles = 0;
long Drytime = 0;
long Soaktime = 0;
void setup() {
    pinMode(moterCW,OUTPUT); digitalWrite(moterCW, HIGH);
    pinMode(moterCCW,OUTPUT); digitalWrite(moterCCW, HIGH);
    pinMode(STEP, OUTPUT); digitalWrite(STEP, HIGH);
    pinMode(DIR , OUTPUT); digitalWrite(DIR , HIGH);
    Serial.begin(9600);
}

void clockwise(){
    for (int i=0; i <= j; i++){
        digitalWrite(moterCW, HIGH);
        delay(2);
        digitalWrite(moterCW, LOW);
        delay(2); }
}

void counterclockwise(){
    for (int i=0; i <= k; i++){
        digitalWrite(moterCCW, HIGH);
        delay(2);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(moterCCW, LOW);
delay(2); }
}

void clockwisevertical(){
  for (int i=0; i <= f; i++){
    digitalWrite(STEP, HIGH);
    delay(1);
    digitalWrite(STEP, LOW);
    delay(1); }
}

void loop() {
  Serial.println("Put the number of cycles");
  while (Serial.available()==0) {}
  Cycles=Serial.parseInt();
  Serial.println("Put the number of soaktime in ms");
  while (Serial.available()==0) {}
  Soaktime=Serial.parseInt();
  Serial.println("Put the number of drytime in ms");
  while (Serial.available()==0) {}
  Drytime=Serial.parseInt();
  Serial.print("Cycles :");
  Serial.print(Cycles);
  Serial.println(" round");
  Serial.print("Soaktime :");
  Serial.print(Soaktime);
  Serial.println(" ms.");
  Serial.print("Drytime :");
  Serial.print(Drytime);
  Serial.println(" ms.");

  for(int n=1; n<=Cycles ; n++){
    f = 26000; //Beaker 1 Start
    digitalWrite(DIR, LOW);
    clockwisevertical();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("Vertical motor : Down");
delay(Soaktime);
f = 26000;
digitalWrite(DIR, HIGH);
clockwisevertical();
Serial.println("Vertical motor : Up");
delay(Drytime);// Beaker 1 done
j = 1900;
clockwise();digitalWrite(moterCW, HIGH);
Serial.println("Horizontal Motor : Right"); // Beaker 2 Start
f = 26000;
digitalWrite(DIR, LOW);
clockwisevertical();
Serial.println("Vertical motor : Down");
delay(Soaktime);
f = 26000;
digitalWrite(DIR, HIGH);
clockwisevertical();
Serial.println("Vertical motor : Up");
delay(Drytime);// Beaker 2 Done
j = 1900;
clockwise();digitalWrite(moterCW, HIGH);
Serial.println("Horizontal Motor : Right");// Beaker 3 Start
f = 26000;
digitalWrite(DIR, LOW);
clockwisevertical();
Serial.println("Vertical motor : Down");
delay(Soaktime);
f = 26000;
digitalWrite(DIR, HIGH);
clockwisevertical();
Serial.println("Vertical motor : Up");
delay(Drytime);// Beaker 3 done

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

j = 1900;
clockwise();digitalWrite(moterCW, HIGH);
Serial.println("Horizontal Motor : Right");// Beaker 4 Start
f = 26000;
digitalWrite(DIR, LOW);
clockwisevertical();
Serial.println("Vertical motor : Down");
delay(Soaktime);
f = 26000;
digitalWrite(DIR, HIGH);
clockwisevertical();
Serial.println("Vertical motor : Up");
delay(Drytime);// Beaker 4 Done
k = 1900;
counterclockwise();digitalWrite(moterCCW, HIGH);
Serial.println("Horizontal motor : Left");
k = 1900;
counterclockwise();digitalWrite(moterCCW, HIGH);
Serial.println("Horizontal motor : Left");
k = 1900;
counterclockwise();digitalWrite(moterCCW, HIGH);
Serial.println("Horizontal motor : Left");
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

