

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบวัดสเปกตรัมแสงสำหรับวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงของวัสดุ
และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

LIGHT SPECTRUM MEASUREMENT SYSTEM FOR OPTICAL
CHARACTERIZATION OF OPTOELECTRONIC MATERIALS AND DEVICES



ฉพ.
ร.446 ส
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **67434**
วัน,เดือน,ปี..... **15 S.A. 2549**

b. 116 4099x
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2783-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบวัดสเปกตรัมแสงสำหรับวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงของวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง
นักศึกษา	นายชัยสุริยา ประภาศิริ
รหัสประจำตัว	45064019
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดดา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและสร้างระบบวัดสเปกตรัมแสงด้วยซีซีดีแอร์เรย์ สำหรับวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงของวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง เกรตติงเลี้ยวเบนขนาด 600 เส้นต่อมิลลิเมตร จะทำหน้าที่แยกสเปกตรัมแสงให้ตกลงบนซีซีดีแอร์เรย์เชิงเส้นขนาด 3,000 พิกเซล สัญญาณไฟฟ้าของแต่ละพิกเซลในซีซีดีแอร์เรย์ ซึ่งมีขนาดขึ้นกับความเข้มแสงและเวลาเปิดรับแสงจะถูกเลื่อนออกมาอย่างอนุกรมแล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิตด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น โดยการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ข้อมูลจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมยูเอสบี โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและแสดงผลในรูปแบบสเปกตรัมของแสงในย่านความยาวคลื่นประมาณ 360-660 นาโนเมตร โดยการสอบเทียบโดยใช้เส้นสเปกตรัมของหลอดสอบเทียบไฮปรอทอาร์กอน ที่ความยาวคลื่น 365.02 404.66 435.84 546.07 576.96 579.07 นาโนเมตร และเส้นสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นอ้างอิงมาตรฐานและผลการวัดที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.11 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบการทำงานโดยการวัดสเปกตรัมจากแหล่งกำเนิดแสงที่ทราบค่าได้แก่ สเปกตรัมของหลอดไฮปรอท สเปกตรัมของหลอดโซเดียมและสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.09 0.12 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของวัสดุและอิเล็กทรอนิกส์ทางแสงได้ทำการวัดการสะท้อนแสงของพอร์สซิลิกอน สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดและไดโอดเปล่งแสง นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง และกระจกเลเซอร์ เปรียบเทียบกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น UV-VIS6405 ของบริษัท Jenway พบว่าได้ผลสอดคล้องกัน

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ทางข้าพเจ้าต้องขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาและความอนุเคราะห์เป็นอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดคา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัยและแก้ปัญหา พร้อมทั้งหาแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ได้สนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ อ.ศ. ทิพวรรณ คล้ายบุญมีและเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยเลเซอร์และฟิสิกส์พื้นผิว ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ทุกคนผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดและอบรมสั่งสอน แนะนำแนวทางการดำเนินชีวิต รวมทั้งเป็นแรงใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้คงจะมีประโยชน์กับผู้ที่สนใจเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาผลการวิจัยให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ชัชสุริยา ประภาศิริ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	44
4.1 การสอบเทียบสเกลของสเปกโทรมิเตอร์.....	44
4.1.1 การสอบเทียบสเกลสเปกโทรมิเตอร์โดยใช้เส้นสเปกตรัมของหลอด ไอปรอทอาร์กอน.....	46
4.1.2 การสอบเทียบสเกลสเปกโทรมิเตอร์โดยใช้เส้นสเปกตรัมหลอด ไอปรอทอาร์กอนและเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน.....	49
4.2 การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ.....	52
4.2.1 การวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดไอปรอท.....	52
4.2.2 การวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดโซเดียม.....	53
4.2.3 การวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน.....	54
4.2.4 การวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดซีนอน.....	56
4.3 การวัดสเปกตรัมแสงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง.....	57
4.3.1 การวัดสเปกตรัมของแสงจากเลเซอร์ไดโอด.....	57
4.3.2 การวัดสเปกตรัมของแสงจากไดโอดเปล่งแสง.....	62
4.4 การวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง.....	64
4.5 การวัดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนและส่งผ่านแสงของกระจกเลเซอร์.....	69
4.6 การวัดการสะท้อนแสงของของพอร์สซิลิกอน.....	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	75
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	75
5.1.1 การสอบเทียบสเกลของสเปกโทรมิเตอร์.....	75
5.1.2 การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ.....	76
5.1.3 การวัดสเปกตรัมแสงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง.....	77
5.1.4 การวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง.....	77
5.1.5 การวัดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนและส่งผ่านแสงของกระจกเลเซอร์.....	77
5.1.6 การวัดการสะท้อนแสงของของพอร์สซิลิกอน.....	78
5.1.7 คุณสมบัติของเครื่องวัดสเปกตรัมแสงที่ออกแบบและสร้างขึ้น.....	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	78
5.2.1 ปัญหาที่เกิดจากส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล.....	78
5.2.2 ปัญหาที่เกิดจากชุดสเปกโทรมิเตอร์.....	79
5.2.3 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง.....	79
5.2.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	80
เอกสารอ้างอิง.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	82



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	พลังงาน ความยาวคลื่น และความถี่ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 5
4.1	ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอทอาร์กอน..... 49
4.2	ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอทอาร์กอน และเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน..... 51
4.3	ข้อมูลการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอทรุ่น Hg100 ของบริษัท OSRAM 53
4.4	ข้อมูลการวัดสเปกตรัมของหลอดโซเดียมรุ่น Na/10 ของบริษัท OSRAM..... 54
4.5	ข้อมูลการวัดสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนทั้ง 3 บริษัท..... 56
4.6	ข้อมูลการวัดสเปกตรัมของเลเซอร์เลเซอร์ไดโอดเมื่อปรับกระแสต่างกัน..... 61
4.7	ข้อมูลที่ได้จากการวัดการสะท้อนและส่งผ่านของกระจกเลเซอร์..... 71



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเลี้ยวเบนจากช่องสลิตเดี่ยว.....	8
2.2 การแจกแจงความเข้มของสวดลายการเลี้ยวเบนจากช่องสลิตเดี่ยว.....	9
2.3 การแทรกสอดจากสลิตคู่.....	10
2.4 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตคู่.....	10
2.5 (a) การเลี้ยวเบนโดยเกรตติงระนาบแบบสะท้อน.....	12
2.5 (b) การเลี้ยวเบนโดยเกรตติงระนาบแบบส่งผ่าน.....	12
2.6 ผลต่างทางเดินแสงของการเลี้ยวเบนจากร่องที่อยู่ติดกันบนเกรตติง ในรูปของ $d\sin\alpha$ และ $\sin\beta$	13
2.7 กลไก sine bar สำหรับการกวาดความยาวคลื่น.....	15
2.8 การกำหนดเครื่องหมายของอันดับสเปกตรัม.....	17
2.9 การซ้อนทับของเส้นสเปกตรัม.....	17
2.10 The Czerny – Turner Monochromator	21
2.11 The Ebert – Fastie Monochromator.....	21
2.12 The Monk-Gillieson Monochromator.....	22
2.13 The Littrow Monochromator.....	22
2.14 A Double monochromators	23
2.15 โครงสร้างพื้นฐานของซีซีดี.....	25
2.16 การเลื่อนประจุภายในโครงสร้างซีซีดี.....	26
2.17 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014.....	28
2.18 การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014.....	29
3.1 ระบบวัดสเปกโตรมิเตอร์.....	32
3.2 ส่วนประกอบของชุดสเปกโตรมิเตอร์.....	33
3.3 สายใยแก้วนำแสงพร้อมเลนส์รวมแสง.....	33
3.4 กระจกเว้าพาราโบลา.....	34
3.5 เกรตติงเลี้ยวเบน.....	35
3.6 ซีซีดีแอร์เรย์ ILX526A	36
3.7 ระบบควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์.....	37
3.8 วงจรการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 ขั้นตอนการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014.....	38
3.10 โครงสร้างซีซีดีแอร์เรย์ ILX526A	39
3.11 จังหวะการทำงานของสัญญาณพิกษาของซีซีดีแอร์เรย์ ILX526A.....	39
3.12 วงจรการทำงานของไอซี CLS526.....	40
3.13 จังหวะการทำงานของสัญญาณพิกษาของไอซี CLS526.....	40
3.14 วงจรการทำงานของไอซี FT245BM	41
3.15 การเขียนข้อมูลไปยังไอซี FT245BM	42
3.16 การอ่านข้อมูลจากไอซี FT245BM.....	42
3.17 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล.....	43
4.1 โปรแกรม Spectrum Analyzer	44
4.2 เส้นสเปกตรัมของแบ็คกราวน์และแหล่งกำเนิดแสง.....	45
4.3 การเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งพิกเซลกับความยาวคลื่น.....	45
4.4 สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงหลังสอบเทียบสเกลแล้ว.....	46
4.5 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอน.....	47
4.6 สเปกตรัมของแบ็คกราวน์.....	47
4.7 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนหลังลบแบ็คกราวน์แล้ว.....	48
4.8 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนหลังสอบเทียบสเกลแล้ว.....	48
4.9 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนหลังการจัดระบบใหม่.....	50
4.10 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนร่วมกับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน.....	50
4.11 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนและเลเซอร์ฮีเลียมนีออนหลังสอบเทียบสเกลแล้ว... 51	
4.12 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทรุ่น Hg100 ของบริษัท OSRAM	52
4.13 สเปกตรัมของหลอดโซเดียมรุ่น Na/10 ของบริษัท OSRAM	53
4.14 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ของบริษัท MELLES GRIOT	54
4.15 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ของบริษัท PHYWE	55
4.16 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ของบริษัท JDSU	55
4.17 สเปกตรัมของหลอดซีนอนที่อุณหภูมิ 12K	56
4.18 สเปกตรัมของหลอดซีนอนที่อุณหภูมิ 14K	57
4.19 สเปกตรัมของเลเซอร์โคโอดที่กระแส 100 มิลลิแอมป์.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 120 มิลลิแอมป์.....	58
4.21 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 140 มิลลิแอมป์.....	59
4.22 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 160 มิลลิแอมป์.....	59
4.23 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 180 มิลลิแอมป์.....	60
4.24 สเปกตรัมรวมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 100-180 มิลลิแอมป์.....	60
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ไดโอด.....	61
4.26 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน.....	62
4.27 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว.....	62
4.28 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีแดง.....	63
4.29 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีขาว.....	63
4.30 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีขาวความสว่างสูง.....	64
4.31 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวัดการส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง.....	64
4.32 สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงหลอดไส้ทั้งสแตนด์.....	65
4.33 เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น UV-VIS6405ของบริษัท Jenway.....	66
4.34 เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ที่สร้างขึ้น.....	66
4.35 เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีเขียวจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น UV-VIS6405ของบริษัท Jenway.....	67
4.36 เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีเขียวจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ที่สร้างขึ้น.....	67
4.37 เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีแดงจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น UV-VIS6405ของบริษัท Jenway.....	68
4.38 เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีแดงจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ที่สร้างขึ้น.....	68
4.39 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวัดการส่องผ่านแสงของกระจกเลเซอร์.....	69
4.40 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง ของกระจกเลเซอร์ รุ่น HN-1037-0 ของบริษัท CVI.....	70
4.41 เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของกระจกเลเซอร์จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น.....	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 เปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์จากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น.....	71
4.43 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวัดเปอร์เซนต์การสะท้อนพอร์สซิลิกอน.....	72
4.44 เปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบเปรียบเทียบกับพอร์สซิลิกอน ที่มีโครงสร้างแบบ random pyramids, chemically and electrochemically prepared macroporous texture.....	73
4.45 เปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบเปรียบเทียบกับพอร์สซิลิกอน.....	74



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น[1] ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งวิธีการวัดความยาวของคลื่นแสงนั้นส่วนใหญ่จะใช้วิธีการวัดสเปกตรัมแสง[2] การวัดสเปกตรัมแสงที่แสดงถึงการวัดความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยความยาวคลื่นของแสงจะถูกแยกออกด้วยวิธีการต่างๆ เช่นการหักเห (Refraction) ด้วยปริซึม และการเลี้ยวเบน (Diffraction) ด้วยเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating) เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่องานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตัวอย่างเช่น การหาแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำสามารถทำได้โดยการวัดสเปกตรัมของแสงที่สะท้อนหรือเรืองแสงจากผิวสารกึ่งตัวนำ หรือการวัดสเปกตรัมของแสงที่ส่องผ่านสารละลายทำให้ทราบองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายได้เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมแสงนี้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)[3] โดยทั่วไปเครื่องวัดสเปกตรัมแสงจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวออกที่สลิต สเปกตรัมจะถูกกวาดโดยการหมุนเกรตติง การวัดสเปกตรัมโดยวิธีนี้จำเป็นต้องมีระบบควบคุมการหมุนเกรตติงและต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งจึงจะได้สเปกตรัมที่ต้องการ ความละเอียดและความแม่นยำในการวัดเส้นสเปกตรัมนอกจากขึ้นกับความถี่ของช่องบนเกรตติงแล้วยังขึ้นกับความละเอียดของระบบควบคุมการหมุนเกรตติงด้วย

งานวิจัยนี้ทำการสร้างระบบวัดสเปกตรัมแสง โดยใช้หลักการแยกสเปกตรัมแสงที่ตกกระทบเกรตติงเลี้ยวเบนชนิดสะท้อน (Reflection Grating)[4] ขนาด 600 เส้นต่อมิลลิเมตร ซึ่งมีข้อดี คือไม่มีการดูดกลืนแสงโดยตัวเกรตติงเอง ซึ่งต่างกับการแยกแสงโดยใช้ปริซึมที่แสงต้องเดินทางผ่านเนื้อปริซึม จึงมีแสงบางความยาวคลื่นถูกดูดกลืนไปบางส่วน แสงที่เลี้ยวเบนจากเกรตติงจะถูกโฟกัสให้ตกบนช่องรับแสงของซีซีดีแอร์เรย์ขนาด 3,000 พิกเซล ของบริษัท โซนี่ ซึ่งช่วงความยาวคลื่นของแสง (Wavelength) ที่ใช้ในการทดลองวัดสเปกตรัมของแสงนั้นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 360-660 นาโนเมตร โดยเป็นช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นแสง (Visible Light) ขนาดสัญญาณไฟฟ้าของแต่ละพิกเซลในซีซีดีแอร์เรย์ซึ่งขึ้นกับความเข้มแสงและเวลาเปิดรับแสงจะถูกเลื่อนออกมาอย่างอนุกรมด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์[5] ที่สร้างขึ้น โดยสัญญาณดังกล่าวจะถูกขยายแล้วแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ด้วยวงจรเปลี่ยนรูปสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) และส่งข้อมูลที่ได้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบี (USB Port)[6] โดยการควบคุมการส่งผ่านข้อมูล (Transfer Data) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC[7] และใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic)[8] ทำหน้าที่ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลในรูปของสเปกตรัมแสงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ด้วยวิธีการนี้เส้นสเปกตรัมทุกเส้นสามารถแสดงผลได้พร้อมกัน โดยไม่ต้องมีการหมุนเกรตติง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างและการใช้ซีซีดีแอร์เรย์ในการวัดสเปกตรัมของแสงในช่วงที่ซีซีดีแอร์เรย์ตอบสนอง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดรูปสัญญาณขยายสัญญาณที่ได้จากซีซีดีแอร์เรย์และเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานและแสดงผลสเปกตรัมแสงที่วัดได้จากซีซีดีแอร์เรย์
- 1.2.4 เพื่อสร้างระบบวัดสเปกตรัมแสงด้วยซีซีดีแอร์เรย์
- 1.2.5 เพื่อศึกษาวิธีการสอบเทียบสเกลความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงจากสเปกตรัมของหลอดสอบเทียบไฮปรอทอาร์กอน(HgAr) และสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน(He-Ne)
- 1.2.6 เพื่อใช้ระบบวัดสเปกตรัมแสงที่สร้างขึ้นวัดสมบัติเชิงแสงของวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดจัดรูปสัญญาณและขยายสัญญาณ โดยมีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมให้ซีซีดีแอร์เรย์ทำงานตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามาและทำการขยายสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของซีซีดีแอร์เรย์ซึ่งมีขนาดเล็กมากให้ใหญ่พอที่จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลต่อไป
- 1.3.2 ออกแบบและจัดสร้างชุดเชื่อมต่อ โดยสัญญาณเอาต์พุตของซีซีดีแอร์เรย์ที่ได้จากชุดจัดรูปสัญญาณและขยายสัญญาณจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ด้วยวงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัลและป้อนสัญญาณที่ได้เข้ามายังคอมพิวเตอร์
- 1.3.3 ออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการแสดงผลของสเปกตรัมแสงที่วัดได้จากซีซีดีแอร์เรย์ ซึ่ง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาวิซวลเบสิกจะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลข้อมูลที่วัดได้ในรูปของสเปกตรัมแสงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์
- 1.3.4 ออกแบบและติดตั้งระบบวัดสเปกตรัมแสง โดยแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) จะถูกแยกสเปกตรัมของแสงด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงโดยผ่านเกรตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นวเบน ขนาด 600 เส้นต่อมิลลิเมตร ทำให้แสงที่ถูแยกสเปกตรัมแล้วตกลงบนช่องรับแสง (Window) ของซีซีดีแอร์เรย์

1.3.5 ทดสอบการทำงานและความถูกต้องของระบบวัดสเปกตรัมแสง จากสเปกตรัมของหลอดโซเดียมและสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

1.3.6 ทำการวัดสมบัติเชิงแสงของวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง เช่น พอร์สซิลิกอน(Porous Silicon) เลเซอร์ไดโอด (Diode Laser) และไดโอดเปล่งแสง (LED) เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 สามารถที่จะเรียนรู้ถึงเทคนิคและวิธีการวัดสเปกตรัมของแสงที่ผ่านการเส้นวเบนจากเกรตติงเส้นวเบน โดยใช้ซีซีดีแอร์เรย์เป็นตัวรับแสงได้

1.4.2 สามารถออกแบบและพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ในการจัดรูปและขยายสัญญาณที่ได้มาจากซีซีดีแอร์เรย์ได้

1.4.3 สามารถออกแบบชุดเชื่อมต่อที่รับสัญญาณมาจากซีซีดีแอร์เรย์เข้ามายังคอมพิวเตอร์ได้

1.4.4 สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลของสเปกตรัมแสงที่วัดได้จากซีซีดีแอร์เรย์ได้

1.4.5 สามารถที่จะเรียนรู้ถึงเทคนิคและวิธีการสอบเทียบสเกลความยาวคลื่นของระบบวัดสเปกตรัมแสง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์

1.5.1 ศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบวัดสเปกตรัมแสง

1.5.2 สร้างวงจรรับสัญญาณจากซีซีดีแอร์เรย์ และพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการแสดงผลของสเปกตรัม

1.5.3 สร้างระบบวัดสเปกตรัมแสง

1.5.4 สอบเทียบสเกลความยาวคลื่นของระบบวัดสเปกตรัมแสง

1.5.5 ทดสอบการทำงานและความถูกต้องของระบบวัดสเปกตรัมแสงและปรับปรุงระบบวัดสเปกตรัมแสงให้มีความถูกต้องในการวัดมากขึ้น

1.5.6 ทดลองวัดสมบัติเชิงแสงของวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

1.5.7 สรุปการทำวิทยานิพนธ์ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธรรมชาติของแสง

แสงคือพลังงานที่สามารถทำให้ประสาทตาของมนุษย์เกิดความรู้สึกในการมองเห็น และสามารถเปลี่ยนรูปกับพลังงานรูปอื่นได้[9] โดยในราวกลางศตวรรษที่ 17 ที่ผ่านมานักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าแสงประกอบไปด้วยลำของอนุภาค(Corpuscle) เล็ก ๆ ซึ่งถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสง เช่น ดวงอาทิตย์หรือเทียนไข เป็นต้น อนุภาคเล็ก ๆ เหล่านี้จะเคลื่อนออกจากแหล่งกำเนิดแสงในแนวเส้นตรง และทะลุผ่านวัตถุโปร่งแสง (Transparent) ได้ แต่ถ้าไปตกกระทบกับวัตถุทึบแสง (Opaque) แสงดังกล่าวก็จะถูกสะท้อนกลับมา และเมื่ออนุภาคเล็ก ๆ เหล่านี้กระทบกับดวงตาก็จะทำให้มองเห็นวัตถุได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1873 นักวิทยาศาสตร์ชาวสก็อต ชื่อ James Clerk Maxwell ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศสามารถคำนวณได้ประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ภายในขอบเขตการผิดพลาดของการทดลอง ค่าที่ประมาณได้นี้จะเท่ากับความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงที่วัดได้จริง เพราะฉะนั้นจากหลักฐานที่ได้จึงพิสูจน์ได้ว่า แสงประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน วิธีการวัดความยาวคลื่นแสงทำได้โดยการวัดสเปกตรัมของแสง โดยที่สเปกตรัมของแสงจะแสดงถึงความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ความยาวคลื่นต่างๆ ของแสงสามารถแยกออกได้ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การหักเห (Refraction) ด้วยปริซึม และการเลี้ยวเบน (Diffraction) ด้วยเกรตติง (Diffraction Grating) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสงนี้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแต่ละชนิด อาจมีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว (Monochromatic) หรืออาจมีความยาวคลื่นหลายค่า (Polychromatic)[10] และกรณีที่มีหลายค่า อาจอยู่ในลักษณะที่ต่อเนื่อง หรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ เราเรียกการกระจายของความยาวคลื่น (หรือพลังงาน) นี้ว่าสเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่น ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีชื่อเรียกหลายชื่อขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นหรือความถี่ดังตารางที่ 2.1 ค่าความยาวคลื่น λ และความถี่ ν ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$c = \lambda \nu \quad (2.1)$$

ตารางที่ 2.1 พลังงาน ความยาวคลื่น และความถี่ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

Region name	Approximate boundaries		
	Energy, J	Wavelength	Frequency, Hz
X-ray	$2 \times 10^{-14} - 2 \times 10^{-17}$	$10^{-2} - 10 \text{ nm}$	$3 \times 10^{19} - 3 \times 10^{16}$
Vacuum ultraviolet	$2 \times 10^{-17} - 9.9 \times 10^{-19}$	10 - 200 nm	$3 \times 10^{16} - 1.5 \times 10^{15}$
Near ultraviolet	$9.9 \times 10^{-19} - 5 \times 10^{-19}$	200 - 400 nm	$1.5 \times 10^{15} - 7.5 \times 10^{14}$
Visible	$5 \times 10^{-19} - 2.5 \times 10^{-19}$	400 - 800 nm	$7.5 \times 10^{14} - 3.8 \times 10^{14}$
Near infrared	$2.5 \times 10^{-19} - 6.6 \times 10^{-20}$	0.8 - 2.5 μm	$3.8 \times 10^{14} - 1 \times 10^{14}$
Fundamental infrared	$6.6 \times 10^{-20} - 4 \times 10^{-21}$	2.5 - 50 μm	$1 \times 10^{14} - 6 \times 10^{12}$
Far infrared	$4 \times 10^{-21} - 6.6 \times 10^{-22}$	50 - 300 μm	$6 \times 10^{12} - 1 \times 10^{12}$
Microwave	$6.6 \times 10^{-22} - 4 \times 10^{-25}$	0.3 mm - 0.5 m	$1 \times 10^{12} - 6 \times 10^8$
Radio wave	$4 \times 10^{-25} - 6.6 \times 10^{-28}$	0.5 - 300 m	$6 \times 10^8 - 1 \times 10^6$

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตารางที่ 2.1 นี้ เคลื่อนที่ในสุญญากาศ ซึ่งอัตราเร็วของคลื่น(c) มีค่า 3×10^8 เมตรต่อวินาที ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 - 800 นาโนเมตร เป็นช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็นของตามนุษย์ และเรียกกันโดยทั่วไปว่าเป็นช่วงของแสงขาว หรือช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็น (Visible Region)[11] แสงช่วงนี้อยู่ระหว่างแสงในช่วงที่มองไม่เห็น 2 ช่วงคือ อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และอินฟราเรด (Infrared) โดยนิยมเรียก 3 ช่วงนี้รวมกันว่า ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่หมายถึงแสงในเชิงทัศนศาสตร์(Optical Region)

2.2 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงไม่อาพันธ์ (Incoherent Light Sources) และแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ (Coherent Light Sources)

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสงไม่อาพันธ์ (Incoherent Light Sources)

แหล่งกำเนิดแสงในธรรมชาติทั้งหมดเป็นแหล่งกำเนิดแสงไม่อาพันธ์ ตั้งแต่แสงเทียนจนถึงแสงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้ให้แสงมาจากการบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission) แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กัน ได้แก่

2.2.1.1 แสงอาทิตย์และแสงจากท้องฟ้า (Sunlight and Skylight)

แสงจากดวงอาทิตย์ จะมีแถบสเปกตรัมที่แตกต่างจากแสงจากท้องฟ้า ซึ่งสเปกตรัมของแสงอาทิตย์นี้ ถ้าวัดนอกชั้นบรรยากาศ จะมีลักษณะเหมือนวัตถุดำ (Black Body) ที่มีอุณหภูมิ 6,000 K ที่จุดศูนย์กลาง และ 5,000 K ที่ชั้นขอบ ส่วนสเปกตรัมที่วัดได้ ณ ระดับน้ำทะเล จะมีความยาวคลื่นของแสงบางส่วนถูกดูดกลืนไป ค่าของการแผ่รังสี (Irradiance) ที่วัดนอกชั้นบรรยากาศเฉลี่ยต่อปีเรียกว่าค่าคงตัวสุริยะ (Solar Constant) มีค่าเท่ากับ $1,350 \text{ W/m}^2$ ในกรณีที่ไม่สามารถนำแสงอาทิตย์มาใช้ได้สะดวก เช่นในห้องทดลองจะนิยมใช้หลอดซีนอน (Xenon Lamp) ความดันสูงแทนแสงจากดวงอาทิตย์

2.2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงที่เปล่งจากวัตถุร้อน (Incandescent Sources)

แสงที่เปล่งออกจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงได้แก่ วัตถุดำ (Black Body Source) และหลอดไส้ทังสเตน (Tungsten Filament) เป็นต้น แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ อาศัยการเผาสารด้วยไฟฟ้าจนร้อนจัดและเกิดการเปล่งแสงออกมา กล่าวคือ ความร้อนจะไปทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่สถานะกระตุ้น (Thermal Excitation) และเมื่ออิเล็กตรอนเหล่านี้กลับคืนสู่สถานะพื้นจะเปล่งแสงตั้งแต่ย่านที่ตามองเห็น ไปจนถึงย่านอินฟราเรด ถ้าสเปกตรัมแสงลักษณะต่อเนื่องจะประมาณได้ว่าเป็นวัตถุดำ (Black Body Radiator) คือ ลักษณะของสเปกตรัมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุ กำลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากวัตถุมีค่าแปรผันกับ T^4 (เมื่อ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์) ในกรณีของหลอดไส้ทังสเตน ความร้อนจะทำให้ทังสเตนกลายเป็นไอไปเกาะข้างหลอดทำให้หลอดดำลงและไส้หลอดบางลงด้วย เป็นผลให้อายุการใช้งานและความสว่างของหลอดลดลง จึงมีการพัฒนาโดยการบรรจุก๊าซฮาโลเจน (Halogen Gas) เช่น F, Cl, Br, I เรียกหลอดประเภทนี้ว่า หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp) ก๊าซฮาโลเจนที่มีสมบัติไวต่อปฏิกิริยาเคมีจะกำจัดไอของทังสเตนข้างหลอดให้กลับไปเกาะยังไส้หลอด (Filament) ดั้งเดิม ทำให้ผิวหลอดสะอาดและมีอายุการใช้งานยาวนาน หลอดทังสเตนฮาโลเจนขนาด 1,000 วัตต์ (W) จะให้ความสว่างถึง 30,000 ลูเมน (lm)

2.2.1.3 หลอดปล่อยประจุ (Discharge Lamps)

หลอดปล่อยประจุจะไม่มีไส้หลอด แบ่งออกเป็นสองประเภทตามความดันของก๊าซที่บรรจุอยู่ได้แก่ หลอดปล่อยประจุนิคมความดันต่ำ (Low-Pressure Gas-Discharge Lamp) และหลอดปล่อยประจุนิคมความดันสูง (High-Pressure Gas-Discharge Lamp) หลอดประเภทนี้อาศัยการปล่อยประจุไฟฟ้าในก๊าซเพื่อให้เกิดแสง ตัวหลอดทำด้วยแก้วหรือควอทซ์ ซึ่งแก้วจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตร ส่วนควอทซ์จะดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 180 นาโนเมตร ภายในหลอดมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าของหลอด จะทำให้มีกระแสไหลภายในหลอดบรรจุก๊าซและทำให้อะตอมของก๊าซแตกตัวเป็นไอออนเป็นผลให้มีการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ในกรณีของหลอดปล่อยประจุนิคมความดันต่ำจะมีกระแสอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลในหลอดไม่มากนัก อิเล็กตรอนเหล่านี้จะชนกับอะตอมของก๊าซทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้นและเปล่งแสงเมื่ออะตอมกลับสู่สถานะพื้น แสงที่เปล่งออกมาจะมีความยาวคลื่นเฉพาะ มีลักษณะเป็นเส้นสเปกตรัมแคบๆ (Narrow Fixed Spectral Line) ขึ้นกับชนิดของก๊าซที่บรรจุอยู่ หลอดประเภทนี้นอกจากให้แสงสว่างแล้วยังนิยมใช้เป็นหลอดสอบเทียบสำหรับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ด้วย

สำหรับหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง จะมีกระแสไหลในหลอดสูงมาก เกิดความร้อนสูงจนก๊าซแตกตัวเป็นพลาสมา (Plasma) พลาสมาที่ร้อนจัดจะเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องเช่นเดียวกับหลอดไส้ ในขณะที่อะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้นจะเปล่งแสงเป็นเส้นสเปกตรัมที่กว้างกว่าหลอดปล่อยประจุชนิดความดันต่ำ หลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูงนี้ถือเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบดั้งเดิม (Conventional Light Source) ที่สว่างที่สุด

2.2.1.4 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode -LED)

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงความเข้มต่ำ ทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อ พี-เอ็น (P-N Junction Semiconductor) เมื่อให้ความต่างศักย์แก่รอยต่อแบบไฟตรง (Forward Bias) โฮลกับอิเล็กตรอนจะรวมกันแล้วให้แสงออกมา ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ทำไดโอดเปล่งแสง เช่น GaAs ให้ความเข้มสูงสุด (Peak Output) ที่ 900 นาโนเมตร และ SiC ให้ความเข้มสูงสุด ที่ 580 นาโนเมตร เป็นต้น

2.2.2 แหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ (Coherent Light Sources)

แหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ คือแหล่งกำเนิดแสงซึ่งแต่ละองค์ประกอบของแสงเกิดขึ้นอย่างมีระบบระเบียบและมีความสัมพันธ์ทางเฟส หรืออาจกล่าวได้ว่ามีเฟสที่ แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ได้แก่ เลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ไม่มีในธรรมชาติ ให้แสงที่มีความเข้มสูงมากและมีคุณสมบัติอาพันธ์ดีมาก

2.3..การเลี้ยวเบนของแสง

การเลี้ยวเบนของแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปตกกระทบกับสิ่งกีดขวางปรากฏการณ์นี้จะเห็นได้ชัดเจนเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดใกล้เคียงความยาวคลื่นของคลื่นแสงนั้นๆ สิ่งกีดขวางอาจจะเป็นช่องเปิดเล็กๆ ซึ่งแนวหน้าคลื่นส่วนหนึ่งผ่านไปได้ หรืออาจจะเป็นเส้นลวดหรือแผ่นกลมที่กั้นส่วนหนึ่งของแนวหน้าคลื่นได้ การเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดของแสงและฉากรับแสงอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางเป็นระยะทางไม่ไกลมาก โดยจะเรียกการเลี้ยวเบนลักษณะแบบนี้ว่าการเลี้ยวเบนแบบเฟรสเนล (Fresnel Diffraction)[9] ส่วนถ้าแหล่งกำเนิดของแสงอยู่ไกลจากสิ่ง

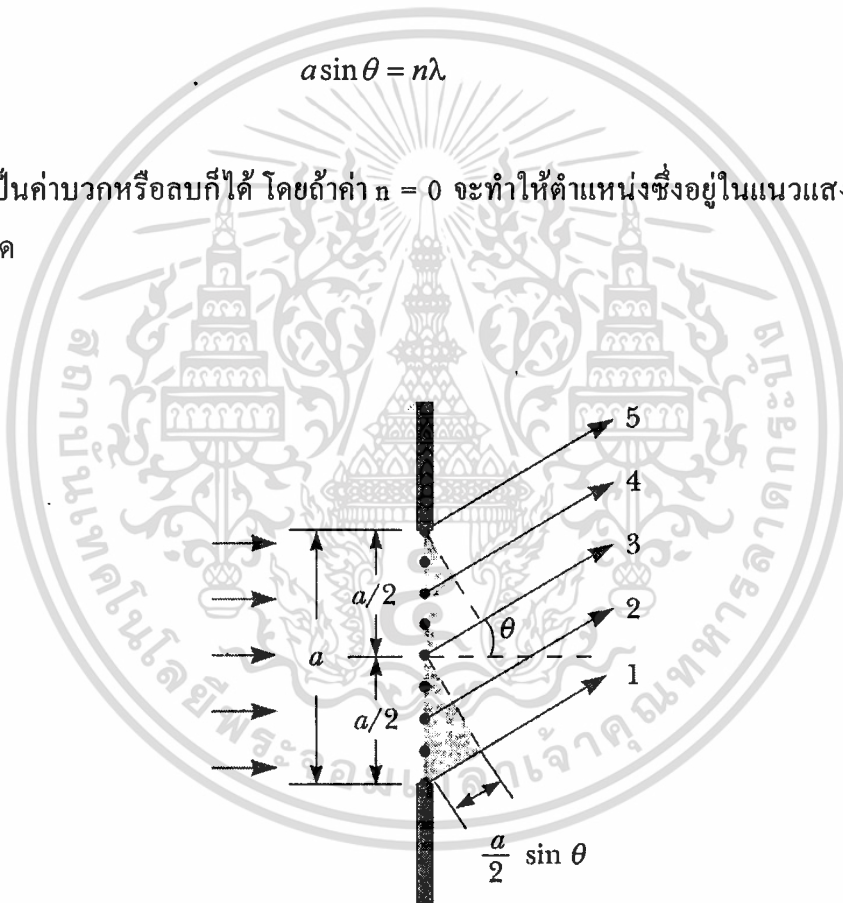
ก็คืขวางมาก ๆ จนถือได้ว่าคลื่นแสงที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางนั้นเป็นคลื่นระนาบจะเรียกการเลี้ยวเบนนี้เรียกว่าการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอร์ (Frauhofer Diffraction)[9]

2.3.1 การเลี้ยวเบนจากช่องสลิตเดี่ยว

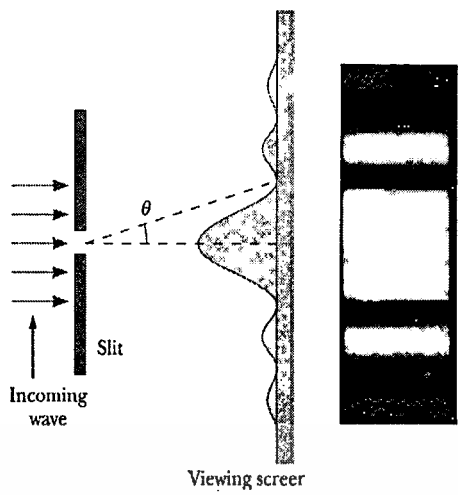
เมื่อพิจารณาถึงช่องสลิตเดี่ยวซึ่งแคบและยาวมากและให้แสงขนานความยาวคลื่น λ ตกตั้งฉากกับระนาบของช่องแคบกว้าง a ดังรูปที่ 2.1 ตามหลักของฮอยเกนส์[5] ที่กล่าวว่า ทุกๆจุดในแนวหน้าคลื่นระนาบของช่องเปิดอาจถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ ซึ่งจะปล่อยคลื่นเล็กๆ ออกไปรอบๆ ถ้าพิจารณาดำแหน่งบนฉากซึ่งทำมุม θ กับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น พบว่าบางตำแหน่งความเข้มของแสงจะมีค่าเป็นศูนย์ โดยตำแหน่งเหล่านี้หาได้จากสมการ (2.2)

$$a \sin \theta = n\lambda \quad (2.2)$$

n อาจเป็นค่าบวกหรือลบก็ได้ โดยถ้าค่า $n = 0$ จะทำให้ตำแหน่งซึ่งอยู่ในแนวแสงตกมีความสว่างมากที่สุด



รูปที่ 2.1 การเลี้ยวเบนจากช่องสลิตเดี่ยว



รูปที่ 2.2 การแจกแจงความเข้มของลวดลายการเลี้ยวเบนจากช่องสลิตเดี่ยว

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงการเลี้ยวเบนจากช่องสลิตเดี่ยว ซึ่งจะเห็นได้ว่าริ้วตรงกลางนั้นจะสว่างและกว้างที่สุด ส่วนทั้งสองข้างของริ้วกลางจะมีริ้วสว่างและมีคสลับกัน วิธีการคำนวณการแจกแจงความเข้มของลวดลายการเลี้ยวเบน (I) ทำได้โดยการรวมคลื่นจากคลื่นเล็กๆที่ช่องสลิตเดินทางไป ณ. จุดใดๆ บนฉาก โดยคำนึงถึงผลต่างของเฟสของคลื่นเล็กๆ ที่แต่ละจุด ซึ่งจะได้ผลดังสมการที่ (2.3) เมื่อ I_0 คือ ความเข้มสูงสุดของคลื่นแสงแต่ละลูกคลื่น

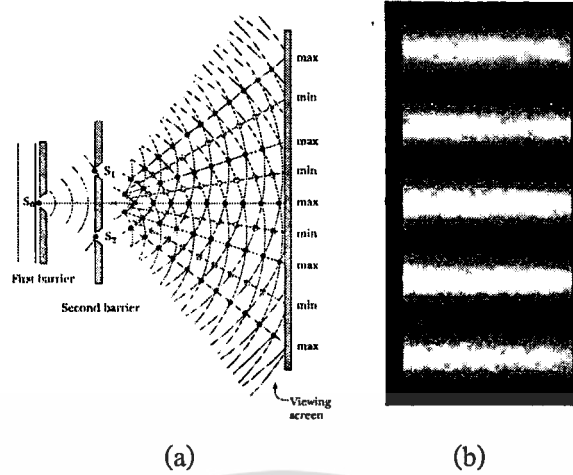
$$I = I_0 \left[\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{\pi a \sin \theta / \lambda} \right]^2 \tag{2.3}$$

เมื่อพิจารณาถึงการแจกแจงความเข้ม ณ. ตำแหน่งต่างๆ โดยลักษณะของการแจกแจงความเข้มขึ้นอยู่กับค่าเปรียบเทียบของ a และ λ โดยถ้า $a = \lambda$ ตำแหน่งมีคอันดับแรกจะเกิดขึ้นที่มุม $\theta = 90^\circ$ ซึ่งแสดงว่าริ้วสว่างตรงกลางกินเนื้อที่กว้าง แต่ถ้า $\lambda \ll a$ ตำแหน่งมีคอันดับแรกจะเกิดขึ้นสองข้างของริ้วระหว่างตรงกลาง โดยที่ θ จะหาได้จากการแทนค่า $n = \pm 1$ ในสมการ นั่นคือ

$$\theta \approx \sin \theta = \pm \frac{\lambda}{a} \tag{2.4}$$

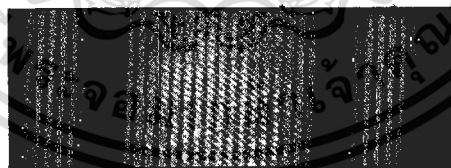
2.3.2 การแทรกสอดจากสลิตคู่

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกลงบนสลิต S_0 แสงที่ผ่านสลิตนี้จะตกลงบนฉากอีกฉากหนึ่งที่มีสลิตคู่ S_1 และ S_2 ดังรูปที่ 2.3(a) สลิตคู่นี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ 2 แหล่ง เอกสารนี้เพราะมาจากแหล่งกำเนิดแสง S_0 แหล่งเดียวกันจึงมีเฟสที่สัมพันธ์กันคงที่ แสงที่ผ่านสลิต S_1 และ S_2 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การแทรกสอดจากสลิตคู่

จะบานออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเลี้ยวเบน (Diffraction) แสงจากสลิตคู่จะเกิดจากการแทรกสอดกันเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่างบนฉากเรียกว่า ริ้วแทรกสอด (Interference Fringes) ดังรูปที่ 2.3(b) เมื่อแสงจาก S_1 และ S_2 เดินทางถึงจุดบนฉากแล้วเกิดการแทรกสอดแบบเสริมก็จะปรากฏแถบสว่างบนฉาก ถ้าแสงจาก S_1 และ S_2 เดินทางถึงจุดบนฉากแล้วเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างก็จะปรากฏแถบมืดบนฉาก เมื่อพิจารณาโดยละเอียดจะพบว่า ในแถบสว่างแต่ละแถบจะประกอบไปด้วยแถบมืด-สว่างสลับกันมากมาย ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจำนวนแถบสว่างในแถบสว่างกลางนี้จะบอกถึงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตกับระยะห่างระหว่างสลิต



รูปที่ 2.4 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตคู่

การคำนวณเพื่อหาการแจกแจงความเข้มแสงที่ส่องผ่านช่องสลิตคู่ (I) ขึ้นอยู่กับมุม θ ระหว่างทิศทางของการแพร่กระจายของแสงกับแนวรัศมีของฉาก ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$I = I_0 \left[\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{\pi a \sin \theta / \lambda} \right]^2 \cos^2 \left[\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right] \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	I_0	คือ ความเข้มของแสง ณ. จุดศูนย์กลางของการแพร่กระจาย
	a	คือ ความกว้างของช่องสลิตเดี่ยว
	d	คือ ระยะห่างระหว่างช่องสลิตเดี่ยว
	λ	คือ ความยาวคลื่นแสง

2.4 เกรตติงเลี้ยวเบน

เกรตติงเลี้ยวเบน[12] เป็นอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ที่มีความสำคัญต่อเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เนื่องจากมีความสามารถในการแยกสเปกตรัมของแสง เกรตติงเลี้ยวเบนประกอบขึ้นจากส่วนสะท้อนแสงหรือส่องผ่านแสงเล็กๆจำนวนมาก ที่อยู่ห่างกันเป็นระยะทางในระดับเดียวกับความยาวคลื่นแสงที่ต้องการศึกษา หรืออาจพิจารณาได้ว่าเกรตติงเลี้ยวเบนประกอบขึ้นจากส่วนที่ทำหน้าที่เลี้ยวเบนแสงเล็กๆจำนวนมาก เช่น สลิต หรือร่องสะท้อนแสง

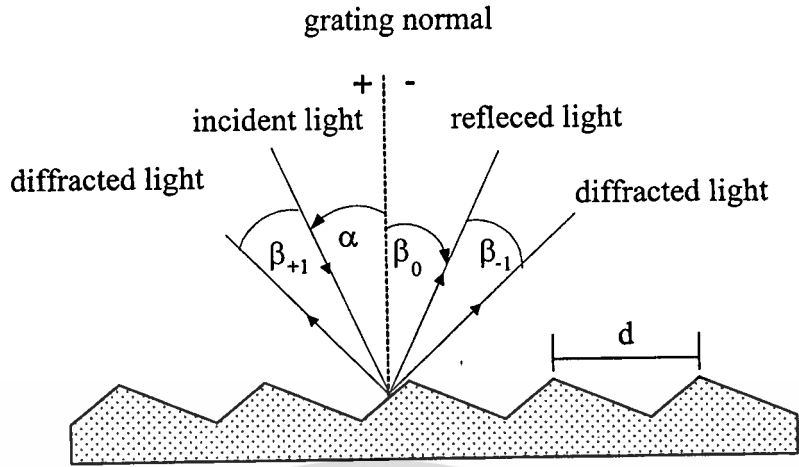
เกรตติงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เกรตติงแบบสะท้อน(Reflection Grating) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องที่ชิดกันมาก ที่สร้างไว้บนผิวที่สะท้อนแสงได้ สำหรับเกรตติงอีกประเภทหนึ่ง คือ เกรตติงแบบส่องผ่าน(Transmission Grating) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องที่ชิดกันมากเช่นกัน แต่สร้างไว้บนพื้นผิวที่โปร่งแสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบบนเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบน ทำให้ขนาดและเฟสของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบที่แน่นอน

2.5 สมการเกรตติง

เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic) ตกกระทบที่พื้นผิวเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบนไปเป็นมุมต่างๆ ที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Direction) สามารถพิจารณาได้ว่าร่อง(Groove) ของเกรตติงเป็นสลิตที่แคบมาก ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของแสงที่เลี้ยวเบนเหล่านี้ แสงที่เลี้ยวเบนจากแต่ละร่องบนเกรตติงจะมารวมกันเป็นหน้าคลื่นที่เลี้ยวเบน (Diffracted Wave Front) มุมเลี้ยวเบนที่ทำให้หน้าคลื่นมีการรวมกันแบบเสริมกันจะมีค่าที่แน่นอนขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงและระยะห่างระหว่างร่องบนเกรตติง

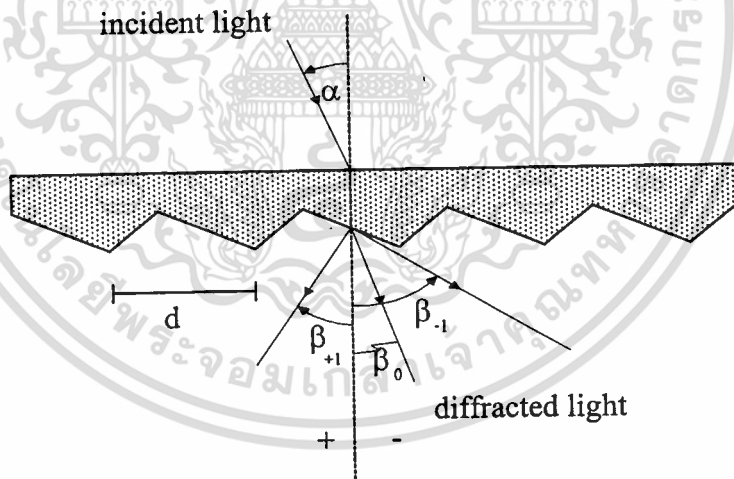
การเลี้ยวเบนของแสงโดยเกรตติงสามารถแสดงดังรูปที่ 2.5 แสงซึ่งมีความยาวคลื่น λ ตกกระทบทำมุมเลี้ยวเบน α และเลี้ยวเบนไปเป็นมุม β_m (ระยะระหว่างร่อง, d บนเกรตติงเรียกว่า pitch) มุมเหล่านี้วัดเทียบกับเส้นปกติซึ่งเป็นเส้นตั้งฉากกับผิวเกรตติง นิยมที่จะกำหนดเครื่องหมายของมุมเลี้ยวเบนเป็นบวก ถ้าอยู่ด้านเดียวกับมุมแสงตกกระทบ และมีเครื่องหมายเป็นลบ ถ้าอยู่ตรงข้าม โดยมีเส้นปกติแบ่ง รูป 2.5(a) แสดงกรณีของเกรตติงแบบสะท้อน โดยมีมุม $\alpha > 0$ และ $\beta_{+1} > 0$ ขณะที่รูป 2.5 (b) แสดงกรณีของเกรตติงแบบส่องผ่าน มีมุม $\beta_0 < 0$ และ $\beta_{-1} < 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

รูปที่ 2.5(a) การเลี้ยวเบนโดยเกรตติงระนาบแบบสะท้อน



(b)

รูปที่ 2.5(b) การเลี้ยวเบนโดยเกรตติงระนาบแบบส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษสำหรับเกรตติงในรูปที่ 2.5 และ 2.6) เท่านั้น การเลี้ยวเบนในกรณีนี้เรียกว่าการเลี้ยวเบนแบบดั้งเดิม (Classical Diffraction) หรือการเลี้ยวเบนในระนาบ (In-Plane Diffraction) ในกรณีที่แสงตกกระทบบนไม่ตั้งฉากกับร่องแนวเกรตติง สมการเกรตติงจะเขียนได้ดังนี้

$$G m\lambda = d \sin \epsilon (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.6b)$$

ในที่นี้ ϵ คือ มุมระหว่างแสงตกกระทบบนกับระนาบตั้งฉากกับแนวร่องเกรตติง ถ้าแสงตกกระทบบนอยู่ในระนาบตั้งฉากนี้หรือ $\epsilon = 0$ สมการ (2.6b) จะลดรูปเป็นสมการ (2.6a) และถ้า $\epsilon \neq 0$ ลำแสงเลี้ยวเบนจะมีลักษณะป็นกรวยแทนที่จะเป็นระนาบ การเลี้ยวเบนกรณีนี้เรียกว่า การเลี้ยวเบนแบบกรวย (Conical Diffraction)

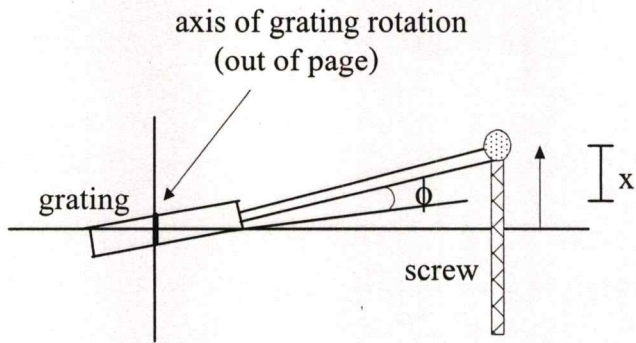
สำหรับเกรตติงที่มีระยะห่างระหว่างร่อง d ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความยาวคลื่นตกกระทบบนและมุมเลี้ยวเบน ที่ลำดับสเปกตรัม m ของแสงความยาวคลื่น λ คือ

$$\beta(\lambda) = \arcsin(m\lambda/d - \sin \alpha) \quad (2.7)$$

ในกรณีที่ $m = 0$ เกรตติงจะทำหน้าที่เหมือนกับกระจกและความยาวคลื่นจะไม่ถูกแยก ($\beta = -\alpha$ สำหรับทุก ๆ ความยาวคลื่น) เรียกว่าการสะท้อนจากผิวเรียบ (Specular Reflection) หรือลำดับสเปกตรัมที่ศูนย์ (Zero Order)

ในกรณีเฉพาะกรณีหนึ่งที่ลำแสงเลี้ยวเบนมีทิศทางย้อนกลับไปในแนวของแสงตกกระทบบน ($\alpha = \beta$) เรียกว่า การจัดแบบลิตโตรว์ (Littrow Configuration) สมการเกรตติงในกรณีนี้ จะเขียนได้เป็น

$$m\lambda = 2d \sin \alpha \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.7 กลไก sine bar สำหรับการวัดความยาวคลื่น

การใช้งานเกรตติงกรณิในรูปแบบต่าง ๆ เช่น Monochromators ความยาวคลื่น λ ของแสงที่เลี้ยวเบนถูกทำให้เปลี่ยนไปโดยการหมุนเกรตติง(หมุนรอบแนวของร่องที่จุดกึ่งกลางของเกรตติง) ในขณะที่มุมระหว่างแสงตกกระทบและแสงเลี้ยวเบนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมุมนี้เรียกว่ามุมเบี่ยงเบน, $2K$ (Deviation Angle or Angular Deviation) มีค่า

$$2K = \alpha - \beta = \text{constant} \tag{2.9}$$

เมื่อมุมของ เกรตติงหมุนไป Φ

$$2\Phi = \alpha + \beta \tag{2.10}$$

เมื่อสกรูในรูปที่ 2.7 ดันให้ระนาบของเกรตติงเป็นระยะ x จะทำให้เกรตติงเบี่ยงเบนไปเป็นมุม Φ โดยที่ $\sin \Phi$ แปรผันโดยตรงกับ x เมื่อมุม Φ เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความยาวคลื่นของแสงที่เลี้ยวเบนไปที่มุม β มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วยในกรณีนี้สามารถเขียนสมการเกรตติงในเทอมของ Φ และ K จะได้ว่า

$$m\lambda = 2d \cos K \sin \Phi \tag{2.11}$$

สมการเกรตติงในรูปนี้มีประโยชน์มากสำหรับการจัดระบบแสงของ Monochromator สมการ (2.11) แสดงว่าความยาวคลื่นของแสงที่เลี้ยวเบนโดยการเกรตติงใน Monochromator เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $\sin \Phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อันดับของการเลี้ยวเบน

2.6.1 อันดับของการเลี้ยวเบนที่เป็นไปได้

สำหรับเกรตติงที่มีค่า d และมุมตกกระทบ α ค่าหนึ่ง ความยาวคลื่นแสงเลี้ยวเบนไปเป็นมุม β ที่สอดคล้องกับสมการเกรตติง (2.6) จะมีได้หลายค่าซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าของเลขจำนวนเต็ม m ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการแทรกสอดแบบเสริม นั่นคือเมื่อผลต่างทางเดินแสงที่เลี้ยวเบนจากร่องที่อยู่ติดกันไปยังมุม β มีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น ตัวอย่างเช่นถ้าผลต่างทางเดินแสงมีค่าเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่น ในกรณีนี้จะกล่าวว่าเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นบวก อันดับแรก ($m = 1$) หรือเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นลบอันดับแรก ($m = -1$) ขึ้นอยู่กับว่าแสงเลี้ยวเบนไปเป็นมุมมากหรือน้อยกว่ามุมของแสงสะท้อน ($m=0$) ในทำนองเดียวกันจะกล่าวว่าเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นบวกอันดับสอง ($m=2$) หรือเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นอันดับลบอันดับสอง ($m=-2$) ถ้าผลต่างทางเดินแสงมีค่าเป็นสองเท่าของความยาวคลื่น

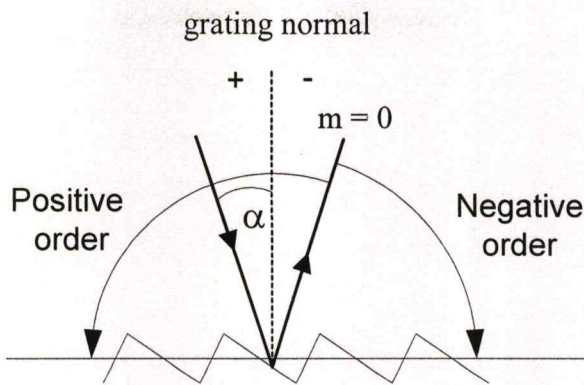
สมการเกรตติงแสดงให้เห็นว่าอันดับของสเปกตรัมจะมีอยู่จริงเฉพาะค่าของ m ที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ $|m\lambda/d| < 2$ เท่านั้น ถ้าไม่สอดคล้องจะทำให้ $|\sin\alpha + \sin\beta| > 2$ ซึ่งจะไม่มีความหมายในเชิงฟิสิกส์ ค่าการสะท้อน ($m = 0$) จะเกิดขึ้นได้เสมอ นั่นคือการเลี้ยวเบนอันดับศูนย์มีจริงเสมอ ($\alpha = -\beta$) สามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าอันดับของสเปกตรัม m จะมีได้ต้องสอดคล้องกับความสัมพันธ์

$$-2d < m\lambda < 2d \quad (2.12)$$

จากสมการจะเห็นว่า จำนวนอันดับของสเปกตรัมจะมีมากถ้า d มีค่ามาก ($1/d < 1$) จากสมการ (2.5) สามารถบอกอันดับของสเปกตรัมว่าเป็นบวกหรือลบ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \beta > -\alpha & \quad \text{สำหรับอันดับที่เป็นบวก } (m > 0) \\ \beta < -\alpha & \quad \text{สำหรับอันดับที่เป็นลบ } (m < 0) \\ \beta > -\alpha & \quad \text{สำหรับการสะท้อน } (m = 0) \end{aligned}$$

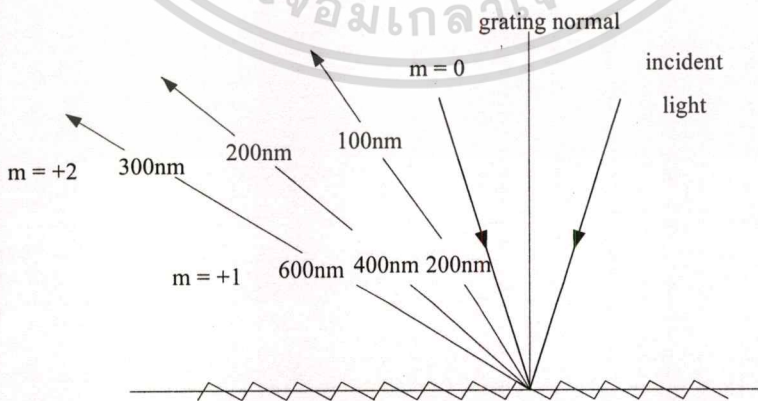
เครื่องหมายของ m นิยมกำหนดให้เป็นบวก ($m > 0$) ถ้าลำแสงเลี้ยวเบนอยู่ทางด้านซ้าย (ด้านทวนเข็มนาฬิกา) ของแนวสะท้อน ($m = 0$) และเป็นลบ ($m < 0$) ถ้าลำแสงเลี้ยวเบนอยู่ทางด้านขวา (ด้านตามเข็มนาฬิกา) ของแนวแสงสะท้อน ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การกำหนดเครื่องหมายของอันดับสเปกตรัม

2.6.2 การซ้อนทับของเส้นสเปกตรัม

ความยุ่งยากที่พบในการใช้งานเกรตติงส่วนมากเกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นสเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ชัดจากสมการเกรตติงว่าแสงที่มีความยาวคลื่น λ ในอันดับ $m=1$ จะมีการซ้อนทับกับแสงที่มีความยาวคลื่น $\frac{\lambda}{2}$ ในอันดับที่ $m=2$ เป็นต้น ในตัวอย่างนี้แสงสีแดง(600 นาโนเมตร) ในอันดับแรกของสเปกตรัมจะซ้อนทับกับแสงอัลตราไวโอเล็ต(300 นาโนเมตร) ซึ่งอยู่ในอันดับที่สอง ถ้าตรวจวัดแสงสามารถตอบสนองการวัดต่อแสงทั้งสองแล้วจะทำให้ตัวตรวจวัดแสงวัดความเข้มของแสงทั้งสองพร้อมกัน แต่เนื่องจากตัวตรวจวัดแสงไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างความยาวทั้งสองได้ กรณีเช่นนี้จะทำให้ข้อมูลของสเปกตรัมที่วัดได้ผิดไป การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการใช้แผ่นกรองแสงเหมาะสม (เรียกว่า Order Sorting)



รูปที่ 2.9 การซ้อนทับของเส้นสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การแยกแสง

วัตถุประสงค์แรกของการใช้เกรตติง คือการแยกความยาวคลื่นของแสงที่ประกอบด้วยหลายความยาวคลื่น แสงสีขาวที่ตกกระทบบนเกรตติงจะถูกแยกออกเป็นสีต่างๆ ตามองค์ประกอบสีแต่ละสีจะเลี้ยวเบนไปเป็นมุมที่ต่างกัน การแยกแสง (Dispersion) หมายถึงการแยก (เชิงมุมหรือเชิงเส้น) ระหว่างแสงเลี้ยวเบนที่มีความยาวคลื่นต่างกัน การแยกแสงเชิงมุม (Angular Dispersion) จะแสดงในรูปของช่วงสเปกตรัมต่อมุมหนึ่งหน่วยและความแยกชัดเชิงเส้น (linear resolution) จะแสดงในรูปช่วงของสเปกตรัมต่อหนึ่งหน่วยความยาว

2.8 กำลังแยกและการแยกชัด (Resolving power and Spectral resolution)

2.8.1 กำลังแยก

กำลังแยก R ของเกรตติงแสดงถึงความสามารถในการแยกเส้นสเปกตรัมที่อยู่ชิดกันออกจากกัน โดยทั่วไปแสดงด้วยปริมาณที่ไม่มีหน่วย

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (2.13)$$

เมื่อ $\Delta\lambda$ คือ ขีดจำกัดของการแยกชัด (Limit of resolution) หรือมักนิยมเรียกว่า ความแยกชัด (resolution) หมายถึงความยาวคลื่นที่ต่างกันของเส้นสเปกตรัมที่สามารถแยกได้ ถ้าจุดยอดของเส้นสเปกตรัม λ_1 และ λ_2 ห่างกัน $|\lambda_1 - \lambda_2| < \Delta\lambda$ จะไม่สามารถแยกเส้นสเปกตรัมทั้งสองได้ในทางทฤษฎีกำลังแยกของเกรตติงเลี้ยวเบนระนาบคือ

$$R = mN \quad (2.14)$$

เมื่อ m คืออันดับของการเลี้ยวเบน และ N คือจำนวนร่องบนเกรตติงที่ถูกแสงตกกระทบ เมื่อแทนค่า m ลงในสมการ (2.14) จะได้ว่า

$$R = \frac{Nd(\sin\alpha + \sin\beta)}{\lambda} \quad (2.15)$$

ถ้าระยะห่างระหว่างร่องของเกรตติง d มีค่าสม่ำเสมอและถ้าเกรตติงเป็นชนิดระนาบจะได้ว่าปริมาณ Nd คือ ความกว้าง W บนเกรตติง ที่ถูกแสงตกกระทบ จึงได้ว่า

$$R = \frac{W(\sin \alpha + \sin \beta)}{\lambda} \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.16) จะเห็นว่า R ไม่ขึ้นกับอันดับของสเปกตรัมและจำนวนของร่องบนเกรตติงแต่จะขึ้นกับความกว้างบนเกรตติง ที่ถูกแสงตกกระทบ มุมตกกระทบและมุมเลี้ยวเบน เนื่องจาก

$$|\sin \alpha + \sin \beta| < 2 \quad (2.17)$$

ดังนั้น กำลังแยกสูงสุดคือ

$$R_{Max} = \frac{2W}{\lambda} \quad (2.18)$$

2.8.2 การแยกขีด

ขณะที่กำลังแยกเป็นสมบัติเฉพาะตัวของเกรตติงและมุมที่ใช้ ความสามารถในการแยกความยาวคลื่น λ_1 และ $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเกรตติงเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นกับขนาดและตำแหน่งของสลิตขาเข้า (Entrance Slit) และขาออก (Exit Slit) หรือขนาดของตัวตรวจวัดแสง ความคลาดของภาพและกำลังขยายของภาพด้วย การบอกความยาวคลื่นที่ต่างกันน้อยที่สุด $\Delta\lambda$ ที่เรียกว่าขีดจำกัดของการแยกขีดหรือเรียกสั้นๆ ว่าความแยกขีด มีความหมายและมีความสำคัญมากกว่าการบอกกำลังแยก ในขณะที่กำลังแยกเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย การแยกขีดมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

2.9 เกรตติงระนาบ และ Mounts (Plane Grating and their Mounts)

อุปกรณ์ที่ทำให้แสงเป็นลำขนานและอุปกรณ์ที่ใช้โฟกัสลำแสงสำหรับลำแสงตกกระทบหรือลำแสงเลี้ยวเบนโดยเกรตติง รวมทั้งอุปกรณ์เบี่ยงเบนลำแสงถูกเรียกว่า เม้าท์ (Mount) เครื่องมือที่ประกอบด้วยเกรตติงและเม้าท์ที่สำคัญได้แก่ สเปกโตรมิเตอร์และ Monochromator เป็นต้น สเปกโตรมิเตอร์เป็นคำที่ใช้เรียกเครื่องมือที่ใช้วัดสเปกตรัม เครื่องสเปกโตรมิเตอร์นี้อาจแยกเส้นสเปกตรัมโดยใช้เกรตติงหรือปริซึมก็ได้ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะที่ใช้เกรตติงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Monochromator เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่ในขณะที่ใดขณะหนึ่งจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวออกที่สลิตขาออก สเปกตรัมจะถูกแยกโดยการหมุนเกรตติง

เครื่องสเปกโตรกราฟ (Spectrograph) เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่ให้เส้นสเปกตรัมในย่านความยาวคลื่นหนึ่งทุกเส้นพร้อมกัน ซึ่งอาจแสดงเส้นสเปกตรัมบนฟิล์มหรือไออาร์เรย์ของตัวตรวจวัดแสงหรือโดยการใช้ช่องสลิตขาออกหลายช่องก็ได้ เครื่องมือประเภทนี้บางครั้งเรียกว่า Polychromator ลักษณะเฉพาะของเครื่องสเปกโตรกราฟ คือเส้นสเปกตรัมทุกเส้นจะถูกบันทึกในเวลาเดียวกัน

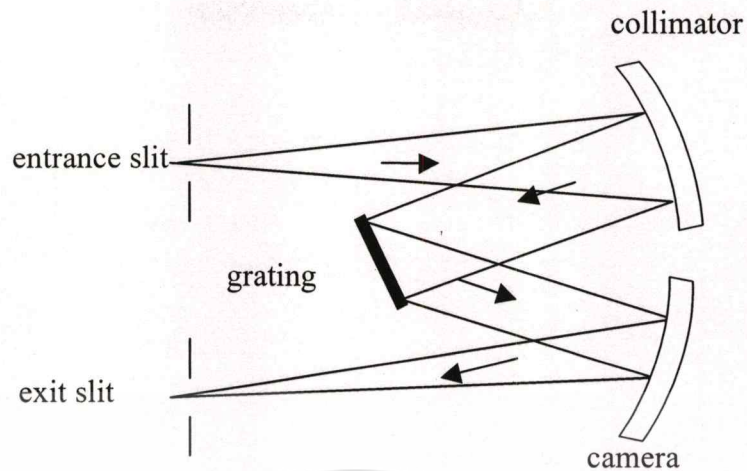
2.10 การจัดอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ใน Monochromator

เกรตติงระนาบ โดยทั่วไปจะทำหน้าที่แยกแสง เมื่อมีลำแสงขนานมาตกกระทบแต่ไม่สามารถโฟกัสลำแสงที่เลี้ยวเบนจากเกรตติงได้ จึงต้องอาศัยอุปกรณ์ทัศนศาสตร์อื่น ๆ เช่น เลนส์หรือกระจกช่วยในการโฟกัสลำแสงดังกล่าว

2.10.1 The Czerny – Turner Monochromator

Monochromator ชนิดนี้ถูกออกแบบให้แสงที่ตกกระทบเกรตติงเป็นลำแสงขนาน แสงจากแหล่งกำเนิด หรือเมื่อผ่านสลิตจะลู่ออกและจะถูกทำให้เป็นลำแสงขนานด้วยกระจกเว้า ที่เรียกว่า Collimator ส่วนลำแสงที่เลี้ยวเบนจากเกรตติง จะถูกโฟกัสด้วยกระจกเว้าอีกบานที่เรียกว่า Camera ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในทางอุดมคติ เนื่องจากเป็นเกรตติงระนาบและแสงที่ตกกระทบเป็นลำแสงขนาน จึงไม่เกิดความคลาดเคลื่อนที่หน้าคลื่นของลำแสงเลี้ยวเบนในทางปฏิบัติความคลาดเคลื่อนอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากกระจกที่ใช้เป็นกระจกเว้าชนิด Off-Axis

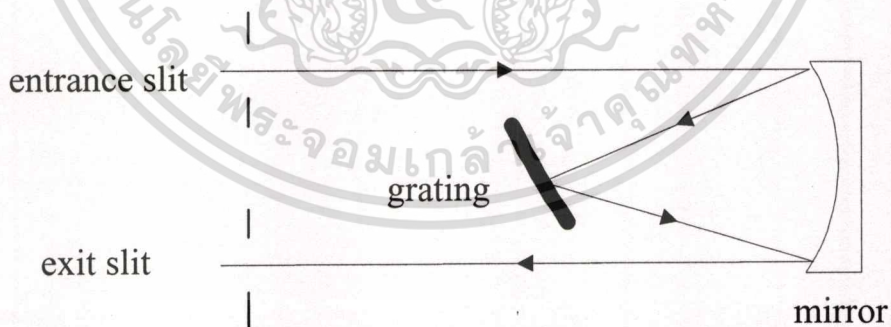
เหมือนกับ Monochromator ชนิดอื่น ๆ สเปกตรัมของแสงจะถูกแยกโดยการหมุนเกรตติง ทำให้เส้นสเปกตรัมอื่น ๆ ตกบนกระจกเว้า Camera และโฟกัสไปยังสลิตขาออกต่อไป ความคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากกระจกได้แก่ ความคลาดเคลื่อน Astigmatism และความคลาดทรงกลมสำหรับกระจกเว้าความคลาดเคลื่อน Astigmatism จะเพิ่มขึ้นตามมุมที่สะท้อนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.10 The Czerny – Turner Monochromator

2.10.2 The Ebert – Fastie Monochromator

Monochromator ชนิดนี้มีหลักการเหมือนกับ Czerny – Turner Monochromator แต่ใช้กระจกเว้าบานใหญ่เพียงบานเดียวทำหน้าที่เป็นทั้งกระจกเว้า Collimator และ Camera ดังแสดงในรูปที่ 2.11 การใช้งาน Monochromator แบบนี้มีข้อจำกัด เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนและ Stray Light ที่ยากต่อการควบคุม

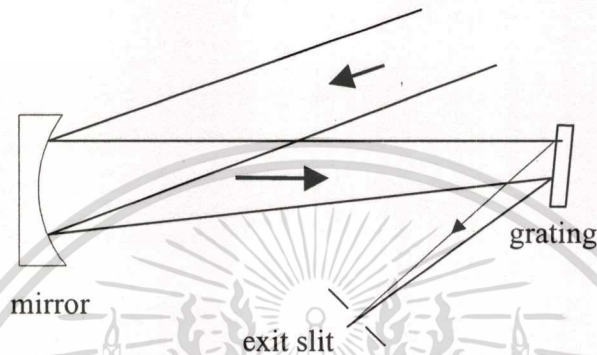


รูปที่ 2.11 The Ebert – Fastie Monochromator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 The Monk-Gillieson Monochromator

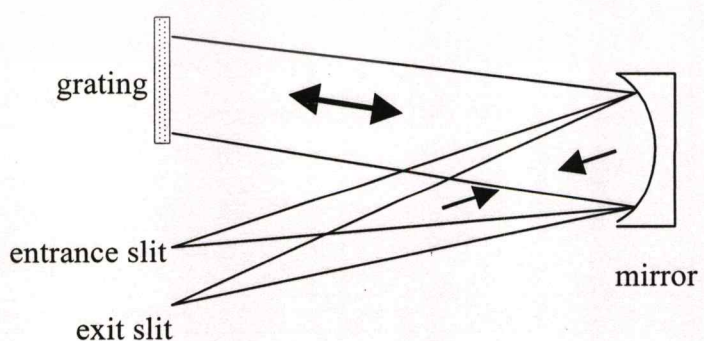
รูปที่ 2.12 แสดงการจัดอุปกรณ์ใน Monk-Gillieson Monochromator แสงที่ตกกระทบเกรตติงระนาบกรณีนี้นี้เป็นลำแสงที่ลู่เข้า แสงที่ลู่ออกจากสลิตขาเข้าจะถูกทำให้ลู่เข้าโดยกระจกเว้าแสงเดี่ยวเบนจากเกรตติงจะยังคงลู่เข้าจนโฟกัสเป็นจุดที่บริเวณใกล้ ๆ สลิตขาออก การกวาดเส้นสเปกตรัมทำโดยการหมุนเกรตติงเช่นกัน



รูปที่ 2.12 The Monk-Gillieson Monochromator

2.10.4 The Littrow Monochromator

เกรตติงที่ใช้ในกรณีนี้จะให้แสงเดี่ยวเบนที่ความยาวคลื่น λ ย้อนกลับทิศทางของแสงตกกระทบ ดังรูปที่ 2.13 เส้นสเปกตรัมจะถูกกวาดโดยการหมุนเกรตติง การหมุนเกรตติงทำให้มุมตกกระทบ (α) และมุมเดี่ยวเบน (β) เปลี่ยน แต่ ($\alpha = \beta$ สำหรับทุกความยาวคลื่น) กระจกเว้าหนึ่งบานทำหน้าที่เป็นทั้ง Collimator และ Camera โดยทั่วไป สลิตขาเข้าและขาออกเอียงกันเล็กน้อย จึงเป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ Littrow Monochromator นิยมใช้สำหรับการเลือกความยาวคลื่นของเลเซอร์

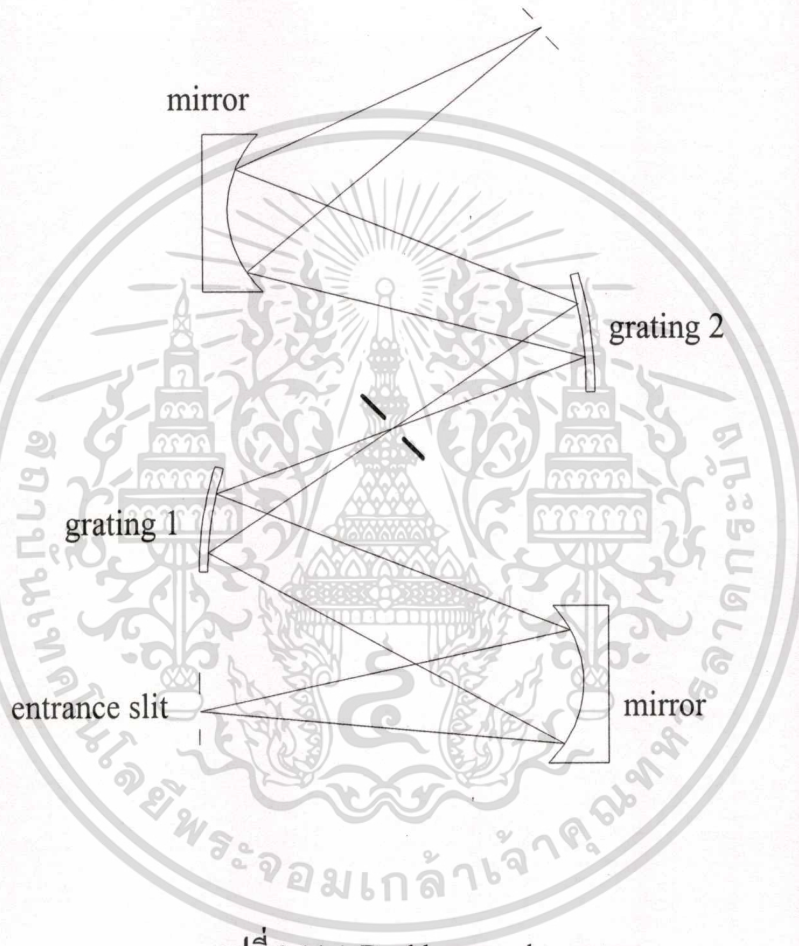


รูปที่ 2.13 The Littrow Monochromator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 Double & Triple Monochromators

Double Monochromator คือการนำ Monochromator 2 ตัวมาทำงานร่วมสลิตขาออกของ Monochromator ตัวแรกจะทำหน้าที่เป็นสลิตขาเข้าของ Monochromator ตัวที่สอง ดังรูปที่ 2.14 Stray Light สำหรับ Monochromator แบบนี้จะต่ำมาก และถ้าต้องการลด Stray Light ให้เหลือน้อยที่สุด ทำได้โดยการใช้ Monochromator 3 ตัว มาทำงานร่วม เรียกว่า Triple Monochromators

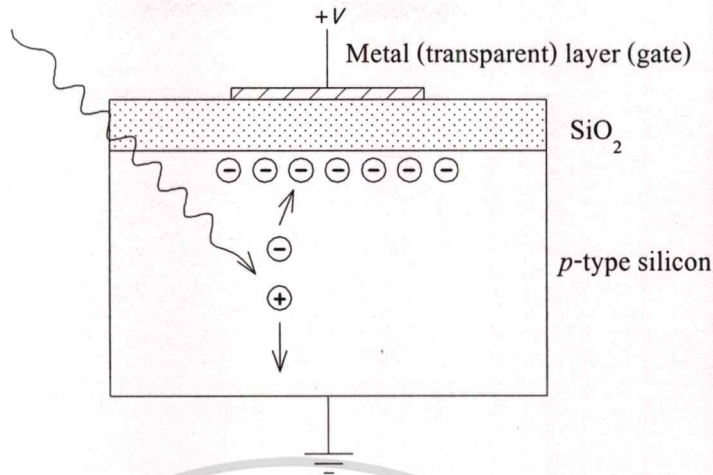


รูปที่ 2.14 A Double monochromators

2.11 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดแสงนั้นจะต้องมีคุณสมบัติ คือรับแสงที่เข้ามาและเปลี่ยนรูปพลังงานของแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ในสมัยก่อนมนุษย์ทำการวัดแสงโดยการวัดพลังงานของรังสี (Radiant Energy) ในส่วนที่ตาสามารถมองเห็น นั่นก็คือรังสีที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 400 นาโนเมตรถึง 800 นาโนเมตร ซึ่งผลของการวัดนั้นย่อมต้องการให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของตามนุษย์ที่มีต่อรังสีนั้นๆ ให้มากที่สุด แต่เนื่องจากตามนุษย์แต่ละคนย่อมมีความรู้สึกไวต่อรังสีที่แตกต่างกันทำให้ผลของการวัดหาความแน่นอนไม่ได้ ดังนั้นมนุษย์จึงคิดค้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดแสงแทนตาของมนุษย์นั่นก็คือ อุปกรณ์ที่เรียกว่าตัวรับแสง (Photo Detector) โดยคุณสมบัติของตัวรับแสงนั้นจะต้องมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมของรังสี (Spectral Response Characteristics) คล้ายกับตาของมนุษย์ปกติให้มากที่สุด ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในตรวจวัดแสงที่ได้กล่าวมาในตอนต้นนั้น ได้แก่ ซีซีดี (CCD Detector) หรือ โฟโตไดโอด (Photodiode) เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะซีซีดี

ซีซีดี (CCD : Charge Coupled Device) เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่อาศัยหลักการทำงานโดยการถ่ายเทของประจุไฟฟ้า[13] ซึ่งโครงสร้างภายในของซีซีดีถูกแบ่งออกเป็นเซลล์หรือพื้นที่เล็กๆ มากมาย ในแต่ละเซลล์เล็กๆ นี้เรียกว่า พิกเซล (Pixel) นั่นคือยังมีการแบ่งพิกเซลมากเท่าใด ก็จะทำให้การตรวจจับแสงมีความละเอียดมากขึ้น ในแต่ละพิกเซลถูกแบ่งการควบคุมการทำงานเป็นแบบด้านแนวนอน (Row) และด้านแนวตั้ง (Column) โดยมีส่วนที่คั่นกลางที่เรียกว่าแชนแนลสโตป (Channel Stop) เป็นตัวคั่นกลางระหว่างแต่ละแนวตั้ง โดยในแต่ละพิกเซลของซีซีดีนั้นจะมีประจุไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นเมื่อได้รับพลังงานจากภายนอก ในที่นี้คือแสงที่มาจากกระทบยังผิวรับแสงของซีซีดี โดยมีโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 ฉนวนที่ทำมาจากสารซิลิกอน ไดออกไซด์ (SiO_2) จะถูกฉาบอยู่บนชั้นซิลิกอนชนิดพี (P-Type Silicon) และจะมีขั้วไฟฟ้าอยู่ที่ด้านบนของชั้นออกไซด์อีกทีหนึ่ง ซึ่งขั้วไฟฟ้างกล่าวถูกเรียกว่าเกต (Gate) ทำงานในลักษณะของการป้อนไฟบวกเข้าไปที่ขั้วดังกล่าวนี้ และเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่รับแสงของซีซีดี แสงนั้นจะวิ่งลงไปยังชั้นของชั้นซิลิกอนชนิดพี ซึ่งทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลอิสระ (Electron-Hole Pairs) ขึ้นภายในชั้นซิลิกอนชนิดพี โดยคู่อิเล็กตรอน-โฮลอิสระที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกผลักให้แยกออกจากกัน โดยที่อิเล็กตรอนนั้นจะวิ่งขึ้นมาอยู่ในบริเวณด้านบนของแผ่นซิลิกอนภายใต้เกต และจะค้างสถานะนั้นชั่วขณะ ซึ่งจะทำให้บริเวณนี้มีแรงดันเป็นบวกค้างอยู่ โดยจำนวนของอิเล็กตรอนที่ถูกเก็บค่าเอาไว้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนโฟตอนหรือความเข้มแสงที่ตกลงบนเซลล์ของซีซีดี สำหรับที่โฮลนั้นจะวิ่งลงไปยังด้านล่างของชั้นซิลิกอนชนิดพี ที่เชื่อมต่อกับขากราวน์เพื่อให้คงสภาวะครบวงจรต่อไป



รูปที่ 2.15 โครงสร้างพื้นฐานของซีซีดี

การถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างพิกเซลเกิดขึ้นโดยใช้หลักการเลื่อนเฟส จากรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นถึงในแต่ละพิกเซลนั้นจะถูกเชื่อมต่อกับขาสัญญาณ สัญญาณที่ปรากฏทั้ง 3 เฟสนี้จะทำให้เกิดกระบวนการถ่ายประจุไฟฟ้าขึ้นจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้ เมื่อประจุไฟฟ้าถูกถ่ายเทมาจนถึงตำแหน่งของพิกเซลปลายทาง ค่าประจุไฟฟ้าเหล่านั้นจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์รับข้อมูลต่อไป เมื่อรีจิสเตอร์รับข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็จะเลื่อนข้อมูลออกในลักษณะอนุกรมโดยส่งผ่านบัฟเฟอร์ก่อนส่งออกสู่เอาต์พุต จังหวะการเลื่อนข้อมูลออกจากรีจิสเตอร์ถูกควบคุมจากสัญญาณพัลส์ด้านแนวนอนด้วยหลักการเลื่อนเฟส เช่นเดียวกันการเลื่อนเฟสทั้งด้านแนวนอนและแนวตั้งนี้จะมีความสัมพันธ์กันตลอดเวลา

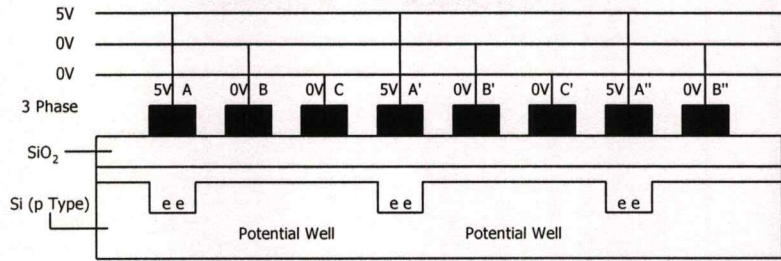
จากรูปที่ 2.16 (ก) เมื่อมีพัลส์เข้ามาที่ขั้ว A, A' และ A'' ส่งผลทำให้มีแรงดันขนาด 5 โวลต์ปรากฏที่ขั้วไฟฟ้าเหล่านั้น ซึ่งแรงดันขนาด 5 โวลต์นี้จะผลักโฮลในชั้น พี ให้ออกไปจากบริเวณใกล้เคียงๆ ขั้วไฟฟ้านั้น ทำให้เกิดเป็นบริเวณที่ปลอดพาหะขึ้น ซึ่งในบริเวณนี้จะมีคุณสมบัติเสมือนเป็นบ่อศักย์ไฟฟ้าที่สามารถเก็บกักอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้ามาในบริเวณนี้ไม่ว่าอิเล็กตรอนนั้นจะมาจากภายนอกหรือจากผลของแสงก็ตาม

จากรูปที่ 2.16 (ข) เมื่อมีพัลส์ที่ขั้ว B, B' และ B'' เป็นพัลส์ที่มีแรงดันสูงกว่า A ก็จะทำให้เกิดบริเวณที่ปราศจากประจุสูงกว่าที่เกิดที่ขั้ว A ทำให้อิเล็กตรอนที่ถูกกักไว้ได้ผ่านขั้ว A ไหลเข้ามาที่ขั้ว B เป็นการโยกย้ายอิเล็กตรอนไปสู่บริเวณที่มีศักย์สูงกว่า

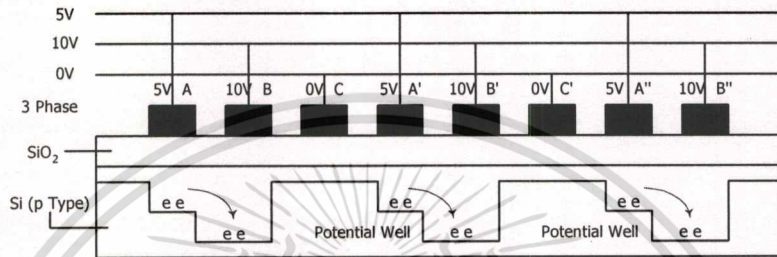
จากรูปที่ 2.16 (ค) สัญญาณพัลส์จะเหลือแต่ที่ขั้ว B ส่วนที่ขั้ว A จะหายไปบริเวณที่ปราศจากประจุได้ผ่านขั้ว B ก็จะตื้นลง แต่ยังคงกักอิเล็กตรอนทั้งหมดอยู่ในบริเวณนี้

จากรูปที่ 2.16 (ง) สัญญาณพัลส์จะปรากฏที่ขั้ว C เหมือนกรณีแรกคือ มีแรงดันสูงกว่าที่ขั้ว B ก็จะดูดอิเล็กตรอนที่อยู่ขั้ว B ให้มาอยู่ขั้ว C ทั้งหมด

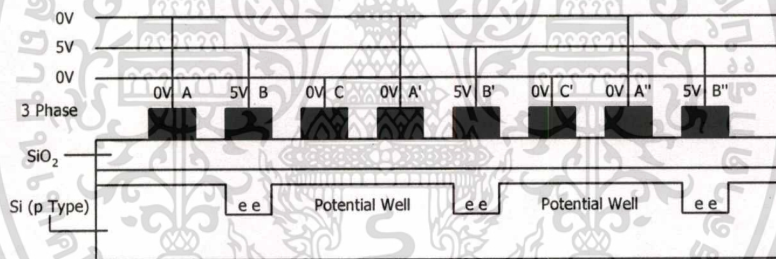
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



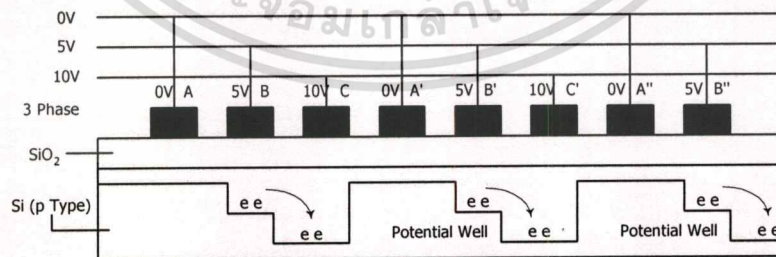
รูปที่ 2.16 (ก)



รูปที่ 2.16 (ข)



รูปที่ 2.16 (ค)



รูปที่ 2.16 (ง)

รูปที่ 2.16 การเลื่อนประจุภายในโครงสร้างซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์

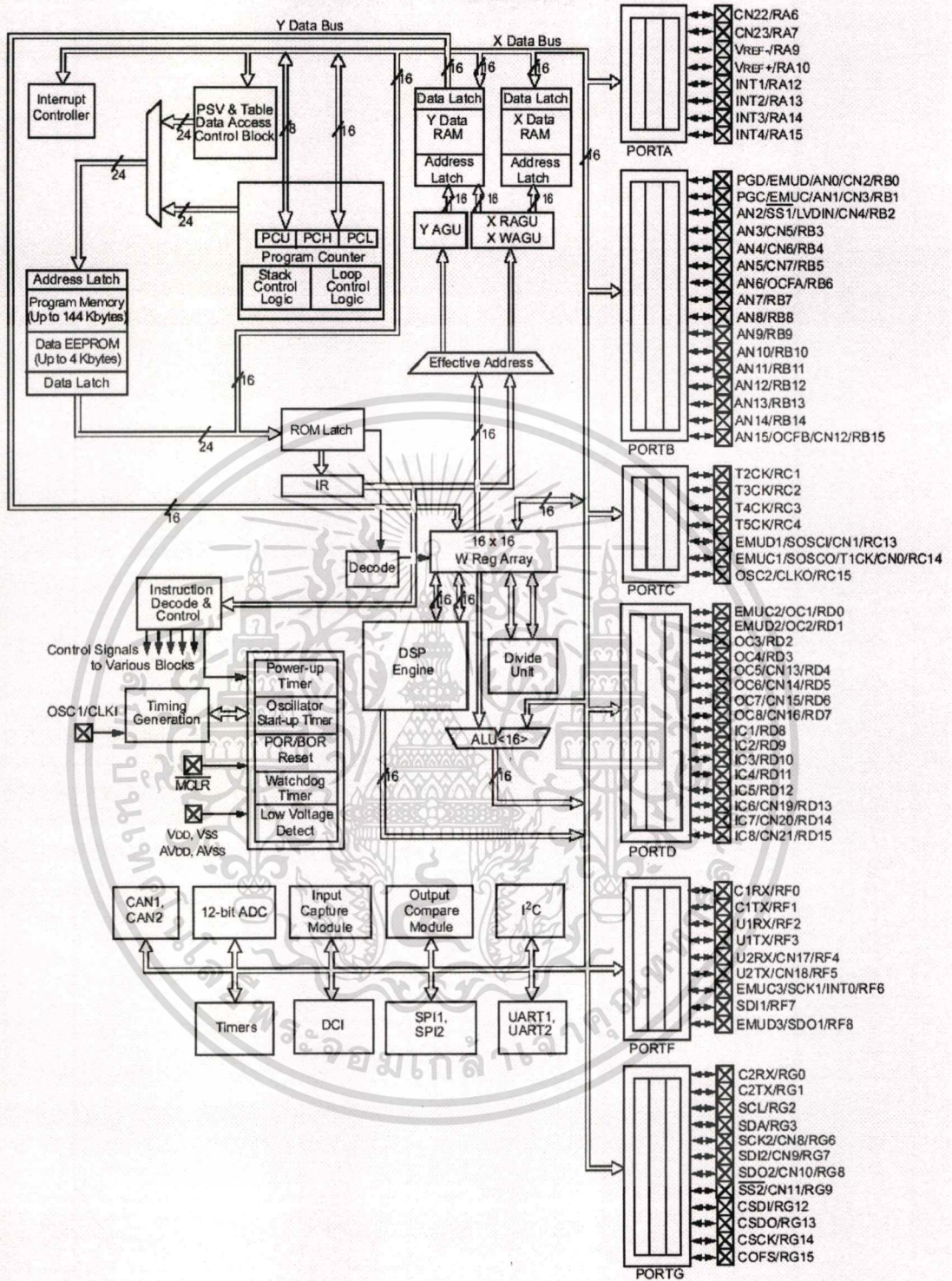
ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ของบริษัท Microchip Technology เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประมวลผลแบบ Digital Signal Controller หรือ DSC ในระดับ 16 บิต หน่วยประมวลผลกลางมีความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานควบคุม นอกจากนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ยังมีโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียดและความเร็วในการสุ่มสัญญาณสูง

2.12.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ dsPIC30F6014 มีคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีชิพเป็นสถาปัตยกรรมแบบ RISC
- หน่วยประมวลผลข้อมูลมีขนาด 16 บิต มีความเร็วในการทำงานสูงสุด 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง และสามารถป้องกันการอ่านได้
- หน่วยความจำข้อมูลแบบอีอีพรอม สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ตัว สามารถต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทม์เมอร์ขนาด 32 บิต ได้
- โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 12 บิต มีความเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 100 Ksps
- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล
- สามารถรับและจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA

โดยลักษณะ โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014 แสดงได้ ดังรูป 2.17

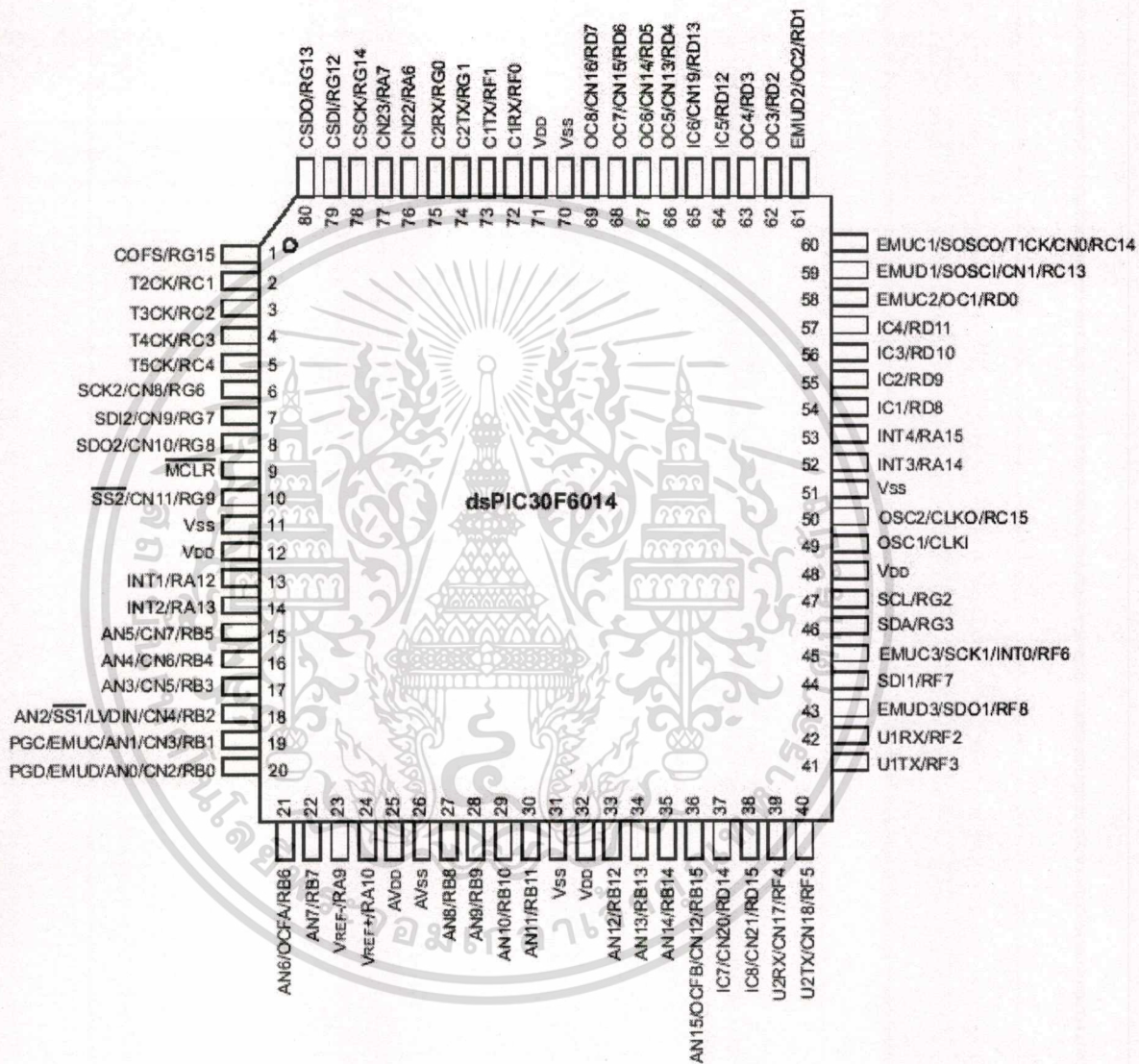


รูปที่ 2.17 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014 ประกอบด้วยพอร์ตที่ใช้งานทั้งหมด 6 พอร์ต คือ พอร์ต A พอร์ต B พอร์ต C พอร์ต D พอร์ต F และพอร์ต G สำหรับหน้าที่การทำงานของแต่ละขา แสดงดังรูปที่ 2.18



รูป 2.18 การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014

2.13 ระบบบัสยูเอสบี

ระบบบัสยูเอสบี(USB Bus) เป็นระบบบัสที่ถูกรออกแบบมาให้มีความง่ายในการเชื่อมต่อ และมีประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์รอบข้างหลาย ๆ ชนิด โดยปราศจากข้อจำกัด และการขัดขวางของการอินเตอร์เฟสทางด้านฮาร์ดแวร์(Hardware) การกำหนดค่าทางด้านฮาร์ดแวร์ และตั้งค่าการทำงานต่าง ๆ ในระบบบัสยูเอสบีจะถูกกระทำโดยระบบปฏิบัติการอย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้การเชื่อมต่ออุปกรณ์ยูเอสบีเข้ากับระบบสามารถทำในขณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์ยังคงทำงานอยู่ได้ ซึ่งการใช้งานลักษณะนี้เรียกว่าของระบบปลั๊กแอนด์เพลย์ (Plug and Play) และใน ส่วนของการเพิ่มจำนวนพอร์ตการสื่อสารข้อมูลก็สามารถทำได้โดยง่าย ด้วยการใช้อูเอสบีฮับ (USB Hub) มาต่อพ่วงเข้ากับระบบ

จุดเด่นหลัก ๆ ของระบบบัส USB ได้แก่

- ผู้ใช้สามารถนำอุปกรณ์ I/O มาต่อเข้ากับพอร์ต USB ในขณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์ กำลังทำงานอยู่ได้ (Hot-Pluggable)
- ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งระบบคอมพิวเตอร์จะสามารถรู้จัก และจดจำอุปกรณ์ I/O ที่ ถูกนำมาต่อเข้าไปในระบบโดยผ่านทางไดไวซ์ไดรเวอร์(Device Driver) ที่ เหมาะสม และการตั้งค่าต่าง ๆ จะเป็นไปอย่างอัตโนมัติ
- ลดความสับสนของการเชื่อมต่อด้วยการใช้คอนเน็คเตอร์เพียงชนิดเดียว
- ประสิทธิภาพการส่งถ่ายข้อมูลมีความเร็วสูงสุด 480 เมกะบิตต่อวินาทีสำหรับ อุปกรณ์แบบความเร็วสูง(Hi Speed) ซึ่งสูงกว่าพอร์ตขนานและอนุกรมหลายเท่า
- สามารถต่ออุปกรณ์ได้สูงสุด 127 ตัว
- สายเคเบิลที่ใช้เชื่อมต่อจะมีสายของแหล่งจ่ายไฟในตัวด้วย
- มีการตรวจจับและแกะไขความผิดพลาดของข้อมูลอย่างอัตโนมัติ

การส่งข้อมูลภายในบัสยูเอสบีเป็นการส่งข้อมูลที่มีรูปแบบการเชื่อมต่อในระบบบัส คือ อุปกรณ์ทุกๆตัวจะต้องส่งสัญญาณรวมกันไปในสายส่งสัญญาณเพียงคู่เดียว ดังนั้นอุปกรณ์ทุกๆตัว ที่เชื่อมต่อกับบัสจะต้องส่งข้อมูลเรียงลำดับกันไป เพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของข้อมูล และเนื่องจาก บัสยูเอสบีเป็นระบบบัสที่ใช้สายส่งสัญญาณเพียงคู่เดียว (2 เส้น) ทำให้ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ จะมี ข้อมูลวิ่งไปได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ไม่สามารถเกิดการรับและส่งข้อมูลไปในเวลาเดียวกันได้ หรือที่เรียกกันว่า การส่งข้อมูลแบบ ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)

จึงหะการรับส่งข้อมูลของระบบบัสยูเอสบีทั้งหมด จะถูกควบคุมจาก โฮสต์ (host) ซึ่งก็คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นจุดรวมของอุปกรณ์ทุกตัวที่เชื่อมต่ออยู่นั่นเอง ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อ เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องให้รับหรือส่งข้อมูลถึงกันได้โดยตรงเพราะถ้าคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่เป็นโฮสต์ทั้งคู่จะเกิดการชนกันของข้อมูลภายในบัส เนื่องจากแต่ละเครื่องก็พยายามกำหนดจังหวะในการรับส่งของตัวเองขึ้นมา ดังนั้นการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง เข้าด้วยกันผ่านยูเอสบี จะต้องมียูปรกรณ์ที่เป็นตัวกลางเพื่อซิงโครไนซ์ตัวเองเข้ากับ โฮสต์ทั้งสองให้ได้

การรับส่งข้อมูลจะถูกกำหนดเป็นเฟรม (Frame) โดยทุก ๆ 1 มิลลิวินาที (ms) จะเกิดการรับส่งข้อมูลขึ้น 1 เฟรม ในแต่ละเฟรมจะแบ่งย่อยเป็นแพ็กเก็ต (Packet) เริ่มต้นการทำงานของแต่ละเฟรม โดยโฮสต์จะส่งสัญญาณเริ่มต้นเฟรม หรือ SOF (Start Of Frame) ออกไปเพื่อให้อุปกรณ์ทุกตัวรู้จังหวะการเริ่มเฟรม หลังจากนั้นโฮสต์จะเริ่มส่งหรือรับข้อมูลต่าง ๆ ตามที่ได้จัดลำดับความสำคัญไว้ อุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ภายในบัสจะต้องทำงานตามจังหวะที่โฮสต์กำหนดไว้เท่านั้นการส่งข้อมูลกลับไปยังโฮสต์จะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อได้รับการถามหรือการร้องขอจากโฮสต์

แต่เนื่องจากแต่ละเฟรมข้อมูลจะต้องรับส่งให้เสร็จภายใน 1 มิลลิวินาทีนั้นหมายความว่าข้อมูลของอุปกรณ์ทุกๆ ตัวที่เชื่อมต่อกับบัสจะต้องถูกกำหนดขนาดไม่ให้ใหญ่เกินกว่าจะสามารถรับส่งข้อมูลได้ภายใน 1 มิลลิวินาที และเล็กพอที่จะทำให้ให้อุปกรณ์ทุกๆ ตัว สามารถใช้งานบัสไปพร้อมๆ กันดังนั้นในระบบบัส USB จำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ (Software) ที่เข้ามาจัดการในด้านนี้ และใช้ฮาร์ดแวร์ที่คอยกระจายการส่งและการรวบรวมการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ทุกๆ ตัวในระบบ ซึ่งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นสำหรับระบบยูเอสบี มีดังนี้

ส่วนซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย

- ไดรเวอร์อุปกรณ์ยูเอสบี (USB Device Drivers)
- ไดรเวอร์ยูเอสบี (USB Drivers)
- ไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์ (USB Host Controller Drivers)

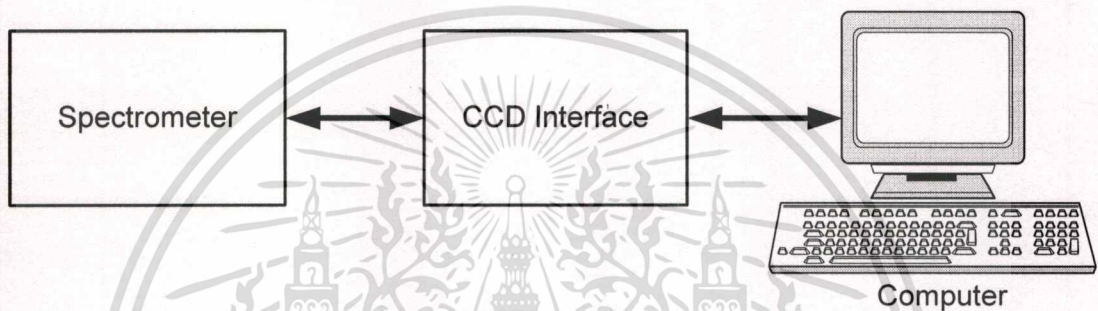
ส่วนฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย

- ยูเอสบีโฮสต์คอนโทรลเลอร์ (USB host controller) / รูดฮับ (root hub)
- ยูเอสบีฮับ (USB hub)
- อุปกรณ์ยูเอสบี (USB device)

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

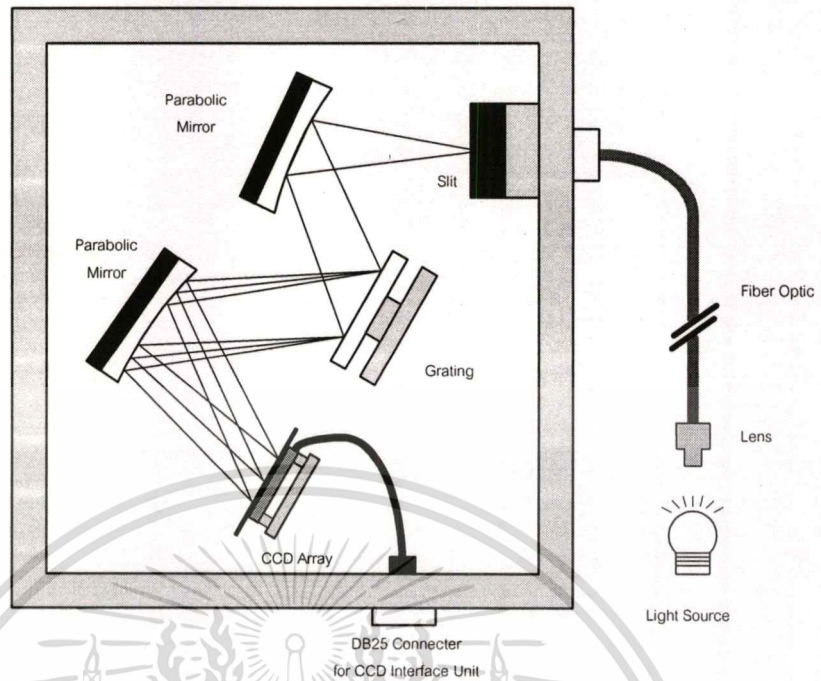
งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนของชุดสเปกโทรมิเตอร์ ส่วนของระบบควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์และส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยระบบวัดสเปกโทรมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบวัดสเปกโทรมิเตอร์

3.1 ชุดสเปกโทรมิเตอร์

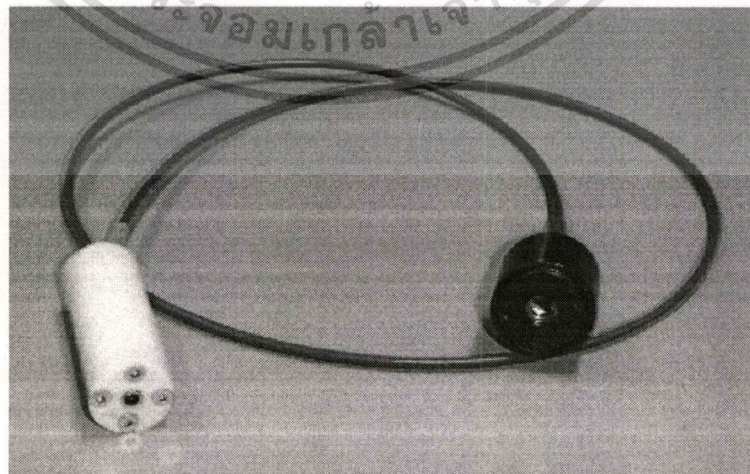
ในส่วนของชุดสเปกโทรมิเตอร์นั้นทำหน้าที่ในการแยกสเปกตรัมของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของแสงของเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating) ให้แสงที่ผ่านการเลี้ยวเบนแล้วตกลงบนช่องรับแสง (Window) ของซีซีดีแอร์เรย์ ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดสเปกโทรมิเตอร์ประกอบด้วย สายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) เกรตติงเลี้ยวเบน กระจกเว้าพาราโบลา (Off-Axis Parabolic Mirror) และตัวตรวจวัดความเข้มแสงซีซีดีแอร์เรย์ โดยโครงสร้างของชุดสเปกโทรมิเตอร์ทั้งหมดนั้นจะถูกบรรจุอยู่ในกล่องอลูมิเนียมสีดำ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของชุดสเปกโตรมิเตอร์

3.1.1 สายใยแก้วนำแสง

สายใยแก้วนำแสงทำหน้าที่นำแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงเข้ามาในระบบรวมทั้งป้องกันแสงจากภายนอกที่ไม่ต้องการ และยังช่วยให้สามารถวัดแสงจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ห่างจากชุดสเปกโตรมิเตอร์ ได้ง่ายอีกด้วย สายใยแก้วนำแสงที่ใช้เป็นแบบหลายโหมด (Multi mode) มีเลนส์รวมแสงที่ปลายด้านหนึ่ง ลักษณะดังรูปที่ 3.3

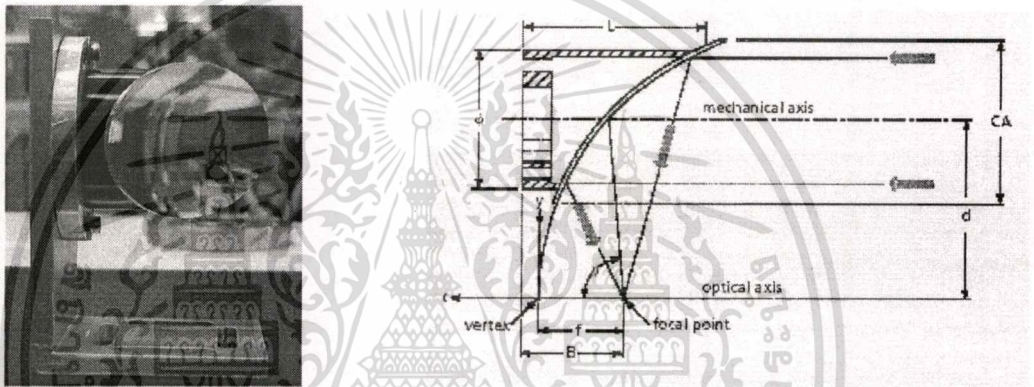


รูปที่ 3.3 สายใยแก้วนำแสงพร้อมเลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 กระจกเว้าพาราโบล

กระจกเว้าพาราโบลานำมาใช้ในระบบมีจำนวน 2 บาน โดยบานแรกทำหน้าที่ปรับโฟกัสลำแสง จากสายใยแก้วนำแสงให้เป็นลำแสงขนาน(Collimate Beam) ตกกระทบเกรตติงเลี้ยวเบน ส่วนกระจกบานที่ 2 นั้น จะทำหน้าที่โฟกัสลำแสงที่เลี้ยวเบนจากเกรตติงไปตกที่ช่องรับแสงของซีซีดีแอร์เรย์ให้สเปกตรัมของแสงที่วัดได้มีความคมชัด ซึ่งการใช้กระจกเว้าสะท้อนแสงมีข้อดีคือ แสงบางความยาวคลื่น ไม่ถูกดูดกลืนเหมือนกับการใช้เลนส์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้กระจกเว้าพาราโบลามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 ± 0.25 mm และมีความยาวโฟกัส 59.7 ± 0.13 mm แบบ 90° Off-axis มีลักษณะดังรูปที่ 3.4

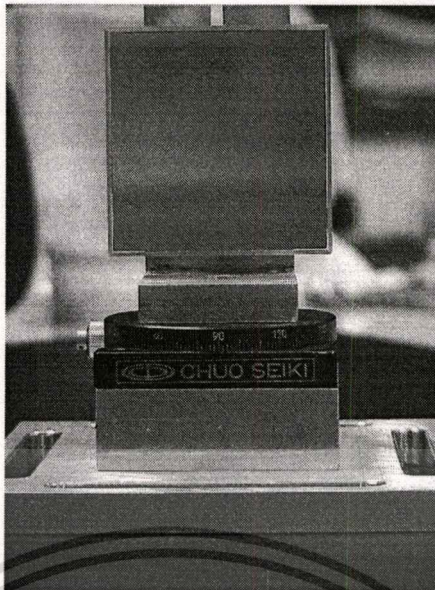


รูปที่ 3.4 กระจกเว้าพาราโบล

3.1.3 เกรตติงเลี้ยวเบน

เกรตติงเลี้ยวเบนทำหน้าที่ในการแยกสเปกตรัมของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งในการเลือกใช้เกรตติงเลี้ยวเบนนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ เช่นในเรื่องของจำนวนช่อง (Groove) ค่ากำลังในการแยก (Dispersion Power) และขนาดของพื้นที่หน้าตัดของเกรตติงเลี้ยวเบนด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเกรตติงเลี้ยวเบนนั้นมีราคาสูงมากดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบดังกล่าวก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยสิ่งแรกที่ควรพิจารณาถึงคือ เรื่องของลำแสงที่มาตกกระทบ(Incidence Beam) บนเกรตติง และมุมในการสะท้อนของแสง (Reflection Angle) ทั้งนี้เนื่องจากจะต้องมีการคำนวณถึงขนาดของลำแสงที่จะตกลงบนเกรตติงด้วยโดยถ้าขนาดของแสงที่ตกลงบนเกรตติงนั้นมีขนาดที่ใหญ่กว่าพื้นที่หน้าตัดของเกรตติงแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลงได้ซึ่งเกรตติงเลี้ยวเบนที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เกรตติงเลี้ยวเบนแบบสะท้อนแสง โดยมีจำนวนของช่องเท่ากับ 600 เส้นต่อมิลลิเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เกรตติงเลี้ยวเบน

ในส่วนของกำลังในการแยกแสงของเกรตติง หมายถึงความสามารถในการแยกชัดของเส้นสเปกตรัมในอันดับเดียวกันที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกัน นิยามกำลังในการแยกแสงของเกรตติง (R) ที่ใช้ในระบบการวัดสเปกตรัมของแสงด้วยซีซีดีแอร์เรย์ได้ดังนี้

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN \quad (3.1)$$

โดย λ คือ ความยาวคลื่นแสง (Wavelength)
 $\Delta\lambda$ คือ ความยาวคลื่นของสเปกตรัม 2 เส้นที่ต่างกันน้อยที่สุดที่สามารถแยกได้
 m คือ อันดับการเลี้ยวเบน (Order)
 N คือ จำนวนร่องบนเกรตติงที่แสงตกกระทบ

สเปกโตรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น ใช้เกรตติงที่มีขนาดช่อง 600 ช่องต่อมิลลิเมตร และความกว้างของลำแสงที่ตกกระทบเกรตติงมีขนาด 25 มิลลิเมตร จะได้

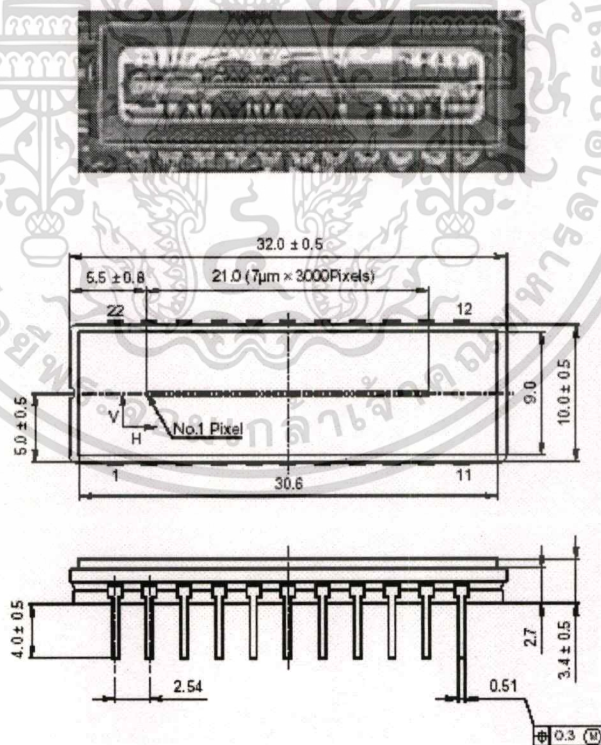
$$\begin{aligned} N &= (600 \text{ ช่องต่อมิลลิเมตร}) \times (25 \text{ มิลลิเมตร}) \\ &= 15,000 \\ R &= 1 \times 15,000 \quad (\text{เมื่อ } m = 1) \\ &= 15,000 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ที่คำนวณได้นี้ ทำให้ทราบว่าเกรตติงเลี้ยวเบนที่ใช้ในระบบการวัดนั้นมีค่าของกำลังในการแยกแแสงของเกรตติงอยู่ในระดับสูง (High Resolution) โดยถ้าผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีค่ากำลังในการแยกแแสงของเกรตติงที่ต่ำกว่า 1000 หมายความว่าค่ากำลังในการแยกแแสงของเกรตติงนั้นอยู่ในระดับที่ต่ำ (Low Resolution) และถ้าค่ากำลังในการแยกแแสงของเกรตติงอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 5000 แต่มากกว่า 1000 หมายความว่าค่ากำลังในการแยกแแสงของเกรตติงนั้นอยู่ในระดับปานกลาง (Medium Resolution) แต่ถ้ามากกว่า 5000 ขึ้นไปจะถือว่าค่ากำลังในการแยกแแสงของเกรตติงนั้นอยู่ในระดับที่สูง (High Resolution) ดังนั้นค่าของกำลังในการแยกแแสงของเกรตติงที่ใช้ในการทดลองนี้จึงถือว่าสามารถที่จะนำมาใช้งานได้

3.1.4 ตัวตรวจวัดความเข้มแสง

ตัวตรวจวัดความเข้มแสง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ซีซีดีแอร์เรย์รุ่น ILX526A บริษัทโซนี่ มีขนาด 3,000 พิกเซล แต่ละพิกเซลมีขนาด $7 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ มีระยะห่างระหว่างพิกเซล $7 \mu\text{m}$ มีความไวในการรับแสง $300 \text{ V}/(\text{lx}\cdot\text{s})$ และมีฟังก์ชันเปิด-ปิด (Shutter) ช่วงเวลารับแสง โดยตัวซีซีดีแอร์เรย์มีลักษณะดังรูปที่ 3.6

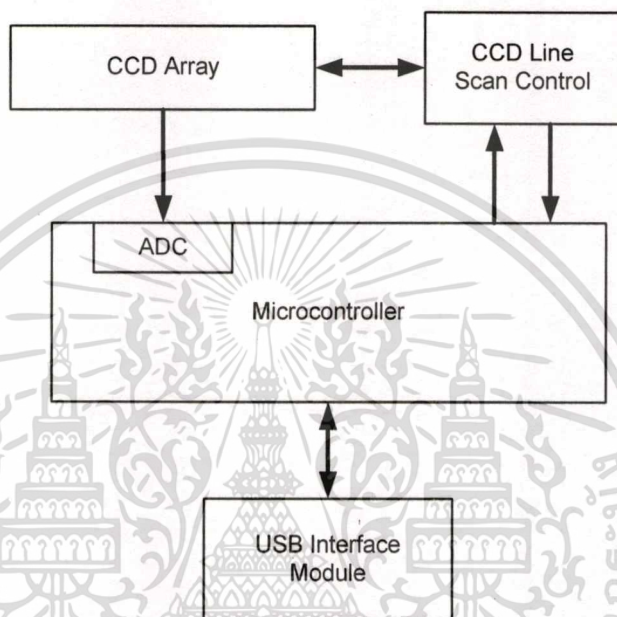


รูปที่ 3.6 ซีซีดีแอร์เรย์ ILX526A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์

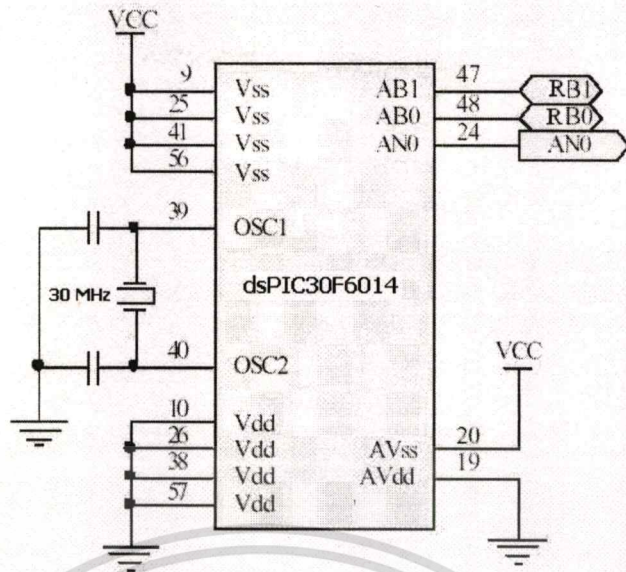
ในส่วนขอระบบควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์นั้น จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ dsPIC30F6014 เป็นส่วนควบคุมหลักเชื่อมต่อกับส่วนอื่นๆ คือ ซีซีดีแอร์เรย์ ส่วนควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์(CCD Line Scan Control) และส่วนเชื่อมต่อกับระบบบัส ยูเอสบี (USB Interface) แสดงดังรูปที่ 3.7



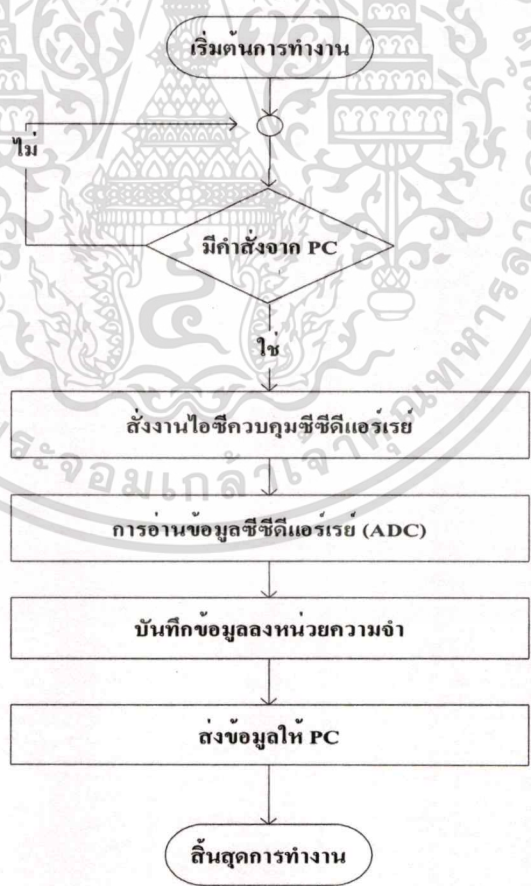
รูปที่ 3.7 ระบบควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์

3.2.1 ส่วนควบคุมหลัก

ส่วนควบคุมหลักจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014 ควบคุมการทำงานเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อรับคำสั่งอ่านค่าจากซีซีดีแอร์เรย์ โดยในส่วนการควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์จะทำการส่งงานผ่านไอซีควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์เบอร์ CLS526 โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014 มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC) อยู่ในตัวขนาด 12 บิต สำหรับอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากแต่ละพิกเซลของซีซีดีแอร์เรย์แล้วเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 6,000 ไบต์ เมื่อเก็บข้อมูลจนครบ 3,000 พิกเซลก็จะส่งข้อมูลกลับไปให้โปรแกรมบนไมโครคอมพิวเตอร์ไปประมวลผลต่อไป ดังวงจรรูปที่ 3.8 และ ขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 วงจรการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014

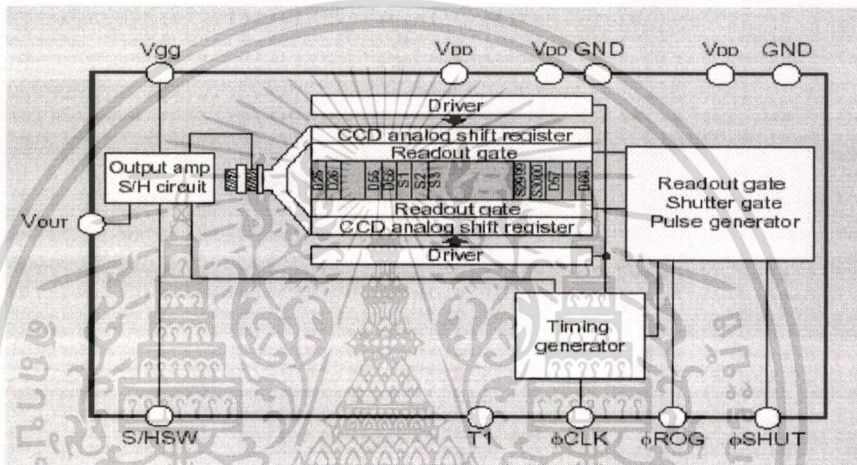


รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6014

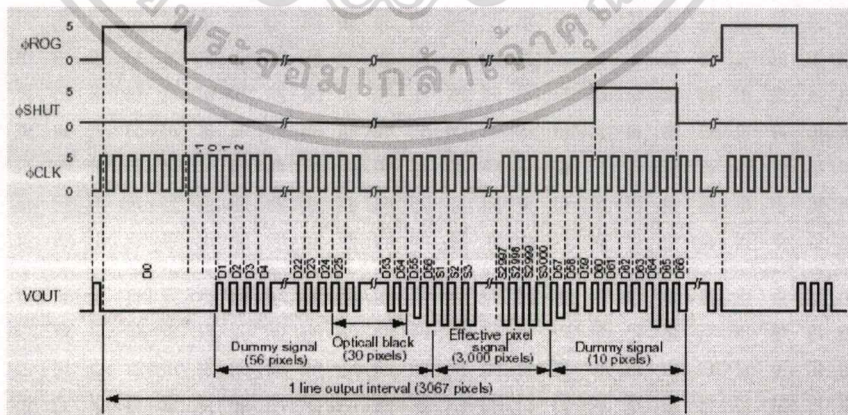
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ซีซีดีแอร์เรย์

ซีซีดีแอร์เรย์ ที่นำมาใช้งานนี้เป็นรุ่น ILX526A มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.10 สัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการทำงานอยู่ในช่วงความถี่ 100 kHz ถึง 1 MHz โดยให้แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทสูงสุดที่ 2.5 โวลต์เมื่อไม่มีแสงตกกระทบและเอาท์พุทต่ำสุดที่ 0 โวลต์เมื่อรับแสงและสะสมประจุได้เต็มที่ โดยซีซีดีแอร์เรย์ประกอบด้วยหน่วยรับแสงจำนวน 3,000 พิกเซล ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการสะสมประจุในแต่ละพิกเซล จะถูกเลื่อนออกมาแบบอนุกรมตามสัญญาณนาฬิกาควบคุม จำนวน 3 ขา คือ ϕ ROG ϕ SHUT และ ϕ CLK โดยขา ϕ SHUT ใช้กำหนดช่วงเวลาในการสะสมประจุ(Integration Time) ของซีซีดีแอร์เรย์ สำหรับการทำงานของสัญญาณนาฬิกา แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 โครงสร้างซีซีดีแอร์เรย์ ILX526A

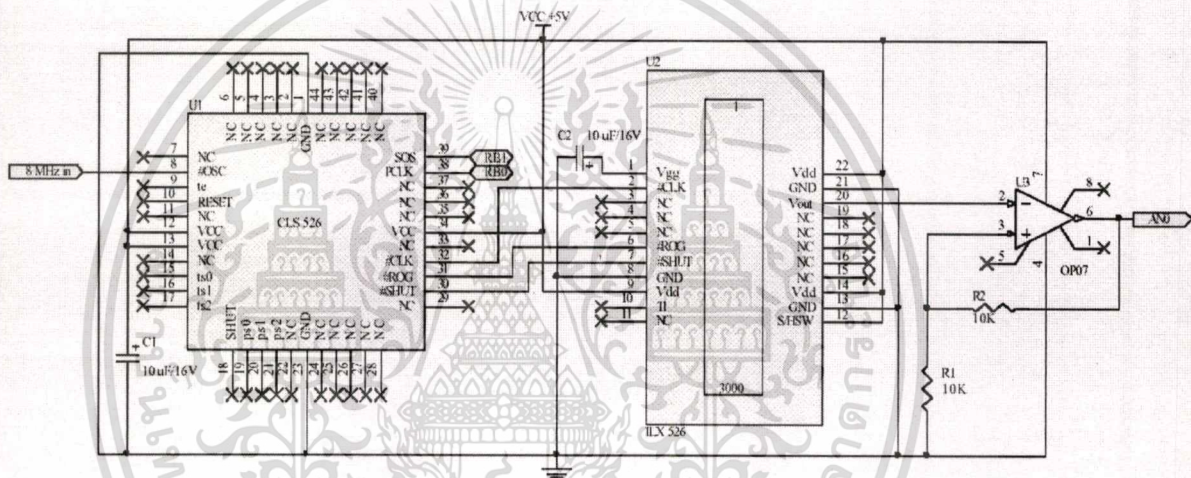


รูปที่ 3.11 จังหวะการทำงานของสัญญาณนาฬิกาของซีซีดีแอร์เรย์ ILX526A

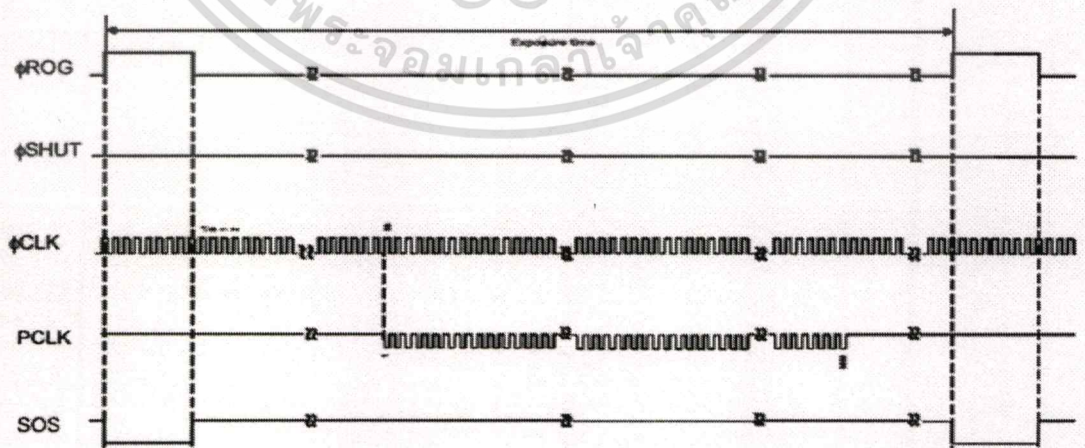
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ส่วนควบคุมการทำงานซีซีดีแอร์เรย์

ส่วนควบคุมการทำงานซีซีดีแอร์เรย์ ใช้ไอซีรุ่น CLS526 ของบริษัท KHS Instrument ออกแบบมาใช้ควบคุมการทำงานของซีซีดีแอร์เรย์ ILX526A โดยเฉพาะ มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.12 โดยใช้สัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 8 MHz มีขาอินพุตรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมช่วงเวลาในการสะสมประจุของซีซีดีแอร์เรย์ คือ SHUT ts0 ts1 และ ts2 และขาสัญญาณเอาพุต ϕ ROG ϕ SHUT และ ϕ CLK สำหรับควบคุมซีซีดีแอร์เรย์โดยสามารถเลือกความถี่ ϕ CLK ได้จากขา ps0 ps1 และ ps2 คือ 125 kHz 250 kHz 500 kHz และ 1 MHz สำหรับในการอ่านค่าของไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้สัญญาณจากขา SOS และ PCLK ซึ่งจะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับจังหวะที่แรงดันไฟฟ้าที่ถูกเลื่อนออกมาจากซีซีดีแอร์เรย์ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 วงจรการทำงานของไอซี CLS526

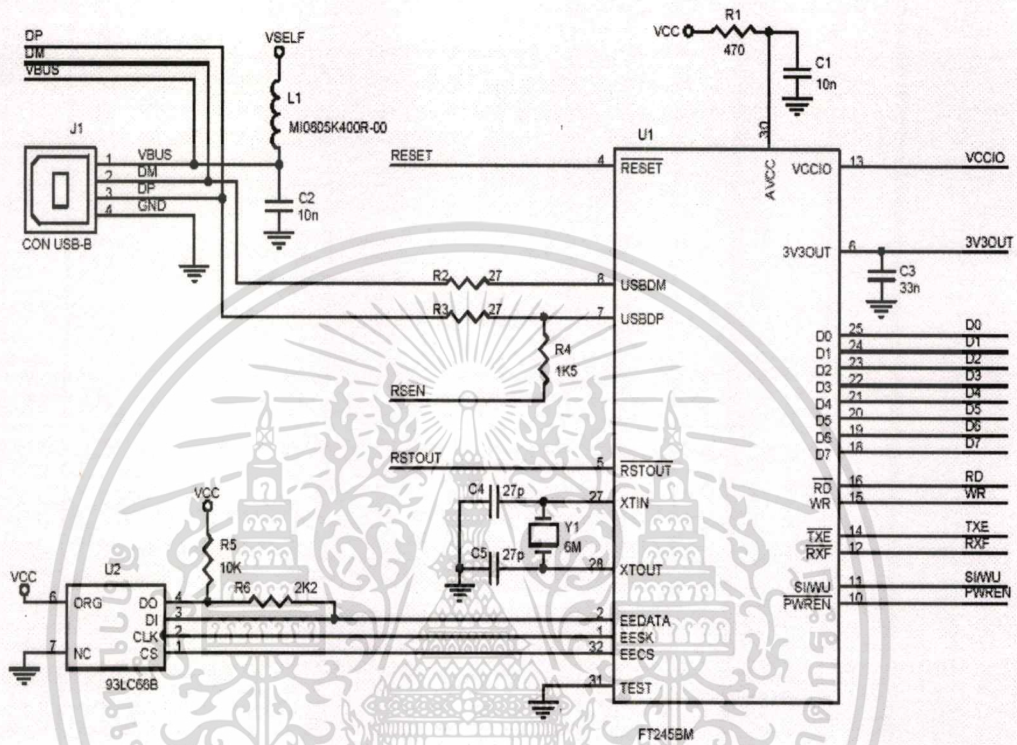


รูปที่ 3.13 จังหวะการทำงานของสัญญาณนาฬิกาของไอซี CLS526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

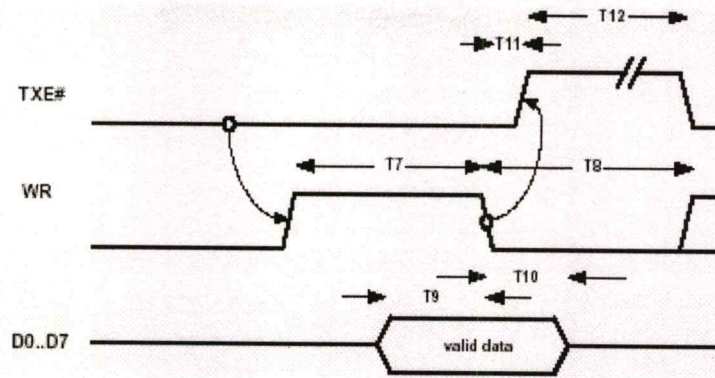
3.2.4 ส่วนเชื่อมต่อกับระบบบัสยูเอสบี

ส่วนเชื่อมต่อกับระบบบัสยูเอสบี ใช้ไอซีรุ่น FT245BM ของบริษัท FTDI Chip สำหรับเชื่อมต่อยูเอสบี กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านทางขาข้อมูล 8 บิต (D0 – D7) และขาควบคุมจำนวน 4 เส้น คือ #TXE #RXF WR และ RD ดังรูปที่ 3.14



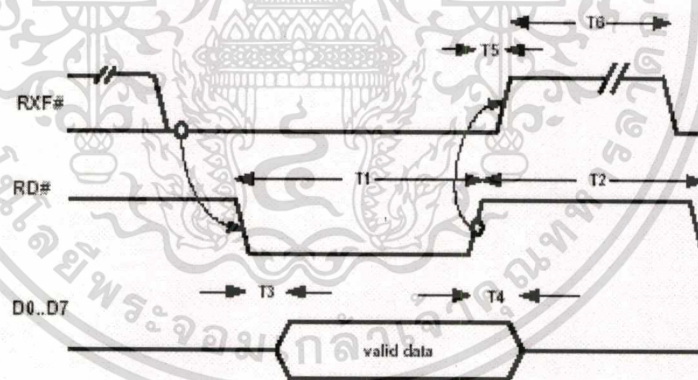
รูปที่ 3.14 วงจรการทำงานของไอซี FT245BM

ในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ผ่านทางขาข้อมูล ในขณะที่ขา #TXE เป็นลอจิกต่ำ และขา WR เป็นลอจิกสูง ดังรูปที่ 3.15 โดยถ้าบัพเฟอร์ด้านส่งซึ่งมีขนาด 384 ไบต์ ถูกเขียนข้อมูลเต็มแล้ว ขา #TXE จะเป็นลอจิกสูงจนกว่าข้อมูลในบัพเฟอร์จะถูกส่งผ่านสายยูเอสบี ไปยังคอมพิวเตอร์หมดแล้ว



รูปที่ 3.15 การเขียนข้อมูลไปยังไอซี FT245BM

เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลผ่านสายยูเอสบี มาที่ไอซี FT245BM จะทำให้ขา #RXF อยู่ในสภาวะลอจิกต่ำเพื่อเป็นการบอกว่ขณะนั้นมีข้อมูลอย่างน้อย 1 ไบต์ในบัฟเฟอร์ด้านรับ ซึ่งมีขนาด 128 ไบต์ พร้อมให้สามารถทำการอ่านออกไปได้โดยให้ขา RD เป็นลอจิกต่ำ ดังรูปที่ 3.16 ข้อมูลสามารถอ่านได้จนกระทั่งขา #RXF จะเป็นลอจิกสูงซึ่งบ่งบอกว่าข้อมูลในบัฟเฟอร์ถูกอ่านหมดแล้ว



รูปที่ 3.16 การอ่านข้อมูลจากไอซี FT245BM

3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล

โปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์พัฒนาโดยใช้ วิชาลเบสิก 6.0 ควบคุมการทำงานและรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัสยูเอสบีไอใช้งานคำสั่งผ่าน D2XX ไดรฟ์ไดร์เวอร์ และนำข้อมูลที่ได้มาแสดงผลเป็นกราฟ โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล

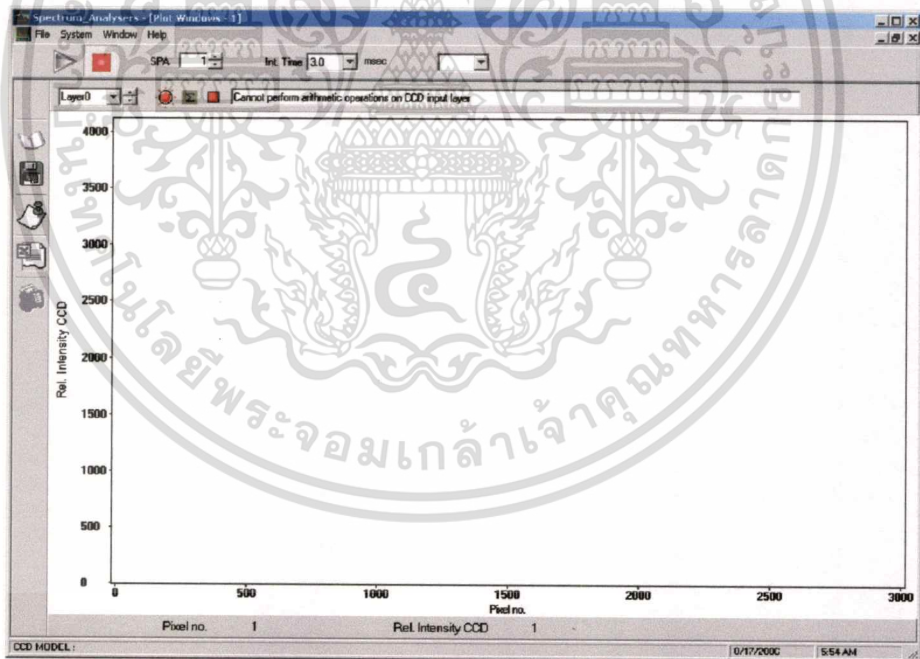
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การสอบเทียบสเปกตรัมสเปกโตรมิเตอร์

ในขั้นตอนแรกของการใช้งานสเปกโตรมิเตอร์นั้นจะต้องทำการสอบเทียบสเปกตรัมก่อน โดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ทราบค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนเป็นตัวสอบเทียบ ในงานวิจัยนี้ใช้เส้นสเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอน(HgAr) และสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน(He-Ne Laser) เป็นมาตรฐานในการปรับเทียบ โดยขั้นตอนในการทดลองวัดและการสอบเทียบสเปกตรัมแสงด้วยซีซีดีอาร์เรย์ สามารถทำได้ดังนี้

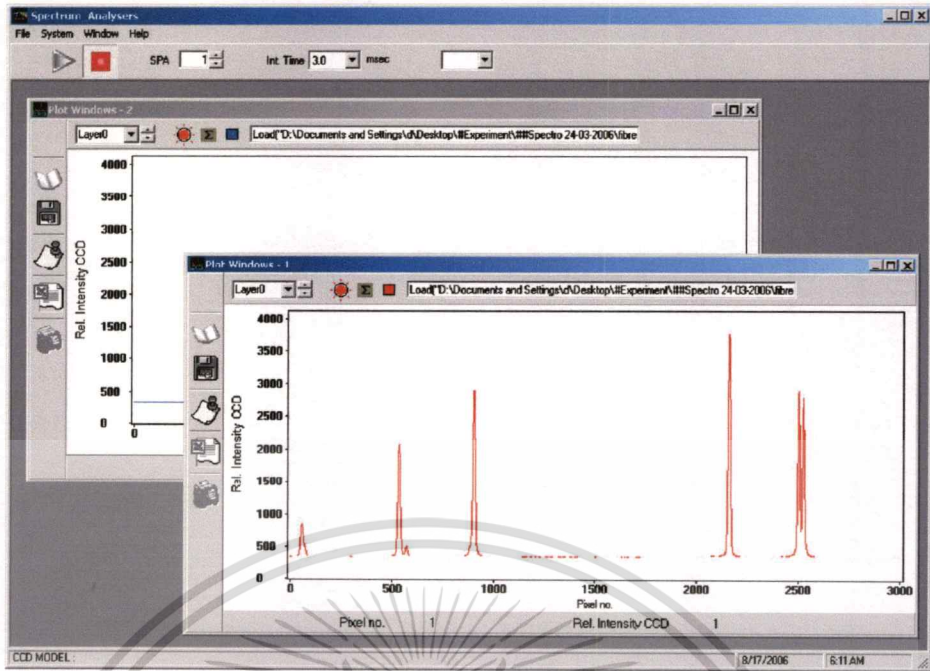
1. เปิดเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และแหล่งกำเนิดแสงที่ต้องการวัดสเปกตรัม
2. เปิดโปรแกรม Spectrum Analyzer ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โปรแกรม Spectrum Analyzer

3. ทำการวัดสเปกตรัมของแบ็คกราวนด์และแหล่งกำเนิดแสง โดยแกน X แสดงค่าตำแหน่งพิกเซลของซีซีดีอาร์เรย์ และแกน Y แสดงค่าความเข้มของแสงที่ซีซีดีอาร์เรย์สามารถวัดได้ ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เส้นสเปกตรัมของแบคทีรารวน์และแหล่งกำเนิดแสง

4. ลบค่าของสเปกตรัมแหล่งกำเนิดแสงด้วยแบคทีรารวน์ จากนั้นบันทึกค่าตำแหน่งพิกเซลของพีคและความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมทุกเส้น โปรแกรมจะทำการคำนวณ โดยวิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อเปลี่ยนจากสเกลพิกเซลเป็นสเกลความยาวคลื่น ดังรูปที่ 4.3

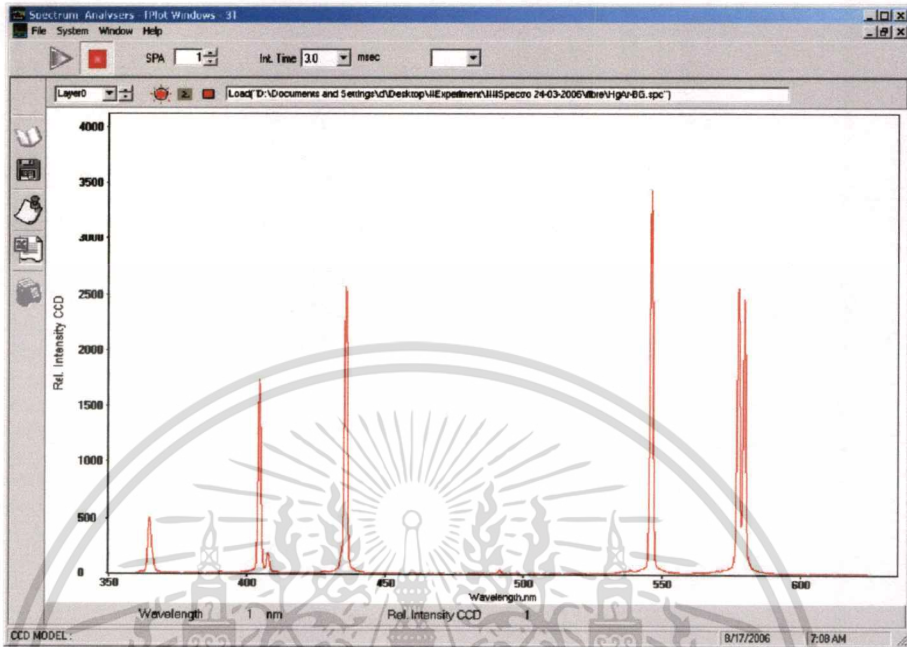
Pixel No.	Wavelength	Data Points
58	365.02	6
536	404.66	
906	435.84	
2162	546.07	
2503	577.96	
2526	579.07	

$y = 2.01E-10x^3 + 1.40E-06x^2 + 8.20E-02x^1 + 3.60E+02$

รูปที่ 4.3 การป้อนค่าสอบเทียบระหว่างตำแหน่งพิกเซลกับความยาวคลื่น

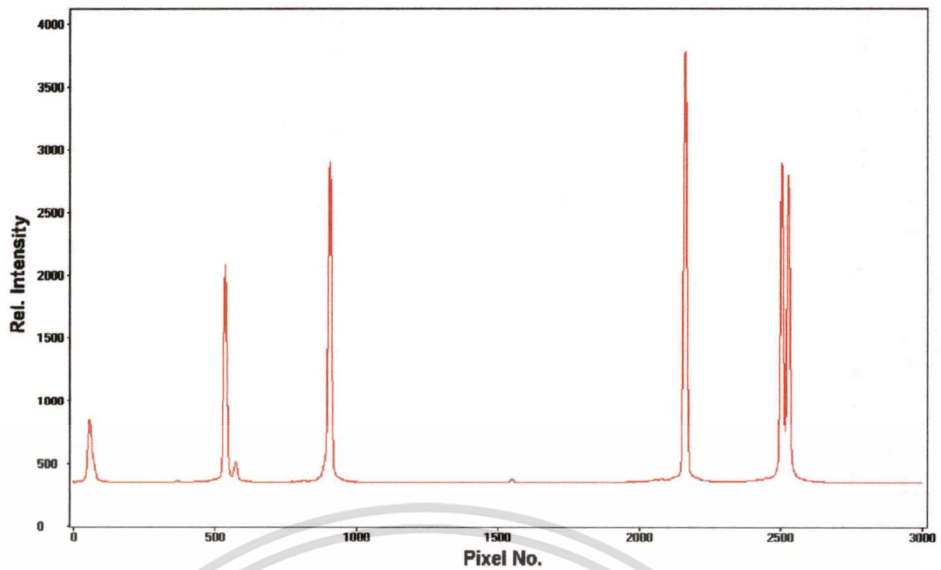
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อสอบเทียบสเกลเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมแสดงผลเส้นสเปกตรัมโดยเปลี่ยนแกน X แสดงค่าความยาวคลื่น ดังรูปที่ 4.4



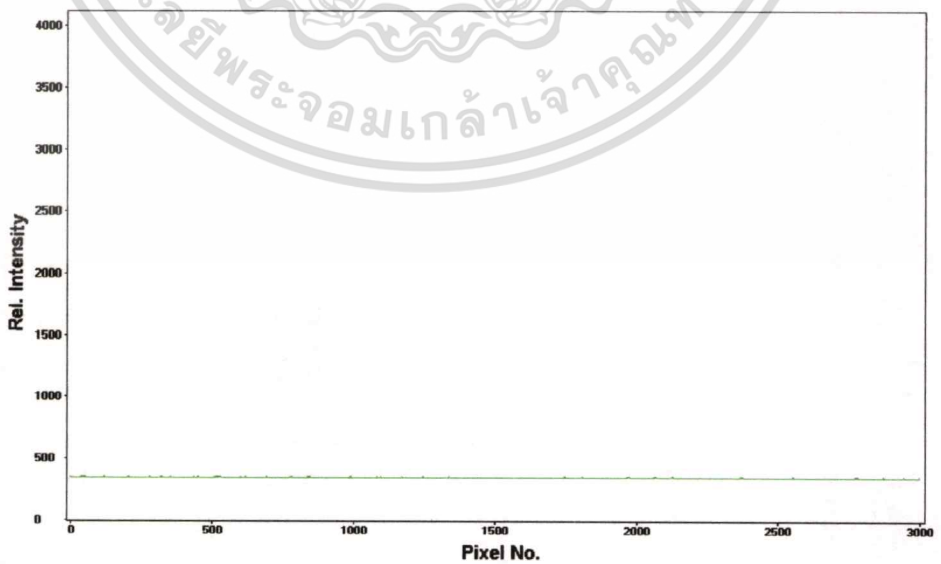
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงหลังสอบเทียบสเกลแล้ว

4.1.1 การสอบเทียบสเกลสเปกโตรมิเตอร์โดยใช้เส้นสเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอน การสอบเทียบสเกลโดยใช้เส้นสเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอน(HgAr) เป็นมาตรฐาน ในการสอบเทียบ ซึ่งหลอดสอบเทียบดังกล่าวนี้จะให้ค่าสเปกตรัมของความยาวคลื่นแสง คือ 365.02 นาโนเมตร 404.66 นาโนเมตร 435.84 นาโนเมตร 546.07 นาโนเมตร 577.96 นาโนเมตร และ 579.07 นาโนเมตรผลการวัดสเปกตรัมแสงของหลอดไอปรอทอาร์กอน แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอน

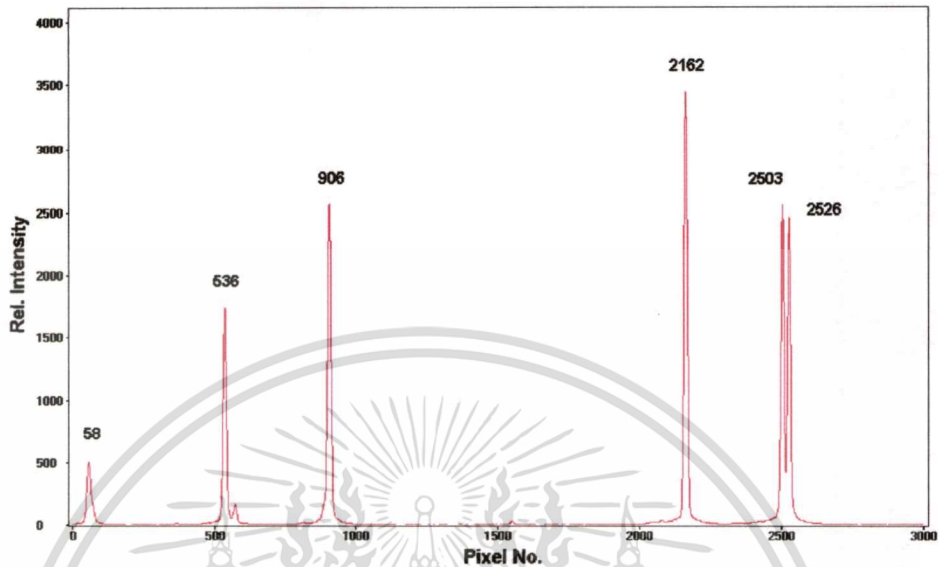
จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมแสงในลักษณะที่ยังมีค่าเบี่ยงเบนอยู่ ซึ่งในระบบการวัดที่ดีนี้จะต้องทำการกำจัดเบี่ยงเบนนี้ออก ดังนั้นจึงต้องมีการนำออสเปกตรัมของเบี่ยงเบนที่วัดได้มาลบกับสเปกตรัมแสงที่วัดได้ดังรูปที่ 4.5 การบันทึกสเปกตรัมของเบี่ยงเบนทำโดยการบันทึกสเปกตรัมในขณะที่ปิดแสงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยสเปกตรัมของเบี่ยงเบนที่วัดได้แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของเบี่ยงเบน

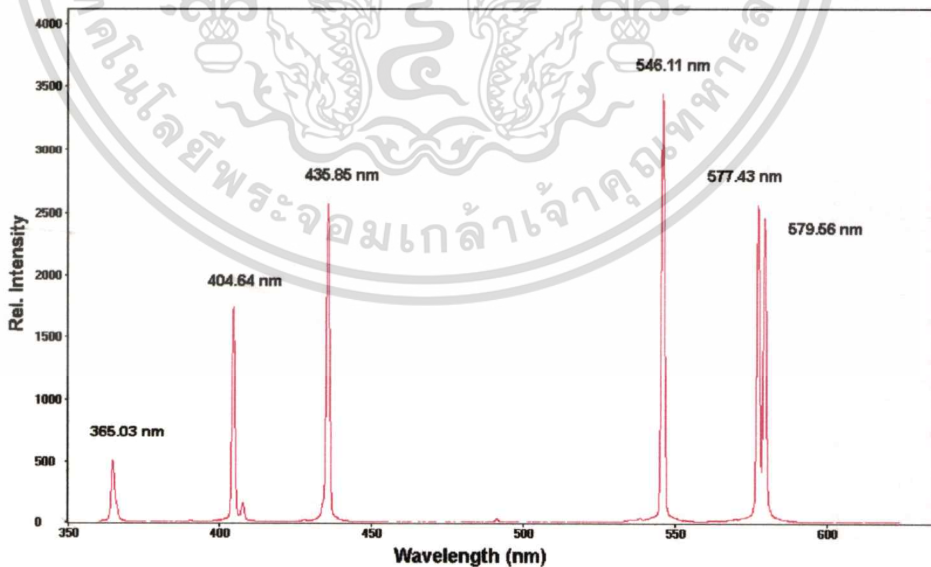
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นให้โปรแกรมทำการลบค่าของสเปกตรัมที่วัดได้ในครั้งแรกจากรูปที่ 4.5 กับสเปกตรัมของแบ็คกราวด์จากรูปที่ 4.6 จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนหลังลบแบ็คกราวด์แล้ว

หลังจากทำการสอบเทียบสเกลเป็นความยาวคลื่นแล้วจะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนหลังสอบเทียบสเกลแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และได้สมการของการสอบเทียบสเกลระหว่าง แกน X แสดงค่าตำแหน่งพิกเซลของซีซีดีอาร์เรย์ และแกน Y แสดงค่าความคลื่นแสงที่ตำแหน่งพิกเซลของซีซีดีอาร์เรย์นั้น คือ

$$Y = 2.01 \times 10^{-10} X^3 + 1.40 \times 10^{-6} X^2 + 8.20 \times 10^{-2} X + 3.60 \times 10^2 \quad (4.1)$$

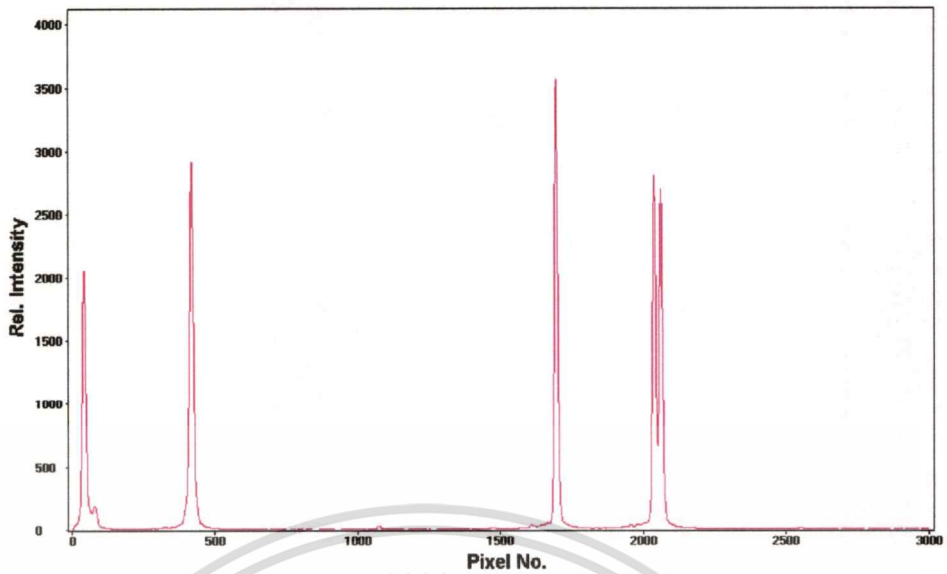
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการวัดสเปกตรัมแสงจากหลอดไอปรอทอาร์กอน

ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง	ค่าพิกเซล (pixel)	ค่าที่วัดได้ (nm)	ค่าจริง (nm)	ค่าคลาดเคลื่อน (nm)	เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (%)
หลอดไอปรอทอาร์กอน (HgAr Lamp)	58	365.03	365.02	-0.01	0.00
	536	404.64	404.66	-0.02	0.00
	906	435.85	435.84	-0.01	0.00
	2162	546.11	546.07	-0.04	-0.01
	2503	577.43	577.96	0.53	0.09
	2526	579.56	579.07	-0.49	-0.08

ข้อมูลของการวัดสเปกตรัมและการสอบเทียบความยาวคลื่นกับหลอดไอปรอทอาร์กอนดังกล่าว แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 จากการสอบเทียบพบว่าสเปกโตรมิเตอร์ถูกสอบเทียบให้ใช้งานได้ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 360-624 นาโนเมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.53 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ที่ความยาวคลื่น 577.96 นาโนเมตร

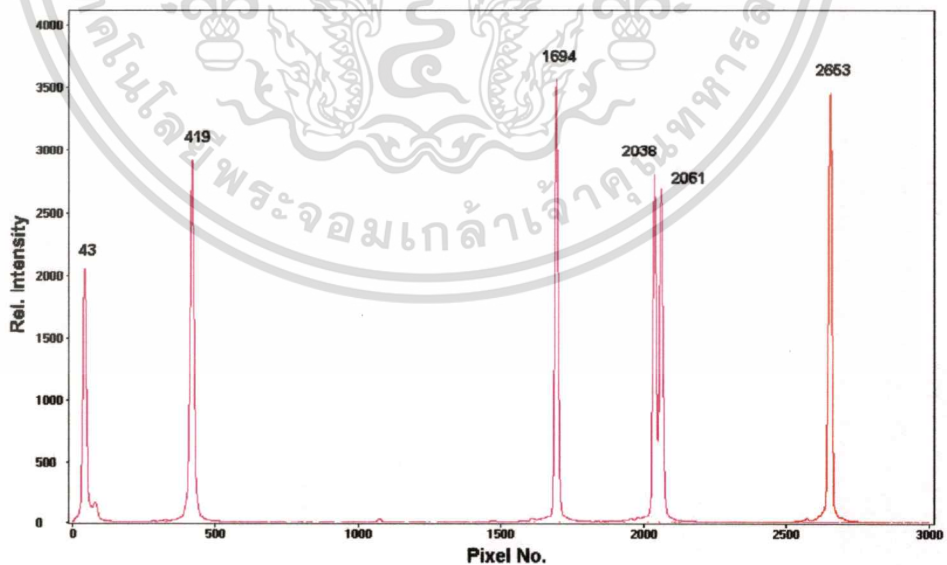
4.1.2 การสอบเทียบสเกลสเปกโตรมิเตอร์โดยใช้เส้นสเปกตรัมหลอดไอปรอทอาร์กอน และเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

เมื่อทำการทดลองจัดระบบสเปกโตรมิเตอร์ใหม่ โดยการปรับมุมของเกรตติงภายในสเปกโตรมิเตอร์เพื่อให้สเปกโตรมิเตอร์ทำงานได้ในย่านความยาวคลื่นที่สูงขึ้น ได้ผลการวัดดังรูปที่ 4.9



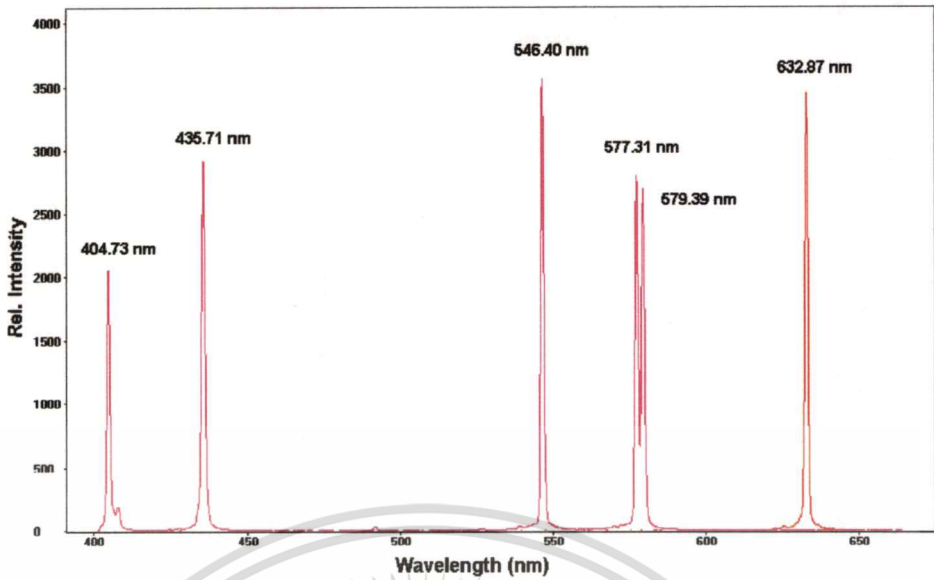
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทอาร์กอนหลังการจักระบบใหม่

จากดังรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าสเปกตรัมของหลอดไอปรอทที่มีความยาวคลื่น 365.02 นาโนเมตร หายไปทำให้ข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบสเกลหายไป 1 จุด ดังนั้นสามารถทำการเพิ่มจุดเปรียบเทียบโดยการวัดสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนรุ่น 1108p-3425 ของบริษัท Uniphase ที่มีพิคที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ได้ผลการวัดดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมหลอดไอปรอทอาร์กอนร่วมกับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

หลังจากทำการสอบเทียบสเกลเป็นความยาวคลื่นแล้วจะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.11 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมหลอดไอปรอทอาร์กอนและเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนหลังสอบเทียบสเกลแล้ว

ข้อมูลของการวัดสเปกตรัมและการสอบเทียบความยาวคลื่นกับหลอดไอปรอทอาร์กอน ร่วมกับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนแสดงไว้สมการที่ (4.2) และตารางที่ 4.2 จากการสอบเทียบพบว่า เปกโทรมิเตอร์ถูกสอบเทียบให้ใช้งานได้ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-660 นาโนเมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.65 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ที่ความยาวคลื่น 577.96 นาโนเมตร

$$Y = -4.83 \times 10^{-10} X^3 + 3.77 \times 10^{-6} X^2 + 8.07 \times 10^{-2} X + 4.01 \times 10^2 \quad (4.2)$$

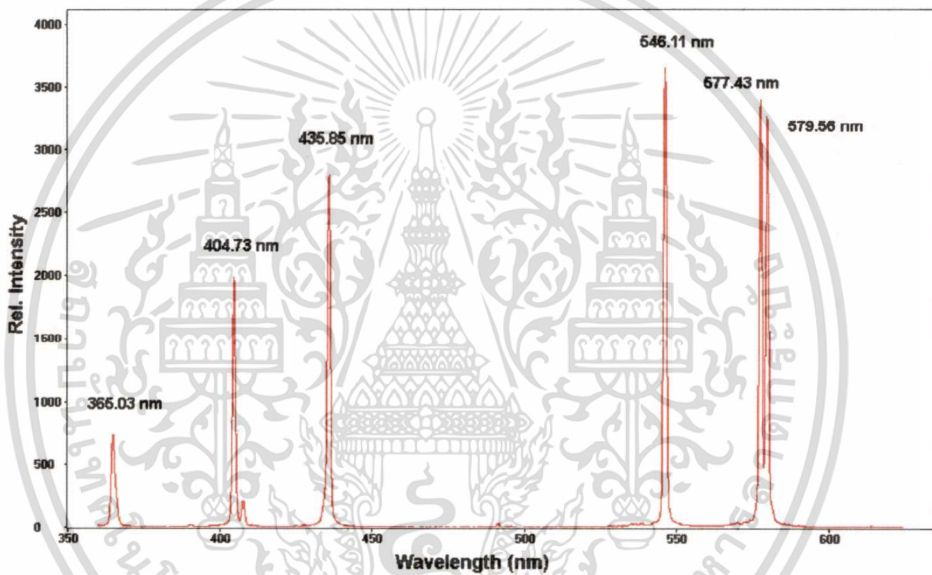
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการวัดสเปกตรัมแสงจากหลอดไอปรอทอาร์กอนและเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง	ค่าพิกเซล (pixel)	ค่าที่วัดได้ (nm)	ค่าจริง (nm)	ค่าคลาดเคลื่อน (nm)	เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (%)
หลอดไอปรอทอาร์กอน (HgAr Lamp)	43	404.73	404.66	-0.07	-0.02
	419	435.71	435.84	0.13	0.03
	1694	546.40	546.07	-0.33	-0.06
	2038	577.31	577.96	0.65	0.11
	2061	579.39	579.07	-0.32	-0.06
เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน	2653	632.87	632.80	-0.07	-0.01

4.2 การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

4.2.1 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดไอปรอท

การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดไอปรอท(Mercury Lamp)รุ่น Hg100 ของบริษัท OSRAM วิธีการวัดนั้นจะเหมือนกับในการวัดสเปกตรัมแสงโดยใช้หลอดสอบเทียบไอปรอทอาร์กอน (HgAr) โดยค่าความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงหลอดไอปรอทนั้นคือ 404.66 นาโนเมตร 435.84 นาโนเมตร 546.07 นาโนเมตร 577.96 นาโนเมตรและ 579.07 นาโนเมตร ซึ่งผลการวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดไอปรอทนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของหลอดไอปรอทรุ่น Hg100 ของบริษัท OSRAM

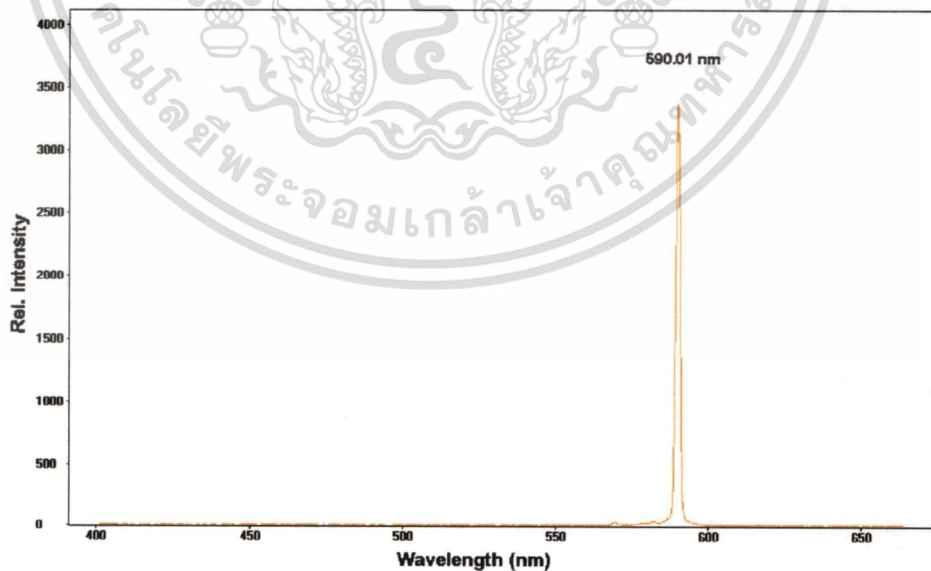
จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดไอปรอทรุ่น Hg100 ของบริษัท OSRAM สามารถสรุปได้ว่าในการวัดสเปกตรัมแสงที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดไอปรอทมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.53 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์ และค่าความมีความคลาดเคลื่อนต่ำสุด 0.06 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการวัดสเปกตรัมแสงจากหลอดไอปรอทรุ่น Hg100 ของบริษัท OSRAM

ค่าที่วัดได้ (nm)	ค่าจริง (nm)	ค่าคลาดเคลื่อน (nm)	เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (%)
365.03	365.02	-0.01	0.00
404.73	404.66	-0.07	-0.02
435.85	435.84	-0.01	0.00
546.11	546.07	-0.04	-0.01
577.43	577.96	0.53	0.09
579.56	579.07	-0.49	-0.08

4.2.2 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดโซเดียม

การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดโซเดียม(Sodium Lamp)รุ่น Na/10 ของบริษัท OSRAM โดยสเปกตรัมที่ได้จากหลอดโซเดียมให้ความยาวคลื่น 2 ความยาวคลื่นคือ 588.99 และ 589.59 นาโนเมตร เนื่องจากเครื่องวัดที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นไม่สามารถแยกสเปกตรัมทั้ง 2 ได้ ดังนั้นในการวัดสเปกตรัมแสงที่ได้จากหลอดโซเดียม จึงต้องนำค่าความยาวคลื่นทั้ง 2 มาเฉลี่ย ซึ่งจะได้ความยาวคลื่นเท่ากับ 589.29 นาโนเมตร โดยผลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดโซเดียมนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของหลอดโซเดียมรุ่น Na/10 ของบริษัท OSRAM

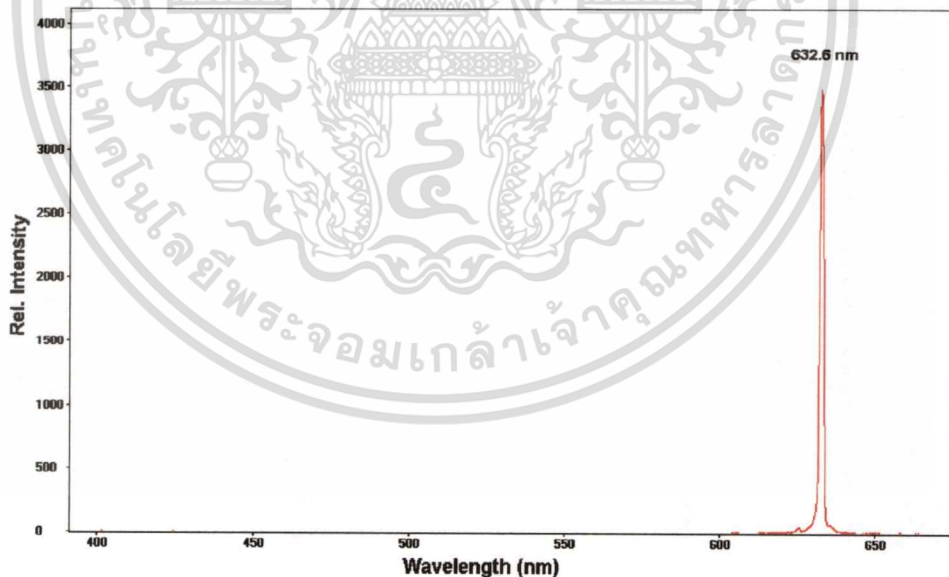
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการวัดสเปกตรัมของหลอดโซเดียมรุ่น Na/10 ของบริษัท OSRAM

ค่าที่วัดได้ (nm)	ค่าจริง (nm)	ค่าคลาดเคลื่อน (nm)	เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (%)
590.01	589.29	-0.72	-0.12

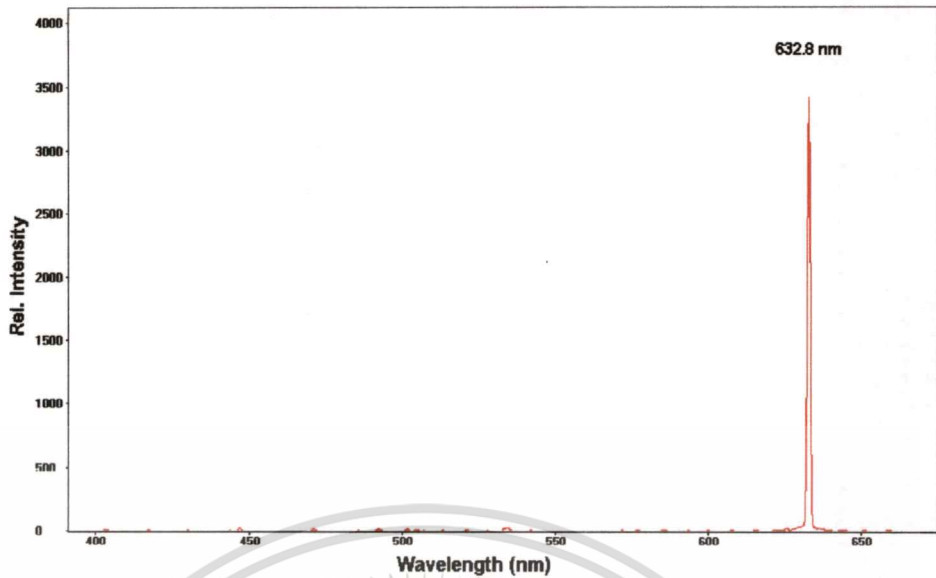
จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดโซเดียม สามารถสรุปได้ว่า มีค่าความคลาดเคลื่อน -0.72 นาโนเมตร หรือประมาณ -0.12 เปอร์เซ็นต์

4.2.3 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

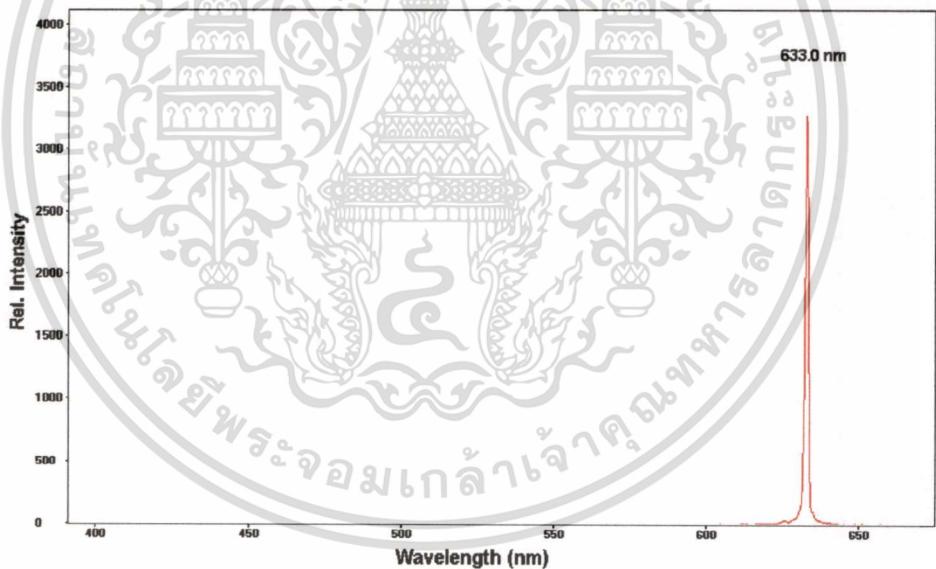
การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน(He-Ne Laser) ซึ่งจะให้ค่าสเปกตรัมแสงที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตรเพียงค่าเดียว โดยเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่นำมาใช้วัดสเปกตรัมนั้น มีทั้งหมดจำนวน 3 ตัว คือ ของบริษัท MELLES GRIOT ของบริษัท PHYWE และของบริษัท JDSU โดยผลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14-4.16 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ของบริษัท MELLES GRIOT



รูปที่ 4.15 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ของบริษัท PHYWE



รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ของบริษัท JDSU

จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนของทั้ง 3 บริษัทนั้น สามารถสรุปได้ว่าสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนของบริษัท MELLES GRIOT มีความคลาดเคลื่อน 0.20 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ของบริษัท PHYWE มีความคลาดเคลื่อน 0.02 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.00 เปอร์เซ็นต์ และ ของบริษัท JDSU มีความคลาดเคลื่อน -0.16 นาโนเมตร หรือประมาณ -0.03 เปอร์เซ็นต์

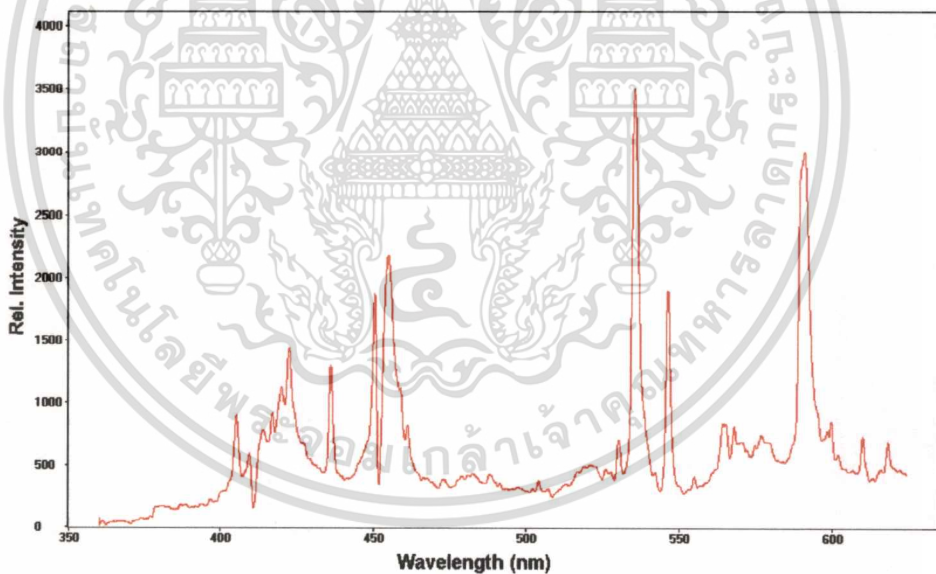
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการวัดสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนทั้ง 3 บริษัท

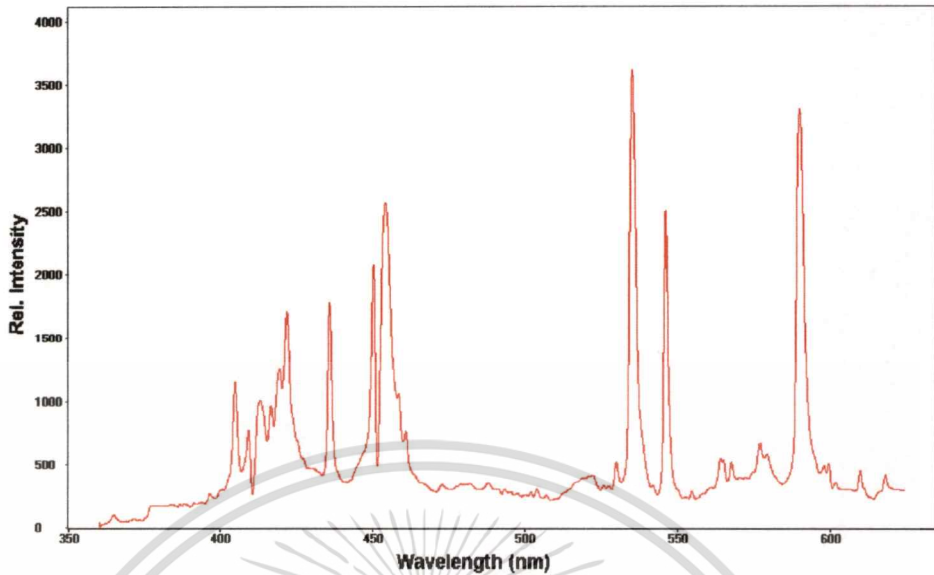
เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ของบริษัท	ค่าที่วัดได้ (nm)	ค่าจริง (nm)	ค่าคลาดเคลื่อน (nm)	เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน (%)
MELLES GRIOT	632.6	632.8	0.20	0.03
PHYWE	632.8	632.8	0.00	0.00
JDSU	633.0	632.8	-0.20	-0.03

4.2.4 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดซีนอน

การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดซีนอน (Xenon Lamp) ของบริษัท P4 HID Xenon โดยทำการวัดสเปกตรัมจำนวน 2 หลอด คือ ที่อุณหภูมิ 12K และ 14K สำหรับผลการวัดสเปกตรัมแสงจากหลอดซีนอนนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของหลอดซีนอนที่อุณหภูมิ 12K



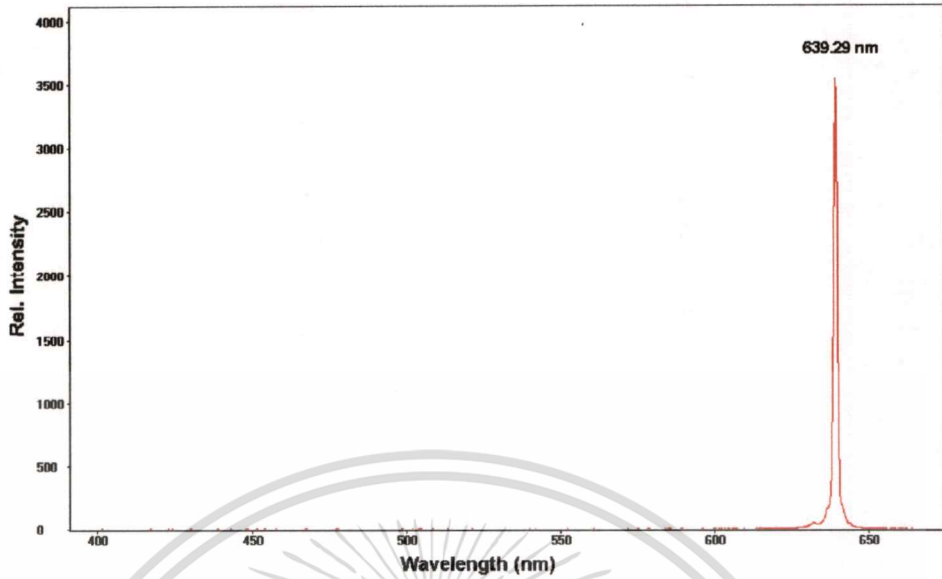
รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของหลอดซีนอนที่อุณหภูมิ 14K

จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดซีนอนของบริษัท P4 HID Xenon ทั้ง 2 หลอดนั้นมีลักษณะเหมือนกันคือ สเปกตรัมจะมีลักษณะต่อเนื่องผสมกับเส้นสเปกตรัมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง และเป็นสเปกตรัมแสงในย่านที่ตามองเห็นเท่านั้น

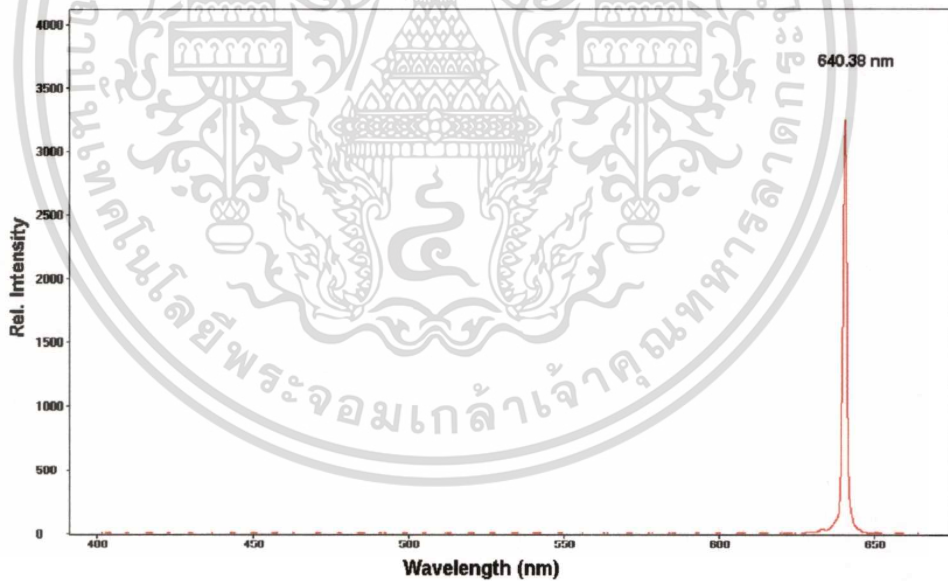
4.3 การวัดสเปกตรัมแสงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

4.3.1 การวัดสเปกตรัมแสงจากเลเซอร์ไดโอด

การวัดสเปกตรัมแสงจากเลเซอร์ไดโอด ซึ่งให้ค่าความยาวคลื่นของแสงออกมาแค่ความยาวคลื่นเดียว โดยค่าความยาวคลื่นของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้นั้น จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 635-670 นาโนเมตร ซึ่งค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดสามารถเปลี่ยนช่วงความยาวคลื่นได้นั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าของแหล่งจ่ายกระแสที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอด ผลการทดลองในการวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอดที่กระแสค่าต่าง ๆ นั้นสามารถแสดงค่าของสเปกตรัมที่วัดได้ดังรูปที่ 4.19-4.24 และตารางที่ 4.6

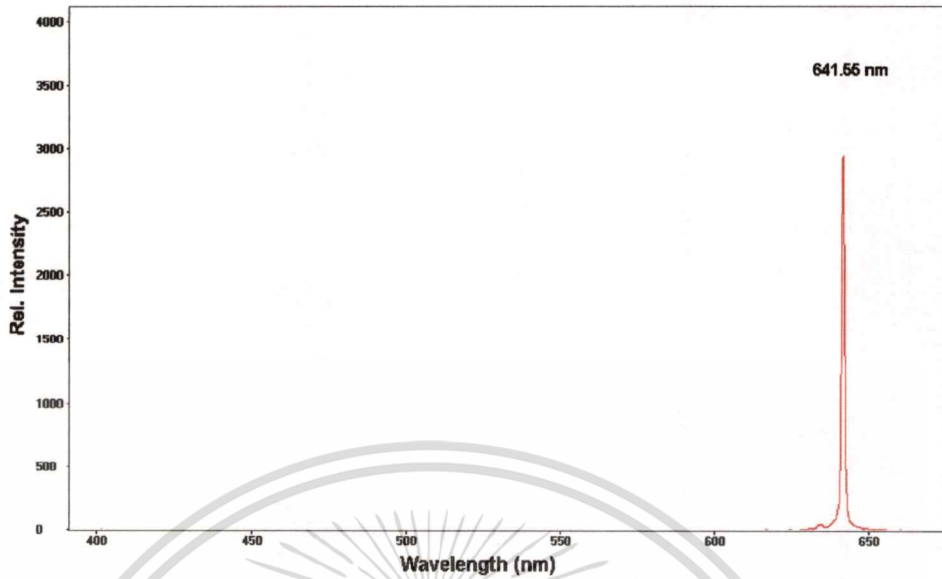


รูปที่ 4.19 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 100 มิลลิแอมป์

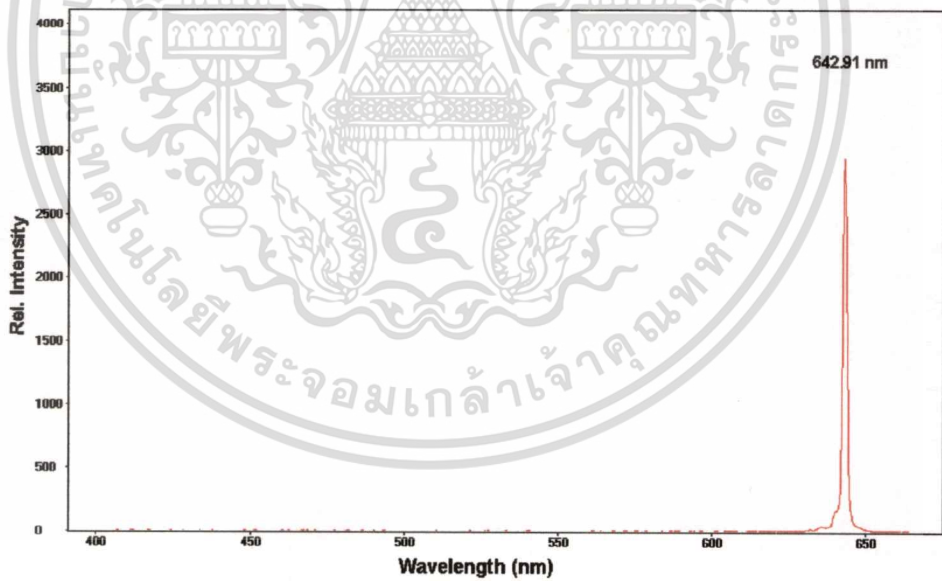


รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 120 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

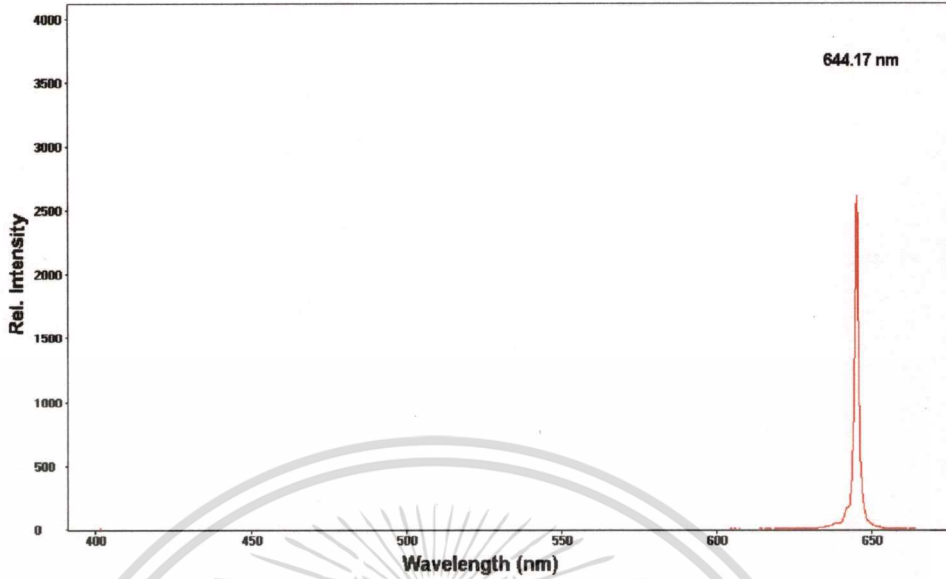


รูปที่ 4.21 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 140 มิลลิแอมป์

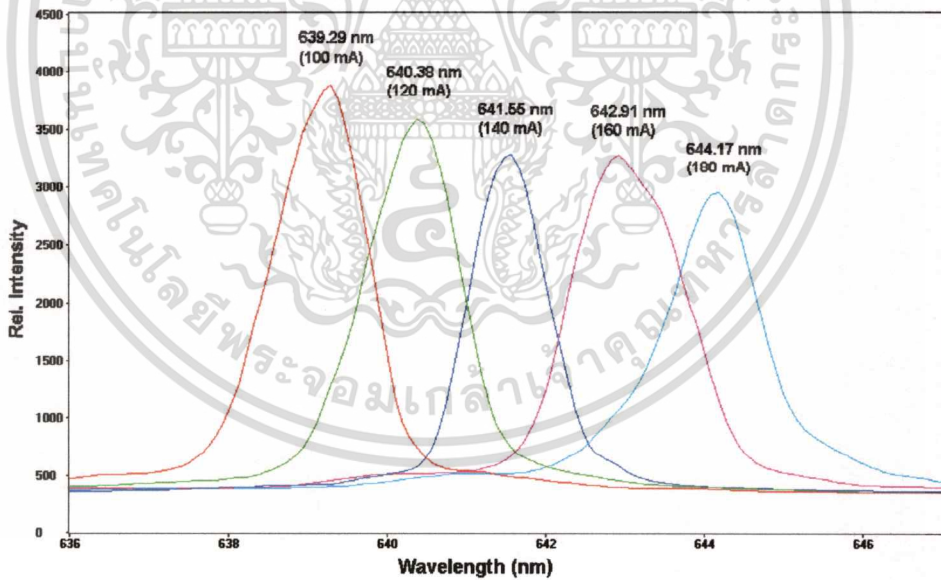


รูปที่ 4.22 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 160 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 180 มิลลิแอมป์

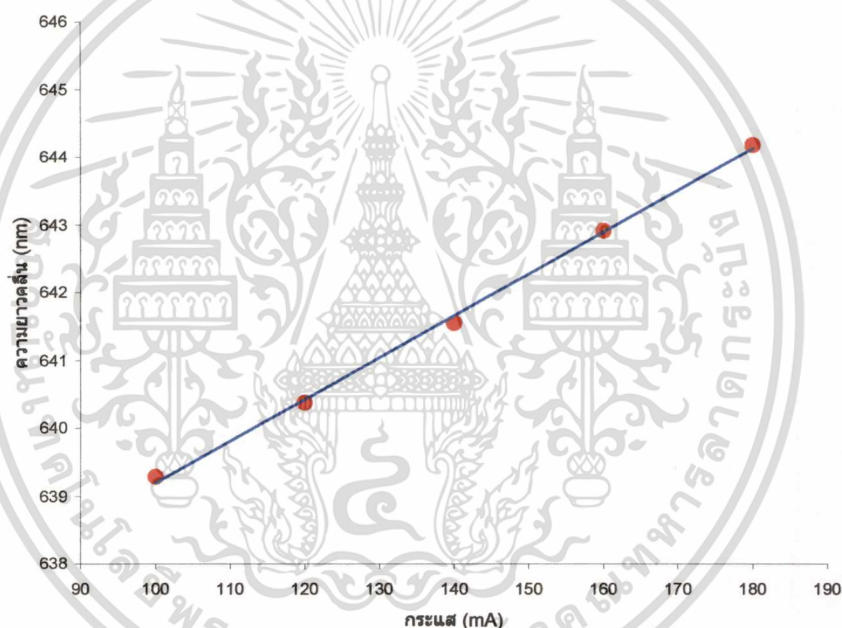


รูปที่ 4.24 สเปกตรัมรวมของเลเซอร์ไดโอดที่กระแส 100-180 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการวัดสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดเมื่อปรับกระแสต่างกัน

ค่ากระแส (mA)	ค่าที่วัดได้ (nm)
100	639.29
120	640.38
140	641.55
160	642.91
180	644.17

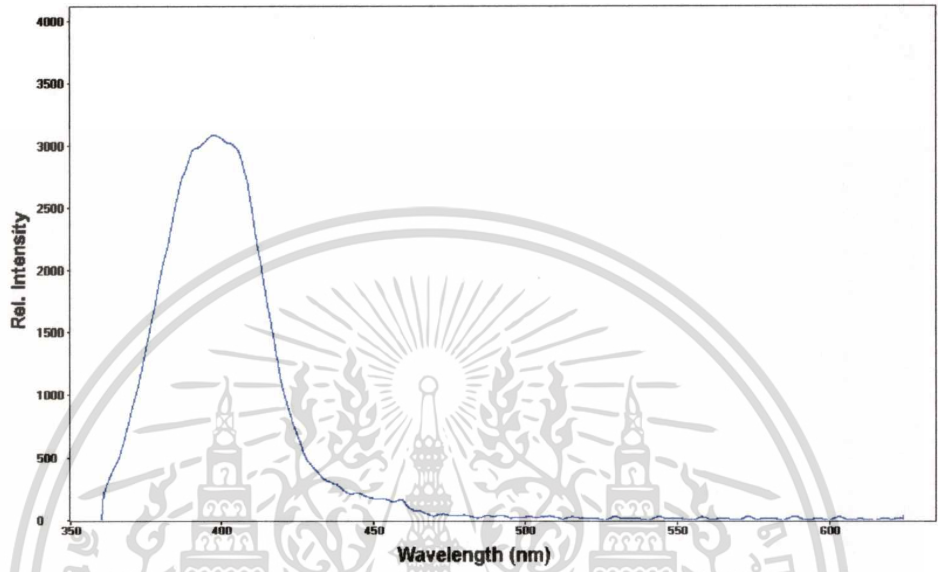


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ไดโอด

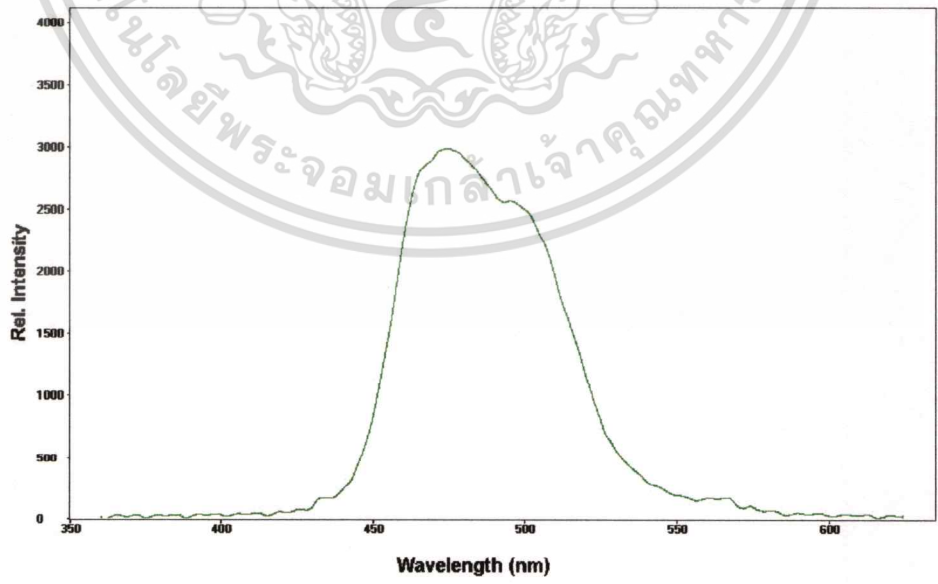
จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแสงเลเซอร์ไดโอดที่กระแสค่าต่างๆ กัน สามารถสรุปได้ว่าค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดสามารถเปลี่ยนช่วงความยาวคลื่นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอด ดังรูปที่ 4.25 โดยถ้ากระแสที่จ่ายให้กับเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้ค่าความยาวคลื่นของแสงนั้นมากขึ้นตามไปด้วยแบบเป็นเชิงเส้น

4.3.2 การวัดสเปกตรัมแสงจากไดโอดเปล่งแสง

การวัดสเปกตรัมแสงจากไดโอดเปล่งแสง(LED) โดยทำการวัดสเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สีขาว และ สีขาวความสว่างสูง (Ultra bright) สำหรับผลการวัดสเปกตรัมแสงจากไดโอดเปล่งแสงนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.26-4.30

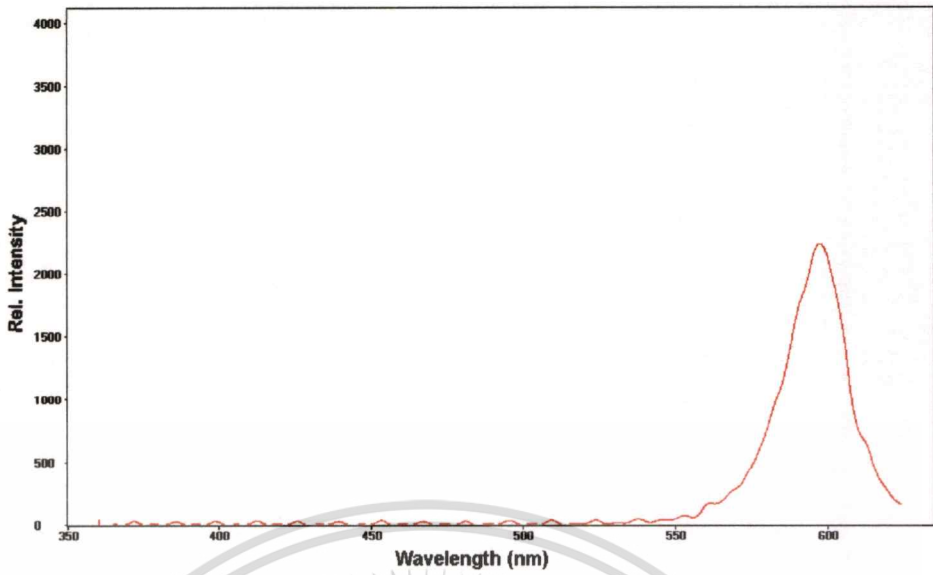


รูปที่ 4.26 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน

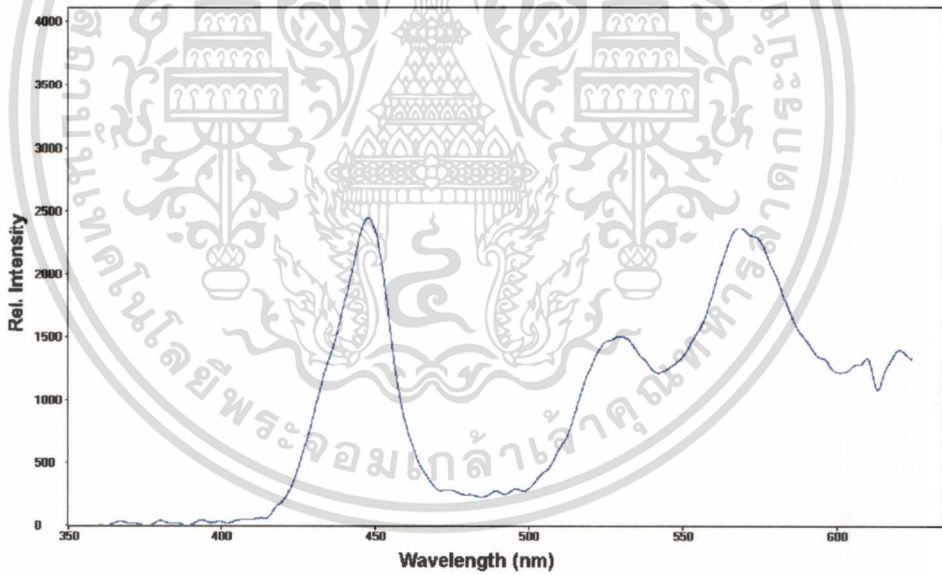


รูปที่ 4.27 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

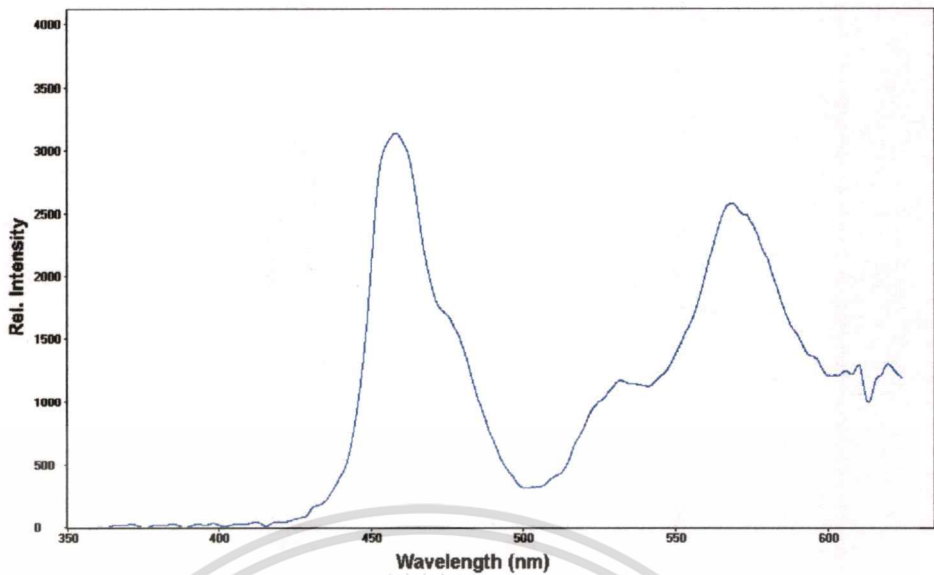


รูปที่ 4.28 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีแดง



รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีขาวยาวความสว่างสูง

ผลการวัดสเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินขึ้นมีค่าความยาวคลื่นในช่วง 360-430 นาโนเมตร สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีเขียวมีค่าความยาวคลื่นในช่วง 450-530 นาโนเมตร สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีแดงมีค่าความยาวคลื่นในช่วง 520-650 นาโนเมตร สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีขาวยาวมีค่าความยาวคลื่นในช่วง 420-650 นาโนเมตร และ สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีขาวยาวความสว่างสูง (Ultra bright) มีค่าความยาวคลื่นในช่วง 440-660 นาโนเมตร

4.4 การวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง

การทดลองใช้งานสเปกโตรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นไปใช้งาน โดยการทดลองวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง ในการทดลองนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไส้ทั้งสแตน (Tungsten Lamp) และใช้แผ่นกรองแสงสีน้ำเงิน สีเขียวและสีแดง การทดลองมีการจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวัดการส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

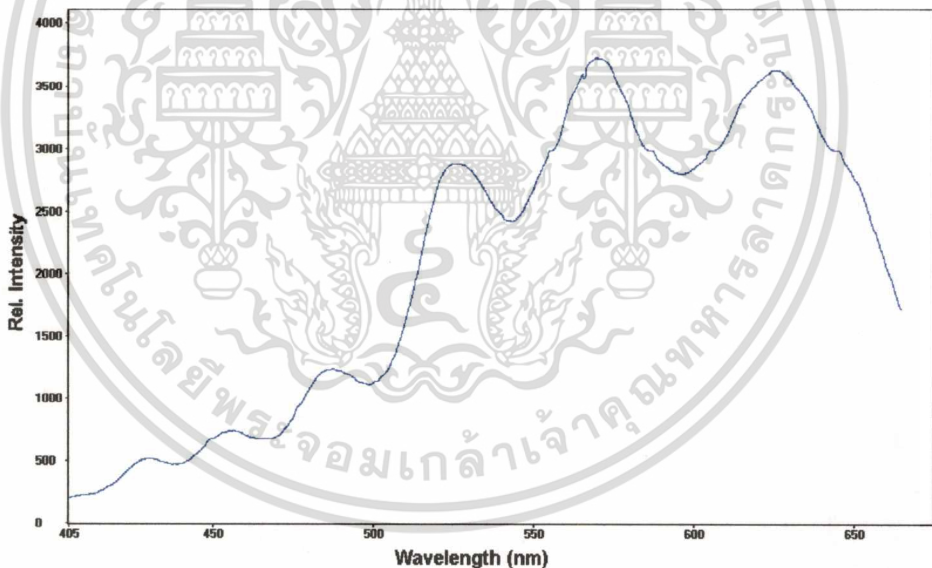
ผลการทดลองจะแสดงสเปกตรัมในรูปของเปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน (%T) โดยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสดงได้ดังสมการที่ (4.1)

$$%T = (I_t / I_0) \times 100 \quad (4.3)$$

เมื่อ %T คือ เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านทางแสง
 I_t คือ ความเข้มแสงของสเปกตรัมที่ผ่านแผ่นกรองแสง
 I_0 คือ ความเข้มแสงของสเปกตรัมเมื่อไม่ผ่านแผ่นกรองแสง

แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ รุ่น UV-VIS6405 ของบริษัท Jenway

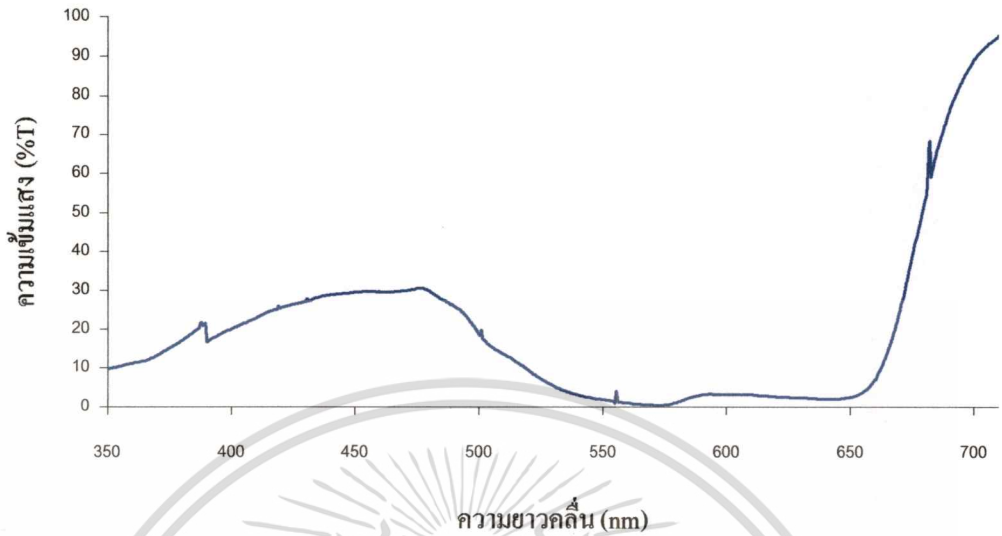
ผลการวัดสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงหลอดไส้ทั้งสแตน แสดงดังรูปที่ 4.32



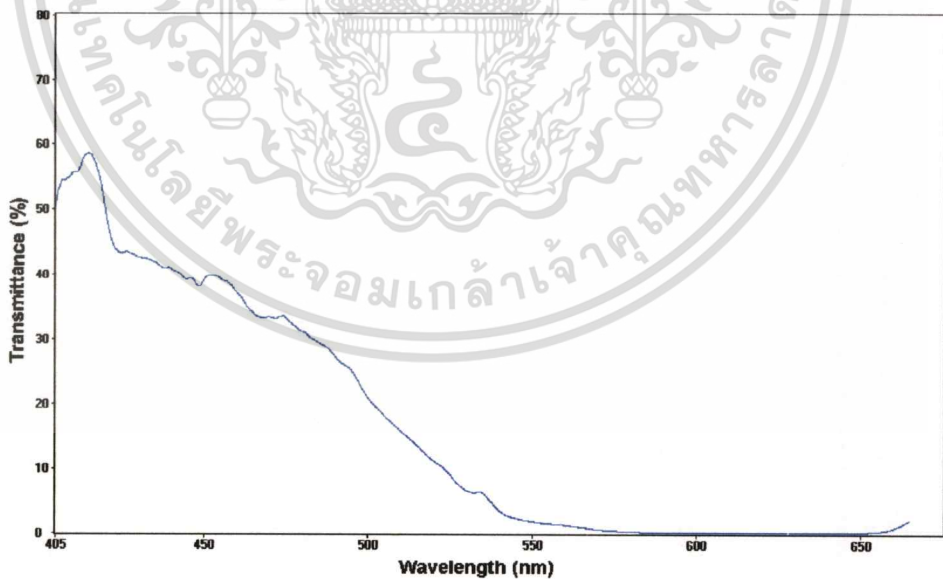
รูปที่ 4.32 สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงหลอดไส้ทั้งสแตน

ผลการวัดสเปกตรัมเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงิน สีเขียวและสีแดงเปรียบเทียบกับผลการวัดกับเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ รุ่น UV-VIS6405 แสดงดังรูปที่ 4.33-4.38

เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านทางแสงสีน้ำเงิน



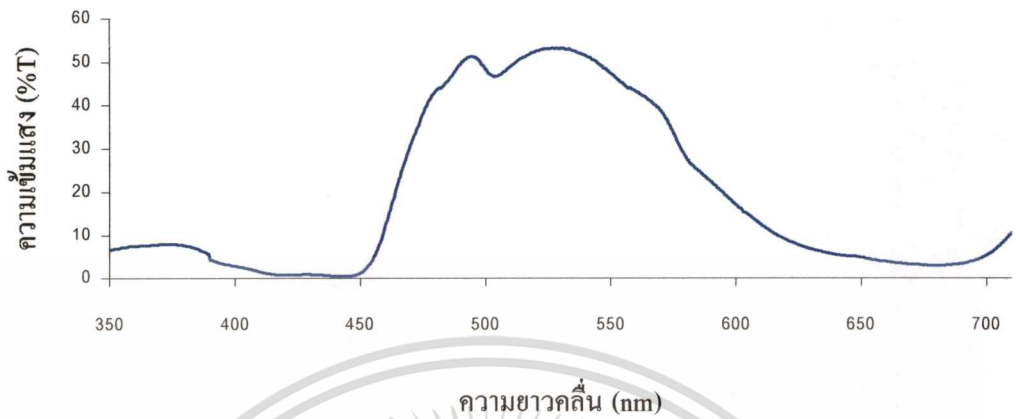
รูปที่ 4.33 เปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์รุ่น UV-VIS6405ของบริษัท Jenway



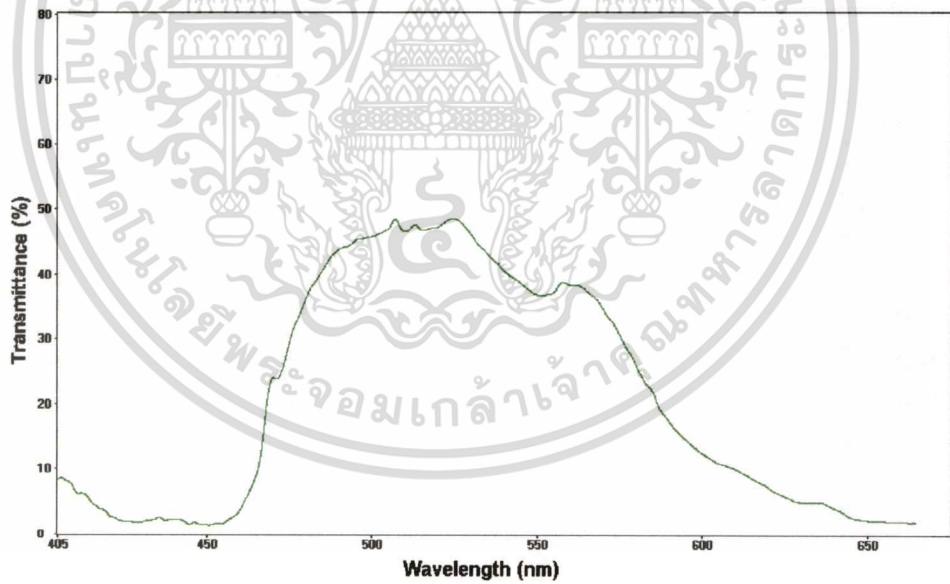
รูปที่ 4.34 เปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านทางแสงสีเขียว



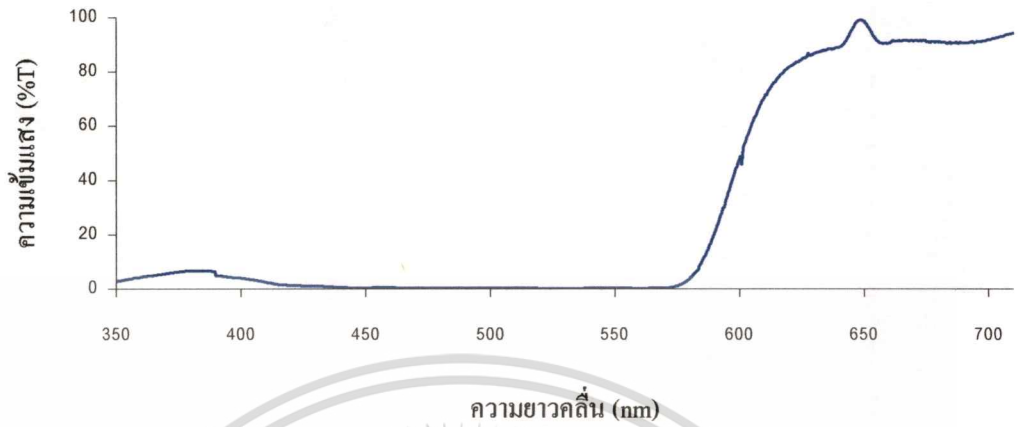
รูปที่ 4.35 เปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีเขียวจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ รุ่น UV-VIS6405ของบริษัท Jenway



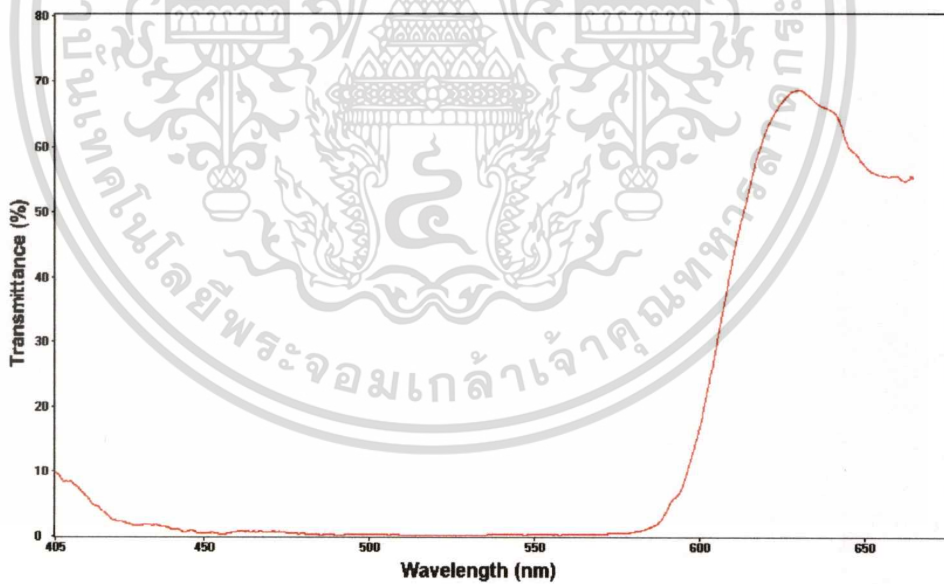
รูปที่ 4.36 เปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีเขียวจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านทางแสงสีแดง



รูปที่ 4.37 เปอร์เซนต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีแดงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ รุ่น UV-VIS6405ของบริษัท Jenway



รูปที่ 4.38 เปอร์เซนต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีแดงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดสเปกตรัมเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินที่วัดโดยสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น มีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-550 นาโนเมตร แผ่นกรองแสงสีเขียว มีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 450-650 นาโนเมตร และแผ่นกรองแสงสีแดง มีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 600-650 นาโนเมตร

จากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างเครื่องสเปกโทรมิเตอร์รุ่น UV-VIS6405 กับสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน

4.5 การวัดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนและส่งผ่านแสงของกระจกเลเซอร์

การวัดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนและเปอร์เซ็นต์ส่งผ่านแสงของกระจกเลเซอร์เป็นการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงและเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ โดยส่วนประกอบในระบบการวัดนั้นแสดงดังรูปที่ 4.39



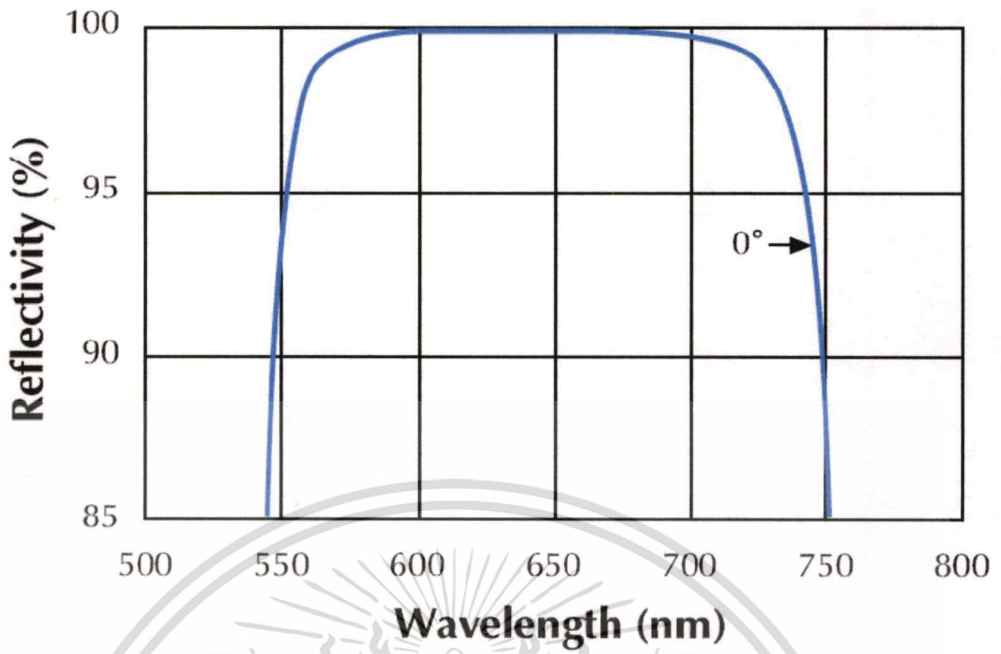
รูปที่ 4.39 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวัดการส่งผ่านแสงของกระจกเลเซอร์

ผลการทดลองจะแสดงสเปกตรัมในรูปของเปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน (%T) จะใช้สมการที่ (4.1) เช่นเดียวกับกับการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองสำหรับเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง(%R) ของกระจกเลเซอร์สามารถคำนวณได้จาก

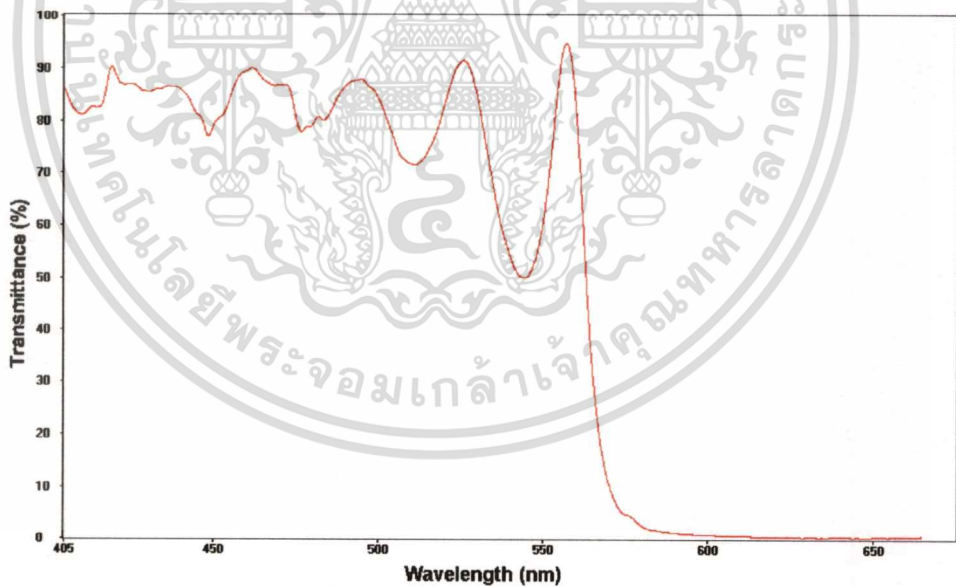
$$\%R = 100 - \%T \quad (4.4)$$

ในการทดลองนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไส้ทั้งสแตนเช่นเดียวกับการทดลองวัดการส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสง โดยกระจกเลเซอร์ที่ใช้คือ กระจกเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน รุ่น HN-1037-0 ของบริษัท CVI มีเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสง 0.3 เปอร์เซ็นต์ หรือเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 99.7 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ดังรูปที่ 4.40 ผลการทดลองจะแสดงสเปกตรัมในรูปของเปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน (%T) แสดงดังรูปที่ 4.41 - 4.42 และตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

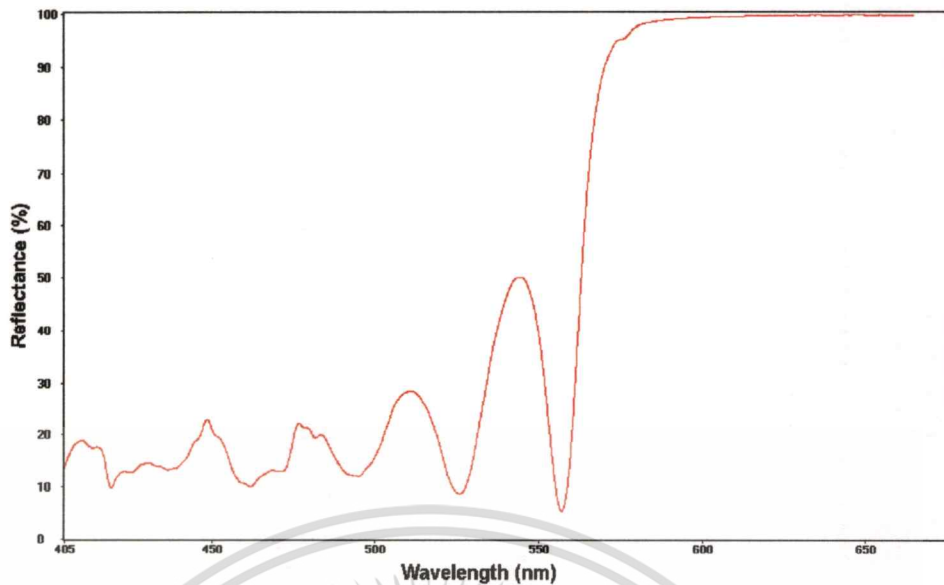


รูปที่ 4.40 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง ของกระจกเลเซอร์ รุ่น HN-1037-0 ของบริษัท CVI



รูปที่ 4.41 เเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของกระจกเลเซอร์จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์
ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 เปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์
ที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลที่ได้จากการวัดการสะท้อนและส่งผ่านของกระจกเลเซอร์

ค่าที่วัด	ค่าที่วัดได้ (%)	ค่าจริง (%)	ค่าคลาดเคลื่อน (%)
การสะท้อนแสง	99.6	99.7	0.1
การส่งผ่านแสง	0.4	0.3	0.1

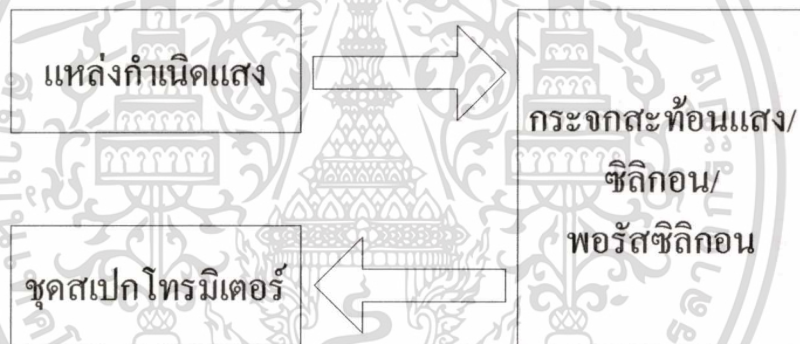
จากผลการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงและเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่วัดได้ จะเห็นว่า กระจกเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน จะสะท้อนแสงได้ดีที่สุดในย่านสีแดงมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 600-660 นาโนเมตร ส่วนในย่านอื่นการสะท้อนแสงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของกระจกเลเซอร์ รุ่น HN-1037-0 ของบริษัท CVI โดยมีค่าและผลดังตารางที่ 4.7 จะเห็นว่ากระจกเลเซอร์มีเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงร้อยละ 0.4 หรือเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงร้อยละ 99.6 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.1 เปอร์เซนต์

4.6 การวัดการสะท้อนแสงของของพอร์สซีลิกอน

พอร์สซีลิกอนคือแผ่นซีลิกอนที่มีผิวหน้าเป็นรูพรุน สามารถเตรียมขึ้นได้โดยการกัดด้วยกรดกัดแก้วหรือสารเคมีที่เหมาะสม พอร์สซีลิกอนต่างจากซีลิกอนคือมีช่องว่างพลังงาน (energy gap) มากกว่า (>1.40 eV) จึงมีสมบัติหลายอย่างที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ทางแสงรวมถึงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น สามารถเปล่งแสงและเรืองแสง (Electroluminescence and Photoluminescence) ในย่านตามองเห็นได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติลดการสะท้อนแสงได้ โดยการควบคุมความหนาของชั้นพอร์สให้เหมาะสมจะสามารถลดการสะท้อนในย่านความยาวคลื่นที่ต้องการได้ จึงสามารถใช้แทนการเคลือบป้องกันการสะท้อนได้

การวัดการสะท้อนแสงของพอร์สซีลิกอนเป็นการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของซีลิกอนที่ขัดผิวเรียบและพอร์สซีลิกอน โดยส่วนประกอบในระบบการวัดนั้นแสดงดังรูปที่

4.43



รูปที่ 4.43 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวัดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนพอร์สซีลิกอน

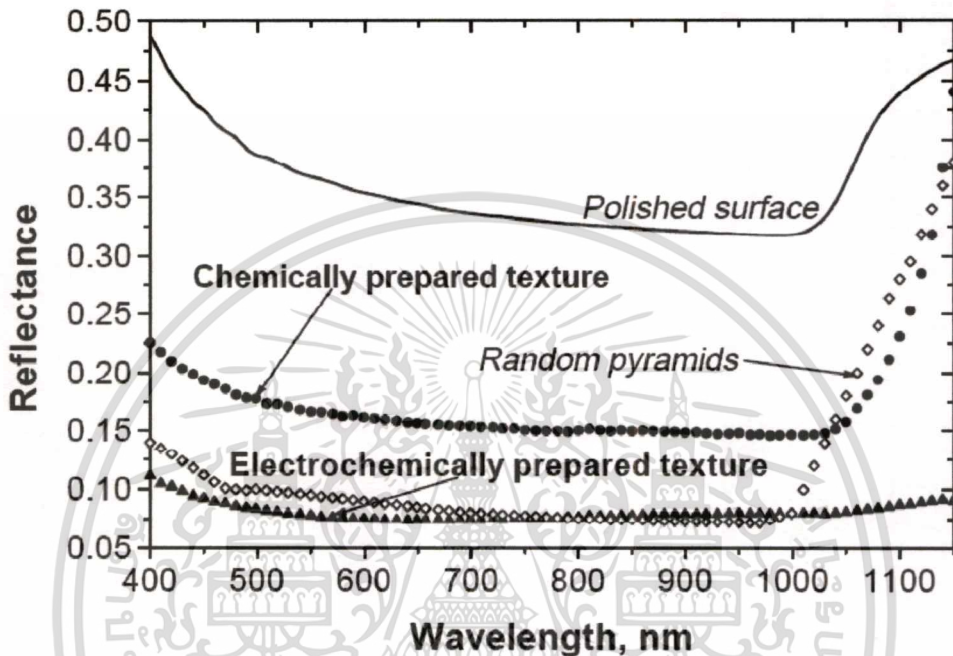
ผลการทดลองจะแสดงสเปกตรัมในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์การสะท้อน (%R) โดยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสะท้อน แสดงได้ดังสมการที่ (4.3)

$$\%R = (I_r / I_0) \times 100 \quad (4.5)$$

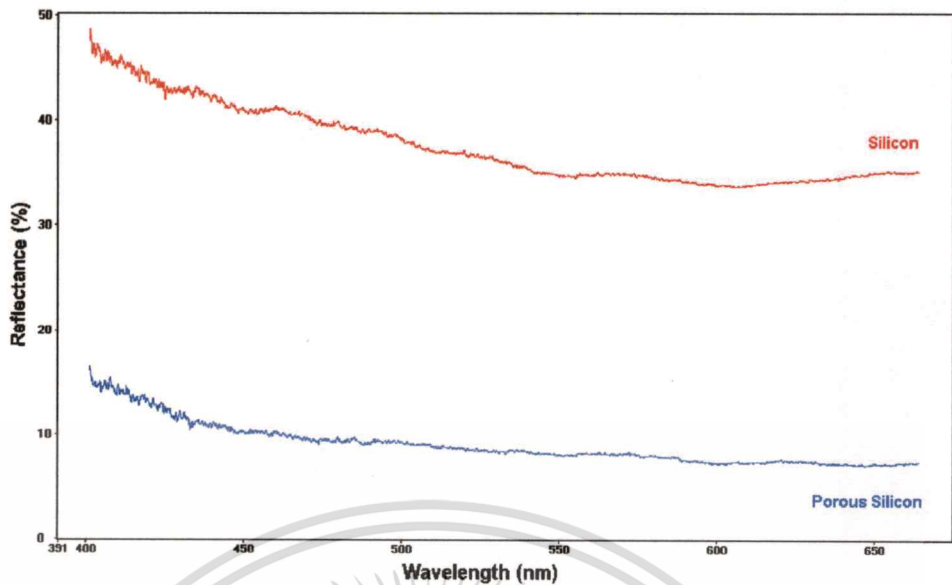
เมื่อ	%R	คือ	เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง
	I_r	คือ	ความเข้มแสงของสเปกตรัมที่สะท้อนจากซีลิกอนหรือพอร์สซีลิกอน
	I_0	คือ	ความเข้มแสงของสเปกตรัมที่สะท้อนจากกระจกสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไส้ทั้งสแตน ทำการวัดการสะท้อนแสงของซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบและพอร์สซิลิกอนเปรียบกับผลการวัดกับรายงานที่ดีพิมพ์ใน Solar Energy Materials & Solar Cells[14] ดังรูปที่ 4.44 ผลการทดลองจะแสดงสเปกตรัมในรูปของเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง ดังรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.44 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบเปรียบเทียบกับพอร์สซิลิกอนที่มีโครงสร้างแบบ random pyramids, chemically and electrochemically prepared macroporous texture



รูปที่ 4.45 เปรอ์เซ็นต์การสะท้อนแสงของซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบเปรียบเทียบกับพอร์สซิลิกอน

จากผลการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบและพอร์สซิลิกอนที่วัดโดยสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น พบว่าซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบสะท้อนแสงได้ดีกว่าพอร์สซิลิกอน

จากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างเปรียบกับรายงานที่ตีพิมพ์ใน Solar Energy Materials & Solar Cells ดังรูปที่ 4.44 กับ สเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เครื่องวัดสเปกตรัมแสงที่ออกแบบและสร้างในงานวิจัยนี้ ใช้เกรตติงเลี้ยวเบนขนาด 600 ช่องต่อมิลลิเมตรในการแยกสเปกตรัมแสงและใช้ซีซีดีอาร์เรย์ขนาด 3,000 พิกเซล รุ่น ILX526A ของบริษัท โซนี่ เป็นตัวรับแสง แสงที่ผ่านสลิตจะถูกทำให้เป็นลำแสงขนานด้วยกระจกเว้า พาราโบลาโดยการสะท้อน 90 องศา ไปตกบนเกรตติงเลี้ยวเบน ลำแสงที่เลี้ยวเบนจะถูกโฟกัสลงบนซีซีดีอาร์เรย์ด้วยกระจกเว้าพาราโบลาตัวที่สอง ข้อมูลสเปกตรัมแสงจากซีซีดีอาร์เรย์จะถูกอ่านเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละพิกเซลในซีซีดีอาร์เรย์ซึ่งมีขนาดขึ้นกับความเข้มแสงและเวลาเปิดรับแสง โดยสัญญาณดังกล่าวจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต และส่งข้อมูลที่ไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมยูเอสบี(USB Port) โดยการควบคุมการส่งผ่านข้อมูล (Transfer Data) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic) จะทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลในรูปของสเปกตรัมแสงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ สเกลความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงจะถูกสอบเทียบในช่วง 360-660 นาโนเมตร โดยการสอบเทียบจากเส้นสเปกตรัมของหลอดสอบเทียบไฮปรอทอาร์กอน (HgAr) ที่ความยาวคลื่น 365.02 404.66 435.84 546.07 576.96 579.07 นาโนเมตร และสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน (He-Ne laser) ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นอ้างอิงมาตรฐาน จากนั้นได้ทดสอบการใช้งานเครื่องวัดสเปกตรัมแสงที่สร้างขึ้น โดยการวัดสเปกตรัมแสงของวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงชนิดต่าง ๆ การวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของแผ่นกรองแสง และการวัดการเปอร์เซ็นต์ส่องผ่านและสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ โดยผลที่ได้จากการทดลองวัดสเปกตรัมแสงนั้นสามารถแสดงได้ดังนี้

5.1.1 การสอบเทียบสเกลของสเปกโตรมิเตอร์

จากข้อมูลของการวัดสเปกตรัมและการสอบเทียบความยาวคลื่นกับหลอดไฮปรอทอาร์กอน(HgAr) ได้ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 จากการสอบเทียบพบว่าสเปกโตรมิเตอร์ถูกสอบเทียบให้ใช้งานได้ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 360-624 นาโนเมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.53 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ที่ความยาวคลื่น 577.96 นาโนเมตร

ข้อมูลของการวัดสเปกตรัมและการสอบเทียบความยาวคลื่นกับหลอดไฮปรอทอาร์กอน เอกสารนี้และเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน(He-Ne) ได้ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.2 จากการสอบเทียบพบว่าสเปกโตรมิเตอร์นี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์ถูกสอบเทียบให้ใช้งานได้ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-660 นาโนเมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.65 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ที่ความยาวคลื่น 577.96 นาโนเมตร

5.1.2 การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

5.1.2.1 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดไอปรอท(Hg100)

จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดไอปรอทได้ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 สามารถสรุปได้ว่าการวัดสเปกตรัมแสงที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดไอปรอทมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.53 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์ และค่าความมีความคลาดเคลื่อนต่ำสุด 0.06 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์

5.1.2.2 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดโซเดียม(Na/10)

จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดโซเดียม ได้ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.4 สามารถสรุปได้ว่ามีความคลาดเคลื่อน -0.72 นาโนเมตร หรือประมาณ -0.12 เปอร์เซ็นต์

5.1.2.3 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนของ 3 บริษัท ได้ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.5 สามารถสรุปได้ว่าสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนของบริษัท MELLES GRIOT มีความคลาดเคลื่อน 0.20 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์ของบริษัท PHYWE มีความคลาดเคลื่อน 0.02 นาโนเมตร หรือประมาณ 0.00 เปอร์เซ็นต์ และของบริษัท JDSU มีความคลาดเคลื่อน -0.16 นาโนเมตร หรือประมาณ -0.03 เปอร์เซ็นต์

5.1.2.4 การวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดซีนอน(Xenon Lamp)

จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดซีนอนของบริษัท P4 HID Xenon ที่อุณหภูมิ 12K และ 14K นั้นมีลักษณะเหมือนกัน คือสเปกตรัมจะมีลักษณะต่อเนื่องผสมกับเส้นสเปกตรัมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง จากการทดลองพบว่าหลอดซีนอนนี้มีสเปกตรัมในย่านตามองเห็นเท่านั้น เนื่องจากหลอดซีนอนที่นำมาทำการทดลองนั้นใช้สำหรับไฟรถยนต์ จึงต้องทำการตัดแสงย่านอัลตราไวโอเล็ตออกไปเพื่อป้องกันไม่ให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ข้างเคียงอื่นๆ สั้นลง

5.1.3 การวัดสเปกตรัมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

5.1.3.1 การวัดสเปกตรัมแสงจากเลเซอร์ไดโอด

จากผลการทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากเลเซอร์ไดโอดที่กระแสแตกต่างกัน ได้ผลแสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่าค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอดสามารถเปลี่ยนช่วงความยาวคลื่นได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ป้อนให้กับวงจร โดยถ้ากระแสที่จ่ายให้กับวงจรมีค่าสูงขึ้น เลเซอร์ไดโอดจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

5.1.3.2 การวัดสเปกตรัมแสงจากไดโอดเปล่งแสง

ผลการวัดสเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินขึ้นมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 360-430 นาโนเมตร สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีเขียวมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 450-530 นาโนเมตร สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีแดงมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 520-650 นาโนเมตร สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีขาวมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 420-650 นาโนเมตร และ สเปกตรัมไดโอดเปล่งแสงสีขาวความสว่างสูง (Ultra bright) มีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 440-660 นาโนเมตร โดยไดโอดเปล่งแสงสีขาวทั้ง 2 หลอดมีสเปกตรัมต่อเนื่องในช่วงแสงขาว

5.1.4 การวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสง

ผลการวัดสเปกตรัมเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินที่วัดโดยสเปกโตรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น มีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-550 นาโนเมตร แผ่นกรองแสงสีเขียวมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 450-650 นาโนเมตร และแผ่นกรองแสงสีแดง มีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 600-650 นาโนเมตร

จากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น UV-VIS6405 กับสเปกตรัมที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน

5.1.5 การวัดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนและส่งผ่านแสงของกระจกเลเซอร์

จากผลการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงและเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่วัดได้ จะเห็นว่า กระจกเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน จะสะท้อนแสงได้ดีที่สุดในย่านสีแดงมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 600-660 นาโนเมตร ส่วนในย่านอื่นการสะท้อนแสงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของกระจกเลเซอร์ รุ่น HN-1037-0 ของบริษัท CVI

5.1.6 การวัดการสะท้อนแสงของของพอร์สซิลิกอน

จากผลการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบและพอร์สซิลิกอนที่วัดโดยสเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้น พบว่าซิลิกอนที่ขัดผิวเรียบสะท้อนแสงได้ดีกว่าพอร์สซิลิกอน เนื่องจากพอร์สซิลิกอนมีคุณสมบัติสะท้อนแสงน้อยและดูดกลืนแสงได้ดี

จากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างเปรียบกับรายงานที่ตีพิมพ์ใน Solar Energy Materials & Solar Cells ดังรูปที่ 4.44 กับ สเปกโทรมิเตอร์ที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน

5.1.7 คุณสมบัติของเครื่องวัดสเปกตรัมแสงที่ออกแบบและสร้างขึ้น

- ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่วัดได้ 360-660 nm
- ค่าความละเอียดของการวัดสเปกตรัม 1 nm
- ขนาดเกรตติง 600 grooves/mm
- ช่วงเวลาเปิดรับแสงของซีซีดีอาร์เรย์ 0.1 – 100 ms
- ความไวในการรับแสงของซีซีดีอาร์เรย์ 300V / (lx · s)
- ขนาดพิกเซลของซีซีดีอาร์เรย์ 7 μ m x 200 μ m (7 μ m pitch)
- ค่าความละเอียดของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล 12 bit
- ค่าความเร็วในการสแกนวัดสูงสุด 5 scans/s
- ระบบปฏิบัติการ Windows XP

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาที่เกิดจากส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล

ปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานและแสดงผลนั้นคือโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาทำหน้าที่ในการแสดงผลของสเปกตรัมที่วัดได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้ว แบบ 2 มิติ ในกรณีแสดงผลสเปกตรัมหลายๆเส้นพร้อมกันในบางครั้งจะไม่สามารถมองเห็นเส้นสเปกตรัมบางเส้นที่ซ้อนทับกันได้

ปัญหาที่พบในโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานและแสดงผลอีกส่วนหนึ่ง คือ ส่วนการคำนวณเพื่อสอบเทียบสเกลของกราฟนั้นเป็นค่าที่ได้มาจากการวิเคราะห์การถดถอยซึ่งอาจจะมีค่าที่คลาดเคลื่อนได้ เมื่อค่าที่คำนวณเกิดความคลาดเคลื่อนก็จะทำให้การอ่านค่าของสเปกตรัมคลาดเคลื่อนไปด้วย

5.2.2 ปัญหาที่เกิดจากชุดสเปกโทรมิเตอร์

ปัญหาในการจัดวางอุปกรณ์นั้นถือได้ว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อการวัดสเปกตรัมแสง เนื่องจากส่วนประกอบของชุดสเปกโทรมิเตอร์นั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ทางด้านแสง เช่น สลิต กระจกพาราโบลา และเกรตติงเลี้ยวเบน เป็นต้น ทั้งนี้ในการปรับแต่งค่าอุปกรณ์ทางด้านแสงเพื่อจะนำมาวัดสเปกตรัมแสงนั้น จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งให้พอดีกับค่าที่คำนวณได้ โดยถ้าวางอุปกรณ์ทางแสงคลาดเคลื่อนไปเพียง 1 องศา จะทำให้ค่าสเปกตรัมที่วัดได้ก็จะเกิดความคลาดเคลื่อน

ปัญหาอีกประการหนึ่งที่เกิดขึ้นในการวัดสเปกตรัมแสงด้วยซีซีดีอาร์เรย์ ก็คือ ในการทดลองนั้นค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมแสงจะอยู่ในช่วง 360-660 นาโนเมตร เมื่อต้องการที่จะวัดสเปกตรัมแสงที่ความยาวคลื่นอื่นๆที่อยู่อยู่นอกเหนือความยาวคลื่นนี้ ก็จะต้องทำการปรับค่ามุมเกรตติงทุกครั้ง ทั้งนี้เพื่อที่จะช่วยในการวัดค่าความยาวคลื่นที่ต้องการได้ ซึ่งเมื่อมีการปรับมุมเกรตติงใหม่ ก็จำเป็นที่จะต้องทำการสอบเทียบสเกลความยาวคลื่นของสเปกตรัมใหม่ทั้งหมดอีกด้วย ซึ่งจะใช้เวลาในการสอบเทียบค่อนข้างมาก ดังนั้นในการทำงานจึงพยายามที่จะวัดค่าความยาวคลื่นของแสงเพียงแค่ช่วงความยาวคลื่นเดียวเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการวัดค่าของสเปกตรัมแสง

5.2.3 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

สำหรับปัญหานี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากผู้ทดลองเอง ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะต้องนำมาใช้ในการทดลอง รวมไปถึงการอ่านค่าสเปกตรัมที่วัดได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์คลาดเคลื่อน ซึ่งในการทดลองนั้นผู้ทดลองจะต้องมีทักษะเป็นอย่างมากไม่เช่นนั้นแล้วอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองขึ้นได้ง่าย ยกตัวอย่างเช่น ในการปรับแต่งค่าของชุดสเปกโทรมิเตอร์นั้นผู้ทดลองจะต้องใช้ความประณีตอย่างสูงในการปรับแต่ง รวมไปถึงการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงด้วย โดยจะต้องวางตำแหน่งของแหล่งให้ได้มุมพอดีกับอุปกรณ์ต่างๆภายในชุดสเปกโทรมิเตอร์ ไม่เช่นนั้นค่าที่วัดได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์จะเป็นค่าที่คลาดเคลื่อน

ประวัติผู้เขียน

นายชัยสุริยา ประภาศิริ เกิดเมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ.2519 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จากภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2541 จากนั้นได้เข้าทำงานที่บริษัทสยามไฟเบอร์ออปติก จำกัด ตำแหน่งวิศวกรคุณภาพระหว่างปี พ.ศ. 2543 - 2545 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ณ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้