

สเปกโทรสโกปชนิดเกรตติงโดยใช้กล้อง CCD แสดงผล



T031652



นายฉัตรชัย ศรีพรหม
นายวรวิทย์ เมฆรักขานิช
นางสาวสุจิตรา ไทยอาริยะ



T031652

พ.พ.

พ 252 ล

REAC

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 31652
วัน, เดือน, ปี 19 พ.ค. 2541

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถแก้ไข ทิ้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Grating-based Spectroscope Complete with a CCD camera

Mr.Chatchai Sriprom

Mr.Worawit Mekruksavanich

Ms.Suchitra Thaiariya

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ

สเปกโตรสโคปชนิดเกรตติงโดยใช้กล้อง CCD แสดงผล

โดย

นายฉัตรชัย ศรีพรหม

นายวรวิทย์ เมฆรักษาวนิช

นางสาวสุจิตรา ไทยอาริยะ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วิริยะ ชูปวีณ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศา
ศาสตรบัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(รศ. สุรพล รักวิชัย)

คณะกรรมการ โครงการพิเศษ



ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวิกุล)



กรรมการ

(ดร. วิริยะ ชูปวีณ)

กรรมการ

(ผศ. วิชิต ศิริโชติ)

กรรมการ

(รศ. สุรพล รักวิชัย)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อ โครงการพิเศษ	สเปกโตรสโคปชนิดเกรตติงโดยใช้กล้อง CCD แสดงผล
โดย	นายฉัตรชัย ศรีพรหม นายวรวิทย์ เมฆรักษาวนิช นางสาวสุจิตรา ไทยอาริยะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วิริยะ ชูปวีณ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2540

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการออกแบบ และการสร้างเครื่องมือวัด สเปกโตรสโคปแบบใช้เกรตติง โดยใช้กล้อง CCD และแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะเป็นเครื่องมือตรวจวัดสเปกตรัมแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ โดยอาศัยหลักการทางทัศนศาสตร์กายภาพ เป็นการให้แสงที่เป็นลำขนานส่องผ่านเกรตติงชนิดสะท้อน ซึ่งจะแยกสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแล้วใช้เลนส์รวมแสงให้ไปตกบน CCD และใช้ซอฟต์แวร์ช่วยในการแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ กราฟที่ได้เป็นกราฟความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นแสงกับ ความเข้มแสง ซึ่งผลดังกล่าวนี้จะต้องมีการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน เพื่อชี้ให้เห็นว่าเครื่องมือตรวจวัดชนิดนี้มีแนวโน้มที่สามารถพัฒนาเป็นเครื่องมือตรวจวัดที่สมบูรณ์ได้

Special Project Title	A Grating – based Spectroscope Complete With a CCD Camera
Name	Mr. Chatchai Sriprom Mr. Worawit Mekruksawanich Ms. Suchitra Thaiariya
Special Project Adviser	Dr. Wiriyah Chupaween
Department	Applied Physics
Academic	1997

Abstract

This project studied ,designed and built a grating-based spectroscope which uses a CCD camera that detects and displays the light spectrum on a computer monitor . This spectroscope can be used to measure the spectrum of light by using a reflection grating as the dispersion device. The display shows the relation between wavelengths and intensities. Calibration is still needed in order to prove the performance of the spectroscope.

กิติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก
ดร. วิริยะ ชูปวีณ และ ผศ. ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ผู้ทำ
โครงการตลอดมา ผู้ทำโครงการนี้รู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ได้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างและคอยเป็นห่วงจนจบ
การศึกษาระดับปริญญาตรี

ขอขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์พระจอมเกล้าลาดกระบัง ภาควิชาฟิสิกส์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ เนคเทค (EOL) ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมด
ตลอดจนสถานที่ รวมทั้งการอำนวยความสะดวกจนสามารถทำโครงการพิเศษนี้เสร็จสิ้น
อย่างสมบูรณ์ได้ และขอขอบพระคุณ

พี่หน่อง (นางสาวนิศพร เกียรติไพศาล โสภณ) ให้คำปรึกษา ดูแลทุกอย่าง

พี่โมทย์ (นายอามิทย สมนุญณ์แก้ว) ช่วยเหลือด้านโปรแกรมและซอฟต์แวร์ให้
สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พี่ฮั่ว (นางสาวสุวรรณี วงศ์ศิริขจร) ให้คำแนะนำและคำปรึกษาด้านการ
ทดลองต่างๆ เป็นอย่างดี

พี่โอ้ (นายเฉลิมพล ไชยถาวร) ให้คำปรึกษาคอยประสานงาน

พี่ไอ้ต (นายธณชัย พงศ์ธรเสรี) ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือด้านต่างๆ

พี่ประสิทธิ์ (นายประสิทธิ์ จำปา) ให้คำปรึกษาและแนะนำทางด้าน machanic

พี่ภักดี (นายภักดี มุขอ) ให้คำปรึกษาด้านซอฟต์แวร์ต่างๆ

พี่ต่าย (นางฉัชชา สุขเสมอ) ให้ความช่วยเหลือ ติดต่อประสานงานทุกอย่าง
ให้ราบรื่นไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้
จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้ทำโครงการพิเศษ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทที่ 1 บทนำ.....	1
- ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	
- จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	
- ขอบเขตของการทำโครงการพิเศษ	
- วิธีดำเนินงาน	
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	3
2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	3
2.2 ลักษณะของสเปกตรัม.....	5
2.2.1 สเปกตรัมลักษณะแถบ	
2.2.2 สเปกตรัมลักษณะเส้น	
บทที่ 3 เกรตติงเลี้ยวเบน (DIFFRACTION GRATING).....	11
3.1 Free spectral range ของเกรตติง.....	12
3.2 การกระจายแสงของเกรตติง (Dispersion of grating).....	13
3.3 กำลังการแยกของเกรตติง (Resolution Power of grating).....	15
บทที่ 4 เครื่องมือวัดที่ใช้เกรตติง.....	21
4.1 สเปกโตรสโคป.....	21
4.2 สเปกโตรกราฟและสเปกโตรมิเตอร์.....	21
4.3 สเปกโตรโฟโตเมตรี.....	23
4.4 สเปกโตรสโคปปี	25
4.4.1 แหล่งกำเนิดแสงสำหรับสเปกโตรสโคปปี	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 CCD (Charge Coupled Device).....	28
- แบบส่งทั้งเฟรม	
- แบบเลื่อนส่งทีละแถว	
บทที่ 6 การออกแบบการสร้างเครื่องมือ.....	32
6.1 แหล่งกำเนิดแสงและช่องทางแสงผ่าน.....	32
6.2 เลนส์รวมแสง.....	34
6.3 สลิต.....	34
6.4 คอลลิเมเตอร์.....	34
6.5 การกระจายแสง.....	35
6.6 เลนส์โฟกัสแสง.....	36
6.7 ตัวรับแสง.....	36
6.8 คอมพิวเตอร์.....	37
บทที่ 7 ขั้นตอนการทดลองและการสร้างเครื่องมือ.....	38
7.1 การทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์.....	38
7.1.1 สเปกตรัมแบบต่อเนื่องของหลอดทั้งสแตน	
7.1.2 สเปกตรัมแบบเส้นของหลอดเมอร์คิวรี	
7.2 การทดลองในส่วนของซอฟต์แวร์.....	39
7.2.1 การเก็บข้อมูล	
7.2.2 การแสดงผลทางจอมอนิเตอร์	
7.3 ความสามารถทางเครื่องมือ.....	41
7.3.1 การทดลองหาค่า a ของเกรตติง	
7.3.2 การหา Resolution of grating	
บทที่ 8 สรุปผลและแนวทางในการแก้ไขพัฒนา.....	44
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

1. รูป 2-1-1 การแบ่งแสงในย่านต่างๆ.....	4
2. รูป 2-2-2 สเปกตรัมของ blackbody.....	6
3. รูป 2-2-1-3 โฟโตกราฟ ของแถบ สเปกตรัม.....	8
4. รูป 2-2-2-4 ภาพการถ่ายทางแสงของ สเปกตรัม.....	9
5. รูป 3-1 การเลี้ยวเบนในกรณีที่แสงตกกระทบทำมุม θ_i กับระนาบของเกรตติง.....	11
6. รูป 3-2-2 อันดับภาพการเลี้ยวเบนที่เกิดจากเกรตติง.....	14
7. รูป 3-3-3 การเลี้ยวเบนจากเกรตติงชนิดสะท้อน.....	17
8. รูป 3-4 Irradiance ของภาพการเลี้ยวเบนจากสลิต.....	18
9. รูป 3-5 เกรตติงชนิดส่งผ่านแบบ Blazed และ Unblazed.....	19
10. รูป 3-6 เกรตติงชนิดสะท้อนแบบ Blazed และ Unblazed.....	20
11. รูป 4-1-1 การจัดเกรตติงในแบบ Littrow mount.....	21
12. รูป 4-2-2 สเปกโตรกราฟแบบ echelle.....	22
13. รูป 4-2-3 สเปกโตรมิเตอร์แบบ Czerny-Turner.....	23
14. รูป 4-3-4 การดูคลื่นของลำแสงที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง.....	23
15. รูป 4-3-5 ส่วนประกอบหลักของ สเปกโตรมิเตอร์.....	24
16. รูป 4-4-6 องค์ประกอบสำคัญของ สเปกโตรมิเตอร์/สเปกโตรกราฟอย่างง่าย.....	26
17. รูป 6 การจัดเครื่องมือทาง สเปกโตรสโคปี.....	32
18. รูป 6-1 สเปกตรัมการคายประจุของ ไอของเมอร์คิวรี.....	33
19. รูป 6-2 ระบบการรวมแสงที่เหมาะสม.....	34
20. รูป 6-3 ส่วนของ คอลลิเมเตอร์เลนส์.....	35
21. รูป 6-4 การแยกสเปกตรัมโดยใช้เกรตติง.....	35
22. รูป 6-5 ส่วนของ โฟกัสเลนส์.....	36
23. รูป 6-6 CCD Sensor.....	36
24. รูป 6-7 ผลทางคอมพิวเตอร์.....	37
25. รูป 7-1-1 สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง.....	38
26. รูป 7-1-2 สเปกตรัมแบบเส้น.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

27. รูป 7-2-1 การเก็บข้อมูลด้วย CCD.....	39
28. รูป 7-2-2 ก) แสดงผลที่วัดจากการเก็บข้อมูล แบบที่ 1.....	39
29. รูป 7-2-2 ข) แสดงผลที่วัดจากการเก็บข้อมูล แบบที่ 2.....	40
30. รูปแสดงเครื่องสเปกโตรสโคป.....	40
31. รูป 7-3-1 การจัดอุปกรณ์การทดลอง.....	41
32. รูป 7-3-2 ลักษณะของเกรตติง.....	42
33. รูป 8-1 ผลการทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความเข้มแสง.....	44



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีเครื่องมือวัดทางแสง มาใช้งานเป็นจำนวนมาก ทั้งทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ หรือแม้กระทั่งงานวิจัย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องสั่งซื้อเครื่องมือจากต่างประเทศทำให้สูญเสียเงินเป็นจำนวนมาก แต่เราสามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้ โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างเครื่องมือที่เราต้องการขึ้นมาแทนการสั่งเข้ามาจากต่างประเทศ

สำหรับโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการแยกสเปกตรัม จากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ เช่น แสงขาว แสงจากหลอดโซเดียม แสงจากหลอดเมอร์คิวรี โดยใช้เกรตติงเป็นตัวแยกสเปกตรัมของแสงเหล่านี้ จากคุณสมบัติในการแยกแสงของเกรตติงนี้เอง ทำให้สามารถที่จะนำมาสร้างเป็นเครื่องมือในการแยกสเปกตรัมของแสง ซึ่งก็คือเครื่องสเปกโตรสโคปแบบใช้เกรตติง โดยใช้ CCD (Charge Couple Device) เป็นตัวรับสเปกตรัมที่ได้แล้วนำมาประมวลและแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

การสร้างเครื่องสเปกโตรสโคปแบบเกรตติง โดยใช้ CCD เป็นตัวรับและแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อสร้างเครื่องสเปกโตรสโคปแบบเกรตติง โดยใช้ CCD เป็นตัวแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์
2. เพื่อศึกษาสเปกตรัมของแสง จากหลอดเมอร์คิวรี
3. เพื่อศึกษาเกรตติงชนิดสะท้อนในการแยกสเปกตรัมของแสง
4. เพื่อศึกษาการใช้ ซอฟต์แวร์ ในการใช้แสดงผล
5. เป็นการศึกษาการออกแบบ และพัฒนาเทคโนโลยี ในการสร้างเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของการทำโครงการพิเศษ

เนื่องจากโครงการพิเศษนี้ เป็นการสร้างเครื่องมือระดับเบื้องต้น อาศัยความรู้ทาง ทัศนศาสตร์กายภาพ โดยมีการสร้างฮาร์ดแวร์ และนำซอฟต์แวร์ เพื่อใช้ในการเชื่อมโยง สัญญาณอนาลอกที่ได้จากเส้นสเปกตรัมแล้วมาแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ ในการที่จะ เป็นเครื่องมือที่สมบูรณ์แบบได้นั้น จะต้องมีการ Calibration ซึ่งเป็นส่วนที่จะต้องพัฒนา ต่อไป

วิธีการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. เป็นการกำหนดจุดมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตการทำงานทั้งหมด
2. ศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องมือ โดยจะเป็นการศึกษาทฤษฎีที่เป็น พื้นฐานเกี่ยวกับสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ หลักการสร้างและการทำงาน ของเครื่องมือ รวมทั้งส่วนประกอบของเครื่องมือทั้งหมด
3. ออกแบบระบบการทดลอง และทำการทดลองทางแสง เพื่อใช้ในการออกแบบใน ส่วนของฮาร์ดแวร์ของเครื่องมือ
4. ทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการทดลอง เพื่อให้สามารถลดส่วนที่ไม่จำเป็น ออกไปได้ ทำให้เครื่องมือมีขนาดเล็กลง
5. ศึกษาและเขียน ซอฟต์แวร์ เพื่อใช้ในการแสดงผล โดยการเลือกภาษาที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม การเตรียมข้อมูลที่จะใช้ ตลอดจนรูปแบบ การวิเคราะห์และลักษณะการ รายงานผล
6. เป็นขั้นทดสอบระบบทั้งหมด แล้วนำไปสร้างเครื่องมือ และทดสอบการใช้งานของ เครื่องมือ ว่ามีข้อบกพร่องที่จะต้องปรับปรุงแก้ไขหรือไม่อย่างไร
7. ปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆที่พบ
8. สรุปผลการทำโครงการพิเศษ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

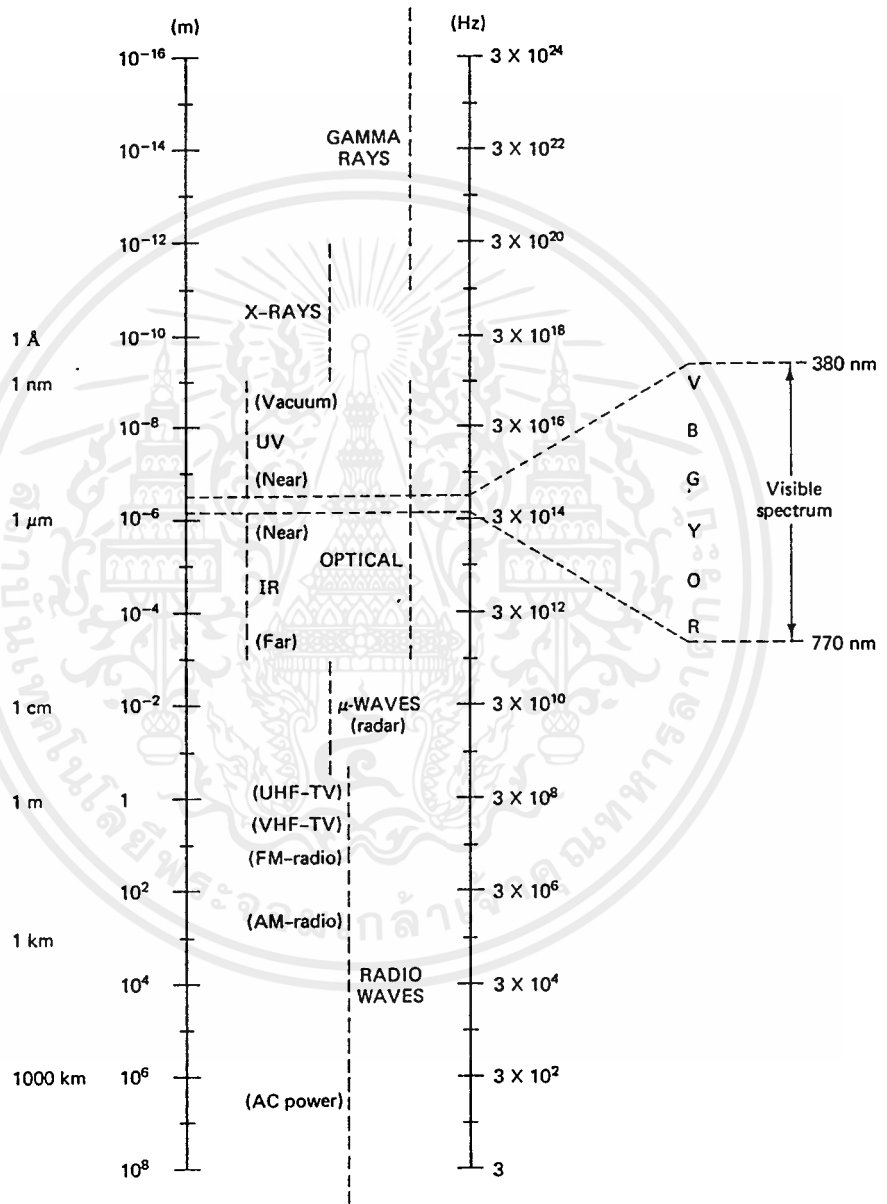
ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1. สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิด แต่ละขณะ อาจมีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว (monochromatic) หรืออาจมีความยาวคลื่นหลายค่า (polychromatic) และสำหรับกรณีหลังนี้ อาจจะอยู่ในลักษณะที่ต่อเนื่อง หรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ เราเรียกการกระจายของความยาวคลื่นนี้ว่า สเปกตรัม (SPECTRUM) ของคลื่น ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีชื่อเรียกหลายชื่อ ขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นหรือความถี่ ดังรูป 2-1-1 ค่าความยาวคลื่น λ และค่าความถี่ ν ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2-1)

$$c = \lambda \nu \quad \text{-----(2-1)}$$

คลื่นในรูป 2-1-1 ถือว่าเป็นคลื่นในสุญญากาศ ซึ่งอัตราเร็วของคลื่น c มีค่า 3×10^8 เมตรต่อวินาที ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นคือช่วงประมาณ 380 ถึง 770 นาโนเมตร เรียกกันโดยทั่วไปว่าช่วงของแสง หรือช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็น (visible region) ส่วนแสงช่วงที่มองไม่เห็นอีกสองช่วงคือ อัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และอินฟราเรด (infrared) เรามักนิยมเรียก 3 ช่วงนี้รวมกันว่า optical region



รูปที่ 2-1-1 การแบ่งแสงในย่านต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะของสเปกตรัม

กล่าวถึงสเปกตรัมเป็นการนำไปใช้ประโยชน์กับสิ่งที่มีอยู่ หรือคุณสมบัติที่แท้จริงที่มีการลำดับความสำคัญ การเพิ่มขึ้น ลดลงต่างๆ โดยทั่วไปสเปกตรัมเป็นการชี้ให้เห็นถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มของการแผ่รังสี (อนุภาค , โฟตอน หรือ acoustic radiation) กับฟังก์ชันของมวล โมเมนตัม ความยาวคลื่น ความถี่ หรือ ปริมาณอื่นๆที่มีความสัมพันธ์กัน เช่นตัวอย่าง สเปกตรัมอนุภาคเบต้า ที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายพลังงานหรือโมเมนตัมของอิเล็กตรอนลบที่แพร่เอง โดยมีอำนาจการแผ่รังสีได้เอง , และการ radionuclides แพร่อนุภาคอัลฟา จะผลิตสเปกตรัมอนุภาคอัลฟา หรือคุณลักษณะอื่นๆที่มากกว่า มวลสเปกตรัมเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคที่มีประจุ (อะตอมที่ไอออไนซ์ หรือ โมเลกุล) ทะลุผ่านสเปกโตรกราฟในที่ซึ่งมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ทำให้อนุภาคเบี่ยงเบน ดังนั้นจะมีอัตราส่วนประจุต่อมวล การกระจายของพลังงานคลื่นเสียงเกินช่วงของความถี่ที่ให้เรียกว่า สเปกตรัม

ในขอบเขตของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมเป็นลำดับของพลังงานการส่งผ่านรังสี กำหนดโดยอันดับของความยาวคลื่น หรือความถี่ ตลอดทั้งช่วงของความถี่เป็นส่วนย่อยของระยะห่างของความกว้าง ซึ่งคลื่นมีคุณลักษณะร่วมกันของการเกิดหรือการตรวจจับ เช่น สเปกตรัมคลื่นวิทยุ สเปกตรัมอินฟราเรด สเปกตรัมช่วงที่ตามองเห็น สเปกตรัมอัลตราไวโอเล็ต และ สเปกตรัมรังสีเอกซ์ สเปกตรัมมีการจัดเป็นหมวดหมู่ตามรากฐานหรือกลไกของมัน ของการกระตุ้น การแพร่ การดูดกลืน ความต่อเนื่อง เส้น และแถบสเปกตรัม

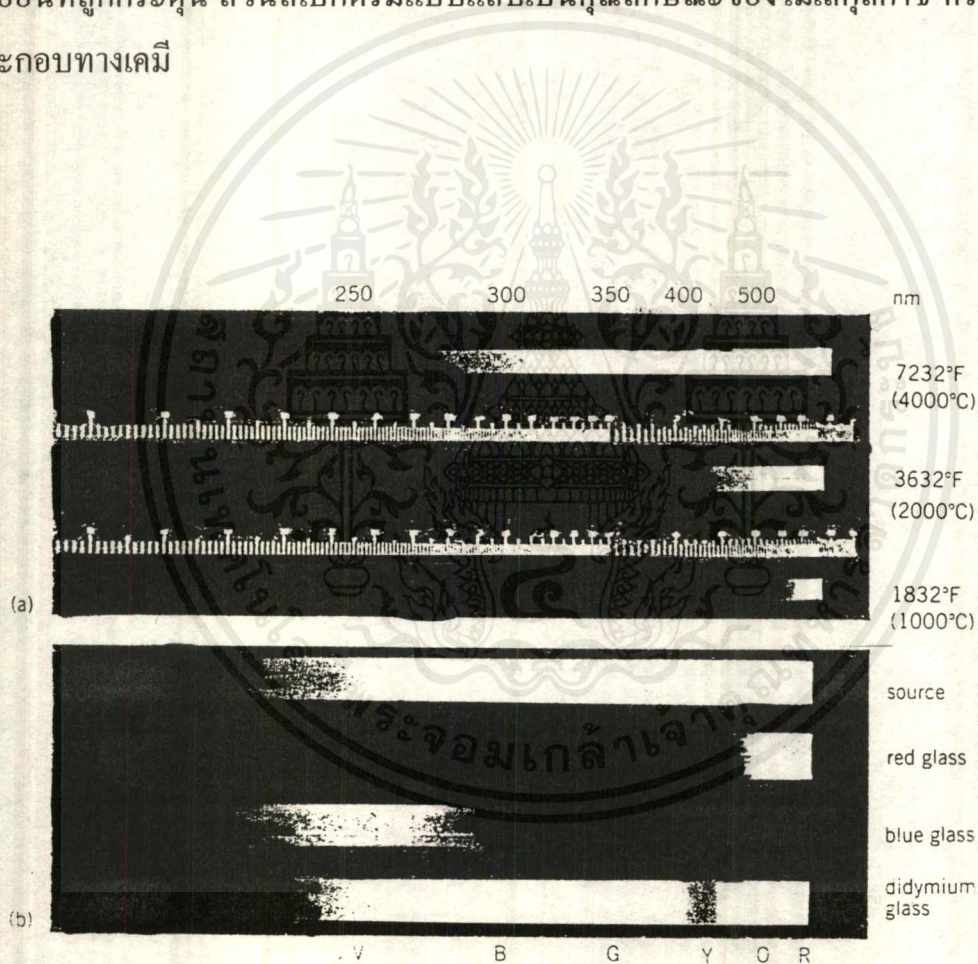
สเปกตรัมการแพร่เป็นสิ่งที่ได้ เมื่อใดก็ตามที่การแผ่รังสีจากการกระตุ้นแหล่งกำเนิดแสงเป็นการกระจายออก การกระตุ้นของสเปกตรัมการแพร่อาจเป็นโดยพลังงานความร้อน , โดยการกระทบกับอิเล็กตรอนและไอออน หรือ โดยการดูดกลืนของโฟตอนขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแหล่งกำเนิดแสง สเปกตรัมการแพร่อาจเป็นสเปกตรัมต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ และสำหรับสเปกตรัมที่ไม่ต่อเนื่อง อาจแสดงสเปกตรัมแบบเส้น (line spectrum) สเปกตรัมแบบแถบ (band spectrum) หรือทั้งคู่

สเปกตรัมการดูดกลืนได้จากการแผ่รังสีอย่างต่อเนื่องโดยกันวัตถุที่ลดความเข้มของการแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นหรือสเปกตรา พลังงานย้ายจากสเปกตรัมต่อเนื่อง โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกั้นของตัวกลางการดูคลื่น ซึ่งเป็นการแพร่โดยตัวกลางเป็นในทำนองเดียวกันกับการดูคลื่นและการแพร่ที่ได้จากกฎของเคอร์ซอพ

การเรืองแสงของของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่ถูกอัดเป็นการแผ่แบบสเปกตรัมต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ใ้หลอดเรืองแสง หรือ เตาลอมโลหะร้อน โดยทั่วไปสเปกตรัมต่อเนื่องเกิดได้ที่อุณหภูมิสูง และ ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะของการกระจายพลังงานกับฟังก์ชัน ของอุณหภูมิ และความยาวคลื่น แสดงได้ด้วยกฎของ พลังค์

สเปกตรัมแบบเส้นเป็นสเปกตรัมที่ไม่ต่อเนื่องคุณลักษณะของอะตอมและไอออนที่ถูกกระตุ้น ส่วนสเปกตรัมแบบแถบเป็นคุณลักษณะของโมเลกุลก๊าซ หรือ ส่วนประกอบทางเคมี



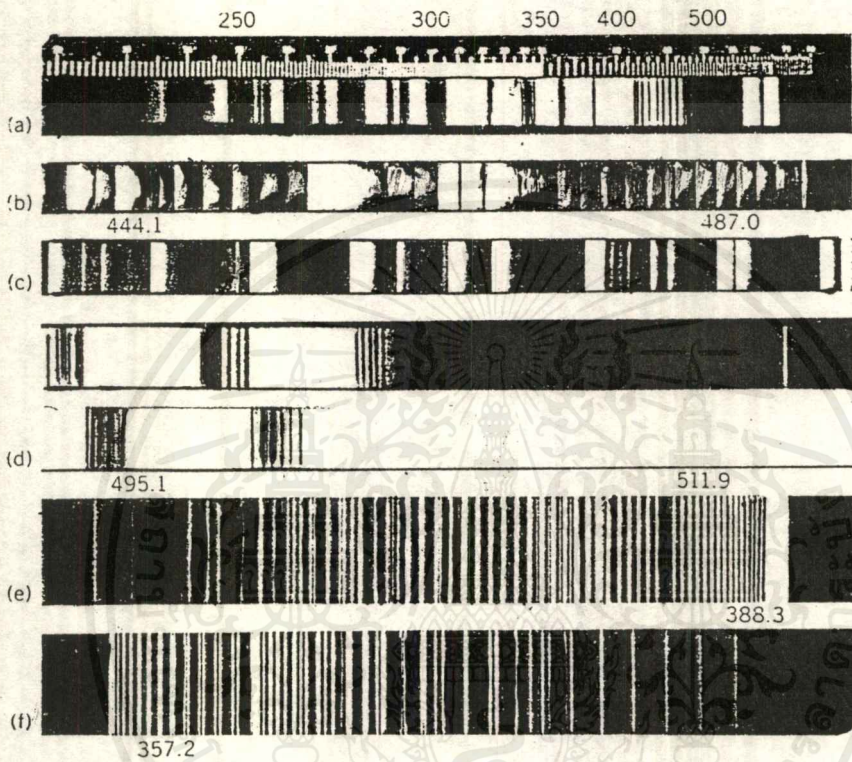
รูป 2-2-2 สเปกตรัมของ blackbody รูป (a) สเปกตรัมส่งผ่านต่อเนื่องของ ของแข็ง ภาพจาก quartz spectrograph รูป (b) สเปกตรัมดูคลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดอย่างเดียว และ ภาพจากแก้ว 3 ชนิด 3 สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 สเปกตรัมลักษณะแถบ

สเปกตรัมที่ประกอบด้วยกลุ่มหรือแถบของเส้นที่อยู่ติดกัน สเปกตรัมแบบแถบ เป็นคุณลักษณะของโมเลกุลก๊าซ หรือ ส่วนประกอบทางเคมี เมื่อแสงแพร่หรือถูกดูดกลืนโดยโมเลกุล ภาพจะผ่านสเปกโตรสโคปด้วยการกระจายน้อยๆ สเปกตรัมที่ปรากฏจะประกอบด้วย เส้น asymmetrical ที่กว้างมากเรียกว่าแถบ (band) โดยปกติแถบเหล่านี้มีความเข้มสูงสุดใกล้ขอบข้างหนึ่ง เรียกว่า band head และความเข้มจะค่อยๆลดลงบริเวณของอีกด้านหนึ่ง แถบต่างๆในบางระบบ intensity shading เป็นไปในทางความยาวคลื่นที่สั้นกว่า ซึ่งนอกระบบนี้จะเป็นในทางความยาวคลื่นที่ยาวกว่า แต่ละระบบแถบจะประกอบด้วยลำดับของความถี่เท่ากันของแถบที่กว้างเรียกว่า progressions : มีลักษณะเช่นเดียวกับแถบของ different progressions จากกลุ่มเรียกว่าลำดับ

ตัวอย่าง 6 สเปกตรัมของ โมเลกุล ไคอะตอมมิก แสดงดังรูป สเปกตรัมของหลอดคายประจุ บรรยากาศที่มีความดันต่ำ แสดงในรูป 2-2-3a และระบบ 4 แถบ : แถบ γ ของไนโตรเจนออกไซด์ (NO , 230 – 270 nm) แถบไนโตรเจนลบ (N_2^+ , 290 – 350 nm) แถบไนโตรเจนบวกอันดับสอง (N_2 , 290 – 500 nm) และแถบไนโตรเจนบวกอันดับหนึ่ง (N_2 , 550 – 700 nm) สเปกตรัมของการคายประจุที่ความถี่สูง ในไอตะกั่ว ฟลูออไรด์ ใน b มีแถบในลำดับที่สำคัญ สเปกตรัมใน c แสดงในส่วนของระบบ 1 แถบของ SbF และเป็นการได้ในอันดับที่สองของเกรตติงเดี่ยวเบนเหมือนกันกับสเปกตรัมใน e และ f โฟโตกราฟ e เป็นแถบของ CN ที่ 388.3 nm จากหลอดที่ปล่อยประจุอาร์กอนบรรจุคาร์บอนและสารเจือไนโตรเจน และ f เป็นแถบในสเปกตรัมอัลตราไวโอเล็ตของ NO ได้จากการเปล่งปฏิกิริยาของไนโตรเจนซึ่งบรรจุด้วยออกซิเจน

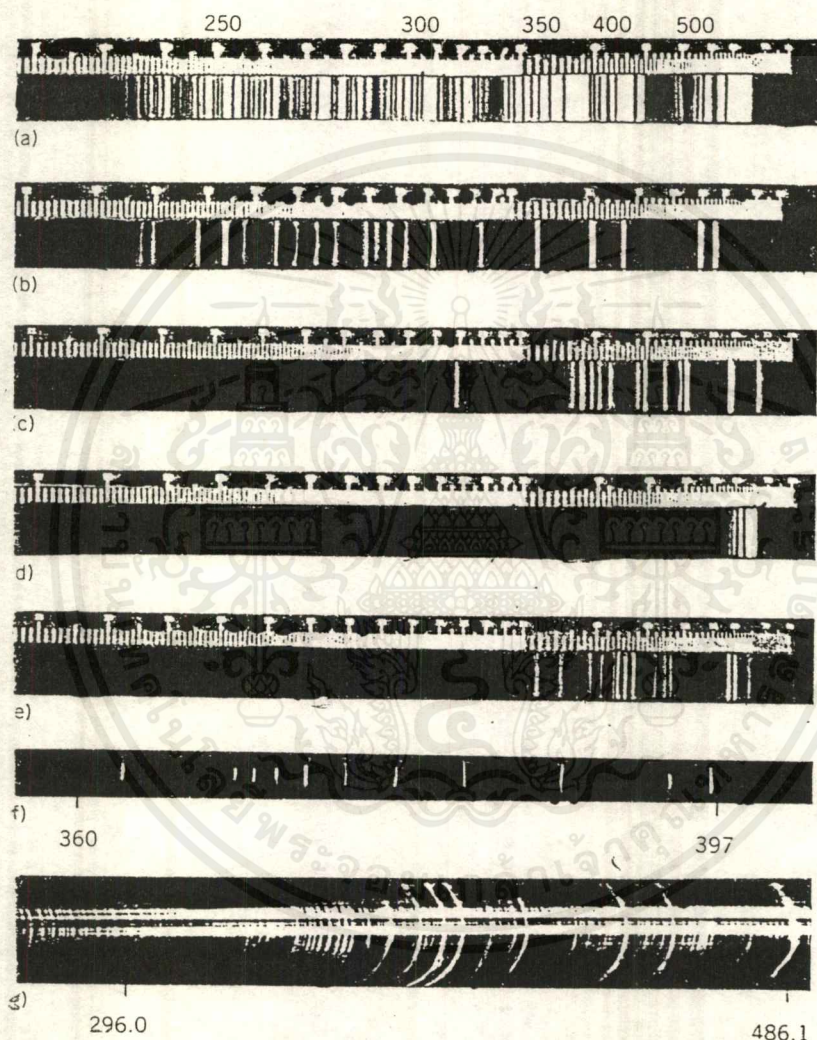


รูป 2-2-1-3 โฟโตกราฟของแถบสเปกตรัมของ (a) หลอดคายประจุที่บรรจุก๊าซความดันต่ำ ; (b) การคายประจุที่ความถี่สูงของไอของ lead fluoride ; (c) SbF ; (d) การส่งผ่านและการดูดกลืนของ BaF ; (e) CN ; และ (f) NO . ในหน่วยของนาโนเมตร

2.2.2 สเปกตรัมลักษณะเส้น

คุณลักษณะของสเปกตรัมต่อเนื่องของอะตอม ไอออน ในสถานะถูกกระตุ้น และ โมเลกุลบรรจุในก๊าซความดันต่ำ จะสามารถแยกแยะได้จากแถบของสเปกตรัมที่ถูกส่งผ่านโดยโมเลกุลอิสระ และสเปกตรัมต่อเนื่องที่ถูกส่งผ่านโดยสารในรูปของแข็ง ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลว และสถานะก๊าซ ถ้าการอาร์กหรือการสปาร์คระหว่างขั้วไฟฟ้า หรือ การคายประจุทางไฟฟ้าผ่านก๊าซความดันต่ำ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสเปกโตรสโคป ภาพจากสเปกโตรสโคปจะแสดงสีของคุณลักษณะการส่งผ่านโดยอะตอมหรือไอออน



รูป 2-2-2-4 ภาพถ่ายทางแสงของเส้นสเปกตรัม , ความยาวคลื่นในหน่วยแองสตรอม ; (a-e) แสดงสเปกตรัมการส่งผ่าน โดยสเปกโตรกราฟ (a) สเปกตรัมจากการอาร์ก ของโลหะ (b) สเปกตรัมของเมอร์คิวรี (c) หลอดคายประจุของก๊าซฮีเลียม (d) หลอดคายประจุของก๊าซนีออน (e) หลอดคายประจุของก๊าซอาร์กอน (f) อนุกรมของบัลเมอร์ของก๊าซไฮโดรเจนในย่านอัลตราไวโอเลต ภาพจากเกรตติงสเปกโตรกราฟ (g) สเปกตรัมส่งผ่านของชั้นโครโมสเฟียร์จากดวงอาทิตย์ เส้นสเปกตรัมโดยไม่ใช่สติกกัน ในปรากฏการณ์ สุริยุคราส ดวงจันทร์บดบัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควงอาทิตย์ จากรูปแสดงเส้นเข้ม 2 เส้น คือ เส้น H และ K ของแคลเซียม แสดงการบังของไอของแคลเซียม เส้นเข้มที่เห็นมาจาก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซฮีเลียม โดย 1 แองสตรอม = 0.1 นาโนเมตร

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการซ้อนทับกันของสเปกตรัม สลิตที่ให้แสงจากแหล่งกำเนิดผ่านจะต้องแคบมากๆ สเปกตรัมที่ปรากฏเป็นริ้วสว่างของสลิตบนฉากมืด จะดูคล้ายเส้นสเปกตรัมมืดจึงทำให้เกิดแถบสว่างเกิดขึ้น



บทที่ 3

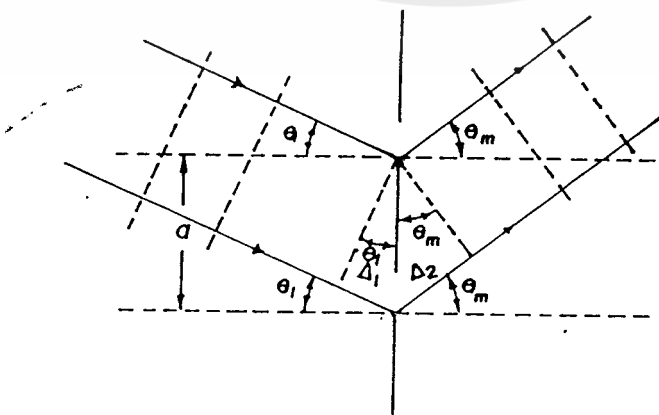
เกรตติงเลี้ยวเบน (DIFFRACTION GRATING)

การเกิดแถบสว่างของเกรตติงตามสมการ $m\lambda = a \sin \theta$ นั้น เป็นผลมาจากการเลี้ยวเบนแบบ เฟรอน์โฮเฟอร์ ซึ่งมีแนวของลำแสงตกกระทบบนในระนาบของเกรตติง ในกรณีที่ลำแสงตกกระทบบนทำมุม θ_i กับระนาบของเกรตติงดังรูป 3-1 จะสามารถหาความแตกต่างของระยะทางจากสลิตที่อยู่ติดกันได้เป็น

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = a \sin \theta_i + a \sin \theta_m \quad \text{-----(3-1)}$$

เทอมทั้งสองทางขวามือของสมการ (3-1) นี้อาจบวกหรือลบกันก็ได้ขึ้นกับทิศทางของ θ_m ของลำแสงเลี้ยวเบน ถ้าต้องการทำให้สมการ (3-1) สามารถใช้ได้กับทุกกรณี จำเป็นต้องกำหนดเครื่องหมายให้กับมุม ถ้ามุมตกกระทบบนและมุมที่แสงเลี้ยวเบนไปอยู่ทางด้านเดียวกันเมื่อเทียบกับเส้นปกติ เช่น ในรูปที่ 3-1 ให้ θ_m เป็นค่าบวก ส่วนในกรณีที่ลำแสงเลี้ยวเบนอยู่อีกด้านหนึ่งของเส้นปกติ ให้ θ_m เป็นค่าลบ ซึ่งในกรณีที่ θ_m เป็นค่าลบนี้ Δ จะมีค่าเท่ากับ $\Delta_1 - \Delta_2$ อย่างไรก็ตามในทุกกรณีจะได้ว่าเมื่อ $\Delta = m\lambda$ คลื่นเลี้ยวเบนทั้งหมดจะมีเฟสตรงกัน และสมการ (3-1) จะได้เป็น

$$a (\sin \theta_i + a \sin \theta_m) = m\lambda \quad \text{เมื่อ } m = 0, +1, +2 \quad \text{----- (3-2)}$$



รูปที่ 3-1 แสดงการเลี้ยวเบนในกรณีที่แสงตกกระทบบนทำมุม θ_i กับระนาบของเกรตติง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นที่ไม่มีการซ้อนทับกันในอันดับที่หนึ่งคือช่วง 400-800 นาโนเมตร ในอันดับที่สองคือช่วง 400-600 นาโนเมตร และ 400-533 นาโนเมตรในอันดับที่สาม

3.2 การกระจายแสงของเกรตติง (Dispersion of grating)

ในอันดับสูงๆ ของการเลี้ยวเบน ค่า irradiance จะยิ่งลดน้อยลง อย่างไรก็ตามหากพิจารณารูปที่ 3-2 (ข) จะเห็นว่าถ้าอันดับยิ่งสูงขึ้นสเปกตรัมของความยาวคลื่นต่างๆ จะแยกห่างกันมากขึ้นด้วย การแยกกันของสเปกตรัมนี้อาจอธิบายได้โดยใช้ค่าการกระจายเชิงมุม (angular dispersion, D) ซึ่งมีนิยามว่า

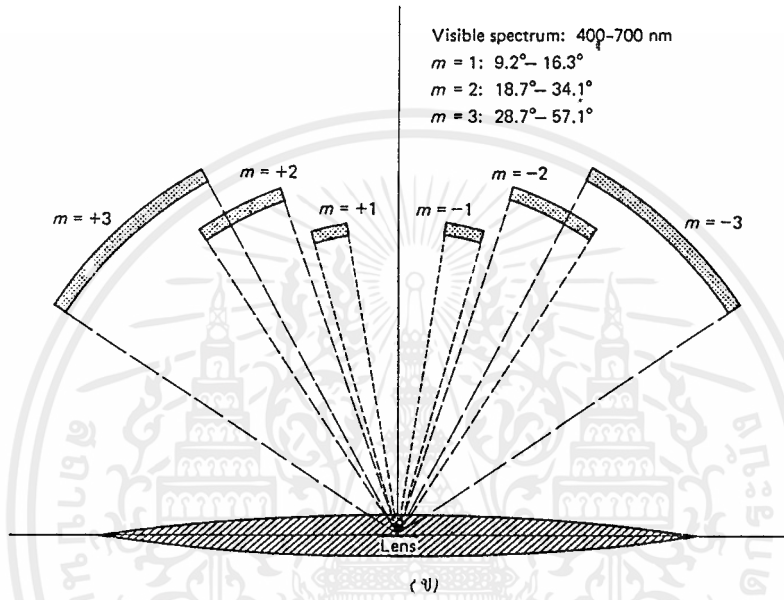
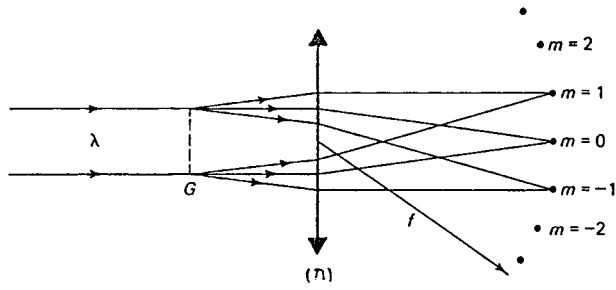
$$D = d\theta_m / d\lambda \quad \text{-----}(3-4)$$

ค่า D จะทำให้ทราบระยะห่างระหว่างเชิงมุมต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น และสามารถหาได้จากสมการ (5)

$$D = m/a \cos \theta_m \quad \text{-----}(3-5)$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าเกรตติงมีจำนวนช่อง 5000 ช่องต่อเซนติเมตร หรือมีค่าคงตัวของเกรตติง (grating constant) ซึ่งคือระยะห่างระหว่างช่องเป็น $a = 2 \times 10^{-4}$ เซนติเมตร ในอันดับที่ $m = 0$ จะได้ $D = 0$ ด้วย นั่นคือไม่มีการกระจายเชิงมุมในอันดับนี้ สำหรับอันดับที่หนึ่งและความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร จะได้ θ_m เป็น 14.5 องศา (กรณีที่แสงตกกระทบบนระนาบของเกรตติงหรือ $\theta_i = 0$) และจะได้การกระจายเชิงมุม D ในบริเวณรอบๆ 500 นาโนเมตรเป็น $D = 5146$ เรเดียนต่อเซนติเมตร หรือ 0.0296 องศาต่อนาโนเมตร

ถ้าเราต้องการบันทึกภาพการเลี้ยวเบนในกรณีของรูป 3-2 (ข) เราควรเปลี่ยนค่าการกระจายเชิงมุมไปเป็นการกระจายเชิงเส้น (linear dispersion) $dy/d\lambda$ เมื่อ y เป็นระยะที่วัดบนฟิล์มที่วางอยู่บนระนาบ โฟกัสของเลนส์



รูปที่ 3-2-2 (ก) แสดงตำแหน่งของอันดับภาพการเลี้ยวเบนที่เกิดจากเกรตติง เมื่อใช้เลนส์นูนรวมแสงเลี้ยวเบนไปตกบนฉาก (ข) การกระจายแสงในอันดับต่างๆ

เนื่องจาก $dy = f d\theta$
 จะได้การกระจายเชิงเส้น $dy/d\lambda = f d\theta_m/d\lambda = fD$ -----(3-6)

เมื่อพิจารณากรณีที่แสงตกกระทบในระนาบของเกรตติง $\theta = 0$ จะได้

$$D = m/a \cos\theta = (a \sin\theta/\lambda) (1/a \cos\theta)$$

$$= \tan\theta/\lambda$$
 -----(3-7)

แสดงให้เห็นว่า การกระจายแสงของเกรตติงไม่ได้ขึ้นกับค่าคงตัวของเกรตติงเลย หากจะเปลี่ยนแปลงตามมุมเลี้ยวเบนอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ที่ตำแหน่งของแสงเลี้ยวเบน θ ใด ๆ ผลของการเพิ่มค่าคงตัวของเกรตติง จะทำให้อันดับของการเลี้ยวเบน ณ ตำแหน่งนั้นเพิ่มขึ้นดังแสดงในสมการ (3-5)

ขนาดเล็กมากไปตามรอยเกลียวที่ถี่มากของสกรู 2 ตัวที่วางขนานกัน หรือทำโดยการขีดเส้นขนานลงบนแก้วม้วๆ ต่อมา H.A. Rowland (นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ค.ศ. 1848-1901) ได้ฉาบผิวแผ่นแก้วด้วยโลหะให้เป็นเส้นขนาน ในปัจจุบันได้มีการทำเกรตติงด้วยการใช้หัวเพชรที่แหลมคมกรีดไปบนแผ่นแก้วที่มีการขยายตัวน้อย หรือบนแผ่นฟิล์มของอลูมิเนียมหรือทองที่ฉาบอยู่บนแก้ว แผ่นแก้วนี้ก่อนนำมาใช้ ต้องทำการขัดผิวให้เรียบในอันดับ 1 ใน 10 ของความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เครื่องมือที่ใช้ในการทำให้เกิดรอยขีดปัจจุบัน สามารถทำได้ถึง 3600 ร่องต่อมิลลิเมตร บนความกว้างมากกว่า 40 เซนติเมตร โดยมีความลึก ขนาด และระยะห่างสม่ำเสมอ

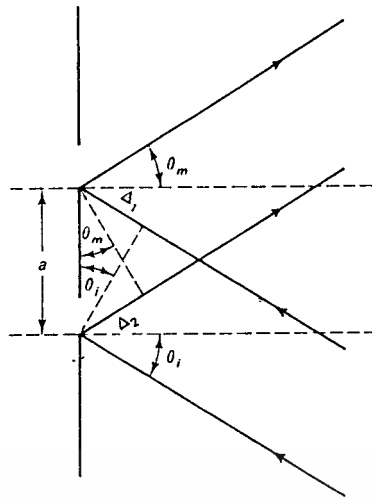
เกรตติงอาจแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ เกรตติงชนิดส่งผ่าน (transmission grating) และเกรตติงชนิดสะท้อน (reflection grating) ในเกรตติงชนิดส่งผ่านนั้น แสงอาจจะผ่านออกไปตามช่องบนแผ่นแก้ว (transmission amplitude grating) หรืออาจผ่านออกไปจากบริเวณต่างๆ ของแผ่นแก้วที่มีการหน่วงเฟสเป็นค่าต่างๆ (transmission phase grating) ซึ่งการหน่วงเฟสนี้อาจทำได้โดยการทำให้เกิดช่องที่มีความหนาต่างๆกัน สำหรับในเกรตติงชนิดสะท้อนนั้น ด้านที่เป็นร่องหรือรอยขีดจะมีการสะท้อนที่ถี่มาก และแสงที่สะท้อนไปจากร่องทั้งหลายนี้ ก็จะทำให้เกิดผลเช่นเดียวกับแสงที่ส่องผ่านช่องออกมา คือมีการไปรวมกันให้ผลออกมาเป็นแถบสว่าง-มืด ซึ่งในงานวิจัยที่ต้องการความละเอียดถูกต้องและแม่นยำแล้ว จะนิยมใช้เกรตติงชนิดสะท้อน เมื่อมีแสงสะท้อนจากร่องต่างๆ บนเกรตติงดังแสดงในรูปที่ 3-3 ระยะทางที่แตกต่างกันระหว่างแสงสะท้อนจากร่องที่อยู่ติดกัน ขณะเมื่อไปพบกันบนฉาก จะมีค่าเป็น

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = a \sin \theta_i - a \sin \theta_m$$

ถ้า $\Delta = m\lambda$ ผลของการรวมแสงจะทำให้ได้แถบสว่างหลักเช่นเดียวกับกรณีของเกรตติงชนิดส่งผ่าน ดังนั้น สมการแสดงเงื่อนไขการเกิดแถบสว่างจะเป็นเช่นเดียวกันคือ

$$m\lambda = a (a \sin \theta_i + a \sin \theta_m)$$

โดยมีข้อกำหนดของเครื่องหมายของมุมเป็นแบบเดียวกัน ในรูปที่ 3-3 นี้ θ_m กับ θ_i อยู่คนละด้านของเส้นปกติ ดังนั้น θ_m จึงมีค่าเป็นลบ ที่อันดับที่ $m = 0$ มุม $\theta_m = -\theta_i$ กล่าวคือร่องบนเกรตติงทำหน้าที่เป็นกระจกสำหรับความยาวคลื่นทุกค่า



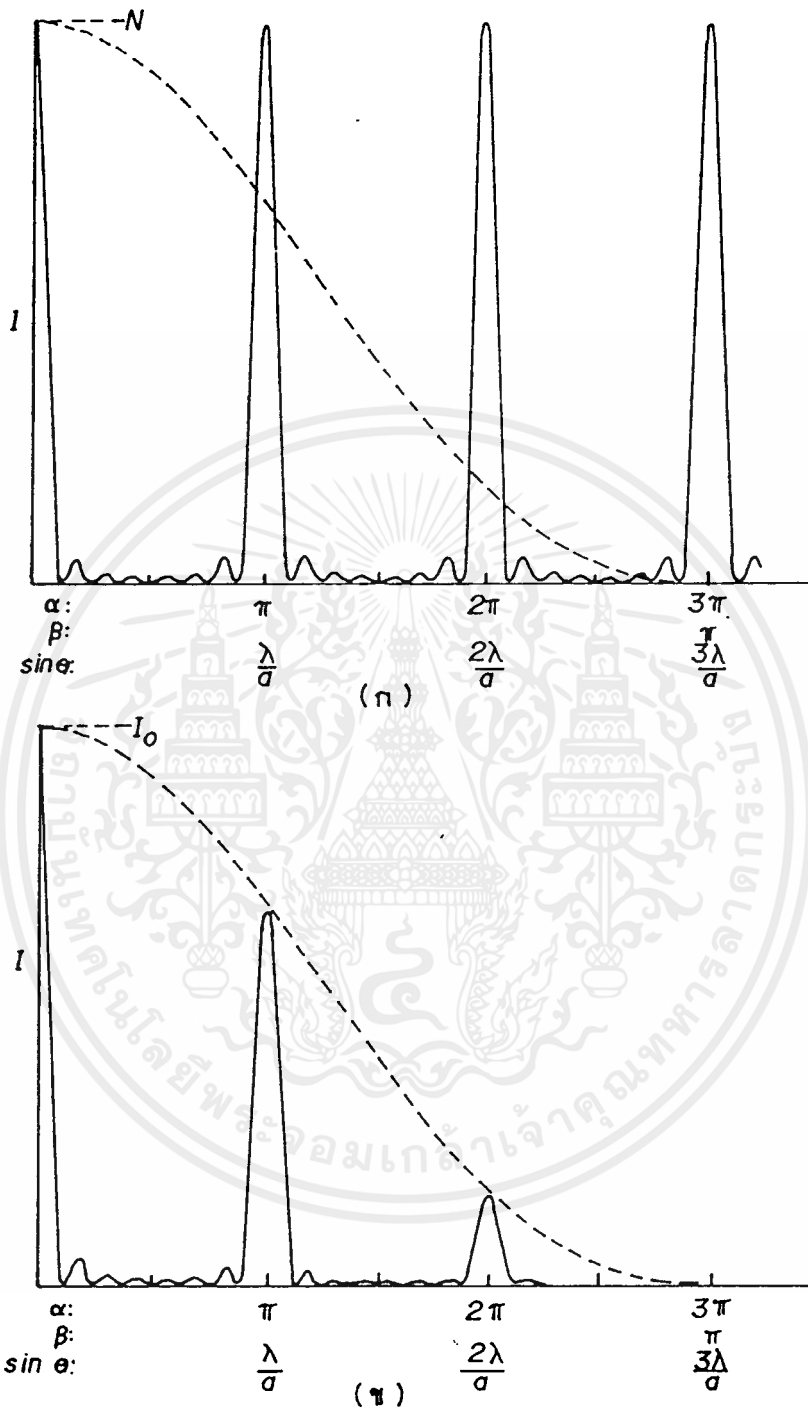
รูปที่ 3-3-3 แสดงการเลี้ยวเบนจากเกรตติงชนิดสะท้อน

โลหะที่ฉาบไว้บนผิวของเกรตติงชนิดสะท้อนแสงนี้ควรมีค่าการสะท้อนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในย่านอัลตราไวโอเล็ต คือช่วง 110-160 นาโนเมตร นิยมฉาบด้วยแมกนีเซียมฟลูออไรด์ หรือลิเทียมฟลูออไรด์บนอลูมิเนียม และที่ย่านที่ต่ำกว่า 100 นาโนเมตร นิยมฉาบด้วยทองหรือแพลตินัม ส่วนในย่านอินฟราเรดนิยมฉาบด้วยเงินหรือทอง

เนื่องจากลำแสงเลี้ยวเบนจากเกรตติงจะต้องผ่านเลนส์นูนหรือกระจกเว้าเพื่อรวมแสงไปตกลงบนฉาก ในบางกรณีที่มีปัญหาจากการดุดกคลื่นแสงของเลนส์หรือกระจกมาก เช่นในกรณีของแสงอัลตราไวโอเล็ตในย่าน 100-200 นาโนเมตร อาจต้องมีการแก้ไขโดยใช้เกรตติงรูปเว้า (concave grating) ในการทำให้เกิดการเลี้ยวเบนและการรวมแสง เกรตติงรูปเว้านี้ก็คือกระจกเว้าที่มีช่องอยู่บนด้านที่มีการสะท้อนแสงนั่นเอง

ประสิทธิภาพของเกรตติงที่ความยาวคลื่นและอันดับใดๆ หมายถึงอัตราส่วนของพลังงานของแสงเลี้ยวเบนต่อพลังงานของแสงตกกระทบ ณ ความยาวคลื่นนั้น การเพิ่มจำนวนช่องบนเกรตติงเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้พลังงานแสงผ่านไปได้มาก และทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แถบสว่างในภาพการเลี้ยวเบนอันดับศูนย์ ซึ่งเป็นแถบที่ไม่มีการกระจายแสง เป็นแถบที่ทำให้พลังงานเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ และทำให้ประสิทธิภาพลดลง และแถบสว่างอันดับศูนย์นี้ยังรวมแถบสว่างที่สุดของภาพการแทรกสอดไว้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแถบสว่างที่สุดนี้ตรงกับจุดสูงสุดของภาพการเลี้ยวเบนของสลิตเดี่ยวคือตำแหน่ง $\alpha = 0$ ในรูปที่ 3-4 เทคนิคที่ใช้ในการทำร่องของเกรตติงเพื่อทำให้จุดสูงสุดของภาพการเลี้ยวเบนของสลิตเดี่ยว เลื่อนไปตรงกับแถบสว่างของภาพการแทรกสอดในอันดับอื่นๆ เรียกว่า blazing

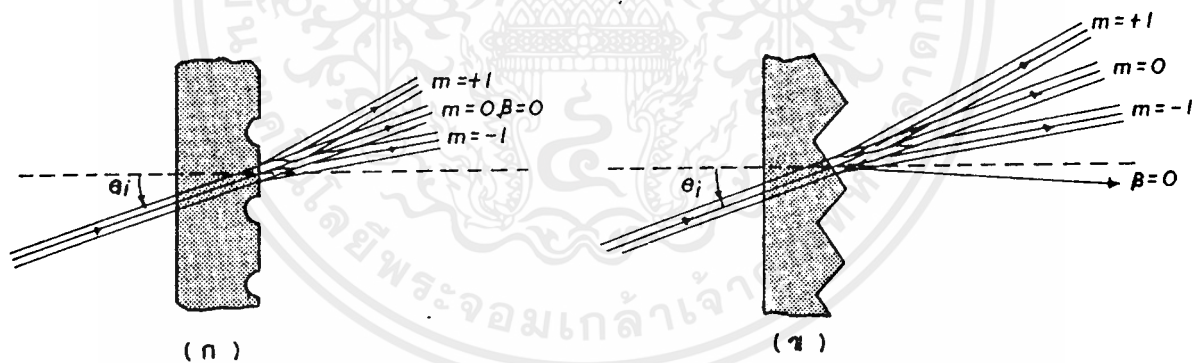
สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



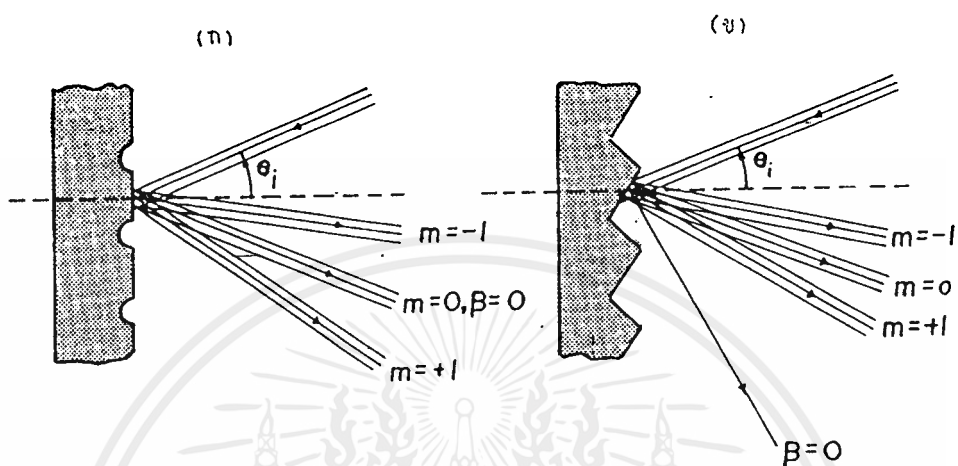
รูปที่ 3-4 (ก) แสดง $(\sin N\alpha / \sin \alpha)$ (เส้นทึบ) และ $(\sin \beta / \beta)$ (เส้นประ) สำหรับสลิต
ที่มีจำนวนช่อง $N = 8$ และ $a = 3b$
(ข) แสดง irradiance ของภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตใน (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เข้าใจถึงผลของ blazing ให้พิจารณารูปที่ 3-5 ในกรณีที่เป็นเกรตติงชนิดส่งผ่าน และรูปที่ 3-6 ในกรณีเป็นเกรตติงชนิดสะท้อน และเพื่อง่ายต่อการพิจารณาจึงให้มีลำแสงส่งผ่านหรือสะท้อนจากร่องเพียงร่องเดียวบนเกรตติง ในรูปทั้งสองนี้แสดงให้เห็นทั้งกรณีที่เกรตติงเป็นแบบ unblazed และ blazed การทำ blazing ของเกรตติงจะส่งผลให้มีการเลื่อนจุดสูงสุดในภาพการเลี้ยวเบน คือตำแหน่ง $\beta = 0$ ไปจากตำแหน่งของภาพการแทรกสอดอันดับ $m = 0$ เงื่อนไข $\beta = 0$ หมายถึงการที่แสงจากขอบและจากจุดกึ่งกลางของร่องบนเกรตติงไปถึงฉากในระยะทางที่เท่ากัน ซึ่งแสดงว่าแสงไม่มีการเลี้ยวเบน ในรูปที่ 3-5 ตำแหน่งที่ $\beta = 0$ นี้อยู่ในแนวเดียวกับแสงเลี้ยวเบน ส่วนในรูปที่ 3-6 ตำแหน่งที่ $\beta = 0$ อยู่ในแนวของแสงสะท้อน (มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน) โดยการทำให้รูปร่างของร่องที่ 5 (ข) เป็นลักษณะของปริซึม หรือเป็นกระจกราบที่เอียง



รูปที่ 3-5 (ก) สำหรับเกรตติงชนิดส่งผ่านแบบ unblazed จะมีจุดสูงสุดในภาพการเลี้ยวเบนที่ $\beta = 0$ ซึ่งซ้อนทับภาพการแทรกสอดอันดับที่ $m = 0$ (ข) ในเกรตติงแบบ blazed จุดสูงสุดทั้งสองจะแยกจากกัน



รูปที่ 3-6 (ก) สำหรับเกรตติงชนิดสะท้อนแบบ unblazed จะมีจุดสูงสุดของภาพการเลี้ยวเบนที่ $\beta = 0$ ซึ่งซ้อนทับกับภาพการแทรกสอด อันดับที่ $m = 0$ (ข) ในเกรตติงแบบ blazed จุดสูงสุดทั้งสองจะแยกจากกัน

ดังในรูปที่ 3-6 (ข) ตำแหน่งที่ความแตกต่างของระยะทางของแสงจากขอบและจุดกึ่งกลางร่อง ไปถึงฉากจะเป็นศูนย์ หรือ $\beta = 0$ จะเลื่อนไปในแนวที่ลำแสงเลี้ยวเบน (กรณีเกรตติงชนิดส่งผ่าน) และในแนวที่ลำแสงสะท้อน (กรณีเกรตติงชนิดสะท้อน) อย่างไรก็ตาม ตำแหน่งสูงสุดของภาพการแทรกสอดจะยังคงอยู่ที่เดิม และตำแหน่งนี้จะหาได้จากสมการ $m\lambda = a \sin \theta$ โดยวัดมุมเทียบกับระยะห่างของเกรตติง ในทั้งสองรูปนี้การทำ blazing จะไม่ทำให้ระยะห่างและระยะระหว่างร่องของเกรตติงเปลี่ยนไป ผลที่ได้จะทำให้จุดสูงสุดของภาพการเลี้ยวเบนไปซ้อนทับกับภาพการแทรกสอดในอันดับ m ที่สูงขึ้น และเกรตติงแบบ blazed นี้ จะทำการปรับแนวที่ส่งพลังงานออกไปได้ตามต้องการ

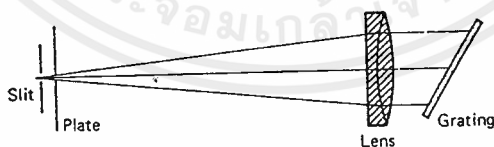
บทที่ 4

เครื่องมือวัดที่ใช้เกรตติง

เครื่องมือวัดชนิดต่างๆ ที่ใช้เกรตติงในการแยกสเปกตรัมของแสง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 สเปกโตรสโคป

สเปกโตรสโคป เป็นเครื่องมือที่แต่เดิมเคยใช้ ปริซึมเป็นตัวกระจายแสง ต่อมาได้ นำเกรตติงมาใช้แทนเพื่อเพิ่มความสามารถในการแยกเส้นสเปกตรัม ประโยชน์ของ เครื่องมือชนิดนี้คือ ใช้วิเคราะห์สเปกตรัม และใช้หาความยาวคลื่น หลักการของเครื่องมือนี้คือ ให้แสงผ่านเข้ามาทางสลิต และ collimating lens เพื่อทำให้ลำแสงขนานไปตกกระทบเกรตติง จากนั้นก็มองภาพผ่านกล้องโทรทรรศน์ที่มีระยะโฟกัสอยู่ไกลมาก ในกรณี ที่เป็นการลงทุนไม่สูงนัก มักนิยมใช้เกรตติงชนิดส่งผ่านที่มีราคาไม่สูงนัก แต่ในกรณี ที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูง เช่น งานในการวิจัย มักนิยมใช้เกรตติงชนิด สะท้อน



รูปที่ 4-1-1 แสดงการจัดเกรตติงในแบบ Littrow mount เพื่อใช้ในสเปกโตรกราฟ

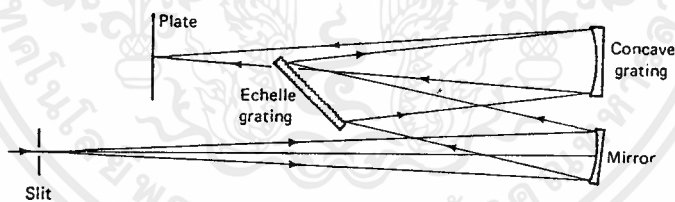
4.2 สเปกโตรกราฟและสเปกโตรมิเตอร์

สเปกโตรกราฟ เป็นเครื่องมือที่ดัดแปลงมาจากสเปกโตรสโคป โดยทำการบันทึก

สเปกตรัมลงบนฟิล์ม หรืออุปกรณ์บันทึกภาพชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4-1-1 เป็นแบบ Littrow mount โดยใช้เลนส์รวมแสงอันเดียว เพื่อจัดให้ลำแสงจากสลิตเป็นลำแสงขนานไปตกกระทบเกรตติง และเพื่อรวมแสงเลี้ยวเบนให้ไปตกบนฟิล์มที่อยู่ใกล้ๆ สลิต ลำแสงขนานที่ไปตกกระทบเกรตติงครั้งนี้ต้องจัดให้อยู่ในแนวของเส้นปกติของเกรตติง สเปกโตรกราฟชนิด echelle ดังแสดงในรูปที่ 4-2-2 ก็อาศัยหลักการของ Littrow mount เช่นกัน โดยใช้เกรตติงแบบ echelle เพื่อเพิ่มการกระจายแสงและกำลังการแยกให้มากขึ้น สมบัติของเกรตติงแบบ echelle ที่ได้บรรยายมาแล้วคืออันดับของการเลี้ยวเบนที่ให้ความสามารถในการแยกค่านั้นจะมีค่ามาก และช่วงความยาวคลื่นที่ไม่มีการซ้อนทับก็มีค่ามาก จึงมีการใช้เกรตติงรูปเว้าอีกอันหนึ่งเพื่อกระจายแสงในอันดับที่มีการซ้อนทับไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับการกระจายของเกรตติงแบบ echelle ในรูปนี้กระจกเว้าจะจัดให้ลำแสงจากสลิตเป็นลำขนานกันไปตกกระทบบนเกรตติงแบบ echelle ที่วางอยู่ในลักษณะที่ร่องอยู่ในแนวราบ แสงที่หักเหจากเกรตติงนี้จะกระจายโดยเกรตติงเว้าที่วางในลักษณะที่ร่องอยู่ในแนวตั้ง เกรตติงเว้านี้จะทำหน้าที่รวมแสงไปตกกระทบบนฟิล์มด้วย

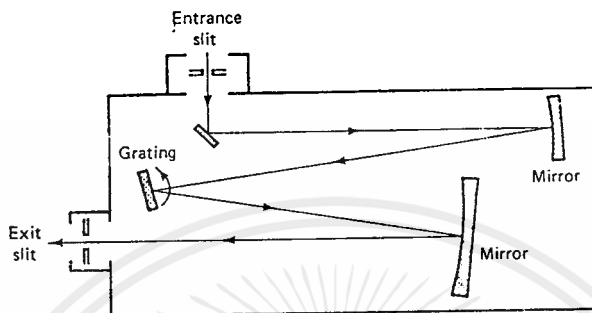


รูปที่ 4-2-2 แสดงสเปกโตรกราฟแบบ echelle

สเปกโตรมิเตอร์ จะต่างจากสเปกโตรกราฟในวิธีการบันทึกภาพ คือในสเปกโตรมิเตอร์ จะให้ช่วงแคบๆ ของสเปกตรัม ผ่านสลิตออกไปยังหัววัดแสง โดยทำการหมุนเกรตติงไป (การออกแบบเครื่องมือชนิดนี้มีหลายชนิด)

สเปกโตรมิเตอร์แบบ Czerny-Turner แสดงไว้ในรูปที่ 4-2-3 แสงจากสลิตจะสะท้อนที่กระจกราบไปยังกระจกเว้าเพื่อให้เป็นลำขนานไปตกกระทบเกรตติง ลำแสงหักเหจะสะท้อนที่กระจกเว้าอีกอันหนึ่งเพื่อทำการรวมแสงให้ออกจากเครื่อง ถ้าเราหมุนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

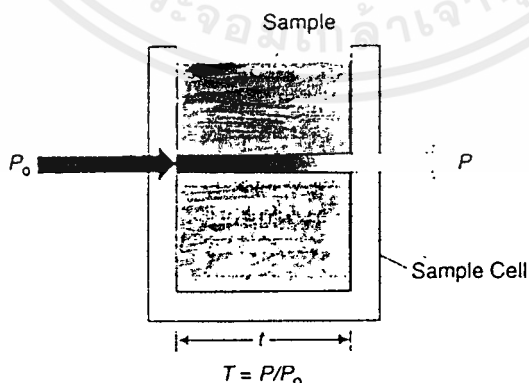
เกรตติงไป สเปกตรัมก็จะเลื่อนไปบนสลิตด้วย ทำให้เราสามารถวัดแสงในช่วงแคบๆ ของสเปกตรัมได้ เครื่องมือที่ใช้สำหรับเลือกให้ความยาวคลื่นเพียงค่าเดียวจากสเปกตรัม หรือให้ความยาวคลื่นในช่วงแคบๆผ่านสลิตออกมาได้นี้เรียกว่าโมโนโครเมเตอร์



รูปที่ 4-2-3 แสดงสเปกโตรมิเตอร์แบบ Czerny-Turner

4.3 สเปกโตรโฟโตเมตรี

สเปกโตรโฟโตเมตรี เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการวิเคราะห์เกี่ยวกับสารทางเคมี ซึ่งควบคุมการแผ่รังสีในย่าน อัลตราไวโอเลต ย่านที่ตามนุษย์มองเห็น หรือ ย่านของอินฟราเรดของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตั้งแต่ปี 1935 วิธีการนี้กลายเป็นการวิเคราะห์ทางเครื่องมือที่สำคัญวิธีหนึ่งที่ใช้ประโยชน์ในการวัดทางเคมี สเปกโตรโฟโตเมตรี สะดวก รวดเร็ว เที่ยงตรง และเข้าใจได้ง่าย



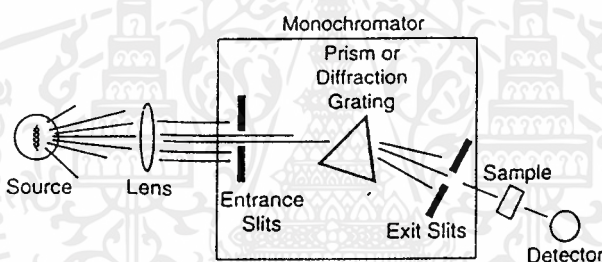
รูป 4-3-4 แสดงการดูดกลืนของลำแสงที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ทางสเปกโตรโฟโตเมตริก

หลักการพื้นฐานทางสเปกโตรโฟโตเมตรีสามารถอธิบายได้โดยภาพที่ 4-3-4 พลังงานการแผ่รังสี P (หรือ ความหนาแน่นพลังงาน) ของแสงซึ่งทะลุผ่านสารตัวอย่าง โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดค่าและเปรียบเทียบพลังงานการแผ่รังสีที่ตกกระทบ P_0 สองปริมาณที่สำคัญคือ ด้านการส่งผ่าน T หาได้จากอัตราส่วน P/P_0 และด้านการดูดกลืน A หาจาก $\log(1/T)$ ประโยชน์ของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณ ถูกปิดกั้นโดยกฎของ Beer- Lambert ซึ่งกล่าวว่าสภาพการดูดกลืนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของสารตัวอย่าง t และการรวม C :

$$A = ktC$$

โดย k คือค่าคงที่สัดส่วน มีค่าขึ้นกับลักษณะเฉพาะของสารดูดกลืน



รูป 4-3-5 แสดงส่วนประกอบหลัก ของสเปกโตรมิเตอร์

ในรูป 4-3-5 เป็นการจัดรูปแบบโดยแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบหนึ่งซึ่งเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ทางสเปกโตรโฟโตเมตริก รังสีตกกระทบเป็นรังสีจากแหล่งกำเนิด เช่น จากไส้หลอดทังสเตน (ช่วงที่ตามนุษย์มองเห็น) จากหลอดคายประจุไฮโดรเจน หรือหลอดเมอร์คิวรี (ช่วงอัลตราไวโอเล็ต) หรือเกิดจากโลหะถูกทำให้ร้อนโดยไฟฟ้า (ช่วงอินฟราเรด) รูปแบบรังสีจะเป็นในลักษณะลำขนานแคบๆ โดยเป็นผลมาจากเลนส์ และจะติดตั้งสลิตที่ทางเข้าและความยาวคลื่นที่เข้ามาจะถูกทำให้กระจายออกเป็นองค์ประกอบต่างๆด้วย ปริซึม หรือ เกรตติง ในส่วนประกอบโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วน สลิตที่เป็นทางเข้าของแสง ส่วนการกระจายหรือแยก

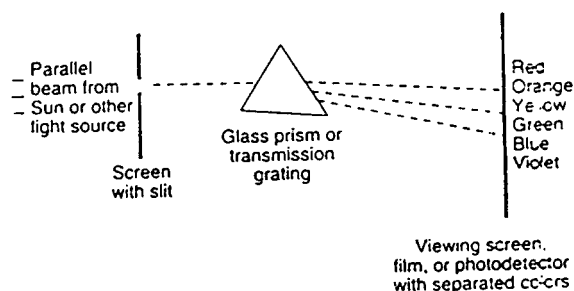
องค์ประกอบของแสง และส่วนสลิคที่เป็นทางออกรวมเรียกว่าเป็น โมโนโครเมเตอร์ ฟังก์ชันของ โมโนโครเมเตอร์คืออัตราการแยกความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่องของลำแสงตกกระทบที่ทะลุผ่านเป็นมุมที่แตกต่างกัน ซึ่งในความยาวคลื่นที่แคบมากๆ เราสามารถเลือกสลิคที่เป็นทางออกได้สำหรับในการใช้งานเกี่ยวกับการวัด โดยการกระจายองค์ประกอบต่างๆ นี้ แถบของความยาวคลื่นที่ตกกระทบลงบนสารตัวอย่างจะแยกออกเป็นหลายๆความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่อง

หลังจากการทะลุผ่านสารตัวอย่างแล้วจะผ่านมายังตัวรับ (detector) โดยที่ตัวรับนี้จะทำการวัดค่าและเก็บบันทึกค่าพลังงานการแผ่รังสีไว้ ชนิดของตัวรับถูกปรับปรุงเป็นแบบที่ขึ้นกับช่วงของความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นและช่วงอัลตราไวโอเล็ต โดยมากจะใช้ตัวรับแบบโฟโตเซลล์(photo cells)และหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์(photomultiplier)

ชนิดของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในรูป 4-3-5 จะวัดเพียงแถบเดียวของความยาวคลื่นทั้งหมด ณ เวลาหนึ่ง ดังนั้นในการทำการวัดต้องตรวจสอบความยาวคลื่นที่ต้องการเสียก่อน

4.4 สเปกโตรสโคปี

ในเทอมสเปกโตรสโคปีอาจกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของการดูดกลืน หรือ การส่งผ่านในเรื่องของแสง โดยลำแสงหลังจากทะลุผ่าน ปริซึม หรือ เกรตติง จะแยกออกเป็นสีรุ้ง ซึ่งเป็นสีที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่างเกี่ยวกับความแตกต่างของความยาวคลื่นต่างๆ ของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงสีแดงจะสอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่น 600-650 นาโนเมตร และแสงสีน้ำเงินจะสอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่นที่สั้นกว่าคือช่วง 450-490 นาโนเมตร กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการดูดกลืนแสง การกระเจิงหรือการส่งผ่านโดยสารตัวอย่าง เทียบกับความยาวคลื่นจะเรียกว่าสเปกตรัม การศึกษาและการตีความหมายจากกราฟจะเรียกว่าสเปกโตรสโคปีมาจากการรวมกันของสเปกตรัมและภาษากรีก “skopin” มีความหมายหมายถึง การมอง



รูปที่ 4-4-6 องค์ประกอบสำคัญของสเปกโตรมิเตอร์/สเปกโตรกราฟอย่างง่าย การผ่านแสงจากสลิตไปปรากฏลงบนฉากรับ ฟิล์มหรือตัวรับแสง ระยะทางตามฉากจะแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของความยาวคลื่น ดังนั้นการ *CALIBRATION* เป็นสิ่งที่จำเป็น ในส่วนของแสงอาจจะคิดได้ถ้าเกรตติงที่ใช้เกิดการสะท้อนมากกว่าการส่งผ่าน

ในช่วงของแสงที่ตามนุษย์มองเห็นสเปกโตรสโคปปี สเปกโตรสโคปหรือ สเปกโตรมิเตอร์โดยมากจะใช้ในการตรวจสอบความยาวคลื่นของคลื่นแสงที่ถูกส่งผ่าน เมื่อแสงจากการคายประจุทางไฟฟ้าใน monatomic gas เช่นฮีเลียม นีออน หรือ เมอร์คิวรี จะถูกแยกออกมาเป็นเส้นเดี่ยว โดยปริซึมหรือเกรตติง เครื่องมือในการวิเคราะห์แสงนี้เรียกว่าสเปกโตรกราฟ

สเปกโตรสโคปปีเชิง astrophysic จะครอบคลุมช่วงทั้งหมดของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตั้งแต่ความยาวคลื่นของคลื่นวิทยุในหน่วยเมตรถึงเซนติเมตร ซึ่งคู่ได้จากการใช้ radio telescopes ผ่านย่าน อินฟราเรด และ ย่านที่ตามนุษย์มองเห็น จนถึงย่านอัลตราไวโอเล็ต (ใช้ Hubble space telescope) รังสีเอกซ์ และช่วงของรังสีแกมมา (ใช้บอลลูนที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลและสัญญาณทางดาวเทียม) เลเซอร์ สเปกโตรสโคปปีใช้แสงโมโนโครเมติกจากแหล่งกำเนิดของ tunable laser ใช้ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของโครงสร้างอะตอมและโมเลกุล สภาวะทางสิ่งแวดล้อม และการพัฒนาความถี่ คาบเวลา

4.4.1 แหล่งกำเนิดแสงสำหรับสเปกโตรสโคปปี

แหล่งกำเนิดแสงที่ทำขึ้นมาสำหรับสเปกโตรสโคปและการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นการนำเอาชิ้นตัวอย่างเข้าไปในเปลวไฟ หลอดเปล่งแสงจากวัตถุร้อน ความร้อนทางไฟฟ้าของหลอดกราฟไฟต์หรือเตาหลอม การอาร์คทางไฟฟ้าและการสปาร์ค การคายประจุออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางไฟฟ้าที่ความดันต่ำ การคายประจุของหลอดคาโทดโดยใช้หลอดคาโทดรูปทรง กระบอกกลวงและก๊าซอุณหภูมิต่ำที่ความดันต่ำ เช่น อาร์กอน เลเซอร์ชนิดต่างๆ แหล่งกำเนิดเลเซอร์โดยทั่วไปจะมีความสว่างของสเปกตรัมสูง ถึงแม้จะมีความสว่างมาก แต่ก็ถูกจำกัดโดยความยาวคลื่นเดียวของเลเซอร์ สารกึ่งตัวนำเลเซอร์ไดโอดในไมโครชิพ เช่น ในคอมพิวเตอร์ ดีสก์ เป็นการพัฒนาการสื่อสารทางเส้นใยแก้วนำแสงและในจุดหมายอื่นๆ เลเซอร์ไดโอด ทำงานในช่วงหลักๆ ของอินฟราเรดและช่วงความยาวคลื่นในช่วงตามนุษย์มองเห็น แต่สำหรับชนิดใหม่ๆ จะถูกพัฒนาในการรับยานอวกาศและช่วงสเปกตรัมของอัลตราไวโอเล็ต



บทที่ 5

CCD (Charge Coupled Device)

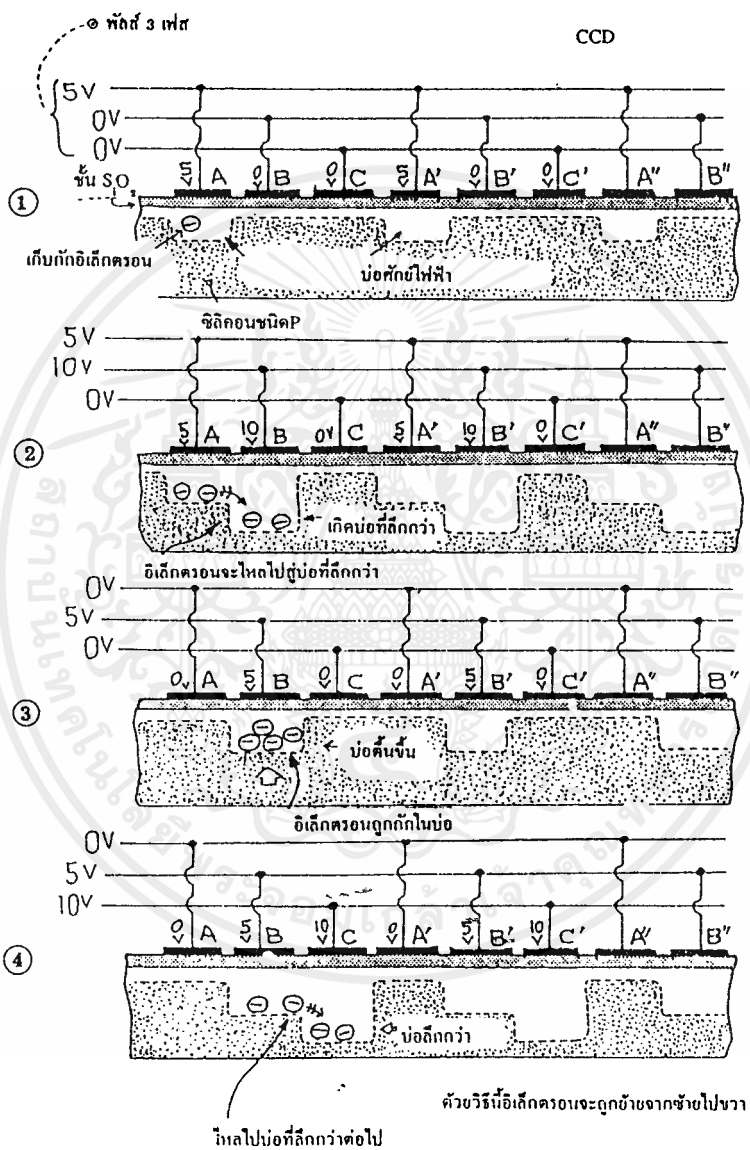
CCD (Charge Coupled Device) เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานเหมือนกับชิปที่รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเลื่อนประจุ เป็นไอซีหน่วยความจำที่มีความจุมากชนิดหนึ่ง มีโครงสร้างดังแสดงในรูป บนแผ่นฐานสารกึ่งตัวนำจะมีชั้นฉนวน และบนชั้นฉนวนจะมีแผ่นโลหะเป็นขั้วไฟฟ้าเรียงต่อกันไป เป็นตัว MOS-FET หลายๆตัวต่อกับตัวเก็บประจุ

ตามตัวอย่างในรูป 5-1 บนแผ่นฐานซิลิคอนชนิด P จะสร้างชั้น SiO_2 และฉาบผิวด้วยไอโลหะอะลูมิเนียมเพื่อสร้างแผ่นขั้วไฟฟ้า A,B และ C 3ชุดเรียงกันไป แผ่นขั้ว A, A', A'', B, B', B'', C, C', C'' จะต่อเชื่อมถึงกันและต่อกับสัญญาณพัลส์ 3 เฟส

ครั้งแรกดูตามในรูป (1) เมื่อมีพัลส์เข้าที่ขั้ว A, A' และ A'' แรงดัน 5V จะปรากฏที่ขั้วไฟเหล่านั้น แรงดันนี้จะผลักให้โฮลในชั้น P ให้ออกไปจากบริเวณใกล้ๆขั้วไฟฟ้านั้น เกิดเป็นบริเวณที่ปราศจากประจุคือเป็น depletion layer บริเวณนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนกับบ่อศักย์ไฟฟ้า (Potential Well) ที่สามารถเก็บกักอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้ามาในบริเวณนี้ ไม่ว่าอิเล็กตรอนนั้นจะมาจากภายนอกหรือจากผลของแสงก็ตาม

ต่อไปในรูป (2) เมื่อมีพัลส์ที่แผ่นขั้ว B, B' และ B'' เป็นพัลส์ที่มีแรงดันสูงกว่า A ก็เกิดบริเวณที่ปราศจากประจุสูงกว่าที่เกิดที่ขั้ว A ทำให้อิเล็กตรอนที่ถูกกักไว้ในบริเวณใต้แผ่นขั้ว A ไหลเข้ามาที่ใต้แผ่นขั้ว B เป็นการโยกย้ายอิเล็กตรอนไปสู่บริเวณที่มีศักย์สูงกว่า ต่อไปสัญญาณพัลส์จากรูป (3) จะเหลือแต่ที่ขั้ว B ส่วนที่ขั้ว A จะหายไป บริเวณที่ปราศจากประจุใต้แผ่นขั้ว B⁻ จะคืบคลาน แต่ยังคงกักอิเล็กตรอนทั้งหมดอยู่ในบริเวณนี้

ในรูป (4) สัญญาณพัลส์จะปรากฏที่ขั้ว C เหมือนกรณีแรก คือ มีแรงดันสูงกว่าที่ขั้ว B ก็จะดูดอิเล็กตรอนที่อยู่ใต้ขั้ว B ให้มาอยู่ใต้ขั้ว C ทั้งหมด



รูปที่ 5-1 แสดงสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานเหมือนกับชิปที่รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเลื่อนประจุ

ถ้าทำให้ CCD เป็นตัวรับแสง แสงที่ตกกระทบก็จะสร้างประจุตามความเข้มแสง ประจุเหล่านี้สามารถเคลื่อนออกไปเป็นสัญญาณออกได้ตามหลักการทำงานของ CCD ภาครับแสงและภาคเคลื่อนข้อมูลนี้จะแยกตัวจาก CCD เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาของแสงที่เข้ามาซึ่งจะมีผลต่อประจุภายในขณะที่ถูกเลื่อน

- แบบส่งทั้งเฟรม (Frame Transfer)

CCD แบบนี้จะมีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีตัวรับแสง และส่วนที่เก็บสะสมประจุ โดยส่วนเก็บสะสมประจุจะเป็นส่วนที่ไม่โดนแสง

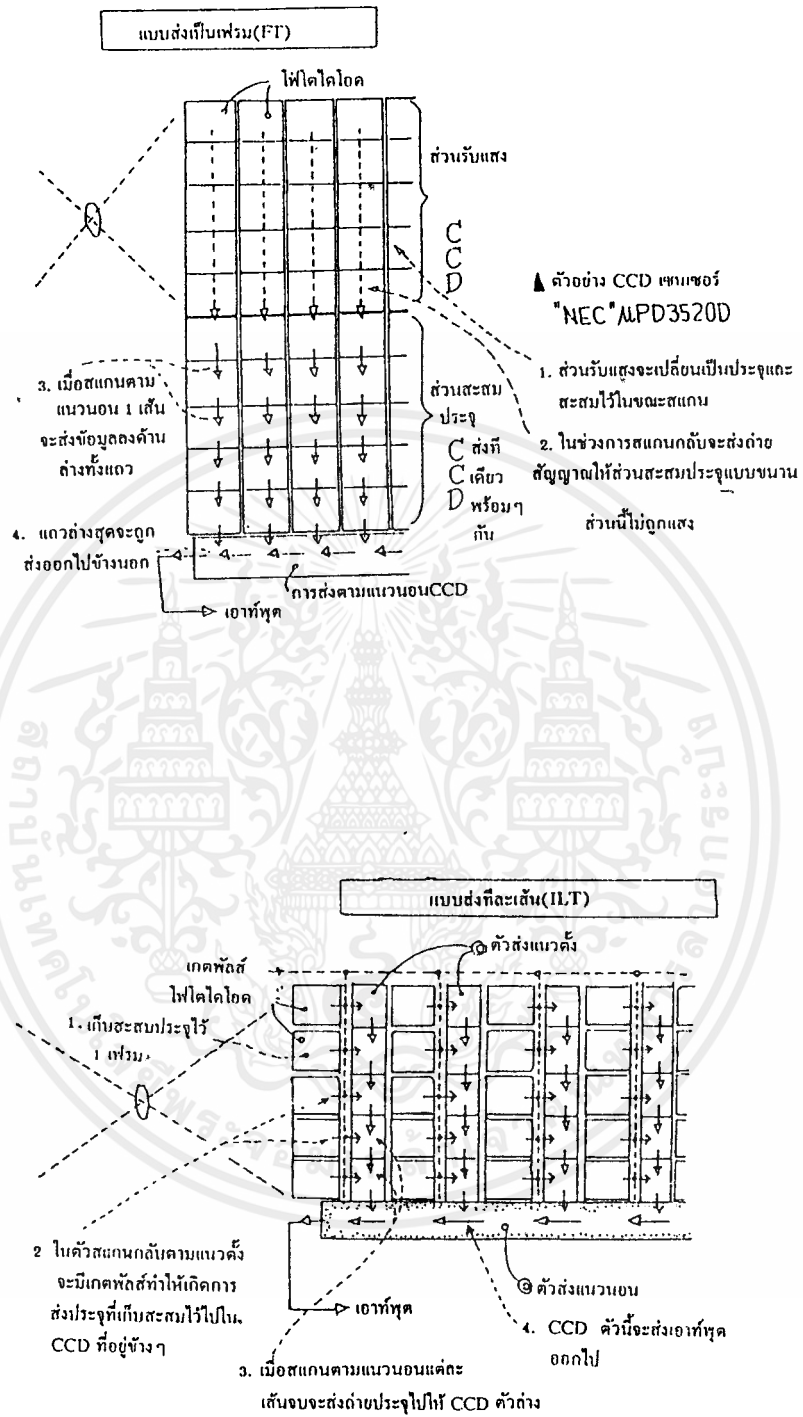
การสแกนสัญญาณภาพ 1 จอภาพเรียกว่า 1 เฟรม (frame) ส่วนรับแสงจะสร้างประจุจากแสงและยังคงเก็บสะสมประจุนั้นไว้เมื่อจบการสแกนในเฟรม และจะเริ่มการสแกนใหม่จากด้านบนซ้ายของจอภาพ ในช่วงนั้นจะส่งถ่ายประจุที่เก็บสะสมไว้ในส่วนรับแสงให้กับส่วนเก็บประจุพร้อมกันทีเดียวทุกเซลล์

ในส่วนเก็บสะสมประจุ จะเคลื่อนออกไปเป็นสัญญาณออกทีละแถว โดยเริ่มจากแถวล่างสุด เมื่อเลื่อนจบหนึ่งแถว ประจุจากแถวบนจะเลื่อนมาที่แถวล่างถัดไป แถวล่างก็จะถูกเลื่อนเป็นสัญญาณออกเป็นเช่นนี้เรื่อยๆจนหมดทุกแถว หรือหนึ่งจอภาพ

- แบบเลื่อนส่งทีละแถว (Interline Transfer)

แบบนี้จะใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวรับแสง และจับคู่กับ CCD ที่อยู่ข้างๆ เมื่อโฟโตไดโอดเปลี่ยนแสงเป็นประจุก็จะเก็บสะสมประจุไว้ในช่วง 1 เฟรม เมื่อจบเฟรมการสแกนก็จะวิ่งกลับจากจุดล่างสุดมาจุดบนสุด ช่วงนี้คือช่วงสแกนกลับในแนวตั้งม่นช่วงนี้จะมีพัลส์เพื่อส่งถ่ายประจุไปให้ CCD ที่อยู่ข้างๆ

CCD ตัวล่างสุดจะส่งสัญญาณออกโดยการเลื่อนประจุนอกทางแนวนอน เมื่อจบการเลื่อนหนึ่งเส้นก็จะเลื่อนประจุจาก CCD ด้านบนลงมาด้านล่างทีละแถว

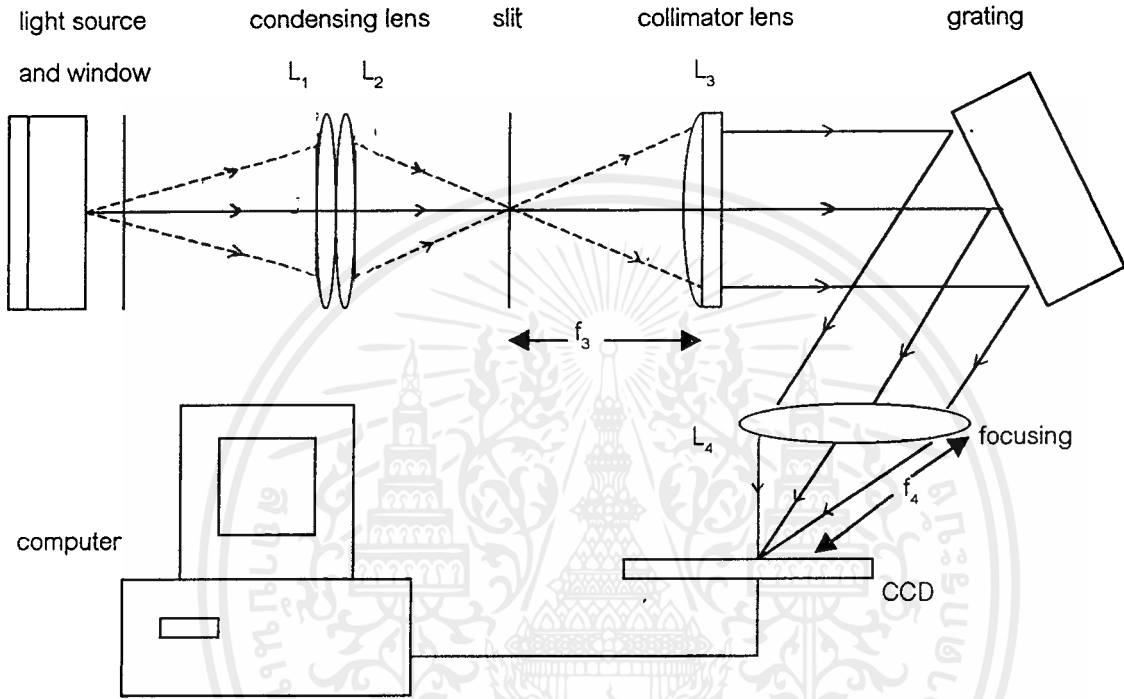


รูป 5-2 แสดงการส่งเป็นเฟรม(FT) และ การส่งทีละเส้น(ILT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การออกแบบการสร้างเครื่องมือ

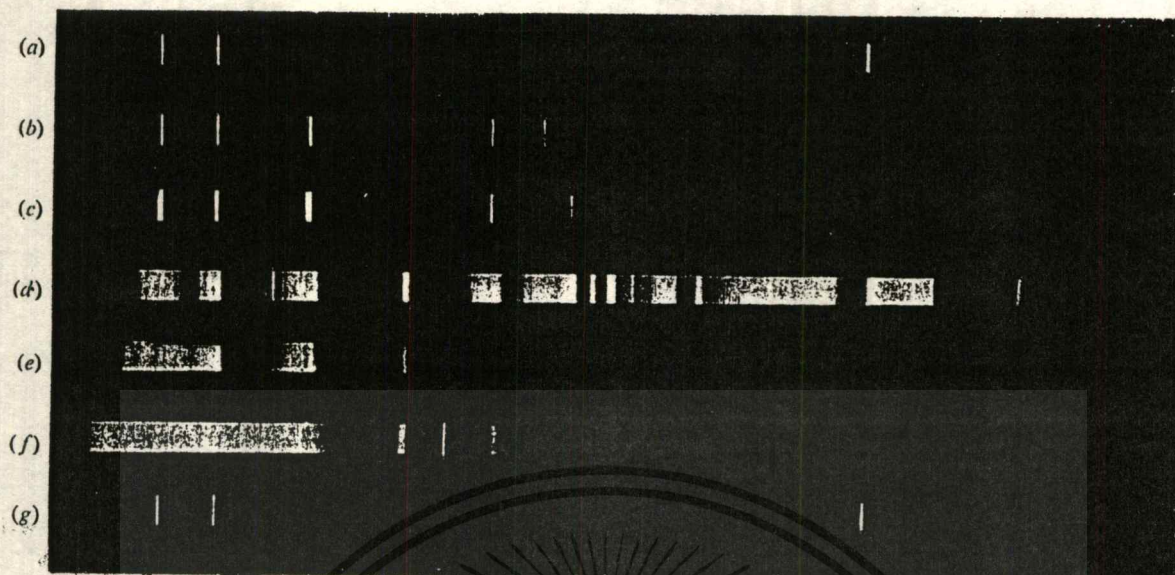


รูป 6 แสดงการจัดเครื่องมือทางสเปกโตรสโคป

6.1 แหล่งกำเนิดแสงและช่องทางแสงผ่าน (Lightsource and Window)

แหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ สามารถให้สเปกตรัมของตัวเองออกมา ในการเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถนำมาใช้แยกสเปกตรัม ในที่นี้เราเลือกใช้หลอดเมอร์คิวรี เนื่องจากสามารถที่จะแยกให้เห็นเส้นสเปกตรัมได้ชัดเจน แต่แหล่งกำเนิดแสงนี้อาจมีความยาวคลื่นมากมาย

แต่เนื่องจากแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงจะกระจายไปทุกทิศทาง ฉะนั้นจำเป็นต้องมีช่องให้แสงผ่าน โดยในส่วนนี้ จะทำหน้าที่บังคับให้แสงพุ่งออกมาในทิศทางเดียว ทำให้ลดการสูญเสียของแสงจากแหล่งกำเนิด จึงเป็นการช่วยให้ใช้แสงจากแหล่งกำเนิดได้เต็มที่มากที่สุด



รูป 6-1 สเปกตรัมการคายประจุของไอของเมอริควีรี

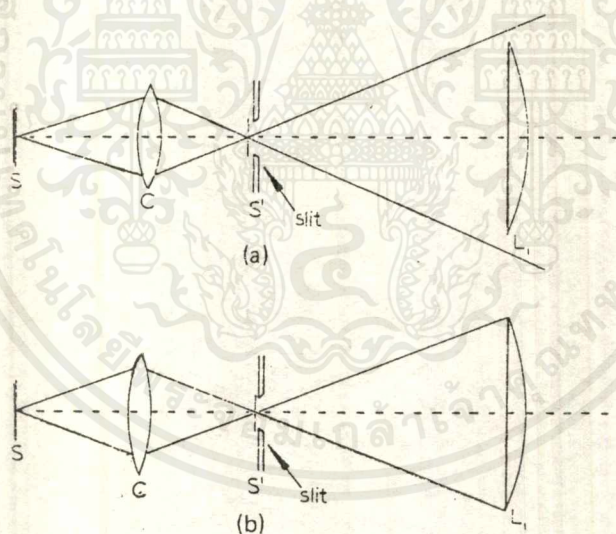
- (a) การคายประจุของไอของเมอริควีรีที่ความดันต่ำ
- (b) การคายประจุของไอของเมอริควีรีที่ความดันสูง 4.5 A, 5.5 V/cm, เส้นผ่าศูนย์กลางหลอด 20 มม.
- (c) การคายประจุของไอของเมอริควีรีที่ความดันสูง 0.4 A, 120 V/cm, เส้นผ่าศูนย์กลางหลอด 4 มม.
- (d) การคายประจุของไอของเมอริควีรีที่ความดันสูง 5.4 A, 135 V/cm, เส้นผ่าศูนย์กลางหลอด 4 มม.
- (e) การคายประจุของไอของเมอริควีรีที่ความดันสูง 1.2 A, 500 V/cm, เส้นผ่าศูนย์กลางหลอด 2 มม.
- (f) การคายประจุของไอของเมอริควีรีที่ความดันสูง 1.3 A, 770 V/cm, เส้นผ่าศูนย์กลางหลอด 1 มม.
- (g) เหมือน (a)

6.2 เลนส์รวมแสง (Condensing Lens)

มีหน้าที่สร้างแสงเสมือนของแหล่งกำเนิด ซึ่งแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงนั้นยังถือว่ากระจกระบายอยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการรวมแสงเหล่านั้นให้มีปริมาณที่มากที่สุด โดยการนำเลนส์รวมแสงมารวมแสงให้รวมเป็นจุดเดียวกันและมีความเข้มของแสงมากที่สุด แล้วจึงสามารถนำแสงที่ได้ดังกล่าวนี้ไปตกลงบนสไลด์

6.3 สไลด์ (Slit)

สำหรับสไลด์ที่ใช้ จะใช้สไลด์เดี่ยว รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความยาวมากกว่าความกว้าง สไลด์จะเป็นส่วนที่จำกัดแสงที่ผ่านออกไป โดยแสงจะมีการเลี้ยวเบนผ่านสไลด์ ปริมาณของแสงที่เลี้ยวเบนผ่านสไลด์ทั้งหมด จะต้องไปตกบนคอลลิเมเตอร์เลนส์ ดังรูป ซึ่ง โดยส่วนของสไลด์นี้จะทำหน้าที่เสมือนว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสง

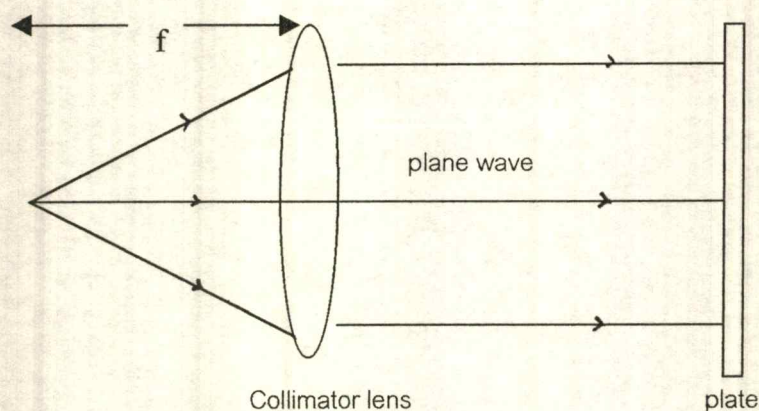


รูป 6-2 ระบบการรวมแสงที่เหมาะสม (a) collimator over-filled (b) correct matching

6.4 คอลลิเมเตอร์ (Collimator)

ส่วนของคอลลิเมเตอร์เป็นการนำเอาเลนส์รวมแสง มาจัดระเบียบของแสง ซึ่งจะทำให้หน้าตัดแสงให้เป็นลำแสงขนาน (*plane wave*) โดยตำแหน่งของคอลลิเมเตอร์เลนส์นี้ จะต้องอยู่ห่างจากสไลด์เป็นระยะ โฟกัสของมัน

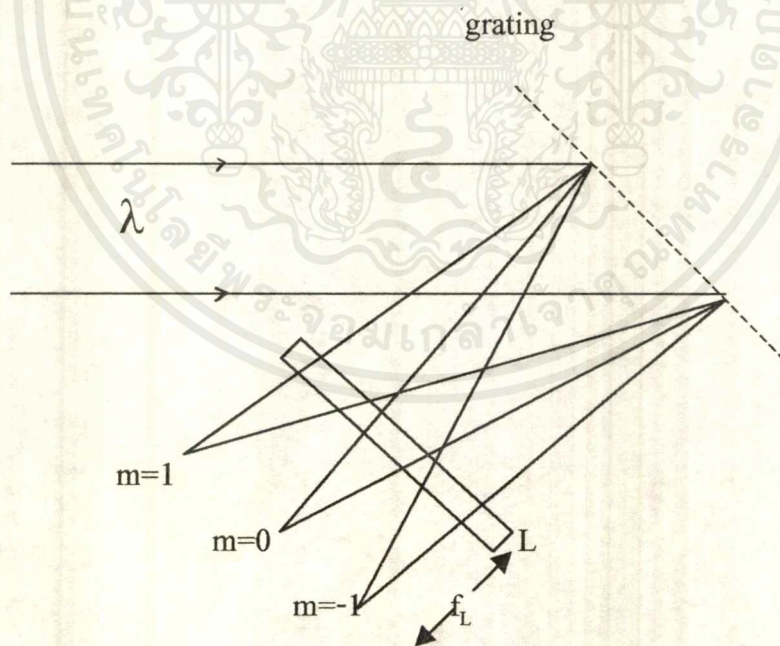
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6-3 แสดงส่วนของคอลลิเมเตอร์เลนส์ ในการจัดลำแสง

6.5 การกระจายแสง (Dispersion)

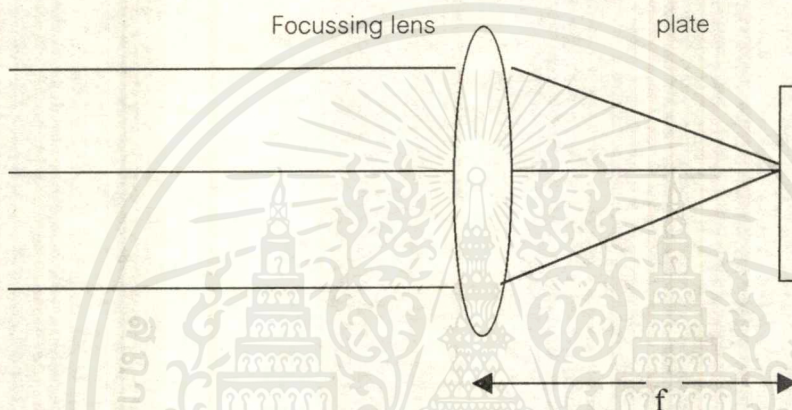
ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญมีหน้าที่ในการแยกแสงให้ออกมาเป็นสเปกตรัมของแสง โดยเราจะใช้เกรตติงชนิดสะท้อน (*reflection grating*) ซึ่งมีความสามารถในการแยกเส้นสเปกตรัมสูงกว่า ปริซึม และเกรตติงชนิดส่งผ่าน (*transmission grating*) สิ่งที่สำคัญลำแสงที่จะแยกนั้นจะต้องเป็นลำแสงขนาน



รูปที่ 6-4 แสดงการแยกสเปกตรัมโดยเกรตติง

6.6 เลนส์โฟกัสแสง (Focussing Lens)

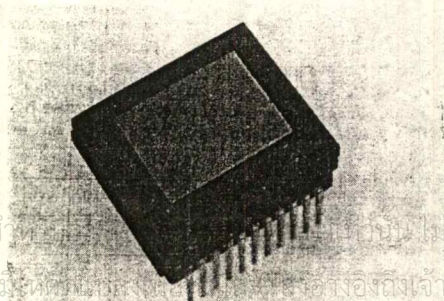
เลนส์โฟกัสแสง เป็นเลนส์ที่อยู่ระหว่าง เกรตติง กับ CCD โดยที่จะต้องมียระยะห่างจาก CCD เป็นระยะโฟกัส (Focal length) ของตัวมันเอง ในส่วนของเลนส์รวมแสงตัวนี้จะทำหน้าที่รวมแสงสเปกตรัม จากเกรตติง มาตกกระทบบน CCD เพื่อให้มีปริมาณความเข้มของแสงมากที่สุด



รูป 6-5 แสดงส่วนของโฟกัสเลนส์

6.7 ตัวรับแสง (Detector)

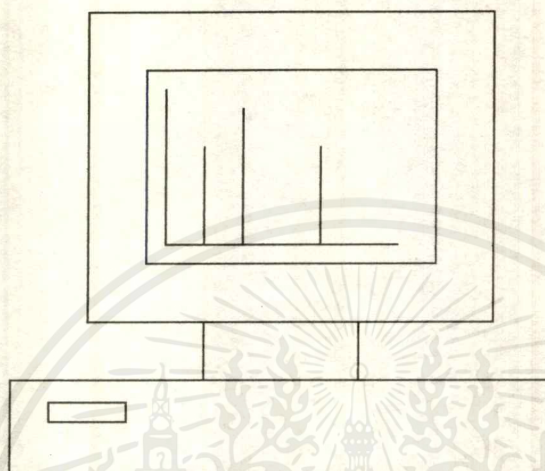
ใช้ CCD เป็นตัวช่วยในการถ่ายภาพของสเปกตรัม การแปลงภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือการบันทึกภาพในเทปแม่เหล็ก จำเป็นต้องใช้วิธีการในการสแกน โดยจะต้องใช้เลนส์ส่งลำแสงไปที่เซนเซอร์ภายใน เพื่อบอกรายละเอียดของภาพมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จอภาพเป็นแผ่น ดังนั้น จึงไม่สามารถแปลงสัญญาณไฟฟ้าได้ทันที แต่จะใช้วิธีแปลงสัญญาณทีละเส้น โดยแบ่งจอภาพออกเป็นเส้นเล็กๆ จำนวนมากที่วิ่งจากซ้ายไปขวา มีความกว้างของเส้นแคบๆ และแต่ละเส้นจะเปลี่ยนสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้



รูป 6-6 CCD sensor

6.8 คอมพิวเตอร์ (COMPUTER)

เป็นส่วนที่ประมวลผลและแสดงผลออกมาในรูปของกราฟระหว่าง แนวนอน เป็นความยาวคลื่น กับ ความเข้มของแสงในแนวตั้ง ซึ่งจะแสดงออกมาบนจอคอมพิวเตอร์



รูป 6-7 แสดงผลทางคอมพิวเตอร์

บทที่ 7

ขั้นตอนการทดลองและการสร้างเครื่องมือ

7.1 การทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์

การทดลองในส่วนนี้เป็นส่วนการทดลองทางแสง โดยจะทดสอบความสามารถในการแยกสเปกตรัมของระบบที่ออกแบบ ในที่นี้เราใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มาทดสอบ คือ หลอดทังสเตนซึ่งให้แสงขาว กับหลอดเมอร์คิวรี

7.1.1 หลอดทังสเตนจะปรากฏเป็นสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง ของสีรุ้งทั้งหมด คือ ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง

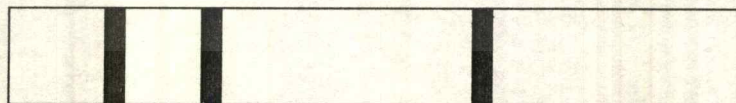
ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง



รูป 7-1-1 แสดงสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง

7.1.2 หลอดเมอร์คิวรี จะปรากฏเป็นสเปกตรัมแบบเส้น มี 3 เส้น คือ เส้นสเปกตรัมสีม่วง สีเขียว สีแดง

แดง เขียว ม่วง



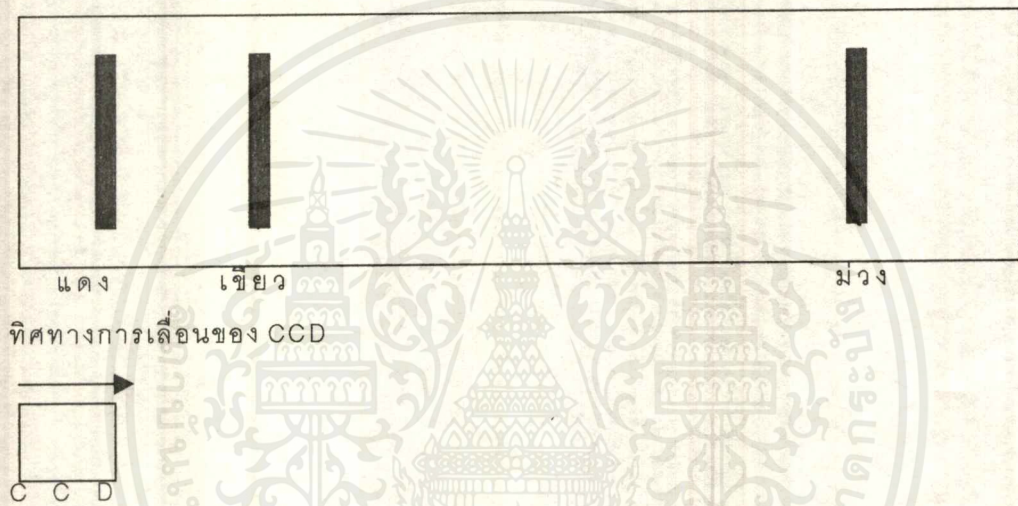
รูป 7-1-2 แสดงสเปกตรัมแบบเส้น

7.2 การทดลองในส่วนของซอฟต์แวร์

เราได้มีการนำซอฟต์แวร์มาช่วยเก็บข้อมูลในการแสดงผล

7.2.1 การเก็บข้อมูล

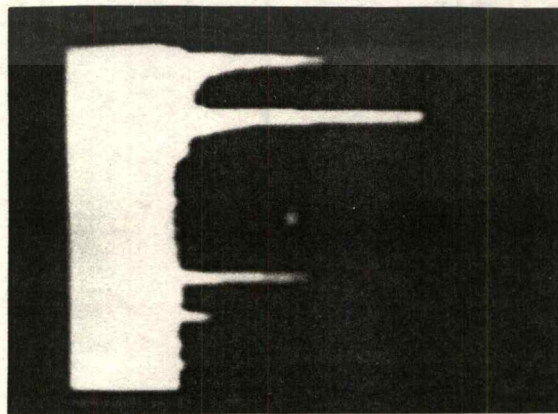
การเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นเส้นสเปกตรัมนั้น ระยะห่างของเส้นสเปกตรัม แม้จะมีการโฟกัสด้วยเลนส์รวมแสงแล้วแต่ก็ยังมีค่ามากกว่าพื้นที่ ของ CCD ฉะนั้นเราจึงได้มีการให้ CCD มีการเลื่อนเพื่อที่จะสแกนเส้นสเปกตรัมทีละเส้น โดยการเลื่อนของกล้อง CCD จะอาศัยสเตปมอเตอร์ เป็นตัวช่วยในการสแกน



รูป 7-2-1 แสดงการเก็บข้อมูลด้วย CCD ทำการเลื่อนโดยใช้สเตปมอเตอร์

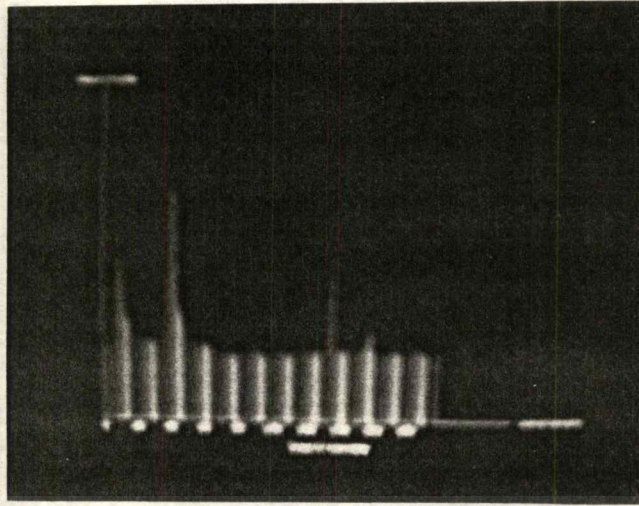
7.2.2 การแสดงผลทางจอมอนิเตอร์

หลังจากการเก็บข้อมูลแล้ว ก็จะมีการแสดงผลทางจอมอนิเตอร์ โดยผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 7-2-2



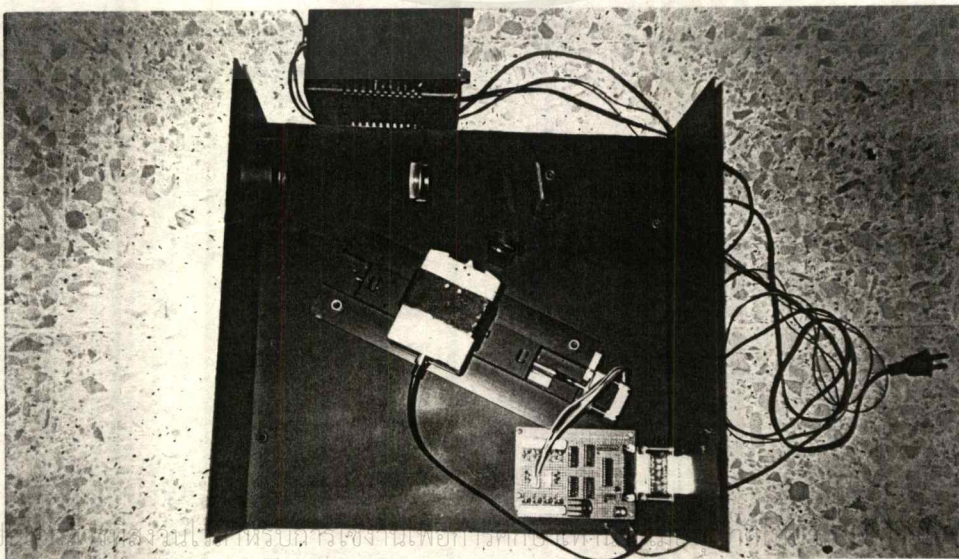
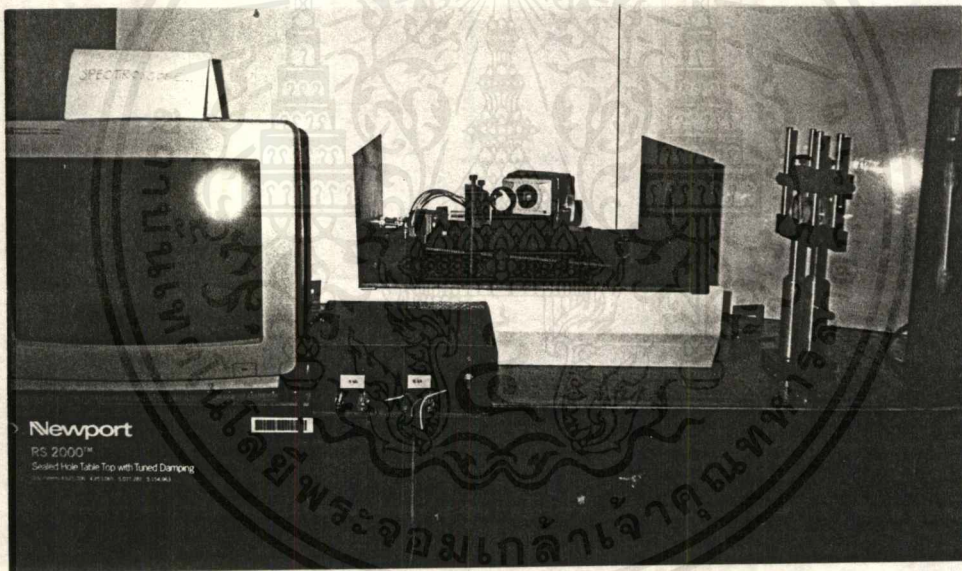
รูป 7-2-2 (ก) แสดงผลที่วัดได้จากการเก็บข้อมูล แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7-2-2 (ข) แสดงผลที่วัดได้จากการเก็บข้อมูล แบบที่ 2

รูปแสดงเครื่องสเปกโตรสโคป



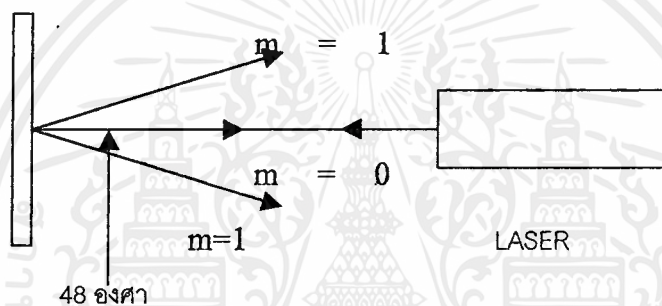
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของงานวิจัยหรืองานเพื่อการศึกษาของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ความสามารถทางเครื่องมือ

การที่เครื่องสเปกโตรสโคปสามารถแยกสเปกตรัมของแสงได้ดีเพียงใดนั้น สิ่งที่จะชี้ให้เห็นได้ก็คือ ความสามารถในการแยกของเกรตติง (Resolution of grating) และขีดจำกัดของการแยก (Limit of resolution) ดังนั้นการหาขีดจำกัดของเครื่องมือ สามารถดำเนินตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

7.3.1 การทดลองหาค่า a ของเกรตติง

การทดลองหาค่า a นั้น เราอาศัย เลเซอร์ ช่วยในการวัดค่า สำหรับเลเซอร์ที่ใช้ก็จะใช้ เลเซอร์ชนิด ฮีเลียมนีออน (He - Ne Laser)



รูป 7-3-1 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลอง

จากสูตรการคำนวณ
$$a (\sin \theta_i + \sin \theta_\beta) = m\lambda \quad \text{-----}(7-1)$$

เมื่อ a คือ ความกว้างของช่องที่อยู่ติดกัน

θ_i คือ มุมตกกระทบของลำแสงที่ตกบนเกรตติง มีค่า $i = 0$

θ_β คือ มุมสะท้อนของลำแสงที่สะท้อนออกมาจาก grating มีค่า 48°

m คือ อันดับของแถบสเปกตรัม ในที่นี้ใช้ $m = 1$

λ คือ ความยาวคลื่นของ He-Ne Laser มีค่าเท่ากับ 633 nm

$$a = m\lambda / \sin \theta_i + \sin \theta_\beta \quad \text{-----}(7-2)$$

$$= 1 \times 633 \text{ nm} / 0 + \sin 48^\circ$$

$$= 0.825 \text{ } \mu\text{m}$$

จาก $f = 1 / a \quad \text{-----}(7-3)$

เมื่อ f เป็นจำนวนช่องของเกรตติง

จะได้

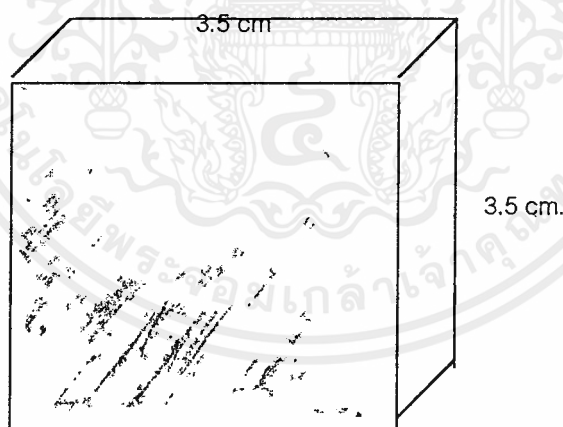
$$f = 1 / 0.825$$

$$= 11,740 \quad \text{ช่องต่อเซนติเมตร}$$

7.3.2 การหา Resolution of grating

จาก

$$R = mN \quad \text{-----}(7-4)$$



รูป 7-3-2 แสดงลักษณะของเกรตติงที่ใช้ ซึ่งมีขนาด 3.5 x 3.5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเกรตติงที่มีขนาดช่อง 11,740 ช่องต่อเซนติเมตร และมีความกว้าง 3.5 cm.

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} N &= (11740 \text{ ช่องต่อเซนติเมตร}) (3.5 \text{ เซนติเมตร}) \\ &= 41,090 \text{ ช่อง} \end{aligned}$$

จากสมการ (7-4) ในเงื่อนไขการแยกอันดับที่หนึ่ง เราจะได้ค่า Resolution of grating เป็น

$$\begin{aligned} R &= 1 \times 41,090 \\ &= 41090 \end{aligned}$$

และจากสมการ $R = \lambda / (\Delta\lambda)_{\min}$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่น (ในที่นี้ใช้ 550 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ระหว่างแสงที่ตามนุษย์มองเห็น)

$(\Delta\lambda)_{\min}$ คือ ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ใกล้กันมากที่สุด

จะได้

$$\begin{aligned} (\Delta\lambda)_{\min} &= 550 \text{ nm} / 41090 \\ &= 0.0134 \text{ นาโนเมตร} \end{aligned}$$

สรุป ในขั้นตอนนี้ เราจะได้ว่า เกรตติงที่ใช้สามารถแยกสเปกตรัมที่อยู่ใกล้กันขนาด 0.0134 นาโนเมตรได้ในเงื่อนไขของอันดับการเกิดสเปกตรัมที่ $m = 1$

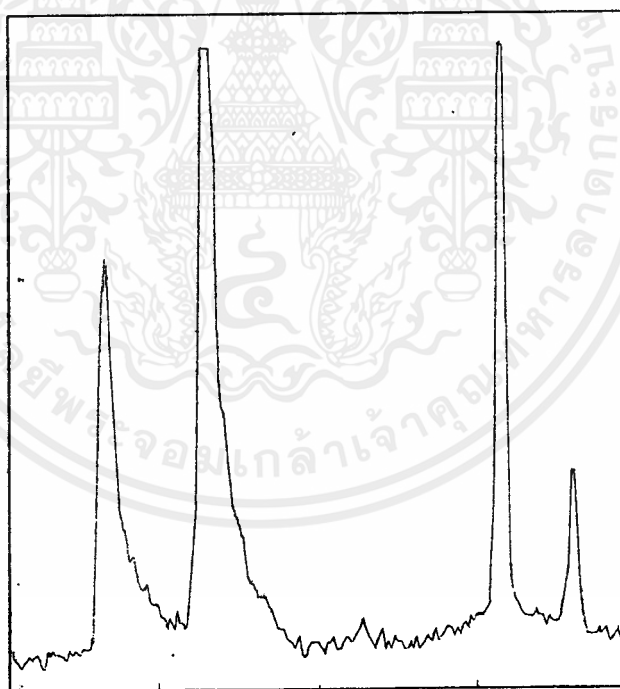
บทที่ 8

สรุปผลและแนวทางในการแก้ไขพัฒนา

ผลของการทำโครงการพิเศษทั้งหมดนี้ เป็นการนำเสนอแนวทางในการออกแบบ และ การสร้างเครื่องมือ เพื่อมุ่งเน้นที่จะพัฒนาความรู้ และทักษะในการแก้ปัญหาที่พบ ทั่วๆไป สำหรับประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นมานั้น ขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการ ออกแบบ และ การเลือกใช้อุปกรณ์ในการทดลอง

เนื่องจากต้องคำนึงถึงงบประมาณในการสร้างเครื่องมือ การออกแบบจึงต้องถูก จำกัดด้วยอุปกรณ์ต่างๆที่มีอยู่แล้ว โดยไม่สามารถกำหนดขีดความสามารถของเครื่องมือ จากการออกแบบได้ก่อน

Intensity



— Red — Green — Violet —

Wavelength

รูป 8-1 แสดงผลการทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น และ ความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับความเข้มของแสงของหลอดเมอร์คิวรีซึ่งสามารถมองด้วยตาเปล่าได้ เนื่องจากอยู่ในช่วง 370 ถึง 770 นาโนเมตรเรียกว่า ช่วงของการมองเห็น โดยสเปกตรัมดังกล่าวจะเป็นสเปกตรัมแบบเส้น มี 3 สี คือ ม่วง เขียว และ แดง

ส่วนแนวทางต่อไปในอนาคตนั้น เนื่องจากว่าผลดังกล่าว ยังยืนยันไม่ได้ว่ามีความถูกต้องและความละเอียดเพียงใด จะต้องมีการนำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานก่อน จึงจะเป็นเครื่องมือที่สมบูรณ์และสามารถนำไปใช้งานได้ในอนาคต



บรรณานุกรม

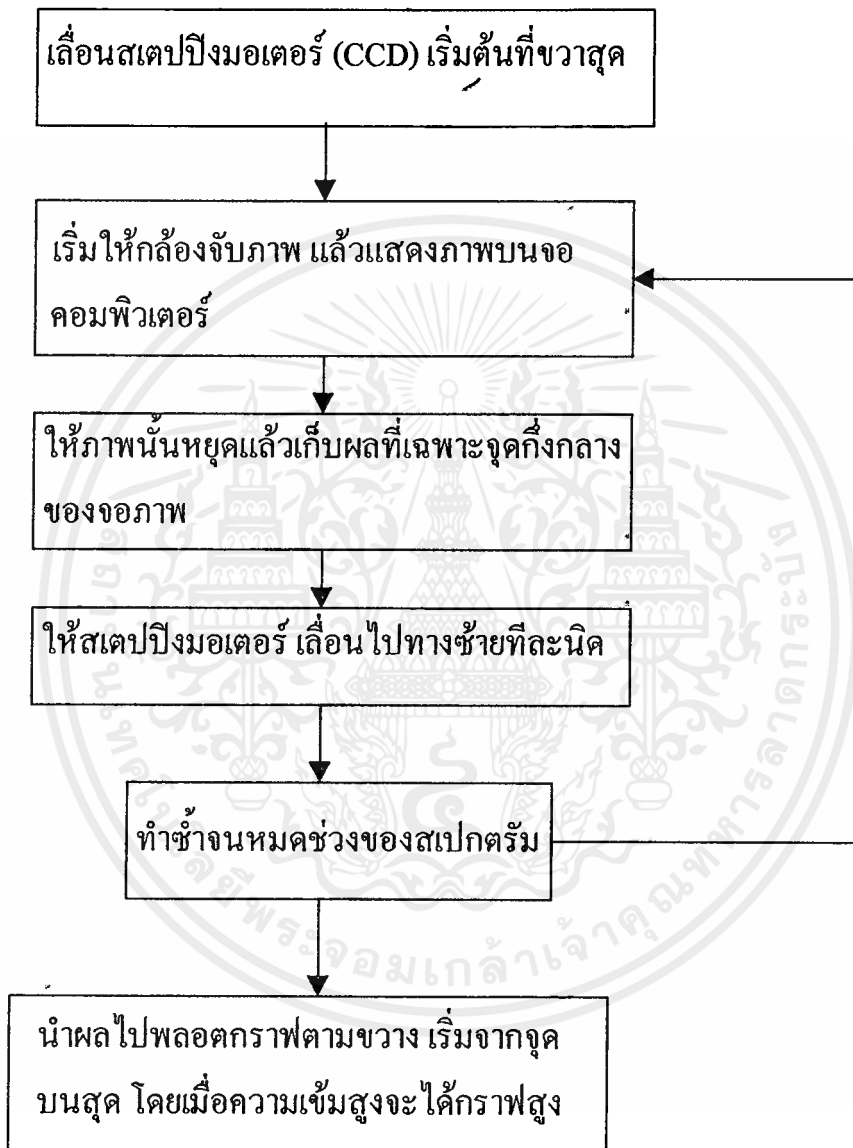
1. Mc Graw – Hill Encyclopedia of Physic ; Second Edition copyright , 1993 by Mc Graw – Hill , Inc. , Sybil P. Parker Edition in chief
2. Introduction to Optics Second Edition ; Frank L. Pedrotti,S.J. , Leno S. Pedrotti ; Prentice Hall , Englewood Cliffs , New Jersey 07632
3. Handbook of Optics ; Sponsored by the Optical Society of America ; Water G. Driscoll (Editor) , William Vaughan (Associate Editor)
4. Instrumental Optic by G.A. Boutry ; translated by R. Auerbach , B.Sc. , Hilger And Watts London
5. Loral Fairchild 1991 CCD databook ; CCD sensor , system & developmental Technology
6. เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ สสท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) โดย ฮิโรชิ อิซุมิ (Hiroshi Izumi) ; แปลโดย รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์ , ผศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์
7. Light sources ; Elenbaas W. , 1972 by The Macmillan Press LTD. , London and Basingstoke



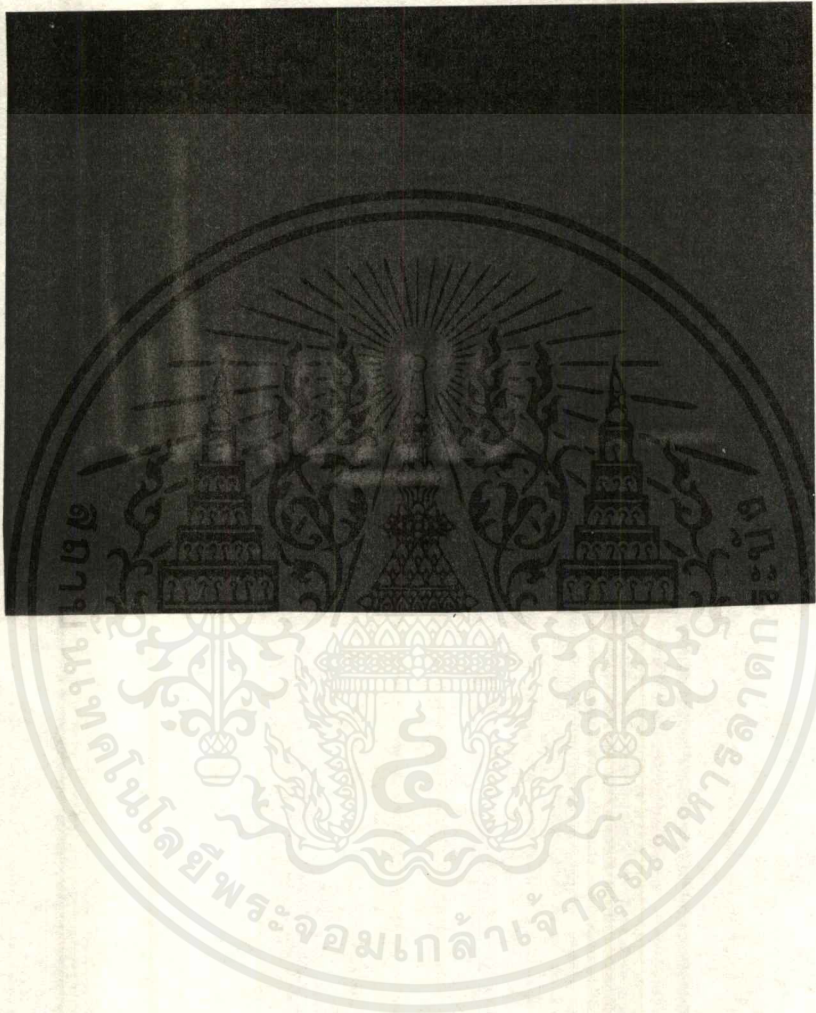
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CCD ที่ใช้ขนาด 320 x 240 (x,y)

ขั้นตอนการถ่ายและเก็บภาพ



จากกราฟที่ได้ จะทำการเขียน โปรแกรมเพื่อวาดกราฟใหม่เป็นกราฟแบบเส้น
แล้วทำการเซฟข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//Watcom C
```

```
////////////////////////////////
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <malloc.h>
```

```
#include <mem.h>
```

```
#include <dos.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
#include <time.h>
```

```
#define PI 3.141592654
```

```
#define SizeX 320
```

```
#define SizeY 240
```

```
#define NX 40
```

```
#define MX 180
```

```
#define NY 50
```

```
#define MY 150
```

```
union REGS regs;
```

```
struct SREGS segregs;
```

```
int cenx0;
```

```
unsigned int Linaddr;
```

```
unsigned char *Buf,*BufYuv1,*image,*graph;
```

```
unsigned char *VGA=(unsigned char *)0xa0000;
```

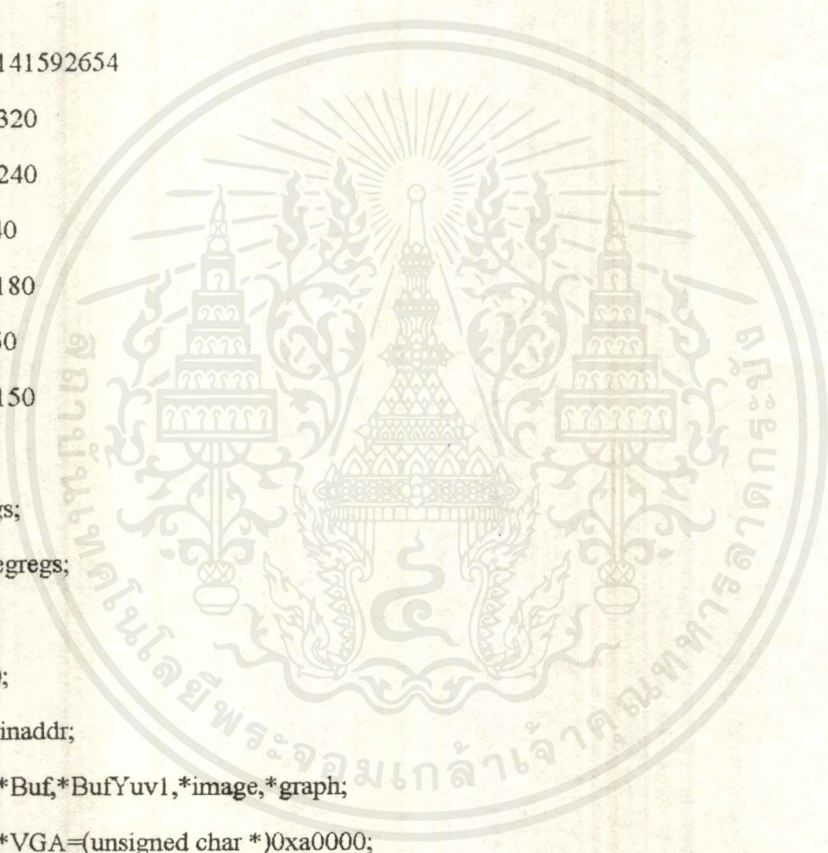
```
#include "mgraph.h"
```

```
#include "se100lib.h"
```

```
#define LPT1 0x378
```

```
#define SPEED 5
```

```
unsigned char P=0;
```



```

/*****
void Mark(int cenx,int ceny)
{
int x,y;

if(cenx+5>=320||ceny+5>=200||cenx-5<0||ceny-5<0) return;

for(x=cenx-5;x<cenx+5;x++)
    memset(VGA+ceny*320+x,255,1);
for(y=ceny-5;y<ceny+5;y++)
    memset(VGA+y*320+cenx,255,1);
}
/*****

void writeoutput(void)
{
FILE *fp;
int j;
if(fp = fopen("output.img","wb"))==NULL)
{
mclosegraph();
printf("Error saving \n");
getch();
exit(1);
}
for(j=0;j<200;j++)
    fwrite(image+j*320,sizeof(char),320,fp);
fclose(fp);
}
/*****

void AdjustThreshold(int THD)
{
int i;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=0;i<THD;i++)
    mmixrgb(i,0,0,0);
for(i=THD;i<256;i++)
    mmixrgb(i,63,63,63);
}

/*****/
void Threshold(int THD)
{
int i;
for(i=0;i<64000L;i++)
{
if(*(BufYuv1+i)>=THD)//0-255
    *(BufYuv1+i)=255;
else
    *(BufYuv1+i)=0;
}
}

/*****/
void PlotGraph(unsigned char *graph)
{
int x,y;
for(y=0;y<200;y++)
for(x=0;x<=graph[y];x++)
    *(VGA+y*320+x)=255;
}

void clearstep()
{
outp(LPT1, 0x00);
outp(LPT1+2,0x05);
outp(LPT1+2,0x04);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void RRC(int step)
{
//unsigned char temp;
int i;
//clrscr();
for(i=0;i<step;i++)
{
P=(P>>1);
if((P&0xf0)==0)
P=0x80;//128
//printf("%x ",P);
outp(LPT1,P);
outp(LPT1+2,0x05);
outp(LPT1+2,0x04);
delay(SPEED);
}
//getch();
}

void RLC(int step)
{
int i;
//clrscr();
for(i=0;i<step;i++)
{
P=(P<<1);
if((P&0xf0)==0)
P=0x10;//1
//printf("%x ",P);
outp(LPT1,P);
outp(LPT1+2,0x05);
outp(LPT1+2,0x04);
delay(SPEED);
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
//getch();
}
/*****
void main(int argc,char *argv[])
{
int i,cenx=160,ceny=100,index=0;
FILE *fp;

RLC(4000);//stepping control
mopengraph();

//initial video capture
if(!VblastInstall())
{
printf("\nVideo Not Install Card");
mclosegraph();
getch();
exit(1);
}

/*
regs.w.bx = 0x10D;
regs.w.ax = 200;//xstart
regs.w.dx = 100;//ystart
if(!CallVblstdrv())
{
printf("\nCan't Set fr.0x115");
mclosegraph();
getch();
exit(1);
}*/

DisplayVideoWindow(0 ,0,0x3ff,0x3ff);//for initial technique

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DisplayVideoWindow(0 ,0,500,500);
OffVideo();
SetFreeze(0);

//allocate memory
Linaddr = dpmi_mapphysicaltolinear(0xE0000,1408*480-1);
Buf = malloc(704*2*560);
BufYuv1 = malloc(SizeX*2*SizeY);
image = (unsigned char*)calloc(64000L,sizeof(char));
graph = (unsigned char*)calloc(200L,sizeof(char));

//start processing
SetSingleFrameCaptureFlag(1);//0=continue 1=1 frame
index=0;
do
{
SetFreeze(0);//0=live 1=freeze
SetFreeze(0);//0=live 1=freeze
vbmov320x240(Buf,Linaddr);
adjustyuv(Buf,SizeX,SizeY);//result keep in BufYuv1
//Threshold(THD);

/*
if(kbhit())
switch(toupper(getch()))
{
case '6':cenx+=1;break;
case '4':cenx-=1;break;
case '8':ceny-=1;break;
case '2':ceny+=1;break;
case 'Q':goto end;
}*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

graph[index]=*(BufYuv1+100*320+160);
if(kbhit()) goto end;
RRC(20);//stepping control

memmove(VGA,BufYuv1,64000L);
Mark(cenx,ceny);
index++;
}
while(index<200);
//////////
end:
plotgraph(graph);
getch();

//DisplayVideoWindow(0 ,0,500,500);
OffVideo();
mclosegraph();

//keep result to file
//memmove(image,BufYuv1,64000L);
//writeoutput();

//printf("\nLast Cenx,Ceny = %d,%d\n",cenx,ceny);
//printf("\nSave to file(y/n)?\n");
//if(toupper(getch())=='Y')
{
//readinput from file
if(fp = fopen("data.dat","wb"))==NULL)
{
printf("Error writing outputfile\n");
getch();
exit(1);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
fwrite(graph,sizeof(char),200L,fp);  
fclose(fp);  
}  
//free memory  
free(graph);  
free(image);  
free(Buf);  
free(BufYuv1);  
}  
/*****/
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//read data from file to screen plotting
#include <graphics.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <mem.h>

int main(void)
{
    /* request auto detection */
    int gdriver = DETECT, gmode, errorcode;
    int xmax, ymax;
    int i;
    //datafile size
    #define NUMDATA 200
    #define NUMSTR 100
    FILE *fp;
    unsigned char data[NUMDATA];
    char str[NUMSTR];

    /* initialize graphics and local variables */
    initgraph(&gdriver, &gmode, "");

    /* read result of initialization */
    errorcode = graphresult();
    /* an error occurred */
    if (errorcode != grOk)
    {
        printf("Graphics error: %s\n", grapherrormsg(errorcode));
        printf("Press any key to halt:");
        getch();
        exit(1);
    }

    setcolor(getmaxcolor());
    xmax = getmaxx();
    ymax = getmaxy();

    //clear input data
    memset(data,0,NUMDATA);

    //random NUMDATA data for test

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*
randomize();
for(i=0;i<NUMDATA;i++)
    data[i]=random (256);
*/

//readinput from file
if((fp = fopen("data.dat","rb"))==NULL)
{
    printf("Error reading \n");
    getch();
    exit(1);
}
fread(data,sizeof(char),NUMDATA,fp);
fclose(fp);

/* draw a diagonal line */
// line(0, 0, xmax, ymax);

//graph x,yaxis
xmax = getmaxx();
ymax = getmaxy();

line(50, 50,50,ymax-50);
line(50, ymax-50,xmax-100,ymax-50);

settextjustify(1, 1);
//grid of graph
for(i=0;i<NUMDATA;i++)
{
    setcolor(i);
    line(50+i*2+1,ymax-50,50+i*2+1,(ymax-50)-data[i]);
    //mark grid
    if(i%10==0)
    {
        setcolor(WHITE);
        line(50+i*2+1,ymax-50,50+i*2+1,ymax-45);
        if(i%20==0)
        {
            sprintf(str,"%d",i);
            outtextxy(50+i*2+1,ymax-40,str);
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
}  
}  
  
//clear buffer of str  
memset(str,0,NUMSTR);  
  
//show text of graph  
setcolor(WHITE);  
setttextjustify(1, 1);  
outtextxy(xmax/2, ymax-20, "Spectroscope");  
outtextxy(xmax-50, ymax-50, "wavelength");  
outtextxy(50, 50, "Amplitude");  
getch();  
/* clean up */  
closegraph();  
return 0;  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

//clear buffer of str
memset(str,0,NUMSTR);

//show text of graph
setcolor(WHITE);
settextjustify(1, 1);
outtextxy(xmax/2, ymax-20, "Spectroscope");
.outtextxy(xmax-50, ymax-50, "wavelength");
outtextxy(50, 50, "Amplitude");
getch();
/* clean up */
closegraph();
return 0;
}

```



LORAL

Fairchild Imaging Sensors

CCD 222 488X380-Element Area Image Sensor

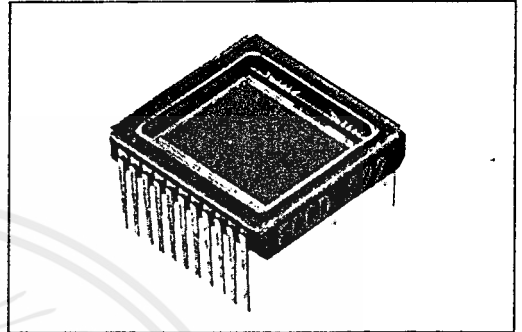
FEATURES

- 185,440 sensing elements on a single chip
- Available horizontal resolution: 380 elements per line
- Available vertical resolution: 488 lines
- No lag, no geometric distortion
- A gamma of unity
- High dynamic range — typically > 1,000:1 at 25°C (excluding dark signal non-uniformity)
- Low light level capability, low noise equivalent exposure
- Video data rates up to 20 MHz, frame rates to 90 Hz
- Sample-and-hold video output
- Low power dissipation, solid-state reliability and small size
- Standard TV aspect ratio (4:3)
- Satisfies NTSC resolution standards
- Two-phase register clocking
- Digitally-controlled readout
- Special selections available — consult factory.

DESCRIPTION

The CCD222 is a 488 X 380-element solid-state charge-coupled device area image sensor which is intended for use as a high-resolution detector in television compatible imaging systems and a variety of other scientific and industrial optical instrumentation systems. The CCD222 is organized as a matrix array of 488 horizontal lines by 380 vertical columns of charge-coupled photoelements. The dimensions of these 185,440 photoelements are 12 μ m horizontally by 18 μ m vertically. The photoelements are precisely positioned on 30 μ m horizontal centers and 18 μ m vertical centers. The CCD222 has an active optical area of 8.8 by 11.4 mm, with a diagonal of 14.4 mm.

The low noise performance of the buried channel CCD structure provides excellent low-light-level capabilities when the sensor is cooled; performance adequate for most applications can be achieved with the sensor at room temperature or above. The geometric accuracy of the device structure, combined with a video readout which is controlled by digital clock signals, allows the signal output from each photoelement to be precisely identified for easy realization of computer-based image processing systems. The devices can be used in video cameras that require low power, small size, high sensitivity, high reliability and rugged construction.

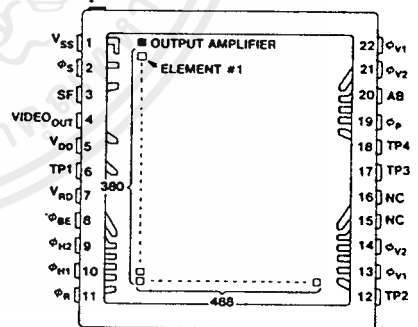


CCD222 488X380 Element Area Image Sensors are also included in Fairchild's series of solid-state television camera systems.

PIN NAMES

AB	Anti-Blooming Bias (for Column Anti-Blooming)
SF	Floating-Gate Amplifier Source Bias
VIDEO _{OUT}	Amplifier Output
ϕ_P	Photogate Clock
ϕ_{V1}, ϕ_{V2}	Vertical Transport Clocks
ϕ_{H1}, ϕ_{H2}	Horizontal Transport Clocks
ϕ_{BE}	Bias Electrode Clock
ϕ_R	Reset Clock
ϕ_S	Sample-and-Hold Clock
V _{RD}	Reset Bias
V _{DO}	Output Amplifier Drain Supply
V _{SS}	Substrate (GND)
TP	Test Points

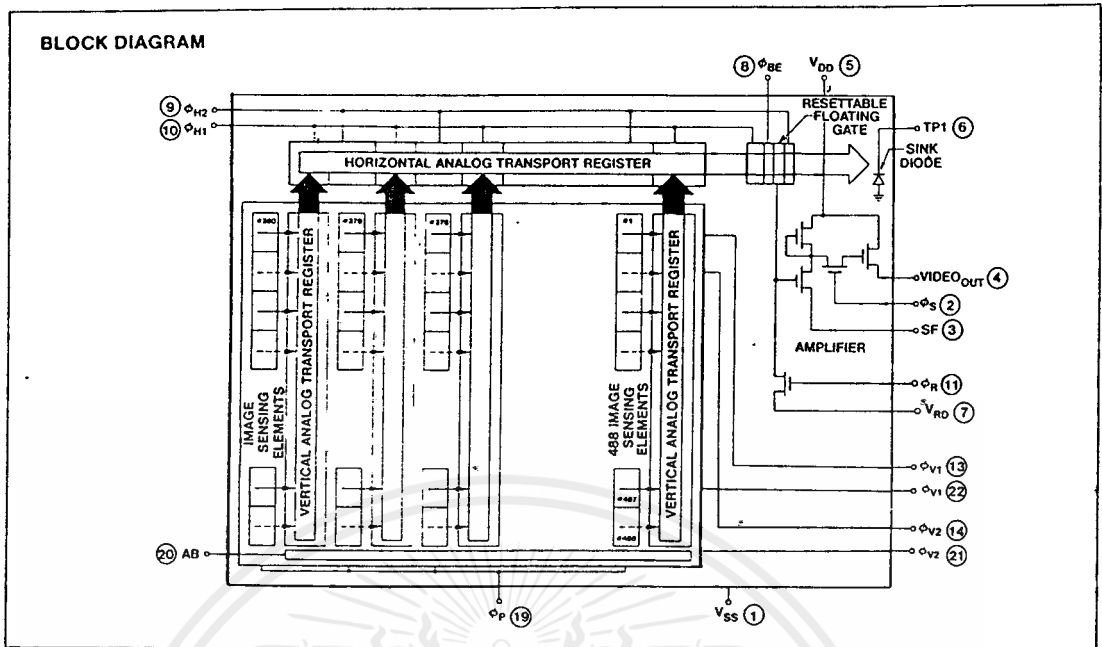
CCD222 CONNECTION DIAGRAM (TOP VIEW)



* PIN 1 (V_{SS}) IS DESIGNATED BY A DOT ON SIDE OF PACKAGE.

Loral Fairchild Imaging Sensors
1801 McCarthy Blvd., Milpitas, CA 95035
1 800 325-6975, TWX 910-373-2110, (408) 433-2200

© 1991 Loral Fairchild reserves the right to make changes in the circuitry or specifications at any time without notice.
Printed in U.S.A.



FUNCTIONAL DESCRIPTION

The CCD222 consists of the functional elements illustrated in the Block Diagram:

Image Sensing Elements

Image photons pass through a transparent polycrystalline silicon gate structure and are absorbed in the silicon crystal structure creating hole-electron pairs. The resulting photoelectrons are collected in the photosites during the integration period. The amount of charge accumulated in each photosite is a linear function of the localized incident illumination intensity and the integration period.

Vertical Transport Registers

The interline transfer architecture of the CCD222 provides video information in two sequential fields of 244 lines each. At the end of an integration period, when the photogate voltage ϕ_P is lowered and the ϕ_{V1} clock is HIGH, charge packets from odd-numbered photosite rows (1,3,5... 487) are transferred to the vertical transport registers to initiate an odd-field readout. Clocking ϕ_{V1} and ϕ_{V2} transports the charge packets up the vertical transport registers where they are transferred line by line into the horizontal output register. After readout of the odd field, the ϕ_P voltage is again lowered and the ϕ_{V2} clock is HIGH causing transfer of charge packets from even numbered photosite rows (2,4,6... 488) into the vertical registers, thereby initiating an even-field readout.

Horizontal Analog Transport Register

The horizontal transport register is a 385-element 2-phase register that receives the charge packets from the vertical

registers line by line. After each line of information is transferred from the vertical transport registers, it is moved serially to the output amplifier by the complementary horizontal clocks ϕ_{H1} and ϕ_{H2} . A minimum of 385 horizontal clock pulses are required to complete transfer of one line of information past the floating-gate amplifier.

Resettable Floating-Gate Amplifier

The charge packets from the horizontal transport register are sensed by a floating-gate whose potential changes linearly with the quantity of signal charge. The floating-gate is designed to be reset to the reset drain voltage V_{RD} by the reset clock, ϕ_R , after the completion of each horizontal line readout.

The output signal from the floating-gate drives a voltage amplification stage, is sampled and held under control of the sample clock ϕ_S by a sampling transistor switch and is buffered to the output terminal $VIDEO_{OUT}$ through a larger MOS transistor. The resultant video output signal is a sampled-and-held clock-controlled analog signal representing the spatial distribution of the exposure level at the sensor surface.

Sampled Video Output (See Timing Diagram)

The output waveform of the CCD222 is shown in detail in the Timing Diagram. Each frame (488 horizontal lines) is delivered to the output in two sequential fields of 244 horizontal lines each. Each horizontal line is 380 elements long and is preceded by 4 pre-scan elements which contain no video information, but are representative of the dark current levels in the horizontal register.

DEFINITIONS OF TERMS

Charge-Coupled Device — A charge-coupled device is a monolithic silicon structure in which discrete packets of electronic charge are transported from position to position by sequential clocking of an array of gates. The charge packets are minority carriers (electrons) with respect to the p-type semiconductor substrate.

Photogate Clock ϕ_p — The voltage waveform applied to the photogate.

Vertical Transport Clocks ϕ_{V1}, ϕ_{V2} — The clock signals applied to the vertical transport registers.

Horizontal Transport Clocks ϕ_{H1}, ϕ_{H2} — The clock signals applied to the horizontal transport register.

Resettable Floating-Gate Amplifier — The on-chip pre-amplifier which develops a signal voltage linearly proportional to the number of electrons contained in each sensed charge packet. The floating gate is coupled to the charge transport channel exclusively by electrostatic fields for low-noise signal detection.

Reset Clock ϕ_R — The clock applied to the gate of the reset switch to reset the voltage on the floating gate.

Sample-and-Hold Clock ϕ_S — The clock applied to the sample-and-hold gate of the amplifier. (The sample-and-hold feature can be disabled by connecting ϕ_S to V_{DD}).

Dynamic Range — The ratio of the saturation output voltage to the rms noise in the dark. The peak-to-peak random noise output of the device is 4-6 times the rms noise output.

Saturation Exposure — The minimum exposure level that will produce a saturated output signal. Exposure is equal to the product of light intensity and the integration time.

Spectral Response Range — The spectral band over which the response per unit of radiant power is more than 10% of the peak response.

Responsivity — The output signal voltage per unit exposure.

Photoresponse Shading Non-Uniformity — The difference of the response levels between the most and the least sensitive regions under uniform illumination (excluding blemished elements) expressed as a percentage of the average response. Shading is measured using the digital equivalent of a low-pass filter with a cut-off frequency of approximately 5 cycles per picture width or picture height in the video output line.

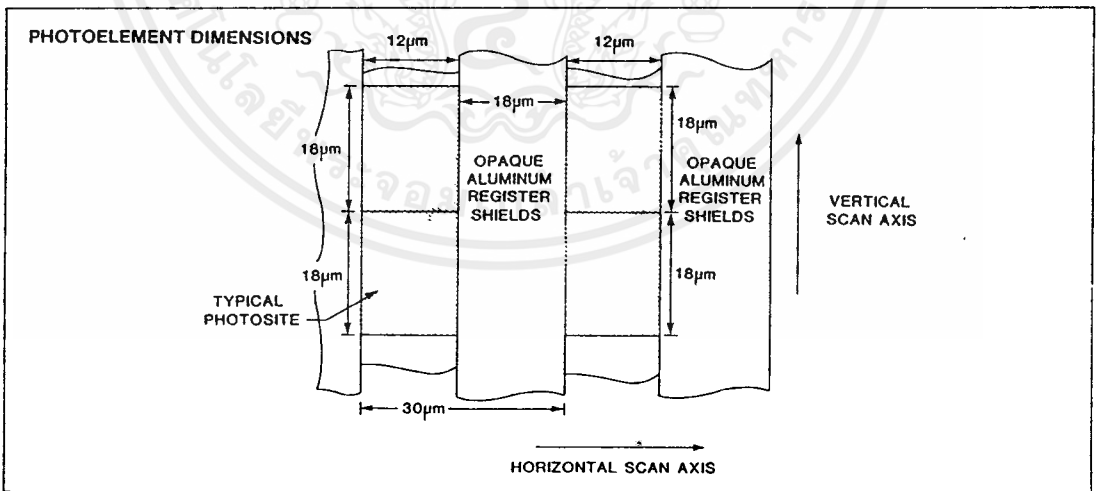
Dark Signal — The output signal in the dark caused by thermally generated electrons. Dark signal is a linear function of integration time and an exponential function of chip temperature.

Dark Signal Shading Non-Uniformity — The difference in the dark signal levels between the lowest and highest outputs from non-blemished elements in the dark. Shading is measured using the digital equivalent of a low-pass filter with a cut-off frequency of approximately 5 cycles per picture width or picture height in the video output line.

Saturation Output Voltage — The maximum useful output signal amplitude.

Integration Time — In this device, the integration time is equal to the frame period when used in the standard mode of operation.

Pixel — Picture element or sensor element — also called photoelement or photosite.



CCD222

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS:

STORAGE TEMPERATURE	-100°C to +100°C
VOLTAGES:	
Pins 3, 4, 5, 6, 7, 20	-0.3V to +16V
Pins 2, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22	-10V to +15V
Pin 1	$V_{SS} = 0V$
Pins 15, 16	NC

Caution Note

The devices do not have built-in gate protection. It is crucial that static discharge be controlled and minimized. Care must be taken to avoid shorting pin VIDEO_{OUT} to V_{SS} or V_{DD} during operation of the device.

Dirty glass windows on devices cause increased photoresponse non-uniformity. Glass may be cleaned by saturating a cotton swab in alcohol and lightly wiping the surface. Rinse off the alcohol with de-ionized water. Allow the glass to dry, preferably by blowing with filtered dry N_2 or air.

DC OPERATING CONDITIONS AND CHARACTERISTICS: Devices are tested at nominal conditions except for V_{SF} , which is adjusted for individual sensors.

Symbol	Parameter	Range			Unit	Remarks
		Min	Nom	Max		
V_{DD}	DC Supply Voltage	12.0	15.0	16.0	V	
V_{AB}	Anti-Blooming Bias Voltage		12.0		V	
V_{SF}	Source of Floating-Gate Amplifier	4.0	7.0	10.0	V	Note 1
V_{RD}	Reset Drain Voltage		4.0		V	
TP ₁	Test Point		V_{DD}		V	
TP ₂	Test Points		0.0		V	
TP ₃ , TP ₄	Test Point	1.0	12.0	16.0		Note 10
I_{DD}	DC Supply (V_{DD}) Current				mA	
I_{SF}	Current at Pin SF		50		μA	

CLOCK CONDITIONS: Devices are tested at clock conditions which result in optimized performance in Fairchild equipment. Clock voltages are within ranges shown.

Symbol	Parameter	Range			Unit	Remarks
		Min	Nom	Max		
$V_{\phi PL}$	Photogate Clock LOW	-6.0	0.0		V	Note 2, 9
$V_{\phi PH}$	Photogate Clock HIGH	3.0	5.0	7.0	V	Note 2
$V_{\phi BEL}$	Bias Electrode of FGA Clock LOW	-3.0	0.0	0.0	V	
$V_{\phi BEH}$	Bias Electrode of FGA Clock HIGH	0.0	5.0	7.0	V	Note 1
$V_{\phi H1L}$	Horizontal Transport	-5.0	0.0	0.0	V	Note 3
$V_{\phi H2L}$	Clock LOW					
$V_{\phi H1H}$	Horizontal Transport	5.0	10.0	12.0	V	Note 1, 3
$V_{\phi H2H}$	Clock HIGH					
$V_{\phi V1L}$	Vertical Transport	-6.0	0.0	0.0	V	Note 2, 9
$V_{\phi V2L}$	Clock LOW					
$V_{\phi V1H}$	Vertical Transport	5.0	7.0	12.0	V	Note 4
$V_{\phi V2H}$	Clock HIGH					
$V_{\phi SL}$	Sample-and-Hold Clock LOW	-3.0	0.0	0.0	V	
$V_{\phi SH}$	Sample-and-Hold Clock HIGH	3.0	5.0	7.0	V	
$V_{\phi RL}$	Reset Clock LOW	-6.0	0.0	0.0	V	
$V_{\phi RH}$	Reset Clock HIGH	5.0	7.0	12.0	V	
$f_{\phi H1}$	Horizontal Transport		7.2	20.0	MHz	Note 5
$f_{\phi H2}$	Clock Frequency					

CCD222

PERFORMANCE SPECIFICATIONS: Standard test conditions are TV format data output at a 30 Hz frame rate, 60 Hz field rate, 15.75 kHz line rate, 7.16 MHz pixel rate, $T_c = 25^\circ\text{C}$. Light source is 2854°K incandescent with 2.0 mm thick Schott BG-38 IR reject filter.

Symbol	Parameter	Range			Unit	Condition
		Min	Typ	Max		
V_{SAT}	Saturation Output Voltage	200	700		mV_{P-P}	Note 6
DR	Dynamic Range		1000			See Definitions of Terms
SI	Saturation Irradiance		8.4		$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	See Table A
R	Responsivity		0.08		$\text{V}/\mu\text{W cm}^{-2}$	
V_0	Output DC Level	4	7	12	V	3K Ω load resistance
P	Amplifier Power Dissipation			60	mW	3K Ω load resistance
Z	Output Impedance		1000		ohm	
CTF_H	Contrast Transfer Function, Horizontal	50	75		%	At 380 columns/ picture width
CTF_V	Contrast Transfer Function, Vertical	50	70		%	At 488 lines/ picture height
DSSNU	Dark Signal Shading Non-Uniformity		1	2	% V_{SAT}	See Definitions of Terms Note 7,8
PRSNNU	Photo Response Shading Non-Uniformity		1	10	% V_{OUT}	See Definitions of Terms Note 7

NOTES

1. Adjustment is required within the indicated range for optimum operation.
2. $C_{\phi P} \approx 16,000$ pF
3. $C_{\phi H1} = C_{\phi H2} \approx 200$ pF
4. $C_{\phi V1} = C_{\phi V2} \approx 12,000$ pF
5. Devices are tested at a clock rate of 7.2 MHz. This gives a standard NTSC rate of 30 frames per second. Higher clock rates are possible. Operation of the device at lower or higher frequencies will not damage the device. Two factors contribute to the fundamental low frequency limit: dark current contributions from the photosites and associated dark current non-uniformities, and dark current contributions in the register which will result in increased average dark signal at the output. The longer the integration time, the higher the spatial non-uniformities.
6. Measured with uniform light input.
7. Measurement excludes single point blemishes, line and column defects and outer edge elements on a line or field basis.
8. DSSNU increases in amplitude by a factor of 2X for each 7-10 degree (C) increase in chip temperature.
9. Minimum increase of DSSNU for certain arrays results when the low level of these clock signals is between 0 and -6V with respect to V_{SS} .
10. On devices date coded 87-01 or later, connect TP₃ and TP₄ to the V_{AB} bias supply. On devices date coded 86-52 or earlier, connect TP₃ and TP₄ to 0.0V.

0

TABLE A

TYPICAL SATURATION IRRADIANCE LEVELS OF CCD222 AT 30 FRAMES/SEC.

Source Spectrum	Radiometric	Photometric ^d	
		lux	fc
2854°K, unfiltered ^a	15 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	3.3 lux	0.30 fc
2854°K + 900nm cutoff filter ^b	6.0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	9 lux	0.9 fc
2854°K + 700nm cutoff filter ^c	8.4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	25 lux	2.4 fc
Monochromatic, 600nm	7.0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	—	—

NOTES

- a. $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 0.22$ lux.
- b. $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 1.5$ lux. The 900nm cutoff filter blocks wavelengths above approximately 900nm. Use a Corning 1-75 glass filter 3mm thick.
- c. $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 3.0$ lux. The 700nm cutoff filter blocks wavelengths above approximately 700nm. Use a Schott BG-38 glass filter 2mm thick.
- d. $1 \text{ fc} = 10.76$ lux.

COSMETIC PERFORMANCE SPECIFICATIONS

The CCD222 is a very high performance device intended for use in broadcast quality camera systems and in the most demanding industrial and scientific applications. A CCD222 element is considered to be blemished if it exhibits a spurious output (in comparison to its nearest neighbors) of more than 10% of V_{SAT} . Blemish content is determined in the dark, and at an illumination level of 50% V_{SAT} . Single-point Blemishes (SPB's) are sometimes found in CCD222 sensors; horizontal line and column oriented defects are rarely found because of Fairchild's choice of device structure.

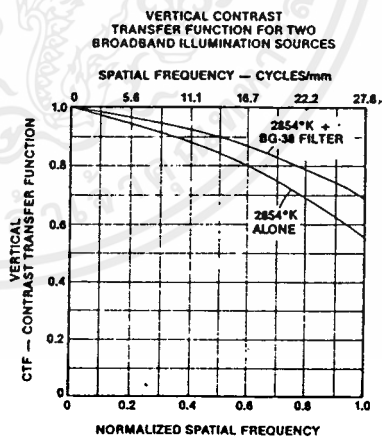
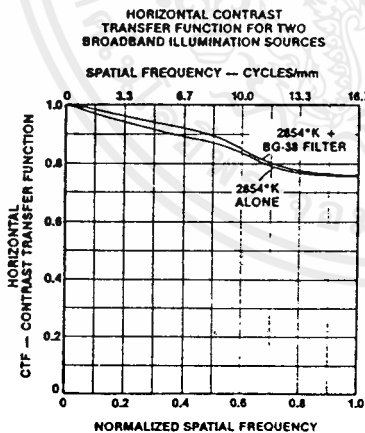
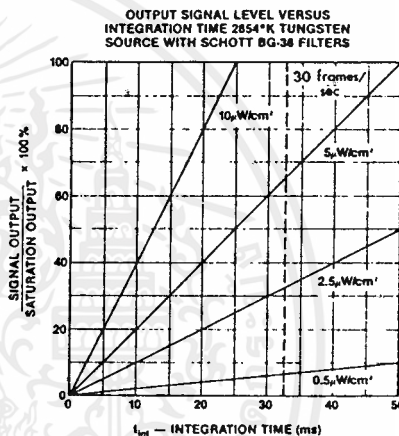
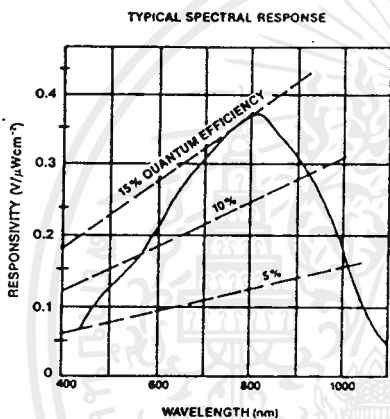
Devices exhibiting less stringent performance and/or cosmetic specifications may be obtainable by negotiation.

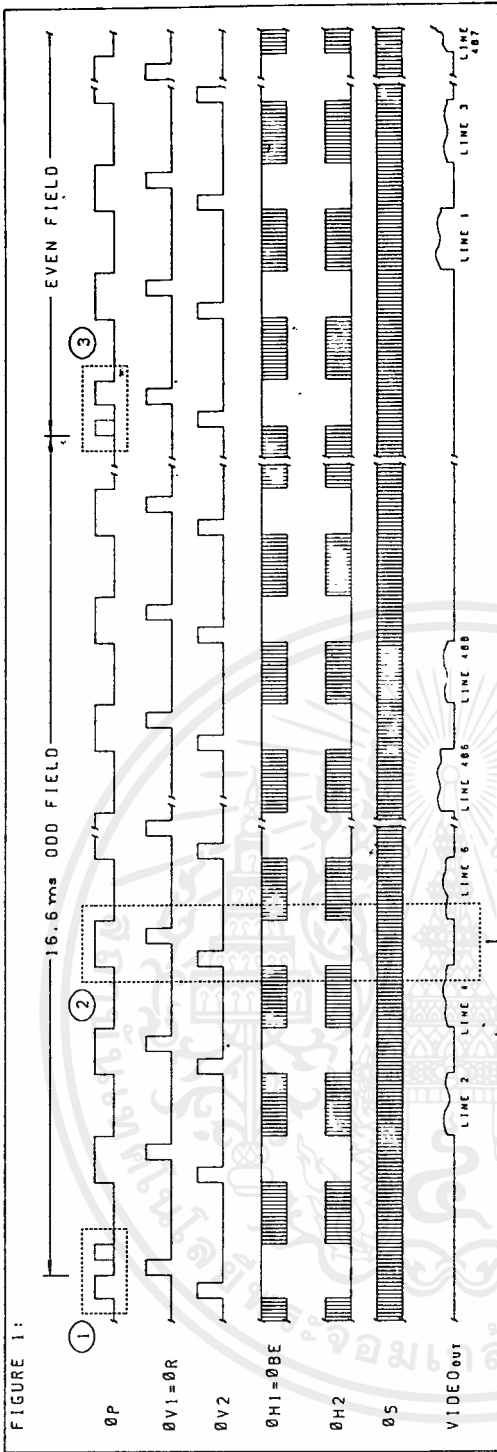
BLEMISH SPECIFICATIONS FOR CCD222:

(Measured at $T_A = 25^\circ\text{C}$ and at uniform light levels developing 0, 25 and 50% of V_{SAT} .)

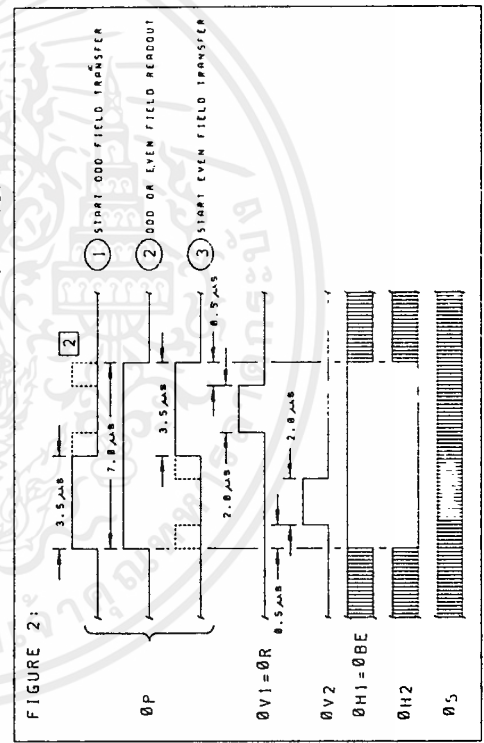
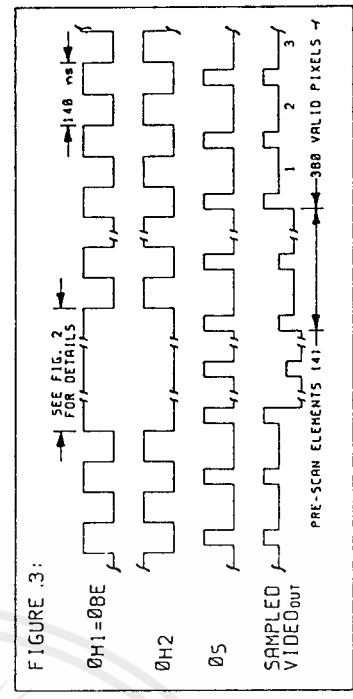
Characteristic	CCD222A Max
Number of Single Point Blemishes	5
Largest SPB Dimension	2
Number of Blemished Pixels in SPB's	10
Number of Column Defects	0
Widest Column Defect Width	0
Number of Defective Columns	0

TYPICAL PERFORMANCE CURVES





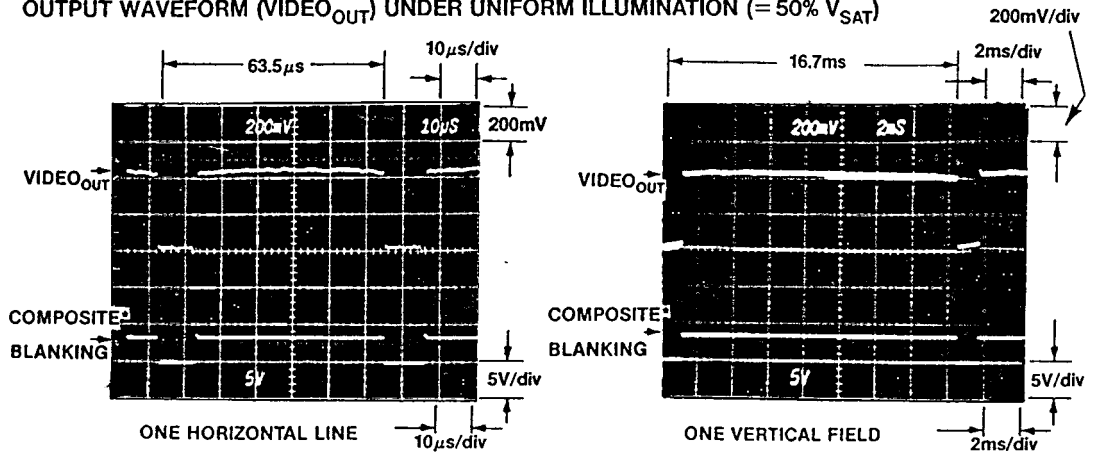
EXPANDED



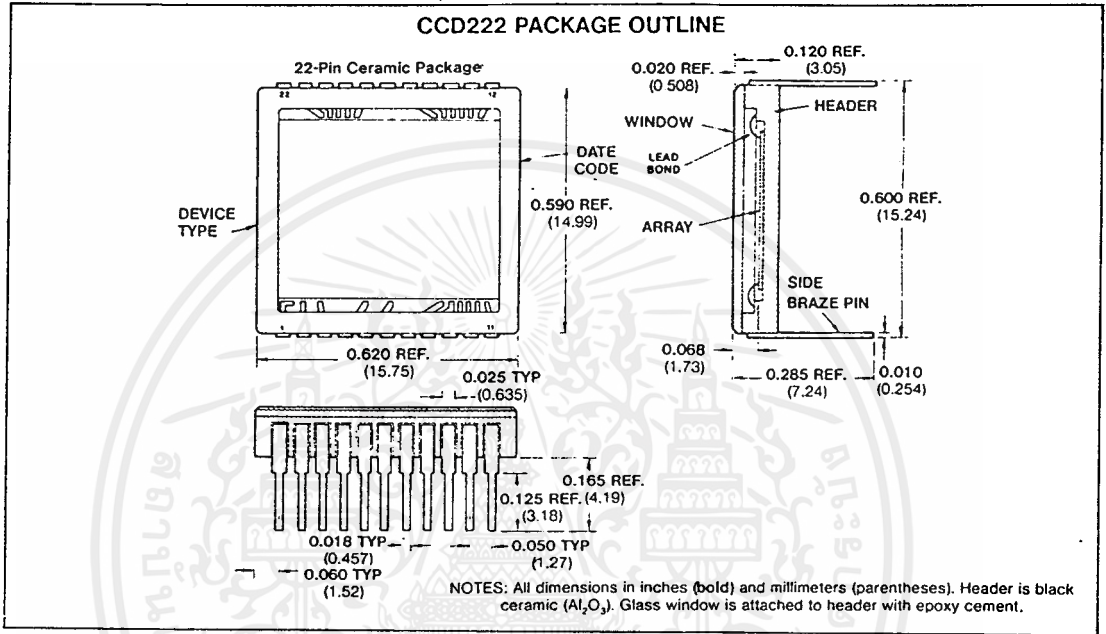
NOTES:
 1. Device tested at $F_{clk} = 7.16$ MHz. Times shown here correspond to this clocking frequency which is NTSC compatible.
 2. All clock pulses shown in dashed lines are not required. They may be added to simplify clock logic if necessary.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTPUT WAVEFORM (VIDEO_{OUT}) UNDER UNIFORM ILLUMINATION (= 50% V_{SAT})



CCD222 PACKAGE OUTLINE



ORDER INFORMATION

Description	Device Type Order Code
CCD222(Class A Blemish Spec.)	CCD222ADC

WARRANTY

Within twelve months of delivery to the end customer, Loral Fairchild will repair or replace, at our option, any Loral Fairchild camera product if any part is found to be defective in materials or workmanship. Contact factory for assignment of warranty return number and shipping instructions to ensure prompt repair or replacement.

CERTIFICATION

Loral Fairchild Division certifies that all products are carefully inspected and tested at the factory prior to shipment and will meet all requirements of the specification under which it is furnished.

LORAL
Fairchild Imaging Sensors

Loral Fairchild cannot assume responsibility for use of any circuitry described other than circuitry embodied in a Loral Fairchild product. No other circuit patent licenses are implied.

Manufactured under one of the following U.S. Patents: 2981877, 3015048, 3064167, 3108359, 3117260; other patents pending.