ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000 ผลิตโดยบริษัท Ocean Optics ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย มีความไวต่อแสงสูง ในช่วงตั้งแต่อัลตราไวโอเลตจนไปถึงอินฟราเรดช่วงต้นๆ ในช่วงความยาวคลื่น 200-1100 nm มีราคาไม่สูงมากนัก มีการทำงานร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ที่มีระบบปฏิบัติการ Windows 95/98 โดยมี A/D converter เป็นตัวแปลงสัญญาณจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 มีดังนี้

1. ส่วนประกอบภายในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

ส่วนประกอบนี้ถือว่าเป็นหัวใจของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสง โดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก (แสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งถูกแยกออกมาเป็นแถบแสงตามความยาวคลื่น ส่วนประกอบภายในประกอบไปด้วย

1.1 ช่องทางที่ปล่อยให้แสงเข้า (entrance slit) มีความกว้าง 25μm เพื่อให้สะดวกในการรับแสงที่มาจากเส้นใยนำแสงที่มีหัวเป็น SMA 95 ก่อนถึงช่องทางที่ปล่อยให้แสงเข้าจึงจะมีช่องที่ต่อกับ SMA 95 ได้พอดี

1.2 กระจกสะท้อนแสง และรีเฟลกชันเกรตติง (reflection grating) ที่มีจำนวนร่อง 600 ต่อมิลลิเมตร สามารถกระจายแสงในช่วง 200-1100 nm โดยระบบของกระจกสะท้อนแสง และรีเฟลกชันเกรตติงถูกออกแบบมาเป็นระบบ Crossed Czerny-Turner type

1.3 ซีซีดี (CCD) สำหรับวัดปริมาณความเข้มของแสงแต่ละความยาวคลื่นที่ได้มาจากการกระจาย มีขนาด 2048 พิกเซล มี optical resolution 1.3 nm full width half maximum

1.4 ระบบอิเล็กโทรนิกส์ สำหรับนำและรับสัญญาณระหว่างซีซีดีกับคอมพิวเตอร์โดยแปลงสัญญาณโดย A/D converter

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ส่วนประกอบภายนอกเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่

2.1 เส้นใยนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1000 μm ความยาว 1.5 m สามารถนำแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-750 nm มีค่า Numerical aperture 0.22 และมีการนำแสงแบบ step-index multi-mode

2.2 A/D converter รุ่น ADC1000 เป็นอุปกรณ์ที่ต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแปลงสัญญาณกลับไปกับมาระหว่างอนาลอกกับดิจิตอล โดยบนการ์ด A/D converter จากบริษัทจะมีการตั้ง Base address เป็น 768 และตั้ง IRQ ไว้ที่ 7 ซึ่งในการติดตั้งกับคอมพิวเตอร์โดยมากสามารถติดตั้งได้เลย แต่ถ้า Base address และ IRQ ดังกล่าวไม่ว่าง สามารถทำการเปลี่ยนได้โดยการตั้งค่าบนการ์ด A/D converter ดังแสดงในรูป ก-1 และ ก-2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Example: 768 decimal = Hex300 = 0x300 (Default Setting)

Switch #	1	2	3	4	5	6
ON						
OFF						

Decimal equivalent	16	32	64	128	256	512
Value as shown					256	512

Example: 784 decimal = Hex310 = 0x310

Switch #	1	2	3	4	5	6
ON						
OFF						

Value as shown	16				256	512

Example: 800 decimal = Hex320 = 0x320

Switch #	1	2	3	4	5	6
ON						
OFF						

Value as shown		32			256	512

Example: 816 decimal = Hex330 = 0x330

Switch #	1	2	3	4	5	6
ON						
OFF						

Value as shown	16	32			256	512

รูป ก-1 ตัวอย่างของการตั้ง Base address

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Interrupt Request 3

Switch #	7	8	9
ON			
OFF	■	■	■

Interrupt Request 4

Switch #	7	8	9
ON	■		
OFF		■	■

Interrupt Request 5

Switch #	7	8	9
ON		■	
OFF	■		■

Interrupt Request 7 (Default Setting)

Switch #	7	8	9
ON	■	■	
OFF			■

Interrupt Request 9

Switch #	7	8	9
ON			■
OFF	■	■	

Interrupt Request 10

Switch #	7	8	9
ON	■		■
OFF		■	

Interrupt Request 11

Switch #	7	8	9
ON		■	■
OFF	■		

switch is in the on, upward position = ■

รูป ก-2 ตัวอย่างของการตั้งค่า IRQ ต่าง ๆ

2.3 สายเชื่อมต่อ (connector cable) เป็นสายที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่อง S2000 กับ ADC 1000 จะต้องมีความสัมพันธ์กับ S2000 Pin-outs และ A/D Pin connection ดังแสดงในตาราง ก-1

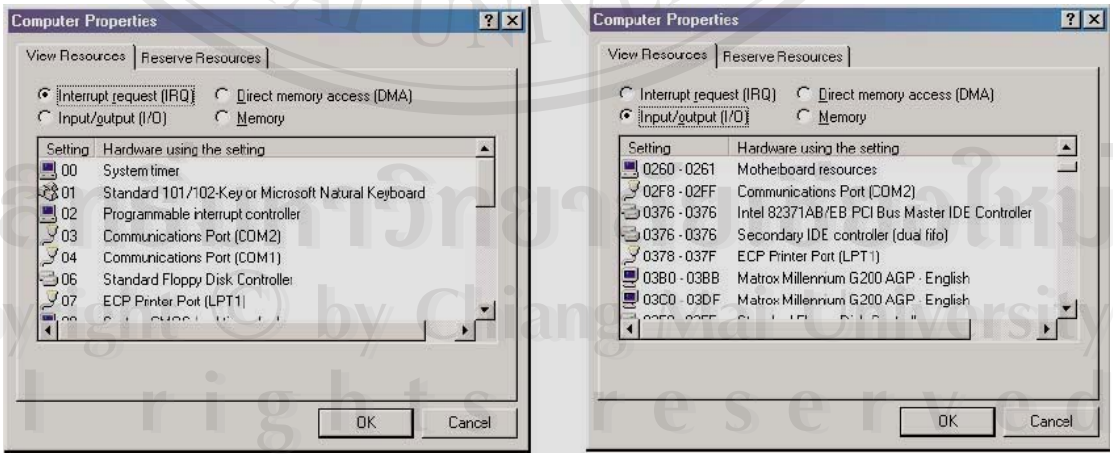
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก-1 Pin connectors

J1 Pin	Function	A/D Pin Connection
1	Analog Channel 0	37
2	Analog Channel 1	36
3	Analog Channel 2	35
4	Analog Channel 3	34
5	Analog Ground	19
6	Reserved	
7	N/C	
8	N/C	
9	Digital Ground	7
10	A/D Trigger	25
11	Master Clock	20
12	Digital Ground	Not in Cable
13	+5VDC	1
14	Analog Channel 4	33
15	Analog Channel 5	32
16	Analog Channel 6	31
17	Analog Channel 7	30
18	Analog Ground	Not in Cable
19	N/C	
20	Continuous Strobe In	8 (or use internal jumpers)
21	External Software Trigger Out (DO3)	5
22	Spectrometer Mode Input S1	4
23	Integration Time Clock In	2
24	Strobe Enable, Spectrometer Mode Input S0	23
25	Enable Read In	3

ขั้นตอนการติดตั้ง ACD1000 กับเครื่องคอมพิวเตอร์

1. ทำการตรวจสอบ Base address 768 และ IRQ 07 ถูกใช้งานหรือไม่ โดยไปที่ start/settings/control panel/system เลือก Device Manager /computer/view resources



รูป ก-3 Base address และ IRQ

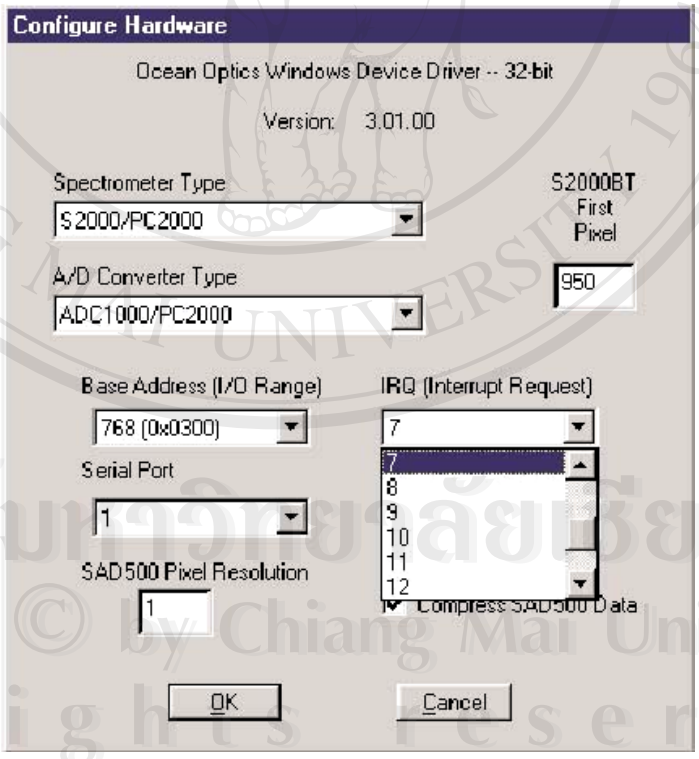
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ตั้งค่า Base address และ IRQ ตามค่าที่ว่างอยู่บน ACD 1000 การ์ด จากนั้นทำการปิดคอมพิวเตอร์

3. นำ ACD 1000 การ์ด ไปเสียบในช่อง ISA-bus slot

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม OOIBase 32

1. นำแผ่นโปรแกรม OOIBase 32 ใส่ใน CD drive แล้วเลือก Run หรือดับเบิลคลิกที่ไอคอน Install OOIBase 32
2. คลิก OK ที่ welcome dialog box และเลือก drive ที่ต้องการติดตั้ง จากนั้นคลิก OK จนโปรแกรมติดตั้งเรียบร้อย
3. นำการเปิดโปรแกรม OOIBase 32
4. ครั้งแรกที่ทำการเปิดโปรแกรม OOIBase 32 จะมี Interface setup parameters dialog box ขึ้นมา ให้ตั้งค่า Base address และ IRQ ตามที่ตั้งค่าไว้และค่าอื่นๆ ให้ตั้งตามรูป ก-4



รูป ก-4 การตั้งค่า Interface setup parameters

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้วสามารถนำไปวัดสเปกตรัมได้ ซึ่งสเปกตรัมที่วัดได้จะสามารถตั้งเวลาในการวัดได้ตั้งแต่ 3 ms ถึง 60 s แต่ค่าความเข้มของสเปกตรัมที่ได้จะยังไม่ถูกต้อง จะต้องทำการ calibration เพื่อหาค่า coefficients ไปตั้งค่าใน configure Spectrometer ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แต่ละเครื่อง ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข

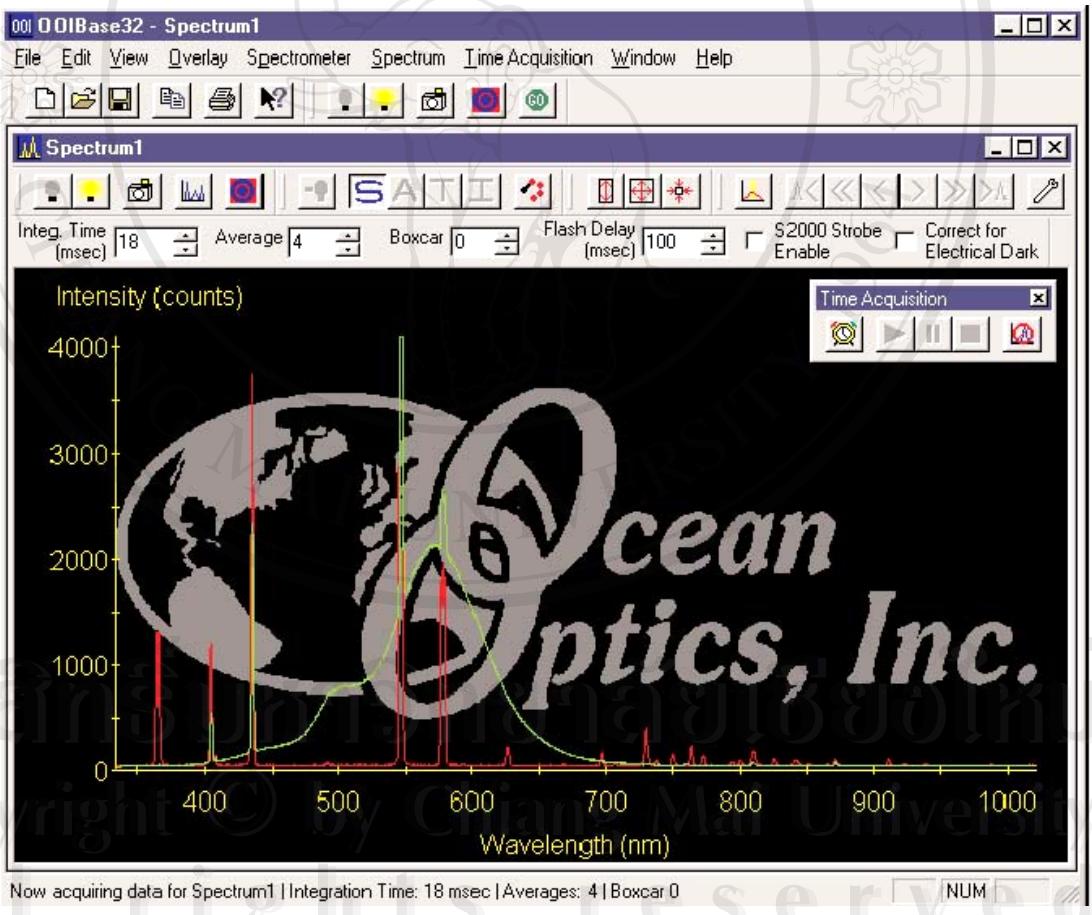
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรม OOIBase 32

โปรแกรม OOIBase 32 เป็นโปรแกรมสำหรับแสดงผลของสเปกตรัมที่วัดได้โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000 สามารถแสดงผลของสเปกตรัมได้แบบ real time โดยโปรแกรม OOIBase 32 จะทำงานได้กับระบบปฏิบัติการ Windows 95/98 มีวิธีการใช้งานดังนี้

1. ทำการเปิดโปรแกรม OOIBase 32 ซึ่งเมื่อเปิดโปรแกรมแล้วจะมีการแสดงผลของสเปกตรัม แบบ real time และมีหน้าจอแสดงผลดังรูป ข-1



รูป ข-1 แสดงหน้าจอของโปรแกรม OOIBase 32

จากรูป ข-1 จะพบว่าด้านบนเป็นไอคอนเครื่องมือต่างๆ ที่ต้องกำหนดในการวัดแต่ละครั้ง ด้านล่างเป็นสเปกตรัมที่เกิดขึ้นจากการวัดมีลิมิตของจำนวน intensity counts แกน y อยู่ที่ 4041

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

counts และแกน x จะแสดงถึงความยาวคลื่น และในการวิเคราะห์สเปกตรัมที่เกิดขึ้นสามารถเรียกดูสเปกตรัมพร้อมกันได้ถึง 8 เส้นและมี cursor ไว้สำหรับเลื่อนดูแต่ละ peak พิจารณาที่ไอคอนด้านบน แต่ละไอคอนจะมีหน้าที่ตามตาราง ข-1 และ ข-2

ตาราง ข-1 รูปไอคอนของเครื่องมือและหน้าที่

Icon	Function	Description
	Open	Opens a new spectral window.
	Open a Processed Spectrum	Opens a processed spectrum and displays the data in the spectral window.
	Save Processed Spectrum	Saves the processed spectra to disk.
	Copy	Copies the current spectra to the clipboard.
	Print	Prints the currently displayed spectra.
	Help	Opens the OOIBase32 help system.
	Store Global Dark	Take a dark spectrum used by all spectral windows.
	Store Global Reference	Take a reference spectrum used by all spectral windows.
	Global Snapshot	Take a snapshot and freeze data acquisition on all spectral windows.
	Global Emergency Reset	Reset the acquisition parameters for all spectral windows.
	Kick Start	Restart the acquisition loop without resetting any acquisition parameters.
	Store Dark	This option stores a dark spectrum for all enabled spectrometer channels in a spectral window. Block the light path to the sample, and then take the dark spectrum.
	Store Reference	This option stores a reference spectrum for all enabled spectrometer channels in a spectral window. Take a reference spectrum with the light source on and a blank in the sampling region.
	Snapshot	This option halts data acquisition and takes a snapshot of the activity in the spectral window.
	Single Exposure	This option reactivates data acquisition, and acquires and displays a single scan. It is only active when OOIBase32 is in Snapshot mode.
	Configure Data Acquisition	This option opens the Configure Data Acquisition dialog box. This dialog box allows you to configure aspects of the data acquisition process.
	Emergency Reset	This option resets all acquisition parameters for the active spectral window.
	Toggle Cursor	Enables or disables the display of a vertical cursor for the spectral window.
	Cursor Peak Left	Moves the cursor to the next left peak.
	Cursor Big Left	Moves the cursor 25 pixels to the left.
	Cursor Left	Moves the cursor 1 pixel to the left.
	Cursor Right	Moves the cursor 1 pixel to the right.
	Cursor Big Right	Mo ves the cursor 25 pixels to the right.
	Cursor Peak Right	Moves the cursor to the next right peak.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข-1 (ต่อ) รูปไอคอนของแทบเครื่องมือและหน้าที่

Icon	Function	Description
	Configure Cursor	Opens the Configure Cursor dialog box.
	Autoscale	Autoscale the graph to fit the spectral window.
	Set Scale	Set the scale of the graph.
	Unscale	Restores the graph to the default scale.
	Subtract Dark Spectrum	This command switches the current spectral window into Scope Mode, and subtracts the stored dark spectra from each spectrometer channel before OOIBase32 displays it.
	Scope Mode	This command switches the current spectral window into Scope Mode.
	Absorbance Mode	This command switches the current window into Absorbance Mode.
	Transmission Mode	This command switches the current window into Transmission Mode.
	Relative Irradiance Mode	This command switches the current window into Relative Irradiance Mode.
	Specular Reflection Mode	This command switches the current window into Specular Reflection Mode.
	Script-defined Custom Mode	This mode is only available in OOIBase32 Platinum version.
	Configure Spectrometer	Opens the Spectrometer Configuration dialog box.
	Activate Time Acquisition Mode	Places OOIBase32 in Time Acquisition Mode.
	Start Time Acquisition	Starts the time acquisition process.
	Pause Time Acquisition	Pauses the time acquisition process.
	Stop Time Acquisition	Stops the time acquisition process.
	Suspend Graph Updates	Suspends the graph display during a time acquisition process.

2. จากนั้นคลิกที่ไอคอน Scope Mode ทำการเลือก integration time ที่เหมาะสมสำหรับการวัดสเปกตรัมซึ่งสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 3 ms ถึง 60 s
3. ทำ Dark subtract เพื่อเป็นการลบสัญญาณรบกวนที่เกิดจากระบบให้มากที่สุดโดยการคลิกที่ไอคอน store global dark จากนั้นคลิกที่ไอคอน subtract dark spectrum โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำการปิดแหล่งกำเนิดแสงก่อน
4. ทำการบันทึกสเปกตรัมที่ได้โดยการคลิกที่ไอคอน save processed spectrum โดยก่อนที่จะทำการบันทึกสเปกตรัมควรที่จะทำ snapshot ก่อนเพื่อทำให้สเปกตรัมที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่กำหนดไว้ การทำ snapshot ทำได้โดยคลิกที่ไอคอน snapshot
5. การเรียก file ขึ้นมาวิเคราะห์ทำได้โดยคลิกที่ไอคอน open processed spectrum แล้วเลือก file ที่ต้องการขึ้นมา โดยสามารถเรียกสเปกตรัมมาซ้อนทับกับได้ถึง 8 สเปกตรัมโดยเลือกที่ overlay แล้วทำการเลือกสเปกตรัมตาม file ที่ทำการบันทึกไว้
6. การย่อและการขยายแกนเพื่อจะดูรายละเอียดของสเปกตรัมทำได้โดยใช้แทบเครื่องมือ spectrum scale ซึ่งมีอยู่ 3 ไอคอน คือ auto scale, set scale และ unscale

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. การพิจารณายอดสเปกตรัมทำได้โดยคลิกที่ไอคอน toggle cursor จะมีเส้นตรงขึ้นมาตัดกับเส้นสเปกตรัมขึ้นมาซึ่งสามารถเลื่อนได้ตามลูกศรบนแทบเครื่องมือ cursor

Calibration เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทุกชนิดจะต้องมี calibration ก่อนนำมาใช้งานหรือทำ calibration ใหม่เพื่อให้ได้ผลของสเปกตรัมที่มีความแม่นยำสูง โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000 ใช้ความสัมพันธ์ของสมการต่อไปนี้ เพื่อเป็นการกำหนดความยาวคลื่นเริ่มต้นที่ต้องการบันทึกและหาค่าสัมประสิทธิ์ (coefficients) ไปไว้ที่ setup/configure spectrometer/wavelength calibration ตามรูป ข-2

$$\lambda_p = I + C_1p + C_2p^2 + C_3p^3$$

เมื่อ λ_p คือ ความยาวคลื่นใดๆ

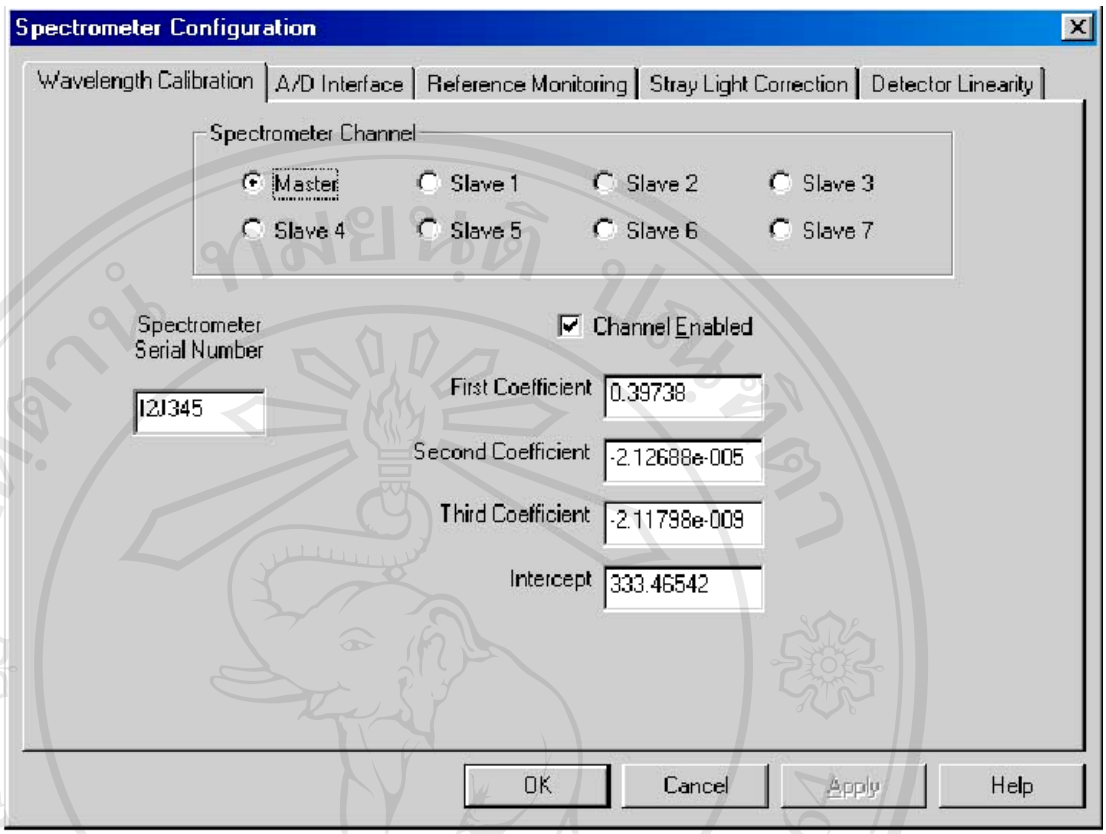
I คือ ความยาวคลื่นเริ่มต้นที่ต้องการวัด

C_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ 1, p คือ ความเข้มของยอดสเปกตรัมที่วัดได้

C_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ 2, p^2 คือ ความเข้มของยอดสเปกตรัมที่วัดได้ยกกำลังสอง

C_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ 3, p^3 คือ ความเข้มของยอดสเปกตรัมที่วัดได้ยกกำลังสาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป ข-2 แสดงหน้าจอของ setup/configure spectrometer/wavelength calibration

โดยแต่ละค่าที่นำไปเติมช่องว่างมีความหมายตามตาราง ข-2

ตาราง ข-2 คำอธิบายความหมายของแต่ละช่องที่ต้องนำมาเติมใน wavelength calibration

Option	Description
Spectrometer Channel	Specifies the spectrometer channel for which these modifications will apply
Spectrometer Serial Number	Serial number of the spectrometer on the channel selected in the Spectrometer Channel section
Channel Enabled	Specifies whether or not the channel specified in the Spectrometer Channel section will acquire data
First Coefficient	First wavelength coefficient (provided on the Wavelength Calibration Data Sheet that came with the spectrometer). Applies to the spectrometer selected in the Spectrometer Channel section
Second Coefficient	Second wavelength coefficient (provided on the Wavelength Calibration Data Sheet that came with the spectrometer). Applies to the spectrometer selected in the Spectrometer Channel section
Third Coefficient	Third wavelength coefficient (provided on the Wavelength Calibration Data Sheet that came with the spectrometer). Applies to the spectrometer selected in the Spectrometer Channel section. If your Wavelength Calibration Data Sheet does not contain a third coefficient, enter 0 here
Intercept	Specifies the wavelength intercept of the spectrometer selected in the Spectrometer Channel section

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการทำ calibration ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000 มีดังต่อไปนี้

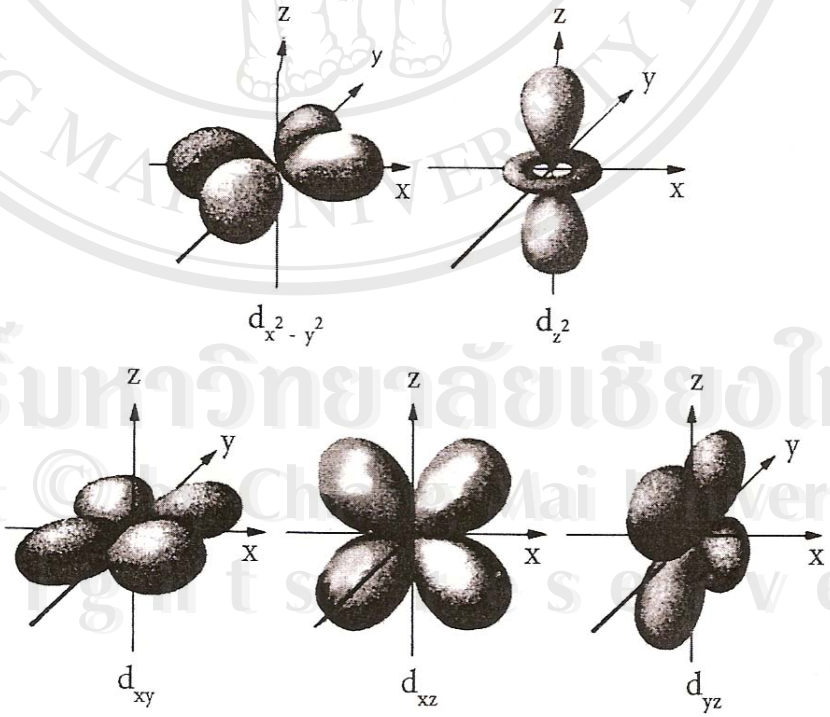
1. เตรียมอุปกรณ์สำหรับทำการวัดสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่รู้ค่าสเปกตรัมแน่นอน
2. เปิดโปรแกรม OOIBase 32 และเปิดแหล่งกำเนิดแสง
3. ทำการวัดสเปกตรัมใน scope mode ปรับ integration time จะให้พีคของสเปกตรัมทุกพีคในช่วงที่ต้องการวัดสามารถบอกค่าความเข้มได้
4. ปรับ cursor เพื่อที่จะอ่านค่าความยาวคลื่นและความเข้มของสเปกตรัมพร้อมบันทึกผล เริ่มจากทางด้านซ้ายสุดจนถึงขวาสุดของช่วงสเปกตรัมที่ต้องการวัด
5. นำผลของข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่า I , C_1, C_2, C_3 ในโปรแกรม Microsoft Excel โดยเข้าไปที่ Tool/Data Analysis /Regression
6. เลือกให้ความยาวคลื่นเป็นทั้งหมดเป็น dependent variable (Y) และเลือก p, p^2, p^3 เป็น independent variable (X) จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณ แสดงค่าออกมาในรูปของค่า intercept, x variable 1, 2, 3 และจะบอกค่า R squared ซึ่งถ้าทำการ calibration ที่ถูกต้อง ค่านี้จะต้องมีค่าใกล้เคียงกับ 1
7. ค่า intercept, x variable 1, 2, 3 คือ ค่าของ I, C_1, C_2, C_3 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเติมใน setup/configure spectrometer/wavelength calibration

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

ทฤษฎีสนามผลึก (Crystal Field Theory)

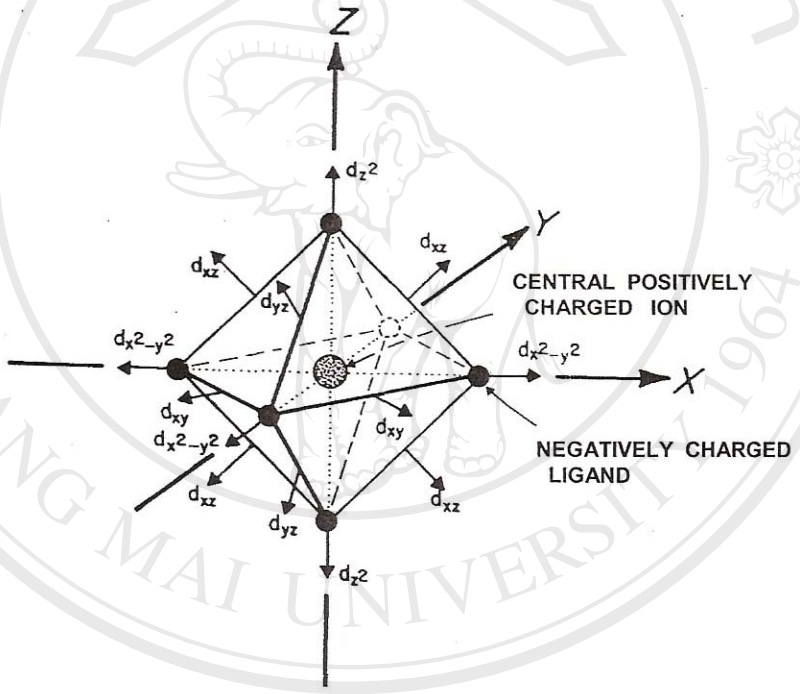
ทฤษฎีสนามผลึก (Crystal Field Theory) ซึ่งเป็นทฤษฎีหนึ่งที่ใช้อธิบายการเกิดพันธะในสารเชิงซ้อนของธาตุทรานซิชัน เนื่องจากสามารถอธิบายเกี่ยวกับการมีสีหรือการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ ทฤษฎีนี้ได้เสนอขึ้นครั้งแรกเพื่อใช้อธิบายการดักจับไอออนของโลหะไว้ในโครงผลึก ทฤษฎีสนามผลึกพิจารณาถึงแรงยึดในสารเชิงซ้อนว่าเป็นแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตอย่างเดียว โดยไม่พิจารณาถึงพันธะแบบโควาเลนซ์ คือกล่าวถึงอิทธิพลของสนามลิแกนด์ (ligand field) ที่มีต่อระดับพลังงานของ d-ออร์บิตอล (d-orbitals) ซึ่งรูปทรงของ d-ออร์บิตอล ทั้ง 5 แบบ แสดงดังรูป ค-1 โดยเมื่อพิจารณาทิศทางของกลุ่มอิเล็กตรอนพบว่า d $_{z^2}$ และ d $x^2 - y^2$ นั้นมีทิศทางชี้ไปยังทิศของลิแกนด์ ส่วน d_{xy} , d_{yz} และ d_{xz} นั้นจะชี้ไปในทิศระหว่างลิแกนด์ โดย d-ออร์บิตอล ทั้ง 4 มีรูปร่างคล้ายกัน คือประด้วยกลุ่มหมอกอิเล็กตรอน (electron cloud) 4 lobes ส่วน d_z^2 ประกอบด้วย lobes ใหญ่ 2 lobes ซึ่งมีทิศทางชี้ไปยังด้านบวกและด้านลบของแกน Z และมีกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนที่เป็นวงกลมอยู่บนระนาบ XY



รูป ค-1 รูปร่างและทิศทางของ d-ออร์บิตอล (ชุติมันต์ จันทร์เมือง, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อไอออนอยู่ในสภาวะอิสระคืออยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซ d-ออร์บิตอลของไอออนโลหะทั้ง 5 ออร์บิตอล จะมีพลังงานเท่ากันหมด (5-fold degeneracy) แต่เนื่องจากสารเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชันมักมีรูปทรงทางเรขาคณิตเป็นแบบ octahedron ลิแกนด์ทั้งหกกลุ่มซึ่งเป็น anion จะเข้าไปเกิดพันธะกับ cation ของโลหะทรานซิชันซึ่งเป็นอะตอมกลาง ดังนั้นเมื่อมีแรงทางไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้น ทำให้เกิดสนามลิแกนด์ขึ้นในสารเชิงซ้อนนั้นมีผลให้พลังงานใน d-ออร์บิตอล ทั้ง 5 ออร์บิตอลไม่เท่ากันทั้งหมด การเรียงลิแกนด์ทั้งหกรอบไอออนของโลหะเมื่อเกิดเป็น octahedron complex และทิศทางของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนของ d-ออร์บิตอล แสดงดังรูป ค-2

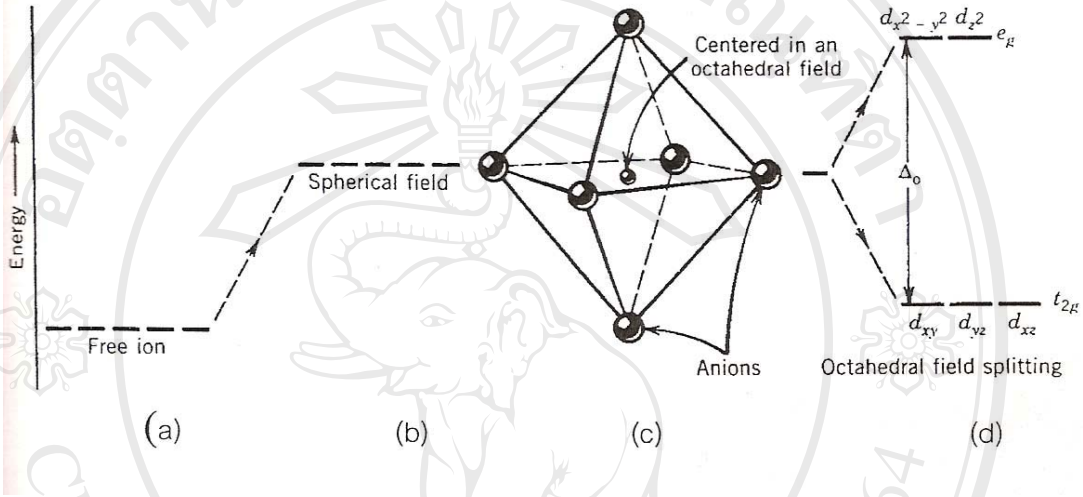


รูป ค-2 การเรียงลิแกนด์ทั้งหกรอบไอออนของโลหะเมื่อเกิดเป็น octahedron complex (Nassau,1983)

ถ้าบรรจุอิเล็กตรอน 1 ตัว เข้าไปในออร์บิตอล อิเล็กตรอนนี้จะต้องอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำสุด ด้วยเหตุนี้พลังงานของ d ออร์บิตอล จึงไม่เท่ากันอีกต่อไป คือมี 3 ออร์บิตอล ที่มีพลังงานต่ำกว่าเดิม คือ d_{xy} , d_{yz} และ d_{xz} แทนด้วย t_{2g} และมี 2 ออร์บิตอล ที่มีพลังงานสูงกว่าเดิม คือ d_{z^2} และ $d_{x^2-y^2}$ แทนด้วย e_g ผลต่างของระดับพลังงานสัมพันธ์ระหว่าง e_g กับ t_{eg} เรียกว่า splitting energy (หรือ cryatal field splitting energy) เขียนแทนด้วย Δ_0 ดังรูป ค-3(d) ยิ่งค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

splitting energy มากเท่าไรพลังงานแสงที่ต้องใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนจาก t_{eg} ไป e_g ก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้น



รูป ค-3 ระดับพลังงาน 3 d-ออร์บิตอลของโลหะทรานซิชัน (a) ไอออนอิสระ (b) ไอออนในสภาวะที่ถูกล้อมรอบด้วยประจุลบ (c) ไอออนของโลหะทรานซิชันที่อยู่ใน octahedral field ของ anion (d) การแยกพลังงานเนื่องจากสนามผลึก (Klein, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง

การคำนวณ projected range (R_p) ของฮีเลียมไอออนที่ระดมยิงด้วยพลังงานต่างๆ ไปยังผิวของอลูมิเนียมออกไซด์ หรือที่เรียกกันว่าพลอยในตระกูล corundum ด้วยโปรแกรม SRIM-2003 ซึ่งพลังงานของไอออนจะมีผลโดยตรงต่อค่า projected range แสดงดังรูป ง-1

Calculation using SRIM-2003
SRIM version ---> SRIM-2003.26
Calc. date ---> February 17, 2006

Disk File Name = SRIM Outputs\Helium in O-Al

Ion = Helium [2] , Mass = 4.003 amu

Target Density = 3.9700E+00 g/cm3 = 1.1724E+23 atoms/cm3

======= Target Composition ========

Atom Name	Atom Numb	Atomic Percent	Mass Percent
O	8	060.00	047.07
Al	13	040.00	052.93

Bragg Correction = 0.00%
Stopping Units = eV / (1E15 atoms/cm2)
See bottom of Table for other Stopping units

Ion Energy	dE/dx Elec.	dE/dx Nuclear	Projected Range	Longitudinal Straggling	Lateral Straggling
800.00 keV	5.002E+01	7.648E-02	1.70 um	1070 A	1423 A
900.00 keV	4.933E+01	6.935E-02	1.87 um	1110 A	1467 A
1.00 MeV	4.844E+01	6.351E-02	2.04 um	1150 A	1511 A
1.10 MeV	4.743E+01	5.864E-02	2.22 um	1190 A	1553 A
1.20 MeV	4.634E+01	5.451E-02	2.40 um	1229 A	1595 A
1.30 MeV	4.524E+01	5.095E-02	2.59 um	1269 A	1636 A
1.40 MeV	4.413E+01	4.787E-02	2.78 um	1309 A	1678 A
1.50 MeV	4.304E+01	4.515E-02	2.97 um	1350 A	1720 A
1.60 MeV	4.198E+01	4.275E-02	3.17 um	1391 A	1763 A
1.70 MeV	4.095E+01	4.061E-02	3.38 um	1433 A	1806 A
1.80 MeV	3.996E+01	3.868E-02	3.59 um	1476 A	1850 A
2.00 MeV	3.809E+01	3.536E-02	4.02 um	1622 A	1939 A
2.25 MeV	3.598E+01	3.197E-02	4.60 um	1842 A	2056 A
2.50 MeV	3.408E+01	2.921E-02	5.21 um	2060 A	2178 A
2.75 MeV	3.238E+01	2.692E-02	5.85 um	2278 A	2306 A
3.00 MeV	3.085E+01	2.498E-02	6.52 um	2497 A	2440 A
3.03 MeV	3.068E+01	2.476E-02	6.60 um	2504 A	2457 A

รูป ง-1 การคำนวณ projected range (R_p) ของฮีเลียมไอออน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย ฉัตรชัย เครืออินทร์

วัน เดือน ปี เกิด 17 ธันวาคม 2521

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนพะเยาพิทยาคม จังหวัด พะเยา ปีการศึกษา 2539

สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2544

สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรบัณฑิตวิชาชีพครู (การสอนวิทยาศาสตร์) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2545

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved