สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
2.1 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับเป้า	6
2.1.1 กระบวนทางกายภาพของ Ion-solid interaction	6
2.1.2 Stopping cross section	7
2.1.3 Projected range	8
2.2 กลไกพื้นฐานของการกระตุ้นทำให้เกิดการเปล่งแสง	9
2.2.1 แบบจำลอง Electron transfer	9
2.2.2 แบบจำลอง Quantum mechanical	12
2.2.3 แบบจำลอง Molecular	13
2.2.4 แบบจำลอง Local thermodynamic equilibrium and related	14
2.3 ฟิสิกส์ของการเปล่งแสง	15
2.3.1 หลักการการเกิด Ionoluminescence	15
2.3.2 กระบวนการเปล่งแสงในของแข็ง	15
บทที่ 3 เครื่องมือ	19
3.1 ส่วนผลิตลำอนุภาค	19
3.2 ส่วนการนำสเปกตรัมที่เกิดขึ้นไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	20
3.2.1 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนำแสงที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2.2 ฟิสิกส์ของเส้นใยนำแสง	20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3 การเลือกเส้นใยนำแสงให้เหมาะกับช่วงที่ต้องการวัดสเปกตรัม 23
3.2.4 ลักษณะของ connector ของเส้นใยนำแสงที่มีอยู่ในปัจจุบัน 26
3.3 ส่วนของการประมวลผลและแสดงผลของสเปกตรัมที่ได้ 28
3.3.1 หลักการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 29
3.3.2 ลักษณะเฉพาะของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 30
3.3.3 หลักการทำงานของซีซีดี (CCD) และการทำงาน
ของรีเฟลกชันเกรตติง (reflection grating) 30
3.3.4 การเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง
สเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 กับแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน 35
บทที่ 4 การทดลอง 44
4.1 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ 44
4.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง 46
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ 49
5.1 การหาความสัมพันธ์ของอิทธิพลของ intrinsic และ extrinsic
ของแซฟไฟร์สังเคราะห์และทับทิมสังเคราะห์ กับสเปกตรัม
ที่ได้จากการเปล่งแสง 49
5.2 การหาความสัมพันธ์ของพลังงานของไอออนที่มาชนกับสเปกตรัม
ที่ได้จากการเปล่งแสง 52
5.3 การหาความสัมพันธ์ของกระแสของไอออนที่มาชนกับสเปกตรัม
ที่ได้จากการเปล่งแสง 55
5.4 การหาความสัมพันธ์ของปริมาณจำนวนประจุ กับสเปกตรัม
ที่ได้จากการเปล่งแสง 56
5.5 การหาความสัมพันธ์ของประจุของไอออนกับสเปกตรัม
ที่ได้จากการเปล่งแสง 57
5.6 การหาความสัมพันธ์ของชนิดของชิ้นงานกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง 58
5.6.1 พลอยจริง (Al_2O_3) จำนวน 6 เม็ด 58
5.6.2 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 61
5.6.3 แก้ว (SiO_2) 63

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5.6.4 โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และโซเดียมซัลไฟต์ ($Na_2 SO_3$) 64
5.6.5 ฟัน 66
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 67
6.1 สรุปผลการทดลอง 67
6.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยในอนาคต 68
บรรณานุกรม 69
ภาคผนวก 73
ภาคผนวก ก 74
ภาคผนวก ข 81
ภาคผนวก ค 87
ภาคผนวก ง 90
ประวัติผู้เขียน 91

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	เทคนิควิเคราะห์โดย Ion Beam Analysis	1
1.2	การเปล่งชนิดต่างๆ	2
3.1	คุณลักษณะของเส้นใยนำแสงที่ใช้ในการทดลอง	21
3.2	คุณลักษณะของเส้นใยนำแสงของบริษัท Ocean optics	24
3.3	connector แบบต่างๆของเส้นใยนำแสงและการนำไปใช้	27
3.4	คุณลักษณะของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000	30
3.5	ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นของ HgและAr กับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000	39
3.6	ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นของหลอดไอปรอทกับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000	40
3.7	ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นของหลอดแคดเมียมกับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000	41
3.8	ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นของหลอดนีออนกับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000	42

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับเป้าซึ่งมีการชนกันแบบ cascade	7
2.2	Total path length (R) และ projected range (R_p)	9
2.3	แผนภาพบ่อพลังงานศักย์ของโลหะและระยะระหว่างอะตอมที่เรียงกันอยู่บริเวณผิวของโลหะ	10
2.4	แผนภาพพลังงานศักย์ของระบบโมเลกุลของโลหะกับออกซิเจน (M-O) เป็นฟังก์ชันของระยะภายในนิวเคลียส	14
2.5	แผนผังของการทรานซิชันทางอิเล็กทรอนิคส์ระหว่าง band gap ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปล่งแสง	17
3.1	แผนภาพเครื่องเร่งอนุภาคแทนเดอตรอน	20
3.2	เส้นรังสีของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิดที่มุมตกกระทบต่างๆ	22
3.3	Mode ต่างๆ ของเส้นใยนำแสง	23
3.4	ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับ attenuation ของสเปกตรัมที่ผ่านเส้นใยนำแสง	25
3.5	เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 ของบริษัท Ocean optics	28
3.6	แผนภาพการกระจายแสงออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ ภายในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000	29
3.7	ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับประสิทธิภาพในการวัดสเปกตรัม	32
3.8	ลักษณะรีเฟลกชันเกรตติง	33
3.9	การกระจายแสงด้วยดิฟแฟรกชันเกรตติง	33
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับประสิทธิภาพในการกระจายแสง	35
3.11	HG-1 Mercury Argon Calibration Source	36
3.12	หลอดแคดเมียม หลอดนีออน หลอดไอปรอท และหลอดโซเดียมตามลำดับ	36
3.13	การเตรียมการทดลองวัดสเปกตรัมของ HG-1 Mercury Argon Calibration Source	37

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.14	การเตรียมการทดลองวัดสเปกตรัมของหลอดไอปรอท หลอดแคดเมียมและหลอดนีออน ตามลำดับ	37
3.15	กราฟสเปกตรัมของ HG-1 Mercury Argon Calibration Source	38
3.16	กราฟสเปกตรัมของหลอดไอปรอท	40
3.17	กราฟสเปกตรัมของแคดเมียม	41
3.18	กราฟสเปกตรัมของนีออน	42
4.1	แผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดสเปกตรัมกับ Analysis chamber ของเครื่องแทนเดอตรอน	45
4.2	การติดตั้งอุปกรณ์พร้อมที่จะทำการวัด	45
4.3	การยึดชิ้นงานบนตัวจับพร้อมที่จะนำไปใส่ใน Analysis chamber	46
4.4	การนำตัวยึดไปติดตั้งใน Analysis chamber	47
4.5	การปรับระดับเส้นใยนำแสงโดยใช้ความเข้มของการเปล่งแสง ของตัวทดสอบมาตรฐานที่ถูกกระตุ้นโดย He-Ne laser เป็นตัวกำหนด	47
5.1	แซฟไฟร์สังเคราะห์และทับทิมสังเคราะห์	49
5.2	สเปกตรัมของแซฟไฟร์สังเคราะห์ที่ได้จากเทคนิค IL	50
5.3	สเปกตรัมของทับทิมสังเคราะห์ที่ได้จากเทคนิค IL	50
5.4	ความสัมพันธ์ของพลังงานของ He^{++} ที่พลังงาน2.13และ2.43 MeV กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง	53
5.5	ความสัมพันธ์ของพลังงานของ He^{++} ที่พลังงาน2.13และ2.73 MeV กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง	53
5.6	ความสัมพันธ์ของพลังงานของ He^{++} ที่พลังงาน2.13และ3.03 MeV กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง	54
5.7	ความสัมพันธ์ของกระแสของไอออนที่มาชน กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง	55
5.8	ความสัมพันธ์ของปริมาณจำนวนประจุ กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง	56
5.9	ความสัมพันธ์ของประจุของไอออนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง	57
5.10	สเปกตรัมการเปล่งแสงของทับทิบหลังเบี้ยโดยเทคนิค IL	58
5.11	สเปกตรัมการเปล่งแสงของไพลิน (manit/k) โดยเทคนิค IL	59
5.12	สเปกตรัมการเปล่งแสงของไพลิน (blue sapphire)โดยเทคนิค IL	59

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5.13	สเปกตรัมการเปล่งแสงของไพลิน (sk-03) โดยเทคนิค IL	60
5.14	สเปกตรัมการเปล่งแสงของทับทิม (somwang) โดยเทคนิค IL	60
5.15	สเปกตรัมการเปล่งแสงของพลอย (pink sapphire)โดยเทคนิค IL	61
5.16	สเปกตรัมการเปล่งแสงของ ZnO nanobelt บน Cu โดยเทคนิค IL	62
5.17	สเปกตรัมการเปล่งแสงของ ZnO บน Si โดยเทคนิค IL	62
5.18	สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วโดยเทคนิค IL	63
5.19	สเปกตรัมการเปล่งแสงของโซเดียมซัลเฟต โดยเทคนิค IL	64
5.20	สเปกตรัมการเปล่งแสงของโซเดียมซัลไฟต์ โดยเทคนิค IL	65
5.21	สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟัน โดยเทคนิค IL	66

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

AD	Auger Deexcitation
CCD	Charge Couple Device
IL	Ionoluminescence
MeV	mega electron volts
NA	Numerical Aperture
RI	Resonance Ionization
UV	ultraviolet
VIS	visible light
τ	time interval
$A_{nr}(s)$	total non-radiative transition probability
e_A^-	Auger electron
E_g	energy gap
e_s^-	transfer electron
g_i	the statistical weight of the upper level i
R	total path length
R(s)	survival probability
R_p	projected range
R_q	excitation probability
S(E)	stopping cross section
S_e	electronic stopping
S_n	nuclear stopping
X^{0*}	sputtered excited atom
h	ค่าคงที่ของ Planck
n	จำนวนเต็มบวกมากกว่าหรือเท่ากับ 1 สำหรับสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น (สมการ 2.18)
n	ค่าดัชนีหักเห (สมการ 3.2)
ϕ_i	มุมที่เบี่ยงเบนไปของไอออนที่เข้าชนจากแนวตั้งฉาก (สมการ 2.4)
ν	ความเร็วของแสงในตัวกลางใดๆ (สมการ3.2)
c	ความเร็วของแสงในสุญญากาศ
$\nu_\perp$	ความเร็วของอะตอมที่ถูกกระตุ้นในทิศทางตั้งฉากกับผิว
$\frac{A_k}{a_k}$	the survival parameter ของกระบวนการ non-radiative deexcitation ที่เป็นไปได้ k กระบวนการ ที่อยู่ในสถานะกระตุ้น
λ	ความยาวคลื่นเฉลี่ยของสเปกตรัม 2 ค่าที่อยู่ติดกัน (สมการ 3.5)
λ	ความยาวคลื่น (สมการ 3.4)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

θ	มุมเลี้ยวเบนของแสง
ν	ความถี่ (สมการ 2.17)
α	มุมของรังสีตกกระทบของแสงที่ตกกระทบกับเส้นใยนำแสง
ε	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของผลึก
$\Delta\lambda$	ความยาวคลื่นที่ต่างกันของสเปกตรัม 2 ค่าที่อยู่ติดกัน (สมการ 3.5)
ΔE_q	พลังงานกระตุ้น
τ_i	lifetime ของสถานะกระตุ้น i
Δt	เวลาทั้งหมดในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์
A	พลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมที่ผิว
A_{if}	Einstein coefficient สำหรับการทรานซิชันระหว่างระดับที่สูงกว่า i และระดับสุดท้าย f
b	ค่า adjustable van der Waals
d	ระยะระหว่างร่อง
E	พลังงานในการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่ง x (สมการ 2.1)
E_0	พลังงานเริ่มต้นของไอออน
E_A	ระดับพลังงานของ acceptor
E_D	ระดับพลังงานของ donor
E_i	พลังงานที่สถานะกระตุ้น i
i	มุมของแสงตกกระทบ (สมการ 3.4)
I_{if}	ความเข้มของเส้นสเปกตรัม
k	ค่าคงที่ของ Boltzmann (สมการ 2.15)
k	จำนวนกระบวนการที่อยู่ในสถานะกระตุ้น (สมการ 2.8-2.10)
m^*	reduced effective mass ของ อิเล็กตรอน (m_e) และ โฮล (m_h)
n	อันดับดิฟแฟรกชัน (สมการ 3.5)
n	ตัวเลขที่แสงอันดับการเลี้ยวเบนของแสง (สมการ 3.4)
N	จำนวนร่อง (blazes) ที่แสงตกกระทบ (สมการ 3.5)
N	จำนวนความหนาแน่นของอะตอมเป้า (สมการ 2.1 และ2.3)
N_i^*	จำนวนของอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น i

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved