สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ญ
สารบาญภาพ	ฐ
บทที่ 1	1
บทที่ 2	3
2.1 คำนำ	3
2.2 การแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.3 การเกิดรังสีเอ็กซ์	5
2.3.1 รังสีเอ็กซ์ชนิดต่อเนื่อง (Continuos spectrum)	6
2.3.2 รังสีเอ็กซ์ชนิดเฉพาะ (The characteristic spectrum)	8
2.4 การดูดกลืน (Absorption)	12
2.5 การผลิตรังสีเอ็กซ์	16
2.6 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	18
2.7 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer; XRD)	23
2.7.1 เรขาคณิตและระบบทางเดินแสงของ XRD	23
2.7.2 หัววัดรังสีเอ็กซ์	26
2.8 การกรองรังสี	29
2.8.1 Single filter	30
2.8.1.1 อัตราส่วนความเข้มของ $\frac{K_\beta}{K_\alpha}$	32
2.8.1.2 ประโยชน์ของฟิลเตอร์	35
2.8.1.3 การเตรียมฟิลเตอร์	38

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

2.8.2 Balance filter 39
2.8.3 Crystal Monochromator 40
บทที่ 3 44
3.1. การทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างชุดอุปกรณ์กรองรังสีจากผลึกเชิงเดี่ยว 44
3.1.1 การทดลองเพื่อศึกษามุมแบรก(Bragg angle) ของผลึกทั้งสี่ชนิด 44
3.1.2 การทดลองเพื่อวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เข้าสู่หัววัดรังสีที่มุม 0° ในสภาวะปกติ 45
3.1.3 การทดลองเพื่อวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เข้าสู่หัววัดรังสีที่มุม 0° ในสภาวะอื่นๆ 46
3.1.4 การทดลองเพื่อวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใส 47
3.1.5 การทดลองเพื่อวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดขุ่น 48
3.1.6 การทดลองเพื่อวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านผลึกซิลิกอน (Si) 48
3.1.7 การทดลองเพื่อวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านแผ่นทองคำ 49
3.2 การอออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์กรองรังสีโดยใช้การเลี้ยวเบนผ่านผลึกเชิงเดี่ยว 50
3.2.1 โครงสร้างหลักของเครื่อง XRD รุ่น DX501 ของบริษัท Seimens 51
3.2.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์กรองรังสี 56
3.3 การทดลองเพื่อทดสอบชุดอุปกรณ์กรองรังสีโดยใช้การเลี้ยวเบนผ่านผลึกเชิงเดี่ยวที่สร้างขึ้น 57
3.3.1 การทดลองเพื่อวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยวิธี XRD โดยใช้นิกเกิลฟิลเตอร์เป็นตัวกรองรังสี 58
3.3.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยวิธี XRD โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีโดยอาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกเชิงเดี่ยว 59

บทที่ 4 60

4.1 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างชุดอุปกรณ์กรองรังสีจากผลึกเชิงเดี่ยว 60

4.1.1 ผลการศึกษามุมแบรกของผลึกทั้งสี่ชนิด 60

4.1.2 ผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เข้าสู่หัววัดรังสีที่มุม 0° ในสภาวะต่างๆ 66

4.1.3 ผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใสที่สภาวะต่างๆ 67

4.1.4 ผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดขุ่นที่สภาวะต่างๆ 69

4.1.5 ผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านผลึกซิลิกอนชนิดใสที่สภาวะต่างๆ 70

4.1.6 ผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านแผ่นทองคำที่สภาวะต่างๆ 72

4.2 การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์กรองรังสีโดยใช้การเลี้ยวเบนผ่านผลึกเชิงเดี่ยว 75

4.3 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์กรองรังสีที่ได้สร้างขึ้น 75

4.3.1 ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยวิธี XRD โดยใช้นิกเกิลฟิลเตอร์เป็นตัวกรองรังสี 75

4.3.2 ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยวิธี XRD โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีโดยอาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกเชิงเดี่ยวที่ได้สร้างขึ้น 78

4.4 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์กรองรังสีเอ็กซ์ที่อาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึก 89

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์กรองรังสีเอ็กซ์ที่อาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใส 89

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์กรองรังสีเอ็กซ์ที่อาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใส 94

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 98
5.1 สรุปผลการทดลอง 98
5.2 ข้อเสนอแนะ 99
เอกสารอ้างอิง 101
ภาคผนวก 103
ประวัติผู้เขียน 109

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แสดงชนิดและข้อมูลของฟิลเตอร์ที่ใช้ในการกรองรังสี K_β จากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ชนิดเป้าต่างๆ	31
2.2	แสดงถึงผลการคำนวณค่าของ $\beta - filter$ ที่ใช้เพื่อลดอัตราส่วนของ $K_{\beta_1} : K_{\alpha_1}$ ลงเป็น 1/100 และ 1/500 โดยใช้หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ที่เป้าแตกต่างกัน 7 ชนิด	33
2.3	แสดงผลของ Zr ฟิลเตอร์ ที่มีต่อความเข้มของ Mo spectrum	34
2.4	แสดงผลของ Ni ฟิลเตอร์ ที่มีต่อความเข้มของ Cu spectrum	34
2.5	แสดงค่าความหนาและชนิดของ Balance ฟิลเตอร์ ที่ใช้กับหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ชนิดต่างๆ	40
2.6	แสดงผลการกรองรังสีของผลึกแต่ละชนิด	42
2.7	แสดงสภาวะต่างๆของเครื่อง XRD ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.1.2	45
3.2	แสดงสภาวะต่างๆของเครื่อง XRD ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.1.4	47
3.3	แสดงสภาวะต่างๆของเครื่อง XRD ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.1.6	48
3.4	แสดงสภาวะต่างๆของเครื่อง XRD ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.1.7	49
3.5	แสดงสภาวะต่างๆของเครื่อง XRD ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.3.1	58

4.1	แสดงมุมและค่า d-spacing ของสารที่ให้ความเข้มของการเลี้ยวเบนสูงสุด	65
4.2	แสดงผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่มุม 0° โดยไม่ผ่านสารตัวอย่างและให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ต่างๆกัน	66
4.3	แสดงผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใสที่มุม 26.5° โดยให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ต่างๆกัน	68
4.4	แสดงผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดขุ่นที่มุม 26.5° โดยให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ต่างๆกัน	69
4.5	แสดงผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านผลึกซิลิกอนที่มุม 28.3°โดยให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ต่างๆกัน	71
4.6	แสดงผลการวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านแผ่นทองคำที่มุม 44.1° โดยให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ต่างๆกัน	72
4.7	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่วัดโดยตรงจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ปริมาณกับรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านผลึกทั้งสี่ชนิด ที่สภาวะต่างๆ	74
4.8	แสดงผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ผ่านสารตัวอย่าง 5 ชนิด โดยใช้ระบบการกรองรังสีที่แตกต่างกันสองระบบ และให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 10 มิลลิแอมแปร์	90
4.9	แสดงผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ผ่านสารตัวอย่าง 5 ชนิด โดยใช้ระบบการกรองรังสีที่แตกต่างกันสองระบบ และให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	91

4.10	แสดงผลการเปรียบเทียบค่า d-spacing ที่ได้จากการตรวจวัดสารตัวอย่างด้วยวิธี XRD ของระบบการกรองรังสีที่อาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใสกับค่าจากฐานข้อมูล JCPDS.โดยให้กระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์เป็น 10 มิลลิแอมแปร์	92
4.11	แสดงผลการเปรียบเทียบค่า d-spacing ที่ได้จากการตรวจวัดสารตัวอย่างด้วยวิธี XRD ของระบบการกรองรังสีที่อาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใสกับค่าจากฐานข้อมูล JCPDS. โดยให้กระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์เป็น 20 มิลลิแอมแปร์	93
4.12	แสดงผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ผ่านสารตัวอย่าง 5 ชนิด โดยใช้ระบบการกรองรังสีที่แตกต่างกันสองระบบและให้ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 10 มิลลิแอมแปร์	94
4.13	แสดงผลการเปรียบเทียบตำแหน่งของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ผ่าน สารตัวอย่าง 5 ชนิด โดยใช้ระบบการกรองรังสีที่แตกต่างกันสองระบบ และให้ ค่ากระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	95
4.14	แสดงผลการเปรียบเทียบค่า d-spacing ที่ได้จากการตรวจวัดสารตัวอย่างด้วยวิธี XRD ของระบบการกรองรังสีที่อาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดขุ่น กับค่าจากฐานข้อมูล JCPDS. โดยให้กระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์เป็น10 มิลลิแอมแปร์	96
4.15	เการเปรียบเทียบค่า d-spacing ที่ได้จากตรวจวัดสารตัวอย่างด้วยวิธี XRD ของระบบการกรองรังสีที่อาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดขุ่น กับค่าจากฐานข้อมูล JCPDS.โดยให้กระแสแก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์เป็น 20 มิลลิแอมแปร์	97

สารบาญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.2	แสดงสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในขณะที่รังสีเอ็กซ์วิ่งไปในแกน X	4
2.3	แสดงการเปลี่ยนแปลง E เมื่อ (a)คงที่ (b) t คงที่	5
2.4	แสดง X-ray spectrum ของโลหะโมลิบดีนัมที่ค่าความต่างศักย์ตั้งแต่ 5-25 กิโลโวลต์	6
2.5	แสดงสเปกตรัมของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจาก Mo โดยให้ความต่างศักย์ 35 กิโลโวลต์	9
2.6	แสดงความสัมพันธ์ของ Moseley สำหรับ Charateristic lines	10
2.7	แสดง Electronics Transition ในอะตอม	10
2.8	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นกับพลังงานของรังสีเอ็กซ์และค่าสัมประสิทธิการดูดกลืนของโลหะนิกเกิล	13
2.9	แสดงระดับพลังงานของอะตอมและ Characteristic lines emission	15
2.10	แสดงภาคตัดขวางของหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์แบบมีไส้	16
2.11	แสดงแผนภาพของวงจรไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับหลอดแบบมีไส้	17
2.12	แสดงภาคตัดขวางของหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์แบบอัดแก๊ส	18
2.13	แสดงแบบจำลองการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์	19
2.14	แสดงการแทรกสอดในแถวของอะตอม	19
2.15	แสดงรูปการแทรกสอดของ Laue	20
2.16	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรก	21
2.17	แสดงกลไกการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในเครื่อง XRD	23
2.18	แสดงการจัดโฟกัสของ XRD	24

2.19	แสดงระบบทางเดินแสงของรังสีเอ็กซ์ใน XRD	25
2.20	แสดงพีคเมื่อใช้สารตัวอย่างที่แบนราบกับสารตัวอย่างที่โค้งของระนาบ 111 ของสาร TiC	26
2.21	แสดง Counter ชนิดต่างๆ (a) Geiger counter (b) Proportional counter: A-anode, C-cathode, W-window, X-X-ray (c) Scintillator counter	27
2.22	แสดง Diffraction pattern ที่ได้จาก automatic recorder ของผงทังสเตน	28
2.23	แสดงการเปรียบเทียบ spectrum จากโลหะทองแดง a)เมื่อยังไม่ใส่ฟิลเตอร์ b)เมื่อใส่ฟิลเตอร์	31
2.24	แสดงกราฟค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้นาของสารในแต่ละค่าความยาวคลื่น	32
2.25	(a)แสดงผลการ XRD ของผงทังสเตนที่เส้น 200 โดย Ni ฟิลเตอร์ วางอยู่เหนือตำแหน่งDivergence slit (DS หมายถึงการวางฟิลเตอร์ระหว่างหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์กับสารตัวอย่าง) ซึ่งจะให้ค่าความเข้มของ Background มากกว่าการวาง ฟิลเตอร์ที่เหนือตำแหน่ง Receiving slit (RS หมายถึงการวาง ฟิลเตอร์ระหว่างสารตัวอย่างกับหัววัดรังสี) ถึง 5 เท่า เนื่องจาก Ni ฟิลเตอร์ สามารถดูดซับความเข้มของ WL fluorescent ซึ่งเกิดจาก รังสี Continuum (b)แสดงผลการ XRD ของผง นิกเกิลที่เส้น 111 โดย Ni ฟิลเตอร์ วางที่ตำแหน่ง DS จะให้ความเข้มของ Background น้อยกว่าในกรณีที่วางตำแหน่ง Ni ฟิลเตอร์ที่ RS อยู่ประมาณ 50% เนื่องจาก Ni ฟิลเตอร์ ได้ดูดซับรังสีในช่วง CuK_β ออกซึ่งรังสีดังกล่าวเป็นสาเหตุของการเกิด NiK fluorescent ซึ่งมีความเข้มสูง	37

2.26	(a)แสดงความเข้ม Spectrum ของรังสีเอ็กซ์จากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ชนิดเป้า Mo ก่อน และหลังการใส่ Zr และ Sr Filter (b) แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของ Zr และ Sr Filter	39
2.27	แสดงแผนภาพจำลองการวัด XRD โดยอาศัยผลึกเชิงเดี่ยวเป็นตัวกรองรังสี	41
3.1	แสดงผังการทดลองที่ 3.1.1	45
3.2	แสดงผังการทดลองที่ 3.1.2	46
3.3	แสดงผังการทดลองที่ 3.1.3	46
3.4	แสดงผังการทดลองที่ 3.1.4	47
3.5	แสดงผังการทดลองที่ 3.1.6	49
3.6	แสดงผังการทดลองที่ 3.1.7	50
3.7	แสดงส่วนประกอบของเครื่อง XRD รุ่น DX501 ของบริษัท Seimens	51
3.8	แสดงส่วนควบคุมหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	52
3.9	แสดงส่วนควบคุมหัววัดรังสีเอ็กซ์	52
3.10	แสดงกลไกควบคุมระบบการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ผ่านสารตัวอย่าง	53
3.11	แสดง Goinometer ในเครื่อง XRD รุ่น DX501	54
3.12	แสดงกล่องใส่ไดอะแฟรมและแท่นวางหัววัดรังสีเอ็กซ์ที่ติดตั้งบนเครื่อง XRD รุ่น DX501	55
3.13	แสดงช่องในสารตัวอย่างที่ติดตั้งบนเครื่อง XRD รุ่น DX501	55
3.14	แสดงภาพของหัววัดรังสีเอ็กซ์	56
4.1	แสดงผลการตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อผ่านผลึกไมกาชนิดใส	61
4.2	แสดงผลการตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อผ่านผลึกไมกาชนิดขุ่น	62
4.3	แสดงผลการตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อผ่านผลึกซิลิกอน	62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

4.4	แสดงผลการตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ผ่านแผ่นทองคำ	63
4.5	แสดงผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของผลึกไมกาชนิดใสกับสเปกตรัมจำลองที่สร้างขึ้น	63
4.6	แสดงผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของผลึกไมกาชนิดขุ่นกับสเปกตรัมจำลองที่สร้างขึ้น	64
4.7	แสดงผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของผลึกซิลิกอนกับสเปกตรัมจำลองที่สร้างขึ้น	64
4.8	แสดงผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของแผ่นทองคำกับสเปกตรัมจำลองที่สร้างขึ้น	65
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่วัดได้กับค่ากระแสที่ให้แก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	67
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดใสที่มุม26.5° กับค่ากระแสที่ให้แก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	68
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านผลึกไมกาชนิดขุ่นที่มุม26.5° กับค่ากระแสที่ให้แก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	70
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านผลึกซิลิกอนที่มุม 28.3° กับค่ากระแสที่ให้แก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	71
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนผ่านแผ่นทองคำที่มุม 44.2° กับค่ากระแสที่ให้แก่หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	73
4.14	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ Cu	76
4.15	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ C	76
4.16	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ Al_2O_3	77
4.17	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ Bi_2O_3	77
4.18	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ LiF	78

4.19	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Cuโดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี	79
4.20	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Cโดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี	80
4.21	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Al_2O_3โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี	80
4.22	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Bi_2O_3โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี	80
4.23	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร LiF โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี	81
4.24	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Cu โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี	81
4.25	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Cโดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี	82
4.26	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Al_2O_3 โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี	82
4.27	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Bi_2O_3 โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี	83
4.28	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร LiF โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี	83
4.29	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Cu โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	84

4.30	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร C โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	84
4.31	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Al_2O_3 โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	85
4.32	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Bi_2O_3 โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสีโดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	85
4.33	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร LiF โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดใสเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	86
4.34	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Cu โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	86
4.35	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร C โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	87
4.36	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Al_2O_3 โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	87
4.37	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร Bi_2O_3 โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	88

4.38	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร LiF โดยใช้ชุดอุปกรณ์กรองรังสีซึ่งใช้ผลึกไมกาชนิดขุ่นเป็นตัวกรองรังสี โดยให้กระแสต่อหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ 20 มิลลิแอมแปร์	88
5.1	แสดงผังจำลองการกรองรังสีโดยอาศัยการเลี้ยวเบนผ่านผลึกที่โค้งงอ	100

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University