

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	8
2.1 อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกระสุนกับอะตอม.....	8
2.1.1 Inelastic coulomb scattering	8
2.1.1.1 Stopping power.....	9
2.1.1.2 Energy straggling.....	15
2.1.1.3 Range	16
2.1.2 Elastic coulomb scattering.....	19
2.1.2.1 Kinematic factor (K).....	19
2.1.2.2 Differential scattering cross section	23
2.2 อำนาจการจำแนกของระบบการวัด	32
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	37
3.1 การเล็งแนวมุมด้วยเลเซอร์	37
3.1.1 การวัดมุม scattering chamber เบื้องต้น	38
3.1.2 การติดตั้ง scattering chamber ณ ตำแหน่งจริง	39
3.2 การเล็งแนวมุมด้วยลำอนุภาคควิที่รอน	44
3.2.1 การปรับแต่งลำอนุภาค	44
3.2.2 การกำหนดตำแหน่งรูของ beam collimator	45
3.3 การออกแบบตัวจับวัสดุตัวอย่าง	47
3.4 ระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเทคนิค TOF-RBS	47

3.1 Intrinsic timing resolution ของระบบอิเล็กทรอนิกส์	48
3.2 วิธีการทดลอง	50
3.3 หัววัด Micro-channel Plat (MCP).....	53
3.3.1 ลักษณะและกระบวนการผลิตหัววัด MCP.....	53
3.3.2 หลักการทำงานของหัววัด MCP	55
3.3.2.1 หัววัดที่เกี่ยวข้อง	57
3.7.3 การทดสอบหัววัด MCP.....	62
บทที่ 4 การจำลอง RBS ด้วยคอมพิวเตอร์	65
4.1 โปรแกรม SIMNRA	66
4.2 การใช้โปรแกรม SIMNRA	68
4.2.1 การคำนวณสเปกตรัมเชิงพลังงาน	68
4.2.2 การจำลองสเปกตรัม	73
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	77
5.1 การประเมินค่าต่างๆของระบบ TOF-RBS	77
5.1.1 การประเมินค่า timing offset ของระบบ	77
5.1.1 Timing offset จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสายสัญญาณ.....	77
5.1.2 Timing offset ที่เกิดจากส่วนของการประมวลผล	78
5.1.2 การประเมินค่า pulse width ของหัววัดที่รอน.....	80
5.2 การวิเคราะห์สเปกตรัม.....	83
5.2.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงพลังงาน	86
5.2.2 อำนาจการจำแนกเชิงมวลของระบบ	91
บทที่ 6 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ	94
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก ก1 การอินทิเกรต	98
ภาคผนวก ก2 การ transform มุมกระเจิงจาก CM system ไปยัง LAB system.....	99
ภาคผนวก ข การถ่ายเทโมเมนตัม	103
ภาคผนวก ค1 โปรแกรมสำหรับการคำนวณ kinematic factor.....	105
ภาคผนวก ค2 โปรแกรมสำหรับการคำนวณ differential scattering cross section	108
ภาคผนวก ง การเตรียมฉากเรืองแสงจากผง phosphor	111
ภาคผนวก จ ตัวอย่าง input data ของโปรแกรม SIMNRA	112

ภาคผนวก ฉ โปรแกรมสำหรับการเปลี่ยนสเปกตรัมไปเป็นสเปกตรัมเชิงพลังงาน	113
ประวัติผู้เขียน	116

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่า electronic stopping power ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม SRIM.....	19
2.2 แสดงเงื่อนไขของค่าอำนาจการจำแนกเชิงมวลของระบบ เมื่อหัววัดที่ใช้ในการทดลองเป็นหัววัด SSB.....	34
3.1 รวบรวมรายชื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลายที่ใช้ในงานวิจัย.....	50
3.2 แสดงรายละเอียดของหัววัด MCP รุ่น F4655-10 ของบริษัทHamamatsu.....	58
4.1 แสดงตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจำลองสเปกตรัมของ RBS	65
ค1 แสดงค่า kinematic factor ของเป้าชนิดต่างๆ ที่มุมกระเจิง 149 องศา.....	107
ค2 แสดงค่า differential scattering cross section ของอนุภาคดิวเทรียมพลังงาน 140 keV ที่มุมกระเจิง 149 องศา	110

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุสำหรับกระสุน (อนุภาคหรือไอออน) หลายชนิดที่ระดับพลังงานเริ่มต้นค่าต่างๆ	1
1.2 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ดินบนดวงจันทร์โดยใช้เครื่องกำเนิดรังสีอัลฟา 6 ตัว ฉายลงบนผิวดวงจันทร์บริเวณ 78 ตร.ซม. ส่วนหัววัดอนุภาคอัลฟามี 2 ตัว	2
1.3 ภาพของยานสำรวจ Surveyor 5 ที่ขึ้นไปสำรวจผิวดวงจันทร์ในปี 1967	3
1.4 แสดงรูปแบบมาตรฐานของเทคนิค RBS ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน	4
1.5 แสดงสเปกตรัมเชิงพลังงานของอนุภาคอัลฟาที่กระเจิงย้อนกลับหลังจากชนวัสดุตัวอย่างที่ประกอบด้วย $Al_2O_3(Ar)$, $NiFe$ และ $Al_2O_3(Ar)$ ที่เคลือบบนคาร์บอน	5
1.6 แสดงรูปแบบการทดลองของ Mendenhall และ Weller [1990].....	6
2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง E_c และ E_n กับพลังงานจลน์เริ่มต้นของอนุภาคกระสุน E_0	10
2.2 แสดงแนวแรงที่อนุภาคกระสุนกระทำกับอิเล็กตรอนขณะเคลื่อนจาก $x = -\infty$ แล้ววิ่งเข้ามา จนผ่านไปถึง $x = \infty$	11
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของพลังงานของลำอนุภาคกระสุนที่เคลื่อนเข้าไปในวัสดุตัวอย่างด้วยระยะ x และพลังงาน E	16
2.4 แผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคกระสุนในตัวกลาง	17
2.5 การทดลองวัดจำนวนอนุภาคกระสุน หลังจากผ่านตัวกลาง ที่มีความหนา t ต่างๆ (I) เทียบกับเมื่อไม่มีตัวกลาง (I_0)	18
2.6 แสดงการชนแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ระหว่างอนุภาค m และ M ในกรอบอ้างอิง LAB ...	20
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K กับมุม θ และ $1/x$	22
2.8 แผนภาพแสดงการกระเจิงของอนุภาค m ที่วิ่งเข้าหาเป้าในย่าน b ถึง $b+db$ แล้วถูกกระเจิงไปยังมุม θ ถึง $\theta + d\theta$ เนื่องจาก repulsive force	24
2.9 การเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล μ ในสนาม repulsive force	25
2.10 แสดงความสัมพันธ์ของมุมกระเจิงใน relative system กับ CM system และ LAB system	31

3.1	แสดงลักษณะทั่วไปของ scattering chamber	37
3.2	แสดงแบบของตัวจับวัสดุที่ใช้ในการวัดมุม scattering chamber	38
3.3	แผนภาพการติดตั้ง scattering chamber บนแนว빔และจุดติดตั้งเลเซอร์	40
3.4	แสดงการติดตั้งเลเซอร์เพื่อใช้เป็นแนวอ้างอิง	41
3.5	แสดงจุดตกของเลเซอร์บนปลาย drift tube	41
3.6	แสดงจุดตกของเลเซอร์บน gate valve	42
3.7	แสดงจุดตกของเลเซอร์บน gate valve หลังจากผ่าน slit 2 ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร	43
3.8	แสดงการออกแบบสลิต 1 ณ ตำแหน่งก่อนเข้า drift tube	43
3.9	แสดงลักษณะของ collimator ที่ทำจากอลูมิเนียม	45
3.10	แสดง scattering chamber ของระบบ TOF-RBS เมื่อใช้อนุภาคกระสุน เป็นพัลส์ตัวที่ร่อนพลังงาน 140 keV	46
3.11	แสดงแบบของตัวจับวัสดุ	49
3.12	แสดงแผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของการทดลอง TOF-RBS	52
3.13	แสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ TOF-RBS	52
3.14	ลักษณะของหัววัด MCP แบบวงกลม	53
3.15	แสดงรายละเอียดของหัววัด MCP โดย V_b คือ ความต่างศักย์ค่าสูง ที่ต้องจ่ายให้กับหัววัด เพื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในช่อง channel ทั้งหมด	54
3.16	แสดงหลักการเกิดและทวีคูณจำนวนอิเล็กตรอนทุติยภูมิใน channel	56
3.17	แสดงค่า gain ของหัววัด MCP เมื่อ α ที่แตกต่างกัน 4 ค่า	57
3.18	หัววัด MCP รุ่น F4655-10 (ก) แผนภาพทางด้านข้าง (ข) แผนภาพทางด้านหน้า (ค) ภาพถ่ายในลักษณะที่พร้อมจะติดตั้งกับ detector housing และ (ง)แสดงลักษณะการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับหัววัด MCP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (จ) แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของหัววัด MCP.....	59
3.19	แสดงชุดทดสอบหัววัด MCP	62
3.20	แสดงสัญญาณที่ออกจากขั้วแอโนดที่ต่อโดยตรงกับออสซิลโลสโคป ผ่านทางสาย 50 โอห์ม	63
3.21	แสดงลักษณะสัญญาณที่ออกจาก fast amplifier รุ่น C5594 ของบริษัท Hamamatsu	63
3.22	แสดงลักษณะสัญญาณที่ออกจากหัววัด MCP เมื่อจ่ายความต่างศักย์ค่าสูง	

เท่ากับ -2.0 kV	64
4.1 แสดงค่า correction factor สำหรับการคำนวณ differential scattering cross section ที่มุม θ ต่างที่เป็นไปตามทฤษฎีของ L'Ecuyer	67
4.2 แสดงมุมที่อนุภาคกระสุนตกกระทบ α และสะท้อนด้วยมุม β จากผิวเป้า และกระเจิงด้วยมุม θ จากแนวที่กระสุนตกกระทบ	69
4.3 แสดงส่วนของ setup menu	70
4.4 แสดงลักษณะของเป้าที่ถูกสร้างใน input data ของ โปรแกรม SIMNRA	71
4.5 แสดงการสร้างเป้า	72
4.6 แสดงการคำนวณสเปกตรัมจาก calculate menu.....	72
4.7 แสดงส่วนของ calculate menu	73
4.8 แสดงส่วนของ target summary ใน target menu	75
4.9 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการคำนวณด้วย โปรแกรม SIMNRA.....	75
5.1 แสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการประเมินค่า offset ของอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์และสายสัญญาณ	78
5.2 แสดงวงจรสำหรับการประเมินค่า timing offset ที่เกิดจากส่วนของการ ประมวลผล.....	79
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาห่างระหว่างสัญญาณ start และ stop กับ channel number บน MCA	79
5.4 แสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบ TOFที่สองเพื่อใช้ในการทดลอง หาค่า pulse width ของห้วงคิวทிரอน	81
5.5 แสดงสเปกตรัมของห้วงคิวทிரอนที่กระเจิงย้อนกลับหลังจากชนกับวัสดุ ตัวอย่างที่เป็น Au/Si ที่มีฟิล์มทองคำเคลือบบาง และหนา และที่เป็น Cu-Au/Si	85
5.6 แสดงสเปกตรัมเชิงพลังงานของห้วงคิวทிரอนที่กระเจิงย้อนกลับหลังจากชนกับ วัสดุตัวอย่างที่เป็น Au/Si ที่มีฟิล์มทองคำเคลือบบาง และหนา และที่เป็น Cu-Au/Si	87
5.7 แสดงภาพถ่ายของผิววัสดุ Cu-Au/Si และ Au/Si(thin) โดยเทคนิค AFM	89
5.8 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการ simulate ด้วย โปรแกรม SIMNRA ของอนุภาคคิวทிரอนพลังงาน 140 keV	92
5.9 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการ simulate ด้วย โปรแกรม SIMNRA ของอนุภาคอัลฟาพลังงาน 280 keV	93