สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของคอรันดัม	3
2.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของคอรันดัม	3
2.1.2 โครงสร้างผลึกของคอรันดัม	4
2.2 อันตรกิริยาระหว่างแสงกับวัสดุ	6
2.2.1 ทฤษฎีสนามผลึก	9
2.2.2 โครเมียมและการเกิดสีในทับทิม	12
2.3 ทัศนศาสตร์ของผลึก	14
2.4 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับวัสดุ	17
2.4.1 การสูญเสียพลังงานของไอออน	18
2.4.2 Stopping cross section	19
2.4.3 ความไร้ระเบียบของผลึกเนื่องจากการฝังไอออน	21
2.5 การแพร่ของอะตอมในของแข็ง	24
2.5.1 การแพร่ในสถานะคงตัว	26
2.5.2 การแพร่ในสถานะไม่คงตัว	26
2.5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสัมประสิทธิ์การแพร่	28
2.6 การศึกษาเกี่ยวกับการฝังไอออนบนอะลูมิเนียมออกไซด์	29
บทที่ 3 การทดลอง	34
3.1 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	34
3.1.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	34
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	34

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 การถ่ายภาพอะลูมิเนียมออกไซด์ 34
3.3 การวัดดัชนีหักเห 35
3.4 การวัดการดูดกลืนแสง 36
3.5 การฝังไอออนของอาร์กอนและออกซิเจน 39
3.6 การคำนวณโดสจากการฝังไอออน 41
3.7 การใช้โปรแกรม Profile คำนวณการฝังไอออนของอาร์กอนและออกซิเจน ในอะลูมิเนียมออกไซด์ 43
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 50
4.1 ลักษณะอะลูมิเนียมออกไซด์หลังฝังอาร์กอนไอออน 50
4.1.1 การฝังอาร์กอนไอออนในทับทิมสังเคราะห์ 50
4.1.2 การฝังอาร์กอนไอออนในแซฟไฟร์สังเคราะห์ 50
4.2 ลักษณะอะลูมิเนียมออกไซด์หลังฝังออกซิเจนไอออน 50
4.2.1 การฝังออกซิเจนไอออนในทับทิมสังเคราะห์ 50
4.2.2 การฝังออกซิเจนไอออนในแซฟไฟร์สังเคราะห์ 50
4.3 การวัดดัชนีหักเห 51
4.4 การวัดการดูดกลืนแสงก่อนและหลังฝังไอออน 53
4.4.1 การวัดการดูดกลืนแสงก่อนและหลังฝังไอออนในทับทิมสังเคราะห์ 53
4.4.2 การวัดการดูดกลืนแสงก่อนและหลังฝังไอออนในแซฟไฟร์สังเคราะห์ 55
4.5 การดูดกลืนแสงหลังฝังไอออนและหลังอบในทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์ 58
4.5.1 การดูดกลืนแสงหลังฝังอาร์กอนไอออนและหลังอบ ในทับทิมสังเคราะห์ 58
4.5.2 การดูดกลืนแสงหลังฝังอาร์กอนไอออนและหลังอบ ในแซฟไฟร์สังเคราะห์ 62
4.5.3 การดูดกลืนแสงหลังฝังออกซิเจนไอออนและหลังอบ ในทับทิมสังเคราะห์ 66
4.5.4 การดูดกลืนแสงหลังฝังออกซิเจนไอออนและหลังอบ ในแซฟไฟร์สังเคราะห์ 70
4.6 ผลการวิเคราะห์โดสด้วย Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS) 74
4.7 การตรวจสอบพื้นผิวตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 76

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.7.1 ลักษณะพื้นผิวจากการฝังอาร์กอนไอออนในทับทิม
และไพลินสังเคราะห์ 75
4.7.2 ลักษณะพื้นผิวจากการฝังออกซิเจนไอออนในทับทิม
และแซฟไฟร์สังเคราะห์ 76
4.8 อภิปรายผลการทดลอง 79
บทที่ 5 สรุปผล 81
5.1 สรุปผลการทดลอง 80

เอกสารอ้างอิง 82
ภาคผนวก ก 85
ประวัติผู้เขียน 86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คลื่นแสงที่ถูกสารดูดกลืนและสีที่มองเห็น	8
2.2 ค่า Q และ D_0 ของอะตอมที่เป็นตัวถูกละลายในของแข็งบางชนิด	28
2.3 ตำหนิในช่องว่างของออกซิเจนในอะลูมิเนียมออกไซด์และตำแหน่งการดูดกลืนแสงของตำหนิ	30
3.1 โดสของ Ar^+ และ O^+ ที่ฝังในทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์	40
4.1 ดัชนีหักเหของทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์ ก่อนฝังไอออน หลังฝังอาร์กอนและหลังอบที่ 800 °ซ เวลา 1 ชั่วโมง	52
4.2 ดัชนีหักเหของทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์ ก่อนฝังไอออน หลังฝังออกซิเจนไอออนและหลังอบที่ 800 °ซ เวลา 1 ชั่วโมง	52
4.3 เปรียบเทียบโดสที่ได้จากการวัดกระแสขณะฝังไอออน โดสจาก Profile code และโดสจากการวัดเทคนิค RBS	74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างของคอรันดัม ภาพบนแสงเป็นโครงสร้างที่มองตรงตามแนวแกน c ภาพล่างแสดงทิศทางตั้งฉากกับแกน c รูปขวาแสดงรูป 3 มิติ	4
2.2	(a) และ (b) แสดง distorted octahedral ของลิแกนด์ออกซิเจนรอบอะลูมิเนียมไอออน (c) ทรงเหลี่ยมแปดหน้าแบบสมมาตรปกติ	5
2.3	สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็น	6
2.4	อันตรกิริยาของแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านวัสดุโปร่งแสง	7
2.5	รูปร่างและทิศทางของ d-ออร์บิตอล	9
2.6	การเรียงลิแกนด์ทั้งหกรอบไอออนของโลหะเมื่อเกิดเป็น octahedral complex	10
2.7	ระดับพลังงาน 3d-ออร์บิตอล ของโลหะทรานซิชัน (a) ไอออนอิสระ (b) ไอออนในสภาวะ ที่ถูกล้อมรอบด้วยปะจุลบ (c) ไอออนของโลหะทรานซิชันที่อยู่ใน octahedral field ของแอนไอออน (d) การแยกพลังงานเนื่องจากสนามผลึก	11
2.8	(a) การเรียงตัวของอิเล็กตรอนในอะตอมโครเมียม (b) การเรียงตัวของอิเล็กตรอนในโครเมียมไอออน	12
2.9	ระดับพลังงานของโครเมียมเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมต่างกัน	13
2.10	(a) เครื่องแสดงลักษณะแกนแสงเดี่ยวชนิดบวก (b) เครื่องแสดงลักษณะแกนแสงเดี่ยวชนิดลบ	15
2.11	(a) ภาคตัดหลักแสดงผิวความเร็วของคลื่นแสงในทิศทางรังสีของผลึกแกนแสงเดี่ยวชนิดบวก (b) ภาคตัดหลักซึ่งแสดงผิวความเร็วของคลื่นแสงในทิศทางรังสีของผลึกแกนแสงเดี่ยวชนิดลบ	16
2.12	อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง	17
2.13	ความเร็วของไอออนที่มีผลต่อ nuclear stopping แล electronic stopping	18
2.14	การชนแบบยืดหยุ่นของอะตอมที่เคลื่อนเข้าชนกับอะตอมของเป้า	19
2.15	อันตรกิริยาของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมของไอออนและอะตอมของเป้า	20
2.16	stopping power ของ Ge^{+} ในซิลิกอนอสัณฐาน	20
2.17	total path length และ project range ของไอออนในวัสดุ	21
2.18	ความไร้ระเบียบของแลตทิซในวัสดุที่เป็นเป้า	22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.19	(บน) โครงสร้างผลึกของซิลิกอนในทิศทาง <110>(ล่าง) ที่มุม 10 องศาจากทิศทาง <110>	23
2.20	(a) การแพร่แบบช่องว่างหรือแบบแทนที่ (b) การแพร่แบบแทรกที่	25
2.21	พลังงานก่อกัมมันต์ของการแพร่แบบแทนที่และแบบแทรกที่	25
2.22	การแพร่ของอะตอมเข้าสู่ภายในผิววัสดุ	27
3.1	แสดงลักษณะตัวอย่างก่อนการฝังไอออน (ก) ทับทิมสังเคราะห์ (ข) แซฟไฟร์สังเคราะห์ กำลังขยาย 16 เท่า	35
3.2	(a) แสดงแผนภาพของเครื่องวัดดัชนีเห (b) ภาพที่มองเห็นผ่านเลนส์ตา	35
3.3	แผนภาพแสดงการติดตั้งระบบของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สำหรับวัดการดูดกลืนแสง	37
3.4	UV-VIS-NIR spectrophotometer รุ่น U-4100 ของบริษัท Hitachi	38
3.5	แผนภาพระบบทางแสงของเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer รุ่น U-4100 ของบริษัท Hitachi	39
3.6	แผนภาพของแวเรียนอิมพลานเตอร์ รุ่น 200-DF5	40
3.7	แผนภาพ faraday cup	42
3.8	ลักษณะ center faraday cup ของเครื่องแวเรียนอิมพลานเตอร์	42
3.9	ลักษณะของ main faraday cup และ center faraday cup	43
3.10	Profile ของ Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 5×10^{15} ไอออน/ซม^2	43
3.11	Profile ของ Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 1×10^{16} ไอออน/ซม^2	44
3.12	Profile ของ Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 5×10^{16} ไอออน/ซม^2	44
3.13	Profile ของ Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 1×10^{17} ไอออน/ซม^2	45
3.14	Profile ของ Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2	45
3.15	Profile ของ O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 5×10^{15} ไอออน/ซม^2	46
3.16	Profile ของ O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 1×10^{16} ไอออน/ซม^2	46
3.17	Profile ของ O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 1×10^{17} ไอออน/ซม^2	47
3.18	Profile ของ O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 5×10^{17} ไอออน/ซม^2	47
3.19	Profile ของ O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวท์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2	48
3.20	ความสัมพันธ์ระหว่างโดสจากการคำนวณและโดสจากโปรแกรม Profile เมื่อฝัง Ar^+ พลังงาน 60 keV บน Al_2O_3	48

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.21	ความสัมพันธ์ระหว่างโดสจากการคำนวณและโดสจากโปรแกรม Profile เมื่อฝัง O^+ พลังงาน 60 keV บน Al_2O_3	49
4.1	ลักษณะตัวอย่างหลังฝังไอออน (ก) ทับทิมสังเคราะห์ (ข) แซฟไฟร์สังเคราะห์	51
4.2	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์ก่อนการฝังไอออน	53
4.3	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์ ก่อนและหลังฝัง Ar^+ โดส $1x10^{16}$ ไอออน/ซม^2 เวลา 9.30 นาที	54
4.4	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์ ก่อนและหลังฝัง Ar^+ โดส $1x10^{17}$ไอออน/ซม^2 เวลา 1.38 ชั่วโมง	54
4.5	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์ ก่อนและหลังฝัง Ar^+ โดส $1x10^{18}$ ไอออน/ซม^2 เวลา 5.26 ชั่วโมง	55
4.6	การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ก่อนการฝังไอออน	56
4.7	การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ก่อนและหลังฝัง Ar^+ โดส $1x10^{16}$ ไอออน/ซม^2 เวลา 9.30 นาที	56
4.8	การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ก่อนและหลังฝัง Ar^+ โดส $1x10^{17}$ไอออน/ซม^2 เวลา 1.38 ชั่วโมง	57
4.9	การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ก่อนและหลังฝัง Ar^+ โดส $1x10^{18}$ ไอออน/ซม^2 เวลา 5.26 ชั่วโมง	57
4.10	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดสต่างๆ	58
4.11	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 5×10^{15} ไอออน/ซม^2 เวลา 30 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง	59
4.12	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{16} ไอออน/ซม^2 เวลา 9.30 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง	59
4.13	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 5×10^{16} ไอออน/ซม^2 เวลา 26 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง	60
4.14	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{17} ไอออน/ซม^2 เวลา 1.38 ชั่วโมง และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง	60
4.15	การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2 เวลา 5.26 ชั่วโมง และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง	61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.16 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์ที่ฝังด้วย Ar^+ หลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 61
4.17 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดสต่างๆ 62
4.18 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดส 5×10^{15} ไอออน/ซม^2 เวลา 30 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 63
4.19 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดส 1×10^{16} ไอออน/ซม^2 เวลา 9.30 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 63
4.20 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดส 5×10^{16} ไอออน/ซม^2 เวลา 26 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 64
4.21 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดส 1×10^{17} ไอออน/ซม^2 เวลา 1.38 ชั่วโมงและหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 64
4.22 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2 เวลา 5.26 ชั่วโมงและหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 65
4.23 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ที่ฝังด้วย Ar^+ หลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 65
4.24 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดสต่างๆ 66
4.25 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 5×10^{15} ไอออน/ซม^2 เวลา 5 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 67
4.26 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{16} ไอออน/ซม^2 เวลา 18 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 67
4.27 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{17} ไอออน/ซม^2 เวลา 1.43 ชั่วโมงและหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 68
4.28 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 5×10^{17} ไอออน/ซม^2 เวลา 4.18 ชั่วโมงและหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 68
4.29 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2 เวลา 11.09 ชั่วโมง และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 69

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.30 การดูดกลืนแสงของทับทิมสังเคราะห์ที่ฝังด้วย O^+ หลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 69

4.31 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ ที่โดสต่างๆ 70

4.32 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 5×10^{15} ไอออน/ซม^2 เวลา 5 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 71

4.33 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{16} ไอออน/ซม^2 เวลา 18 นาที และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 71

4.34 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{17} ไอออน/ซม^2 เวลา 1.43 ชั่วโมงและหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 72

4.35 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 5×10^{17} ไอออน/ซม^2 เวลา 4.18 ชั่วโมง และหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 72

4.36 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์หลังฝัง O^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2 เวลา 11.09 ชั่วโมงและหลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 73

4.37 การดูดกลืนแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ที่ฝังด้วย O^+ หลังการอบที่ 800°ซ เวลา 1 ชั่วโมง 73

4.38 เปรียบเทียบโดสจาก Profile code และโดสบนทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์ จากการวัดด้วย RBS 75

4.39 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการฝัง Ar^+ บนทับทิม สังเคราะห์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2 (ก) กำลังขยาย 5000 เท่า (ข) กำลังขยาย 10000 เท่า 76

4.40 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการฝัง O^+ บนแซฟไฟร์ สังเคราะห์ที่กำลังขยาย 2000 เท่า (ก) 1×10^{17} ไอออน/ซม^2 (ข) 5×10^{17} ไอออน/ซม^2 77

4.41 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการฝัง Ar^+ บนแซฟไฟร์ สังเคราะห์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2 (ก) กำลังขยาย 2500 เท่า (ข) กำลังขยาย 10000 เท่า 77

4.42 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการฝัง O^+ บนทับทิมสังเคราะห์ โดส 5×10^{17} ไอออน/ซม^2 (ก) กำลังขยาย 3000 เท่า (ข) กำลังขยาย 6000 เท่า 78

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.43 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการฝัง O^+ บนทับทิมสังเคราะห์ ที่โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม^2 (ก) กำลังขยาย 2000 เท่า (ข) กำลังขยาย 10000 เท่า 78

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved