สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อ……(3)

Abstract……...(5)

กิตติกรรมประกาศ……...(7)

สารบาญ……...……(8)

รายการตาราง……...……...……(10)

รายการภาพประกอบ……..……...……...(11)

ตัวย่อและสัญลักษณ์...……..……...……(15)

บทที่

1 บทนำ……..……1

บทนำต้นเรื่อง……..……. 1

การตรวจเอกสาร……..……3

วัตถุประสงค์……..……..……..8

2 ทฤษฎี……...……..9

ไซมอกซ์……..……9

ทฤษฎีจุลทรรศน์อิเล็กตรอน…...……..……15

ทฤษฎีตัวเก็บประจุมอส……...……..……28

3 วัสดุและวิธีการวิจัย……...……39

วัสดุ……...……..……...40

อุปกรณ์……..……...41

วิธีการดำเนินการ…..……....50

4 ผลและการอภิปรายผล…..……..50

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด……...……54

ภาพถ่ายจากจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน……...……...62

การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า……..……...……70

5 บทสรุป……...……...……70

สรุปผลการทดลอง……..……70

ข้อเสนอแนะ……...71

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

งานวิจัยต่อเนื่อง……...……72
บรรณานุกรม……73
ภาคผนวก……..76
ภาคผนวก (ก) ภาพถ่ายดิฟเฟรกชันของซิลิกอนและการคำนวณหาระนาบ…….76
ภาคผนวก (ข) รูปแบบของแลตทิซส่วนกลับ……...78
ภาคผนวก (ค) การคำนวณในการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้า……..……..……80
ประวัติผู้เขียน...…….……83

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 แสดงตัวแปรทางคุณภาพของ SIMOX ……14

3.1 แสดงอุณหภูมิและเวลาในการกัดชั้นซิลิกอน……..……...57

4.1 แสดงสีของตัวอย่างภายหลังการกัดชั้นซิลิกอนออกที่อุณหภูมิ 34-36 ^{o}C……64

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ภาพถ่ายดิฟเฟรกชันของซิลิกอนที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านที่ 200 kV ความยาวของกล้อง 80 เซนติเมตร	76
2 แสดงการลากเส้นเพื่อหาจุดดิฟเฟรกชัน	76
3 โครงผลึกลูกบาศก์แบบเฟสเซนเตอร์ (face-center cubic : fcc)	78
4 โครงผลึกลูกบาศก์แบบบอดีเซนเตอร์ (body-center cubic : bcc)	79
1.1 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของความบกพร่องแบบซิกเซกของระนาบ $\{113\}$ ที่เกิดขึ้นบริเวณ ด้านล่างของชั้นออกไซด์ที่ฝังไอออน	4
1.2 ไซมอกซ์ที่ฝังออกซิเจน 1.8×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร 180 keV ที่อุณหภูมิ ก) 550°C ข) 700°C	5
1.3 ไซมอกซ์ที่ผ่านการอบใความร้อนที่ 1300°C หลังจากฝังออกซิเจน 1.8×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร 180 keV ที่อุณหภูมิ ก) 550°C ข) 700°C	5
2.1 แสดงโครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจาก (ก) แผ่นผลึกเดี่ยวซิลิกอน (ข) แผ่นฐานซิลิกอนบนฉนวน	10
2.2 แสดงส่วนประกอบภายในของเครื่องมือฝังไอออน 1 : เป้า, 2 : กล่องเลนส์และตัวกวาดไอออน, 3 : ท่อเร่งไอออน, 4 : ช่องบังคับไอออน, 5 : แม่เหล็กแยกมวลแบบวิเคราะห์, 6 : ลำไอออน, 7 : แหล่งกำเนิดไอออน ,8 : แหล่งจ่าย กำลังไฟฟ้าให้แก่แหล่งกำเนิดไอออน, 9 : แหล่งก๊าซ, 10 : อิเล็กโทรดสกัดลำไอออน	13
2.3 แสดงกระบวนการสร้างและโครงสร้างของไซมอกซ์	14
2.4 แสดงขีดจำกัดของการแยก ($d_{\min}$) และขนาดของอเพอร์เจอ (α_{opt}) สำหรับเลนซ์ที่มีความคลาดทรงกลม	18
2.5 แผนภาพแสดงส่วนประกอบภายในต่าง ๆ ของกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิด-ส่องผ่าน	20
2.6 ตัวอย่างภาพที่ถ่ายด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (ก) กำลังขยายแยกแยะสูงที่ถ่ายด้วยกลไกเฟสคอนทราสต์กำลังแยกแยะสูง (ข) ภาพขยายที่ถ่ายด้วยกลไกดิฟเฟรกชันคอนทาสต์ของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (ค) ภาพดิฟเฟรกชันของฟูเลอร์ไรท์ (fullerite : C_{60})	21
2.7 แสดงภาพการเกิดการเลี้ยวเบนอย่างง่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน	24

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.8 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟกำลังขยายสูงของผลึกแกลเลียมไนไตรด์ (GaN)	24
2.9 แสดงความบกพร่องแบบขอบแกรนมุมต่ำ (ก) ขอบเอียงเนื่องจากมีแนวบกพร่องขอบมากกว่า 1 แนว (ข) ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของโมลิบดินัม (molybdenum)	25
2.10 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านของบริเวณชั้นซิลิกอนด้านบนของตัวอย่าง ไซมอกซ์ แสดงความบกพร่องแบบการเข้ากลุ่มผิดพลาด I: อินทรินสิค E: เอกทรินสิค	26
2.11 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญและหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	27
2.12 แสดงโครงสร้างตัวเก็บประจุมอส	28
2.13 แสดงระดับพลังงานของตัวเก็บประจุมอสชนิดพี ในอุดมคติ E_C คือ แถบนำ (conduction band) ของสารกึ่งตัวนำ E_V คือ แถบวาเลนซ์ (valence band) ของสารกึ่งตัวนำ E_i คือ ระดับเฟร์มี [5] (fermi lever) ของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ E_{FS} คือ ระดับเฟร์มีของสารกึ่งตัวนำ E_{Fm} คือ ระดับเฟมีร์ของโลหะ	29
2.14 แสดงระดับพลังงานของตัวเก็บประจุมอสอุดมคติ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้า (ก) ลบ (ข) บวก (ค) ขีดเริ่ม	30
2.15 แสดงลักษณะตัวเก็บประจุมอสใน (ก) สภาวะการสะสม (ข) สภาวะการปลอดพาหะ (ค) สภาวะการผันกลับ	32
2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานของซิลิกอนชนิดเอ็นและชนิดพีกับความเข้มข้นสารเจือ	34
2.17 แสดงกราฟความจุไฟฟ้า-แรงดัน ของตัวเก็บประจุมอสอุดมคติ	34
2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของฟังก์ชันงานของอะลูมิเนียมและซิลิกอนกับ ความเข้มข้นสารเจือปนของซิลิกอนชนิดเอ็นและชนิดพี	36
2.19 ระดับพลังงานของตัวเก็บประจุมอสที่มีการโค้งงอเนื่องจากความแตกต่างของฟังก์ชันงาน	36
2.20 แสดงประจุในชั้นออกไซด์และที่รอยต่อระหว่างชั้นออกไซด์และชั้นซิลิกอนในตัวเก็บประจุมอสจริง ๆ	37
2.21 แสดงสภาวะแบบราบของตัวเก็บประจุมอสในความเป็นจริง	38

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.22 แสดงผลของความแตกต่างของฟังก์ชันงานและการมีประจุที่รอยต่อผิวต่อกราฟความจุไฟฟ้า-แรงดัน	38
3.1 แสดงภาพลักษณะการวางตัวอย่างในการตัดตัวอย่างด้วยเครื่องตัดอัลตราโซนิก	42
3.2 แสดงการทำชั้นตัวอย่าง	43
3.3 แสดงการกดชั้นตัวอย่าง	43
3.4 แสดงการวางตัวอย่างเพื่อตัดตัวอย่างเป็นรูปทรงกระบอก	44
3.5 แสดงการป้องกันตัวอย่างด้วยท่อโลหะ	44
3.6 แสดงภาพตัวอย่างที่ตัดเป็นแผ่นบางขนาด 250 – 400 ไมโครเมตร	45
3.7 ลักษณะตัวอย่างที่บางน้อยกว่า 5 ไมโครเมตร หลังการขัดด้วยเครื่องขัดว้าว	46
3.8 แสดงรูปแบบการต่อเครื่องวัดกับตัวอย่างตัวเก็บประจุมอสเพื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าแรงดัน	48
4.1 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของตัวอย่างซิลิกอนที่ตัดด้วยปากกาเพชรโดยการกรีดที่ผิวด้านบน (ก) ตัวอย่างทั้งหมด (ข) ขยายบริเวณด้านบน	51
4.2 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของตัวอย่างซิลิกอนที่ตัดโดยปากกาเพชรโดยการกรีดที่ผิวด้านบน (บริเวณด้านบนของภาพเป็นบริเวณด้านล่างของตัวอย่าง)	51
4.3 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของตัวอย่างซิลิกอนที่ตัดด้วยเครื่องตัดอัลตราโซนิก (ก) ตัวอย่างทั้งหมด (ข) ขยายบริเวณด้านบน (วางตัวอย่างลักษณะเดียวกับภาพประกอบ 4.1) (ค) ขยายบริเวณด้านบน (วางตัวอย่างในแนวตั้งฉาก)	52
4.4 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของตัวอย่างซิลิกอนที่กัดด้วยสารละลายไฮโดรฟลูโอริก (ก) ตัวอย่างทั้งหมด (ข) ขยายบริเวณด้านบน (วางตัวอย่าง ลักษณะเดียวกับภาพประกอบ 4.1)	53
4.5 แสดงแสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของตัวอย่างซิลิกอนที่กัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกโซด์	54
4.6 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านของผลึกเดี่ยวซิลิกอน (กำลังขยาย 2.5×10^4 เท่า)	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.7 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านของไซมอกซ์ที่อบให้ความร้อนโดยไม่มีชั้นป้องกันผิวที่ฝังไอออนออกซิเจนปริมาณ ก) 3×10^{17} ข) 3.5×10^{17} ค) 4×10^{17} ง) 7×10^{17} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร (กำลังขยาย 1.6×10^{5} เท่า)	56
4.8 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านของไซมอกซ์ ที่อบให้ความร้อนโดยมีชั้นป้องกันผิว ที่ฝังไอออนออกซิเจนปริมาณ ก) 3×10^{17} ข) 3.5×10^{17} ค) 4×10^{17} ง) 7×10^{17} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร	57
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฝังไอออนออกซิเจนกับความหนาของชั้นซิลิกอนและชั้น BOX	58
4.10 ไดอะแกรมแสดงการเกิดชั้นออกไซด์บริเวณผิวหน้าซิลิกอน ก) ตัวอย่างที่ไม่มีชั้นป้องกันผิว ข) ตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิว	59
4.11 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของตัวอย่างบริเวณผิวหน้าของไซมอกซ์ ที่ฝังออกซิเจน 4×10^{17} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร ก)ไม่มีชั้นป้องกันผิว ข) มีชั้นป้องกันผิว ระนาบ $\{110\}$ [1](กำลังขยาย 4.5×10^{6} เท่า)	61
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้า-แรงดันของ ตัวเก็บประจุมอสที่สร้างจากไซมอกซ์ ที่กัดชั้นซิลิกอนออก ที่อุณหภูมิ $30\pm1^{\circ}$ C (ก) ตัวอย่างที่ไม่มีชั้นป้องกันผิว (ข) ตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิว	63
4.13 แสดงภาพถ่ายไมโครกราฟตัวอย่างไซมอกซ์ ที่สร้างเป็นตัวเก็บประจุมอสของตัวอย่างที่ฝังปริมาณออกซิเจน 3×10^{17}ไอออนต่อตารางเซนติเมตร ที่มีชั้นป้องกันผิว (กำลังขยาย 1.6×10^{5} เท่า)	65
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและแรงดันของตัวเก็บประจุมอสตัวเก็บประจุมอสที่สร้างจากไซมอกซ์ ที่กัดชั้นซิลิกอนออก ที่อุณหภูมิ $35\pm1^{\circ}$ C (ก) ตัวอย่างที่ไม่มีชั้นป้องกันผิว (ข) ตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิว	66
4.15 แสดงกราฟความจุไฟฟ้า-แรงดันก่อนและหลังจากการใช้วงจรกรองกระแสรั่ว	67
4.16 แสดงการหาค่าแรงดันแถบราบของตัวอย่าง ไซมอกซ์ 3×10^{17} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร (ก) ไม่มีชั้นป้องกันผิว และ (ข) มีชั้นป้องกันผิว	68

ตัวย่อและสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ของขั้วโลหะ
c	=	ความเร็วแสง
C	=	ความจุไฟฟ้า
C_s	=	สัมประสิทธิ์ความคลาดทรงกลม
d_{hkl}	=	ระยะห่างระหว่างระนาบ
d_d , d_s	=	กำลังแยก
e	=	ค่าประจุอิเล็กตรอน
E	=	คือระดับพลังงานต่างๆ ของวัตถุ
h	=	ค่าคงที่ของแพรงค์
k	=	ค่าคงที่โบลต์แมน
L	=	ความยาวของลำกล้อง
m	=	มวล
M	=	กำลังขยายของเลนส์
n	=	ดัชนีหักเหของวัตถุ , ลำดับการเลี้ยวเบน
n_i	=	คือความเข้มข้นของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์
N_D	=	ความเข้มข้นสารเจือปน
p	=	ความเข้มข้นของโฮล
Q	=	ประจุไฟฟ้า
q	=	ประจุอิเล็กตรอน
v	=	ความเร็ว
V	=	แรงดันไฟฟ้า
T	=	อุณหภูมิ
R	=	ระยะจุดดิฟเฟรกชัน
W_d	=	ความหนาชั้นปลอดพาหะ
α	=	ครึ่งมุมกรวย, ขนาดอเพอร์เจอ
λ	=	ความยาวคลื่น
θ	=	มุมตกกระทบ
Φ	=	ฟังก์ชันงานของวัตถุ