

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ขนาดของพื้นที่รับแสง ขนาด i และพื้นที่ในส่วนอื่น.....	49
3.2 ขนาดของพื้นที่รับแสง p^+ (p^+ active area) ในส่วนที่ ส่วน i และส่วนอื่น.....	52
3.3 ขนาดต่างๆ ในส่วนพื้นที่รับแสง p^+ ชั้น i และชั้น n^+	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้าง p-i-n แบบพลาตาร์.....	3
1.2 โครงสร้าง p-i-n แบบพลาตาร์ ที่มีการ์ดริ่งระหว่างชั้น p^+ และ n^+	4
2.1 ลักษณะของแถบนำไฟฟ้าและแถบวาเลนซ์ในฟังก์ชันของเลขคลื่น k แบบช่องแถบตรง และ (ข) แบบช่องแถบไม่ตรง.....	6
2.2 กระบวนการการรวมตัวใหม่ระหว่างแถบนำไฟฟ้าและแถบวาเลนซ์ (ก) แบบช่องแถบตรง และ (ข) แบบช่องแถบไม่ตรง.....	9
2.3 ลักษณะของการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ.....	11
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและความยาวคลื่นแสง.....	12
2.5 การดูดกลืนแสงและการสะท้อนของพลังงานแสงที่ตกกระทบ.....	13
2.6 สเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ.....	14
2.7 สภาพการตอบสนองของตัวตรวจวัดแสงในอุดมคติและในช่วงใช้งาน.....	15
2.8 โฟโอดีไดโอด (ก) วงจรไบอัส และ (ข) โหมดการทำงาน.....	17
2.9 กระแสมืดที่เกิดขึ้นในโฟโอดีไดโอด ขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ.....	18
2.10 สเปกตรัมผลตอบสนองของพินโฟโอดีไดโอดที่ผลิตจากวัสดุชนิดต่างๆ.....	19
2.11 ลักษณะแถบพลังงานของพินโฟโอดีไดโอด.....	21
2.12 วงจรสมมูลของพินโฟโอดีไดโอด.....	22
2.13 ลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดัน ขณะที่ได้รับพลังงานแสงเพิ่มขึ้น.....	23
2.14 ภาพจำลองโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	28
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเนื้อผลึกซิลิคอน (q) กับขนาดของรูพูน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน.....	29
2.16 แผนภาพจำลองด้านบนของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆ.....	29
2.17 ประเภทของพอร์สซิลิคอนแบ่งตามลักษณะของรูพูน.....	30
(ก) ลักษณะหลุมตัน.....	30
(ข) ลักษณะถุง (ค) ลักษณะแตกกิ่งและเชื่อมถึงกัน.....	30
(ง) ลักษณะโพรงปิด.....	30
(จ) ลักษณะทะลุ.....	30
2.18 ประเภทของพอร์สซิลิคอนแบ่งตามรูปร่างของรูพูน.....	31
(ก) ทรงกระบอก	31

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
(ข) ทรงขวดหมึก(ค)ทรงกรวย	31
(ง) ทรงลูกบาศก์	31
(จ) ทรงสามเหลี่ยมหรือทรงพีระมิด.....	31
2.19 ประเภทของพอร์สซิลิคอนเมื่อแบ่งตามขนาดของรูพรุน.....	31
2.20 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ.....	32
2.21 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอน.....	34
2.22 แบบจำลองสถานะของระดับพลังงานทั้ง 3 ระดับภายในพอร์สซิลิคอนเพื่ออธิบาย คุณสมบัติโฟโวลูมิเนสเซนซ์.....	35
2.23 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดข้อมล และ ตัวอย่างของพอร์สซิลิคอนที่ได้จากการกัดแบบข้อมล.....	36
2.24 ลักษณะโครงสร้างของซิลิคอนโฟโวลูมิเนสเซนซ์ p-i-n แบบพลาสมา.....	40
2.25 ลักษณะแถบพลังงาน ขณะได้รับไบอัสย้อนกลับ.....	40
2.26 ลักษณะของโฟโวลูมิเนสเซนซ์ p-i-n แบบพลาสมาที่มีชั้นพอร์สซิลิคอนเป็นชั้นลดการ สะท้อนแสง.....	42
3.1 ลักษณะของ screen หน้าจอโปรแกรม CorelDraw.....	45
3.2 ลักษณะของ Dynamic Guides.....	46
3.3 ลักษณะของ Snap to Objects.....	46
3.4 โครงสร้าง p-i-n แบบพลาสมา รูปแบบที่หนึ่ง.....	48
3.5 ลวดลายต้นแบบลักษณะที่หนึ่ง.....	48
3.6 ลวดลายต้นแบบ ที่มีขนาดพื้นที่รับแสงต่างกัน 4 ค่า.....	49
3.7 ลวดลายต้นแบบ ที่มีขนาด i ต่างกัน 4 ค่า.....	49
3.8 โครงสร้าง p-i-n แบบพลาสมา รูปแบบที่สอง.....	50
3.9 ลวดลายต้นแบบลักษณะที่สอง.....	51
3.10 ลวดลายต้นแบบ ที่มีขนาดพื้นที่รับแสงต่างกัน.....	51
3.11 ลวดลายต้นแบบ ที่มีขนาด i ต่างกัน.....	52
3.12 ลวดลายต้นแบบ ที่มีขั้วไฟฟ้าของพื้นที่รับแสงต่างกัน.....	53
3.13 แสดงแบบลวดลายและภาพตัดขวางของ p-i-n แบบพลาสมา ที่มี p ⁺ - ring.....	54
3.14 ลวดลายต้นแบบ ที่มีระยะของ p ⁺ - ring ต่างกัน.....	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 แผ่นผลึกซิลิคอนที่ผ่านขั้นตอนการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	56
3.16 การแพร่อะตอมสารเจือชนิดฟอสฟอรัสของมาส์ค 1.....	56
3.17 การแพร่อะตอมสารเจือชนิดโบรอนของมาส์ค 2.....	56
3.18 การเปิดช่องข้อั้วสัมผัสของมาส์ค 3.....	57
3.19 การสร้างขั้วโลหะของมาส์ค 4.....	57
3.20 โฟโตไดโอดชนิด p-i-n แบบพลาเนอร์ ของลวดลายรูปแบบที่หนึ่ง	
ที่สร้างเสร็จบนแผ่น ผลึกซิลิคอน.....	57
(ก) ที่เวลาแพร่ 15 นาที.....	57
(ข) ที่เวลาแพร่ 25 นาที.....	57
(ค) ที่เวลาแพร่ 35 นาที.....	57
(ง) ที่เวลาแพร่ 45 นาที.....	57
3.21 การสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	58
3.22 การแพร่อะตอมสารเจือชนิดฟอสฟอรัสของมาส์ค 1.....	58
3.23 การแพร่อะตอมสารเจือชนิดโบรอนของมาส์ค 2.....	59
3.24 การเปิดช่องข้อั้วสัมผัสของมาส์ค 3.....	59
3.25 การสร้างขั้วโลหะของมาส์ค 4.....	59
3.26 การสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	59
3.27 การแพร่อะตอมสารเจือชนิดโบรอนของมาส์ค 1.....	60
3.28 การแพร่อะตอมสารเจือชนิดฟอสฟอรัสของมาส์ค 2.....	60
3.29 การเปิดช่องข้อั้วสัมผัสของมาส์ค 3.....	60
3.30 การสร้างขั้วโลหะของมาส์ค 4.....	60
3.31 การเปิดช่องข้อั้วสัมผัสและช่องสำหรับสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนของมาส์ค 3.....	61
3.32 การเคลือบอะลูมิเนียมสำหรับสร้างเป็นขั้วโลหะไฟฟ้า.....	61
3.33 การสร้างลวดลายขั้วโลหะของมาส์ค 4.....	62
3.34 โฟโตไดโอดที่ผ่านขั้นตอนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนของมาส์ค 5.....	62
3.35 โฟโตไดโอดชนิด p-i-n แบบพลาเนอร์ ของลวดลายรูปแบบที่สอง ที่สร้างเสร็จบนแผ่น	
ผลึกซิลิคอน.....	62
(ก) โฟโตไดโอดที่มีชั้นพอร์สซิลิคอนเป็นชั้นลดการสะท้อนแสง.....	62

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
(ข) และ (ค) ลักษณะของโฟโต้ไดโอดในรูปแบบต่างๆ ที่มีชั้นซิลิคอนไดออกไซด์เป็นชั้นลดการสะท้อนแสง.....	62
3.36 โฟโต้ไดโอดที่ติดตั้งลงบนตัวถังแบบกระป๋อง.....	63
(ก) กลุ่มของไดโอดที่ยังไม่มีชั้นเรซินป้องกันรอยขีดข่วนและความชื้น.....	63
(ข) กลุ่มของไดโอดที่มีชั้นเรซินเพื่อป้องกันการขีดข่วนและความชื้น.....	63
4.1 ลักษณะของอุปกรณ์ในการทดลองวัดลักษณะสมบัติของไดโอด.....	64
4.2 กราฟแสดงความลึกของรอยต่อ (x_j) ที่เวลา 45 นาที.....	65
(ก) แสดงค่าความต้านทาน (Resistance) ในเนื้อสารซิลิคอน.....	65
(ข) ความหนาแน่นของอะตอมสารเจือ.....	65
4.3 ลักษณะของกระแสแสงและความลึกของรอยต่อ $p^+ - i$ ขณะได้รับความเข้มแสงคงที่ 3000 lx พื้นที่รับแสง 1.2 mm^2	67
4.4 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เมื่อได้รับแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน.....	68
4.5 ลักษณะของกระแสและแรงดัน ขณะไม่ได้รับแสง.....	69
4.6 ลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสมีดและรอยต่อ $p^+ - i$	70
4.7 ลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสแสงและแรงดัน ไบอัส.....	70
4.8 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เมื่อได้รับแสงตกกระทบ.....	71
(ก) ความเข้มแสงน้อย.....	71
(ข) ความเข้มแสงมาก.....	71
4.9 ลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสแสงและพื้นที่ของรอยต่อ $p^+ - i$	72
4.10 ลักษณะการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ภายในพื้นที่บริเวณปลอดพาหะของรอยต่อ $p^+ - i$	73
(ก) พื้นที่ของรอยต่อ $p^+ - i$ น้อย.....	73
(ข) พื้นที่ของรอยต่อ $p^+ - i$ มาก.....	73
4.11 ลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้าและแรงดัน.....	73
4.12 ลักษณะความสัมพันธ์ของความจุไฟฟ้าและแรงดันย้อนกลับ.....	74
4.13 ลักษณะความสัมพันธ์ของความจุไฟฟ้าและพื้นที่รอยต่อ ที่แรงดันไบอัสค่าต่างๆ.....	74
4.14 ลักษณะของกระแสมีดและความกว้างของชั้น i	76
4.15 ลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสแสงและความกว้างของชั้น i	76
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างบริเวณปลอดพาหะและแรงดันไบอัสย้อนกลับ.....	77

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ลักษณะของบริเวณปลอดพาหะและบริเวณนิวทรัล.....	78
4.18 ลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสแสงและความเข้มแสงของโฟโตรีโอด.....	78
4.19 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ภายในบริเวณปลอดพาหะของรอยต่อ $p^+ - n^-$ และรอยต่อ $n^+ - n^-$	
(ก) ชั้นรับแสง p^+	79
(ข) ชั้นรับแสง n^+	79
4.20 ลักษณะของวงจรการทดลองการตอบสนองทางความถี่.....	80
4.21 ลักษณะการตอบสนองสัญญาณแสงทางความถี่ของโฟโตรีโอดชนิด p-i-n	
แบบพลานาร์.....	81
4.22 ลักษณะของกระแสมืดและพื้นที่รอยต่อ ขณะไม่ได้รับแสง.....	83
4.23 ลักษณะของกระแสแสงและจำนวนกริด.....	84
4.24 ลักษณะของกระแสมืดแรงดันไบอัสย้อนกลับของโฟโตรีโอดที่มีชั้นการโด๊ป p^+	
ล้อมรอบและอยู่ห่างจากชั้นรับแสงเป็นระยะต่างๆ.....	85
4.25 ลักษณะของกระแสมืดและระยะห่างของ p^+ - ring ที่แรงดันไบอัส -1 V และ -3 V.....	85
4.26 ลักษณะของการเกิดกระแสรั่วที่ผิวระหว่างซิลิคอนและซิลิคอนไดออกไซด์.....	86
(ก) เกิดกระแสรั่วสูง ขณะไม่มี p^+ - ring.....	86
(ข) กระแสรั่วลดลง เมื่อมี p^+ - ring.....	86
(ค) กระแสรั่วต่ำสุด เมื่อ p^+ - ring เข้าใกล้ ชั้น n^+	86
4.27 ภาพถ่ายลักษณะผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ถ่ายจากกล้องไมโครสโคป	
ที่เวลาต่างๆ 35 วินาที 40 วินาที 45 วินาที และ 45 วินาที.....	89
4.28 คุณสมบัติการสะท้อนแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ความยาวคลื่นต่างๆ	
จากการกัดย้อมสีที่เวลาต่างๆ กัน.....	89
4.29 ภาพถ่ายจากกล้องไมโครสโคป.....	90
(ก) โฟโตรีโอดที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน.....	90
(ข) โฟโตรีโอดที่มีชั้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	90
4.30 ลักษณะของกระแสมืดและพื้นที่รอยต่อ ที่มีชั้นลดการสะท้อนแสงเป็น	
ซิลิคอนไดออกไซด์และพอร์สซิลิคอน ขณะไม่ได้รับแสง.....	91
4.31 ลักษณะของกระแสแสงและพื้นที่รับแสงของไดโอด ที่มีชั้นรับแสงเป็น p^+ เปรียบเทียบ	
ระหว่างชั้นพอร์สซิลิคอน (PS) และชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)	

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ขณะได้รับแสงฮาโลเจน.....	92
4.32 ลักษณะของกระแสแสงและพื้นที่รับแสงของไดโอด ที่มีชั้นรับแสงเป็น p^+ เปรียบเทียบ ระหว่างชั้นพอร์สซิลิคอน(PS) และชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ขณะได้รับแสงอัลตราไวโอเลต(UVC).....	92
4.33 คุณสมบัติการสะท้อนแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน(PS) และชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่ความยาวคลื่นต่างๆ.....	93
4.34 ลักษณะของกระแสแสงและพื้นที่รับแสงของไดโอด ที่มีชั้นรับแสงเป็น n^+ เปรียบเทียบ ระหว่างชั้นพอร์สซิลิคอน (PS) และชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2).....	94