สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	4
2. ทฤษฎี	5
2.1 สารกึ่งตัวนำ	5
2.1.1 ช่องว่างพลังงาน	6
2.1.2 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแถบพลังงาน	11
2.1.3 โฮล	13
2.2 การดูดกลืนแสงพื้นฐาน	19
2.2.1 การดูดกลืนแสงแบบตรง	20
2.2.2 การดูดกลืนแสงแบบอ้อม	22
2.3 ลักษณะเฉพาะของรังสีแสงอาทิตย์	24
2.3.1 ดวงอาทิตย์และค่าคงตัวสุริยะ	24
2.3.2 รังสีแสงอาทิตย์ภายในบรรยากาศโลก	25
2.3.2.1 บรรยากาศกับการดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสี	25
2.3.2.2 รังสีตรงและรังสีกระจาย	26
2.3.2.3 รังสีตกกระทบพื้นราบแนวระดับติดตั้งตายตัว	27
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์	30
2.4.1 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	30
2.4.2 ผลตอบสนองเชิงสเปกตรัมและประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะ	32
2.4.3 ลักษณะสมบัติเอาท์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์	33
2.4.3.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน(Energy conversion efficiency)	33
2.4.3.2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (short circuit current)	34
2.4.3.3 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage)	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3.4 ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor)	36
2.4.2 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์	37
2.4.2.1 จุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	37
2.2.4.2 วงจรพื้นฐาน	40
3. วิธีการวิจัย	42
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	42
3.2 วิธีดำเนินการ	45
3.2.1 ศึกษาสมบัติของกระแส - แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากแสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	45
3.2.2 วัดค่าความส่องสว่าง	46
3.2.3 ศึกษาการประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลา 9 ชั่วโมง	47
3.2.4 ทดสอบการทำงานของปั๊มสูบน้ำ	48
3.2.4.1 ใช้ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง	48
3.2.4.2 ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 1วัน	49
3.2.4.3 ใช้ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	50
4. ผลการทดลองและการอภิปราย	51
4.1 กราฟลักษณะสมบัติของกระแส แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	51
4.2 ความเข้มแสงอาทิตย์	54
4.3 ทดสอบการทำงานของปั๊มสูบน้ำ	56
4.4 การสูบน้ำจากกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	56
4.4.1 การสูบน้ำจากกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง	56
4.4.2 การสูบน้ำจากกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ประจุจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	58

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุป	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	72
(ก) ตารางค่าความเข้มแสงอาทิตย์	73
(ข) ตารางอัตราการสูบน้ำที่ความสูงท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตรจากไฟฟ้าบ้านที่แปลงเป็นกระแสตรง	80
(ค) อัตราการสูบน้ำที่ความสูงท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	82
(ง) อัตราการสูบน้ำที่ความสูงท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร โดยใช้กำลังไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	84
(จ) ตารางแสดงค่ากำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพ และการคำนวณ	86
(ฉ) ทฤษฎีเครื่องสูบน้ำ	90
ประวัติผู้เขียน	94

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ช่องว่างพลังงานในผลึกกึ่งตัวนำ ที่อุณหภูมิห้อง(d : ช่องว่างแบบตรง i : ช่องว่างแบบอ้อม)	8
2.2 ตัวอย่างเงื่อนไขความสว่างของแสงที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ในการใช้งานด้านต่าง ๆ	39
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	54
4.2 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ใน 1 วัน	61
4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ	63
6.1 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์	73
6.2 ตารางอัตราการไหลของน้ำที่ความสูงท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตรจากไฟฟ้าบ้านที่แปลงเป็นกระแสตรง	80
6.3 อัตราการไหลของน้ำที่ความสูงท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	82
6.4 อัตราการไหลของน้ำที่ความสูงท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร โดยใช้กำลังไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	84
6.5 แสดงค่ากำลังไฟฟ้ากับประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงค่า	86
6.6 ประสิทธิภาพและการคำนวณ	87
6.7 การแบ่งชนิดของเครื่องสูบน้ำ	91

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความเข้มข้นอิเล็กตรอนในผลึกโลหะ กึ่งโลหะ และกึ่งตัวนำ	6
2.2 แผนผังแถบพลังงานผลึกกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ไม่นำไฟฟ้าที่ศูนย์องศา สัมบูรณ์เพราะมีแถบเวเลนซ์เต็มและแถบนำว่าง	7
2.3 ความเข้มข้นพาหะอิเล็กตรอนเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิในผลึก (ก). เจอร์มาเนียม (ข).ซิลิกอน ที่อุณหภูมิเดียวกัน เจอร์มาเนียมมีความเข้มข้นพาหะมากกว่าซิลิกอนเนื่องจากช่องว่างพลังงานมีขนาดเล็กกว่า	7
2.4 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานโฟตอน กระบวนการตรงขอบเวเลนซ์และขอบนำมีค่าเวกเตอร์คลื่นเดียวกัน พลังงานขีดเริ่มมีขนาดเท่ากับความกว้างช่องว่างพลังงาน	9
2.5 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานโฟตอนใน กระบวนการอ้อมเวกเตอร์คลื่นที่ขอบเวเลนซ์และขอบนำมีค่าแตกต่างกันมาก พลังงานขีดเริ่มมีขนาดเท่ามากกว่าความกว้างช่องว่างพลังงาน ในกระบวนการจึงมีการดูดกลืนหรือสร้างโฟนอนเข้ามาเกี่ยวข้อง	10
2.6 การดูดกลืนแสงอินเดียมแอนติโมไนด์ (InSb) บริสุทธิ์ มีช่องว่างพลังงานแบบตรงขอบแถบนำและขอบแถบเวเลนซ์มีค่า k=0 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อพลังงานถึงจุดขีดเริ่ม	11
2.7 พลังงานโฟตอนที่อิเล็กตรอนดูดกลืนทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายจากจุด E ไปยังจุด Q ทำให้ผลรวมเวกเตอร์คลื่นของแถบเวเลนซ์เท่ากับ $-\vec{k}_o$ เวกเตอร์คลื่นของโฮล	14
2.8 แสดงแถบโฮลซึ่งมีพลังงานและเวกเตอร์คลื่นเดียวกันกับสถานะว่างในแถบเวเลนซ์แต่มีเครื่องหมายตรงข้าม	14
2.9 ก. ที่ t=0 มีอิเล็กตรอนครอบครองทุกสถานะ ยกเว้นสถานะ F ซึ่งอยู่ขอบแถบเวเลนซ์ที่ F ความเร็ว $v_x = 0$ เพราะ $d\varepsilon/dk_x = 0$ ข. ให้สนามไฟฟ้าภายนอก E_x ในทิศทาง $\pm x$ มีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนในทิศทาง $-k_x$ ทำให้อิเล็กตรอนทุกตัวเคลื่อนที่ไปทาง $-k_x$ จนกระทั่งโฮลมาอยู่ที่สถานะ E และ ค. อิเล็กตรอนทุกตัวเคลื่อนที่ต่อไปจนกระทั่งโฮลมาอยู่ที่สถานะ D	16

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.10 เมื่อมีสนามไฟฟ้าภายนอก E อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในแถบนำและโฮลในแถบเวเลนซ์ความเร็วดริฟท์ของทั้งคู่มีทิศทางตรงข้ามกัน แต่ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลทิศทางเดียวกันคือทิศทางขนานกับสนามไฟฟ้าภาพประกอบ	16
2.11 กราฟพลังงาน-เวกเตอร์คลื่นที่ขอบเวเลนซ์และขอบแถบนำในผลึกที่มีช่องว่างพลังงานแบบตรง ในกรณีโฮลหนัก โฮลเบา และโฮลสปลิทออฟ	17
2.12 โครงสร้างแถบพลังงานของ Ge มีช่องว่างพลังงานแบบอ้อม ขอบแถบนำอยู่ที่ $(2\pi/a)\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)$ ขอบแถบเวเลนซ์อยู่ที่ k=0 มรสภาพดีเจนเนอเรตของมวลยังผลของโฮลหนักและโฮลเบา	18
2.13 แถบพลังงานอย่างง่ายของแกลเลียมอาร์เซไนด์หรือ GaAs มีช่องว่างพลังงานตรง($L:(2\pi/a)\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)\Gamma$:จุดกึ่งกลางโซน $X:(2\pi/a)(100)$)	19
2.14 การขึ้นกับอุณหภูมิของช่องว่างพลังงานของเจอร์มาเนียมแกนแนวตั้งคือ รากที่สองของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง	20
2.15 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ	22
2.16 สเปกตรัมของความรับอาบรังสีแสงอาทิตย์ (solar spectral irradiation)	24
2.17 สเปกตรัมสุริยะนอกชั้นบรรยากาศและที่ระดับพื้นดิน	25
2.18 อากาศมวลที่สัมพัทธ์กับมุมเซนิท θ_z, $\cos\theta_z = \frac{BC'}{AC}$	27
2.19 มุมเซนิทสุริยะ θ_z, อัลติจูด α,และแอสซิมุธ ϕ ที่สัมพันธ์กับพื้นราบระดับบนพื้นโลก	28
2.20 โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	30
2.21 การทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	31
2.22 แสดงภาพถ่ายตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (ข) ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน และ(ค) ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน	32

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.23 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป	34
2.24 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป	35
2.25 ลักษณะการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	38
2.26 กราฟแสดงลักษณะสมบัติเอาต์พุตและจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	38
2.27 วงจรพื้นฐานการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่มีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเพียงอย่างเดียว	40
2.28 วงจรการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งใช้แบตเตอรี่สำหรับประจุไฟฟ้า	41
3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาซึ่งต่อกันแบบอนุกรม 2 แผง	43
3.2 ไดอะแกรมการต่ออุปกรณ์ในการศึกษา	44
3.3 ภาพการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา	45
3.4 ไดอะแกรมและการต่อวงจรเพื่อศึกษาสมบัติของกระแส-แรงดันไฟฟ้าของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์	46
3.5 ไดอะแกรมและการต่อวงจรเพื่อทดสอบการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่จากเซลล์แสงอาทิตย์	47
3.6 ไดอะแกรมและการต่อวงจรทดสอบการทำงานของปั๊มในการสูบน้ำโดยใช้แหล่งกำเนิดกำลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	48
3.7 ไดอะแกรมและการทดสอบการทำงานของปั๊มในการสูบน้ำโดยใช้แหล่งกำเนิดกำลังงานจากแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัน	49
3.8 ไดอะแกรม และการต่อวงจรเพื่อทดสอบการทำงานของปั๊มในการสูบน้ำจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	50
4.1 กราฟลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	52
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกระแสไฟฟ้า	52
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเวลา 8:00น.-17:00 น.	53
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเฉลี่ย กับเวลา ที่เดือน ต่าง ๆ	55
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเฉลี่ย กับเวลา	55
4.6 กราฟระหว่างอัตราการสูบน้ำ กับกำลังไฟฟ้า ที่ความสูงปลายท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร	56

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.7 กราฟระหว่างอัตราการสูบน้ำ กับ เวลา ที่ความสูงปลายท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร	57
4.8 กราฟระหว่างปริมาณน้ำที่สูบได้สะสม กับ เวลา ที่ความสูงปลายท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร	58
4.9 กราฟระหว่างปริมาตรน้ำที่สูบได้ กับ เวลา ที่ความสูงปลายท่อ 1.50, 2.00 และ 2.50 เมตร	59
4.10 กราฟระหว่างปริมาณน้ำที่สูบได้สะสม กับ เวลา ที่ความสูงปลายท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร	59
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่สูบได้ กับ เวลา ที่ความสูงปลายท่อ 1.5 2.0 และ 2.5 เมตร โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่	60
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูบได้สะสม กับ เวลา ที่ความสูงปลายท่อ 1.5 2.0 และ 2.5 เมตร โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่	61
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้ากับประสิทธิภาพของปั๊มสูบน้ำที่ความสูงปลายท่อ 1.50 2.00 และ 2.50 เมตร	64