

การออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้า

นาย ประดนเดช โฉมคุปต์



ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

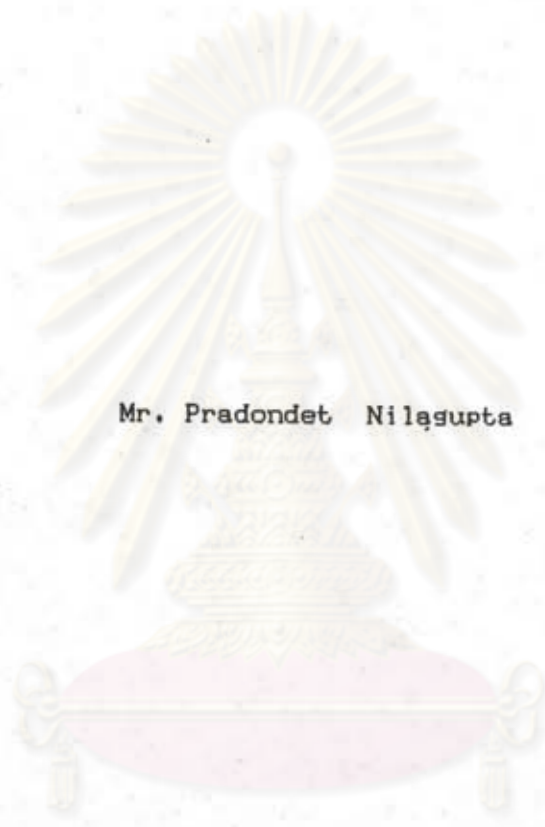
ISBN 974-568-825-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014157

117429329

Design and Construction of A Solar Cell with Two Active Areas



Mr. Pradondet Nilagupta

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering**

Department of Electrical Engineering


Graduate School

Chulalongkorn University

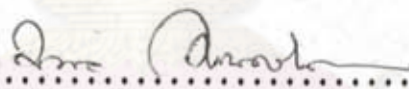
1988

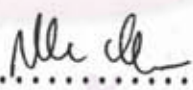
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้า
โดย นายประคนเดช นิละคุปต์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

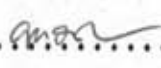

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนรินทร์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

PRADONDET NILAGUPTA : DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOLAR CELL WITH TWO ACTIVE AREAS. THESIS ADVISOR : PROF.SOMSAK PANYAKEOW, D.ENG. 135 PP.

The purpose of this study was to investigate the viability of fabricating solar cells with active areas on both sides of silicon wafers. Double-sided solar cells and conventional ones were fabricated under similar conditions and their characteristics compared. The fabrication process of double-sided cells was more complicated than that of conventional ones. The efficiency of double-sided cells was found to be about 4 - 8 % when measured under varying configurations, compared to about 6 - 9 % of conventional cells. However the output power of double-sided cells was about 40 % greater than that of conventional ones with the same amount of material (Si wafer) used, indicating better price-performance for this novel structure.

Diffusion and metallization masks were designed so that contact windows for p-layer and n-layer were on the same side. This resulted in a reduction of active areas on both side of the cell. Series resistance of cells was higher than conventional cells due to flow of current in lateral direction. When cells on both surfaces of a wafer were connected in parallel, all major parameters were found to have values in between those of either surface when measured individually.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต ป.ธ.ด.น.ด. น.ค.น.น.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Nk Nk

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศ. ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว และ รศ. ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.บรรยง โตประเสริฐวงศ์ ผศ. ดร.เกรียงศักดิ์ เฉลิมติระกุล ผศ. ดร.ชุมพล อंत्रเสน ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้รับความเอื้อเฟื้อจากคุณบัณฑิตา รั้ววิเศษ คุณศุภโชค ไทยน้อย คุณขวัญเรือน ชันทะกิตติ คุณชาบ ทรัพย์พันธ์ คุณพัฒนา พันธุ์วงศ์ ที่ช่วยจัดการงานทางด้านการเตรียมสารเคมีและงานทางด้านธุรการ คุณสมชัย รัตนธรรมพันธ์ ที่ช่วยเขียนรูปลงในวิทยานิพนธ์ คุณธนวิชญ์ ชุติกาวิทย์ และคุณเน็ญจิตต์ เอี่ยมอ้อมจิตต์ ที่ช่วยในการวัดข้อมูลต่างๆ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากห้องปฏิบัติการวิจัยสารกึ่งตัวนำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ขอใจเพื่อนทุกคนที่คอยช่วยเหลืองานต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ท

บทที่

1. บทนำ	1
2. ทฤษฎี	5
2.1 บทนำ	5
2.2 การดุดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ	5
2.3 ปฏิกิริยาการแผ่โฟโตโวลตาอิกของเซลล์แสงอาทิตย์แบบห้วต่อนี-เอ็น	8
2.4 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.5 ลักษณะสมบัติและพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.6 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์และการวิเคราะห์พารามิเตอร์ภายในที่เกี่ยวข้อง	13
3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้า	16
3.1 ความเป็นมา	16
3.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้า	19
3.3 การเปรียบเทียบระหว่าง SC2AA กับ CSC	20
3.4 วงจรสมมูลของ SC2AA และวงจรสมมูลของ CSC 2 ตัวต่อขนานกัน	21
4. การออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	25
4.1 บทนำ	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์	25
4.3	ผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโต	33
4.4	กำลังงานสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์	42
4.5	การออกแบบหน้าปกสำหรับการแพร์ซิมและหน้าปกสำหรับการทำซีวโลหะ	42
4.6	การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการตัดผิวซิลิคอนชนิดขัดหยาบ	51
4.7	การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	52
5.	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	65
6.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	97
	เอกสารอ้างอิง	102
ภาคผนวก ก	โปรแกรมการคำนวณผลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อกระแสไฟฟ้าโฟโต	109
ภาคผนวก ข	การพิสูจน์สมการหาค่ากระแสไฟฟ้าโฟโต	119
ภาคผนวก ค	การตัดผิวแว่นผลึกชนิดขัดหยาบ	127
ภาคผนวก ง	เงื่อนไขของขั้นตอนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	128
ภาคผนวก จ	วิธีการหาค่าความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนาน	133
	ประวัติผู้เขียน	135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 สเปกตรัมแสงอาทิตย์แบบ AM 1	35
5.1 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc}, FF, η ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด F	70
5.2 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด F	71
5.3 ผลการวัดค่า $I_{o1}, I_{o2}, n1, n2, R_s, R_{sh}$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด F	71
5.4 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc}, FF, η ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด #1-X	73
5.5 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด #1-X	74
5.6 ผลการวัดค่า $I_{o1}, I_{o2}, n1, n2, R_s, R_{sh}$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด #1-X ...	74
5.7 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc}, FF, η ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด G	76
5.8 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด G	76
5.9 ผลการวัดค่า $I_{o1}, I_{o2}, n1, n2, R_s, R_{sh}$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด G	77
5.10 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc}, FF, η ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด H	78
5.11 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด H	79
5.12 ผลการวัดค่า $I_{o1}, I_{o2}, n1, n2, R_s, R_{sh}$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด H	79
5.13 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc}, FF, η ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด J, I3	81
5.14 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด J, I3	82
5.15 ผลการวัดค่า $I_{o1}, I_{o2}, n1, n2, R_s, R_{sh}$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด J, I3 ...	82
5.16 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc}, FF, η ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด L	84
5.17 ผลการวัดค่า V_{oc}, I_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด L	86
5.18 ผลการวัดค่า $I_{o1}, I_{o2}, n1, n2, R_s, R_{sh}$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชุด L	86
ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแพร่ซึม ความต้านทานแวนดริกฐานและความลึกของหัวต่อ	131

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบ Albedo Flat Panel	2
2.1 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลในสารกึ่งตัวนำ	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นและอุณหภูมิ ..	7
2.3 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ Si, Ge, GaAs กับค่าพลังงานโฟตอน	7
2.4 กระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า	9
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็น	10
2.6 เส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	13
3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกระจกวางทำมุม 60°	16
3.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกระจกวางทำมุม 45°	17
3.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างยอมให้แสงผ่านเข้าทางด้านหลังได้	17
3.4 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบปรกติ	18
3.5 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาเนอร์	18
3.6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 หน้า	20
3.7 วงจรสมมูลของ SC2AA	22
3.8 วงจรสมมูลของ SC2AA เมื่อทำการชั้ววงจรแล้ว	23
3.9 วงจรสมมูลของ CSC 2 ตัวต่อขนานกัน	24
4.1 คำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ R_{sc} มีค่าต่างจากกัน	26
4.2 ผลของค่าความต้านทานอนุกรมที่มีต่อประสิทธิภาพ	27
4.3 คำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ R_{sh} มีค่าต่างจากกัน	28
4.4 คำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ I_{sc} มีค่าต่างจากกัน	29
4.5 คำนวณผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ n มีค่าต่างจากกัน	29
4.6 ค่ากระแส-แรงดันเมื่อให้ไบแอสตรง	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7	32
4.8	33
4.9	36
4.10	37
4.11	38
4.12	38
4.13	39
4.14	40
4.15	40
4.16	41
4.17	41
4.18	44
4.19	45
4.20	45
4.21	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 หน้ากากสำหรับการทำขั้วโลหะแบบที่ 1	47
4.23 หน้ากากสำหรับการทำขั้วโลหะแบบที่ 2	47
4.24 หน้ากากสำหรับการทำขั้วโลหะแบบที่ 3	48
4.25 หน้ากากสำหรับการทำขั้วโลหะแบบที่ 4	48
4.26 ภาคตัดขวางของเซลล์แสงอาทิตย์	50
4.27 เครื่องจับแว่นผลึกในการขัดผิว	52
4.28 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบปรกติ (แบบที่ 1)	55
4.29 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาแนร์ 1 ด้านและยอมให้แสงผ่านเข้าอีกด้าน หนึ่งได้ (แบบที่ 2)	55
4.30 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาแนร์ 1 ด้านและอีกด้านมีขั้วโลหะเต็มทั้งด้าน (แบบที่ 3)	55
4.31 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาแนร์ 1 ด้านและอีกด้านมีขั้วโลหะไม่เต็มหน้า (แบบที่ 4)	56
4.32 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ทำงาน 2 ด้าน (แบบที่ 5)	56
4.33 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพลาแนร์ 1 ด้านและอีกด้านมีการแพร่ซึมขึ้น n^+ ตลอดทั้งหน้า (แบบที่ 6)	56
5.1 การทดลองฉายแสงเข้าทางด้านหน้าแล้ววัดทางด้านหน้า	66
5.2 การทดลองฉายแสงเข้าทางด้านหลังแล้ววัดทางด้านหลัง	66
5.3 การทดลองฉายแสงเข้าพร้อมกันทั้ง 2 ด้านแล้วจับขั้วโลหะขนานกัน	66
5.4 การทดลองฉายแสงแก่เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบปรกติ	67
5.5 การทดลองฉายแสงเข้าทางด้านหน้าและวัดทางขั้วโลหะด้านหลัง	67
5.6 การทดลองฉายแสงเข้าทางด้านหลังและวัดทางขั้วโลหะด้านหน้า	67
5.7 พื้นที่ทำงานที่หักพื้นที่ขั้วโลหะบนชั้น n^+ กับพื้นที่ส่วนที่เป็นชั้นพี	68
5.8 พื้นที่ทำงานที่หักพื้นที่ขั้วโลหะทั้งหมด	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ชุด F	89
5.10 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ชุด F	89
5.11 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ชุด #1-X	90
5.12 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ชุด #1-X	90
5.13 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ชุด G	91
5.14 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ชุด G	91
5.15 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ชุด H	92
5.16 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ชุด H	92
5.17 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ชุด J	93
5.18 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ชุด J	93
5.19 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ชุด L	94
5.20 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ชุด L	94
5.21 ชุดทดลอง เซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งกับระบบติดตามดวงอาทิตย์	95
5.22 ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร เมื่อทำการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ภายใน 1 วัน	96
6.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ที่มีการใช้งานแบบเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC	98
6.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA วางในแนวนอนและมีกระจกสะท้อน 2 คู่	101
จ.1 การวัดค่าความต้านทานอนุกรมโดยวิธีวัดส่วนเบี่ยงเบนจากเส้นความชัน $\exp(qV/kT)$	134
จ.2 การวัดค่าความต้านทานขนาน	135

สัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่หน้าตัดของหัวต่อพี-เอ็น
D_n	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของอิเล็กตรอนในสารชนิดพี
D_p	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮลในสารชนิดเอ็น
d	ค่าความกว้างระหว่างขั้วแคโทดกับชั้นพีที่อยู่ผิว
F_o	จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำต่อตารางเซนติเมตร
FF	ฟิลล์แฟกเตอร์
$G(\lambda, x)$	อัตราการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล (Generation Rate)
H	ความหนาของแวนดิก
I_D	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด
I_m	กระแสไฟฟ้าสูงสุด
I_{out}	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด
I_o, I_d	กระแสไฟฟ้ามืด
I_{ph}	กระแสไฟฟ้าโฟโต
I_{ph1}	กระแสไฟฟ้าโฟโตด้านที่ 1 เมื่อฉายแสงเพียงด้านเดียว
I_{ph2}	กระแสไฟฟ้าโฟโตด้านที่ 2 เมื่อฉายแสงเพียงด้านเดียว
I_{sc}	กระแสไฟฟ้ลัดวงจร
I_s	กระแสไฟฟ้าอิ่มตัว
I_{sc1}	กระแสไฟฟ้ลัดวงจรที่วัดทางด้านหน้าเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหลัง
I_{sc2}	กระแสไฟฟ้ลัดวงจรที่วัดทางด้านหลังเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหน้า
I_{sc} หน้า	กระแสไฟฟ้ลัดวงจรที่วัดทางด้านหน้าเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหน้า
I_{sc} หลัง	กระแสไฟฟ้ลัดวงจรที่วัดทางด้านหลังเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหลัง
I_{sc} ขนาน	กระแสไฟฟ้ลัดวงจรที่ได้เมื่อต่อเซลล์ฯ ในลักษณะขนานกันและมีแสงส่องเข้าทั้ง 2 ด้าน
I_1	กระแสไฟฟ้ลัดวงจรที่เกิดจากการฉายแสงเข้าทางด้านหน้าและด้านหลังพร้อมกันแล้ว วัดทางด้านหน้า
I_2	กระแสไฟฟ้ลัดวงจรที่เกิดจากการฉายแสงเข้าทางด้านหน้าและด้านหลังพร้อมกันแล้ว วัดทางด้านหลัง

J_{dr}	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าโฟโตในย่านปลดพาหะ
J_n	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าโฟโตในย่านพี
J_p	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าโฟโตในย่านเอ็น
J_{pn}	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าโฟโต
k	ค่าคงที่ของ Boltzmann
L_n	ค่าความยาวการแพร่ซึมของอิเล็กตรอน
L_p	ค่าความยาวการแพร่ซึมของโฮล
l	ค่าความยาวของชีวแอโนดและแคโทด
N_a	ความเข้มข้นสารเจือปนแบบผู้รับ
N_d	ความเข้มข้นสารเจือปนแบบผู้ให้
N_{sc}	ความหนาแน่นของศูนย์กลางการรวมตัว
n_i	ความเข้มข้นสารเจือปนชนิด intrinsic
n	ค่าความเป็นอุดมคติ
n_p	ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี
n_{p0}	ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ภาวะสมดุลในสารกึ่งตัวนำชนิดพี
p_n	ความหนาแน่นของโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
p_{n0}	ความหนาแน่นของโฮลที่ภาวะสมดุลในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
q	ค่าประจุไฟฟ้า
R	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง
R_1	ค่าความต้านทานด้านที่ 1
R_2	ค่าความต้านทานด้านที่ 2
R_c	ค่าความต้านทานผิวสัมผัส
R_s	ค่าความต้านทานอนุกรม
R_{s1}	ค่าความต้านทานอนุกรมด้านที่ 1
R_{s2}	ค่าความต้านทานอนุกรมด้านที่ 2
R_{sh}	ค่าความต้านทานขนาน
R_{sh1}	ค่าความต้านทานขนานด้านที่ 1
R_{sh2}	ค่าความต้านทานขนานด้านที่ 2

R_{ca}	ค่าความต้านทานจำเพาะจุดสัมผัสแอโนด (Anode Contact Resistivity)
R_{cc}	ค่าความต้านทานจำเพาะจุดสัมผัสแคโทด (Cathode Contact Resistivity)
R_e	ค่าความต้านทานจำเพาะชั้นแพร่ซึม (Diffusion Resistivity)
R_{ga}	ค่าความต้านทานจำเพาะขั้วแอโนด (Anode Grid Resistivity)
R_{gc}	ค่าความต้านทานจำเพาะขั้วแคโทด (Cathode Grid Resistivity)
R_s	ค่าความต้านทานอนุกรมจำเพาะ (Series resistivity)
S_n	ความเร็วในการรวมตัวที่ผิวด้านหลัง
S_p	ความเร็วในการรวมตัวที่ผิวด้านหน้า
T	อุณหภูมิ
V_M	ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
V_{oc}	ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
V_{th}	ค่าแรงดันไฟฟ้าเทอร์มอล
W	ค่าความกว้างย่านปลอดพาหะ
X_j	ค่าความลึกของหัวต่อ
$\alpha(\lambda)$	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำที่ความยาวคลื่นใด ๆ
γ	ค่าความถี่แสง
ρ_b	ค่าความต้านทานแวนผลึก
ρ_e	ค่าความต้านทานของชั้นแพร่ซึม
δ	ความหนาของ dead layer
η	ค่าประสิทธิภาพ
τ_n	ค่าเวลาชีวิตพาหะของเอ็น
τ_p	ค่าเวลาชีวิตพาหะของโฮล
σ_p	พื้นที่หน้าตัดของสารกึ่งตัวนำ
λ	ความยาวคลื่นแสง