

บทที่ 5

หลักเบื้องต้นของเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงและไม่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนก่อน โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic effect) ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกเป็นการให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลจากการดูดกลืนแสงอาทิตย์ของสิ่งประดิษฐ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ เราสามารถสังเกตเห็นปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกได้จากรอยต่อของสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน แต่ในทางปฏิบัติแล้ว เซลล์แสงอาทิตย์สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำซึ่งส่วนใหญ่ใช้ซิลิกอน นอกจากนี้ ยังอาจใช้สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ และแคดเมียมซัลไฟด์ เป็นต้น

เซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานในโครงการอวกาศ กล่าวคือ ยานอวกาศทั้งหลายที่ส่งขึ้นไปในอวกาศตลอดจนดาวเทียมต่าง ๆ ที่ใช้ในการสื่อสารหรือพยากรณ์อากาศ ล้วนแต่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าทั้งสิ้น เพราะแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ปัจจุบันนอกจากการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงการอวกาศแล้ว ยังได้มีการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าบนพื้นโลกด้วย เช่น ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแก่ไฟที่ประกาศาในทะเล หรือใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแก่เครื่องมือสื่อสารที่อยู่ในท้องถิ่นที่ห่างไกล เหล่านี้เป็นต้น

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นเราจะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ ในหัวข้อต่อไป

จากรูป 5-1 จะเห็นว่ามีแถบพลังงานหรือช่วงที่อิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้และแถบพลังงานที่อิเล็กตรอนไม่สามารถอยู่ได้ในระบบ ลักษณะการนำไฟฟ้าของสารถูกกำหนดโดยอิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในแถบพลังงานที่ยอมได้ โดยปกติอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานต่ำเสมอ (โดยไม่ขัดกับหลักของพาวลี) และสามารถถูกกระตุ้นไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าได้โดยอันตรกิริยา เช่นกับโฟนอนและโฟตอน แถบพลังงานนี้เป็นเครื่องชี้แสดงให้เห็นว่าช่วงไหนที่ยอมให้อิเล็กตรอนอยู่ได้ แต่ไม่สามารถไปถึงพลังงานของอิเล็กตรอนที่มีจริง ๆ การกระจายของอิเล็กตรอนในแถบพลังงานที่ยอมได้ สามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันเฟอร์มิ ซึ่งให้ค่าความน่าจะเป็น $f(E)$ ที่สถานะพลังงาน E จะถูกครอบครองด้วยอิเล็กตรอน ซึ่งกำหนดโดย

$$f(E) = \frac{1}{\exp[(E - E_f) / kT] + 1}$$

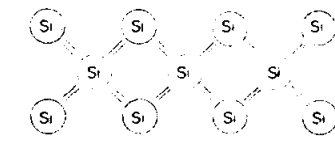
เมื่อ $f(E)$ คือฟังก์ชันเฟอร์มิ E คือพลังงานของสถานะที่ยอมได้ E_f คือพลังงานเฟอร์มิ k คือค่าคงตัวโบลทซ์ซมาน และ T คือองศาสัมบูรณ์ ระดับพลังงานเฟอร์มิกำหนดว่าเป็นพลังงานซึ่งความน่าจะเป็นที่อิเล็กตรอนจะบรรจุ (fill) อยู่ในลักษณะนั้นเท่ากับ $1/2$ หรืออาจกล่าวได้ว่าพลังงานเฟอร์มิเป็นสถานะพลังงานสูงสุดที่อิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้ที่ 0 K ในสภาพสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic equilibrium) ระดับพลังงานเฟอร์มิมีค่าคงที่ตลอดสาร

ถ้าสาร (ส่วนมากเป็นโลหะ) มีแถบพลังงานที่ยอมได้แถบนอกสุดเต็มเพียงบางส่วน สนามไฟฟ้าภายนอกที่ให้เข้าไป สามารถทำให้อิเล็กตรอนในแถบพลังงานนี้ เคลื่อนที่ไปยังสถานะที่ว่างที่เหลืออยู่ได้เป็นเหตุให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล ถ้าแถบพลังงานที่ยอมได้ว่างเปล่า ตลอดทั้งแถบจะไม่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าในแถบนั้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าแถบพลังงานนั้นบรรจุอิเล็กตรอนอยู่เต็มบริบูรณ์แล้ว แถบพลังงานนี้จะไม่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกัน รูปที่ 5-1 แสดงแถบพลังงานอย่างง่าย ๆ ของโลหะ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ สำหรับฉนวนและสารกึ่งตัวนำ (ที่ 0 K) แถบพลังงานนอกสุดที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็มเรียกว่า แถบ

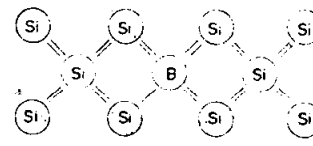
วาเลนซ์ (valence band) แถบพลังงานที่ยอมได้ถัดไปซึ่งว่างเปล่านั้นเรียกว่าแถบนำ (conduction band) สำหรับโลหะนั้นแถบนำเป็นแถบพลังงานสูงสุดซึ่งมีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เพียงบางส่วน กรณีนี้ความกว้างของแถบห้ามระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบพลังงานที่ยอมได้ถัดไปมีค่ามากจนกระทั่งอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ ไม่สามารถถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ในแถบนำได้ และอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์นี้ก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังสถานะพลังงานอื่น ๆ ได้ เพราะไม่มีสถานะพลังงานที่ว่างในแถบพลังงานนี้ ดังนั้นฉนวนจึงไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ สำหรับสารกึ่งตัวนำ คล้ายกับฉนวนในลักษณะของแถบพลังงาน เว้นแต่ในสารกึ่งตัวนำ แถบห้ามแคบมากกว่า ที่อุณหภูมิห้องฉนวนอาจมีช่องพลังงานห้าม (E_g) ประมาณ 10 eV ขณะที่สารกึ่งตัวนำมีช่องพลังงานห้ามเพียง 1 eV เท่านั้น เนื่องจากสารกึ่งตัวนำมีช่องพลังงานห้ามแคบมาก อิเล็กตรอนสามารถถูกกระตุ้นขึ้นไปยังแถบนำได้อย่างง่าย อาจโดยทางความร้อนหรือแสง ถ้าอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นข้ามช่องห้ามมันจะทิ้งช่องว่าง (vacancy) ในแถบวาเลนซ์ ซึ่งเรียกว่า โฮล (hole) อิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้โฮลสามารถบรรจุอยู่ในช่องว่างนั้นได้และทิ้งโฮลไว้ อีก อิเล็กตรอนตัวอื่นจะสามารถเคลื่อนที่ไปบรรจุอยู่ในช่องว่างนี้ได้อีกเป็นเช่นนี้ต่อไปจริง ๆ แล้วกระแสเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน แต่อาจมองได้อีกแห่งหนึ่งว่าเป็นการไหลของประจุบวก (โฮล) เคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้าม การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำนั้นมีทั้งจากอิเล็กตรอนในแถบนำและโฮลในแถบวาเลนซ์ เมื่อการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำเนื่องจากเฉพาะอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำ และโฮลในแถบวาเลนซ์ เราเรียกสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ว่า สารกึ่งตัวนำอินทรินซิก (intrinsic semiconductor)

ความไม่สมบูรณ์ของผลึกมีผลทำให้เกิดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอยู่ระหว่างแถบพลังงานที่ยอมได้ ความไม่สมบูรณ์ของผลึกนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น อะตอมแปลกปลอม vacant lattice sites interstitial atom dislocation และ grain boundaries เหล่านี้เป็นต้น สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในกรณีนี้จะเติมสารเจือลงไป การเติมสารเจือลงไปเล็กน้อยในสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า “dopants” สารเจือที่ต่างกัน จะทำให้ตำแหน่งของระดับพลังงานของสารเจือในแถบห้ามต่างกันด้วย และสามารถทำให้สารกึ่งตัวนำนี้มีประจุนำไฟฟ้าส่วนใหญ่

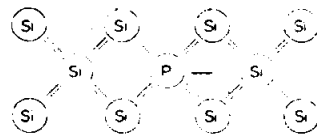
เป็นอิเล็กตรอนหรือโฮลได้ เมื่อการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำเนื่องจากสารเจือ สารกึ่งตัวนำแบบนี้ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำเอกทรินซิก (extrinsic semiconductor) รูปที่ 5-2 แสดงอะตอมสารเจือในโครงสร้างผลึกซิลิกอน



ก. แสดง bonding ของซิลิกอน



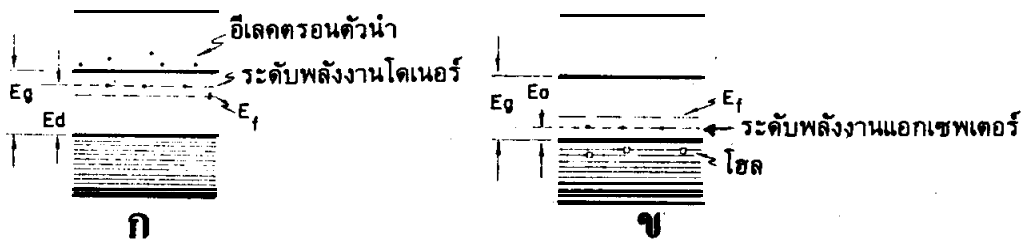
ค. แสดงอิเล็กตรอนสารเจือที่ขาด



ข. แสดงอิเล็กตรอนสารเจือที่เหลือ

รูปที่ 5-2 แสดงอะตอมสารเจือในซิลิกอน

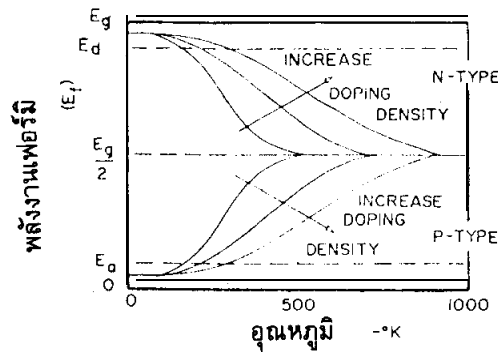
รูปที่ 5-2 ก. แสดง bond ปกติซึ่งเกิดจากการ share อิเล็กตรอนในผลึกซิลิกอนที่สมบูรณ์
รูปที่ 5-2 ข. แสดง bond ของฟอสฟอรัสที่ใช้เป็นสารเจือกับซิลิกอนซึ่งทำให้เกิด อิเล็กตรอนพิเศษ (extra electron) เนื่องจากอิเล็กตรอนพิเศษนี้ถูกยึดไว้ด้วยแรงคูลอมบ์กับนิวเคลียสของฟอสฟอรัสเท่านั้น และมันสามารถเคลื่อนหลุดไปเป็นอิเล็กตรอนตัวนำ ด้วยพลังงานที่น้อยกว่าที่ใช้กระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำในซิลิกอน ในทำนองเดียวกัน สารเจือโบรอนแสดงดังรูป 5-2 ค. ซึ่งขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัวที่ควรจะ share กับอะตอมซิลิกอนข้างเคียง วาเลนซ์อิเล็กตรอนสามารถกระโดดไปยังสถานะที่ว่างนี้ได้ ด้วยพลังงานที่น้อยกว่าพลังงานที่ใช้กระตุ้นข้ามแถบห้าม การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังตำแหน่งที่ว่างนั้น



รูปที่ 5-3 แสดงระดับพลังงานของสารเจือในแถบพลังงานของซิลิกอน

เป็นการสร้างโฮลในแถบวาเลนซ์ สำหรับประจุบวกที่นำไฟฟ้า สารเจือทั้งสองชนิดที่กล่าวมา
 แล้วนี้ มีระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอยู่ในแถบช่วงพลังงานห้ามของสารกึ่งตัวนำ
 กรณีของรูปที่ 5-2 ข. อิเล็กตรอนพิเศษทำให้เกิดระดับโดเนอร์ (donor) ดังรูปที่ 5-3 ก.
 ซึ่ง “ให้” (donate) อิเล็กตรอนที่เป็นพาหะประจุลบในสารกึ่งตัวนำนี้ เราจึงเรียกสารกึ่งตัวนำ
 แบบนี้ว่าเป็นชนิดเอน (n-type) กรณีรูปที่ 5-2 ค. ทำให้เกิดระดับพลังงานแอกเซพเตอร์
 (acceptor) ซึ่ง “รับ” (accept) อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ ทำให้พาหะประจุส่วนใหญ่คือโฮล
 ที่เป็นบวกและเรียกสารกึ่งตัวนำแบบนี้ว่าเป็นชนิดพี (p-type)

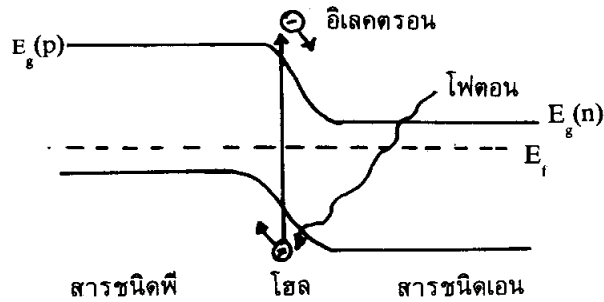
สารกึ่งตัวนำอินทรีนซิกมีระดับพลังงานเฟอร์มิอยู่ตรงกลางของแถบพลังงานห้าม
 ($E_f = E_g/2$) และมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับจำนวนโฮล ในรูปที่ 5-3 ระดับพลังงานเฟอร์มิ
 กรณีสารกึ่งตัวนำเอกทรีนซิก จะเลื่อนไปยังระดับพลังงานแอกเซพเตอร์ E_a หรือระดับพลัง
 งานโดเนอร์ E_d ตำแหน่งจริง ๆ ของพลังงานเฟอร์มิในสารกึ่งตัวนำนี้ขึ้นกับระดับการ dope
 (จำนวนอะตอมสารเจือต่อลูกบาศก์ซม.) และองศาสัมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5-4



รูปที่ 5.4 แสดงระดับพลังงานเฟอร์มิที่ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนสารเจือที่เติมลงไปนสารกึ่ง
 ตัวนำ

5.2 รอยต่อพีเอ็น

เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่ของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นรอยต่อพีเอ็น
 ที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอนนี้ ในสภาวะสมดุลย์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ระดับพลัง
 งานเฟอร์มิต้องมีค่าคงที่ข้ามรอยต่อ แต่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอนนั้นระดับพลังงานเฟอร์มิอยู่
 ใกล้ส่วนบนของแถบพลังงานห้าม และในสารกึ่งตัวนำแบบพีนั้น ระดับพลังงานเฟอร์มิอยู่ใกล้
 ส่วนล่างของแถบพลังงานห้าม ดังนั้นแถบพลังงานต้องโค้งที่รอยต่อในลักษณะดังรูปที่ 5-5

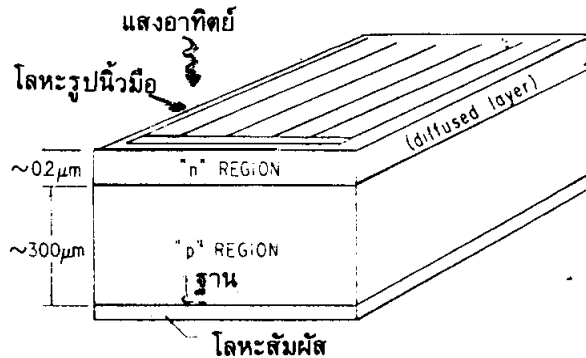


รูปที่ 5-5 แสดงการโค้งของแถบพลังงานที่บริเวณรอยต่อพีเอ็น

รอยต่อพีเอ็นนี้ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น เมื่อแสงตกกระทบบนรอยต่อพีเอ็นนี้จะสร้างคู่อิเล็กตรอนโฮลขึ้น อิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการดูดกลืนโฟตอนจะถูกแยกจากกัน (เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อนี้) โดยที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนไปยังสารชนิดเอ็น และโฮลจะเคลื่อนไปยังสารชนิดพี ถ้านำโหลดที่เหมาะสมต่อเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ จะได้พลังงานไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ได้

5.8 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว มีลักษณะเป็นรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 5-6 ซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพีเอ็นของซิลิกอน



รูปที่ 5-6 แสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเอ็น

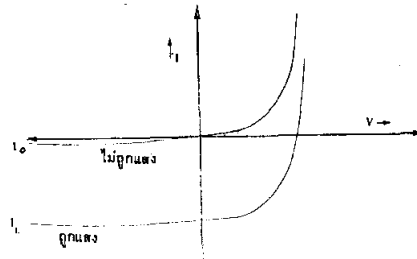
โดยทั่วไปรอยต่อพีเออนี้สร้างมาจากการนำแผ่นผลึกซิลิกอนซึ่งเป็นฐานหนาประมาณ 300 μm เข้าไปยังเตาแพร่สารที่มีสารเจือในรูปของกาซ สารเจือที่ใช้จำเป็นต้องเป็นสารเจือที่ทำให้แผ่นผลึกซิลิกอนนี้เป็นชนิดตรงกันข้ามกับชนิดที่ใช้ทำเป็นฐาน และให้สารเจือแพร่เข้าไปที่ผิวหน้าหนาประมาณ 0.2 μm รอยต่อพีเออนี้ต้องมีค่าอื่น ๆ เพื่อต้องการให้แสงอาทิตย์ทะลุไปถึงรอยต่อมากที่สุด ด้านหลังของเซลล์มีผิวสัมผัสโลหะฉาบปิดตลอดทั้งหมดเพื่อทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า สำหรับด้านหน้าของเซลล์ที่รับแสงอาทิตย์จะมีขั้วไฟฟ้าโลหะ มีลักษณะเป็นตะแกรงหรือรูปนิ้วมือ ซึ่งปกคลุมผิวหน้าประมาณ 5% เพื่อให้แสงอาทิตย์ตกบนพื้นที่ active junction มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถัดจากขั้วโลหะนี้เป็นชั้นของสารต้านการสะท้อนแสง (antireflective coating) หนาประมาณ 800 - 1000 Å สารที่ใช้เคลือบเพื่อต้านการสะท้อนแสงได้แก่ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และแทนทาลัมออกไซด์ (Ta_2O_5) เป็นต้น ถัดจากนั้นจึงนำเซลล์ไปห่อหุ้มให้มีฉนวนเพื่อป้องกันการออกซิเดชัน (oxidation) ของผิวสัมผัสโลหะที่เป็นเหตุให้ผิวสัมผัสโลหะร้อนออกมาทำให้เซลล์เกิดวงจรเปิดขึ้น

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนที่กล่าวข้างต้น เป็นรอยต่อพีเออนแบบ homojunction เพราะสารชนิดพีและสารชนิดเอ็นทำจากซิลิกอนเหมือนกัน โครงสร้างรอยต่อพีเออนของเซลล์แสงอาทิตย์อีกลักษณะหนึ่งอาจใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกัน รอยต่อพีเออนแบบนี้เป็นแบบ heterojunction เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก $\text{CdS}/\text{Cu}_2\text{S}$ เป็นต้น นอกจากโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อพีเออนแล้วยังมีโครงสร้างรอยต่อแบบชนิดกึ่งแบรีเออร์ ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์อาจมีโครงสร้างเป็นลักษณะฟิล์มบาง ซึ่งมีสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นในลักษณะฟิล์มบางสลับกันไปบนฐานวัสดุอื่น ๆ แนวโน้มในอนาคต เซลล์แสงอาทิตย์คงมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

5.4 ลักษณะสมบัติกระแส, แรงดันของเซลล์ไฟฟ้า

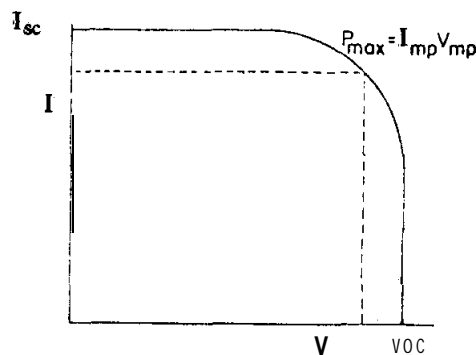
เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแบบรอยต่อพีเออนและรอยต่อแบบชนิดกึ่งแบรีเออร์ ซึ่งมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าคล้ายกับไดโอด ดังนั้นเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์

ไม่ถูกแสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันเช่นเดียวกับไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 5-7 และเมื่อแสงตกกระทบบนรอยต่อพีเอ็น เซลแสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 5-7 จุดที่เส้นโค้งตัดแกนกระแส (I) เรียกว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) และจุดที่เส้นโค้งตัดแกนแรงดันไฟฟ้า (V) เรียกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})



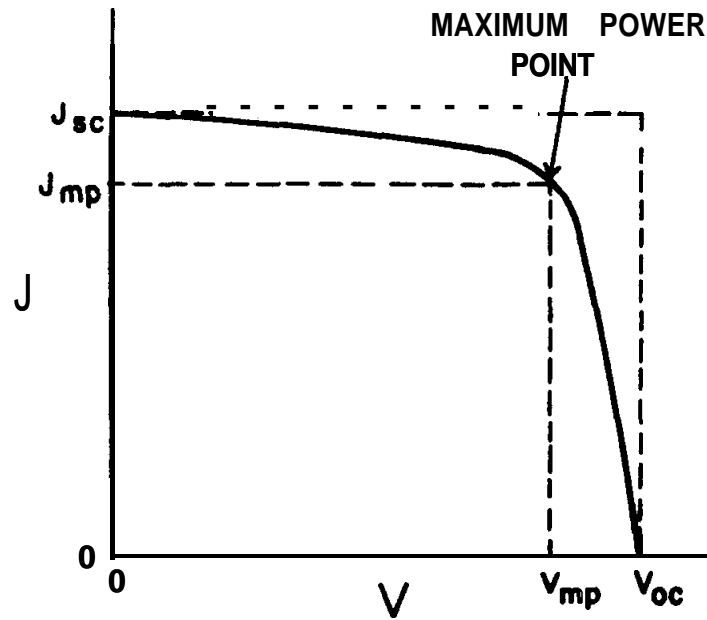
รูปที่ 5-7 แสดงลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปนิยมเขียนลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในจุดภาค (quadrant) ที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5-8 จุด P_{max} บนเส้นโค้งเป็นจุดที่ให้พื้นที่ใต้เส้นโค้งมีค่ามากที่สุด นั่นคือให้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด



รูปที่ 5-8 แสดงลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์ในจุดภาคที่ 1

พารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญแก่เซลล์แสงอาทิตย์ คือ ฟิลล์แฟคเตอร์ (fill factor) F ฟิลล์แฟคเตอร์สามารถหาได้จากลักษณะสมบัติ I-V ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งโดยปกติแล้วเหมือนกับกับเส้นโค้ง J-V เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติมีค่าฟิลล์แฟคเตอร์เท่ากับหนึ่ง ฟิลล์แฟคเตอร์กำหนดได้เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและกระแสไฟฟ้าลัดวงจร หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 5-9



รูปที่ 5-9 แสดงค่าจำกัดความของค่าฟิลล์แฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

$$F = \frac{V_{mp} \times J_{mp}}{V_{oc} \times J_{sc}} \quad (5.1)$$

ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงาน, η กำหนดได้เป็น

$$\eta = \frac{P_L}{P_{in}} \quad (5.2)$$

เมื่อ P_L = กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ให้ออกมา

P_{in} = พลังงานของแสงอาทิตย์ที่ให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ ให้กำลังไฟฟ้าออกมาสูงสุด

$$P_L = v_{mp} \times I_{mp} \quad (5.3)$$

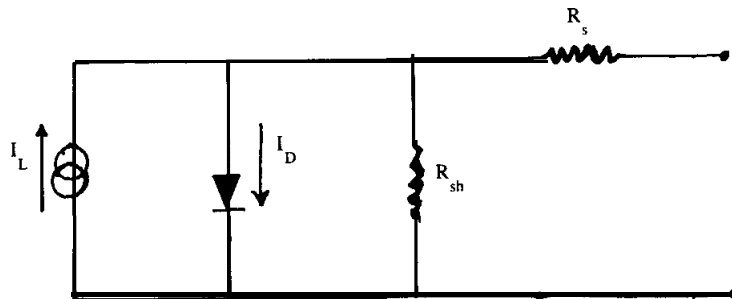
แทนค่า สมการ (5.3) ลงในสมการ (5.2) จะได้

$$\eta = \frac{v_{mp} \times I_{mp}}{P_{in}}$$

$$\text{หรือ } \eta = \frac{v_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times F \times 100\% \quad (5.4)$$

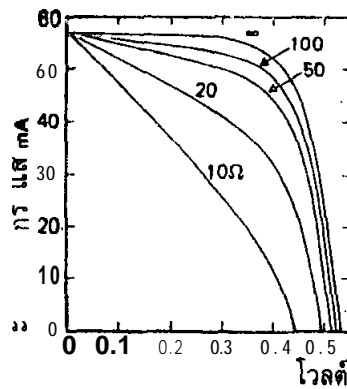
5.5 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ เขียนได้ดังรูปที่ 5-10

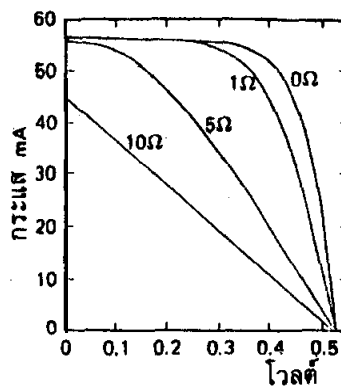


รูปที่ 5-10 แสดงวงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยที่ I_L เป็นกระแสโฟโต (photocurrent) I_D เป็นกระแสไดโอด (diode current) R_{sh} คือความต้านทานชั้นซึ่งเป็นความต้านทานที่เกิดจากสภาพของรอยต่อที่สร้างขึ้น และ R_s คือค่าความต้านทานอนุกรมซึ่งเกิดจากความต้านทานของผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังตลอดถึงความต้านทานของแวนผลึกที่เป็นฐาน และชั้นแพร์ซิมของเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้นควรมีค่า R_{sh} เป็นอนันต์ และ R_s เป็นศูนย์ ผลของความต้านทานชั้นและความต้านทานอนุกรมที่มีต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 5-11 และ รูปที่ 5-12



รูปที่ 5-11 แสดงผลของความต้านทานชั้นที่มีต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5-12 แสดงผลของความต้านทานอนุกรมที่มีต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ดังนั้น การออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความต้านทานอนุกรมต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น

แบบฝึกหัด

1. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงคืออะไร
 2. เซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์โฟโต (photocell) ต่างกันอย่างไร
 3. เหตุใดเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง
 4. จงอธิบายผลของความต้านทานชั้นและความต้านทานอนุกรมที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์
-