

บทที่ 6

เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนและแบบอื่น

ในบทนี้จะกล่าวถึงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนในรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น ซิลิกอนในรูปของผลึกเดี่ยว (single crystal) ผลึกเชิงซ้อน (polycrystal) และอมอर्फัส (amorphous) โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนนี้มีโครงสร้างต่าง ๆ เช่น โครงสร้างแบบรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) แบบช็อตกีย์แบร์ริเออร์ (Schottky barrier) แบบ MIS (metal-insulator-semiconductor) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังกล่าวถึงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์ (gallium arsenide) และแคดเมียมซัลไฟด์ (cadmium sulphide)

6.1 เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอน

เนื่องจากซิลิกอนเป็นธาตุที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในโลกเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น และได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มานานแล้ว เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนนี้มีโครงสร้างต่าง ๆ หลายแบบเพราะได้รับการพัฒนามานานแล้ว และซิลิกอนที่ใช้มีรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่นผลึกเดี่ยว ผลึกเชิงซ้อน เป็นต้น สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบต่าง ๆ

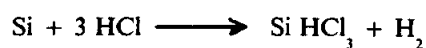
6.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว

ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวนั้น ต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง เทคโนโลยีที่ใช้สำหรับทำเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

เทซิลิกอนจากเตาหลอมลงในรางต้น ๆ ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นทุบซิลิกอนที่เป็นแผ่นแข็งนี้ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ซิลิกอนที่ได้นี้จะมีความบริสุทธิ์ ประมาณ 98-99% โดยที่สารเจือปนส่วนใหญ่คือเหล็กและอลูมิเนียม MG ซิลิกอนนี้เฉลี่ยแล้วขายกันราคาประมาณ 20 บาทต่อน้ำหนักหนึ่ง กิโลกรัม (ราคาในปี ค.ศ. 1977)

2. ซิลิกอนชนิด metallurgical ทำเป็นซิลิกอนชนิดสารกึ่งตัวนำ (Se G ซิลิกอน)

ซิลิกอนที่ใช้ในการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (เช่นใช้ในการผลิตไดโอดทรานซิสเตอร์ วงจรไอซี ฯลฯ) หรือใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ (แบบผลึกเดี่ยว) ต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า MG ซิลิกอน การทำให้ MG ซิลิกอนมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น (เป็น Se G ซิลิกอน) นั้น ใช้เทคนิคทำให้ MG ซิลิกอนอยู่ในรูปของสารประกอบ ไตรโคโลไซเลน (tricholasilane; Si HCl_3) เสียก่อน เพราะไตรโคโลไซเลนมีจุดเดือดต่ำ ประมาณ 31.8°C เท่านั้น จึงง่ายต่อการแยกสารนี้ออกจากสารเจือปนอื่น จากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง กรดเกลือ (HCl) และ MG ซิลิกอน โดยให้ Cu เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) จะได้ไตรโคโลไซเลน ดังสมการ



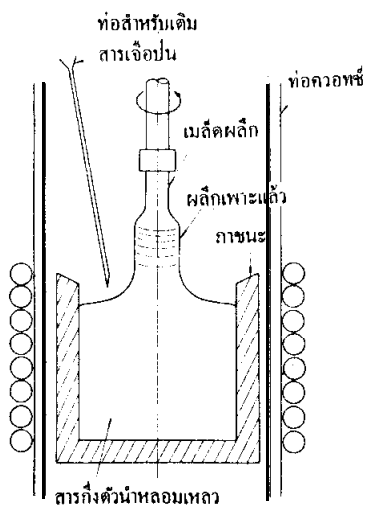
นำก๊าซที่ได้จากสมการข้างต้นผ่านเครื่องควบแน่นจะได้ของเหลว จากนั้นจึงนำของเหลวนี้ไปผ่านเครื่องกลั่นลำดับส่วน จะได้ไตรโคโลไซเลนนั้นที่มีความบริสุทธิ์สูง ในการแยก Se G ซิลิกอนจากไตรโคโลไซเลนนั้น ใช้ปฏิกิริยา reduction ด้วยไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้ใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 100°C ดังสมการ



Se G ซิลิกอนที่ได้นี้จะอยู่ในรูปของผลึกเชิงซ้อน และเฉลี่ยแล้วมีราคาประมาณ 1,300 บาท ต่อน้ำหนักกิโลกรัม

3. ซิลิกอนชนิดสารกึ่งตัวนำทำเป็นแวนผลึกซิลิกอนที่เป็นผลึกเดี่ยว

เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากซิลิกอนมีประสิทธิภาพสูง เราต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง เพราะว่าสารเจือที่เติมลงไปจำนวนเล็กน้อยจะได้มีผลตามที่ต้องการ และอีกประการหนึ่งคือต้องไม่มีการแตกแยกของโครงสร้างผลึก หรือความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างผลึกมีน้อย นั่นคือ ผลึกซิลิกอนต้องเป็นผลึกเดี่ยว แต่จากหัวข้อที่แล้วเราได้ซิลิกอนในรูปผลึกเชิงซ้อน วิธีมาตรฐานวิธีหนึ่งในการผลิตผลึกเดี่ยวคือวิธีการดึงผลึกหรือวิธีของโซราลสกี (Czochralski method) วิธีการนี้จะเป็นการดึงผลึกจากซิลิกอนที่หลอมเหลวโดยอาศัยเม็ดผลึกที่ทราบทิศทางผลึกที่แน่นอน การดึงเม็ดผลึกขึ้นอย่างช้า ๆ นี้ มีผลทำให้เฟสสารเหลวถูกดึงตามขึ้นมาด้วย ทำให้ผลึกเดี่ยวมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยที่ซิลิกอนที่หลอมเหลวนั้นต้องอยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย และเม็ดผลึกต้องมีขนาดใหญ่พอวิธีการดังกล่าวนี้จึงเรียกว่าวิธีดึงผลึก เนื่องจากเราต้องการให้สารเจือมีความหนาแน่นอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นในการดึงผลึกขึ้นไป ต้องมีการหมุนแกนผลึกรอบตัวไปด้วย ดูรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 แสดงอุปกรณ์ดึงผลึก

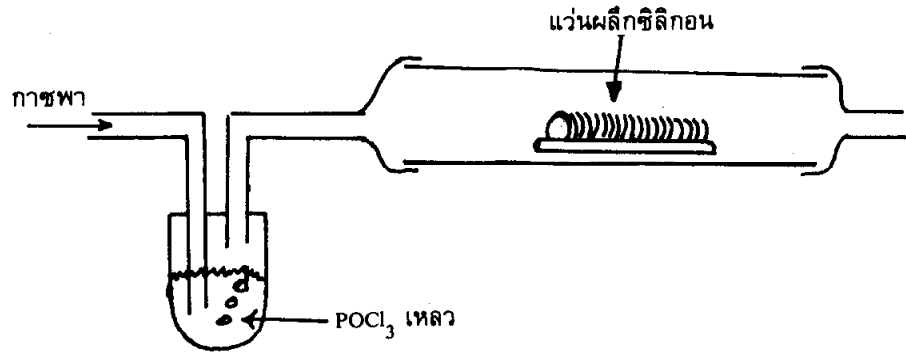
เราต้องควบคุมอัตราการหมุนรอบตัว ความเร็วในการดึงผลึก และอุณหภูมิ โดยทั่วไปอัตราการหมุนรอบตัวมีค่าประมาณ $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{2}$ รอบต่อวินาที และความเร็วในการดึงผลึกจะมีค่าประมาณ $10^{-4} - 3 \times 10^{-2}$ ซม. ต่อวินาที ในการผลิตผลึกเดี่ยวด้วยวิธีนี้ เราจะได้ผลึกเดี่ยวที่

มีชนิด การนำกระแสและความต้านทานจำเพาะตามที่ต้องการได้ โดยการเปลี่ยนชนิดและจำนวนของสารเจือ

ผลึกเดี่ยวซิลิกอนที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 ซม. และยาวประมาณ 1-2 เมตร ในขณะนี้เราจะได้มีซิลิกอนที่เติมสารเจือลงไปแล้ว (อาจเป็นชนิดอนหรือชนิดพีก็ได้) ขั้นตอนต่อไปเราจะตัดท่อนซิลิกอนที่ได้จากการดึงผลึกนี้ ให้เป็นแวนผลึก หนาประมาณ 0.5 - 1.0 มม. กรรมวิธีในการตัดจะใช้ใบเลื่อยซึ่งมีผงเพชรผสมอยู่และหมุนรอบตัวด้วยความเร็วสูง ภายหลังจากตัดแล้วผิวของแวนผลึกจะชำระหมดอันเนื่องจากการขัดสีกับผงเพชรของล้อตัด ดังนั้นกรรมวิธีขั้นตอนต่อไปคือ การขัดผิวแวนผลึกเพื่อกำจัดชั้นที่ชำระ การขัดมักจะใช้ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ซึ่งมีหลายชนิดแล้วแต่ขนาดของเม็ดผง การขัดขั้นแรก ๆ มักจะใช้เม็ดผงหยาบและค่อย ๆ ลดขนาดของเม็ดผงลงในขั้นต่อ ๆ ไปจนกระทั่งถึงขั้นขัดมัน การขัดมันมักจะใช้ผงอลูมินา ขนาดของผงอยู่ในช่วง 0.5 - 0.1 ไมโครเมตร กรรมวิธีการขัดผิวที่กล่าวมานี้เป็นกรรมวิธีแบบกายภาพ ถ้าการกำจัดชั้นชำระไม่อาจจะกำจัดได้โดยวิธีทางกายภาพ จะอาศัยวิธีทางเคมี ซึ่งเรียกว่า กรรมวิธีเอตชิง (etching method) ในขั้นตอนนี้พบว่ามีการสูญเสียผลึกเดี่ยวซิลิกอนจากที่ปลูกผลึกได้เป็นแห่งจนถึงตัดเป็นแวนผลึกบาง ๆ ที่ขัดผิวเรียบร้อยแล้ว ประมาณ 60% และราคาของผลึกเดี่ยวซิลิกอนประมาณ 40,000 บาท ต่อน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัม ด้วยเหตุนี้ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวจึงมีราคาค่อนข้างแพง

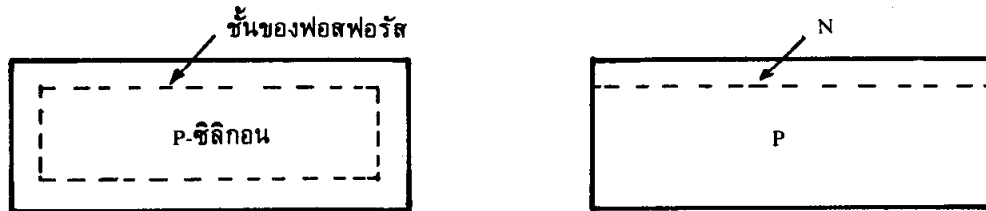
4. แวนผลึกซิลิกอนที่เป็นผลึกเดี่ยวทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

ภายหลังจากการเอตชิงแวนผลึกซิลิกอนเพื่อกำจัดชั้นที่ชำระจากแวนผลึก และทำความสะอาดแล้ว ขั้นตอนต่อไปเราจะเติมสารเจือลงไปบนแวนผลึกเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นขึ้น โดยกรรมวิธีการแพร่สาร ในวิธีการนี้ สารเจือถูกเติมลงสู่แวนผลึกโดยการแพร่ผ่านผิวของแวนผลึกซิลิกอน ซึ่งถูกเผา ณ อุณหภูมิสูง เช่นถ้าให้แวนผลึกเป็นสารชนิดพี สารเจือที่เติมในขั้นตอนนี้ คือฟอสฟอรัส ซึ่งจะแพร่สารด้วย POCl_3 ดังรูปที่ 6-3



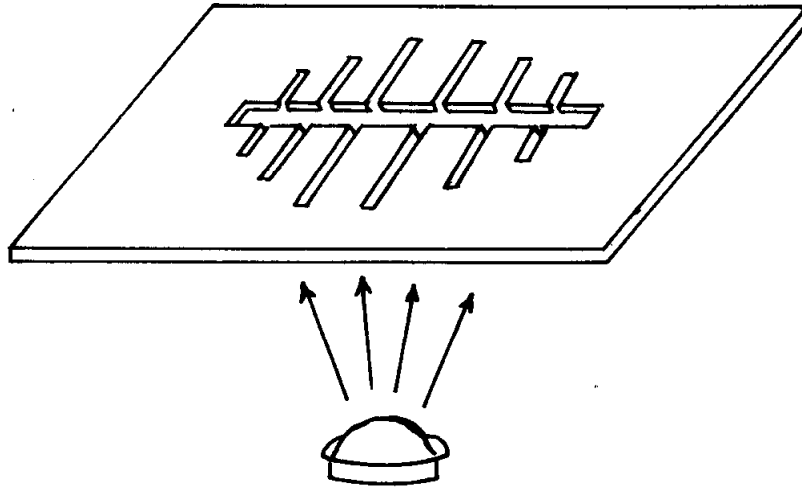
รูปที่ 6-3 แสดงการเติมสารเจือฟอสฟอรัสด้วยวิธีแพร่สาร

สารเจือนี้จะแพร่ซึมแวนผลึกซิลิกอนโดยรอบ ดังรูปที่ 6-4 ก. จากนั้นจะใช้วิธีการเอตซิง เพื่อกัดสารเจือส่วนที่เกินที่ผิวออกไป ดังรูปที่ 6-4 ข.



รูปที่ 6-4 แสดงการกระจายของสารเจือฟอสฟอรัส (ก) หลังจากแพร่สารแล้ว (ข) หลังจากการเอตซิงด้านหลังและด้านข้างออกแล้ว

ขั้นตอนต่อไปจะสร้างผิวสัมผัสโลหะ (metal contact) กับรอยต่อพีเอ็น ทั้งด้านชนิดพีและชนิดเอ็น วิธีการมาตรฐานที่ส่วนมากใช้กันอยู่ คือการฉาบไอโลหะภายใต้สุญญากาศ (vacuum evaporation) ด้านหลังของเซลล์จะฉาบไอโลหะตลอดทั้งหมด สำหรับด้านหน้าของเซลล์ซึ่งรับแสงอาทิตย์ การฉาบไอโลหะจะทำเป็นรูปนิ้วมือ หรือเป็นตะแกรง โดยใส่หน้ากากปิดแวนผลึกไว้ขณะที่ทำการฉาบไอ ดูรูปที่ 6-5



รูปที่ 6-5 แสดงการฉาบไอโลหะเป็นรูปตะแกรง

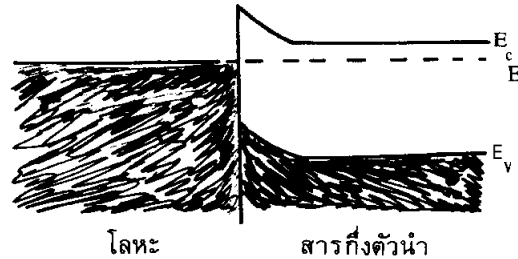
เมื่อทำขั้วโลหะทั้งสองด้านของแวนผลึกแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการเคลือบด้านหน้าของแวนผลึกด้วยสารด้านการสะท้อนแสง (AR coating) โดยใช้กรรมวิธีการฉาบไอเช่นกัน แวนผลึกที่ได้ในขั้นนี้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์เกือบสมบูรณ์แล้วเหลือแต่เพียงการห่อหุ้ม (encapsulation) ตัวเซลล์เท่านั้น

5. การห่อหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนสุดท้ายของการทำเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การห่อหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าถึงตัวเซลล์ โดยปกติแล้วจะนำเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์มาต่อกันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า เช่น 6, 9 หรือ 12 โวลต์ เป็นต้น เป็นแผง (module) ของเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วจึงนำแผงของเซลล์แสงอาทิตย์นี้ไปทำการห่อหุ้ม วัสดุที่ใช้ทำการห่อหุ้มเซลล์ ต้องเป็นวัสดุที่ยอมให้แสงทะลุผ่านเข้าไปถึงเซลล์ได้ และทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี วัสดุที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือแก้ว

6.1.2 เซลแสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบชนิดกึ่งแบริเออร์

เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบชนิดกึ่งแบริเออร์มีโครงสร้างเป็นรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ (ใช้ซิลิกอน) เมื่อสร้างรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำแล้วจะเกิดการโค้งงอของแถบพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 6-6



รูปที่ 6-6 แสดงพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

การโค้งงอของแถบพลังงานในสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากความแตกต่างของ work function ระหว่างโลหะ (ϕ_m) และสารกึ่งตัวนำ (ϕ_s) ในทางปฏิบัติแล้วพบว่าผิวสัมผัสรอยต่อแบบชนิดกึ่งแบริเออร์นี้ ถูกกำหนดโดย surface state ที่บริเวณรอยต่อ

เซลล์แสงอาทิตย์แบบชนิดกึ่งแบริเออร์นี้สร้างขึ้นได้ง่าย ๆ กล่าวคือ ใช้วิธีการฉาบโอโลหะลงไปในสารกึ่งตัวนำที่เดิมสารเจือแล้ว จะได้รอยต่อแบบชนิดกึ่งแบริเออร์ขึ้น เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบรอยต่อแบริเออร์จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลขึ้นในบริเวณรอยต่อนี้ สนามไฟฟ้าในบริเวณแถบพลังงานที่โค้งงอนี้จะทำให้อิเล็กตรอน โฮลที่เกิดขึ้นไหลไปคนละทางทำให้เกิดกระแสไฟโตขึ้นได้

6.1.3 เซลแสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบ MIS (metal-insulator-semiconductor)

เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบ MIS นี้มีลักษณะคล้ายกับแบบชนิดกึ่งแบริเออร์เพียงแต่ระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำนี้มีชั้นของฉนวนสอดแทรกอยู่ ชั้นของฉนวนที่สอดแทรกอยู่นี้บางมากอยู่ในลำดับของ 10 \AA เพื่อให้กระแสพาหะทะลุผ่านไปได้โดยอาศัยปรากฏการณ์ tunneling รูปที่ 6-7 แสดงแถบพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ MIS

