

หน่วยที่ 1

สารกึ่งตัวนำและไดโอด

สาระสำคัญ

สารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) หมายถึง วัสดุหรือสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างความเป็นตัวนำและฉนวน สารกึ่งตัวนำที่เรานิยมนำมาใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ ได้แก่ ซีลีคอนและเจอร์เมเนียม เมื่อใดที่เรานำสารกึ่งตัวนำมาทำให้เกิดรอยต่อ P-N ขึ้นจะได้ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ P-N ที่ถูกเรียกว่า ไดโอด (Diode) โดยหน้าที่ไดโอดจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้เพียงทิศทางเดียว ซึ่งไดโอดจะนำกระแสเมื่อถูกต่อวงจรในลักษณะไบแอสตรง (Forward bias) และมันจะกั้นกระแสเมื่อถูกต่อวงจรในลักษณะไบแอสกลับ (Reverse bias) เราจึงนำคุณลักษณะดังกล่าวของไดโอดไปใช้งานในวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

เรื่องที่จะศึกษา

- 1.1 บทนำ
- 1.2 โครงสร้างพื้นฐานทางอะตอมของสารกึ่งตัวนำ
- 1.3 วงโคจรอิเล็กทรอนิกส์
- 1.4 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์
- 1.5 สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์
 - 1.5.1 สารกึ่งตัวนำชนิด N (N - type semi -conductor)
 - 1.5.2 สารกึ่งตัวนำชนิด P (P - type semi -conductor)
- 1.6 ไดโอด
- 1.7 การไบแอสไดโอด
 - 1.7.1 การไบแอสตรง (Forward bias)
 - 1.7.2 การไบแอสกลับ (Reverse bias)
- 1.8 คุณลักษณะของไดโอด
- 1.9 การตรวจสอบไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์

จุดประสงค์การสอน

1. จุดประสงค์ทั่วไป

1.1 เพื่อให้นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ โครงสร้างพื้นฐานทางอะตอมของสารกึ่งตัวนำ

1.2 เพื่อให้นักเรียน มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ โครงสร้าง สัญลักษณ์และคุณลักษณะของไดโอดทั้งชนิดซิลิกอนและเจอร์เมเนียมตลอดถึงวิธีการตรวจสอบไดโอด

1.3 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการต่อวงจรเพื่อหาคุณลักษณะของไดโอด

1.4 เพื่อให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำและไดโอด ทั้งในด้านการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัดและรู้คุณค่า

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

2.1 บอกลักษณะโครงสร้างพื้นฐานทางอะตอมของสารกึ่งตัวนำได้

2.2 คำนวณหาจำนวนอิเล็กตรอนแต่ละวงโคจรอิเล็กตรอนได้

2.3 บอกความหมายของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์และสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ได้

2.4 บอกโครงสร้าง สัญลักษณ์ของไดโอดสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ P-N ได้

2.5 บอกลักษณะการไบแอสไดโอดได้

2.6 บอกคุณลักษณะของไดโอดชนิดรอยต่อ P-N ได้

2.7 บอกวิธีการตรวจสอบไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์ได้

2.8 สามารถต่อวงจรการทดลองหาคุณลักษณะของไดโอดได้

คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

1.1 บทนำ

สารกึ่งตัวนำ(Semi – conductor) หมายถึง วัสดุหรือสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างความเป็นตัวนำไฟฟ้า(Conductor) และฉนวนไฟฟ้า(Insulator) นิยมนำมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอดชนิดรอยต่อ P-N ทรานซิสเตอร์ เฟด เป็นต้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำจะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย ไม่มีส่วนที่เป็นหน้าสัมผัส(Contact) ทนต่อแรงสั่นสะเทือน ตลอดจนยังมีอายุการใช้งานยาวนาน ดังนั้นเราจึงเรียกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำในภาพรวมว่า “โซลิดสเตต” (Solid-state)

1.2 โครงสร้างพื้นฐานทางอะตอมของสารกึ่งตัวนำ

โดยทั่วไปแล้วสารสามารถแบ่งคุณสมบัติทางไฟฟ้าออกได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

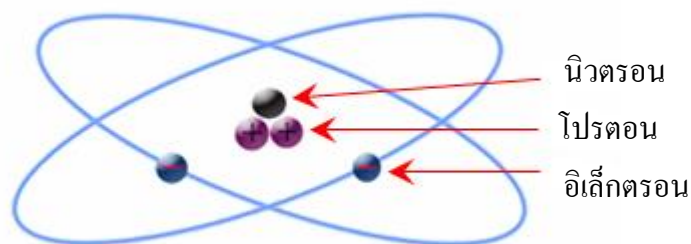
สารตัวนำไฟฟ้า หมายถึง วัสดุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน จำนวน 1 – 3 ตัว ได้แก่ เงิน ทองคำ ทองแดง อะลูมิเนียม เหล็ก สังกะสี ฯลฯ

สารกึ่งตัวนำไฟฟ้า หมายถึง วัสดุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 4 ตัว ที่พบโดยทั่วไปได้แก่ ซิลิกอน เจอร์เมเนียม ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น นำมาสร้างเป็น ไดโอด ทรานซิสเตอร์

สารฉนวนไฟฟ้า หมายถึง วัสดุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 5 – 8 ตัว ได้แก่ วัสดุจำพวก ไมก้า แก้ว พลาสติก ไม้แห้ง ฯลฯ

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะสารกึ่งตัวนำ

สารในธรรมชาติโดยทั่วไปประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ที่เรียกว่าอะตอม(Atom) และในโครงสร้างของอะตอมโดยทั่วไป ประกอบด้วยนิวเคลียส(Nucleus) หรือแกนกลางและอิเล็กตรอน(Electron) โดยภายในนิวเคลียสจะมีนิวตรอน(Neutron) ซึ่งมีอนุภาคทางไฟฟ้าเป็นกลาง และโปรตอน(Proton) ซึ่งมีอนุภาคทางไฟฟ้าเป็นประจุไฟฟ้าบวกอยู่รวมกัน ในโปรตอนหนึ่งตัวจะมีค่าประจุไฟฟ้าเท่ากับอิเล็กตรอน คือ 1.6×10^{-19} คูลอมป์ (Coulomb) ส่วนของอิเล็กตรอนซึ่งมีอนุภาคทางไฟฟ้าเป็นประจุไฟฟ้าลบจะวิ่งวนอยู่รอบ ๆ นิวเคลียส ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างพื้นฐานของอะตอม

อะตอมของสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกัน จะประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีอิเล็กตรอนวิ่งวนอยู่รอบนิวเคลียสนั้น ด้วยเหตุที่สารทุกชนิดจะต้องประกอบขึ้นด้วยอะตอมจำนวนมากมาย และอะตอมเหล่านี้จะถูกแบ่ง สร้างขึ้น หรือทำให้สูญสลายไปไม่ได้ ชนิดของอะตอมจึงขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ซึ่งอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และมีมวลเหมือนกัน อะตอมของธาตุสองชนิดขึ้นไปถ้ารวมตัวกันทางเคมีในจำนวนอะตอมที่แน่นอนแล้ว จะได้สิ่งที่เกิดขึ้นใหม่เรียกว่า “สารประกอบ” (Compound)

1.3 วงโคจรอิเล็กตรอน

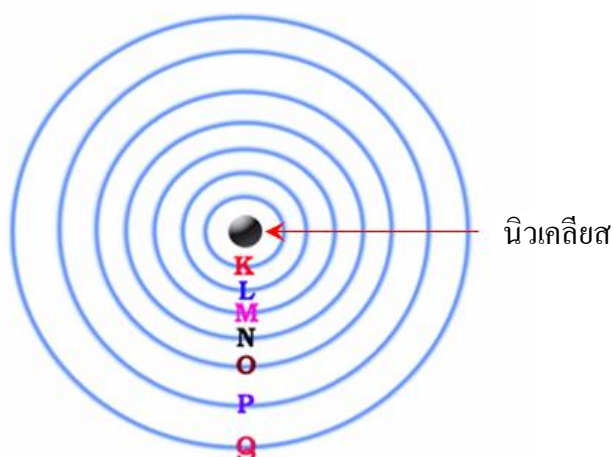
จำนวนของอิเล็กตรอนที่วิ่งหรือโคจรรอบ ๆ นิวเคลียส จะโคจรเป็นวง ๆ (Shell) ซึ่งในแต่ละวงโคจรจะมีจำนวนอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน เราสามารถหาจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรได้จากสูตร $2n^2$ ทั้งนี้อิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมีระดับพลังงานที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับค่า n ซึ่ง n จะเป็นตัวเลขที่บอกถึงลำดับวงโคจรแต่ละวง ที่จะทำให้เราสามารถหาจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรได้ดังนี้

วง K จะมีค่า $n = 1$ จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในวง K เท่ากับ $2n^2 = 2(1)^2 = 2$ ตัว

วง L จะมีค่า $n = 2$ จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในวง L เท่ากับ $2n^2 = 2(2)^2 = 8$ ตัว

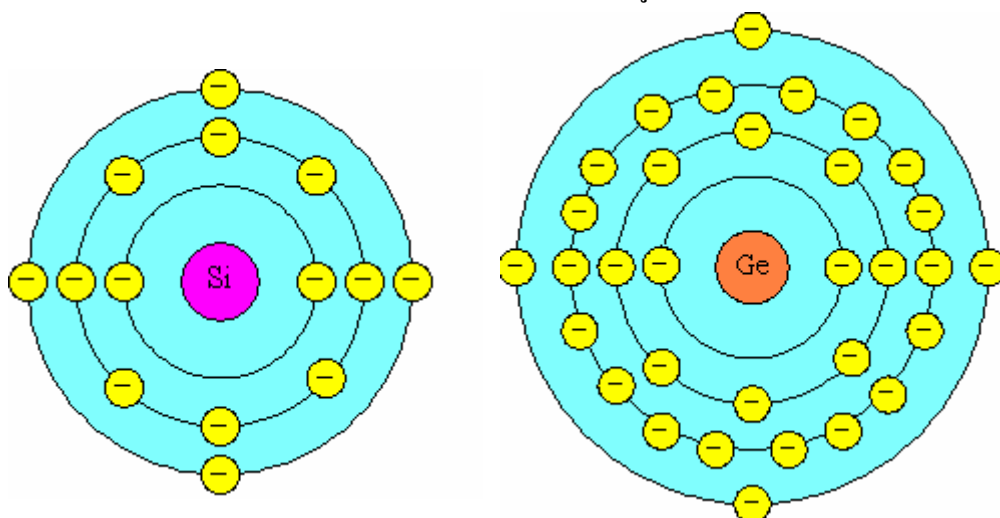
วง M จะมีค่า $n = 3$ จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดในวง M เท่ากับ $2n^2 = 2(3)^2 = 18$ ตัว

ในการคำนวณจำนวนอิเล็กตรอนในวงต่อ ๆ ไป ก็จะหาได้เช่นเดียวกับการใช้สูตรตามที่หาในวงดังกล่าวข้างต้น เพียงแต่จะต้องใช้ค่า n ตามค่า n ของวงนั้น ๆ คือ ในวง N จะมีค่า $n = 4$ วง O มีค่า $n = 5$ วง P มีค่า $n = 6$ และวง Q มีค่า $n = 7$ ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 วงโคจรต่าง ๆ ของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส

อิเล็กตรอนในวง K แม้จะมีเพียงแค่ 2 ตัว แต่อยู่ใกล้มาก ดังนั้นการที่จะดึงเอาอิเล็กตรอนวง K ออกมาใช้งาน จะต้องใช้พลังงานมากที่สุด การจะนำอิเล็กตรอนมาใช้งานจึงจำเป็นต้องดึงอิเล็กตรอนจากวงโคจรนอกสุดมาใช้ โดยอิเล็กตรอนวงโคจรนอกสุดจะมีได้ไม่เกิน 8 ตัว เราเรียกอิเล็กตรอนที่โคจรอยู่นอกสุดนี้ว่า “วาเลนซ์อิเล็กตรอน” (Valence electron) สำหรับอิเล็กตรอนวงโคจรนอกสุดของสารกึ่งตัวนำจะมี 4 ตัว เช่น ซิลิกอน (Silicon) มีจำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมด 14 ตัว เจอร์เมเนียม (Germanium) มีจำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมด 32 ตัว เราสามารถพิจารณาวงโคจรอิเล็กตรอนของซิลิกอนและเจอร์เมเนียมในแต่ละวงโคจรได้ดังรูปที่ 1.3



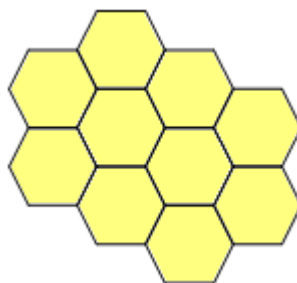
ก) วงโคจรอิเล็กตรอนของซิลิกอน

ข) วงโคจรอิเล็กตรอนของเจอร์เมเนียม

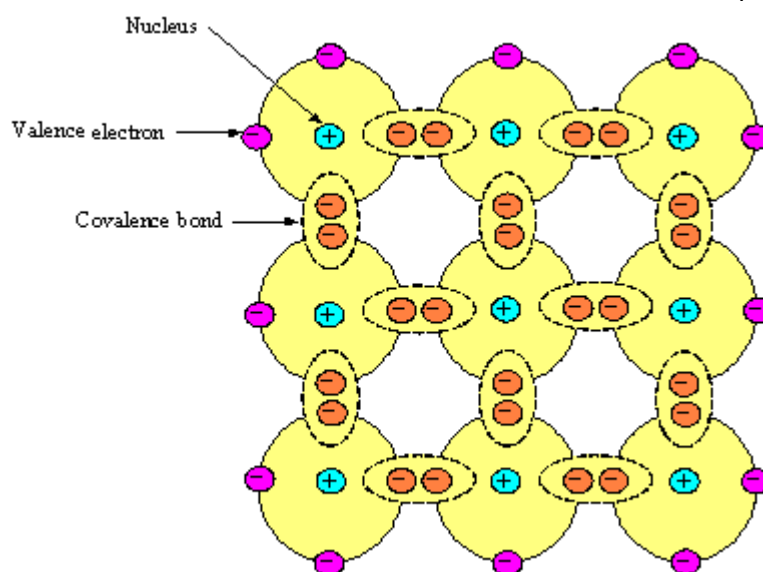
รูปที่ 1.3 วงโคจรอิเล็กตรอนของซิลิกอนและเจอร์เมเนียม

1.4 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic semi - conductor)

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ คือ สารหรือธาตุที่ไม่ได้มีการเติมสารเจือปน (Doping) ใด ๆ ลงไป สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ส่วนใหญ่ทำมาจากซิลิกอน เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไอซี ซึ่งในความเป็นจริงแล้วธาตุหรือสารแต่ละชนิดจะมีจำนวนอะตอมยึดติดกันอยู่เป็นจำนวนมากมายมหาศาล การที่มันยึดติดกันได้ก็คือจะยึดติดกันเป็นผลึก(Crystal) โดยการแชร์ (Share) หรือเป็นการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกัน เพื่อที่จะทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดครบ 8 ตัว อันจะทำให้อะตอมมีเสถียรภาพ การยึดกันเป็นผลึกของอะตอมถูกเรียกว่า “พันธะโควาเลนต์” (Covalence bond) จากการที่ซิลิกอนมีจำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมด 14 ตัว และเจอร์เมเนียมมีจำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมด 32 ตัว ทำให้มันมีอิเล็กตรอนที่วงโคจรนอกสุด 4 ตัว เหมือนกัน อันเป็นคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งโดยปกติแล้ว อะตอมของสารกึ่งตัวนำซิลิกอนและเจอร์เมเนียมที่บริสุทธิ์จะยึดกันเป็นผลึกและใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.4



ก) การยึดกันเป็นผลึกของอะตอมของซิลิกอนและเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์



ข) การยึดกันแบบพันธะโควาเลนต์

รูปที่ 1.4 การยึดกันของอะตอมของสารกึ่งตัวนำซิลิกอนและเจอร์เมเนียม

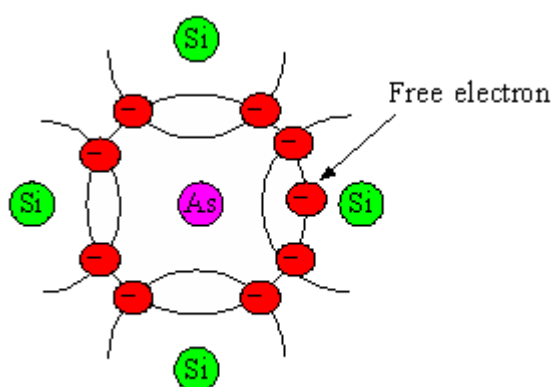
จากรูปที่ 1.4 ก) เป็นการแสดงการยึดกันของอะตอมแต่ละอะตอมจำนวนมากมายวมหาศาล ที่ยึดเหนี่ยวกันอย่างหนาแน่นในลักษณะเป็นผลึก และเมื่อพิจารณาต่อไปในรูปที่ 1.4 ข) จะเห็นว่าเมื่อแยกแต่ละอะตอมมาพิจารณา อิเล็กตรอนในแต่ละอะตอมที่อยู่วงโคจรนอกสุด จะใช้อิเล็กตรอนร่วมกันจนดูเหมือนว่ามีอิเล็กตรอนวงโคจรนอกสุดครบ 8 ตัว สถานะนี้บ่งบอกได้ว่าสารกึ่งตัวนำซิลิกอนหรือเจอร์เมเนียม ยังเป็นสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์อยู่และมีคุณสมบัติการเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี

1.5 สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic semi-conductor)

สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ คือ ซิลิกอน หรือเจอร์เมเนียม ที่ผ่านการโด๊ป ซึ่งก็คือ การเติมอะตอมของสารเจือปน(Impurity)บางอย่างลงไป โดยเราจะทำการเลือกอะตอมของสารเจือปนที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 หรือ 5 ตัว เติมลงในสารกึ่งตัวนำด้วยอัตราส่วน $10^8:1$ (สารกึ่งตัวนำ 10^8 ส่วน สารเจือปน 1 ส่วน) จะทำให้ได้สารกึ่งตัวนำใหม่ขึ้นมาเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P

1.5.1 สารกึ่งตัวนำชนิด N (N - type semi -conductor)

สารกึ่งตัวนำชนิด N เกิดจากการเติมอะตอมของสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus ,P) สารหนู (Arsenic ,As) พลวง (Antimony) อย่างใดอย่างหนึ่งลงไป ในซิลิกอนหรือเจอร์เมเนียม

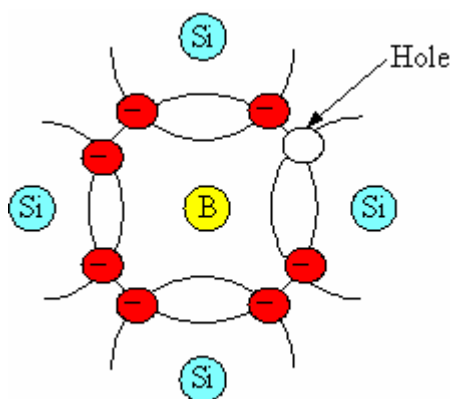


รูปที่ 1.5 การเติมอะตอมของสารหนูลงในสารซิลิกอนทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิด N

จากรูปที่ 1.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อเราทำการเติมอะตอมของสารหนูลงในสารซิลิกอน จะทำให้มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนอีก 1 ตัว ที่ไม่สามารถจับตัวกับอะตอมข้างเคียงได้ เรียกอิเล็กตรอนตัวที่เกินมา1 ตัวนี้ว่า “อิเล็กตรอนอิสระ” (Free electron) ซึ่งมันจะทำการแสดงประจุไฟฟ้าลบออกมา ดังนั้นสารกึ่งตัวนำชนิด N จึงมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมาก(Majority carriers) และมีโปรตอนเป็นพาหะข้างน้อย(Minority carriers)

1.5.2 สารกึ่งตัวนำชนิด P (P - type semi-conductor)

สารกึ่งตัวนำชนิด P เกิดจากการเติมอะตอมของสารเจือปน ที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เช่น โบรอน(Boron , B) อลูมิเนียม(Aluminium , Al) แกลเลียม(Gallium , Ga) อินเดียม (Indium , In) อย่างใดอย่างหนึ่งลงในซิลิกอนหรือเจอร์เมเนียม

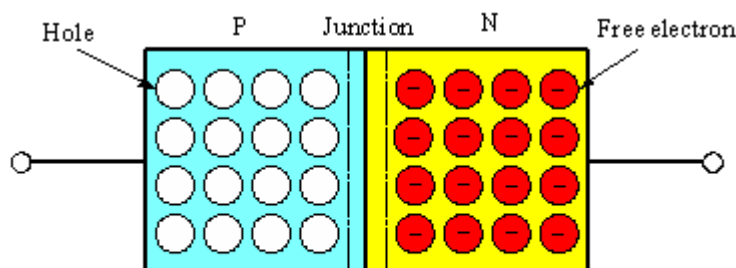


รูปที่ 1.6 การเติมอะตอมของโบรอนลงในสารซิลิกอนทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิด P

จากรูปที่ 1.6 เมื่อเราทำการเติมอะตอมของสารโบรอนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัวลงในสารซิลิกอน จะเป็นผลทำให้ได้วาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารซิลิกอนไม่ครบ 8 ตัว ขาดไป 1 ตัว ส่วนที่ขาดอิเล็กตรอนนี้จะเป็นพื้นที่ว่าง เรียกว่า โฮล(Hole) หมายถึง หลุมหรือรู โดยโฮลนี้สามารถจะรับอิเล็กตรอนตัวที่อยู่ใกล้เคียงที่ได้รับพลังงานเพียงพอให้เข้ามาอยู่แทนที่โฮลได้ ดังนั้นสารกึ่งตัวนำชนิด P จึงมีโฮลเป็นพาหะข้างมากและมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างน้อย

1.6 ไดโอด (Diode)

ไดโอด จัดเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำจำพวกซิลิกอน หรือเจอร์เมเนียม อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำซิลิกอน ก็จะนำเอาสารกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิด P และ N มาต่อชนกัน โดยจะใช้วิธีการปลูกผลึกหรือวิธีการแพร่สารเจือปนลงไปในแท่งสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ให้ด้านหนึ่งเป็นสารชนิด P และอีกด้านหนึ่งเป็นสารชนิด N สิ่งที่ได้จะกลายเป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไดโอดชนิดรอยต่อ P-N (P – N junction diode) คุณสมบัติที่ได้ของไดโอดก็คือมันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้เพียงทิศทางเดียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการจับไบแอสให้แก่ตัวมัน



รูปที่ 1.7 โครงสร้างของไดโอดชนิดรอยต่อ P-N

รูปที่ 1.7 เป็นโครงสร้างของไดโอดชนิดรอยต่อ P – N จากการที่สารกึ่งตัวนำชนิด P มีโฮลเป็นพาหะข้างมาก (Majority carrier) และในขณะเดียวกันก็มีอิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) เป็นพาหะข้างน้อย (Minority carrier) ซึ่งโดยปกติแล้วโฮลเป็นเพียงพื้นที่ว่างในสารชนิด P แต่มันสามารถรับอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ใกล้เข้ามาแทนที่ตัวมันได้ เราจึงเปรียบโฮลเสมือนเป็นประจุไฟฟ้าบวกซึ่งความจริงไม่ใช่ ขณะเดียวกันที่สารกึ่งตัวนำชนิด N จะมีอิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะข้างมาก และมีโฮลเป็นพาหะข้างน้อย นั่นคือสารกึ่งตัวนำด้าน N จะมีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าโฮล เมื่อนำสาร P และ N มาต่อกันจะทำให้ได้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า “ไดโอด” (Diode) โดยมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 1.8



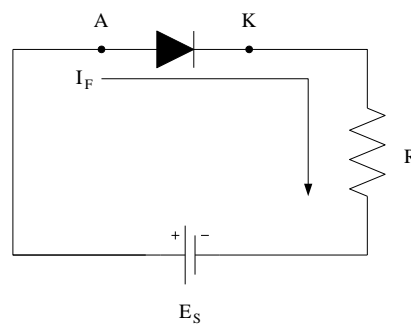
รูปที่ 1.8 สัญลักษณ์ของไดโอด

จากรูปที่ 1.8 เป็นสัญลักษณ์ของไดโอด จะเห็นได้ว่ามีขาสำหรับต่อใช้งาน 2 ขา ขาที่อยู่ด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P เรียกว่า แอโนด (Anode; A) และขาที่อยู่ด้านสารกึ่งตัวนำชนิด N เรียกว่า แคโทด (Cathode; K)

1.7 การไบแอสไดโอด

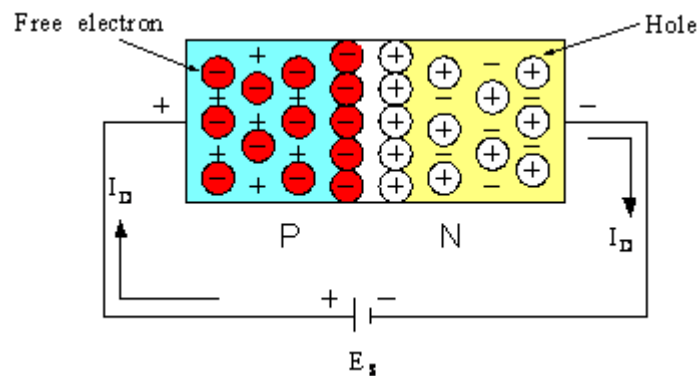
การจะนำไดโอดไปใช้งานนั้น จะต้องต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับไดโอด เรียกว่า การไบแอส (Bias) ซึ่งการไบแอสจะมี 2 ลักษณะคือ การไบแอสตรง (Forward bias) และการไบแอสกลับ (Reverse bias)

1.7.1 การไบแอสตรง (Forward bias)



รูปที่ 1.9 การให้ไบแอสตรง (Forward bias) แก่ไดโอด

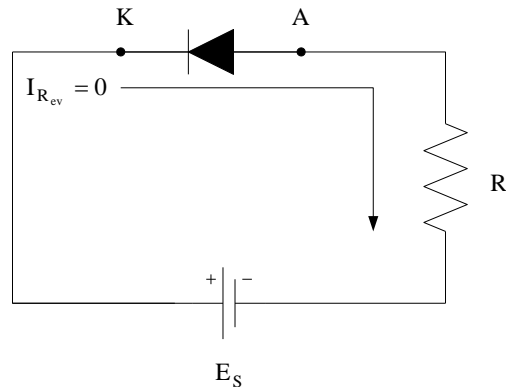
พิจารณารูปที่ 1.9 เป็นการไบแอสตรงให้แก่ไดโอด คือ การต่อวงจรไดโอดให้ด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P หรือขั้วแอโนด ต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายเทียบกับด้านสารกึ่งตัวนำชนิด N หรือขั้วแคโทด เป็นผลให้ขั้วโพลบวกของแหล่งจ่ายไปผลักอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิด N ให้วิ่งข้ามรอยต่อเข้าไปรวมกับโฮลด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P ขณะเดียวกันขั้วโพลบวกที่สารชนิด P ก็ดึงดูดอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่เข้ามาหา เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้ามา มันก็จะทิ้งพื้นที่ว่างหรือหลุมไว้ จึงเสมือนว่าเกิดการเคลื่อนที่ของโฮลสวนทางกับอิเล็กตรอน ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดการไหลของกระแสในวงจรขณะไบแอสตรง (I_F) ซึ่งในขณะนี้จะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ขา A - K ของเยอรมันเนียมไดโอดประมาณ 0.2 V และสำหรับซิลิกอนไดโอด จะมีค่าประมาณ 0.6 V ดังแสดงในรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 การเคลื่อนที่ของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระขณะไบแอสตรง

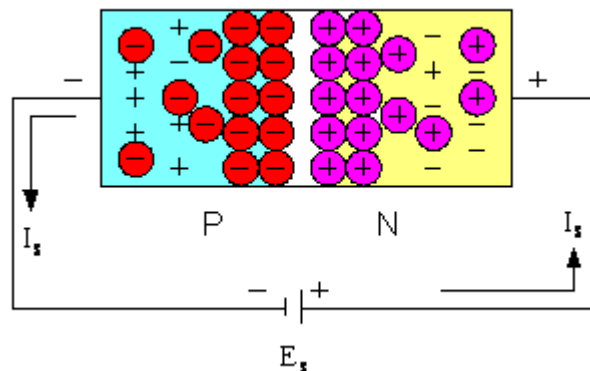
จากรูปที่ 1.10 จะเห็นว่า พาหะหรือประจุข้างมากที่มีอยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด P คือโฮล และในสารกึ่งตัวนำชนิด N คืออิเล็กตรอนอิสระ เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N มาต่อชนกัน อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิด N จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด P ในขณะที่โฮลจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ก็จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อสวนทางไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิดการแพร่(Diffusion) ซึ่งมันจะเกิดขึ้นไปจนกระทั่งรอยต่อด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P มีการสะสมอิเล็กตรอนมากขึ้น จนถึงขั้นมากพอที่จะผลักอิเล็กตรอนตัวอื่นไม่ให้ข้ามรอยต่ออีกต่อไป โฮลก็จะหยุดการเคลื่อนที่ไปด้วย ดังนั้น ที่ตรงบริเวณรอยต่อ จะเกิดสนามไฟฟ้าเล็ก ๆ ขึ้นมาคอยขัดขวางการเคลื่อนที่ของโฮลและอิเล็กตรอน เรียกรอยต่อช่วงนี้ว่า Depletion region หรือ Potential junction เมื่อทำการต่อขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P และต่อขั้วลบเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งเป็นลักษณะการให้ไบแอสตรง ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แบตเตอรี่มีค่ามากกว่าค่าที่ Potential junction กระแสไฟฟ้าจะสามารถไหลผ่านรอยต่อ P-N ไปได้ โดยค่าของประจุบวกจากแบตเตอรี่จะผลักดันโฮลให้เคลื่อนที่ไปทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิด N ในขณะที่ขั้วลบจากแบตเตอรี่ ก็จะผลักดันอิเล็กตรอนอิสระให้เคลื่อนที่ไปยังด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P เช่นกัน ผลที่เกิดขึ้นก็คือช่องว่างระหว่างรอยต่อ P-N จะแคบลง เรียกว่าเกิดการ Recombination การเคลื่อนที่ของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระในลักษณะนี้คือการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างกัน อิเล็กตรอนจะวิ่งต่อไปยังขั้วบวกของแบตเตอรี่และโฮลก็จะเคลื่อนที่ไปหาขั้วลบของแบตเตอรี่เช่นกัน เรียกการไหลของกระแสแบบนี้ว่า การไหลสองทิศทาง(Bi-polar)

1.7.2 การไบแอสกลับ (Reverse bias)



รูปที่ 1.11 การให้ไบแอสกลับ (Reverse bias) แก่ไดโอด

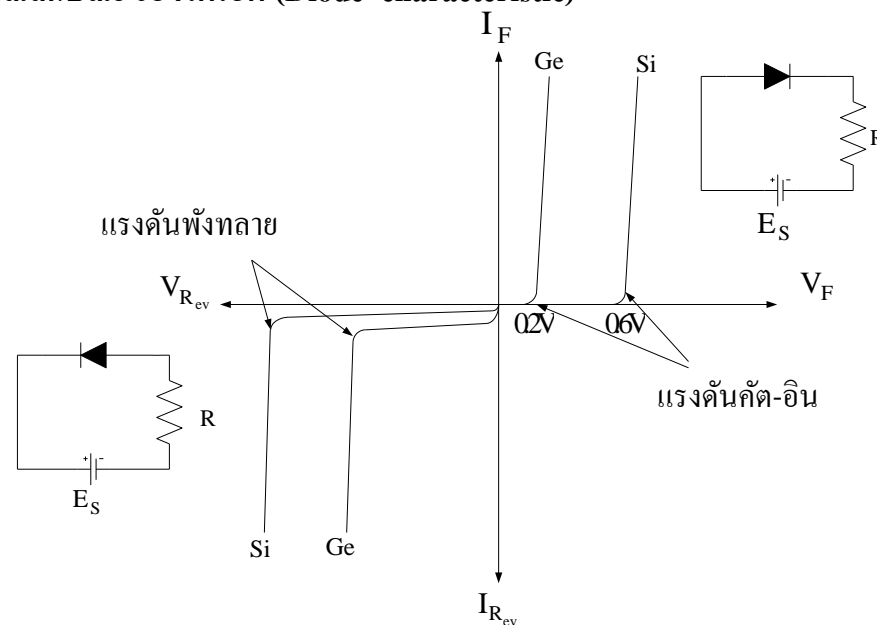
พิจารณารูปที่ 1.11 เป็นการให้ไบแอสกลับแก่ไดโอด เป็นการต่อแหล่งจ่ายด้านไฟบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด N หรือขั้วแคโทด เทียบกับสารกึ่งตัวนำชนิด P หรือด้านแอโนด ลักษณะเช่นนี้ ศักย์ไฟบวกที่ขั้วแคโทดจะดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระให้ห่างรอยต่อ ส่วนศักย์ไฟลบที่ขั้วแอโนดจะเสมือนดึงโฮลให้ออกห่างจากรอยต่อเช่นกันทำให้บริเวณรอยต่อมีพื้นที่กว้างมากขึ้น อิเล็กตรอนไม่สามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปได้ กระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถวิ่งผ่านไดโอดเพื่อครบวงจรได้ อย่างไรก็ตามจะมีกระแสค่าเล็ก ๆ ในช่วงนาโนแอมแปร์ (nA) ไหลผ่านข้ามรอยต่อได้บ้างเพียงเล็กน้อย เรียกกระแสนี้ว่า “กระแสรั่วไหล”(Leakage current) ซึ่งโดยปกติแล้วค่ากระแสรั่วไหลของเยอรมันเนียมไดโอดจะมีมากกว่าซิลิกอนไดโอด



รูปที่ 1.12 การเคลื่อนที่ของโฮลและอิเล็กตรอนขณะไบแอสกลับ

จากรูปที่ 1.12 เมื่อต่อขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด N และต่อขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปเสริมกับค่า Potential junction ส่งผลให้ช่วงของ Depletion region ขยายกว้างมากขึ้น อิเล็กตรอนอิสระจึงไม่สามารถข้ามรอยต่อไปทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P ได้ ในขณะที่โฮลก็จะไม่สามารถข้ามรอยต่อจากด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P ไปยังด้านสารกึ่งตัวนำชนิด N ได้เช่นกัน เมื่อพิจารณาขั้วบวกของแบตเตอรี่ที่ต่ออยู่ที่ด้านสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่มีอิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะหรือประจุข้างมาก ลักษณะเช่นนี้อิเล็กตรอนอิสระ จะถูกดึงออกจากรอยต่อตามแรงดึงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ ทำนองเดียวกัน โฮลก็จะเคลื่อนที่ออกจากรอยต่อ ตามแรงดึงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วลบของแบตเตอรี่เช่นกัน ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างรอยต่อ P-N กว้างมากขึ้นกระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถผ่านรอยต่อเข้าหากันได้เลย จะมีก็แต่เพียงกระแสรั่วไหล (Leakage current, I_S) ซึ่งมีค่าน้อยมาก ๆ ไม่สามารถนำไปใช้งานได้เท่าที่ควร

1.8 คุณสมบัติของไดโอด (Diode characteristic)



รูปที่ 1.13 กราฟลักษณะสมบัติของไดโอดรอยต่อ P - N

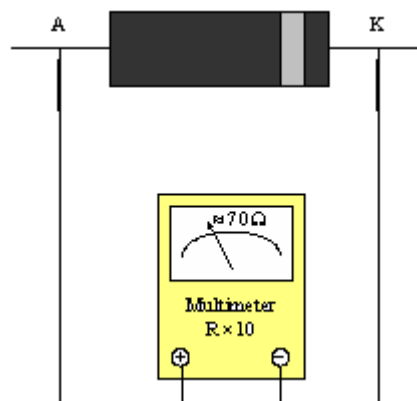
จากลักษณะสมบัติของไดโอดในรูปที่ 1.13 จะเห็นได้ว่า เมื่อไดโอดได้รับการไบแอสตรง ในช่วงแรกที่มีค่าแรงดันไบแอสตรง (V_F) มีค่าสูงขึ้นนั้น ไดโอดจะเริ่มนำกระแสได้อย่างเต็มที่เมื่อแรงดันตกคร่อมที่ตัวมัน มีค่าถึงค่าแรงดันหนึ่งซึ่งเรียกว่า “แรงดันคัตอิน” (Cut - in voltage) ซึ่ง

ค่าแรงดันคัทอินของเจอร์เมเนียมไดโอดอยู่ที่ประมาณ 0.2 V และซิลิกอนไดโอดจะอยู่ที่ประมาณ 0.6 V ช่วงนี้แรงดันตกคร่อมไดโอด (V_{AK}) จะค่อนข้างคงที่ที่ค่าแรงดันคัทอิน แรงดันส่วนใหญ่จะไปตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน (R) จึงเปรียบสภาวะการนำกระแสของไดโอดขณะนี้ เหมือนไดโอดทำหน้าที่เป็นสวิตช์ต่อวงจร

ต่อไปถ้าให้ไบแอสกลับแก่ไดโอด ไดโอดจะไม่สามารถนำกระแสได้ แต่อาจมีกระแสรั่วไหลเล็กน้อย ไหลผ่านรอยต่อไดโอดซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้ แต่ถ้าเพิ่มแรงดันที่แหล่งจ่าย (E_s) ไปจนถึงค่าหนึ่ง เรียกว่า “แรงดันพังทลาย” (Breakdown voltage) ไดโอดจะนำกระแสได้ เนื่องจากรอยต่อ P-N ของไดโอดทะลุ สภาวะเช่นนี้จะทำให้ไดโอดได้รับความเสียหาย

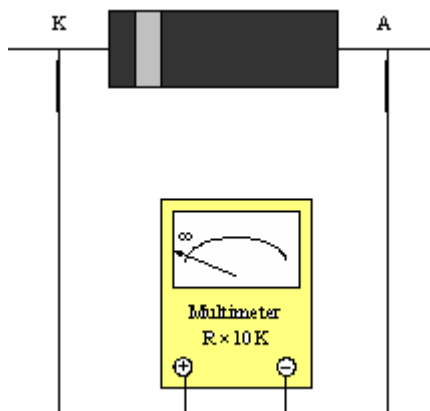
1.9 การตรวจสอบไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์

กรณีตรวจสอบไดโอดด้วยมัลติมิเตอร์แบบอนาล็อก (Analog) กระทำได้โดยตั้งย่านวัดค่าความต้านทานที่ย่านวัด $R \times 10$ แล้ววัดความต้านทานไดโอดแบบไบแอสตรง โดยการให้ขั้วบวกของมัลติมิเตอร์ต่อเข้ากับขั้วแอนโนดและขั้วลบต่อเข้ากับขั้วแคโทด (มิเตอร์จะกระตุกอยู่ปุ่นเมื่อวัดที่ย่านวัดความต้านทานขั้วบวกที่แสดงไว้ที่ตัวมิเตอร์จะกลายเป็นขั้วลบ และส่วนขั้วลบที่ตัวมิเตอร์จะเป็นขั้วบวกของแหล่งจ่ายภายใน) โอมห้มมิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 70Ω



รูปที่ 1.14 การวัดความต้านทานไดโอดแบบไบแอสตรง

ขั้นตอนมาปรับย่านวัดไปที่ย่าน $R \times 10k$ วัดความต้านทานไดโอดแบบไบแอสกลับ โดยให้ขั้วบวกของมิเตอร์ต่อเข้ากับขั้วแคโทดและขั้วลบต่อเข้ากับแอนโนด ซึ่งเข็มชี้ของมิเตอร์จะแสดงค่าอินฟินิตี้ (∞) สำหรับไดโอดซิลิกอน และแสดงค่าประมาณ $500 k\Omega$ สำหรับไดโอดเจอร์เมเนียม



รูปที่ 1.15 การวัดความต้านทานไดโอดแบบไบแอสกลับ

แต่ถ้าวัดแล้วไม่เป็นไปดังที่กล่าวมาข้างต้นให้พิจารณาผลการตรวจสอบได้ 3 ลักษณะดังนี้

1. ไดโอดขาด (Open) ไม่ว่าจะวัดไบแอสตรงหรือไบแอสกลับเข็มมิเตอร์จะไม่กระดิกเลย
2. ไดโอดลัดวงจร (Short) เข็มมิเตอร์จะกระดิกชี้ค่าเท่ากันสองครั้ง ทั้งในขณะทำการวัด

แบบไบแอสตรงและไบแอสกลับ

3. ไดโอดรั่วไหล (Leakage) จะพิจารณาขณะทำการวัดค่าความต้านทานไดโอด ที่ด้านไบแอสกลับ ถ้าเป็นซิลิกอนไดโอดเข็มชี้จะแสดงค่าอินฟินิตี้ (เข็มไม่กระดิก) แต่ถ้าเป็นเจอร์เมเนียมไดโอดเข็มชี้จะแสดงค่าความต้านทานที่ประมาณ $400\text{ k}\Omega$ - $500\text{ k}\Omega$ นั่นคือ เจอร์เมเนียมไดโอดจะมีค่ากระแสรั่วไหลมากกว่าซิลิกอนไดโอด