ใบความรู้หน่วยที่ 1

ชื่อรายวิชา **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร** **รหัสวิชา** 2104-2102 **สอนครั้งที่** 1
หน่วยที่ 1 สารกึ่งตัวนำและการใช้เครื่องมือวัดทดสอบ **จำนวน** 60 นาที

สาระการเรียนรู้

1.1 พื้นฐานอะตอม
1.2 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์
1.3 สารกึ่งตัวนำพีและเอ็น
1.4 การไบแอสสารกึ่งตัวนำพีและเอ็น
1.5 ข้อแนะนำการใช้มัลติมิเตอร์และออสซิลโลสโคป

จุดประสงค์การสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานอะตอม สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์ สารกึ่งตัวนำพีและเอ็น การไบแอสสารกึ่งตัวนำพีและเอ็น ข้อแนะนำการใช้มัลติมิเตอร์และออสซิลโลสโคป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 อธิบายพื้นฐานอะตอมได้ถูกต้อง
1.2 บอกสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์ได้ถูกต้อง
1.3 บอกสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นได้ถูกต้อง
1.4 อธิบายการไบแอสสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นได้ถูกต้อง
1.5 อธิบายข้อแนะนำการใช้มัลติมิเตอร์และออสซิลโลสโคปได้ถูกต้อง

บทนำ

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Device) กำเนิดจากการนำสารพีและเอ็นมาเชื่อมต่อกัน ใช้คุณสมบัติของรอยต่อที่เกิดขึ้นกับการเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้าภายในสารมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

การศึกษาในเรื่องของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ต้องเข้าใจทฤษฎีพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำ โดยเริ่มตั้งแต่พื้นฐานอะตอม วงอิเล็กตรอน ทฤษฎีแถบพลังงาน การโด๊ป ชนิดของสารกึ่งตัวนำ จึงเข้าสู่อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1. สสารทุกชนิดประกอบขึ้นจากอนุภาคที่เล็กที่สุดเรียกว่าอะตอมใน 1 อะตอม ประกอบด้วย โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน

2. สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ยังไม่เติมสารเจือปนสารใดๆ ลงไป สารที่นิยมนำมาทำเป็นสารกึ่งตัวนำในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ ซิลิคอน และเจอมันเนียม

3. สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ คือ การนำเอาสารซิลิคอน หรือเจอมันเนียมมาทำการเติมสารเจือปนลงไป โดยใช้สารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัวหรือ 5 ตัว

4. สารเจือปนที่ใช้ในการโด๊ปที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว จะทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิดพี

5. สารเจือปนที่ใช้ในการโด๊ปที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว จะทำให้ได้สารกึงตัวนำชนิดเอ็น

6. การไบแอส คือ การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่ขั้วทั้งสองของรอยต่อพี-เอ็นมี 2 วิธี คือ ไบแอสตรง และไบแอสกลับ

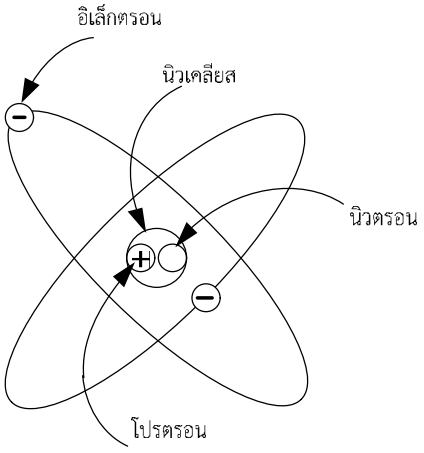
7. มัลติมิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สามารถวัดปริมาณไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ แต่วัดได้ครั้งละปริมาณ โดยสามารถตั้งเป็นโวลต์มิเตอร์ แอมม์มิเตอร์หรือโอห์มมิเตอร์

8. ออสซิสโลสโคป คือ เครื่องมือวัดที่ใช้แสดงรูปคลื่นสัญญาณแบบต่าง ๆ ซึ่งสัญญาณที่ได้อาจเป็นแบบไซน์ แบบสี่เหลี่ยม แบบสามเหลี่ยมหรือแบบฟันเลื่อย

1.1 พื้นฐานของอะตอม

สสารทุกชนิดประกอบขึ้นจากอนุภาคที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม (Atom) ใน 1 อะตอม ประกอบด้วยโปรตอน (Proton) นิวตรอน (Neutron) และอิเล็กตรอน (Electron) สำหรับโปรตอนและนิวตรอนอยู่รวมกันเรียกว่า นิวเคลียส (Neucleus)

ในส่วนของโปรตอนมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นบวก นิวตรอนมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า และอิเล็กตรอนมีศักย์เป็นลบ วิ่งอยู่รอบนิวเคลียส โปรตอนและอิเล็กตรอน 1 ตัว มีค่าประจุไฟฟ้า 1.60219×10^{-19} คูลอมบ์ ในรูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของอะตอม



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของอะตอม

ที่มา : ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ POCKET BOOK. (หน้า 74) กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552

1.1.1 วงอิเล็กตรอน

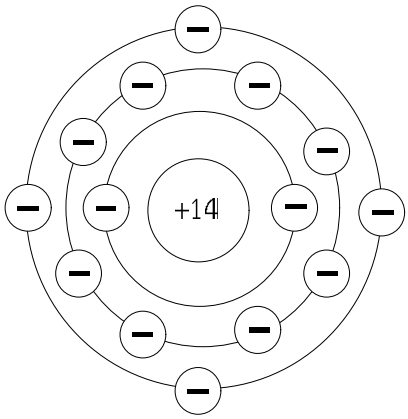
อิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบๆ นิวเคลียส มีระดับพลังงานแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่า n โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม 1, 2, 3,... ค่าต่ำสุดที่ n = 1 และระดับพลังงานนี้เป็นตัวกำหนดวงอิเล็กตรอน (Electron Shell) ระดับพลังงานวงอิเล็กตรอนมีหน่วยเป็น อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) โดยวงที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากสุดจะมีระดับพลังงานต่ำสุด (n = 1) วงนอกสุดมีระดับพลังงานสูงสุด ชื่อวงอิเล็กตรอนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษเรียงกันตั้งแต่ K, L, M, N,... โดยที่วง K จะมีระดับพลังงาน n = 1, วง L คือ n = 2, วง M คือ n = 3 เป็นต้น

ระดับพลังงานต่ำสุด หมายถึง พลังงานในตัวอิเล็กตรอนวงนั้นมีค่าน้อย เมื่อต้องการดึงเอาอิเล็กตรอนที่วงนั้นออกมาจากอะตอม ต้องใช้พลังงานมากที่สุดจึงจะทำได้ ถ้าอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนอกมากพลังงานในตัวอิเล็กตรอนจะมากขึ้น ทำให้การดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอมทำได้ง่ายขึ้น ใช้พลังงานน้อยลง

จำนวนอิเล็กตรอนมีได้มากสุดในแต่ละวง หรือแต่ละระดับพลังงาน มีค่าเท่ากับ $2n^2$ เช่น ในระดับ n = 1 หรือ วง K มีอิเล็กตรอน $2 (1)^2 = 2$ ตัว ขณะวงที่มีค่า n = 5 มีอิเล็กตรอนได้มากที่สุด $2 (5)^2 = 50$ ตัว มิได้หมายความว่าทุกวงต้องมีอิเล็กตรอนให้เต็มจำนวนที่มีได้ เพราะในวงนอกสุดจะมีข้อกำหนดว่าจะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว ยกตัวอย่าง ในสารซิลิคอนมีอิเล็กตรอนทั้งสิ้น 14 ตัว สามารถแบ่งจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวงดังนี้ วง K มี 2 ตัว, วง L มี 8 ตัว วง M เป็นวงนอกสุดของซิลิคอนมี 4 ตัว ในรูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของสารซิลิคอน

วงอิเล็กตรอนนอกสุดมีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวบ่งบอกว่าสารนั้นมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีเพียงไร วงอิเล็กตรอนนอกสุด เรียกว่า วงวาเลนซ์ (Valence Shell) และอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนี้เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) วงอิเล็กตรอนนอกสุดหรือวงวาเลนซ์นี้จะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว โดยธรรมชาติของอะตอมจะพยายามจัดกลุ่มรวมกันเป็นโมเลกุล เพื่อให้อยู่ในสภาวะเสถียร

ถ้าหากสารใดมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนไม่ครบ 8 ตัว จะพยายามหาทางทำให้ครบ วิธีการที่ทำให้อะตอมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัว มีด้วยกัน 3 วิธี คือ ให้อิเล็กตรอนไปกับอะตอมอื่น รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น และใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น วิธีการหลังนี้เรียกว่า โควาเลนซ์บอนด์ (Covalence Bond)



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของสารซิลิคอนซึ่งมีอิเล็กตรอน 14 ตัว

ที่มา : ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ POCKET BOOK. (หน้า 75) กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552

1.1.2 แถบพลังงาน

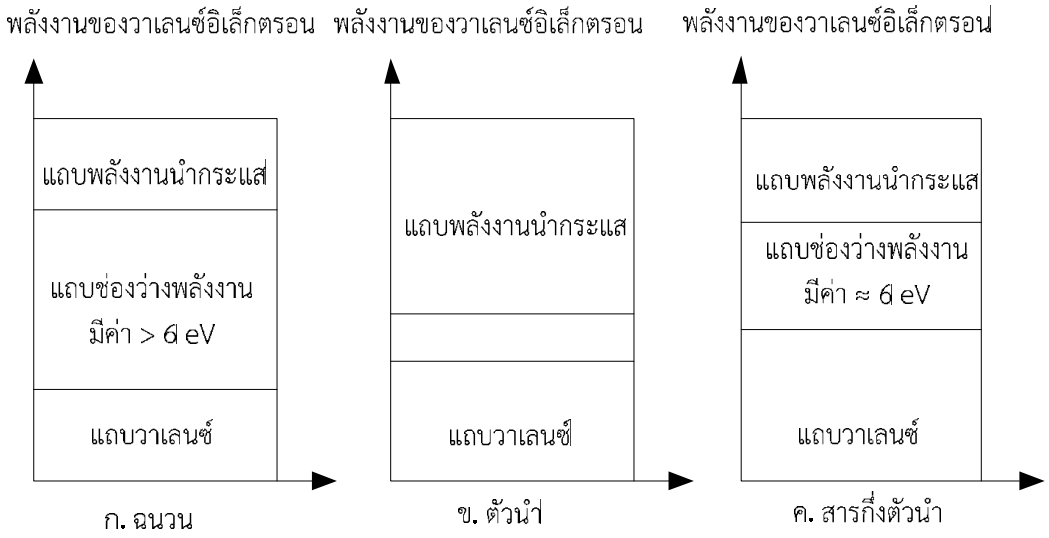
อิเล็กตรอนในอะตอมมีระดับพลังงานได้หลายระดับ ระดับพลังงานจะจัดเรียงเป็นแถบเรียกว่า แถบพลังงาน (Energy Band) แถบพลังงานมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (Valence Band) เมื่อวาเลนซ์อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงานมากพอ มีพลังงานสะสมที่มากพอที่จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแส (Conduction Band) วาเลนซ์อิเล็กตรอนที่เลื่อนขึ้นไปนี้เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) หรือ อิเล็กตรอนนำกระแส (Conduction Electron)

ระหว่างแถบวาเลนซ์กับแถบพลังงานนำกระแสจะมีช่องว่างอยู่ เรียกว่า แถบช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่บ่งบอกความสามารถในการนำกระแสของอิเล็กตรอน เพราะวาเลนซ์อิเล็กตรอนต้องข้ามแถบช่องว่างพลังงานไปก่อนจึงจะเข้าสู่แถบพลังงานนำกระแส

1.1.3 ฉนวน ตัวนำ สารกึ่งตัวนำ

คุณสมบัติแถบพลังงานสามารถแยกการนำกระแสของสารต่างๆ ได้ 3 แบบ คือ สารที่ไม่นำไฟฟ้าเรียกว่า ฉนวน (Insulator) ในรูปที่ 1.3 ก. แสดงการแบ่งแถบพลังงานของสารที่เป็นฉนวน แถบวาเลนซ์จะห่างจากแถบพลังงานนำกระแสมาก คือ มีแถบช่องว่างพลังงานมาก ปกติแถบช่องว่างพลังงานจะมีค่าสูงกว่า 6 อิเล็กตรอนโวลต์

ถ้าสารใดไม่มีแถบช่องว่างพลังงานเลย คือ แถบวาเลนซ์มาทับกับแถบพลังงานนำกระแส สารนั้นจะสามารถนำกระแสได้เลย โดยไม่ต้องมีพลังงานกระตุ้นจากภายนอก เรียกว่า ตัวนำ (Conductor) ดังแสดงลักษณะของแถบพลังงานในรูปที่ 1.3 ข.



รูปที่ 1.3 แสดงแถบพลังงานของฉนวน, ตัวนำ และสารกึ่งตัวนำ

ที่มา : ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ POCKET BOOK. (หน้า 76) กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552

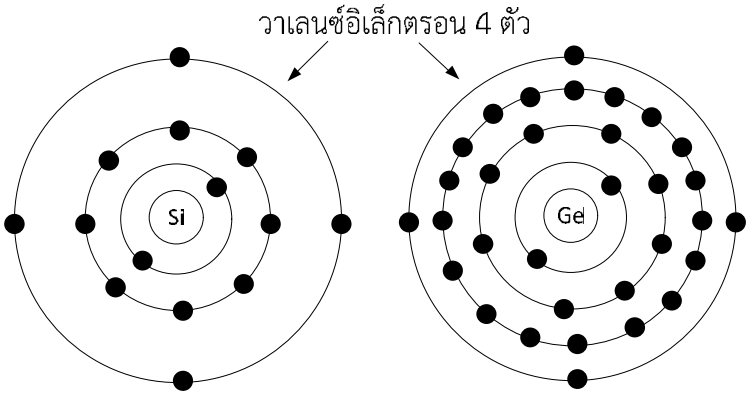
สารอีกประเภทที่ภาวะปกติไม่สามารถนำกระแส เมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นอย่างเหมาะสมสามารถนำกระแสได้ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ในรูปที่ 1.3 ค. แสดงแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ เห็นว่าแถบช่องว่างพลังงานจะมีระยะน้อยกว่าฉนวน ปกติแล้วมีค่าประมาณ 0.785 อิเล็กตรอนโวลต์ สำหรับสารกึ่งตัวนำเจอมันเนียม และ 1.21 อิเล็กตรอนโวลต์ สำหรับสารกึ่งตัวนำซิลิคอน

1.2 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์และสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์

1.2.1 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

เมื่อนำอะตอมของซิลิคอนหลายๆ อะตอมมารวมกันจะเกิดเป็นธาตุ ซึ่งเกิดจากการเกาะเกี่ยวของอะตอมแต่ละตัว รูปแบบการเกาะเกี่ยวของอะตอม เรียกว่า ผลึก (Crystal) อะตอมภายในผลึกจะมีโครงสร้างแตกต่างกันไปตามลักษณะการยึดเหนี่ยวของโควาเลนซ์บอนด์ เป็นการเกาะเกี่ยวกันของอิเล็กตรอนวงนอกสุดของแต่ละอะตอม

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ คือ ธาตุกึ่งตัวนำที่ยังไม่ได้เติมสารเจือปน (Doping) ลงไป ธาตุกึ่งตัวนำที่นิยมนำไปทำเป็นสารกึ่งตัวนำในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ ธาตุกึ่งตัวนำซิลิคอน (Si) และธาตุกึ่งตัวนำเจอมันเนียม (Ge) ธาตุทั้งสองชนิดนี้มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว อิเล็กตรอนทั้งหมดไม่เท่ากัน ซิลิคอนมีอิเล็กตรอนทั้งหมด 14 ตัว เจอมันเนียมมีอิเล็กตรอนทั้งหมด 32 ตัว ต่อหนึ่งอะตอม ดังรูปที่ 1.4



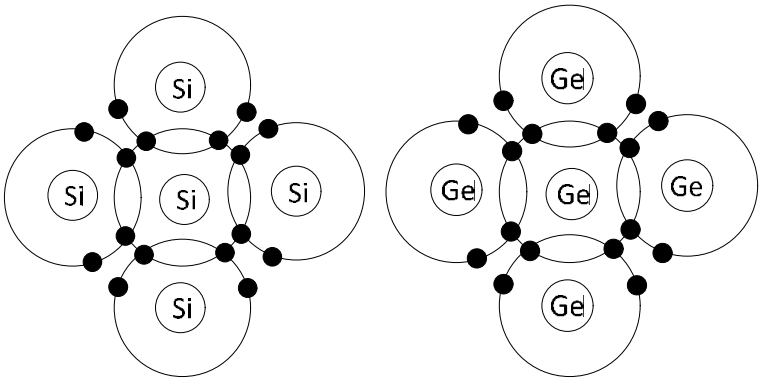
ก. อะตอมของธาตุซิลิคอนมีอิเล็กตรอน 14 ตัว ข. อะตอมของธาตุเจอมันเนียมมีอิเล็กตรอน 32 ตัว

รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างอะตอมของธาตุซิลิคอนและธาตุเจอมันเนียม

ที่มา : อดุลย์ กัลยาแก้ว. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร. (หน้า 5)

กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.

โครงสร้างอะตอมธาตุซิลิคอนและโครงสร้างอะตอมธาตุเจอมันเนียมเมื่อรวมกันหลายๆ อะตอมจะจับกันเป็นผลึกในรูปของพันธะโควาเลนซ์ (Covalence Bond) หนึ่งอะตอมจะต้องใช้อิเล็กตรอนร่วมกันกับอะตอมข้างเคียง 4 อะตอม จึงจะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดครบ 8 ตัว เพื่อให้อะตอมอยู่ในสภาพเสถียร ดังแสดงในรูปที่ 1.5



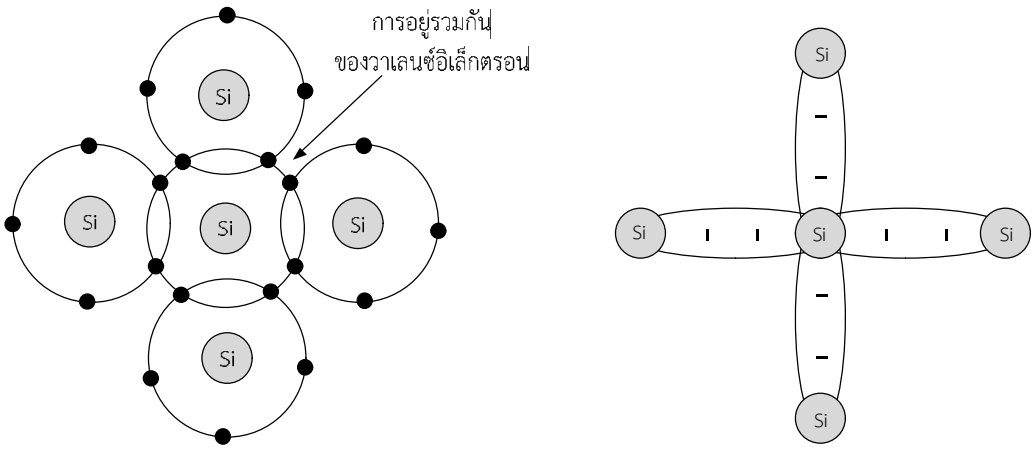
ก. ซิลิคอน ข. เจอมันเนียม

รูปที่ 1.5 แสดงการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกันครบ 8 ตัว ของอะตอมซิลิคอนและเจอมันเนียม

ที่มา : อดุลย์ กัลยาแก้ว. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร. (หน้า 5)

กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.

จากรูปที่ 1.6 ตัวอย่างผลึกซิลิคอนเกิดจากอะตอมของซิลิคอน 5 อะตอม เกาะเกี่ยวกันใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนที่วงโคจรภายนอกสุด 4 ตัว การยึดเหนี่ยวกันของอิเล็กตรอนเรียกว่า Bonding เมื่อนำโครงสร้างการเกาะเกี่ยวกันของอิเล็กตรอนในโควาเลนซ์บอนด์ ดังรูปที่ 1.6 ก. เขียนเป็นไดอะแกรมของการยึดเหนี่ยวได้ดังรูปที่ 1.6 ข. จะเกิดการยึดเหนี่ยวของซิลิคอนอะตอมจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 1.7

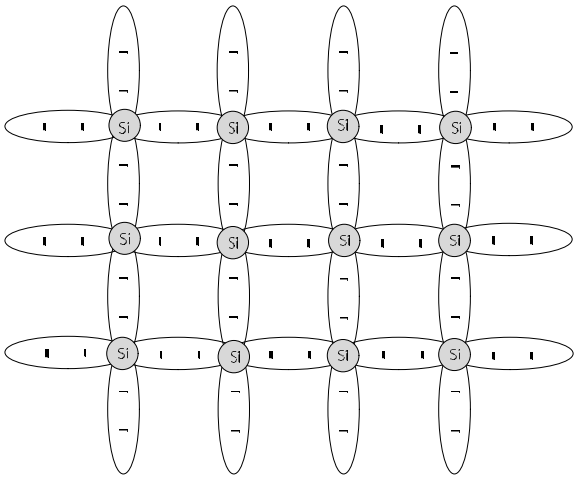


ก. การเกาะเกี่ยวกันของอิเล็กตรอนในโควาเลนซ์บอนด์ ข. ไดอะแกรมของการยึดเหนี่ยว

รูปที่ 1.6 แสดงโควาเลนซ์บอนด์ของซิลิคอน

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 11)

กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

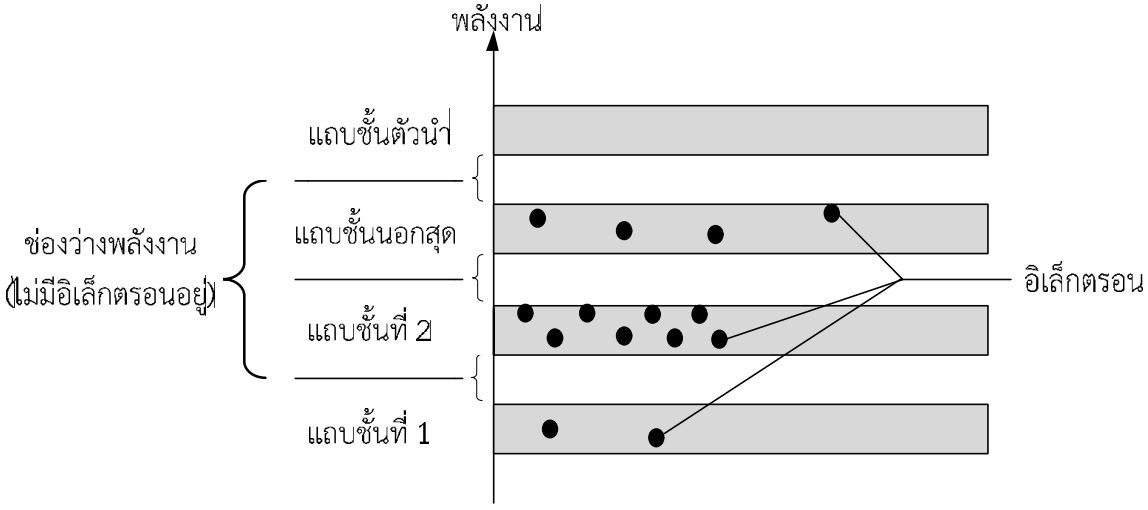


รูปที่ 1.7 แสดงโควาเลนซ์บอนด์ของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 11)

กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

จากโครงสร้างของอะตอม เช่น อะตอมของซิลิคอน มีชั้นของวงโคจรที่มีอิเล็กตรอนโคจรอยู่ 3 ชั้น ชั้นที่ 1 หรือชั้น K มีอิเล็กตรอน 2 ตัว ชั้นที่ 2 มีอิเล็กตรอน 8 ตัว และชั้นนอกสุดมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว แต่ละชั้น (Band) ของวงโคจรจะถูกกันด้วยช่องว่างของพลังงาน (Energy Gaps) ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนโคจรอยู่ ดังรูปที่ 1.8

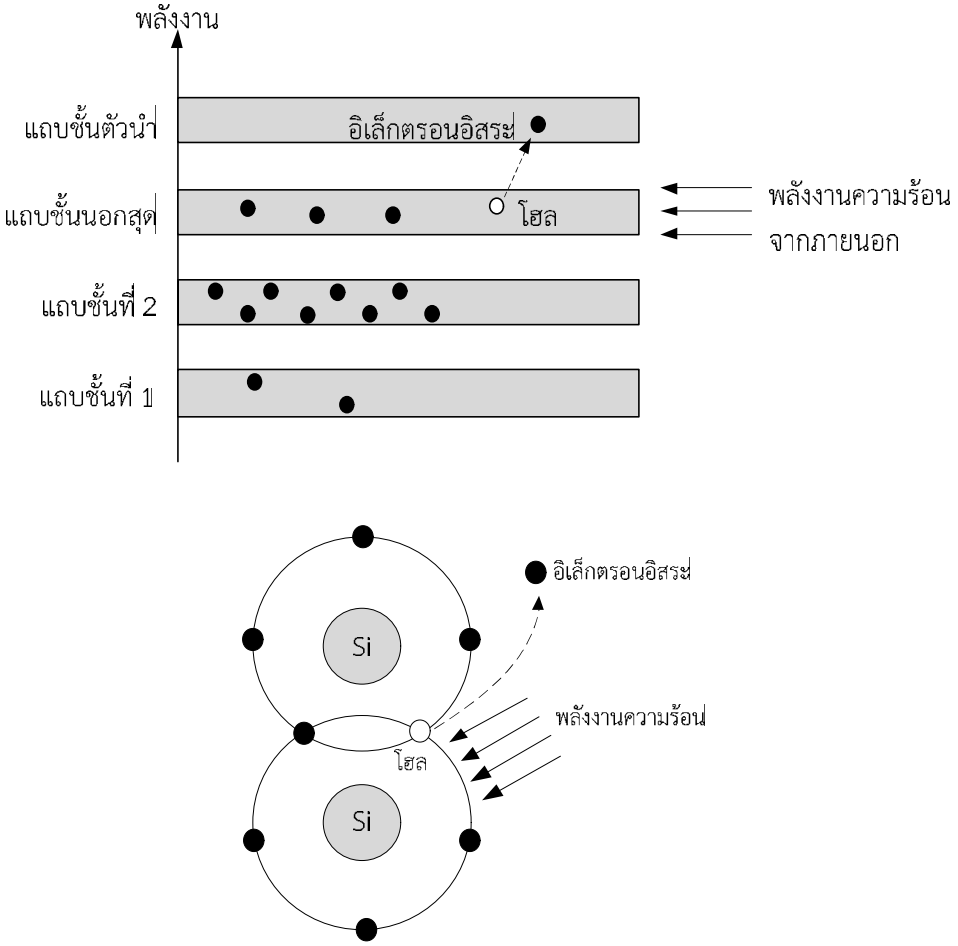


รูปที่ 1.8 แสดงไดอะแกรมแถบพลังงานของอะตอมซิลิคอนบริสุทธิ์ในสภาวะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 12)

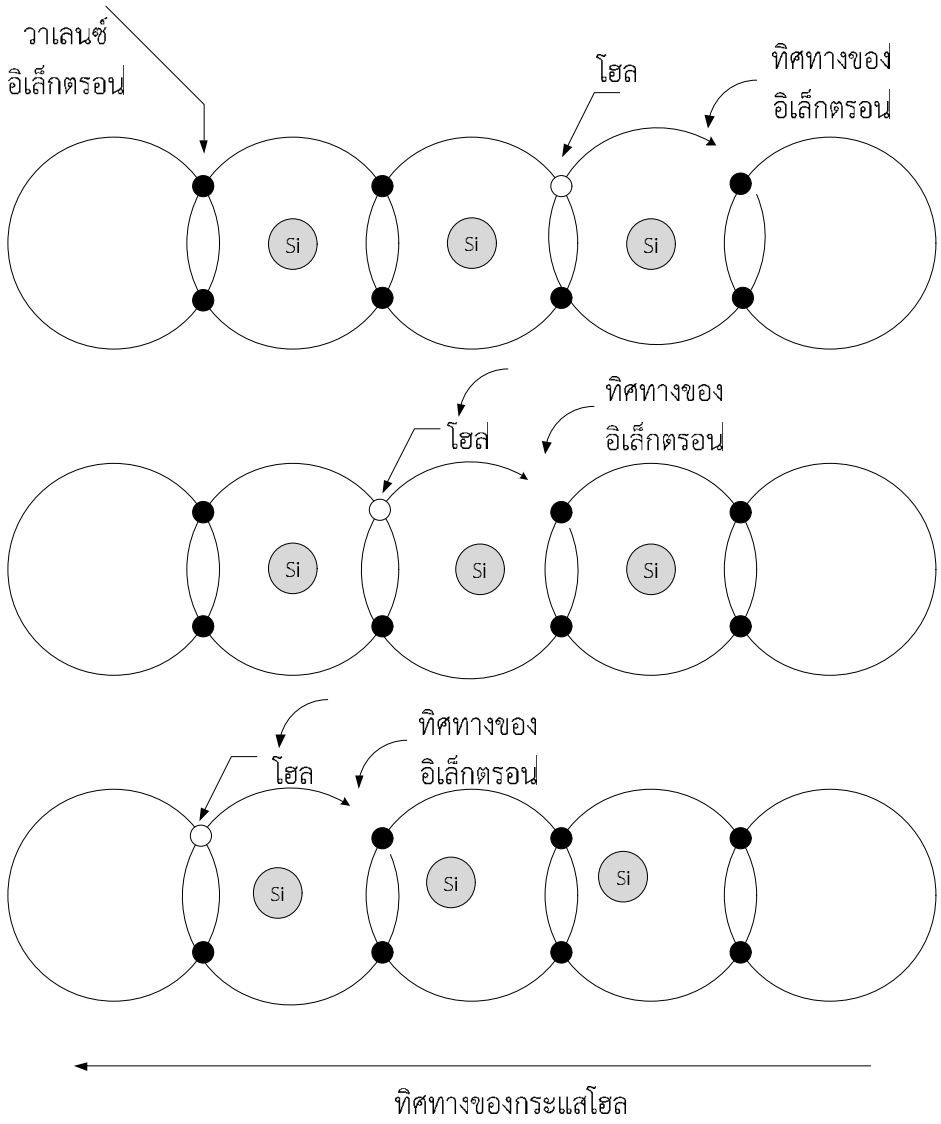
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

จากรูปที่ 1.9 ด้านวงโคจรชั้นนอกสุด แถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band) ในวัสดุใดๆ ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ ตัวอย่าง เช่น เมื่อทำให้ผลึกซิลิคอนได้รับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเกิดพลังงานความร้อนกระทำต่ออะตอมของซิลิคอน พลังงานถ้ามากจนเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนวงนอกสุดทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดหลุดออกจากวงโคจร และกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระวิ่งเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้ากลายเป็นกระแสไฟฟ้า และตำแหน่งที่อิเล็กตรอนวงนอกสุดหลุดออกมาเป็นอิเล็กตรอนอิสระจะเกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole)



รูปที่ 1.9 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลในอะตอมของซิลิคอนบริสุทธิ์
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 11-12)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

ทิศทางการเกิดกระแสโฮลเห็นได้ชัดเจนจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในผลึกของซิลิคอนในรูปที่ 1.10 และทิศทางของกระแสโฮลเป็นการกำหนดขึ้นใช้ให้เป็นทิศทางของกระแสไฟฟ้า จนเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายแทนกระแสอิเล็กตรอน เนื่องจากเป็นทิศทางที่กระแสไฟฟ้าไหลออกจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปสู่ขั้วบวก



รูปที่ 1.10 แสดงการเกิดกระแสโฮลในผลึกซิลิคอน

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 14)

กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

1.2.2 สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์

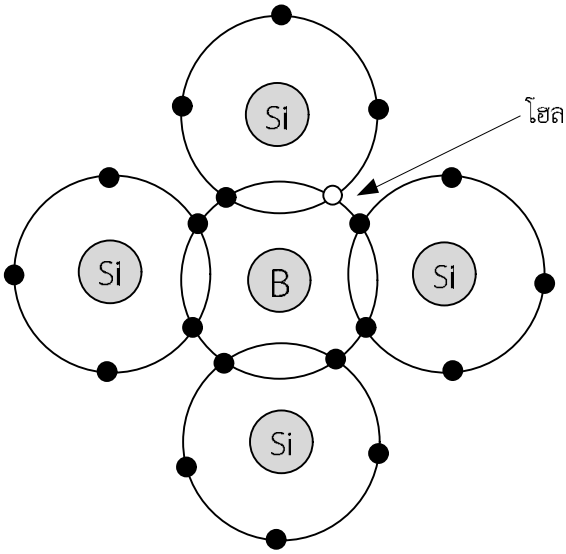
สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ คือ การนำเอาธาตุซิลิคอนหรือธาตุเจอมันเนียมบริสุทธิ์มาเติมธาตุเจือปน โดยใช้ธาตุเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว หรือ ธาตุเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว ลงไปในอัตราส่วน 10^8 : 1 คือ ธาตุกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ 10^8 ส่วน ต่อสารเจือปน 1 ส่วน ทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิดใหม่ คือ ถ้าเติมธาตุเจือปนที่วาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว ลงไป ทำให้ได้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type) ถ้าเติมธาตุเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว ลงไปจะได้สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) ธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว มาใช้เป็นธาตุเจือปน เช่น โบรอน (Br) อินเดียม (In) แกลเลียม (Ga) และอลูมิเนียม (Al) ธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว ที่นำมาใช้เป็นธาตุเจือปน เช่น ฟอสฟอรัส (P) อาเซนิค (As)

ถึงแม้จะให้พลังงานแก่สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เพื่อให้นำกระแสได้ ยังไม่สามารถใช้ประโยชน์จากการนำกระแสนี้อย่างจริงจังได้ ต้องเพิ่มโฮลและอิเล็กตรอนอิสระให้มากพอเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้ วิธีการที่ช่วยได้ คือ การโด๊ป (doping) คือการเติมอะตอมของสารเจือปน (Impurity) ลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) ยกตัวอย่าง คือ ซิลิคอนและเจอมันเนียมบริสุทธิ์ สารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ปจะกลายเป็นสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor)

1.3 สารกึ่งตัวนำพีและเอ็น

สารเจือปนที่ใช้ในการโด๊ปจะต้องเป็นสารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว หรือ 5 ตัว เหตุที่ต้องใช้สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว หรือ 5 ตัว เพื่อทำให้สารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ปแล้วเป็นสารพีและเอ็นที่มีสภาพทางไฟฟ้าแตกต่างกัน คือ เป็นบวกและลบ

1.3.1 สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type Semiconductor)

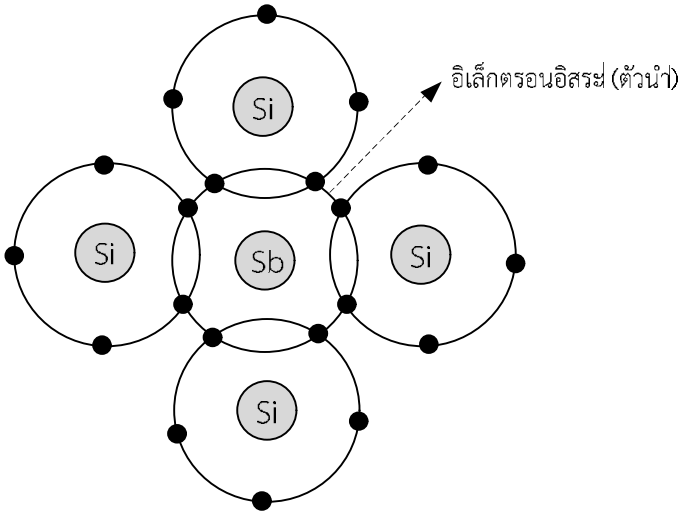


รูปที่ 1.11 แสดงการเกิดโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเมื่อโด๊ปโบรอนเข้าไปในซิลิคอนอะตอม
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 15)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

กรณีที่มีการเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว ลงไป ซิลิคอนหรือเจอมันเนียมบริสุทธิ์ สารทำการจับตัวกันด้วยกระบวนการโควาเลนซ์บอนด์ ซิลิคอนและเจอมันเนียมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว สารเจือปนมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว รวมแล้วมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 7 ตัว ขาดไป 1 ตัว เกิดเป็นโฮลขึ้น ทำให้สามารถรับอิเล็กตรอนได้อีก 1 ตัว สารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เรียกว่า สารเจือปนผู้รับ (Acceptor Impurity) สารเจือปนได้แก่ โบรอน อลูมิเนียม แกลเนียม เป็นต้น สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปสารเจือปนผู้รับกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type Semiconductor) มีอำนาจทางไฟฟ้าเป็นบวก แสดงดังรูปที่ 1.11

1.3.2 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type Semiconductor)

เมื่อเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว ลงในซิลิคอนหรือเจอมันเนียมบริสุทธิ์สารทำการจับตัวกันด้วยกระบวนการโควาเลนซ์บอนด์ ซิลิคอนและเจอมันเนียมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว สารเจือปนมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว รวมแล้วมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 9 ตัว เกิดอิเล็กตรอนอิสระเหลือ 1 ตัว สารกึ่งตัวนำพร้อมนำกระแสได้ หากมีพลังงานจากภายนอกกระตุ้นเพียงเล็กน้อย สารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว เรียกว่า สารเจือปนผู้ให้ (Donor Impurity) สารเจือปนได้แก่ สารหนู พลวง ฟอสฟอรัส เป็นต้น สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปโดยสารเจือปนผู้ให้ จะกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type Semiconductor) มีอำนาจทางไฟฟ้าเป็นลบ ดังแสดงในรูปที่ 1.12

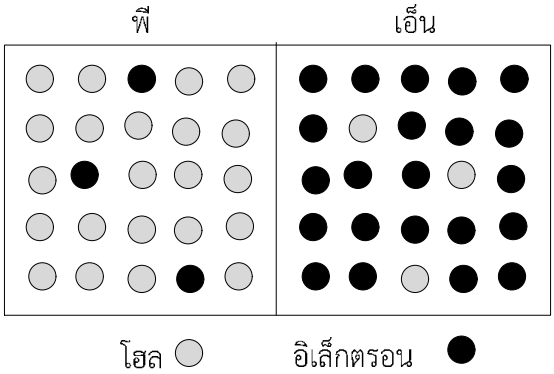


รูปที่ 1.12 การโด๊ปพลวงให้กับซิลิคอนบริสุทธิ์ทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 15)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

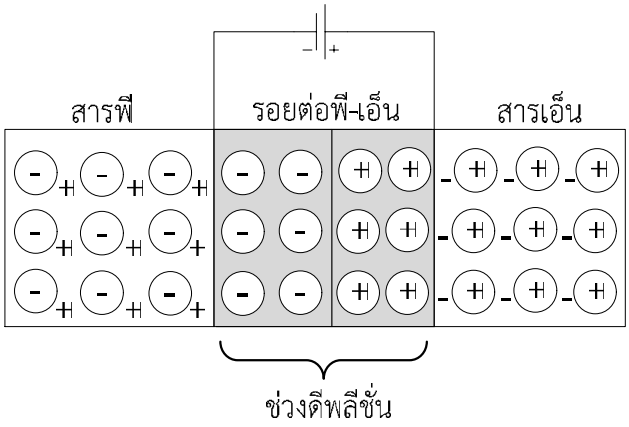
ในสารกึ่งตัวนำ (อาจเป็นซิลิคอนหรือเจอมันเนียม) ชนิดเอ็นมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่เป็นจำนวนมาก เป็นผลให้เกิดประจุไฟฟ้าลบมากกว่าประจุไฟฟ้าบวก เรียกประจุไฟฟ้าลบที่เป็นพาหะจำนวนมากในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นว่า ประจุพาหะข้างมาก (Majority Carriers) สำหรับโฮลที่มีอยู่จำนวนน้อยมากในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะเรียกว่า ประจุพาหะข้างน้อย (Minority Carriers)

1.3.3 รอยต่อพี-เอ็น

เมื่อได้สารกึ่งตัวนำพีและเอ็นมาแล้ว นำสารทั้งสองมาเชื่อมต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.13 ณ จุดที่เชื่อมต่อเกิดเป็นรอยต่อเรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) อิเล็กตรอนในสารเอ็นเคลื่อนที่ไปแทนที่โฮลในสารพี เกิดเป็นช่วงรอยต่อ เรียกว่า ช่วงดีพลีชั่น (Depletion Region) ดังแสดงในรูปที่ 1.14 รอยต่อนี้จะเกิดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น จะมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนประจุที่เกิดขึ้นที่รอยต่อนั้น



รูปที่ 1.13 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นรอยต่อพี-เอ็น
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 16)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

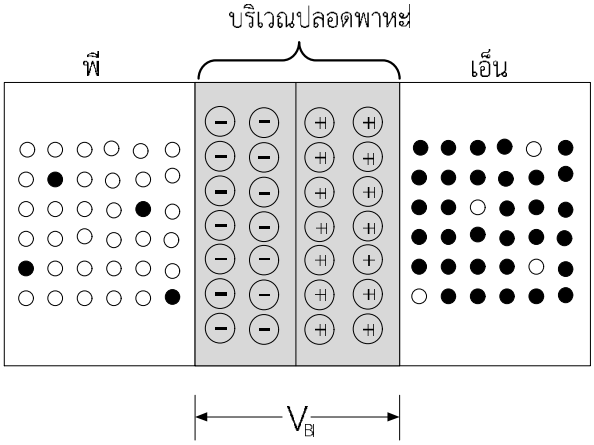


รูปที่ 1.14 แสดงการเกิดช่วงดีพลีชั่นกรณีนำสารพีและเอ็นมาต่อกัน
ที่มา : ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ POCKET BOOK. (หน้า 78)
กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552

1.3.4 บริเวณปลอดพาหนะ (Depletion Layers)

เมื่อเกิดรอยต่อพี-เอ็น ขึ้นกับสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน หรือเจอมันเนียม เกิดปรากฏการณ์ขึ้นที่บริเวณรอยต่อพี-เอ็น คือ อิเล็กตรอนอิสระ คือ ประจุพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่มีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าลบ อยู่ใกล้รอยต่อพี-เอ็น มากที่สุด จะข้ามรอยต่อไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดพี เพื่อเข้ารวมตัวกับโฮล ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก ประจุไฟฟ้าบวกอยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี การรวมตัวจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อพี-เอ็นเท่านั้น เมื่อเกิดการรวมตัวจะทำให้เกิดไอออน สภาพประจุไฟฟ้าบวกและลบขึ้นบริเวณรอยต่อพี-เอ็นทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าที่รอยต่อพี-เอ็น จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระรวมตัวกับโฮลหยุดลง เนื่องจากไม่สามารถข้ามศักดาไฟฟ้าที่รอยต่อ ซึ่งเกิดโดยไอออนบวกและไอออนลบ ปฏิกิริยา

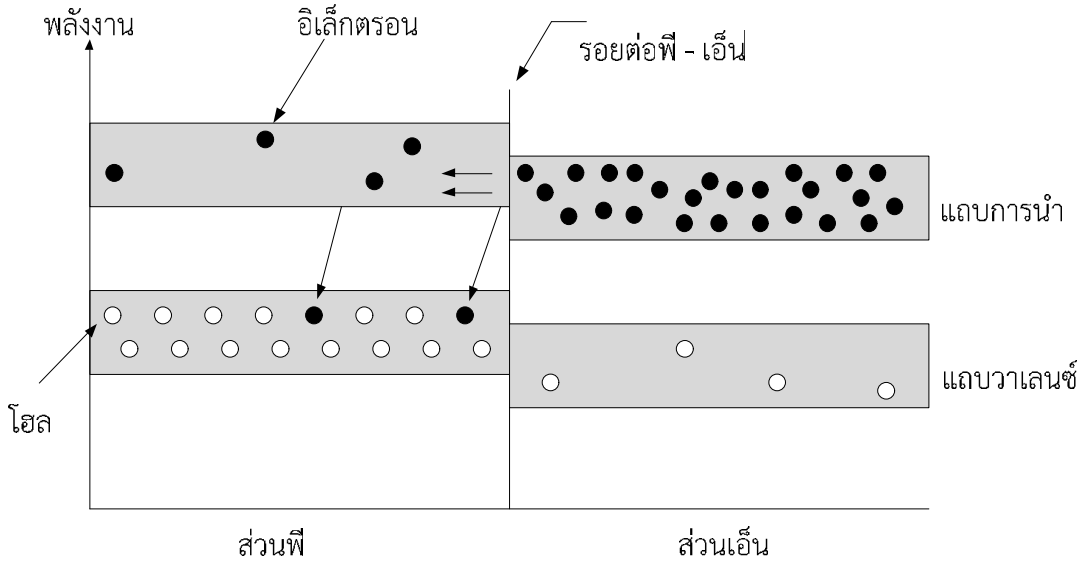
ทั้งหมดจะหยุดลง และบริเวณที่มีไอออนบวกและไอออนลบจะไม่มีประจุพาหะ (ทั้งอิเล็กตรอนและโฮล) เหลืออยู่เลย จึงเรียกบริเวณดังกล่าวว่า บริเวณปลอดพาหะ ดังรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 แสดงการเกิดบริเวณปลอดพาหะที่รอยต่อพี-เอ็น
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 16)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

ไอออนบวกและไอออนลบที่บริเวณปลอดพาหะจะสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อ จากรูปที่ 1.15 คือ V_B (Barrier Potential) แรงดันนี้ที่อุณหภูมิ 25° C จะมีค่าประมาณ 0.7 V สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอน และมีค่าแรงดันประมาณ 0.3 V สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเจอมันเนียมและอุณหภูมิของรอยต่อสูงขึ้น ค่าแรงดัน V_B จะมีค่าลดลง

1.3.5 ไดอะแกรมพลังงานของรอยต่อพี-เอ็น (Energy Diagram of the PN Junction)

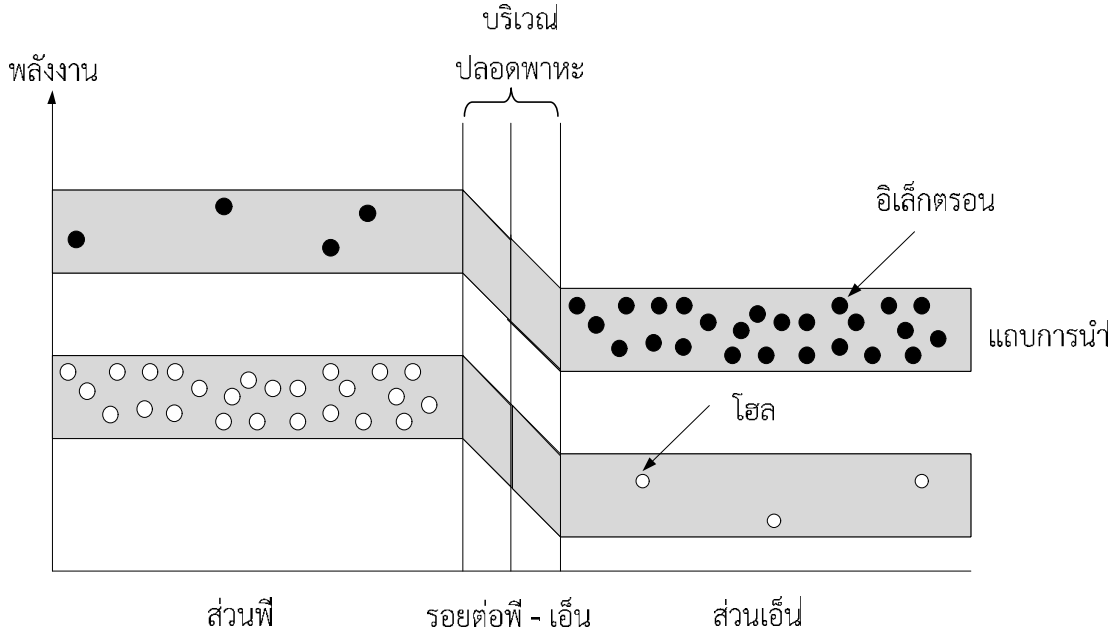


รูปที่ 1.16 แสดงไดอะแกรมพลังงานของรอยต่อพี-เอ็น ในสภาวะเริ่มต้น

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 17)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีมาต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ในสภาวะเริ่มต้นอิเล็กตรอนอิสระจะข้ามรอยต่อพี-เอ็นวิ่งเข้าไปสู่สารกึ่งตัวนำชนิดพี อิเล็กตรอนอิสระบางส่วนที่วิ่งอยู่ในแถบความนำไฟฟ้าถูกโฮลดึงดูดเข้ารวมตัวกัน และเกิดไอออนบวกและไอออนลบขึ้นที่รอยต่อพี-เอ็น ดังรูปที่ 1.16

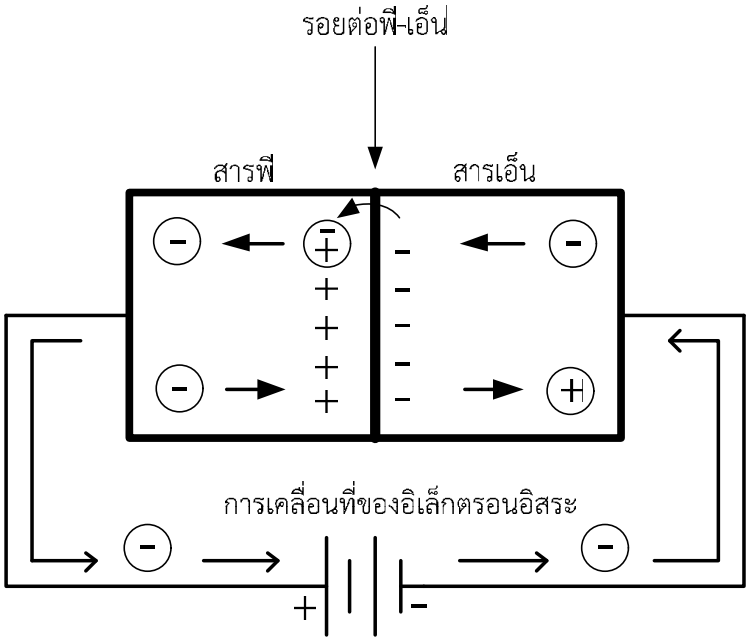
เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระ โฮลบริเวรรอยต่อพี-เอ็น มากขึ้น ทำให้เกิดความต่างศักดาที่รอยต่อพี-เอ็น ปฏิกิริยาการรวมตัวกันหยุดลงในสภาวะสมดุล บริเวณรอยต่อพี-เอ็น จะเกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะขึ้น ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความต่างศักดากันในแถบความนำไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 แสดงไดอะแกรมพลังงานของรอยต่อพี-เอ็น ในสภาวะสมดุล
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 17)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

1.4 การไบแอสสารกึ่งตัวนำพี-เอ็น

เมื่อนำสารพี-เอ็นมาต่อกันเกิดช่วงดีพลีชั่นขึ้น ทำให้ในสภาวะปกติสารกึ่งตัวนำพี-เอ็น ไม่สามารถนำกระแสได้ ถ้าต้องการให้นำกระแสก็ต้องมีพลังงานจากภายนอกจ่ายแรงดันให้แก่สารกึ่งตัวนำ เมื่อต่อแรงดันขั้วบวกเข้าที่สารพี ขั้วลบเข้าที่สารเอ็น อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดัน ผลักอิเล็กตรอนในสารเอ็นให้เคลื่อนที่ข้ามช่วงดีพลีชั่น แรงดันที่จ่ายให้นี้ก็จะทำให้อิเล็กตรอนในสารพีเคลื่อนที่ออกมา และเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดัน เกิดช่องว่างหรือโฮลขึ้น อิเล็กตรอนจากสารเอ็นสามารถเข้ามารวมได้สารกึ่งตัวนำสามารถนำกระแสได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.18



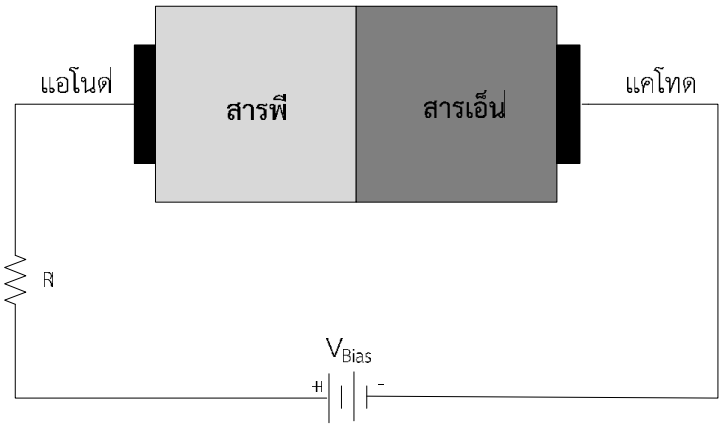
รูปที่ 1.18 การไหลของกระแสอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ
ที่มา : ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ POCKET BOOK. (หน้า 79)
กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552

การจ่ายแรงดันที่จุดต่อของสารพี-เอ็นนี้เรียกว่า การไบแอส (Bias) การทำให้สารกึ่งตัวนำพี-เอ็นนำกระแสได้ต้องต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันเข้าที่สารพี และขั้วลบเข้าที่สารเอ็นการไบแอสแบบนี้เรียกว่า การไบแอสตรง (Forward Bias) ถ้าจ่ายแรงดันสลับขั้วจากเดิม คือ ต่อขั้วบวกเข้าที่สารเอ็น และขั้วลบเข้าที่สารพี จะเรียกว่า การไบแอสกลับ (Reverse Bias) กรณีนี้อิเล็กตรอนที่สารเอ็นจะเคลื่อนที่ออกห่างจากรอยต่อ อิเล็กตรอนจากแหล่งแรงดันเข้าไปรวมกับโฮลในสารพี ทำให้ช่วงดีพลีชั่นเพิ่มมากขึ้น อิเล็กตรอนในสารเอ็นไม่สามารถข้ามช่วงดีพลีชั่นที่เพิ่มมากขึ้นไปรวมกับโฮลในสารพีได้ สารกึ่งตัวนำพี-เอ็นจึงไม่นำกระแส

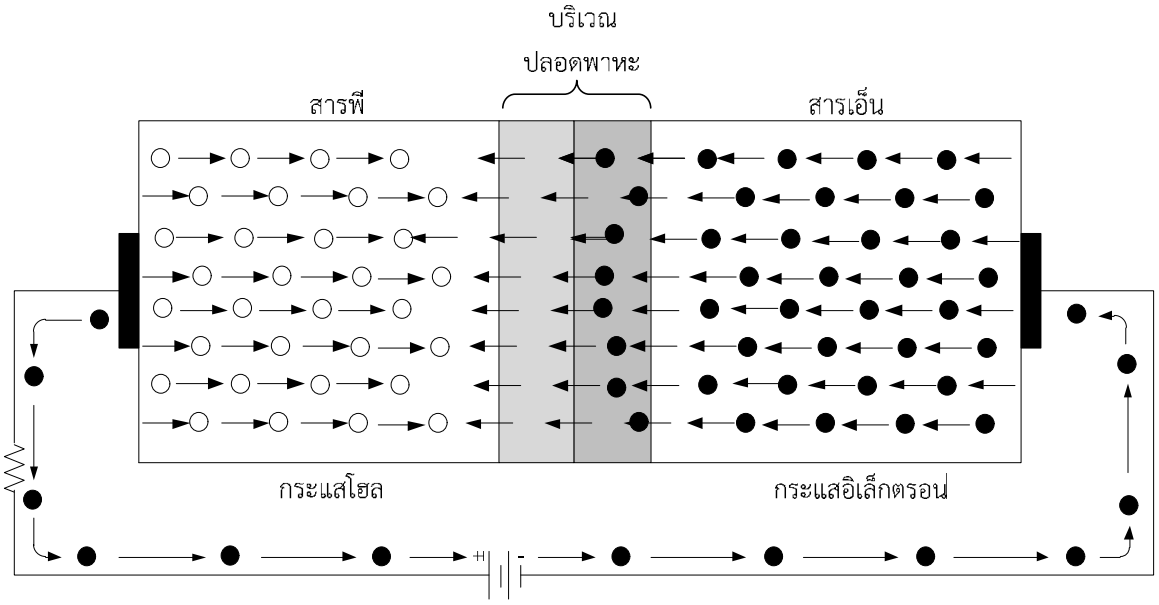
ทางปฏิบัติจะมีอิเล็กตรอนบางตัวที่อยู่ใกล้ๆ รอยต่อ สามารถข้ามไปรวมกับโฮลในสารพีได้เล็กน้อย ทำให้เกิดกระแสไหลขึ้นจำนวนน้อยมาก คือ เกิดเป็นกระแสรั่วไหลขึ้น (Leakage Current) การไบแอสกลับมาจ่ายแรงดันสูงมากๆ และเป็นระยะเวลานาน ทำให้สารกึ่งตัวนำนั้นเสียหาย แต่มีการนำการไบแอสกลับนี้ไปใช้กับอุปกรณ์ที่เรียกว่า ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) อันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแรงดันให้คงที่

1.4.1 การไบแอสตรงที่รอยต่อพีและเอ็น

เมื่อต่อขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดพีเรียกว่า ขั้วแอโนด (Anode) และต่อขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเรียกว่า ขั้วแคโทด (Cathode) โดยต่อตัวต้านทาน (R) เพื่อจำกัดกระแสไม่ให้ผ่านรอยต่อพี-เอ็นมากเกินไป ทำให้รอยต่อพี-เอ็นพังเสียหาย การต่อไบแอสตรง ดังรูปที่ 1.19 จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็นได้

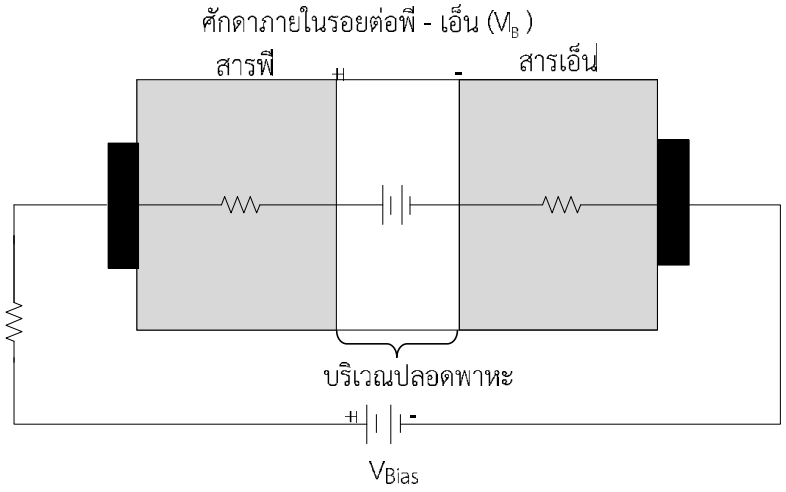


รูปที่ 1.19 แสดงการต่อวงจรแบบไบแอสตรงให้กับรอยต่อพี-เอ็น
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 18)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

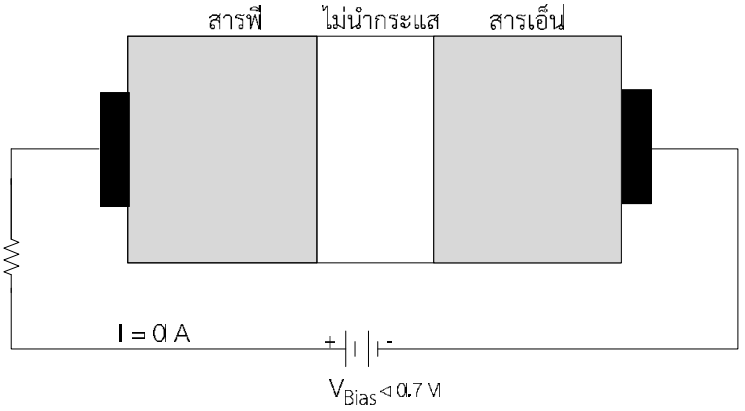


รูปที่ 1.20 แสดงการไหลของอิเล็กตรอนข้ามรอยต่อพี-เอ็น เมื่อรอยต่อพี-เอ็น ได้รับไบแอสตรง
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 18)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

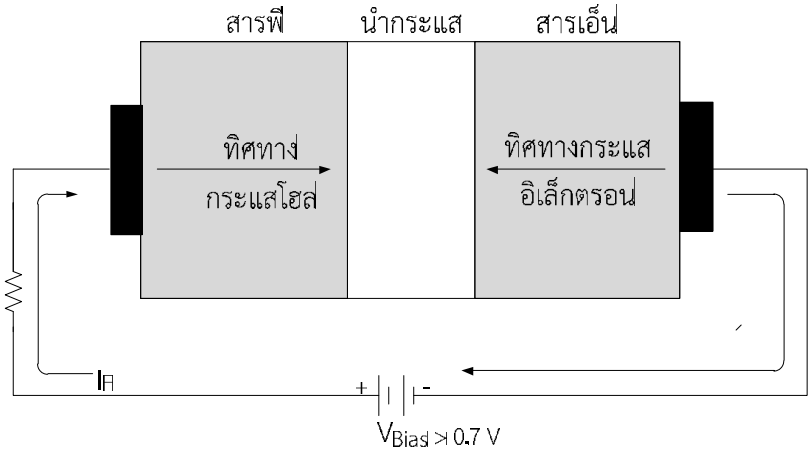
จากโครงสร้างของรอยต่อพี-เอ็น บริเวณปลอดพาหะเปรียบเสมือนมีศักย์ไฟฟ้าระหว่างรอยต่อ (V_B) มีค่าน้อยมากอยู่จำนวนหนึ่ง (0.7 V กรณีที่สารกึ่งตัวนำนั้นเป็นซิลิคอน และ 0.3 V สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเจอมันเนียม) ศักย์ไฟฟ้า V_B มีขั้วบวกที่สารพีและขั้วลบอยู่ที่สารเอ็น เมื่อต่อแหล่งจ่ายภายนอกเข้าไปแบบไบแอสตรง ศักย์แหล่งจ่ายภายนอกถ้ามากกว่าแรงดันภายในรอยต่อพี-เอ็น (V_B) เกิดอิเล็กตรอนไหลข้ามรอยต่อพี-เอ็นได้ ดังรูปที่ 1.20



ก. โครงสร้างของรอยต่อพี-เอ็น เมื่อได้รับไบแอสตรง



ข. แสดงการไบแอสภายนอกน้อยกว่าแรงดัน V_B (V_{Bias} < 0.7 V)



ค. แสดงการไบแอสภายนอกมากกว่าแรงดัน V_B (V_{Bias} > 0.7 V)

รูปที่ 1.21 แสดงการนำกระแสของรอยต่อพี-เอ็น เมื่อได้รับไบแอสตรง

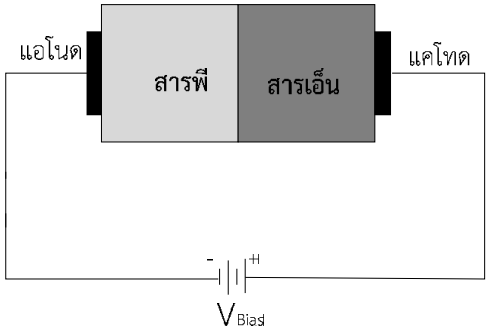
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 19)

กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

การพิจารณาการไหลของกระแสไฟฟ้า นิยมพิจารณาทิศทางของกระแสโฮลแทนอิเล็กตรอน ดังนั้น เมื่อพิจารณาโครงสร้างของรอยต่อพี-เอ็น เมื่อได้รับไบแอสตรง ดังรูปที่ 1.21 ก. จะเห็นว่าแหล่งจ่ายไบแอสภายนอกมีทิศทางหักล้างกับแหล่งจ่ายภายในรอยต่อพี-เอ็น จากรูปที่ 1.21 ข. ถ้าให้ไบแอสภายนอกน้อยกว่าแรงดัน V_B (V_{Bias} < 0.7 V) จะไม่มีกระแสไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็น (I = 0 A) แต่ถ้าให้แรงดันไบแอสภายนอกมากกว่าแรงดัน V_B (V_{Bias} < 0.7 V) จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็นได้ ดังรูปที่ 1.21 ค.

1.4.2 การไบแอสกลับที่รอยต่อพี-เอ็น

การให้ไบแอสกลับ หมายถึงการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายกับขั้วแคโทด (สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น) และต่อขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับแอโนด (สารกึ่งตัวนำชนิดพี) ดังรูปที่ 1.22

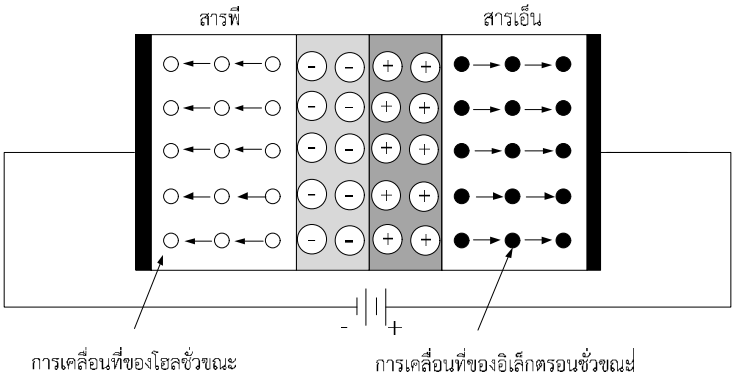


รูปที่ 1.22 แสดงการต่อไบแอสกลับให้กับรอยต่อพี-เอ็น

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 20)

กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

เมื่อรอยต่อพี-เอ็นได้รับไบแอสกลับ ศักดาไฟฟ้าที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ (ไบแอสภายนอก) จะดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ถ้าขั้วลบของแบตเตอรี่จะดึงดูดโฮลที่สารกึ่งตัวนำชนิดพีทำให้ประจุไฟฟ้าทั้งสองออกห่างจากบริเวณปลอดพาหะ สภาวะนี้เรียกว่า สภาวะกระแสชั่วขณะ ดังรูปที่ 1.23

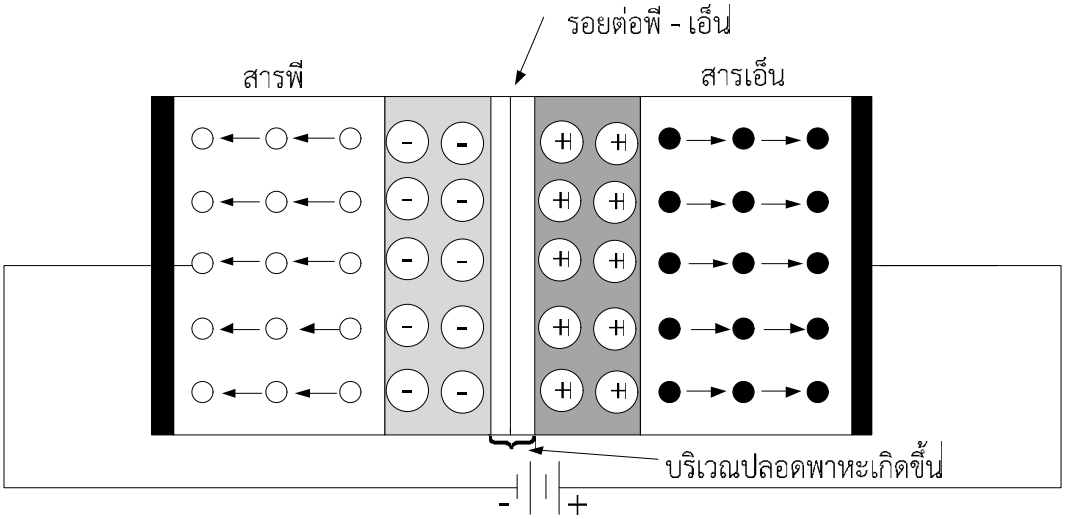


รูปที่ 1.23 รอยต่อพี-เอ็นได้รับไบแอสกลับ

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 21)

กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

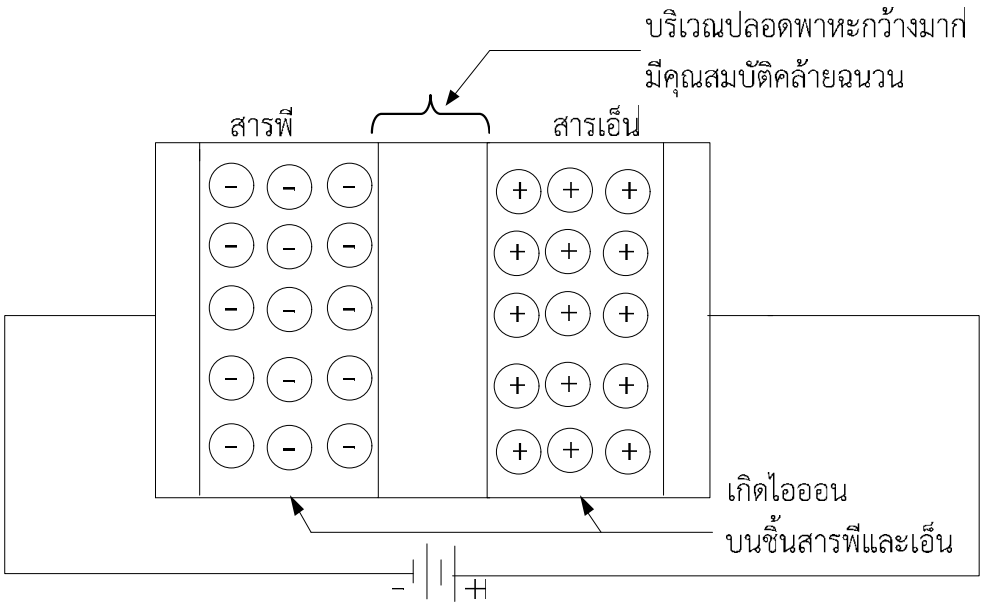
เมื่อการเคลื่อนที่ของกระแสชั่วขณะหยุดนิ่ง ดังรูปที่ 1.24 เป็นเพราะค่าแรงดันภายในรอยต่อ (V_B) มีค่าเท่ากับแรงดันไบแอสกลับจากแบตเตอรี่ภายนอก ในสภาวะนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็น แต่ในความเป็นจริงจะมีกระแสรั่วไหลซึ่งเกิดจากประจุพาหะข้างน้อยไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็น โดยไหลจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นข้ามรอยต่อไปสู่สารกึ่งตัวนำชนิดพี กระแสรั่วไหลนี้เรียกว่า กระแสรั่วไหลย้อนกลับ โดยปกติค่ากระแสดังกล่าวจะมีค่าน้อยมาก ถ้าสารกึ่งตัวนำนั้นสร้างจากเจอมันเนียม และในสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอนจะมีค่าระหว่าง uA หรือ nA กระแสรั่วไหลย้อนกลับนี้จะมีค่ามากขึ้น ถ้ารอยต่อพี-เอ็นได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 1.24 แสดงกระแสรั่วไหลซึ่งเกิดจากประจุพาหะข้างน้อยไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็น
ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 21)
กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

การป้อนไบแอสกลับ ถ้าค่าแรงดันไบแอสกลับมีค่าสูงมากๆ ทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างขึ้นและไม่มีประจุไฟฟ้าไหลข้ามรอยต่อนี้เลย สภาวะนี้ที่รอยต่อพี-เอ็น เปรียบเสมือนมีตัวเก็บประจุขนาดเล็กต่ออยู่ภายใน โดยมีไอออนบวกและไอออนลบทำหน้าที่คล้ายแผ่นเพลทโลหะตัวนำของตัวเก็บประจุ และบริเวณปลอดพาหะจะทำหน้าที่คล้ายฉนวนที่กั้นระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ดังรูปที่ 1.25

การพังทลายของรอยต่อจะเกิดขึ้นได้ เมื่อรอยต่อพี-เอ็นได้รับไบแอสกลับที่มีค่าสูงมากๆ ซึ่งเรียกการพังทลายว่า การพังทลายแบบอะวาลานซ์ (Avalanche Breakdown) คือ เกิดกระแสย้อนกลับจำนวนมากไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไบแอสภายนอกทะลุข้าม



รูปที่ 1.25 บริเวณปลอดพาหะจะทำหน้าที่คล้ายฉนวนที่กั้นระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (หน้า 21)

กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

1.5 ข้อแนะนำการใช้มัลติมิเตอร์และออสซิลโลสโคป

1.5.1 มัลติมิเตอร์ (Multimeters)

มัลติมิเตอร์ (Multimeters) คือ เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สามารถวัดปริมาณไฟฟ้าได้หลายปริมาณ แต่วัดได้ทีละปริมาณ โดยสามารถตั้งเป็นโวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์หรือ โอห์มมิเตอร์และเลือกไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ได้ มัลติมิเตอร์บางชนิดมีคุณสมบัติการวัดเพิ่มเติม เช่น วัดค่าความจุ วัดความถี่และทดสอบทรานซิสเตอร์เป็นต้น การแสดงผลมัลติมิเตอร์แบ่งเป็น 2 แบบ คือ มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeters) ดังรูปที่ 1.26 กับมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multimeters) เพื่อให้เหมาะสมกับการทดลองซึ่งมัลติมิเตอร์แต่ละเครื่องมีรายละเอียดปลีกย่อยและข้อควรระมัดระวังในการใช้งานแตกต่างกันไป โดยทั่วไปแล้วมัลติมิเตอร์สามารถใช้วัดปริมาณต่อไปนี้

- ความต่างศักย์กระแสตรง (DC Voltage)
- ความต่างศักย์กระแสสลับ (AC Voltage)
- ปริมาณกระแสตรง (DC Current)
- ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance)

มัลติมิเตอร์บางแบบสามารถใช้วัดปริมาณอื่น ๆ ได้ เช่น กำลังอัตราการขยายสัญญาณความถี่เสียง (AF Output) วัดการขยายกระแสตรงของทรานซิสเตอร์ (DC Current Amplification, h_{FE}) วัดกระแสรั่วของทรานซิสเตอร์ (Leakage Current, I_{CEO}) วัดความจุทางไฟฟ้า (Capacitance) ฯลฯ

รูปที่ 1.26 มัลติมิเตอร์แบบเข็ม

ที่มา : ภูริศักย์ จตุพศ. 2557. เอกสารประกอบการสอน วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร. วิทยาลัยเทคนิคนครนายก สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 3

มัลติมิเตอร์แบบตัวเลข

มัลติมิเตอร์แบบตัวเลข ดังแสดงในรูปที่ 1.27 สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้หลายประเภท เช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ แบบเข็ม นอกจากนี้ยังสามารถวัดปริมาณกระแสสลับ วัดการขยายกระแสตรงของทรานซิสเตอร์ วัดความจุไฟฟ้าและตรวจสอบไดโอดได้ส่วนประกอบที่สำคัญของมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข

1. จอแสดงผล (Display)
2. สวิตซ์เปิด-ปิด (ON-OFF)
3. สวิตซ์เลือกปริมาณที่จะวัดและช่วงการวัด (Range Selector Switch)
4. ช่องเสียบสายวัดร่วม (COM) ใช้เป็นช่องเสียบร่วมสำหรับการวัดทั้งหมด (ยกเว้นการวัด CX และ h_{FE} ไม่ต้องใช้สายวัด)
5. ช่องเสียบสายวัด mA สำหรับวัด DCA และ ACA ที่มีขนาด 0-200 mA
6. ช่องเสียบสายวัด 10 A สำหรับวัด DCA และ ACA ที่มีขนาด 200 mA ถึง 10 A
7. ช่องเสียบสำหรับวัดการขยายกระแสตรงของทรานซิสเตอร์
8. ช่องเสียงสำหรับวัดความจุไฟฟ้า
9. ช่องเสียบสายวัด Voltage

รูปที่ 1.27 มัลติมิเตอร์แบบตัวเลข

ที่มา : ภูริศักย์ จตุพศ. 2557. เอกสารประกอบการสอน วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร. วิทยาลัยเทคนิคนครนายก สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 3

นอกจากนี้แผงหน้าของมัลติมิเตอร์แบบตัวเลขยังมีสัญลักษณ์เพื่อความปลอดภัย (Safety Symbols) กำกับไว้ ซึ่งเป็นสัญลักษณ์สากลสำหรับเตือนผู้ใช้ให้เพิ่มความระมัดระวังในการใช้เครื่องมือมากขึ้น เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ใช้เองและให้เครื่องมืออยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานได้เสมอ สัญลักษณ์ที่กล่าวนี้ได้แก่

หมายถึง ให้ดูคำอธิบายในคู่มือ

หมายถึง ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง

1.5.2 ออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคปหรือบางครั้งเรียกสั้นๆ ว่าสโคป (Scope) แสดงดังรูปที่ 1.28 ที่ใช้งานอยู่ทั่วไป ออสซิลโลสโคปจะใช้แสดงรูปคลื่นสัญญาณหรือช่วงความถี่ของสัญญาณโดยรูปคลื่นสัญญาณที่ได้อาจเป็นแบบไซน์ แบบสี่เหลี่ยม แบบสามเหลี่ยม หรือแบบฟันเลื่อย เป็นต้น สำหรับความแตกต่างของรูปคลื่นสัญญาณขึ้นอยู่กับการวัดที่จุดใดๆ ภายในวงจร จากนั้นรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จะปรากฏที่หลอดแคโทด (Cathode–Ray Tube, CRT) มีลักษณะ เป็นจอแสดงผลเช่นเดียวกับจอของเครื่องรับโทรทัศน์และจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ รูปคลื่นสัญญาณที่ปรากฏบนจอ CRT ทำให้สามารถวัดหรือคำนวณหาคาบเวลา ความถี่และคุณลักษณะของแอมพลิจูด เช่น ค่า rms, ค่าเฉลี่ย, ค่า Peak to Peak เป็นต้น

รูปที่ 1.28 ออสซิลโลสโคป

ที่มา : ภูริศักย์ จตุพศ. 2557. เอกสารประกอบการสอน วิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร. วิทยาลัยเทคนิคนครนายก สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 3

บทสรุป

1. อนุภาคที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม (Atom)

2. 1 อะตอม ประกอบด้วย โปรตอน (Proton) นิวตรอน (Neutron) และอิเล็กตรอน (Electron)

3. นิวเคลียส ประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน ค่าประจุไฟฟ้า 1.60219 x 10-19 คูลอมบ์

4. พลังงานวงอิเล็กตรอนมีหน่วยเป็น อิเล็กตรอนโวลต์ (eV)

5. จำนวนอิเล็กตรอนแต่ละวง มีค่าเท่ากับ $2n^2$ เช่น วง K มีอิเล็กตรอน 2 $(1)^2$ = 2 ตัว วงอิเล็กตรอนนอกสุดมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว

6. วงอิเล็กตรอนนอกสุด คือ วงวาเลนซ์ (Valence Shell) อิเล็กตรอนในวง คือ วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron)

7. โควาเลนซ์บอนด์ (Covalence Bond) วิธีทำให้อะตอมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัว มี 3 วิธี คือ ให้อิเล็กตรอนไปกับอะตอมอื่น รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น และใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่น

8. แถบช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) = ช่องว่างระหว่างแถบวาเลนซ์กับแถบพลังงานนำกระแส

9. แถบพลังงาน แยกตามการนำกระแสของสารต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ ฉนวน (Insulator) ตัวนำ (conductor) สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

10. ธาตุกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาทำเป็นสารกึ่งตัวนำในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือ ธาตุกึ่งตัวนำซิลิคอน (Si) และธาตุกึ่งตัวนำเจอมันเนียม (Ge)

11. สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ คือ การนำเอาธาตุซิลิคอนหรือธาตุเจอมันเนียมบริสุทธิ์มาเติมธาตุเจือปน

12. รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) เมื่ออิเล็กตรอนในสารเอ็นเคลื่อนที่ไปแทนที่โฮลในสารพี เกิดเป็นช่วงรอยต่อ เรียกช่วงรอยต่อนี้ว่า ช่วงดีพลีชั่น (Depletion Region)

13. บริเวณที่มีไอออนบวกและไอออนลบจะไม่มีประจุพาหะบริเวณดังกล่าวว่า บริเวณปลอดพาหะ VB (Barrier Potential)

14. สารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอน บริเวณปลอดพาหะสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อประมาณ 0.7 V

15. สารกึ่งตัวนำชนิดเจอมันเนียมบริเวณปลอดพาหะสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อประมาณ 0.3 V

16. การไบแอสกลับถ้าจ่ายแรงดันสูงมาก เป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้เกิดกระแสรั่วไหลขึ้น (Leakage Current)

17. ค่ากระแสรั่วไหลมีค่าน้อยมาก ถ้าสารกึ่งตัวนำสร้างจากเจอมันเนียมและซิลิคอนจะมีค่าระหว่าง uA หรือ nA กรณีกระแสรั่วไหลย้อนกลับนี้จะมีค่ามากขึ้น ถ้ารอยต่อพี-เอ็นได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น

18. กระแสย้อนกลับไหลจากขั้วบวกแหล่งจ่ายไบแอสภายนอกทะลุข้าม คือ การพังทลายแบบอะวาลานซ์ (Avalanche Breakdown)

19. การแสดงผลมัลติมิเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeters) กับมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multimeters)

20. ออสซิลโลสโคปใช้แสดงรูปคลื่นสัญญาณ หรือแสดงช่วงความถี่ของสัญญาณ รูปคลื่นสัญญาณที่ได้อาจเป็นแบบไซน์ แบบสี่เหลี่ยม แบบสามเหลี่ยมหรือแบบฟันเลื่อย

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ POCKET BOOK. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2552

นภัทร วัจนเทพินทร์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2545

อดุลย์ กัลยาแก้ว. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.