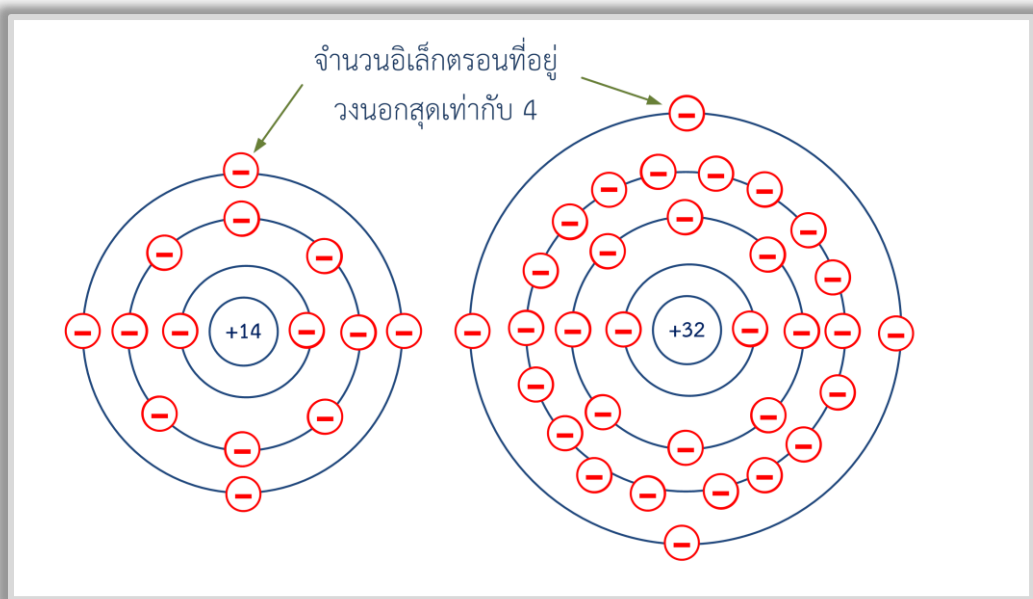
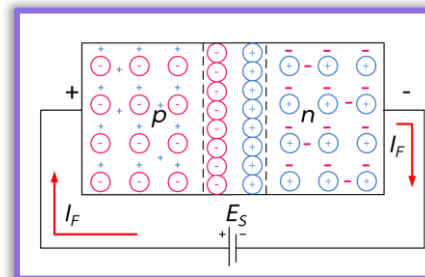
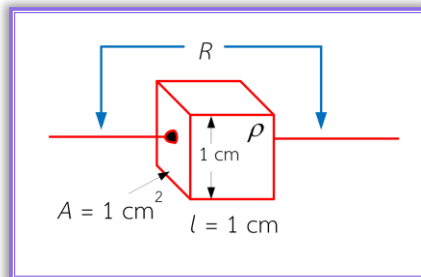


หน่วยที่ 1 พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น

(Basic Semiconductor and P-N Junction)



โดย

นายเอกนรินทร์ พลลาชีวะ

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

หน่วยที่ 1

พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น

(Basic Semiconductor and P-N Junction)

สาระสำคัญ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะใช้หลักการควบคุมการไหลของอิเล็กตรอน ดังนั้น รายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ จึงมีความจำเป็นต้องเรียนรู้ส่วนประกอบของอะตอม การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน พลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างตัวนำ อนุว และสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และโครงสร้างของรอยต่อพี-เอ็น การให้ไบอัสตรงและการให้ไบอัสกลับเพื่อให้ทราบถึงการไหลของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการให้ไบอัส

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอม หลักการคำนวณจำนวนอิเล็กตรอน คุณสมบัติแถบพลังงานของ อนุว สารกึ่งตัวนำ และตัวนำ ความแตกต่างระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น รอยต่อพี-เอ็น และการให้ไบอัสกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (พุทธิพิสัย)

- บอกโครงสร้างของอะตอม และ ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในอะตอมได้อย่างถูกต้อง
- คำนวณจำนวนของอิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรของอะตอมได้อย่างถูกต้อง
- เปรียบเทียบคุณสมบัติแถบพลังงานของ อนุว สารกึ่งตัวนำ และตัวนำได้อย่างถูกต้อง
- บอกความแตกต่างระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นได้อย่างถูกต้อง
- บอกวิธีการให้ไบอัสกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นได้อย่างถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหา

- อะตอม (Atoms)
- สารกึ่งตัวนำ (Semiconductors)
- วงโคจรของอิเล็กตรอนและระดับพลังงาน (Electron Orbits And Energy Levels)
- แถบพลังงาน (Energy Bands)
- สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และ ชนิดพี (N-Type and P-Type Semiconductors)
- รอยต่อ P-N (P-N Junction)
- การไบอัส (Bias) รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction)

แบบทดสอบก่อนเรียน
หน่วยที่ 1 พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น
(Basic Semiconductor and P-N Junction)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

1. นิวเคลียสมีส่วนประกอบมาจากข้อใด

- ก. อิเล็กตรอนและอะตอม
- ข. โปรตรอนและนิวตรอน
- ค. อิเล็กตรอนและโปรตรอน
- ง. อิเล็กตรอนและนิวตรอน
- จ. นิวตรอนและอะตอม

2. อะตอมของสารซิลิกอน มีโปรตรอนจำนวนเท่าไร

- ก. 4
- ข. 14
- ค. 29
- ง. 32
- จ. 34

3. ข้อใดคือความแตกต่างของแถบพลังงานระหว่าง ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ

- ก. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำมีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้เกิน 8 ตัว
- ข. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำมีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว
- ค. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำ
- ง. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำมากกว่าสารกึ่งตัวนำ
- จ. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำเท่ากับสารกึ่งตัวนำ

4. กระบวนการเติมสารเจือปนลงไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ เรียกว่าอะไร

- ก. Adding Impurities
- ข. Ionization
- ค. Recombination
- ง. Diffusion
- จ. Conduction Band

5. บริเวณหลอดพาหะ ประกอบด้วยข้อใด
 - ก. ประจุพาหะข้างน้อยที่เป็นโฮล
 - ข. ประจุพาหะข้างมากที่เป็นอิเล็กตรอนอิสระ
 - ค. ไอออนบวกเพียงอย่างเดียว
 - ง. ประจุพาหะข้างมากและประจุพาหะข้างน้อยในปริมาณเท่ากัน
 - จ. ไอออนบวกและไอออนลบ
6. ประจุพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นคือข้อใด
 - ก. โฮล
 - ข. โปรตอน
 - ค. อิเล็กตรอนอิสระ
 - ง. วาเลนซ์อิเล็กตรอน
 - จ. นิวตรอน
7. โฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น คือข้อใด
 - ก. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะการได้ป
 - ข. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ค. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ง. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะการได้ป
 - จ. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะการได้รับไบอัส
8. ความหมายของการไบอัส คือข้อใด
 - ก. จำนวนกระแสที่ข้ามรอยต่อพี-เอ็น
 - ข. การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้รอยต่อพี-เอ็น
 - ค. การจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อควบคุมการไหลของกระแส
 - ง. จำนวนอิเล็กตรอนระหว่างพาหะข้างมากและพาหะข้างน้อย
 - จ. การทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ได้
9. เมื่อรอยต่อพี-เอ็นได้รับไบอัสตรงจะเกิดผลอย่างไร
 - ก. เกิดการพังทลายที่รอยต่อ
 - ข. เกิดกระแสวาลเลนซ์จำนวนมาก
 - ค. เกิดกระแสจำนวนหนึ่งจากพาหะข้างมาก
 - ง. เกิดกระแสจำนวนหนึ่งจากพาหะข้างน้อย
 - จ. เกิดการไหลของกระแสอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ

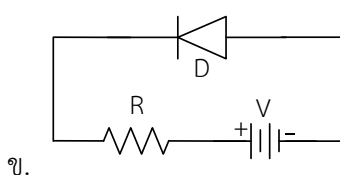
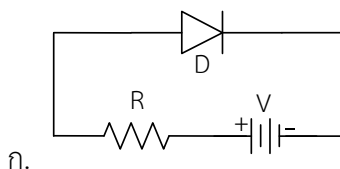
แบบทดสอบหลังเรียน
หน่วยที่ 1 พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น
(Basic Semiconductor and P-N Junction)

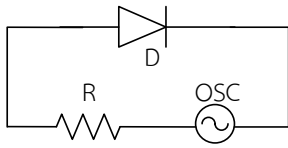
คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

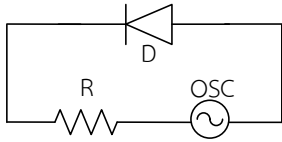
1. แถบพลังงานใดที่มีอิเล็กตรอนอิสระ
ก. แถบที่ 1
ข. แถบที่ 2
ค. แถบวาเลนซ์
ง. แถบฉนวน
จ. แถบความนำ
2. อะตอมของสารซิลิกอน มีโปรตอนจำนวนเท่าใด
ก. 34
ข. 32
ค. 4
ง. 14
จ. 29
3. นิวเคลียสมีส่วนประกอบมาจากข้อใด
ก. นิวตรอนและอะตอม
ข. อิเล็กตรอนและโปรตอน
ค. โปรตอนและนิวตรอน
ง. อิเล็กตรอนและนิวตรอน
จ. อิเล็กตรอนและอะตอม
4. สารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว เมื่อเติมลงไปนซิลิคอนบริสุทธิ์จะทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่คือข้อใด
ก. สารกึ่งตัวนำโบรอน
ข. สารกึ่งตัวนำแกลเลียม
ค. สารกึ่งตัวนำชนิดพี
ง. สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
จ. สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

5. จุดประสงค์ของการเจือปนสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัวเพื่ออะไร
 - ก. เพิ่มจำนวนโฮลในสารกึ่งตัวนำ
 - ข. ลดสถานะการเป็นตัวนำของซิลิคอน
 - ค. เพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ
 - ง. สร้างประจุพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำ
 - จ. กำหนดประจุบวกในสารกึ่งตัวนำ
6. โฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น คือข้อใด
 - ก. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะการโด๊ป
 - ข. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ค. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ง. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะการโด๊ป
 - จ. ไม่มีข้อใดถูก
7. รอยต่อพี-เอ็นเกิดจากข้อใด
 - ก. การเกิดไอออน
 - ข. เกิดจากขอบของรอยต่อพี-เอ็น
 - ค. การโคจรของโปรตอนและนิวตรอน
 - ง. การรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮล
 - จ. การนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีมาวางติดกัน
8. ข้อใดคือความแตกต่างของแถบพลังงานระหว่าง ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ
 - ก. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำมีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้เกิน 8 ตัว
 - ข. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำ มีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว
 - ค. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำ
 - ง. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำมากกว่าสารกึ่งตัวนำ
 - จ. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำเท่ากับสารกึ่งตัวนำ
9. การให้ไบอัสตรงข้อใดถูกต้อง

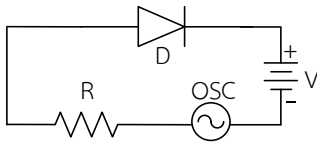




ค.



ง.



จ.

10. ถ้านำสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนไปใช้ทำเป็นไดโอด เราต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงขนาดเท่าใดจึงจะทำให้ไดโอดนำกระแสได้

- ก. มากกว่า 0.3 V
- ข. มากกว่า 0.7 V
- ค. น้อยกว่า 0.3 V
- ง. น้อยกว่า 0.7 V
- จ. มากกว่า 0 V

แบบทดสอบก่อนเรียน
หน่วยที่ 2 ไดโอดและวงจรการใช้งาน
(Diodes and Circuits)

คำชี้แจง

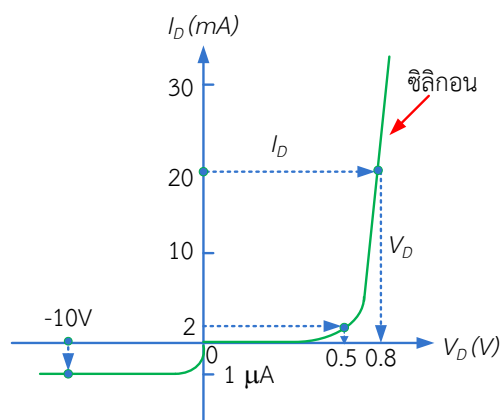
1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 18 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 20 นาที

-
1. คุณสมบัติของไดโอดขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรงตรงกับข้อใด
 - ก. กระแสไหลผ่านไดโอดได้
 - ข. มีกระแสไหลกลับทิศทางจากเดิมและมีค่ามาก
 - ค. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็น
 - ง. ไม่เกิดเป็นแบตเตอรี่สมมุติ หรือดีพลีชันรีจินขึ้นที่บริเวณรอยต่อ
 - จ. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นซึ่งมีค่าน้อยมาก
 2. คุณสมบัติของไดโอดขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสกลับตรงกับข้อใด
 - ก. ไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอดได้เลย
 - ข. มีกระแสไหลกลับทิศทางจากเดิม และมิต่าน้อยมาก
 - ค. เกิดเป็นแบตเตอรี่สมมุติหรือดีพลีชันรีจินขึ้นที่บริเวณรอยต่อ
 - ง. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นซึ่งมีค่าน้อย
 - จ. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นซึ่งมีค่าน้อยมาก
 3. จงคำนวณหาค่าความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับของไดโอดที่มี I_D เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงต่ำสุด 10 mA สูงสุด 25 mA และมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน V_D ต่ำสุด 0.4 V สูงสุด 0.6 V
 - ก. 10.11 Ω
 - ข. 12.22 Ω
 - ค. 13.33 Ω
 - ง. 14.44 Ω
 - จ. 15.55 Ω
 4. อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบต่อไดโอดอย่างไร
 - ก. ทำให้กระแสไหลลดลง
 - ข. ทำให้ค่าความต้านทานของไดโอดสูงขึ้น
 - ค. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นลดลง
 - ง. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นเพิ่มขึ้น
 - จ. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นเท่ากับแหล่งจ่าย

5. อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบต่อไดโอดขณะได้รับไบอัสกลับอย่างไร

- ก. ทำให้กระแสไหลสูงขึ้นมาก
- ข. ทำให้ค่าความต้านทานของไดโอดเพิ่มขึ้น
- ค. ทำให้ค่าความต้านทานของไดโอดไม่คงที่
- ง. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นลดลง
- จ. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นเพิ่มขึ้น

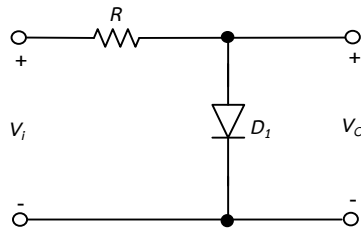
6. จงคำนวณค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (R_D) จากกราฟการทำงานของไดโอดต่อไปนี้
ที่ตำแหน่ง $I_D = 20 \text{ mA}$



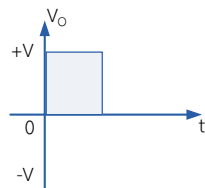
รูปที่ 1 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 6

- ก. 20Ω
 - ข. 30Ω
 - ค. 40Ω
 - ง. 50Ω
 - จ. 60Ω
7. ความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและค่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดตรงกับข้อใด
- ก. การเปลี่ยนแปลงของกระแสมาจากการลดขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_{BV}
 - ข. การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เพิ่มขึ้นมาจากการเพิ่มขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_{BV}
 - ค. การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เพิ่มขึ้นมาจากการเพิ่มขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_K
 - ง. การเปลี่ยนแปลงของกระแสมาจากการลดขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_K
 - จ. การเปลี่ยนแปลงของกระแสมาจากการลดขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับที่แหล่งจ่าย

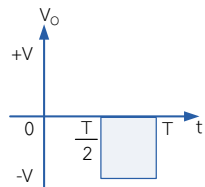
8. ข้อใดเป็นรูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตัวคูณแบบขนาน จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 3



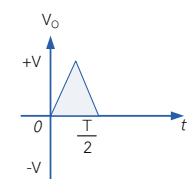
รูปที่ 2 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 8



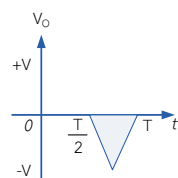
ก.



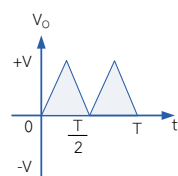
ข.



ค.



ง.



จ.

9. การเลือกใช้งานไดโอดเพื่อให้สามารถทนแรงดันไฟตรงไบอัสกลับสูงสุดโดยไม่พัง เราจะต้องพิจารณาจากค่าใดในคู่มือใช้งานไดโอด

ก. V_D

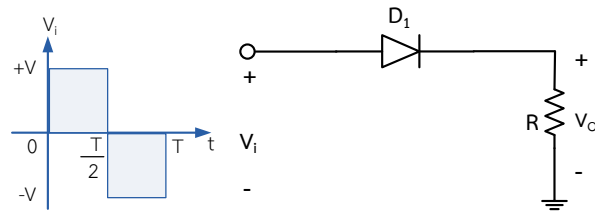
ข. V_{DS}

ค. V_F

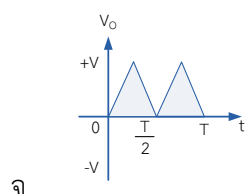
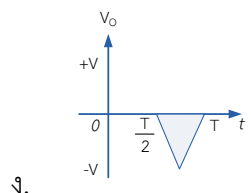
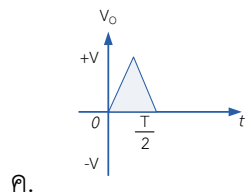
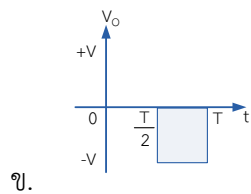
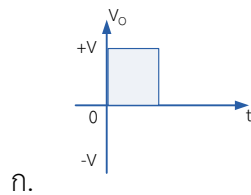
ง. V_R

จ. V_{FS}

10. ข้อใดเป็นรูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตัวคูณแบบอนุกรมจากวงจรดังแสดงในรูปที่ 4



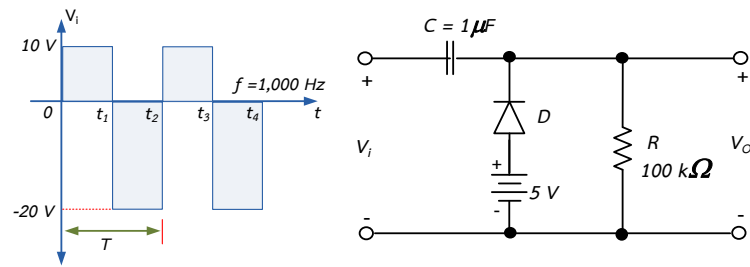
รูปที่ 3 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 10



11. ถ้าเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นนี้มีค่า $V_m = 200$ V ค่าเฉลี่ยแรงดันดีซีที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่าไร

- ก. 63.66 V
- ข. 87.93 V
- ค. 96.24 V
- ง. 101.31 V
- จ. 127.22 V

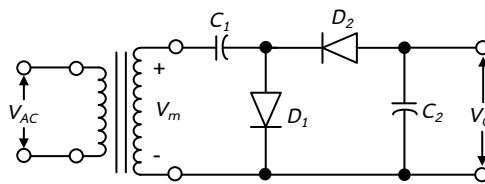
12. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 2 จงหาค่าแรงดันเอาต์พุต V_O



รูปที่ 4 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 12

- ก. 20 V
- ข. 25 V
- ค. 30 V
- ง. 35 V
- จ. 41 V

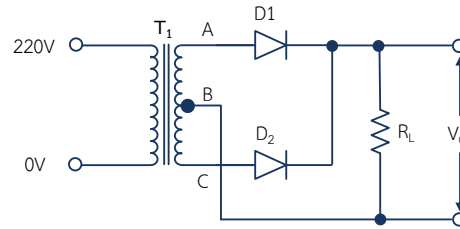
13. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงช่วงชุกบวกเข้ามา ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง



รูปที่ 5 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 13

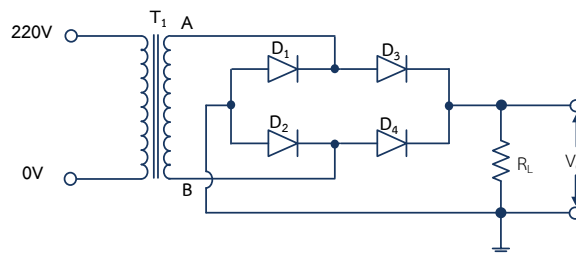
- ก. ไดโอด D_1 นำกระแสและ ไดโอด D_2 นำกระแส
- ข. ไดโอด D_1 ไม่นำกระแสและ ไดโอด D_2 นำกระแส
- ค. ไดโอด D_1 นำกระแสและ ไดโอด D_2 ไม่นำกระแส
- ง. ไดโอด D_1 ไม่นำกระแสและ ไดโอด D_2 ไม่นำกระแส
- จ. ไม่มีข้อใดกล่าวถูกต้อง

14. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบใด



รูปที่ 6 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 14

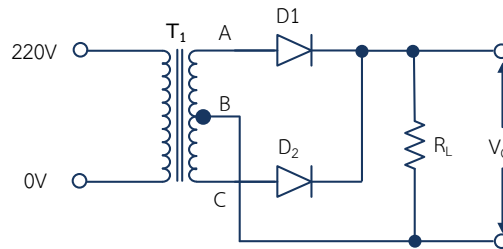
- ก. วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น
 - ข. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น
 - ค. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
 - ง. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่ไม่มีเซนเตอร์แทป
 - จ. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่มีเซนเตอร์แทป
15. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 7 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบใด



รูปที่ 7 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 15

- ก. วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น
- ข. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น
- ค. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
- ง. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่ไม่มีเซนเตอร์แทป
- จ. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่มีเซนเตอร์แทป

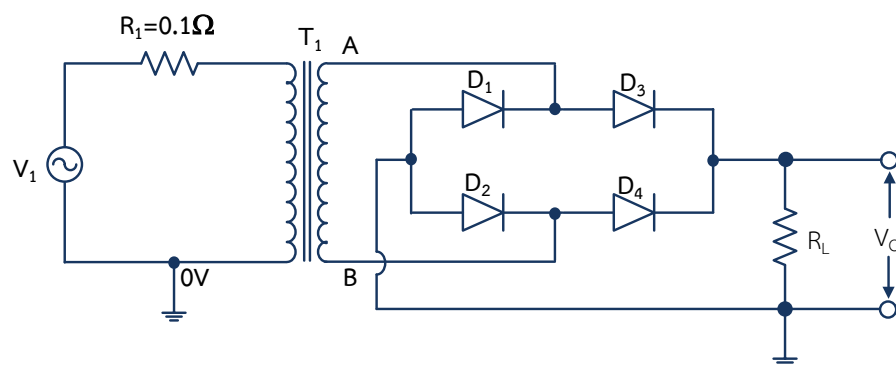
16. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 8 ถ้าป้อนแรงดันเอซีเท่ากับ $35\text{ V} - 0 - 35\text{ V}$ ค่าแรงดัน V_{dc} ที่เอาต์พุตมีค่าเท่าไร



รูปที่ 8 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 16

- ก. 15.26 V
- ข. 17.81 V
- ค. 22.26 V
- ง. 24.17 V
- จ. 26.28 V

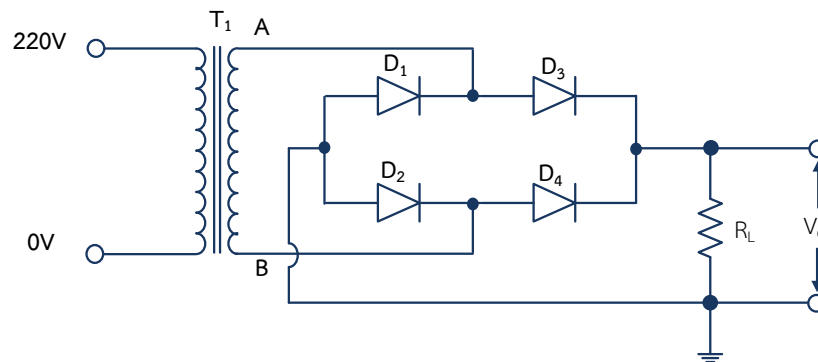
17. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 9 ถ้าป้อนแรงดันเอซีเท่ากับ $48\text{ V} - 0$ ค่าแรงดัน V_{dc} ที่เอาต์พุตมีค่าเท่าไร



รูปที่ 9 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 17

- ก. 12.72 V
- ข. 19.08 V
- ค. 30.53 V
- ง. 32.17 V
- จ. 35.26 V

18. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 10 กำหนดให้ตำแหน่ง A มีความต่างศักย์เป็นลบ ตำแหน่ง B มีความต่างศักย์เป็นบวก ทิศทางของกระแสจะเป็นอย่างไร



รูปที่ 10 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 18

- ก. ตำแหน่ง B D_1 R_L ตำแหน่ง A
- ข. ตำแหน่ง A D_1 R_L D_3 ตำแหน่ง B
- ค. ตำแหน่ง A D_2 R_L D_3 ตำแหน่ง B
- ง. ตำแหน่ง B D_4 R_L D_1 ตำแหน่ง A
- จ. ตำแหน่ง B D_2 R_L D_3 ตำแหน่ง A

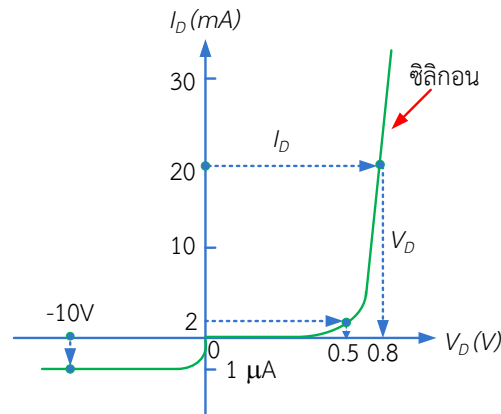
แบบทดสอบหลังเรียน
หน่วยที่ 2 ไดโอดและวงจรการใช้งาน
(Diodes and Circuits)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 18 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 20 นาที

-
1. คุณสมบัติของไดโอดขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสกลับตรงกับข้อใด
 - ก. ไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอดได้เลย
 - ข. เกิดเป็นแบตเตอรี่สมมติหรือดีพลีชันรีจินขึ้นที่บริเวณรอยต่อ
 - ค. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นซึ่งมีค่าน้อย
 - ง. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นซึ่งมีค่าน้อยมาก
 - จ. มีกระแสไหลกลับทิศทางจากเดิม และมีค่าน้อยมาก
 2. อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบต่อไดโอดขณะที่ได้รับไบอัสตรงอย่างไร
 - ก. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นเพิ่มขึ้น
 - ข. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นลดลง
 - ค. ทำให้กระแสไหลลดลง
 - ง. ทำให้ค่าความต้านทานของไดโอดสูงขึ้น
 - จ. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นเท่ากับแหล่งจ่าย
 3. จงคำนวณหาค่าความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับของไดโอดที่มี I_D เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงต่ำสุด 10 mA สูงสุด 25 mA และมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน V_D ต่ำสุด 0.4 V สูงสุด 0.6 V
 - ก. 10.11 Ω
 - ข. 12.22 Ω
 - ค. 13.33 Ω
 - ง. 14.44 Ω
 - จ. 15.55 Ω
 4. อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบต่อไดโอดขณะที่ได้รับไบอัสกลับอย่างไร
 - ก. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นเพิ่มขึ้น
 - ข. ทำให้แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนั้นลดลง
 - ค. ทำให้กระแสไหลสูงขึ้นมาก
 - ง. ทำให้ค่าความต้านทานของไดโอดไม่คงที่
 - จ. ทำให้ค่าความต้านทานของไดโอดเพิ่มขึ้น

5. จงคำนวณค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสตรง (R_D) จากกราฟการทำงานของไดโอดต่อไปนี้
ที่ตำแหน่ง $I_D = 20 \text{ mA}$



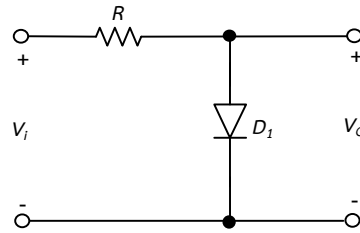
รูปที่ 1 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 5

- ก. 20Ω
- ข. 30Ω
- ค. 40Ω
- ง. 50Ω
- จ. 60Ω

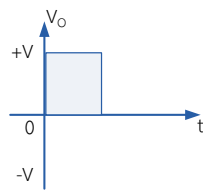
6. ความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและค่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดตรงกับข้อใด

- ก. การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เพิ่มขึ้นมาจากการเพิ่มขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด
ขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_{BV}
- ข. การเปลี่ยนแปลงของกระแสมาจากการลดขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่
ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_{BV}
- ค. การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เพิ่มขึ้นมาจากการเพิ่มขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด
ขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_K
- ง. การเปลี่ยนแปลงของกระแสมาจากการลดขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่
ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ V_K
- จ. การเปลี่ยนแปลงของกระแสมาจากการลดขนาดแรงดันและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่
ไดโอดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับที่แหล่งจ่าย

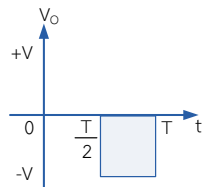
7. ข้อใดเป็นรูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตัวคูณแบบขนาน จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 3



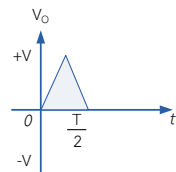
รูปที่ 2 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 7



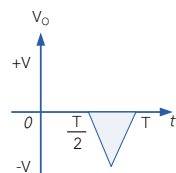
ก.



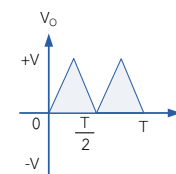
ข.



ค.



ง.



จ.

8. คุณสมบัติของไดโอดขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรงตรงกับข้อใด

- ก. กระแสไหลผ่านไดโอดได้
- ข. ไม่เกิดเป็นแบตเตอรี่สมมุติ หรือดีพลีชันรีจินขึ้นที่บริเวณรอยต่อ
- ค. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็น
- ง. มีกระแสไหลที่เกิดจากพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำพีและเอ็นซึ่งมีค่าน้อยมาก
- จ. มีกระแสไหลกลับทิศทางจากเดิมและมีค่ามาก

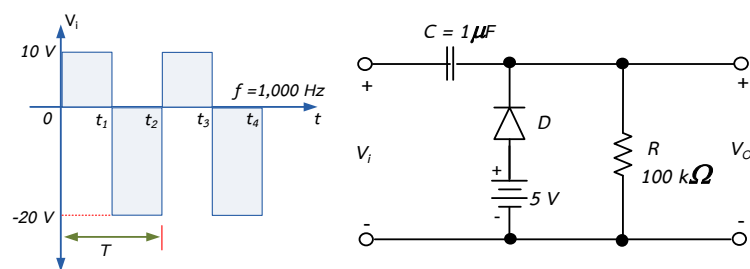
เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

9. การเลือกใช้งานไดโอดเพื่อให้สามารถทนแรงดันไฟตรงไบอัสกลับสูงสุดโดยไม่พัง เราจะต้องพิจารณาจากค่าใดในคู่มือใช้งานไดโอด

- ก. V_D
- ข. V_{DS}
- ค. V_F
- ง. V_R
- จ. V_{FS}

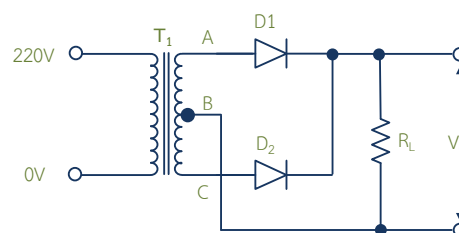
10. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 2 จงหาค่าแรงดันเอาต์พุต V_O



รูปที่ 3 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 10

- ก. 20 V
- ข. 25 V
- ค. 30 V
- ง. 35 V
- จ. 41 V

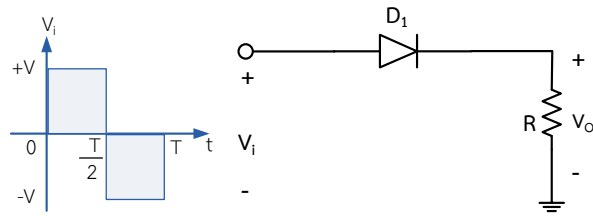
11. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบใด



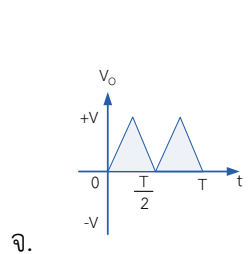
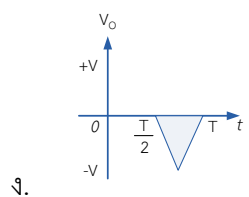
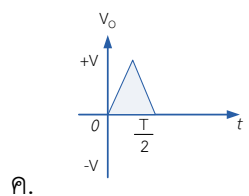
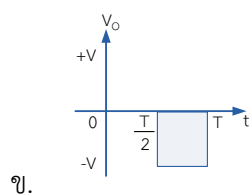
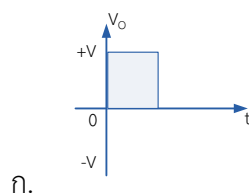
รูปที่ 4 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 11

- ก. วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น
- ข. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น
- ค. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
- ง. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่ไม่มีเซนเตอร์แทป
- จ. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่มีเซนเตอร์แทป

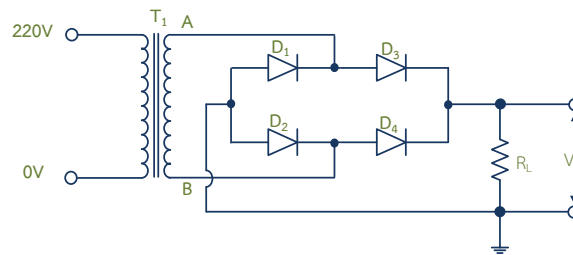
12. ข้อใดเป็นรูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตัวคูณแบบอนุกรมจากวงจรดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 5 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 12



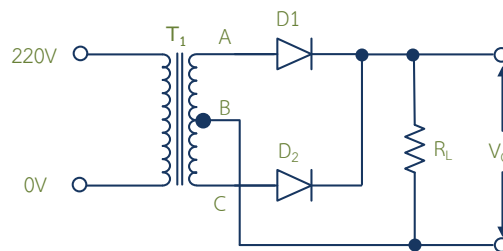
13. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 7 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบใด



รูปที่ 6 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 13

- ก. วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น
- ข. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น
- ค. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์
- ง. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่ไม่มีเซนเตอร์แทป
- จ. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบชนิดใช้หม้อแปลงที่มีเซนเตอร์แทป

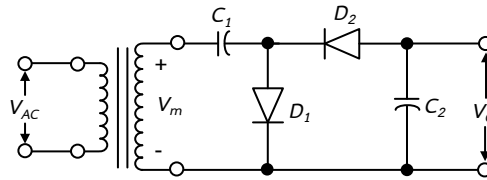
14. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 8 ถ้าป้อนแรงดันเอซีเท่ากับ $35\text{ V} - 0 - 35\text{ V}$ ค่าแรงดัน V_{dc} ที่เอาต์พุตมีค่าเท่าไร



รูปที่ 7 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 14

- ก. 15.26 V
- ข. 17.81 V
- ค. 22.26 V
- ง. 24.17 V
- จ. 26.28 V

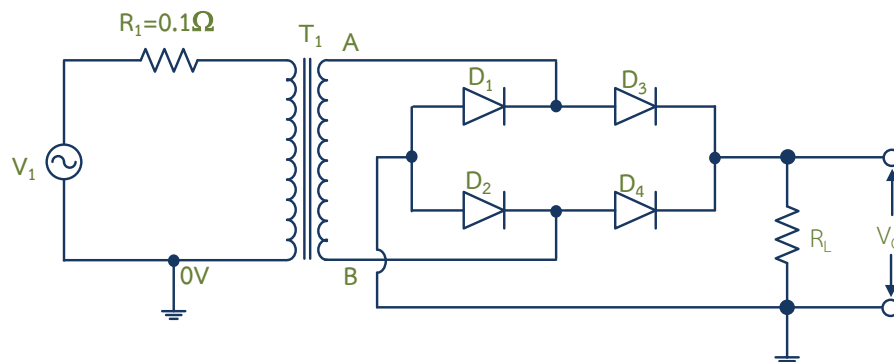
15. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงช่วงชีกบวกเข้ามา ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง



รูปที่ 8 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 15

- ก. ไดโอด D_1 นำกระแสและ ไดโอด D_2 ไม่นำกระแส
- ข. ไดโอด D_1 ไม่นำกระแสและ ไดโอด D_2 นำกระแส
- ค. ไดโอด D_1 นำกระแสและ ไดโอด D_2 นำกระแส
- ง. ไดโอด D_1 ไม่นำกระแสและ ไดโอด D_2 ไม่นำกระแส
- จ. ไม่มีข้อใดกล่าวถูกต้อง

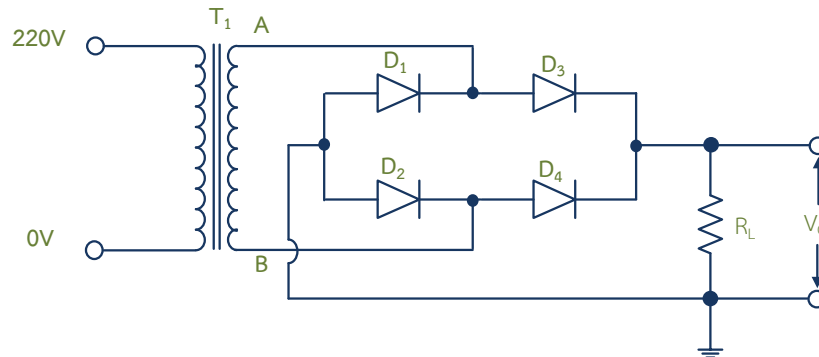
16. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 9 ถ้าป้อนแรงดันเอซีเท่ากับ $48\text{ V} - 0$ ค่าแรงดัน V_{dc} ที่เอาต์พุตมาค่าเท่าไร



รูปที่ 9 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 16

- ก. 12.72 V
- ข. 19.08 V
- ค. 30.53 V
- ง. 32.17 V
- จ. 35.26 V

17. จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 10 กำหนดให้ตำแหน่ง A มีความต่างศักย์เป็นลบ ตำแหน่ง B มีความต่างศักย์เป็นบวก ทิศทางของกระแสจะเป็นอย่างไร



รูปที่ 10 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 17

- ก. ตำแหน่ง A D_1 R_L D_3 ตำแหน่ง B
 ข. ตำแหน่ง A D_2 R_L D_3 ตำแหน่ง B
 ค. ตำแหน่ง B D_4 R_L D_1 ตำแหน่ง A
 ง. ตำแหน่ง B D_1 R_L ตำแหน่ง A
 จ. ตำแหน่ง B D_2 R_L D_3 ตำแหน่ง A
18. ถ้าเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นมีค่า $V_m = 200$ V ค่าเฉลี่ยแรงดันดีซีที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่าไร
- ก. 63.66 V
 ข. 87.93 V
 ค. 96.24 V
 ง. 101.31 V
 จ. 127.22 V

10. ถ้านำสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนไปใช้ทำเป็นไดโอด เราต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงขนาดเท่าใดจึงจะทำให้ไดโอดนำกระแสได้

- ก. มากกว่า 0.3 V
- ข. น้อยกว่า 0.7 V
- ค. น้อยกว่า 0.3 V
- ง. มากกว่า 0.7 V
- จ. มากกว่า 0 V

หน่วยที่ 1

พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น

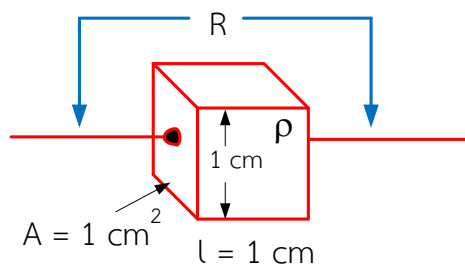
(Basic Semiconductor and P-N Junction)

เนื้อหาสาระ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้นำวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แทนการใช้อุปกรณ์ที่ใช้หลักการของหลอดสุญญากาศ ทำให้อุปกรณ์ที่ได้มีขนาดเล็กลง และมีน้ำหนักเบา ไม่ต้องใช้ความร้อนในการอุ่นไส้หลอด มีความทนทานมากขึ้น ประหยัดพลังงานมากขึ้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะใช้หลักการควบคุมการไหลของอิเล็กตรอน ดังนั้นรายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ จึงมีความจำเป็นต้องเรียนรู้ส่วนประกอบของอะตอม การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน พลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และโครงสร้างของรอยต่อพี-เอ็น การให้ไบอัสตรงและการให้ไบอัสกลับเพื่อให้ทราบถึงการไหลของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการให้ไบอัส

1.1 อะตอม (Atoms)

สารกึ่งตัวนำเป็นธาตุที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างตัวนำไฟฟ้า (Conductor) และฉนวนไฟฟ้า (Insulator) ซึ่งเราสามารถแบ่งแยกได้โดยใช้ค่า ความต้านทานจำเพาะ (Resistivity; ρ) ซึ่งหาได้จากการวัดค่าความต้านทาน (R) ของวัสดุที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงวัสดุที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

ที่มา : Robert Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices And Circuit Theory**, Seventh Edition: New Jersey. Prentice Hall.

เนื่องจาก

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l}$$

$\Omega \cdot \text{cm}$ (1.1)

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 |R| &= \rho \frac{l}{A} \\
 &= \rho \frac{(1\text{cm})}{(1\text{cm}^2)} \\
 &= |\rho| \Omega
 \end{aligned}$$

เมื่อ ρ = ค่าความต้านทานจำเพาะ (Resistivity) มีหน่วยเป็น $\Omega - \text{cm}$
 R = ค่าความต้านทาน (Resistance) มีหน่วยเป็น Ω
 A = พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น cm^2
 l = ความยาว มีหน่วยเป็น cm

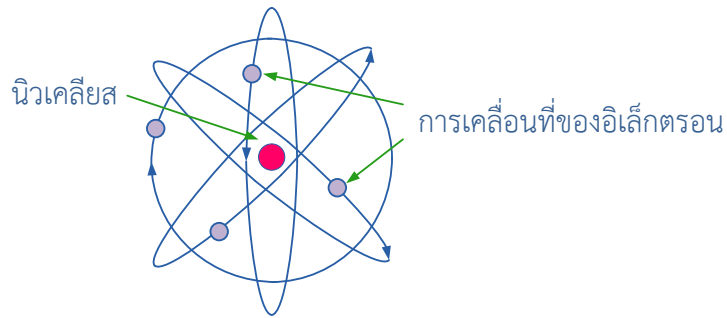
จากตารางที่ 1.1 เป็นการเปรียบเทียบความต้านทานจำเพาะของตัวนำที่ด้อย่างทองแดง กับสารกึ่งตัวนำ และ ฉนวนที่ด้อย่างไมกา ซึ่งทำให้ทราบว่า ฉนวนมีความต้านทานจำเพาะสูงกว่าสารกึ่งตัวนำ และ สารกึ่งตัวนำก็มีค่าความต้านทานสูงกว่าตัวนำ

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบความต้านทานจำเพาะ

ตัวนำ	สารกึ่งตัวนำ	ฉนวน
$\rho \cong 10^{-6} \Omega - \text{cm}$ ทองแดง (Copper)	$\rho \cong 50 \Omega - \text{cm}$ (Ge) $\rho \cong 10^3 \Omega - \text{cm}$ (Si)	$\rho \cong 10^3 \Omega - \text{cm}$ ไมกา (Mica)

ที่มา : Robert Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices And Circuit Theory**, Seventh Edition: New Jersey. Prentice Hall.

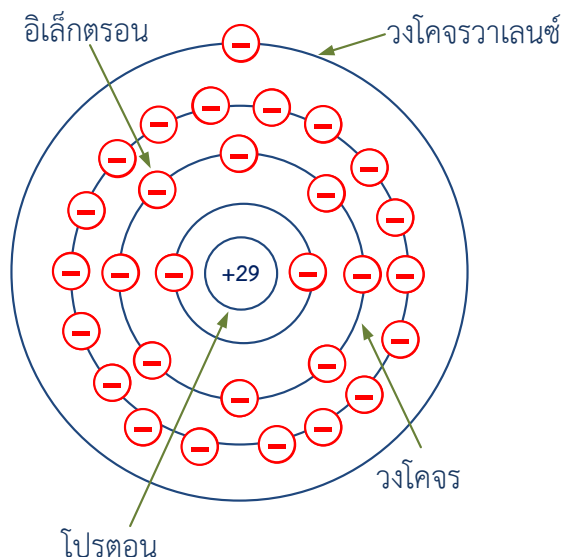
สสารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม ซึ่งเราไม่สามารถทำการสร้างขึ้นใหม่ แบ่งออกหรือทำลายให้สูญหายไปได้ โดยอะตอมแต่ละชนิดประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานสำคัญ 3 ชนิด คือ 1. โปรตอน (Proton) 2. นิวตรอน (Neutron) 3. อิเล็กตรอน (Electron) โดยมีโปรตอนกับนิวตรอนอยู่ในนิวเคลียส (Nucleus) ซึ่งโปรตอนจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกมีค่าเท่ากับ 1.60×10^{-19} คูโลมป์ ส่วนอิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเท่ากับ -1.60×10^{-19} คูโลมป์ เราจะเห็นได้ว่าจำนวนประจุไฟฟ้าของโปรตอนและอิเล็กตรอนจะเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน ส่วนนิวตรอนจะไม่มีค่าประจุไฟฟ้า หรือเรียกได้ว่าเป็นกลางทางไฟฟ้านั่นเอง โครงสร้างของอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 รูปแสดงโครงสร้างของอะตอม

ที่มา : สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2558.

ทองแดงนับได้ว่าเป็นตัวนำที่ดี ซึ่งเมื่อพิจารณาไปที่ โครงสร้างอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โดยเราจะเห็นว่านิวเคลียสของอะตอมจะประกอบไปด้วยโปรตอนจำนวน 29 ตัว (ประจุบวก) เมื่ออะตอมของทองแดงมีความเป็นกลางทางประจุไฟฟ้าจะมี อิเล็กตรอน 29 ตัว (ประจุลบ) โคจรรอบ ๆ นิวเคลียส โดยจะมีจำนวน 2 ตัว ในวงโคจรแรก 8 ตัว ในวงโคจรที่สองมี 18 ตัวในวงโคจรที่สาม และ 1 ตัวในวงโคจรนอกสุด ในด้านอิเล็กทรอนิกส์วงโคจรนอกสุดของอะตอมมีชื่อเรียกว่า วงโคจรวาเลนซ์ (Valence Orbit) โดยวงโคจรวาเลนซ์นี้จะเป็นวงโคจรที่ควบคุมคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอะตอม ซึ่งถือได้ว่าเป็นวงโคจรที่มีความสำคัญในการนำมาประกอบการพิจารณาว่า สาร ชนิดนั้นมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็น ตัวนำ สารกึ่งตัวนำ หรือ ฉนวน



รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างอะตอมของทองแดง

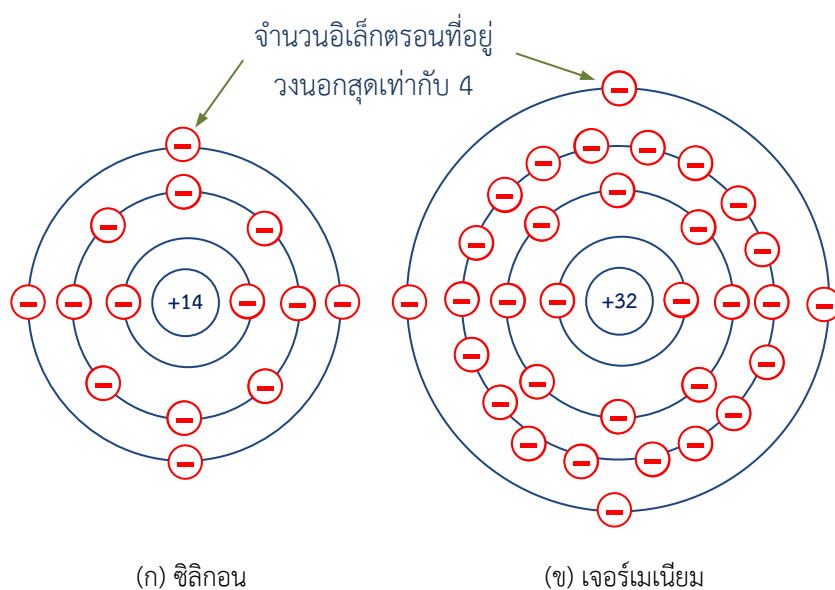
ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. Electronic Principles. Seventh Edition.
New York: McGraw-Hill, 2007.

เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างแกนกลางของอะตอมหรือนิวเคลียส กับอิเล็กตรอนที่โคจรอยู่นอกสุดมีค่าน้อยมากจึงทำให้พลังงานจากภายนอกสามารถกระทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดหลุดออกจากวงโคจรของอะตอมได้อย่างง่ายดาย จึงเป็นเหตุผลที่เราเรียกอิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดนี้ว่า อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) นั้นแสดงให้เห็นว่า ทองแดงเป็นตัวนำที่ดี เพราะเราใช้พลังงานกระทำเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่งที่อยู่ถัดไปได้

1.2 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductors)

อะตอมของตัวนำที่ดี เช่น เงิน ทองแดง และทอง จะมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดเพียง 1 ตัว ในขณะที่อะตอมของฉนวนที่ดี จะมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 8 ตัว สำหรับสารกึ่งตัวนำ จะเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำกับฉนวน ซึ่งเราพบว่าอะตอมของสารกึ่งตัวนำที่ดี จะมีจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดเท่ากับ 4 ตัว

สารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียม (Germanium) เป็นตัวอย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำที่มีจำนวนอิเล็กตรอนจำนวน 32 ตัว ในวงโคจรนอกสุดมีจำนวน 4 ตัว ในอดีต สารเจอร์เมเนียมเป็นเพียงสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวที่เหมาะสมสำหรับการนำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัว แต่ด้วยอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียม ยังมีข้อเสียในเรื่องการไหลของกระแสไหลย้อนกลับ (Reverse Leakage Current) ที่มากเกินไป โดยทางด้านวิศวกรรมยังไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ ซึ่งในที่สุดก็มีการพัฒนาสร้างสารกึ่งตัวนำที่มีชื่อว่าซิลิกอน (Silicon) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ กันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำจากสารเจอร์เมเนียม ไม่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานในยุคปัจจุบัน



รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างอะตอมของซิลิกอน และเจอร์เมเนียม

ที่มา : นภัทร วัจนเทพินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์, 2538.

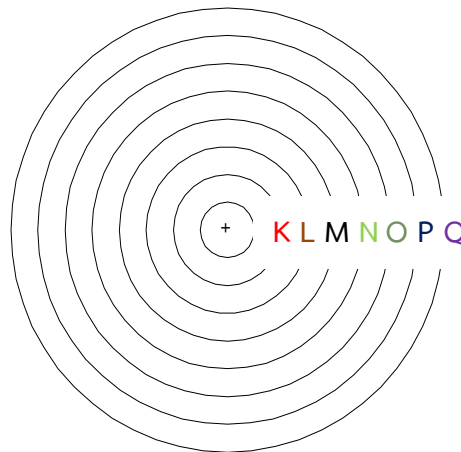
สารกึ่งตัวนำซิลิกอนเป็นสารที่มีองค์ประกอบที่เหมาะสมมากที่สุดในการนำมาทำเป็นสารกึ่งตัวนำแต่ก็มีปัญหาอยู่บ้างในการผลิต จึงทำให้ไม่สามารถใช้สารซิลิกอนทำเป็นสารกึ่งตัวนำในช่วงแรก ๆ แต่ในที่สุดปัญหานี้ก็ถูกแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้สารซิลิกอนถูกเลือกมาทำเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพื่อใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ยุคใหม่ทั้งทางด้านการสื่อสารและคอมพิวเตอร์

1.3 วงโคจรของอิเล็กตรอน และระดับพลังงาน (Electron Orbits And Energy Levels)

ภายในอะตอมของวัตถุหรือสารจะมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส โดยอิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนที่ในแต่ละวงตามระดับพลังงาน โดยอิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ใกล้ นิวเคลียส วงโคจรวงนอกสุดของสารซิลิกอนและเจอร์เมเนียม จะมีอิเล็กตรอน 4 ตัวและมีจำนวนโฮล (Hole) 4 ตัว ในข้อกำหนดในการบรรจุอิเล็กตรอนลงในวงโคจรนี้ อิเล็กตรอนที่โคจรในวงนอกสุดจะมีจำนวนอิเล็กตรอนได้มากที่สุดไม่เกิน 8 ตัว

ภายในอะตอมของสารที่มีอิเล็กตรอนวิ่งเคลื่อนที่อยู่โดยรอบอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมีระดับพลังงานขึ้นอยู่กับค่า n ซึ่งค่า n เป็นเลขจำนวนเต็ม เช่น 1, 2 ระดับพลังงานต่ำสุดคือ $n = 1$ ระดับพลังงานสูงขึ้นไปคือ $n = 2, 3$ ขึ้นไปตามลำดับ ระดับพลังงานนี้แบ่งเป็นวง (Shell) ซึ่งให้ชื่อเป็นตัวอักษรเรียงกันดังนี้ K L M N O P Q ดังแสดงในรูปที่ 1.5

ระดับพลังงานถ้ามีค่า n น้อยสุดหมายถึงวงอยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องใช้พลังงานจากภายนอกมากขึ้นเพื่อที่จะเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนนี้ได้ ค่าแรงดึงดูดจะแปรตามกำลังของระยะห่างระหว่างวงนั้นกับนิวเคลียส



รูปที่ 1.5 วงโคจรอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส

ที่มา : สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพฯ, 2558.

การหาจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวง (Shell) หาได้จากสูตรจำนวนอิเล็กตรอน ในแต่ละวง $= 2n^2$
 วงโคจร K ค่าของ $n = 1$ จึงมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดเท่ากับ $2 \times (1^2) = 2$ ตัว โดยมีชั้นย่อยเพียง 1 ชั้น
 วงโคจร L ค่าของ $n = 2$ จึงมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดเท่ากับ $2 \times (2^2) = 8$ ตัว โดยมีชั้นย่อยเพียง 2 ชั้น
 วงโคจร M ค่าของ $n = 3$ จึงมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดเท่ากับ $2 \times (3^2) = 18$ ตัว โดยมีชั้นย่อยเพียง 3 ชั้น

เอกสารประกอบการเรียน

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

วงโคจร N ค่าของ $n = 4$ จึงมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดเท่ากับ $2 \times (4^2) = 32$ ตัว โดยมีชั้นย่อยเพียง 4 ชั้น
 วงโคจร O ค่าของ $n = 5$ จึงมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดเท่ากับ $2 \times (5^2) = 50$ ตัว โดยมีชั้นย่อยเพียง 5 ชั้น
 วงโคจร P ค่าของ $n = 6$ จึงมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดเท่ากับ $2 \times (6^2) = 72$ ตัว โดยมีชั้นย่อยเพียง 6 ชั้น
 วงโคจร Q ค่าของ $n = 7$ จึงมีอิเล็กตรอนได้สูงสุดเท่ากับ $2 \times (7^2) = 98$ ตัว โดยมีชั้นย่อยเพียง 7 ชั้น

ในอะตอมของสารซิลิกอน จะประกอบด้วยโปรตอน และอิเล็กตรอนจำนวน 14 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 1.4 โดยที่วงโคจรแรกมีจำนวนอิเล็กตรอน 2 ตัว วงโคจรที่ 2 มีจำนวนอิเล็กตรอน 8 ตัว และที่สำคัญคือวงโคจรวงนอกสุดมีจำนวนอิเล็กตรอน 4 ตัว นั้นแสดงให้เห็นว่า สารซิลิกอนเป็นสารกึ่งตัวนำ

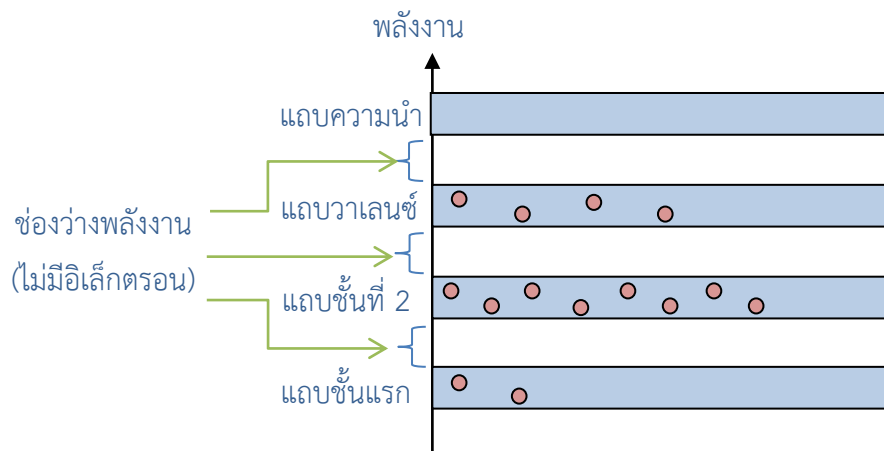
1.4 แถบพลังงาน (Energy Bands)

จากโครงสร้างอะตอมของสารซิลิกอนจะเห็นว่ามียังมีวงโคจรที่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ นั่น ได้แก่

วงโคจรที่ 1 (1st Band) หรือชั้น K จะมีอิเล็กตรอน 2 ตัว

วงโคจรที่ 2 (2nd Band) หรือชั้น L จะมีอิเล็กตรอน 8 ตัว

วงโคจรที่ 3 เป็นวงโคจรวงนอกสุด (Valence Band) จะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด (Valence Electron) 4 ตัว แต่ละชั้นของวงโคจรจะถูกกันด้วยช่องว่างพลังงาน (Energy Gaps) ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนโคจรดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 แสดงไดอะแกรมของแถบพลังงานของอะตอมซิลิกอนในสถานะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

ที่มา : นภัทร วัจนเทพพิรินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์, 2538. หน้า 14.

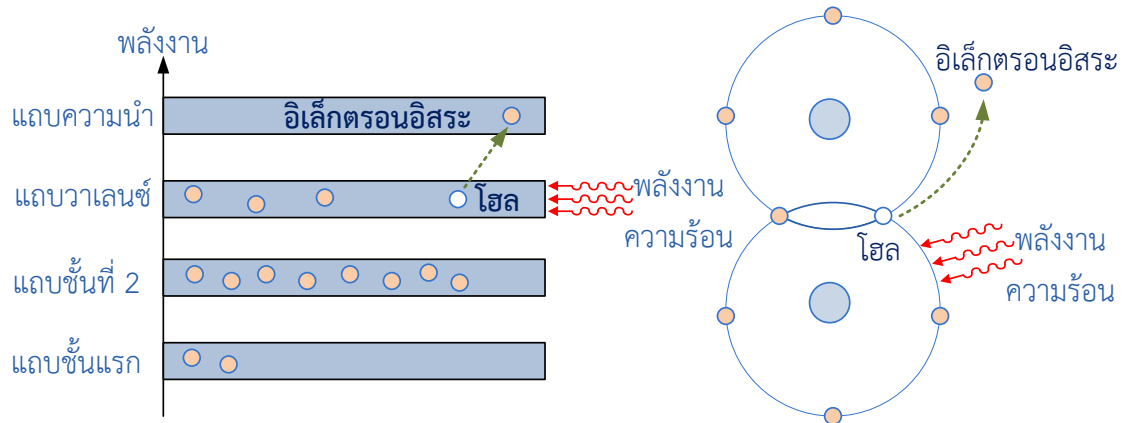
จากรูปที่ 1.6 ด้านบนของวงโคจรชั้นนอกสุดคือ แถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band) ในวัสดุใด ๆ ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ หมายความว่า จะเกิดมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากชั้นต่าง ๆ เข้าสู่วงโคจรแถบการนำไฟฟ้านี้ได้ก็ต่อเมื่อมีพลังงานมากจะทำต่ออะตอมของสารซิลิกอน

ตัวอย่างเช่น เมื่อให้พลังงานความร้อนกระทำต่ออะตอมของสารซิลิกอน ถ้าพลังงานความร้อนมากและสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนวงนอกสุด จะสามารถทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดหลุดออกจากวงโคจรกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) วิ่งเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้ากลายเป็นกระแสไฟฟ้า และตำแหน่งที่อิเล็กตรอนหลุดออกมาจะเกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล ดังแสดงในรูปที่ 1.7

เอกสารประกอบการเรียน

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

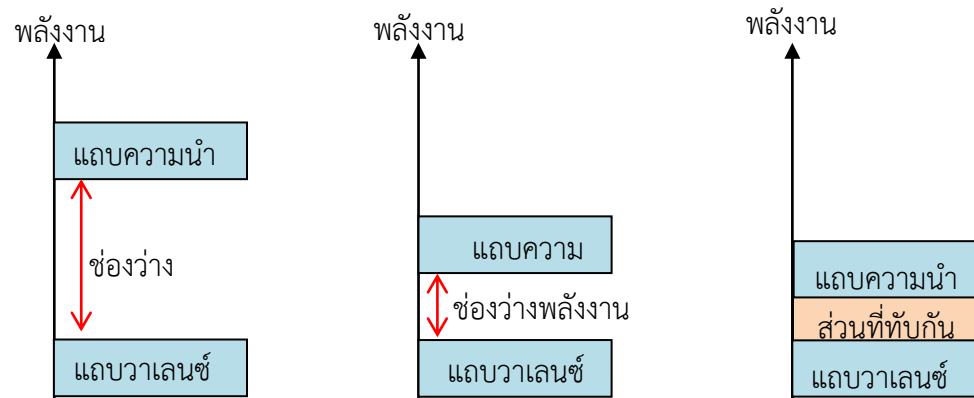
สารกึ่งตัวนำซิลิกอน และเจอร์เมเนียม เนื่องจาก โครงสร้างอะตอมของเจอร์เมเนียมมีจำนวนอิเล็กตรอน 32 ตัว มีวงโคจรถึง 4 ชั้น มากกว่าซิลิกอนซึ่งมีจำนวนอิเล็กตรอน 14 ตัว จึงทำให้เมื่อเจอร์เมเนียมได้รับพลังงานจากภายนอก จะทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมของเจอร์เมเนียมหลุดออกจากโคจรเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้ง่ายกว่าอะตอมของซิลิกอน จึงเป็นผลให้ในการสร้างอุปกรณ์ที่นำไปใช้งานในที่อุณหภูมิสูง ๆ จึงนิยมใช้ซิลิกอนมากกว่าเจอร์เมเนียม



รูปที่ 1.7 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลในอะตอมของซิลิกอน

ที่มา : นภัทร วัจนเทพพิณฑ์. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**. ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์, 2538.

ความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติทั้ง 3 อย่างของสาร พิจารณาได้จากช่องว่างของพลังงาน (Energy Gap) ระหว่างแถบความนำไฟฟ้า (Conduction Band) และชั้นนอกสุดของวงโคจรอะตอม (Valance Band) วัสดุที่เป็นฉนวนจะมีช่องว่างของพลังงานมากที่สุดแสดงว่า การเกิดอิเล็กตรอนอิสระยากมากจึงไม่มีกระแสไหลได้ในวัสดุที่เป็นฉนวน สำหรับสารกึ่งตัวนำช่องว่างของพลังงานจะแคบกว่าฉนวนแสดงว่า อิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นในแถบความนำได้เมื่อได้รับพลังงานจากภายนอก และตัวนำจะไม่มีช่องว่างของพลังงาน แต่แถบความนำจะซ้อนอยู่กับแถบของวงโคจรนอกสุดของอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 1.8



(ก) แถบพลังงานของฉนวน

(ข) แถบพลังงานของกึ่งตัวนำ

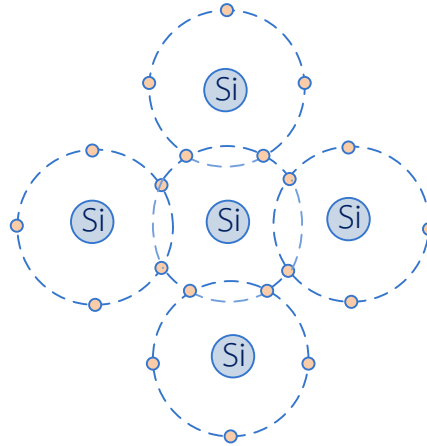
(ค) แถบพลังงานของตัวนำ

รูปที่ 1.8 แสดงแถบพลังงานในสาร ทั้ง 3 ชนิด

ที่มา : นภัทร วัจนเทพพิณฑ์. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**. ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์, 2538.

1.5 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพี (N-Type and P-Type Semiconductors)

ผลึกซิลิกอน(Silicon Crystals)



รูปที่ 1.9 แสดงโครงสร้างอะตอมของผลึกซิลิกอน (Silicon Crystals)

ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.
New York: McGraw-Hill, 2007.

เมื่ออะตอมของซิลิกอนรวมกัน จะอยู่ในรูปแบบของของแข็ง โดยจะเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ มีลักษณะที่เรียกว่า ผลึก ซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรวงนอกสุดของอะตอม จะเกิดการรวมตัวกันกับอิเล็กตรอน ที่อยู่ในวงโคจรวงนอกสุดของอะตอมที่อยู่ข้างเคียง เรียกว่า อิเล็กตรอนร่วม (Share Electrons) เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น ให้พิจารณาได้จากรูปที่ 1.9 แสดงให้เห็นว่าอะตอมที่อยู่ตรงกลางจะมีอะตอมข้างเคียงที่มีอิเล็กตรอนร่วมกันอยู่ 4 อะตอม ซึ่งเดิมอะตอมที่อยู่ตรงกลาง จะมีจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจร วงนอกสุดเท่ากับ 4 ตัว แต่เมื่อมีการรวมตัวกันของอะตอม จึงทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นมาอีก 4 ตัว ทำให้ในวงโคจรวงนอกสุดมีอิเล็กตรอนรวมทั้งหมด 8 ตัว

การโด๊ปสารกึ่งตัวนำ (Doping a Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำในสถานะที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ไม่สามารถนำกระแสได้ดีเพราะว่า จำนวนของอิเล็กตรอนอิสระในแถบความนำ และจำนวนโฮลในแถบวาเลนซ์มีน้อย แต่เมื่อนำสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิกอนและเจอร์เมเนียม มาปรับปรุงให้มีสถานะการนำไฟฟ้าให้ดีขึ้นโดยกระบวนการที่เรียกว่า การเติมสารเจือปน (Adding Impurities) ลงไปในผลึกสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ เพื่อให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระหรือโฮลมากขึ้น

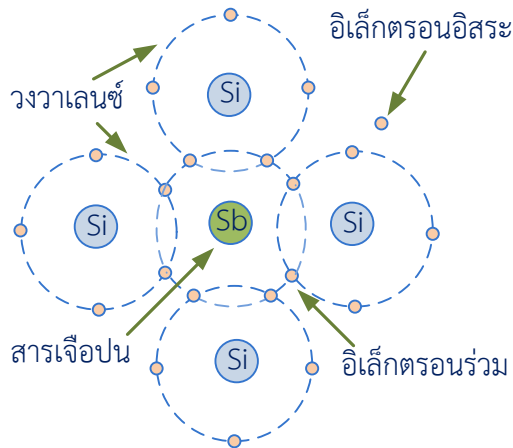
การโด๊ป หมายถึง การเติมอะตอมของสารเจือ ลงในผลึกสารเจอร์เมเนียม หรือสารซิลิกอนที่บริสุทธิ์ สารกึ่งตัวนำที่ถูกโด๊ปแล้วเรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor) ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ยังไม่ถูกโด๊ปเรียกว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor)

การโด๊ปทำได้โดยการหลอมสารเจอร์เมเนียม หรือสารซิลิกอนบริสุทธิ์ให้ละลายแล้ว จึงเติมสารเจือปนให้ผสมลงในเนื้อเดียวกัน สารเจือปนที่เติมลงไปในนี้จะต้องมีจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจรวงนอกสุด 3 ตัว หรือ 5 ตัว ถ้าเติมสารเจือปนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจรวงนอกสุดจำนวน 5 ตัว อะตอมของสาร เจือปนจะใช้วงโคจรร่วมกับอะตอมของเจอร์เมเนียม หรือซิลิกอนจำนวน 4 อะตอม

เอกสารประกอบการเรียน

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

ซึ่งจะมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกัน (Covalent) ทำให้อิเล็กตรอนเกินไปหนึ่งตัว ในกรณีนี้จะทำให้อิเล็กตรอนที่เกินอยู่ตัวหนึ่งไม่สามารถที่จะเข้าร่วมกันได้ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) อะตอมของสารเจือปนที่เติมลงไปเรียกว่า สารเจือปนผู้ให้ (Donor Impurity)



รูปที่ 1.10 แสดงการเติมฟอสฟอรัสให้กับซิลิกอนบริสุทธิ์ทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

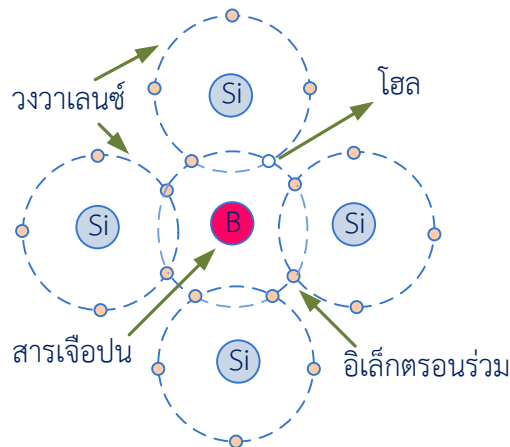
โดยที่ Sb คือ ฟอสฟอรัส และ Si คือ ซิลิกอน

ที่มา : http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

การสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type) ทำได้โดยการนำสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์มาเติมอะตอมของสารอื่นๆ เข้าไปเจือปน ซึ่งจะทำให้จำนวนอะตอม และโหนดเปลี่ยนแปลงไป การสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ทำได้โดยเติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว เช่น สารหนู ฟอสฟอรัส หรือฟอสฟอรัส แสดงในรูปที่ 1.10

จากรูปที่ 1.10 เป็นการเติมสารเจือปนฟอสฟอรัส (Pb) เข้าไปในซิลิกอนบริสุทธิ์จะเห็นว่า อะตอมของซิลิกอนจำนวน 4 อะตอม จับวงโคจรของอิเล็กตรอนวงนอกสุดของพวกจำนวน 4 ตัว รวมกันเป็น 8 ตัว (ซึ่งคุณสมบัติของอิเล็กตรอนวงนอกสุดจะมีได้เพียง 8 ตัวเท่านั้น) ทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดของพวกเหลือเป็นอิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัว เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิดเอ็น (N-Type) ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าโฮล อิเล็กตรอนเหล่านี้เรียกว่า พาหะข้างมาก ส่วนโฮลที่มีจำนวนเล็กน้อยในเนื้อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเรียกว่า พาหะข้างน้อย

ในกรณี ถ้าเติมถ้าเติมสารเจือปนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจรวงนอกสุดจำนวน 3 ตัว อะตอมของสารเจือปนจะใช้วงโคจรร่วมกับ อะตอมของเจอร์เมเนียม หรือซิลิกอนจำนวน 4 ตัว โดยการใช้อิเล็กตรอนร่วมกับ อะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกัน (Covalent) จึงทำให้ขาดอิเล็กตรอนไปตัวหนึ่งโดยเกิดเป็นที่ว่างเรียกว่า โฮล ลักษณะของสารกึ่งตัวนำแบบนี้จะสามารถรับอิเล็กตรอนจากภายนอกได้อีก เพื่อให้จำนวนอิเล็กตรอนมีครบจำนวน 8 ตัว สารเจือปนนี้เรียกว่า สารเจือปนผู้รับ (Acceptor Impurity)



รูปที่ 1.11 แสดงการได้ปโบรอนเข้าไปในอะตอมของซิลิกอนบริสุทธิ์ทำให้เกิด

สารกึ่งตัวนำชนิดพี โดยที่ B คือ โบรอน และ Si คือ ซิลิกอน

ที่มา : http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

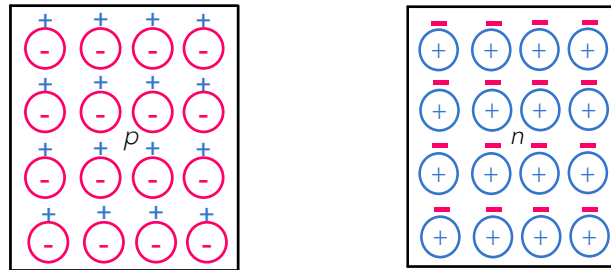
จากรูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นว่าในการสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) ทำได้โดยการเติมสารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 3 ตัว เช่น อะลูมิเนียม โบรอน แกลเลียม ลงไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวของอะตอมใหม่จับกันที่อิเล็กตรอนวงนอกสุดได้เพียง 3 ตัว เท่านั้น จึงเกิดโฮลขึ้น 1 ตัว เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิดพี (P-Type) ดังนั้นในสารกึ่งตัวนำชนิดพีจึงมีโฮลเป็น พาหะข้างมากและมีอิเล็กตรอนเป็น พาหะข้างน้อย

1.6 รอยต่อ พี-เอ็น (P-N Junction)

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และชนิดพี มาวางต่อกัน บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำทั้งสอง เรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junctions) ซึ่งมีการนำกระแสในสถานะต่าง ๆ มาพัฒนาเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด และทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

สารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีจำนวนพาหะข้างมากที่ต่างกัน ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีมีพาหะข้างมากคือ โฮล ส่วนสารชนิดเอ็นมีพาหะข้างมากคือ อิเล็กตรอนอิสระ ที่บริเวณรอยต่อเนื้อสารกึ่งตัวนำชนิดพี และเนื้อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และโฮลผ่านรอยต่อเข้าหากัน ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าหาโฮล การรวมตัวกันจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ พี-เอ็นเท่านั้น และเมื่อเกิดการรวมตัวดังกล่าว จะทำให้เกิดไอออนซึ่งแสดงสภาพประจุไฟฟ้าบวก และลบขึ้นบริเวณรอยต่อพี - เอ็น ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อพี - เอ็น ศักย์ไฟฟ้านี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระรวมตัวกับโฮลหยุดลง และบริเวณที่มีไอออนบวกและไอออนลบดังกล่าวจะไม่มีประจุที่เป็นพาหะ (อิเล็กตรอนอิสระและโฮล) เหลืออยู่จึงเรียกบริเวณดังกล่าวว่า บริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ดังแสดงในรูปที่ 1.14

การเกิดไอออนบวกและไอออนลบที่บริเวณรอยต่อพาหะเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นที่บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น เรียกว่า Barrier Potential ความต่างศักย์นี้ที่อุณหภูมิ 25°C จะมีค่าประมาณ 0.7 V สำหรับสารกึ่งตัวนำซิลิกอน และ 0.3 V สำหรับสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียมและถ้าอุณหภูมิของรอยต่อสูงขึ้น ค่าความต่างศักย์นี้ จะมีค่าลดลง

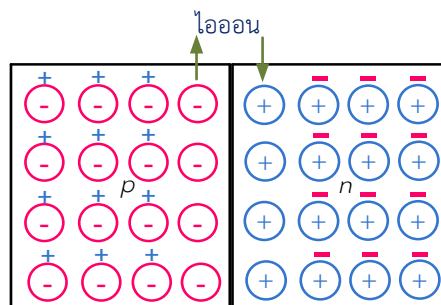


สารกึ่งตัวนำชนิดพี

สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

รูปที่ 1.12 แสดงสารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

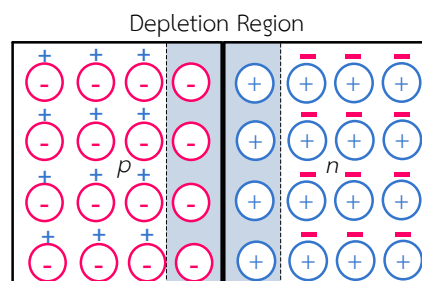
ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.
New York: McGraw-Hill, 2007.



สารกึ่งตัวนำชนิดพี สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

รูปที่ 1.13 แสดงการเกิดไอออนบริเวณรอยต่อพี-เอ็น

ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.
New York: McGraw-Hill, 2007.

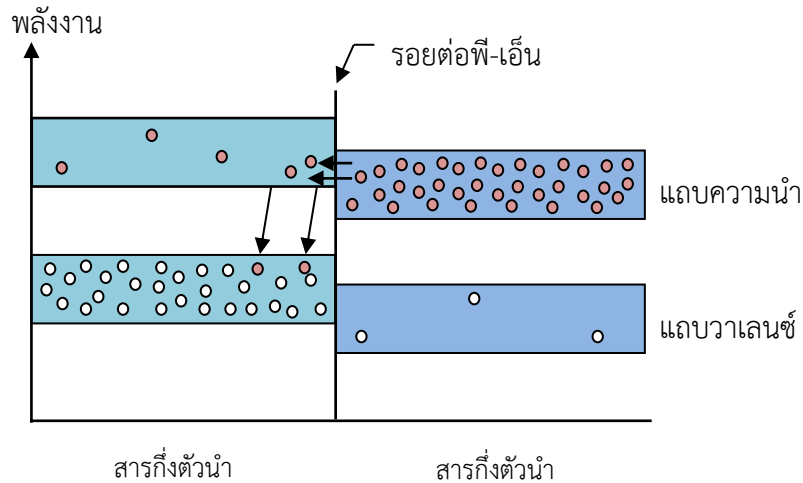


สารกึ่งตัวนำชนิดพี สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

รูปที่ 1.14 การเกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ที่รอยต่อพี-เอ็น

ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.
New York: McGraw-Hill, 2007.

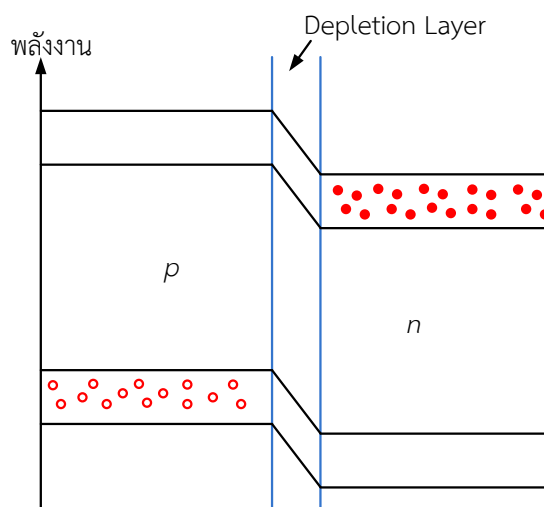
ไดอะแกรมพลังงานของรอยต่อพี-เอ็น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาวางต่อกัน ในสถานะเริ่มต้นอิเล็กตรอนอิสระจะข้ามรอยต่อพี-เอ็น วิ่งไปสู่สารกึ่งตัวนำชนิดพี อิเล็กตรอนอิสระบางส่วนที่วิ่งอยู่ในแถบความนำไฟฟ้าจะถูกโฮลดึงดูดเข้ารวมตัวกันและเกิดไอออนบวก และลบขึ้นที่รอยต่อพี-เอ็น ดังแสดงในรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 ไดอะแกรมพลังงานของรอยต่อพี-เอ็น ในสถานะเริ่มต้น

ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.
New York: McGraw-Hill, 2007.

เมื่อเวลาผ่านไปการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนอิสระกับโฮลบริเวณรอยต่อพี-เอ็นมากขึ้นจนเกิดความต่างศักย์ขึ้นที่รอยต่อและเมื่อปฏิกิริยาการรวมตัวหยุดลงในสภาวะสมดุลย์ บริเวณรอยต่อพี-เอ็นจะเกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะขึ้น ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความต่างศักย์กันในแถบความนำไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 ไดอะแกรมพลังงานของรอยต่อพี-เอ็น ในสภาวะหลังเกิด Depletion layer

ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.
New York: McGraw-Hill, 2007.

1.7 การไบอัส (Bias) รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction)

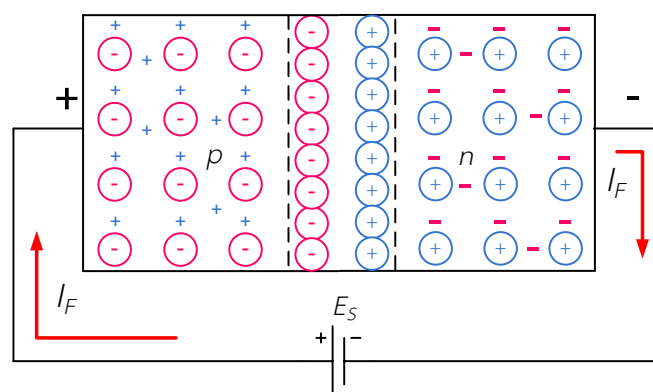
การไบอัสคือ การจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายภายนอกให้กับรอยต่อพี-เอ็น เพื่อควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็น โดยลักษณะการไบอัสให้รอยต่อพี-เอ็น มีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ การจ่ายไบอัสตรง (Forward Bias) และการจ่ายไบอัสกลับ (Reverse Bias)

ลักษณะการจ่ายไบอัสแต่ละแบบสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1.7.1 การจ่ายไบอัสตรง (Forward Bias)

ลักษณะการจ่ายไบอัสตรงคือ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยให้ขั้วบวกจ่ายให้สารกึ่งตัวนำชนิดพี และจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบให้กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น การให้ไบอัสแบบนี้จะทำให้ความต้านทานบริเวณรอยต่อพี-เอ็น มีค่าต่ำเกิดการไหลของกระแสไหลผ่าน

จากรูปที่ 1.17 จะเห็นว่าเมื่อจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้กับรอยต่อพี-เอ็น พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ไปผลักอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ จากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเคลื่อนที่ข้ามบริเวณรอยต่อพี-เอ็น เข้าไปรวมกับโฮล ที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี ในขณะเดียวกันขั้วไฟบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงก็จะดึงอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่เข้ามา เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้ามา จะทำให้ตำแหน่งที่มีอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นว่างลง เมื่อให้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงต่อไปให้อิเล็กตรอนอิสระของอะตอมถัดไปเคลื่อนที่เข้ามาแทนในตำแหน่งที่ว่างของอิเล็กตรอนอิสระ จึงเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระขึ้น ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า กระแสนี้จะถูกเรียกว่า กระแสอิเล็กตรอน ส่วนกระแสไฟฟ้าจะมีการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวกไปหาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบดังแสดงในรูปที่ 1.17



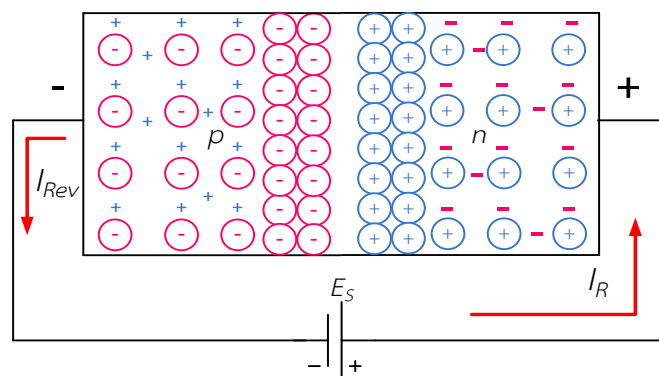
รูปที่ 1.17 แสดงการให้ไบอัสตรงแก่รอยต่อ พี – เอ็น

ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.

New York: McGraw-Hill, 2007.

1.7.2 การจ่ายไบอัสกลับ (Reverse Bias)

ลักษณะการจ่ายไบอัสกลับ คือ ขั้วของแรงดันที่จ่ายให้รอยต่อพี-เอ็น จะตรงข้ามกับการจ่ายไบอัสตรง มีลักษณะดังนี้คือ ขั้วบวกต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและขั้วลบต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิดพีดังแสดงในรูปที่ 1.18 ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นที่สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นลบ และความต่างศักย์ที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นบวก ซึ่งจะมีผลทำให้ โฮล ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี เกิดการเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ขั้วที่มีความต่างศักย์ลบ และจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเกิดการเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ขั้วที่มีความต่างศักย์บวก ส่งผลให้ช่วงของรอยต่อพี-เอ็นกว้างขึ้น เปรียบเสมือนบริเวณรอยต่อพี-เอ็นมีค่าความต้านทานสูง จึงทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไม่สามารถไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็นได้ และถ้าหากเพิ่มพลังงานจากแหล่งจ่ายมากขึ้นจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลดังแสดงในรูปที่ 1.18 ค่ากระแสรั่วไหล (Leakage Current) หรือ I_R นี้จะมีค่าเป็นไมโครแอมป์ซึ่งมีค่าน้อยมากลักษณะการให้ไบอัสแบบนี้เรียกว่า “การจ่ายไบอัสกลับ”



รูปที่ 1.18 แสดงการให้ไบอัสกลับกับรอยต่อพี-เอ็น

ที่มา : Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition.

New York: McGraw-Hill, 2007.

สรุป

- อะตอมแต่ละชนิดประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานสำคัญ 3 ชนิด คือ โปรตอน (Proton) นิวตรอน (Neutron) และอิเล็กตรอน (Electron)
- สารกึ่งตัวนำ (Semi-Conductor) จะมีจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจรวงนอกสุดเท่ากับ 4 ตัว ได้แก่ สารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียม, สารกึ่งตัวนำซิลิกอน ที่นำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่น ไดโอด และทรานซิสเตอร์
- การโด๊ปสารกึ่งตัวนำ หมายถึง การเติมอะตอมของสารเจือ ลงในผลึกสารเจอร์เมเนียม หรือ สารซิลิกอนที่บริสุทธิ์ สารกึ่งตัวนำที่ถูกโด๊ปแล้วเรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor) ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ยังไม่ถูกโด๊ปเรียกว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor)

- เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และชนิดพี มาวางต่อกัน บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำทั้งสอง เรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น (P-N Junctions) เนื้อสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเนื้อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลผ่านรอยต่อเข้าหากัน จะทำให้เกิดไอออนซึ่งแสดงสภาพประจุไฟฟ้าบวกและลบขึ้นบริเวณรอยต่อพี-เอ็น ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อพี-เอ็น เรียกว่า บริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region)

แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดหน่วยที่ 1 พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น
(Basic Semiconductor and P-N Junction)

คำสั่ง จงตอบคำถามให้สมบูรณ์และถูกต้อง ใช้เวลาทำแบบฝึกหัด 20 นาที (คะแนนเต็ม 6 คะแนน)

1. สารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุดเรียกว่าอะไร มีโครงสร้างและส่วนประกอบภายในเป็นอย่างไร จงอธิบายมาให้เข้าใจ

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

.....

.....

.....

3. จงอธิบายการทำงานของแถบพลังงานของสารที่เป็นฉนวน ตัวนำและสารกึ่งตัวนำ พร้อมเขียนภาพประกอบ

.....

.....

.....

.....

4. จงอธิบายวิธีการจ่ายไบอัสตรงให้กับรอยต่อพี-เอ็น และอธิบายการไหลของของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. จงอธิบายวิธีการจ่ายไบอัสกลับให้รอยต่อพี-เอ็น และอธิบายการไหลของของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. การได้ปัสสารกึ่งตัวนำ หมายความว่าอย่างไร และมีหลักการอย่างไร จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

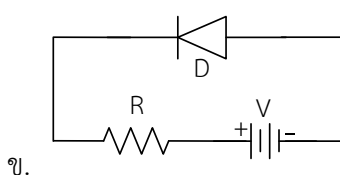
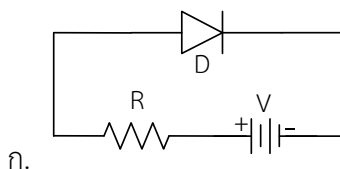
แบบทดสอบหลังเรียน
หน่วยที่ 1 พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น
(Basic Semiconductor and P-N Junction)

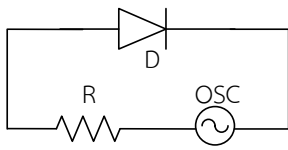
คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

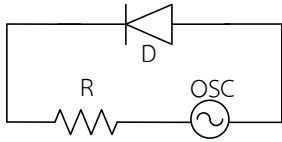
1. แถบพลังงานใดที่มีอิเล็กตรอนอิสระ
ก. แถบที่ 1
ข. แถบที่ 2
ค. แถบวาเลนซ์
ง. แถบฉนวน
จ. แถบความนำ
2. อะตอมของสารซิลิกอน มีโปรตอนจำนวนเท่าใด
ก. 34
ข. 32
ค. 4
ง. 14
จ. 29
3. นิวเคลียสมีส่วนประกอบมาจากข้อใด
ก. นิวตรอนและอะตอม
ข. อิเล็กตรอนและโปรตอน
ค. โปรตอนและนิวตรอน
ง. อิเล็กตรอนและนิวตรอน
จ. อิเล็กตรอนและอะตอม
4. สารเจือปนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว เมื่อเติมลงไปนซิลิคอนบริสุทธิ์จะทำให้เกิดสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่คือข้อใด
ก. สารกึ่งตัวนำโบรอน
ข. สารกึ่งตัวนำแกลเลียม
ค. สารกึ่งตัวนำชนิดพี
ง. สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
จ. สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

5. จุดประสงค์ของการเจือปนสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัวเพื่ออะไร
 - ก. เพิ่มจำนวนโฮลในสารกึ่งตัวนำ
 - ข. ลดสถานะการเป็นตัวนำของซิลิคอน
 - ค. เพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ
 - ง. สร้างประจุพาหะข้างน้อยในสารกึ่งตัวนำ
 - จ. กำหนดประจุบวกในสารกึ่งตัวนำ
6. โฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น คือข้อใด
 - ก. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะการโด๊ป
 - ข. ประจุพาหะข้างมากที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ค. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิ
 - ง. ประจุพาหะข้างน้อยที่เกิดขึ้นเพราะการโด๊ป
 - จ. ไม่มีข้อใดถูก
7. รอยต่อพี-เอ็นเกิดจากข้อใด
 - ก. การเกิดไอออน
 - ข. เกิดจากขอบของรอยต่อพี-เอ็น
 - ค. การโคจรของโปรตอนและนิวตรอน
 - ง. การรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮล
 - จ. การนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีมาวางติดกัน
8. ข้อใดคือความแตกต่างของแถบพลังงานระหว่าง ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ
 - ก. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำมีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้เกิน 8 ตัว
 - ข. ฉนวนและสารกึ่งตัวนำ มีแถบพลังงานที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว
 - ค. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำ
 - ง. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำมากกว่าสารกึ่งตัวนำ
 - จ. ฉนวนมีช่องว่างพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบตัวนำเท่ากับสารกึ่งตัวนำ
9. การให้ไบอัสตรงข้อใดถูกต้อง

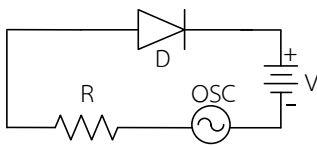




ค.



ง.



จ.

10. ถ้านำสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนไปใช้ทำเป็นไดโอด เราต้องจ่ายแรงดันไบอัสตรงขนาดเท่าใดจึงจะทำให้ไดโอดนำกระแสได้

- ก. มากกว่า 0.3 V
- ข. มากกว่า 0.7 V
- ค. น้อยกว่า 0.3 V
- ง. น้อยกว่า 0.7 V
- จ. มากกว่า 0 V

บรรณานุกรม

- เจน สงสมพันธุ์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์. ปทุมธานี : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. 2552.
- นภัทร วัจนเทพพินท์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์. 2538.
- ทรงพล กาญจนชูชัย. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.
- ธันต์ ศรีสกุล. พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: วิดีโอ กรู๊ป. 2552.
- สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2558.
- สายัณต์ ชื่นอารมณ์. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ. 2552.
- Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition. New York: McGraw-Hill. 2007.
- Robert Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices And Circuit Theory**, Seventh Edition: New Jersey. Prentice Hall.
- http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

	ใบงานที่ 1.1	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย พื้นฐานสารกึ่งตัวนำและรอยต่อพี-เอ็น	คาบรวม 5
ชื่อเรื่อง	คุณลักษณะการทำงานของไดโอด (Diode)	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (ทักษะพิสัย)

1. วัดค่าความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าในขณะจ่ายไบอัสตรง และขณะจ่ายไบอัสกลับของไดโอดได้อย่างถูกต้อง
2. วัดค่าแรงดันและกระแสนำไปเขียนกราฟคุณสมบัติของตัวไดโอดได้อย่างถูกต้อง
3. วัดและทดสอบค่ากระแสและแรงดัน ได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

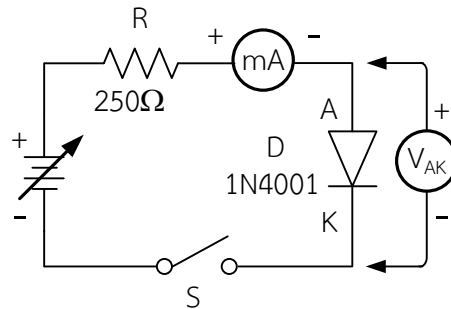
เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. DC Power Supply 0-30 V | 1 เครื่อง |
| 2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. ตัวต้านทาน 250 Ω 2 วัตต์ | 1 ตัว |
| 4. ซิลิคอนไดโอด 1N4001 (หรือเบอร์แทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง) | 1 ตัว |
| 5. เจอร์เมเนียม ไดโอด 1N34A (หรือเบอร์แทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง) | 1 ตัว |
| 6. สวิตซ์ตัดต่อ | 1 ตัว |
| 7. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติในงาน

ก. ซิลิคอนไดโอด (SILICON DIODE)

1. ต่อดังตามรูปที่ 1.1.1 โดยสวิตช์ตัดต่อ S อยู่ในตำแหน่งเปิดวงจร



รูปที่ 1.1.1 วงจรการทดลองไดโอดขณะไบอัสตรง

2. ปรับแหล่งจ่ายให้แรงดันต่ำสุดไว้ก่อนปรับสวิตช์ S ให้อยู่ในตำแหน่งปิดวงจร ทำการปรับแหล่งจ่ายแรงดันให้มีแรงดันตกคร่อมไดโอด D ($V_{AK} = 0.7 \text{ V}$) วัดและบันทึกค่ากระแสผ่านไดโอด (I_D) ลงในตารางที่ 1.1.1 ในช่อง I_D
3. กลับขั้วไดโอด D จากรูปที่ 1.1.1 ให้เป็นไบอัสกลับ (ใช้ขา K ต่อกับมิลลิแอมมิเตอร์ใช้ขา A ต่อกับสวิตช์ S) และเปลี่ยนมิลลิแอมมิเตอร์ (mA) เป็นไมโครแอมป์มิเตอร์ (μA)
4. ทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 2 บันทึกค่ากระแสผ่านไดโอด (I_D) ลงในตารางที่ 1.1.1 ในช่อง I_D
5. คำนวณ และบันทึกค่าความต้านทานของ ตัวไดโอดทั้งขณะไบอัสตรง และขณะไบอัสกลับ ลงในตารางที่ 1.1.1 ของความต้านทานของไดโอด
6. ต่อไดโอดตามรูปที่ 1.1.1 อีกครั้ง โดยให้สวิตช์ S อยู่ในตำแหน่งเปิดวงจร
7. ปรับมัลติมิเตอร์ไปที่ตำแหน่งย่านวัดโอห์ม นำไปวัดคร่อมตัวไดโอด D แทนตำแหน่งของดีซีโวลต์มิเตอร์ V_{AK} โดยตั้งย่านวัดของ โอห์มมิเตอร์ให้อยู่ที่ย่าน $R \times 1$ วัดทั้งขณะไบอัสตรง และขณะไบอัสกลับ บันทึกค่าลงในตารางที่ 1.1.1 ของความต้านทานของไดโอด

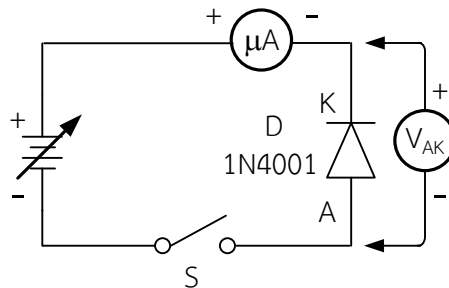
ตารางที่ 1.1.1 บันทึกผลการทดลองข้อ 2-7

สภาวะ	V_{AK}	I_D	ความต้านทานของไดโอด
ไบอัสตรง (ข้อ 2)			
ไบอัสกลับ (ข้อ 3, 4)			
วัดด้วยโอห์มมิเตอร์ $R \times 1$			ไบอัสตรง = ไบอัสกลับ =

8. ก่อนปรับสวิตช์ S ไปที่ตำแหน่งปิดวงจร ให้ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ให้แรงดันมีค่าเท่ากับ 0 V ปรับสวิตช์ S ในตำแหน่งปิดวงจรปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ให้มีแรงดันไบอัสตรงตกคร่อมไดโอด (V_{AK}) ตามตารางที่ 1.1.2 ตามลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามากแต่ละครั้งที่วัด และบันทึกค่ากระแสไหลผ่านไดโอด (I_D) เป็นมิลลิแอมป์ (mA) ลงในตารางที่ 1.1.2 ของกระแสไบอัส ตรงของไดโอด

9. กลับขั้วไดโอด D ให้จ่ายแรงดันเป็นไบอัสกลับ (ให้ขา A ของไดโอดต่อกับสวิตช์ S) เปลี่ยน มิลลิแอมป์มิเตอร์ (mA) เป็นไมโครแอมป์มิเตอร์ (μA) สวิตช์ S ยังไม่ต้องวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ปรับไว้ที่ 0 V และ ปลดตัวต้านทาน R ออกจากวงจรโดยต่อวงจรดังรูปที่ 1.1.2

10. ปรับสวิตช์ S ไปตำแหน่งปิดวงจร ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงให้มีแรงดันไบอัสกลับตกคร่อมไดโอด (V_{AK}) ตามตารางที่ 1.1.2 ตามลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามากแต่ละครั้ง วัด และบันทึกค่ากระแสไหลผ่านไดโอด (I_D) เป็นไมโครแอมป์ ลงในตารางที่ 1.1.2 ของกระแสไบอัสกลับของไดโอด



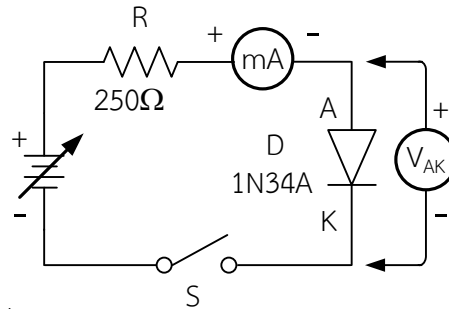
รูปที่ 1.1.2 วงจรทดลองคุณสมบัติของไดโอดขณะไบอัสกลับ

ตารางที่ 1.1.2 บันทึกผลการทดลองข้อ 8-10

แรงดันไบอัสตรง ของไดโอด $V_{AK}(V)$	กระแสไบอัสตรง ของไดโอด $I_D(mA)$	แรงดันไบอัสกลับ ของไดโอด $V_{AK}(V)$	กระแสไบอัสกลับ ของไดโอด $I_D(\mu A)$
0		0	
0.1		-5	
0.2		-10	
0.3		-15	
0.4		-20	
0.5		-25	
0.55		-30	
0.6		-35	
0.65		-40	
0.7		-45	
0.8		-50	

ข.เจอร์เมเนียม ไดโอด (GERMANIUM)

11. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1.1.3 โดยใช้สวิตช์ตัดต่อ S อยู่ในตำแหน่งเปิดวงจร แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ปรับให้แรงดันเป็น 0 V



รูปที่ 1.1.3 วงจรการทดลองไดโอดขณะไบอัสตรง

12. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ให้มีแรงดันไบอัสตรงตกคร่อมไดโอด ($V_{AK} = 0.3$ V วัดและบันทึกค่ากระแสไดโอด (I_D) ลงในตารางที่ 1.3 ในช่อง (I_D)

13. กลับขั้วไดโอด D ให้เป็นไบอัสกลับ (ให้ขา A ของไดโอดต่อกับสวิตช์ S) และเปลี่ยนจากมิลลิแอมป์มิเตอร์ (mA) เป็นไมโครแอมป์มิเตอร์ (μA) และทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 12 บันทึกค่ากระแส I_D ลงในตารางที่ 1.1.3 ช่อง I_D

14. คำนวณ และบันทึกค่าความต้านทานของตัวไดโอด ทั้งขณะไบอัสตรงและขณะไบอัสกลับ ลงในตารางที่ 1.1.3 ช่องความต้านทานของไดโอด

15. ใช้มัลติมิเตอร์ตั้งย่านโอห์มวัดคร่อมตัวไดโอด D เพื่อหาความต้านทานของไดโอด ทั้งขณะไบอัสตรง และขณะไบอัสกลับ โดยตั้งย่านวัดของโอห์มมิเตอร์ที่ย่าน Rx1 บันทึกค่าลงในตารางที่ 1.1.3 ช่องความต้านทานของไดโอด

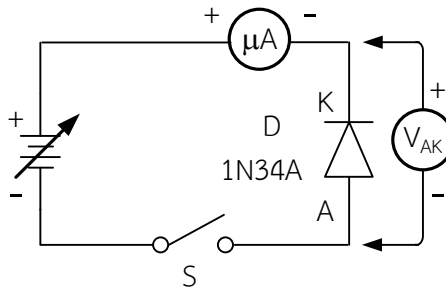
ตารางที่ 1.1.3 บันทึกผลการทดลองข้อ 11-15

สถานะ	V_{AK}	I_D	ความต้านทานของไดโอด
ไบอัสตรง (ข้อ 12)			
ไบอัสกลับ (ข้อ 13)			
วัดด้วยโอห์มมิเตอร์ Rx1			ไบอัสตรง = ไบอัสกลับ =

16. กลับขั้วไดโอด D ให้เป็นไบอัสตรง (ให้ขา A ของไดโอดต่อกับมิลลิแอมป์มิเตอร์) สวิตช์ S ยังไม่ต่อวงจร และแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ปรับให้แรงดันได้ 0 V

17. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงให้มีแรงดันไบอัสตรงตกคร่อมไดโอด (V_{AK}) ตามตารางที่ 1.1.4 ตามลำดับ จากค่าน้อยไปหาคามากแต่ละครั้งวัดและบันทึกค่ากระแสไหลผ่านไดโอด (I_D) เป็นมิลลิแอมป์ลงในตารางที่ 1.1.4 ช่องกระแสไบอัสตรงของไดโอด

18. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1.1.4 ปรับสวิตช์ S อยู่ในตำแหน่งเปิดวงจร และแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงปรับให้แรงดันได้ 0 V



รูปที่ 1.1.4 วงจรทดลองคุณสมบัติของไดโอดขณะไบอัสกลับ

19. ปรับสวิตช์ S ไปตำแหน่งปิดวงจร ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง ให้มีแรงดันกลับตกคร่อมไดโอด (V_{AK}) ตาม ตารางที่ 1.1.4 ตามลำดับจากค่าน้อยไปหาคามากแต่ละครั้งวัดและบันทึกค่ากระแสไหลผ่านไดโอด (I_D) เป็นไมโครแอมป์ (μA) ลงในตารางที่ 1.4 ช่องกระแสไบอัสกลับของไดโอด

ตารางที่ 1.1.4 บันทึกผลการทดลองข้อ 17-19

แรงดันไบอัสตรง ของไดโอด $V_{AK}(V)$	กระแสไบอัสตรง ของไดโอด $I_D(mA)$	แรงดันไบอัสกลับ ของไดโอด $V_{AK}(V)$	กระแสไบอัสกลับ ของไดโอด $I_D(\mu A)$
0		0	
0.1		-2	
0.15		-4	
0.2		-6	
0.25		-8	
0.3		-10	
0.35		-12	
0.4		-14	
0.45		-16	
0.5		-18	
0.55		-20	

20. นำค่าแรงดัน V และกระแส I ที่ทดลองได้ในตารางที่ 1.1.2 และตารางที่ 1.1.4 ไปกำหนดค่าลงในกราฟรูปที่ 1.1.5 โดยกำหนดให้แรงดัน V_{AK} เป็นกราฟในแนวนอน (HOR) หรือแกน X และให้กระแส I_D เป็นกราฟในแนวตั้ง (VER) หรือแกน Y อัตราส่วนของแรงดัน V_{AK} และกระแส I_D ให้กำหนดตามความเหมาะสม

รูปที่ 1.1.5 กราฟแสดงคุณสมบัติของไดโอดจากการทดลองทั้งไบอัสตรงและไบอัสกลับ

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามการทดลอง

1. ขณะไดโอดได้รับไบอัสกลับมีกระแสไหลผ่านมีค่าประมาณเท่าใด
-
2. เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง E มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะเกิดผลอย่างไร
-
3. จากการทดลองไดโอดชนิดเยอรมันเนียมกับซิลิกอนแตกต่างกันอย่างไร
-