

หน่วยที่ 11

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในสมัยก่อน ได้แก่ หลอดสุญญากาศ ต่อมาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้มีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็ว ได้มีการค้นพบอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมาแทนหลอดสุญญากาศได้เป็นอย่างดี อุปกรณ์นี้เรียกว่า “อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ” (Semiconductor device) ซึ่งได้แก่ ไดโอด, ทรานซิสเตอร์, เฟท, เอสซีอาร์ และ ไตรแอด ฯลฯ

13.1 สารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างฉนวนและตัวนำ สามารถเป็นได้ทั้งตัวนำและฉนวน ได้แก่ สารเจอร์มันเนียม (Germanium : Ge) และสารซิลิกอน (Silicon : Si)

13.1.1 ข้อดีของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ



(ก) หลอดสุญญากาศ



(ข) อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

รูปที่ 13.1 เปรียบเทียบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

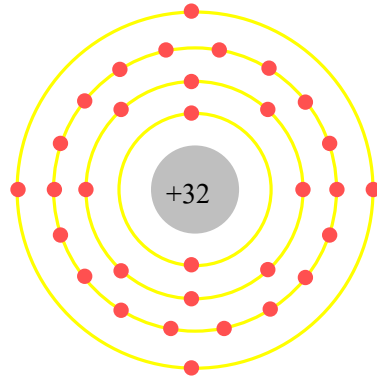
ที่มา : <http://www.hs8jyx.com>

รูปที่ 13.1 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างจากหลอดสุญญากาศ และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติที่ดีกว่าหลอดสุญญากาศหลายประการ คือ

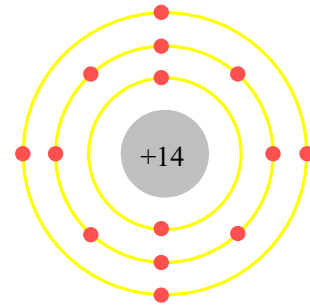
1. มีขนาดเล็ก
2. มีการสิ้นเปลืองและสูญเสียพลังงานน้อยกว่าหลอดสุญญากาศ
3. ไม่ต้องมีไส้หลอด
4. ทนต่อการกระแทกและสะเทือนได้ดีกว่าหลอดสุญญากาศ
5. มีอายุการใช้งานได้นานกว่าหลอดสุญญากาศ
6. สามารถประยุกต์และนำไปใช้งานได้สะดวกกว่าหลอดสุญญากาศ

13.1.2 สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ คือ สารที่ไม่ได้มีการเจือสารใดๆ ลงไป ซึ่งสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ จะมีอิเล็กตรอนวงนอก (Valence electron) อยู่ 4 ตัว



(ก) อะตอมของเจอร์มันเนียม

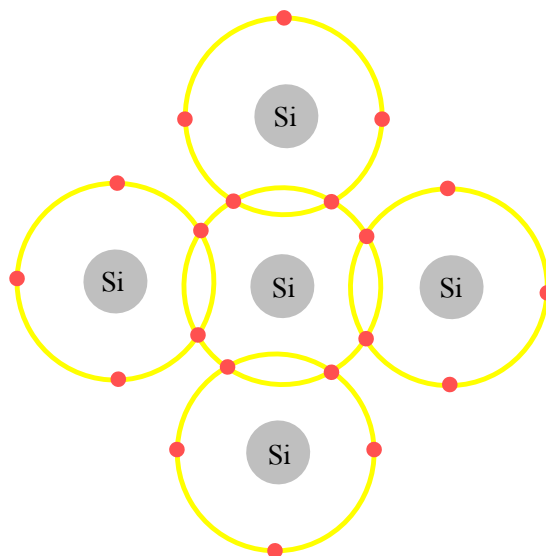


(ข) อะตอมของซิลิกอน

รูปที่ 13.2 แสดงโครงสร้างของอะตอม

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.2 แสดงโครงสร้างอะตอมของสารเจอร์มันเนียมและซิลิกอน สรุปได้คือ ภายในอะตอมของเจอร์มันเนียม จะประกอบด้วยโปรตอน (P^+) 32 ตัว และอิเล็กตรอน (e^-) 32 ตัว และภายในอะตอมของซิลิกอน จะประกอบด้วยโปรตอน (P^+) 14 ตัว และอิเล็กตรอน (e^-) 14 ตัว



รูปที่ 13.3 แสดงโควาเลนต์ของสารซิลิกอน

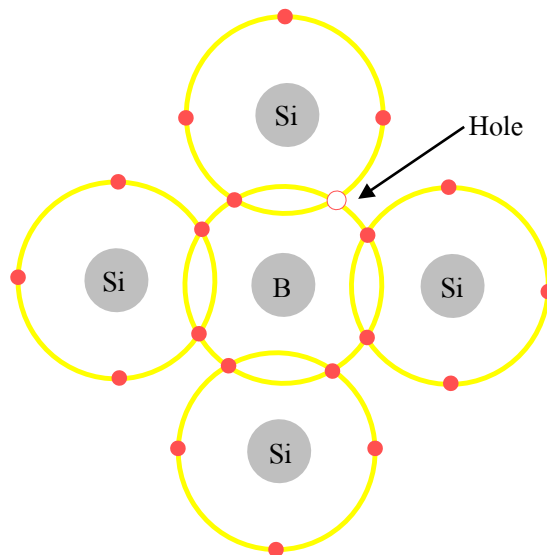
ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.3 แสดงโครงสร้างอะตอมของสารซิลิกอนที่บริสุทธิ์จับตัวกันเป็นรูปผลึก ซึ่งเป็นการรวมตัวของอิเล็กตรอนแบบโควาเลนต์ โดยการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนวงนอกสุด ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดของทุกๆ อะตอม ครอบ 8 ตัวพอดี

13.1.2 สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์

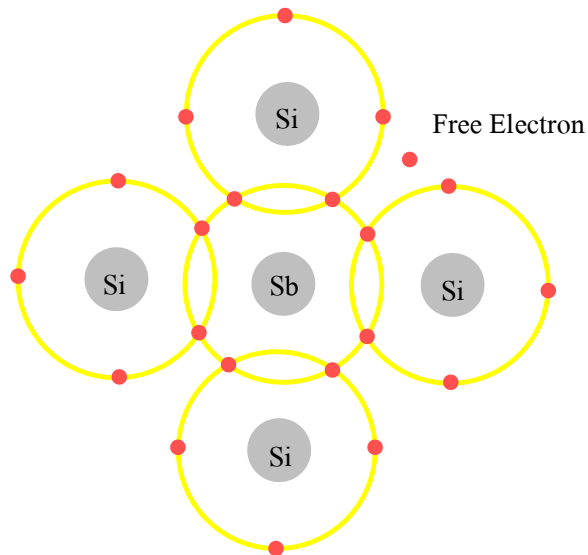
สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ถูกเติมสารเจือปนเข้าไป การเติมสารเจือปนเข้าไป เรียกว่าการโด๊ป (Doping) เพื่อทำให้มีสภาพนำไฟฟ้าที่สูง โดยผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งก็คือการนำเอาสารเจอร์มันเนียม หรือสารซิลิกอน ไปหลอมให้ละลายด้วยอุณหภูมิ 900 – 1,000 องศาเซลเซียส สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. สารกึ่งตัวนำชนิดพี (Positive – type) หรือเรียกย่อๆ ว่า P – Type
2. สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (Negative – type) หรือเรียกย่อๆ ว่า N – type



รูปที่ 13.4 แสดงโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดพี
ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.4 แสดงโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดพี คือการนำเอาอลูมิเนียม (Al) หรือแกลเลียม (Ga) หรือโบรอน (B) ซึ่งมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดอยู่ 3 ตัว มารวมกับเจอร์มันเนียม หรือซิลิกอน ที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว ทำให้การรวมตัวของอิเล็กตรอนวงนอกสุดไม่ครบ 8 ตัว ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) ซึ่งจะมีประจุเป็นบวกเมื่อเทียบกับอิเล็กตรอน

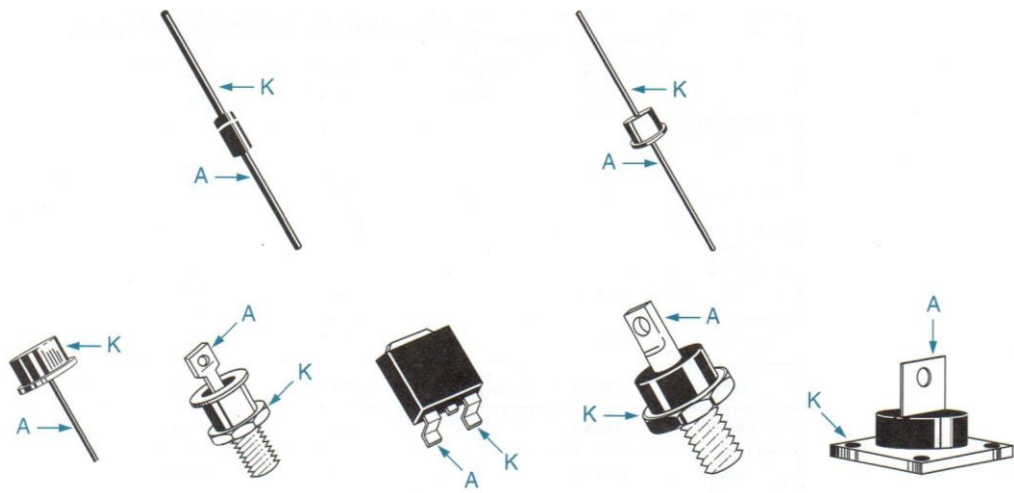


รูปที่ 13.5 แสดงโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.5 แสดงโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น คือการนำเอาสารหนู (As) หรือฟอสฟอรัส (P) หรือพลวง (Sb) ซึ่งมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว มารวมกับสารเจอร์มันเนียม หรือสารซิลิกอน ซึ่งมีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว ทำให้อิเล็กตรอนเหลือจากการรวมตัวกันอยู่ 1 ตัว อิเล็กตรอนที่เหลืออยู่จากการรวมตัว เรียกว่า “อิเล็กตรอนอิสระ” (Free electron) ซึ่งมีประจุเป็นลบ

13.2 ไดโอด

ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สมัยก่อนไดโอดสร้างจากหลอดสุญญากาศ ต่อได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีมากขึ้น จนกระทั่งปัจจุบันเรารู้จักไดโอดในรูปแบบของสารกึ่งตัวนำ

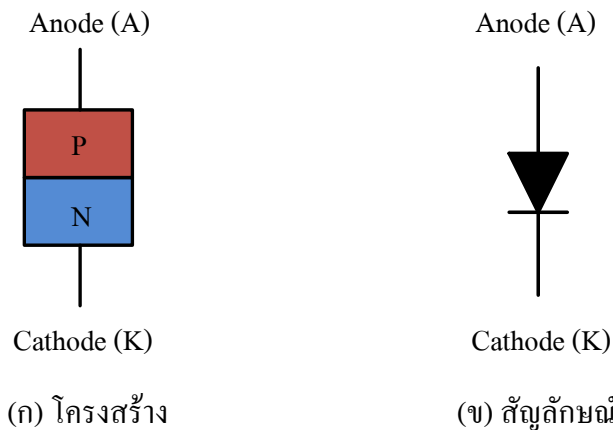


รูปที่ 13.6 รูปร่างของไดโอด

ที่มา : Robert T. Paynter, 2003 ; 43

จากรูปที่ 13.6 แสดงรูปร่างของไดโอดที่สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ มีขั้วออกมาใช้งานเพียงสองขั้วเท่านั้น มีขนาดเล็ก ทำให้สะดวกต่อการใช้งานเป็นอย่างยิ่ง จึงทำให้สามารถประหยัดเนื้อที่ของวงจรได้อีกมาก

13.2.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด



(ก) โครงสร้าง

(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 13.7 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครี้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.7 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด มีขาใช้งานด้วยกัน 2 ขา ซึ่งจะประกอบด้วยขาแอนโนด (Anode) ใช้ตัวย่อว่าขา A เป็นสารชนิด P และขาคาทอด (Cathode) ใช้ตัวย่อว่าขา K เป็นสารชนิด N

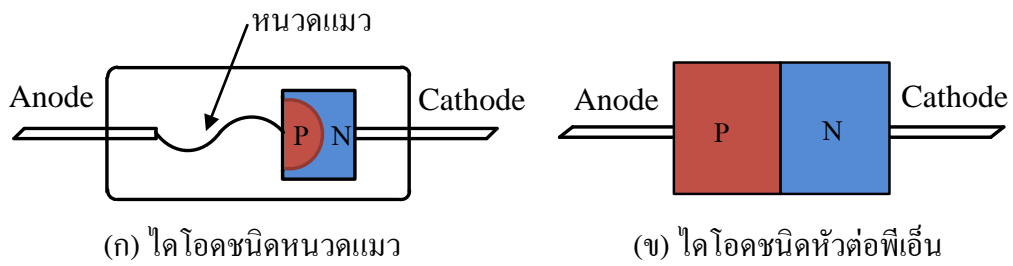
13.2.2 ชนิดของไดโอด

ไดโอดสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ 2 ชนิด คือสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น ไดโอดถ้าแบ่งตามเนื้อสารที่ใช้ทำจะได้อีก 2 ชนิด คือ

1. ไดโอดชนิดเยอรมันเนียม (Germanium Diode)
2. ไดโอดชนิดซิลิกอน (Silicon Diode)

ถ้าแบ่งตามลักษณะของการผลิต แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. ไดโอดชนิดหนวดแมว (Point Contact Diode) หรือไดโอดชนิดจุดสัมผัส
2. ไดโอดชนิดหัวต่อพีเอ็น (PN Junction Diode)



รูปที่ 13.8 โครงสร้างของไดโอดชนิดหน้าต่างและไดโอดชนิดหัวต่อพีเอ็น

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

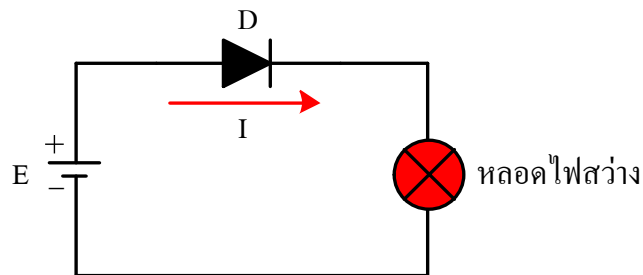
รูปที่ 13.8 (ก) แสดงไดโอดชนิดหน้าต่าง หรือไดโอดชนิดจุดสัมผัส เกิดจากการนำเอาสารเยอรมันเนียมชนิดเอ็นมาแล้วอัดสายเล็กๆ ของลวดพลาคินัมเข้าไปเป็นลวดหน้าต่าง แล้วจึงนำเอาไปผ่านกระแสค่าสูงๆ ตรงช่วงรอยต่อระหว่างหน้าต่างและผลึกเอ็นโทป์จะเกิดสารพีขึ้นรอบรอยสัมผัส ไดโอดชนิดนี้มักใช้สารเยอรมันเนียม

รูปที่ 13.8 (ข) ไดโอดชนิดหัวต่อพีเอ็น เป็นไดโอดที่สร้างจากขบวนการออกซิเดชัน หรือการแพร่อนุภาคอะตอมของสารบางชนิดเข้าไป ซึ่งนิยมใช้ในงานอย่างกว้างขวาง

13.2.3 การไบอัสไดโอด

การไบอัส (Bias) คือการจ่ายไฟให้สารพีและเอ็น เพื่อให้ทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอยู่ในสภานำกระแสและไม่นำกระแส การไบอัสมี 2 แบบ คือ

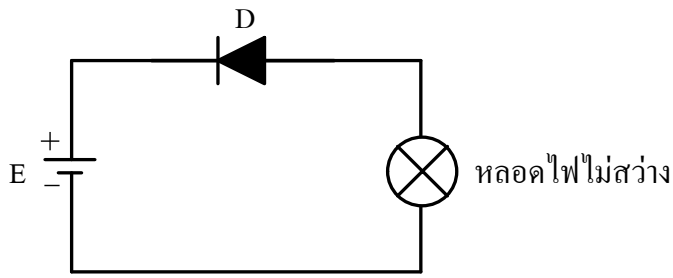
1. ไบอัสตรง (Forward Bias)
2. ไบอัสกลับ (Reverse Bias)



รูปที่ 13.9 การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอด

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.9 แสดงการจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอด คือการจ่ายไฟบวกให้กับขานอนหรือสาร P และจ่ายไฟลบให้กับคาโทด หรือสาร N ซึ่งมีผลทำให้ไดโอดนำกระแส หรือมีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไบอัสให้ไดโอด ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสต่ำ กระแสไฟฟ้าก็จะไหลน้อย หลอดไฟสว่างน้อย ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสสูง กระแสไฟฟ้าก็จะไหลได้มาก หลอดไฟก็จะสว่างมาก



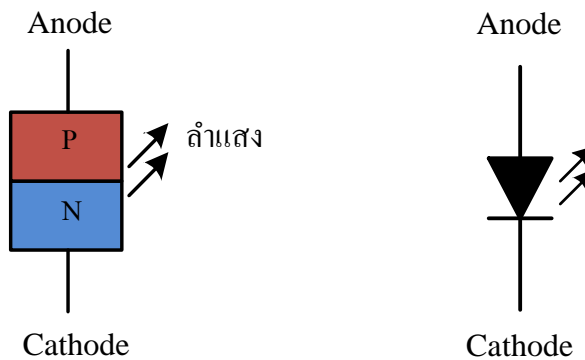
รูปที่ 13.10 การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด
ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.10 แสดงการจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด คือการจ่ายไฟบวกให้กับขาคาโอด หรือสาร N และจ่ายไฟลบให้กับขานโนด หรือสาร P ทำให้ไดโอดไม่นำกระแส หลอดไฟจึงไม่สว่าง

13.3 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode : LED) หรือ แอลอีดี เป็น ไดโอดที่สามารถเปล่งแสงสว่างออกมาด้วยคลื่นความถี่เดียวและมีเฟสต่อเนื่องได้ ซึ่งต่างไปจากแสงธรรมดาที่เรามองเห็น ซึ่งประกอบไปด้วยคลื่นที่มีความถี่และเฟสต่างๆ มารวมกัน

13.3.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง



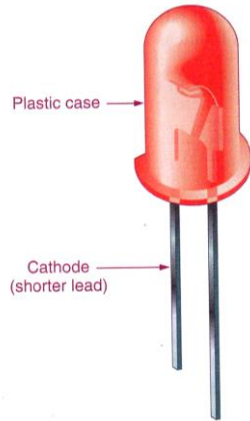
(ก) โครงสร้าง

(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 13.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 13.11 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง ซึ่งจะเหมือนกับไดโอดทั่วไป ประกอบขึ้นมาจากการเอาสารพีและสารเอ็นมาประกบกัน โดยผิวข้างหนึ่งเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อเราให้ไบอัสตรงแก่แอลอีดี จะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีพลังงานสูงขึ้น จนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลในสารพีได้ ก่อให้เกิดพลังงานแสงที่เราเรียกกันว่าพลังงาน “โฟตอน” เปล่งออกมา



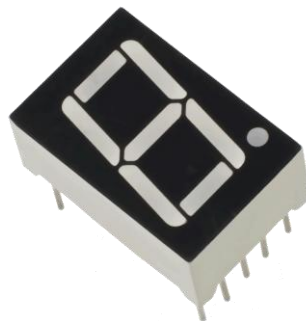
รูปที่ 13.12 รูปร่างของไดโอดเปล่งแสง
ที่มา : Robert T. Paynter, 2003 ; 55

จากรูปที่ 13.12 แสดงรูปร่างของไดโอดเปล่งแสง ตัวถังของไดโอดเปล่งแสงจะสร้างมาจากพลาสติก มีขาใช้งานจำนวน 2 ขา โดยขายาวจะเป็นขาคาโทดและขาสั้นเป็นขาคาโนด

การที่จะทำให้พลังงานนี้เรืองแสงขึ้นมาสว่างสุกใสนั้น จำเป็นต้องเติมสารเจือบางอย่างลงไป ในสารซิลิกอน หรือสารเยอรมันเนี่ยมด้วย สารนั้นก็คือแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium Arsenide Phosphide : GaAsP) หรือแกเลียมฟอสไฟด์ (Gallium Phosphide : GaP)

ไดโอดเปล่งแสงอาจจะมีสีต่างๆ กันไปเช่น เขียว แดง เหลือง ส้มและขาว โดยทั่วไป ไดโอดเปล่งแสงที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันใช้กับระดับแรงดัน 1.7 ถึง 3.3 โวลต์

ในปัจจุบันแม้แต่ไดโอดเปล่งแสงธรรมดาก็ยังมีส่วนสองสีอยู่ในตัวเดียวกัน เราเรียก ไดโอดเปล่งแสงพวกนี้ว่าหลอด two-lead LED เมื่อเรากลับไบอัสในแต่ละครั้งจะมีสีที่ต่างกันออกไป เช่นครั้งแรกเป็นสีเขียว เมื่อเรากลับไบอัสมันจะกลายเป็นสีแดง

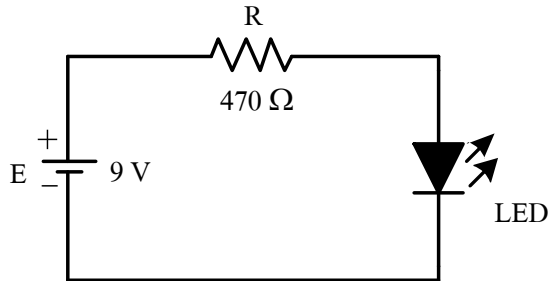


รูปที่ 13.13 รูปร่างของตัวเลข 7 ส่วน
ที่มา : <https://www.ioxhop.com>

จากรูปที่ 13.13 แสดงรูปร่างของตัวเลข 7 ส่วน หรือ 7-Segments เป็นไดโอดเปล่งแสงอีกประเภทหนึ่ง ใช้ในภาคแสดงผลของเครื่องมือวัดและทดสอบ เครื่องคิดเลขและระบบตัวเลข ซึ่งมีโครงสร้างเบื้องต้นเช่นเดียวกับไดโอดเปล่งแสง

13.3.2 วงจรใช้งานไดโอดเปล่งแสง

เนื่องจากแอลอีดีใช้แรงดันเพียง 1.7 V ถึง 3.3 V ดังนั้นถ้าจ่ายแรงดันต่ำกว่านี้ แอลอีดีก็จะไม่สว่าง ในทำนองเดียวกันถ้าจ่ายแรงดันมากกว่านี้ก็จะทำให้แอลอีดีชำรุดเสียหาย



รูปที่ 13.14 วงจรใช้งานไดโอดเปล่งแสง

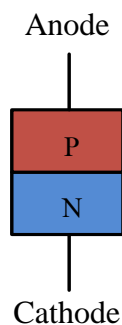
ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 13.14 แสดงวงจรใช้งานไดโอดเปล่งแสง จากวงจรใช้แหล่งจ่าย 9 V ไปอัสตรงให้กับแอลอีดี ทำให้แอลอีดีสว่าง ถ้าจ่ายไปอัสกลับ แอลอีดีจะไม่สว่าง ตัวต้านทานที่นำมาต่อจะมีผลต่อความสว่างและความปลอดภัยของแอลอีดี ถ้าความต้านทานต่ำจะทำให้แอลอีดีสว่างมาก แต่จะชำรุดเสียหายได้ง่าย และถ้าความต้านทานสูงจะทำให้แอลอีดีสว่างน้อย อายุการใช้งานก็จะยาวนาน

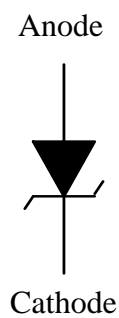
13.3 ซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ โครงสร้างและขาใช้งานเหมือนกับไดโอด ทำงานในสภาวะไบอัสกลับได้ มีคุณสมบัติในการรักษาแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันให้คงที่ จึงนิยมนำไปใช้ในวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator)

13.3.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด



(ก) โครงสร้าง



ข. สัญลักษณ์

รูปที่ 13.15 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

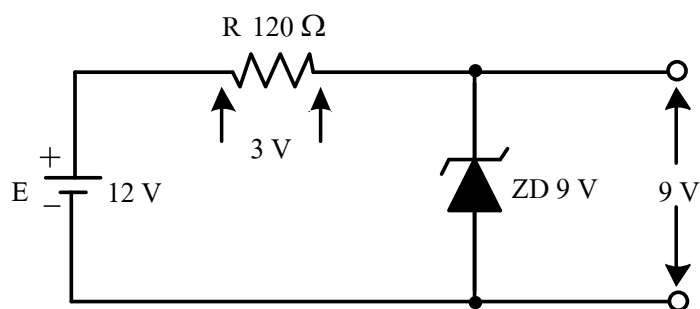
ที่มา : ทรงศักดิ์ ครั้นน้ำใจ, 2559

จากรูปที่ 13.15 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของซีเนอร์ไดโอดจะเหมือนกับไดโอด มีขาใช้งาน 2 ขา ซึ่งจะประกอบด้วยขาแอนด เป็นสารชนิด P และขาคาทอด เป็นสารชนิด N

เมื่อต่อซีเนอร์ไดโอดในลักษณะไบอัสตรง ซีเนอร์ไดโอดจะทำงานเหมือนไดโอด ธรรมดาทั่วไป แต่เมื่อจ่ายไบอัสกลับจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของซีเนอร์ไดโอดได้เลย ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้มันยังไม่ถึงจุดซีเนอร์

13.3.2 วงจรใช้งานซีเนอร์ไดโอด

ซีเนอร์ไดโอดถูกนำมาใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในวงจรให้คงที่ หรือที่เราเรียกกันว่าวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) เราสามารถนำเอาแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม ตัวซีเนอร์ไดโอดไปใช้จ่ายไฟให้กับวงจรต่างๆ



รูปที่ 13.16 วงจรใช้งานซีเนอร์ไดโอด

ที่มา : ทรงศักดิ์ ศรีนน้ำใจ, 2559

รูปที่ 13.16 แสดงวงจรใช้งานซีเนอร์ไดโอด หรือวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า จากวงจร ใช้ซีเนอร์ไดโอด 9 V แสดงว่าซีเนอร์ไดโอดตัวนี้มีจุดซีเนอร์ 9 V เมื่อจ่ายแรงดันตั้งแต่ 9 V ขึ้นไป จึงจะนำกระแส และเมื่อนำกระแสจะมีแรงดันตกคร่อมตัวซีเนอร์ไดโอดเท่ากับจุดซีเนอร์ของมัน ส่วนแรงดันที่เหลือจะไปตกคร่อมตัวต้านทาน ดังนั้นในวงจรนี้จึงมีแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด อยู่ 9 V และอีก 3 V จะไปตกคร่อมอยู่ที่ตัวต้านทาน เราสามารถนำเอาแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม ซีเนอร์ไดโอดไปเป็นวงจรจ่ายให้กับวงจรอื่นได้ โดยไม่ต้องไปสร้างวงจรจ่ายไฟเพิ่มให้สิ้นเปลือง

สรุป

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างฉนวนและตัวนำ สามารถเป็นได้ทั้งตัวนำและฉนวน ได้แก่ สารเจอร์มันเนียม (Germanium : Ge) และสารซิลิกอน (Silicon : Si)

ไดโอดสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ 2 ชนิด คือสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น ไดโอดถ้าแบ่งตามเนื้อสารที่ใช้ทำจะได้ออก 2 ชนิด คือ

1. ไดโอดชนิดเจอร์มันเนียม (Germanium Diode)
2. ไดโอดชนิดซิลิกอน (Silicon Diode)

ถ้าแบ่งตามลักษณะของการผลิต แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ไดโอดชนิดจุดสัมผัส (Point Contact Diode) หรือไดโอดชนิดจุดสัมผัส
2. ไดโอดชนิดหัวต่อพีเอ็น (PN Junction Diode)

การไบอัส (Bias) คือการจ่ายไฟให้สารพีและเอ็น เพื่อให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอยู่ในสภาวะนำกระแสและไม่นำกระแส การไบอัสมี 2 แบบ คือ

1. ไบอัสตรง (Forward Bias)
2. ไบอัสกลับ (Reverse Bias)

ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode : LED) หรือเรียกว่า แอลอีดี เป็นไดโอดที่สามารถเปล่งแสงสว่างออกมาด้วยคลื่นความถี่เดียวและมีเฟสต่อเนื่องได้ ซึ่งต่างไปจากแสงธรรมดาที่เรามองเห็น ซึ่งประกอบไปด้วยคลื่นที่มีความถี่และเฟสต่างๆ มารวมกัน

ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ โครงสร้างและขาใช้งานเหมือนกับไดโอด ทำงานในสภาวะไบอัสกลับได้ มีคุณสมบัติในการรักษาแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันไว้คงที่ จึงนิยมนำไปใช้ในวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator)