

05 Theme. 트랜지스터

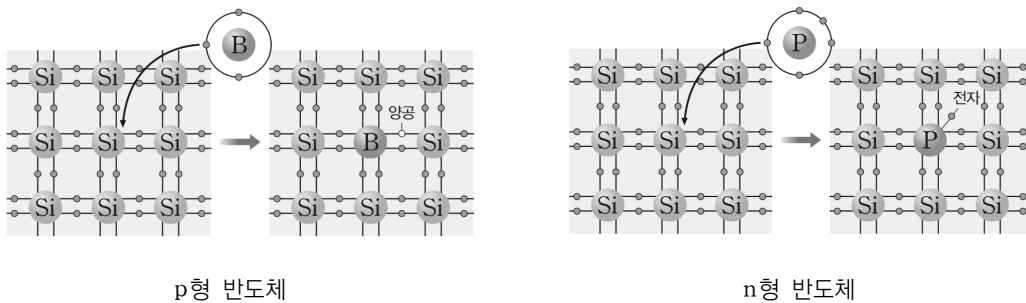
[개념편]

INTRO

물리학 1에서 n형과 p형 반도체 2개를 접합한 다이오드에 대해 배웠습니다.

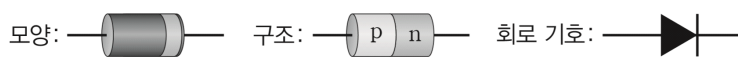
이번에는 반도체 3개를 접합하여 만든 트랜지스터에 대해 다루게 됩니다.

트랜지스터의 작동 원리와 회로의 형태에 따른 전류 흐름에 유의해주세요.

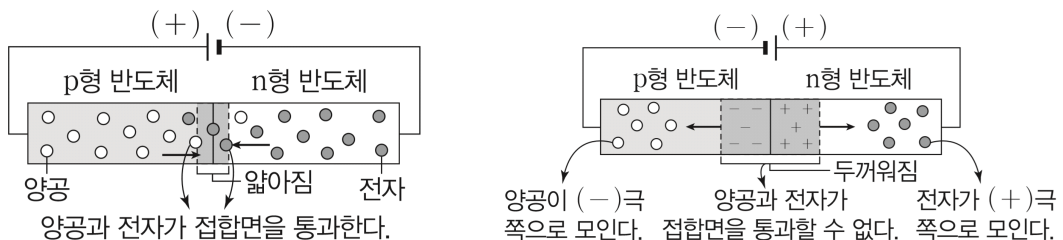


p형 반도체 14족 원소에 13족 원소를 도핑하여 만들어진 반도체로, 13족 원소에 의한 에너지 준위로 원자가 띠의 전자가 전이하여 원자가 띠에 양공이 생성되며 양공이 주된 전하 운반자의 역할을 합니다.

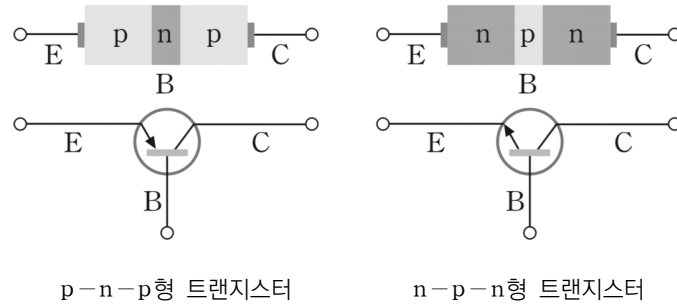
n형 반도체 14족 원소에 15족 원소를 도핑하여 만들어진 반도체로, 15족 원소에 의한 에너지 준위에서 전자가 전도띠로 전이하여 잉여 전자가 생성되며 전자가 주된 전하 운반자의 역할을 합니다.



다이오드 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 양 끝에 전극을 붙인 것으로, 전류를 한 쪽 방향(p→n)으로만 흐르게 하는 특성이 있습니다.



왼쪽 그림과 같이 순방향 전압을 걸어주면, 전자와 양공이 접합면으로 이동하고 전원에 의해 전자와 양공이 계속 공급되어 전류가 흐릅니다. 반면 역방향 전압을 걸어주게 되면, 양공과 전자가 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동하고 공핍층이 두꺼워져 전류가 흐르지 않게 됩니다.

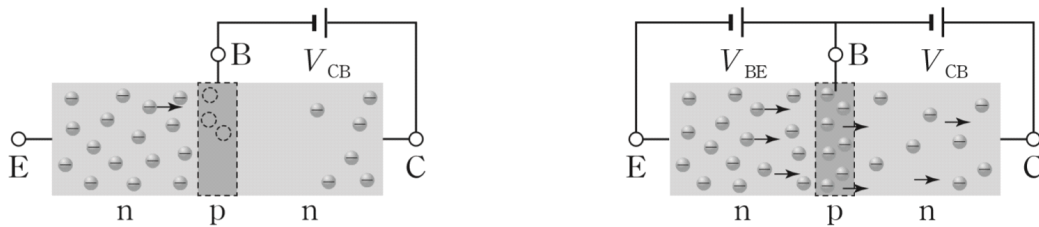


약한 신호를 크게 하는 증폭 작용과 신호를 끄거나 켜는 스위칭 작용을 하는 반도체 소자를 트랜지스터라고 합니다. 접합 순서에 따라 p-n-p형과 n-p-n형으로 나뉩니다. 트랜지스터의 구조에 관한 용어를 정리해봅시다.

베이스 : 트랜지스터 중앙의 좁은 영역, (B)로 나타냅니다.

이미터 : 순방향 전압을 걸어주는 영역, (E)로 나타냅니다. 불순물 도핑 농도가 높습니다.

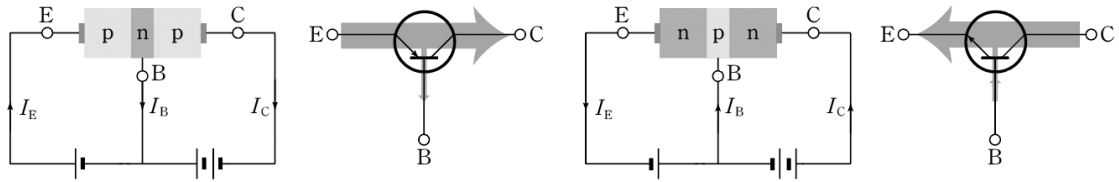
컬렉터 : 역방향 전압을 걸어 이미터에서 방출된 전하를 모으는 영역, (C)로 나타냅니다.



그림과 같이 베이스와 컬렉터 사이에만 역방향 전압 V_{CB} 를 걸게 되면, 정류 작용으로 인해 전류가 흐르지 않게 됩니다. 이 때, 베이스와 이미터 사이에 순방향 전압 V_{BE} 를 추가하면 이미터의 전자가 일부는 양공과 만나 소멸되지만, 대부분 컬렉터로 넘어가게 되어 전류가 흐르게 됩니다. 따라서 베이스의 작은 세기의 전류로 인하여 컬렉터에 큰 세기의 전류가 흐르게 되며 이 효과를 증폭 작용이라고 합니다.

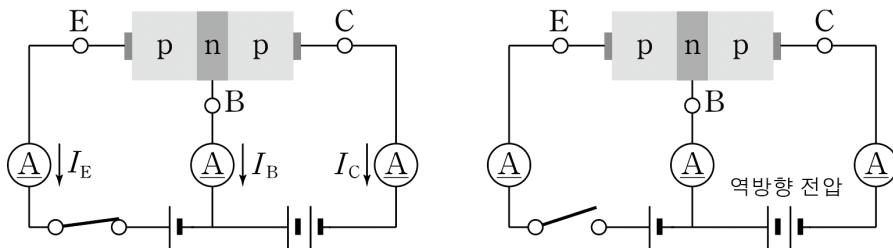
전류의 증폭 정도는 베이스 전류 I_B 와 컬렉터 전류 I_C 의 세기를 비교하여 결정하는데 약 20배~500배 정도의 값을 가집니다.

$$\text{전류 증폭률} = \frac{I_C}{I_B}$$

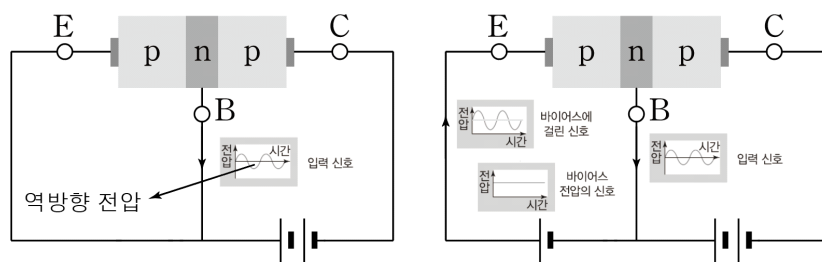


왼쪽 그림은 p-n-p형 트랜지스터의 증폭 회로에서 각 단자에 흐르는 전류를 나타낸 것입니다. 이미터에서 베이스 방향으로 전류가 흐르게 됩니다. 오른쪽 그림은 n-p-n형 트랜지스터의 증폭 회로에서 각 단자에 흐르는 전류를 나타낸 것으로, 베이스에서 이미터 방향으로 전류가 흐르게 됩니다.

p-n-p형 트랜지스터의 증폭 회로에서는 주요 전하 나르게가 양공이고 n-p-n형 트랜지스터에서는 주요 전하 나르게가 전자입니다. 전자가 양공에 비해 이동 속력이 빠르기 때문에, n-p-n형 트랜지스터가 일반적으로 많이 사용됩니다.



트랜지스터가 정상적으로 작동하기 위해서는 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을, 컬렉터와 베이스 사이에는 역방향 전압을 걸어주어야 합니다. 만약 스위치를 열어 베이스와 이미터 사이에 순방향 전압을 제거하면 컬렉터에도 전류가 흐르지 않게 됩니다. 이와 같이 트랜지스터로 회로에 전류의 흐름을 조절하는 것을 스위칭 작용이라고 합니다.



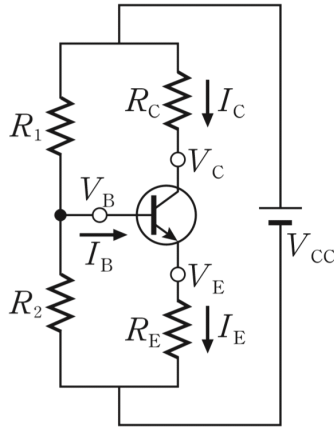
증폭 회로로서 트랜지스터가 원활하게 작동하기 위해서는 바이어스 전압이 필요합니다. 바이어스 전압을 걸지 않으면, 왼쪽 그림과 같이 교류 신호의 (-)쪽 신호가 스위칭 작용에 의해 출력되지 않습니다. 따라서 적절한 바이어스 전압을 걸어주어야 하며, 오른쪽 그림과 같이 입력 신호가 베이스와 이미터 사이에 언제나 순방향 전압을 걸게 되어 모든 신호가 증폭되어 출력됩니다.



05

Theme. 트랜지스터

[수능편]

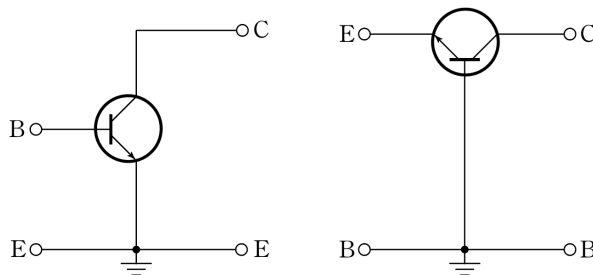


개념편에서 제시된 회로를 사용하면 다수의 전원이 필요하지만, 트랜지스터의 각 단자에 적절한 저항을 추가하여 전압을 분할하여 바이어스 전압을 결정할 수 있습니다. 트랜지스터를 전원에 연결하여 일정한 전류 증폭률로 작동시킬 때 베이스와 에미터 사이의 전압을 V_{BE} 로, 컬렉터와 에미터 사이의 전압을 V_{CE} 로, 에미터 단자 전위를 V_E 로 정하면, 베이스 단자 전위는 $V_B = V_E + V_{BE}$, 컬렉터 단자 전위는 $V_C = V_E + V_{CE}$ 가 됩니다.

전원의 전압을 V_{CC} 라 하면, 정해놓은 $V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$ 가 되도록 R_1 과 R_2 를 선택하고, I_B 가 매우 작다고 가정

하면, $I_E = I_B + I_C \approx I_C$ 이므로 $R_E = \frac{V_E}{I_E} \approx \frac{V_E}{I_C}$, $R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}$ 가 되도록 R_E 와 R_C 를 선택합니다. 따라서 각

단자의 전압이 정해지면, 증폭된 전류의 세기를 통해 적절한 저항의 저항값을 선택할 수 있습니다.

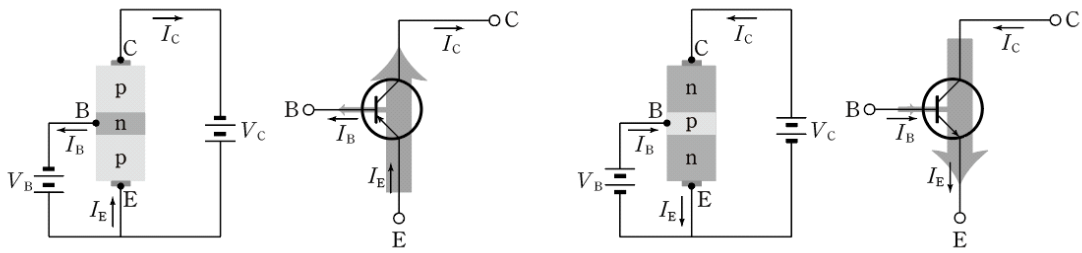


트랜지스터를 작동시키기 위해서는 베이스-에미터 접합과 컬렉터-베이스 접합에 각각 (+)와 (-)극이 연결되어야 하므로 4개의 단자가 필요하지만, 베이스나 에미터 중 하나를 공통 단자로 사용할 수 있습니다. 왼쪽 그림과 같이 에미터를 공통으로 사용하는 회로를 공통 에미터 회로라고 하고, 오른쪽 그림과 같이 베이스를 공통으로 사용하는 회로를 공통 베이스 회로라고 합니다.

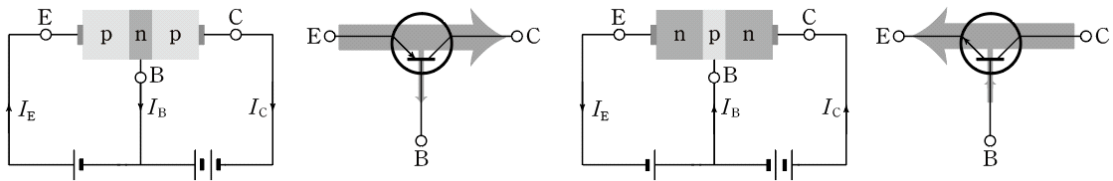


개념편에서는 공통 베이스 회로만 예시로 들어 설명했지만, 공통 이미터 회로에서 각 단자에 흐르는 전류에 대해서도 알아봅시다. 공통 베이스 회로에서와 마찬가지로, p-n-p형 트랜지스터의 증폭회로에서는 이미터에서 베이스로, n-p-n형 트랜지스터의 증폭 회로에서는 베이스에서 이미터로 전류가 흐릅니다. 개념편의 공통 베이스 회로와 비교해보시면 좋을 것 같습니다.

공통 이미터 회로



공통 베이스 회로



트랜지스터 문항은 1, 2, 4번
나머지는 다이오드 문항입니다.

05

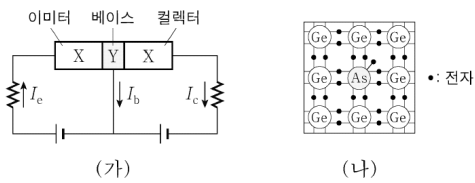
Theme, 트랜지스터

[문제편]

01

19학년도 수능 7번

7. 그림 (가)는 트랜지스터가 연결된 회로를 나타낸 것이다. X, Y는 각각 p형 반도체, n형 반도체 중 하나이다. 그림 (나)는 Y를 구성하는 원소와 원자가 전자의 배열을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

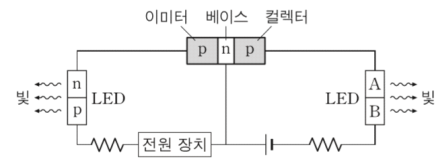
- <보 기>
- ㄱ. Y는 n형 반도체이다.
 - ㄴ. 이미터와 베이스 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.
 - ㄷ. 베이스에 있는 전자는 대부분 컬렉터로 이동한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

18학년도 수능 14번

14. 그림과 같이 p-n-p형 트랜지스터, 발광 다이오드(LED), 전원 장치를 연결했다. LED에서 빛이 방출되었다. A, B는 각각 p형 반도체, n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다.
 - ㄴ. A는 p형 반도체이다.
 - ㄷ. 컬렉터에 있는 양공의 대부분이 베이스를 통과하여 이미터에 도달한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



01

Solution

19학년도 수능 7번

ㄱ. 이미터에서 베이스 방향으로 전류가 흐르므로 (혹은 베이스와 이미터 사이에 순방향 전압이 걸려야 하므로) 트랜지스터는 $p-n-p$ 형입니다. 물론 (나) 조건을 통해 Y가 n 형 반도체임을 확인해도 좋습니다.

ㄴ. 회로에 전류가 흐르므로 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리게 됩니다.

ㄷ. 전자의 이동방향은 전류의 방향과 반대이므로 베이스의 전자는 양공과 만나 소멸되거나 이미터로 이동합니다.

따라서 답은 1번입니다.

02

Solution

18학년도 수능 14번

ㄱ. 회로에 전류가 흐르므로 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리게 됩니다.

ㄴ. $p-n-p$ 형 트랜지스터의 증폭회로에서는 이미터에서 컬렉터 방향으로 전류가 흐르고 LED에서 빛이 방출되므로, A는 p 형 반도체입니다.

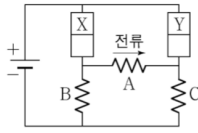
ㄷ. 양공의 이동방향은 전류의 방향과 같으므로, 컬렉터에 있는 양공은 (-)단자에서 공급되는 전자와 결합합니다.

따라서 답은 3번입니다.

03

19학년도 9월 12번

12. 그림은 동일한 p-n 접합 다이오드 2개, 동일한 저항 A, B, C와 전지를 이용하여 구성된 회로를 나타낸 것이다. X와 Y는 p형 반도체와 n형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다. A에는 화살표 방향으로 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

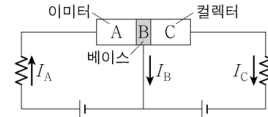
- <보 기>
- ㄱ. X에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
 - ㄴ. Y는 p형 반도체이다.
 - ㄷ. 전류의 세기는 B에서 C에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04

21학년도 6월 6번

6. 그림과 같이 불순물을 첨가한 반도체 A, B, C를 접합하여 만든 트랜지스터가 전류를 증폭하고 있다. A, B, C에 연결된 도선에는 세기가 각각 I_A , I_B , I_C 인 전류가 화살표 방향으로 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. $I_A = I_B + I_C$ 이다.
 - ㄴ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다.
 - ㄷ. C는 n형 반도체이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

Solution

19학년도 9월 12번

A에 오른쪽으로 전류가 흐르므로, 왼쪽 다이오드만 순방향 전압이 걸려야 합니다.

ㄱ. 왼쪽 다이오드에만 전류가 흐르므로, X는 p형 반도체이고 주된 전하 운반자가 양공입니다.

ㄴ. Y는 n형 반도체입니다.

ㄷ. A와 C가 직렬 연결되어 B와 병렬 연결되어 있으므로, B에 흐르는 전류의 세기가 A와 C보다 큽니다.

따라서 답은 4번입니다.

04

Solution

21학년도 6월 6번

ㄱ. 이미터에 흐르는 전류는 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 합과 같습니다.

ㄴ. 트랜지스터에서 증폭 작용이 일어날 때, 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려야 합니다.

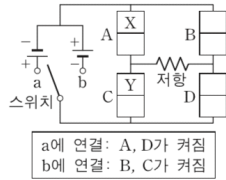
ㄷ. 이미터에 전류가 들어가므로, 트랜지스터는 p-n-p형입니다. 따라서 C는 p형 반도체입니다. (혹은, 베이스와 컬렉터 사이에 역방향 전압이 걸려있기 때문으로 생각해도 무방합니다.)

따라서 답은 3번입니다.

05

18학년도 6월 15번

15. 그림은 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) A, B, C, D에 전지 2개, 저항, 스위치를 연결한 회로를 나타낸 것이다. 스위치를 a에 연결했을 때 A와 D가 켜지고, 스위치를 b에 연결했을 때 B와 C가 켜진다. X와 Y는 각각 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보기>

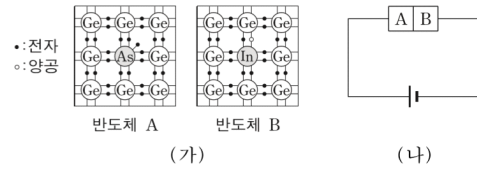
- ㄱ. X는 n형 반도체이다.
- ㄴ. 스위치를 b에 연결했을 때, Y에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
- ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때에 저항에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

17학년도 수능 8번

8. 그림 (가)는 저마늄(Ge)에 비소(As)를 첨가한 반도체 A와 저마늄(Ge)에 인듐(In)을 첨가한 반도체 B를, (나)는 A와 B를 접합하여 만든 다이오드가 연결된 회로를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>

- ㄱ. A는 p형 반도체이다.
- ㄴ. B에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
- ㄷ. (나)의 다이오드에 역방향 전압이 걸린다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



05

Solution

18학년도 6월 15번

스위치를 a에 연결했을 때, A와 D에 순방향 전압이, b에 연결했을 때, B와 C에 순방향 전압이 걸려야 합니다.

ㄱ. 스위치를 a에 연결했을 때, 순방향 전압이 걸려야 하므로 A는 n형 반도체입니다.

ㄴ. 같은 이유로 Y는 p형 반도체이고 주된 전하 운반자가 양공입니다.

ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때, 저항에 흐르는 전류의 방향은 왼쪽으로 같습니다.

따라서 답은 3번입니다.

06

Solution

17학년도 수능 8번

ㄱ. 원자가 전자가 5개인 불순물을 도핑한 n형 반도체입니다.

ㄴ. B는 p형 반도체로 주된 전하 운반자가 양공입니다.

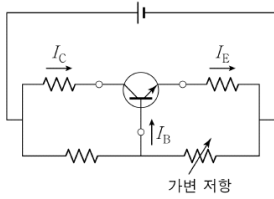
ㄷ. (나)의 다이오드는 n-p접합 다이오드로 역방향 전압이 걸립니다.

따라서 답은 4번입니다.

07

22학년도 6월 16번

16. 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 가변 저항, 전압이 일정한 전원을 연결하여 전류 증폭 회로를 구성하였다. 컬렉터 전류 I_C , 베이스 전류 I_B , 이미터 전류 I_E 가 화살표 방향으로 흐른다. $\frac{I_C}{I_B}$ 는 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

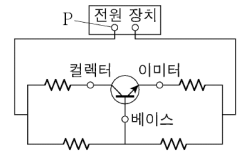
- <보 기>
- ㄱ. 베이스는 p형 반도체이다.
 - ㄴ. 베이스 단자의 전위는 이미터 단자의 전위보다 높다.
 - ㄷ. 가변 저항의 저항값을 증가시키면 I_C 는 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

22학년도 수능 13번

13. 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원 장치를 연결하여 전류 증폭 회로를 구성하였다. P는 전원 장치의 전극 중 하나이다. 베이스 전류는 컬렉터 전류보다 매우 작다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. P는 양(+)극이다.
 - ㄴ. 트랜지스터에서 다수의 전자는 컬렉터에서 이미터로 이동한다.
 - ㄷ. 컬렉터 단자의 전위는 베이스 단자의 전위보다 높다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

Solution

22학년도 6월 16번

이 문항의 경우 공통 베이스 회로에서 저항의 전압 분배를 이용하여 하나의 전원으로 트랜지스터를 작동시키는 상황에 대해 묻고 있습니다. 이 때, 베이스-이미터 전압의 변화를 무시해도 괜찮은지, 혹은 미미하지만 변한다고 생각해야할지에 관해 논란이 (조금) 있습니다. 아래의 풀이는 베이스-이미터 전압의 변화를 무시하고 작성된 풀이입니다.

- ㄱ. 이미터에서 전류가 나가므로 트랜지스터는 $n-p-n$ 형입니다.
- ㄴ. 전류는 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르므로, 베이스 단자의 전위는 이미터 단자의 전위보다 높습니다.
- ㄷ. 가변 저항의 저항값이 증가하면, 베이스 단자의 전위는 높아지고 베이스-이미터 전위는 일정하므로 이미터 단자의 전위는 높아집니다. 따라서 이미터 단자에 흐르는 전류가 증가하는데, 전류 증폭률이 일정하므로 컬렉터 단자에 흐르는 전류도 증가합니다.

따라서 답은 ㉞입니다.

08

Solution

22학년도 수능 13번

- ㄱ. $n-p-n$ 형 트랜지스터에서, 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸립니다. 즉, 베이스 단자의 전위가 이미터 단자의 전위보다 높아야 하므로 P는 양(+)극이 됩니다.
- ㄴ. 전자의 이동 방향과 전류의 이동 방향은 반대입니다. (191107 물리학1)
- ㄷ. 전류는 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르므로, 컬렉터 단자의 전위는 베이스 단자의 전위보다 높습니다.

따라서 답은 ㉓입니다.