

# 02

## 에너지띠와 반도체

**학습 목표** 고체의 에너지띠를 통해 도체와 부도체의 차이를 구분하고, 반도체의 원리를 설명할 수 있다.



드론이나 로봇을 만드는 데 쓰는 회로 기판은 여러 가지 전자 부품으로 이루어져 있다. 이러한 회로 기판을 이루는 물질들은 모두 전기가 잘 흐를까?

### 고체의 에너지띠

그림 III-33과 같이 한 개의 원자에 속박된 전자는 띄엄띄엄 떨어진 에너지 준위를 갖는다. 같은 원자 2 개가 가까이 있으면 인접한 원자의 원자핵과 전자에 의한 전기력의 영향을 받아 에너지 준위가 2 개로 갈라진다. 인접한 원자의 개수가 늘어날수록 갈라진 에너지 준위가 늘어난다. 고체는 무수히 많은 원자가 가까이 있으므로 수많은 에너지 준위가 촘촘하게 모여 연속적인 띠의 형태를 이루며, 이를 **에너지띠**라고 한다.

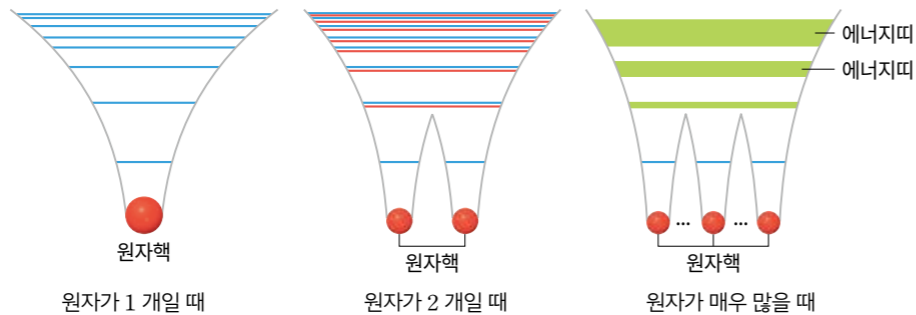


그림 III-33 고체 원자의 에너지 준위와 에너지띠

**허용된 띠**  
전자가 존재할 수 있는 영역이다.

그림 III-34와 같이 에너지띠 중에서 전자가 채워져 있는 가장 바깥에 있는 에너지띠를 **원자가 띠**라고 하고, 원자가 띠 위에 있는 에너지띠를 **전도띠**라고 한다. 원자가 띠와 전도띠 사이에 전자가 존재할 수 없는 에너지 영역이 있는데 이 영역의 에너지 간격을 **띠 간격**이라고 한다.

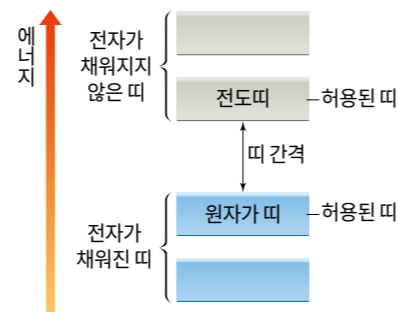


그림 III-34 고체의 에너지띠

### 도체와 부도체의 에너지띠 구조와 특징

고체 내의 전자는 가장 낮은 에너지띠부터 채우다가 그 에너지띠를 모두 채우면 바로 위의 에너지띠를 채운다. 그림 III-35의 (가)와 같이 도체는 전자가 완전히 채워진 에너지띠와 일부만 채워진 에너지띠가 존재한다. 일부만 채워진 에너지띠의 전자는 약간의 에너지만 흡수해도 쉽게 인접한 빈 에너지띠로 이동할 수 있다. 따라서 도체는 전류가 잘 흐른다. 한편 그림 (나)와 같이 부도체는 원자가 띠가 완전히 채워져 있고 띠 간격이 매우 커서 전자가 쉽게 이동할 수 없다. 따라서 부도체는 전류가 거의 흐르지 않는다.

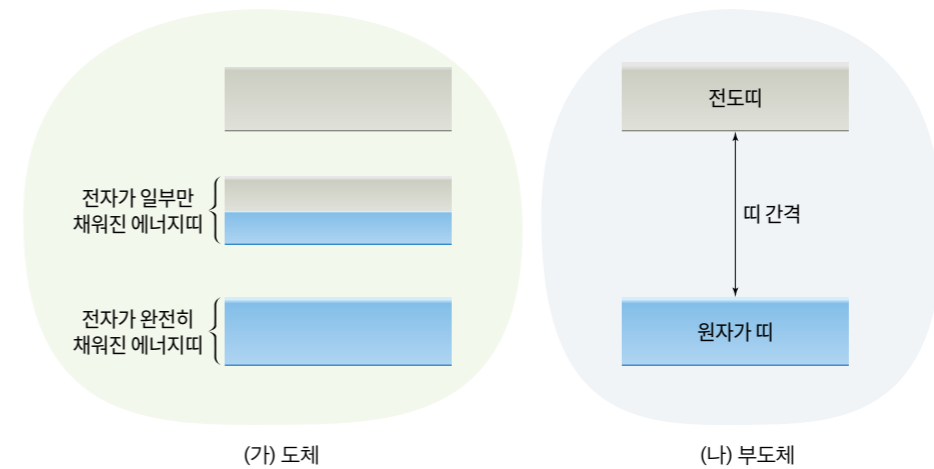


그림 III-35 도체와 부도체의 에너지띠 구조

**연계 통합과학1**  
물질을 도체, 부도체, 반도체로 구분하는 것과 반도체의 원리는 '물질과 규칙성' 단원에서 배웠다.

### 반도체의 에너지띠 구조와 특징

그림 III-36과 같이 반도체는 부도체처럼 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 있지만 부도체보다는 띠 간격이 좁다. 따라서 적당한 에너지를 흡수하면 전자가 전도띠로 이동할 수 있어 도체와 부도체의 중간 정도의 전기적 성질을 갖는다. 반도체는 온도나 불순물의 포함 여부에 따라 전기적 성질이 변하는 특성이 있어서 다양하게 활용된다.



그림 III-36 반도체의 에너지 띠 구조

#### 스스로 확인

- 1 고체는 무수히 많은 원자가 가까이 있으므로 수많은 에너지 준위들이 촘촘하게 모여 연속적인 띠의 형태를 이룬다. 이를 ( )이라고 한다.
- 2 부도체는 원자가 띠와 ( ) 사이의 띠 간격이 반도체에 비해 매우 크다.

### p형 반도체와 n형 반도체

규소(Si)나 저마늄(Ge)과 같은 순수한 반도체는 원자가 전자가 4 개이고, 이러한 원자로 이루어진 물질은 안정되어 전자가 쉽게 움직일 수 없으므로 전류가 잘 흐르지 않는다. 순수한 반도체에 불순물을 첨가하면 전자의 수가 달라지면서 에너지띠의 간격이 변해 전기적 특성이 달라진다. 이처럼 순수한 반도체에 불순물을 첨가하는 것을 **도핑**이라고 한다. 그림 III-37과 같이 순수한 반도체에 원자가 전자가 3 개인 붕소(B)를 불순물로 첨가하면 인접한 규소로부터 전자를 1 개 받아들여 음이온이 되고 새로 받은 전자는 원자가 띠보다 높은 에너지띠를 형성한다. 한편 붕소에 전자를 제공해 전자를 1 개 잃은 규소 원자는 양이온이 되고 전자가 이동한 빈 자리가 생기는데 이를 **양공**이라고 한다. 이 빈 자리는 주변의 다른 규소 원자의 전자로 채워지면서 전하를 운반하는 효과가 나타난다. 이와 같이 양공이 전하를 운반하는 역할을 하는 반도체를 **p형 반도체**라고 한다.

\* 음이온  
전자를 얻어 음전하를 띤 이온이다.

\* 양이온  
전자를 잃어 양전하를 띤 이온이다.

p형 반도체 불순물 종류  
원자가 전자가 3 개인 붕소(B), 알루미늄(Al), 인듐(In), 갈륨(Ga) 등을 넣는다.

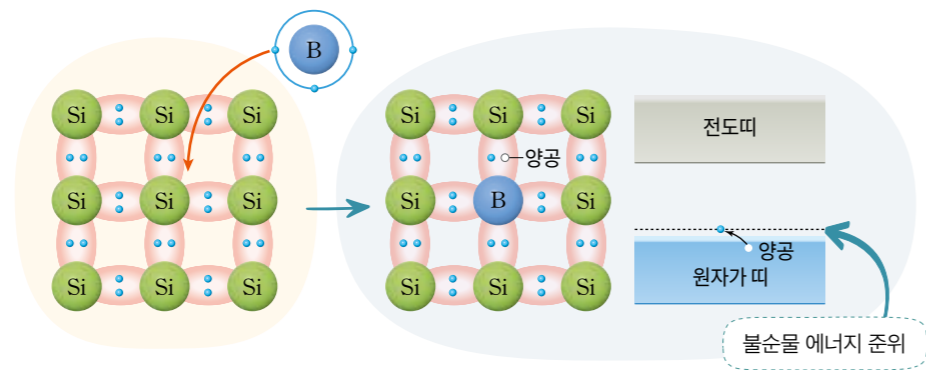


그림 III-37 p형 반도체

그림 III-38과 같이 순수한 반도체에 원자가 전자가 5 개인 인(P)을 불순물로 첨가하면 인접한 규소 원자에 전자를 주어 규소 원자의 전자가 1 개 남는다. 남는 전자는 전도띠 아래에 채워져 띠 간격이 좁아지므로 전류가 잘 흐르게 된다. 이와 같이 남는 전자가 전하를 운반하는 역할을 하는 반도체를 **n형 반도체**라고 한다.

n형 반도체 불순물 종류  
원자가 전자가 5 개인 인(P), 비소(As), 안티모니(Sb), 비스무트(Bi) 등을 넣는다.

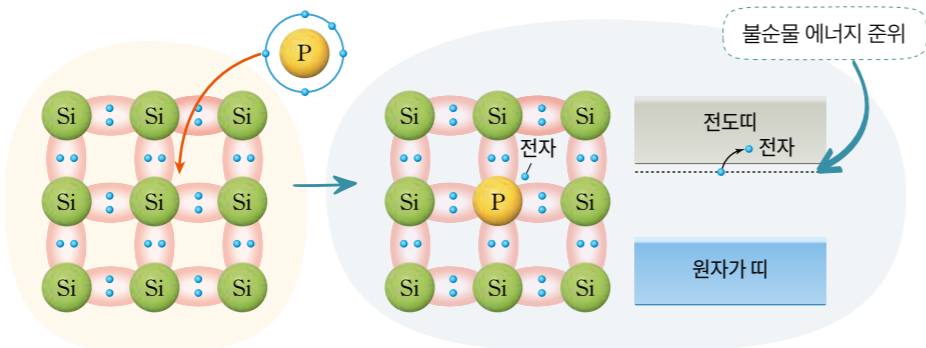


그림 III-38 n형 반도체

### p-n 접합 다이오드

그림 III-39의 (가)와 같이 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하면 접합면을 기준으로 양공의 농도가 높은 p형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 양공이 확산되고, 전자의 농도가 높은 n형 반도체에서 p형 반도체 쪽으로 전자가 확산된다. 따라서 p형 반도체에는 음이온이 남는 영역이 형성되고, n형 반도체에는 양이온이 남는 영역이 형성된다. 즉, 접합면 주변에는 고정된 양이온과 음이온을 띤 영역이 생긴다. 이 영역에서 전자와 양공에 전기력을 작용해 더 이상 확산하는 것을 막는 역할을 한다. 전자의 에너지 준위는 그림 (나)와 같이 형성되어 전자가 쉽게 n형 반도체에서 p형 반도체 쪽으로 이동할 수 없게 된다.

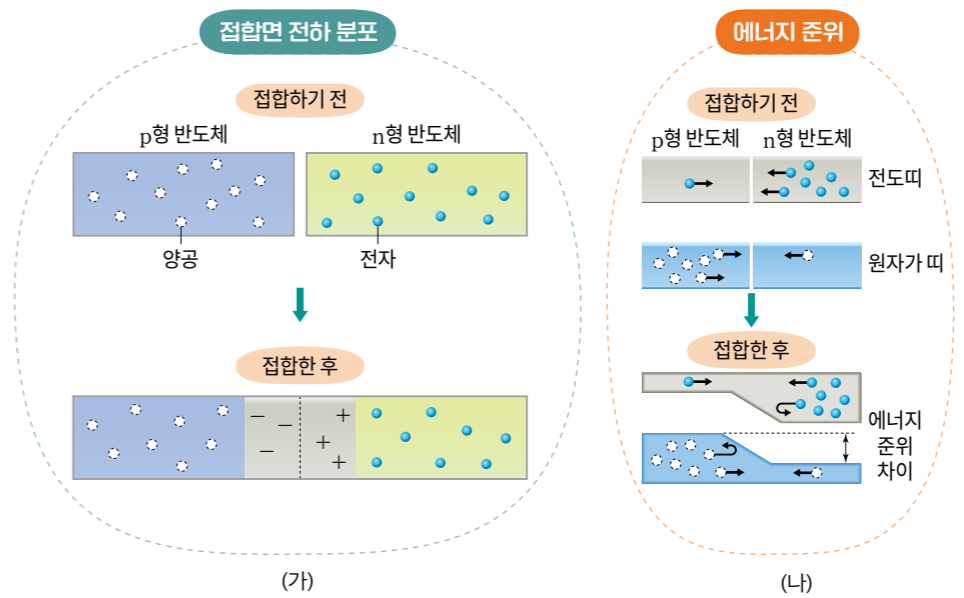


그림 III-39 p-n 접합의 전하 분포와 에너지 준위

p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 반도체 소자를 **p-n 접합 다이오드**라고 한다. 다이오드는 양단에 걸어 주는 전압의 방향에 따라 다른 특성을 가진다. 그림 III-40과 같이 다이오드의 p형 반도체 쪽에 전원의 (+)극을 연결하고, n형 반도체 쪽에 전원의 (-)극을 연결한 것을 **순방향 전압 연결**이라고 한다. 순방향 전압으로 연결하면 에너지 준위가 낮아져 전자는 p형 반도체 쪽으로 쉽게 이동할 수 있게 되고, 양공은 n형 반도체 쪽으로 이동하면서 전류가 흐른다.

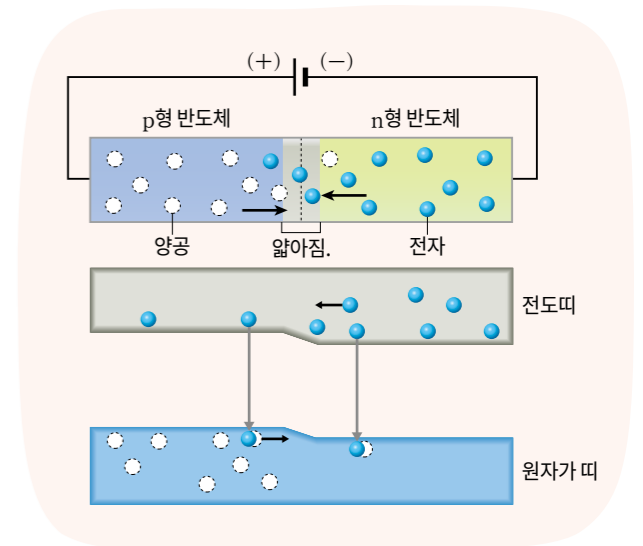


그림 III-40 다이오드의 순방향 전압 연결

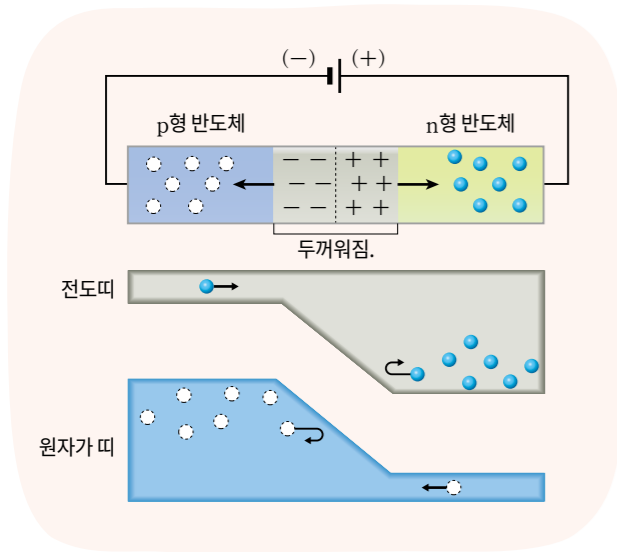


그림 III-41 다이오드의 역방향 전압 연결

그림 III-41과 같이 다이오드의 p형 반도체에 전원의 (-)극을 연결하고, n형 반도체에 전원의 (+)극을 연결한 것을 **역방향 전압 연결**이라고 한다. 역방향 전압으로 연결하면 p형 반도체의 양공은 (-)극 쪽으로 모이고, n형 반도체의 전자들은 (+)극 쪽으로 이동하면서 에너지 준위 차이가 더 커진다. 이에 따라 전자와 양공이 p-n 접합면을 통해 이동할 수 없어서 전류가 잘 흐르지 않는다.

다이오드는 이처럼 전압을 걸어 주는 방향에 따라 에너지 준위가 변하는 특성을 가지고 있어서 전류의 세기나 흐름을 제어하거나, 전기적 신호를 변환하는데 활용할 수 있다.

다음 활동을 하면서 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보자.

실험 영상

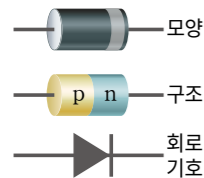


준비물

- p-n 접합 다이오드
- 전구
- 전구 끼우개
- 전지(1.5 V) 2 개
- 전지 끼우개 2 개
- 스위치
- 집게 달린 전선

활동 길잡이

다이오드의 모양과 회로 기호를 확인하고 연결 방향에 유의한다.

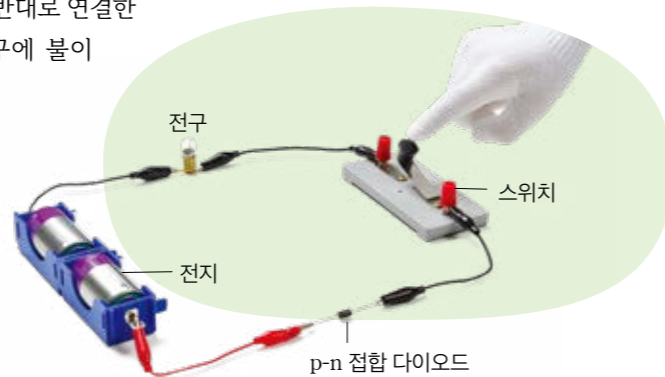


해보기

전기 회로에서 다이오드의 특성 알아보기

탐구 능력

1. 그림과 같이 전기 회로를 구성한 뒤, 스위치를 닫아 전구에 불이 켜지는지 관찰한다.
2. 다이오드의 단자를 1과 반대로 연결한 뒤, 스위치를 닫아 전구에 불이 켜지는지 관찰한다.



- 1에서 전구에 불이 켜지는가? 이때 다이오드를 어떻게 연결했는가?
- 2에서 전구에 불이 켜지는가? 이때 다이오드를 어떻게 연결했는가?
- 다이오드의 연결에 따라 전구의 불이 켜지거나 켜지지 않았다면, 회로에 연결된 다이오드는 어떤 역할을 했는지 이야기해 보자.

가정에 공급되는 전원은 전류의 방향이 주기적으로 변한다. 그러나 노트북이나 휴대 전화와 같은 전기 기구를 충전하려면 한 방향으로 흐르는 전류가 필요하다. 따라서 그림 III-42와 같이 충전기의 어댑터는 다이오드를 이용해 반대 방향으로 흐르는 전류를 제어해 한 방향으로만 전류가 흐르도록 만든다.

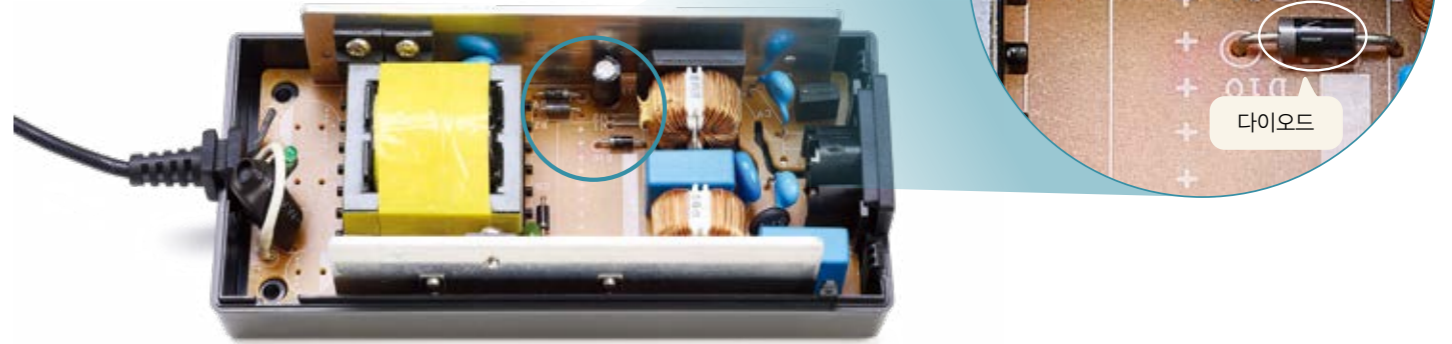


그림 III-42 충전기 어댑터 내부의 다이오드

그림 III-43과 같은 발광 다이오드(LED, light emitting diode)에 순방향으로 전압을 연결하면 n형 반도체의 전자가 p형 반도체로 이동하면서 빛의 형태로 에너지를 방출한다. LED에 사용하는 재료에 따라 에너지 준위 차이가 달라지므로 방출하는 빛의 색깔을 다르게 할 수 있다. 이를 이용해 빨간색, 초록색, 파란색 등 여러 색깔의 LED를 만들 수 있다.



그림 III-43 발광 다이오드(LED)

스스로 확인

- 1 p형 반도체에서 전자가 1 개 부족해 생긴 빈 자리를 ( )이라고 한다.
- 2 다이오드의 p형 반도체에 전원의 (-)극을 연결하고, n형 반도체에 전원의 (+)극을 연결한 것을 ( ) 전압 연결이라고 한다.

스스로 정리

**공유** p형 반도체에서 양공이, n형 반도체에서 전자가 전하를 운반하는 모습을 스톱 모션 영상으로 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.