

# 《 물리1 임의 세특 보고서 》

하이에듀

<b>주제</b>	<b>반도체</b>
<b>요약</b>	물리1 주제 중 반도체에 대한 탐구를 조금 더 깊이 해보면 좋을 것 같습니다. 실제로 반도체 공정 중 웨이퍼나 집적회로 등은 컴퓨터공학과와 전공과목에도 등장하는 이론이니 첨부해드린 자료를 바탕으로 탐구해보면 도움이 되실 것 같습니다.

## 자료 1. 반도체 소자 이론

### 반도체 개념과 특성

- 도체 (Conductor): "전류가 잘 흐르는 물질"로 철, 구리, 알루미늄, 금 등을 말함
- 부도체 (Insulator): "전류가 흐르지 않는 물질"로 유리, 플라스틱, 나무 등을 말함
- 반도체 (Semiconductor): "전류가 흐르는 정도가 도체와 부도체의 중간인 물질"임
- 전자공학에서는 전기가 흐르는 정도를 '전기전도도 (conductivity)'라 칭하는데, 도체는 전기전도도가 아주 크고, 부도체는 거의 0(제로)이며, 반도체는 그 중간 정도의 전기전도도를 가짐
- 반도체가 중요한 이유는 전기적인 신호를 가하거나, 불순물을 첨가하거나, 온도를 변화하거나, 빛에 노출시키면 그 전기적인 특성이 도체 혹은 부도체와 유사하게 변화한다는 것임. 특히 전기적인 신호를 이용하여 전기적인 특성을 도체 혹은 부도체와 유사하게 변화시킬 수 있다는 점이 중요한데 이는 전기 신호만으로 정보를 처리하거나 저장할 수 있는 전자회로의 구현이 가능하다는 점을 시사함

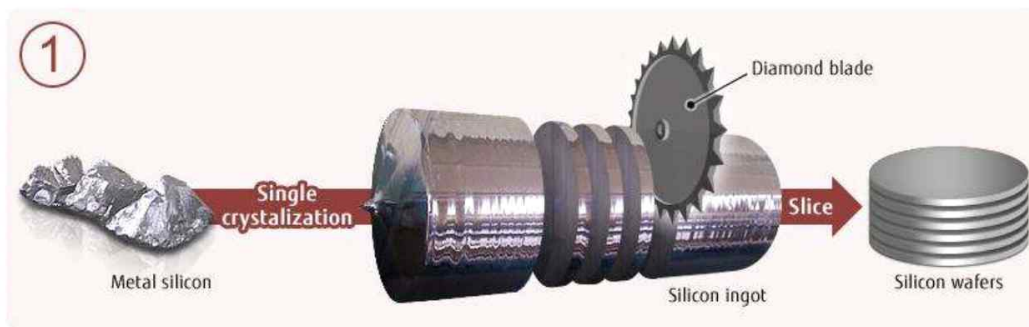
### 실리콘 반도체의 물성

- 원소 주기율표 상에서 실리콘 원자는 그림 4와 같이 14개의 전자를 가지고 있으며 이들은 원자핵을 중심으로 궤도를 형성하며 공전운동을 하고 있는데 2개의 전자는 원자핵과 가장 가까운 궤도를 공전하고, 8개의 전자는 원자핵과 두 번째로 가까운 궤도를 공전하며, 나머지 4개의 전자가 원자핵과 가장 먼 궤도를 공전하고 있음
- 이는 그림 4에서 보듯이 태양을 중심으로 행성이 공전하는 것과 유사함. 즉, 원자핵이 태양이고, 전자는 행성으로 볼 수 있음. 2개의 전자는 수성 궤도를, 8개의 전자는 금성궤도를, 나머지 4개의 전자는 지구 궤도를 공전하고 있다고 생각할 수 있음.
- 반도체 소자를 이해하는 데에는 가장 바깥쪽 궤도를 공전하고 있는 4개의 전자만 생각하면 충분하며 이들을 "최외각 전자" 혹은 "가전자 (valence electron)"라고 함
- 반도체 칩을 구현하기 위해서는 수많은 실리콘 원자가 결합한 결정질 실리콘이 구성되어야 하는데, 이 경우 실리콘의 가장 바깥쪽 궤도에 8개의 전자가 공전을 해야 가장 안정한 상태가 됨
- 하지만 앞서 언급하였듯이 실리콘 원자 1개는 4개의 최외각 전자를 가지므로 결정질실

리콘을 구현하기 위해서는 하나의 실리콘 원자가 4개의 실리콘 원자를 이웃으로 삼고 각각의 이웃으로부터 1개씩의 최외각 전자를 공유하는 방법을 취하여 그림 5와 같은 결정질 실리콘을 구현함. 실리콘 원자끼리는 강력한 공유결합으로 이어져 있으므로 이를 끊어내는 것은 매우 어려움

### 진성 반도체, 외인성 반도체

- 용어를 우선적으로 정의하고 원리를 설명하고자 함
- 진성 (intrinsic = pure) 반도체: 실리콘 원자만으로 구성되어 어떠한 다른 원소도 존재하지 않는 반도체
- 외인성 (extrinsic) 반도체: 실리콘 원자에 의도적으로 불순물을 첨가하여 전기전도도를 변화시킨 반도체. 불순물의 종류에 따라 N형 반도체와 P형 반도체로 분류됨
- N형 반도체: 원소 주기율표에서 5열에 위치한 원소 (예를 들면, 인, 비소 등등)를 실리콘에 불순물로 첨가한 반도체. 진성 반도체보다 많은 전자를 보유하여 높은 전기전도도를 보임. 반도체에서 N은 전자를 의미하므로 전자가 많은 반도체라고 생각할 수 있음
- P형 반도체: 원소 주기율표에서 3열에 위치한 원소 (예를 들면, 붕소 등등)를 실리콘에 불순물로 첨가한 반도체. 진성 반도체보다 많은 정공 (hole)을 보유하여 높은 전기전도도를 보임. 반도체에서 p는 정공을 의미하므로 정공이 많은 반도체라고 생각할 수 있음
- 그림 5에서 보인대로 진성 반도체는 실리콘 원자가 규칙적으로 배열되어 있고 각각의 원자는 공유결합으로 인하여 8개의 최외각 전자를 보유하고 있음. 이러한 상황에서 그림 8과 같이 전압을 인가하면 얼핏 생각하였을 때, 최외각 전자가 상대적으로 양전압이 인가된 우측으로 이동하면서 전류가 좌측으로 흐르는 것으로 오해할 수 있음 (고등학교물리에서 전류는 전자의 흐름이며, 전자의 흐름과 전류는 반대 방향이라고 배웠음)



[알기쉬운반도체소자이론.pdf](#) 파일 참고 부탁드립니다.

## 자료 2. 반도체 8대 공정

반도체 집적회로(semiconductor integrated circuit)는 손톱만큼 아주 작고 얇은 실리콘 칩처럼 보이지만, 그 안에는 수만 개에서 수십 억 개 이상의 전자부품들(트랜지스터, 다이오드, 저항, 캐패시터)이 들어있습니다. 이러한 전자 부품들이 서로 정확하게 연결되어 논리게이트와 기억소자 역할을 하게 되는 것인데요,

그렇다면 반도체 집적회로는 어떤 제조공정을 거쳐 만들어지는 것일까요?

반도체 제조는 칩 속의 작은 부품들을 하나하나 따로 만들어서 조립하는 것이 아닙니다. 부품과 그 접속 부분들을 모두 미세하고 복잡한 패턴으로 만들어 여러 층의 재료 속에 그려 넣는 방식을 사용하는데요, 그러기 위해서는 패턴을 사진으로 찍어 축소한 마스크를 마치 사진 인화 할 때의 필름처럼 사용합니다.

이러한 수백개의 제조 공정들을 하나 하나 거쳐, 반도체 집적회로가 완성되는데요, 오늘부터 집적회로 원재료인 웨이퍼를 만드는 과정, 반도체 성능 및 품질 검사 등 '반도체의 8대 공정'을 시리즈로 소개해드리겠습니다.오늘은, 그 첫 번째 시간으로 반도체 집적회로의 핵심 재료 '웨이퍼(Wafer)'에 대해 함께 알아보겠습니다.

## ■ 웨이퍼의 재료와 제조 공정

TV에서 애국가가 나올 때 배경으로 등장하는 반도체를 기억하시나요? 방진복을 입은 작업자가 동그랗고 반짝반짝 빛나는 원판을 들고 있는 모습이 미디어에 자주 나오곤 하는데요, 영상 속 원판이 바로 "웨이퍼"입니다. 특수 공정을 이용해 웨이퍼 위에 전자회로를 새긴 후, 웨이퍼 위 집적회로(IC)를 각각 절단하면 IC칩이 되는 것인데요,

여기서, 웨이퍼(Wafer)란 반도체 집적회로를 만드는 중요한 재료로, 실리콘(Si), 갈륨 아세나이드(GaAs) 등을 성장시켜 얻은 단결정 기둥(Ingot)를 적당한 지름으로 얇게 썬 원판모양의 판을 말합니다.

대부분의 웨이퍼는 모래에서 추출한 규소, 즉 실리콘으로 만듭니다. 실리콘은 지구상에 풍부하게 존재하고 있어 안정적으로 얻을 수 있는 재료이고, 독성이 없어 환경적으로도 우수하다는 큰 장점을 가지고 있습니다.

### 1) 웨이퍼의 기초, 잉곳(Ingot) 만들기

모래에서 추출한 실리콘은 반도체 원료로 쓰이기 위해 정제과정이 필요합니다. 그래서, 실리콘을 뜨거운 열로 녹여 고순도의 실리콘 용액을 만들고 이것으로 실리콘 기둥, 즉 잉곳(Ingot)을 만드는데요, 실리콘 결정 성장기술인 초크랄스키법(Czochralski, Cz) 혹은 플로팅 존법(Floating Zone, FZ) 등을 이용하여 얻을 수 있습니다.특히, 초크랄스키법은 결정 성장 장치를 이용하여 도가니로 다결정 실리콘을 용해 및 서서히 끌어올려 성장시키는 방법으로, 많이 이용되고 있는 기술입니다. 초크랄스키법을 간단히 살펴보면, 다결정 실리콘을 도가니에 넣고 가열하여 녹입니다. 이 후, 단결정 실리콘(seed)을 내려서 녹아있는 실리콘 용액 위 표면에 접촉시키고 단결정 실리콘(seed)을 천천히 끌어올리는데요, 이때, 단결정 실리콘(seed)이 끌어올려지면서 고상과 액상 사이의 계면에서 냉각이 일어나고 큰 단결정체가 성장되어 잉곳(Ingot)이 만들어 집니다.

### 2) 얇은 웨이퍼 만들기, 잉곳 절단(Wafer Slicing)

결정이 성장된 후, 얇은 웨이퍼를 만들기 위해서는 성형 공정이 필요합니다. 단결정 실리콘(seed)과 잉곳(Ingot)의 말단을 제거하고, 식힌 잉곳(Ingot)을 다이아몬드 톱을 이용해 균일한 두께로 얇게 절단하면 바로 '웨이퍼'가 됩니다. 따라서 웨이퍼의 크기는 잉곳(Ingot)의 지름이 결정하는데요, 반도체 산업 초기에는 직경이 3인치에 불과할 정도로 작았습니다. 하지만, 웨이퍼가 클수록 한 번에 생산할 수 있는 IC칩 수가 증가하기 때문에, 웨이퍼의 크기가 점점 커지는 추세입니다.

### 3) 거울처럼 반짝이게, 웨이퍼 표면 연마(Lapping & Polishing)

절단된 웨이퍼는 모양이 그럴싸하지만, 반도체 공정에 들어가기까지 아직 몇 단계가 남아

있습니다. 절단 직후의 웨이퍼는 표면에 흠결이 있고 매우 거칠어 사용할 수가 없는데요, 연마액과 연마 장비(Polishing machine)를 이용해 웨이퍼의 표면을 거울처럼 반짝이게 갈아 냅니다. 이는 광 노광 공정 시, 소자를 형성시킬 수 있도록 매끄러운 표면을 만드는 것입니다.

<https://www.samsungsemiconstory.com/kr/%eb%b0%98%eb%8f%84%ec%b2%b4-8%eb%8c%80-%ea%b3%b5%ec%a0%95-1%ed%83%84-%eb%b0%98%eb%8f%84%ec%b2%b4-%ec%a7%91%ec%a0%81%ed%9a%8c%eb%a1%9c%ec%9d%98-%ed%95%b5%ec%8b%ac%ec%9e%ac%eb%a3%8c-%ec%9b%a8%ec%9d%b4/>

### 자료 3. 웨이퍼

#### ■ 웨이퍼 부위 별 명칭

- ① Chip: 웨이퍼 위 전자회로가 새겨진 얇고 작은 조각으로, IC칩이 되는 부분입니다.
- ② Scribe Line: Chip 사이의 경계로, 아무 전자회로가 없는 부분이며, 웨이퍼를 개개의 칩으로 나누기 위한 분리 선입니다.
- ③ TEG(Test Element Group): 작은 IC칩 한 개에는 수십만 또는 수백만개의 트랜지스터, 캐퍼시터, 저항, 다이오드, 배선회로 등으로 구성되어 있어 실제 칩의 동작 여부를 판단하기 위해 테스트가 필요합니다. 따라서 칩의 실제 특성을 보기 위해 패턴을 구현한 것이 TEG입니다.
- ④ Edge Die: 웨이퍼는 가장자리 부분에 손실 부분, 즉 다이(Die)를 가집니다. 직경이 작은 웨이퍼보다 큰 웨이퍼의 다이 부분이 적고 손실률도 줄어듭니다.
- ⑤ Flat Zone: 웨이퍼 결정 구조는 눈으로 식별이 불가능합니다. 따라서 웨이퍼의 구조를 판별하기 위해 웨이퍼의 한 부분을 평평하게 만드는데, 이를 플랫폼이라고 합니다.

