

6. 태양전지 설계 (cell design)

한국기술교육대학교

에너지신소재화학공학부

나 윤 채



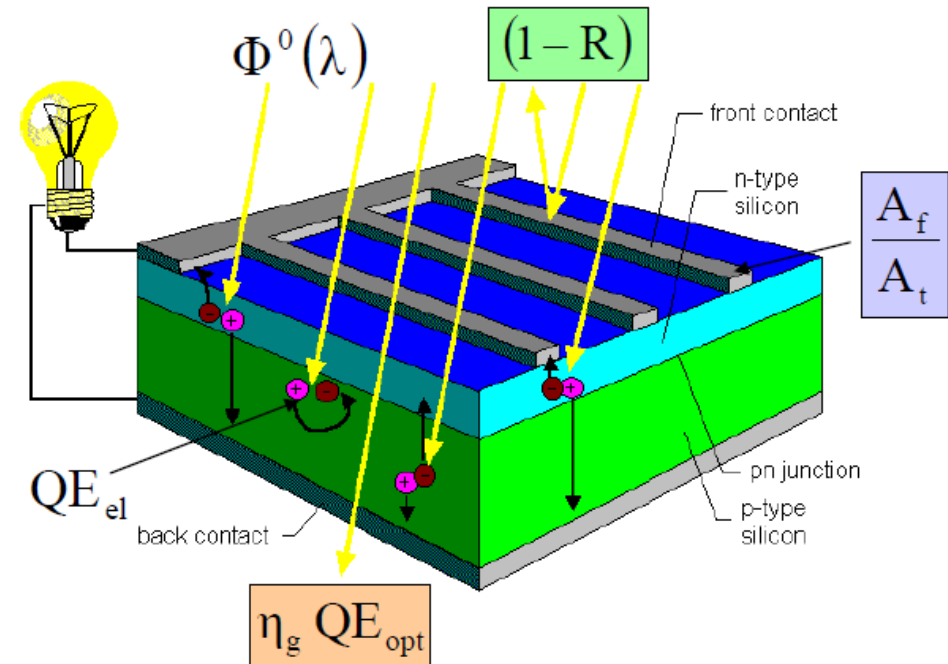
태양전지 설계 요소

- 광학적 특성 (optical properties)
 - 반사 방지 코팅, 표면 텍스처링
 - 재료의 두께, 광 포획
- 재결합 (recombination)
 - 재결합 손실 (전류와 전압의 손실)
 - 표면 재결합
- 상단 접촉 전극 설계 (top contact design)
 - 직렬 저항
 - 면, 접촉 저항

광학적 특성

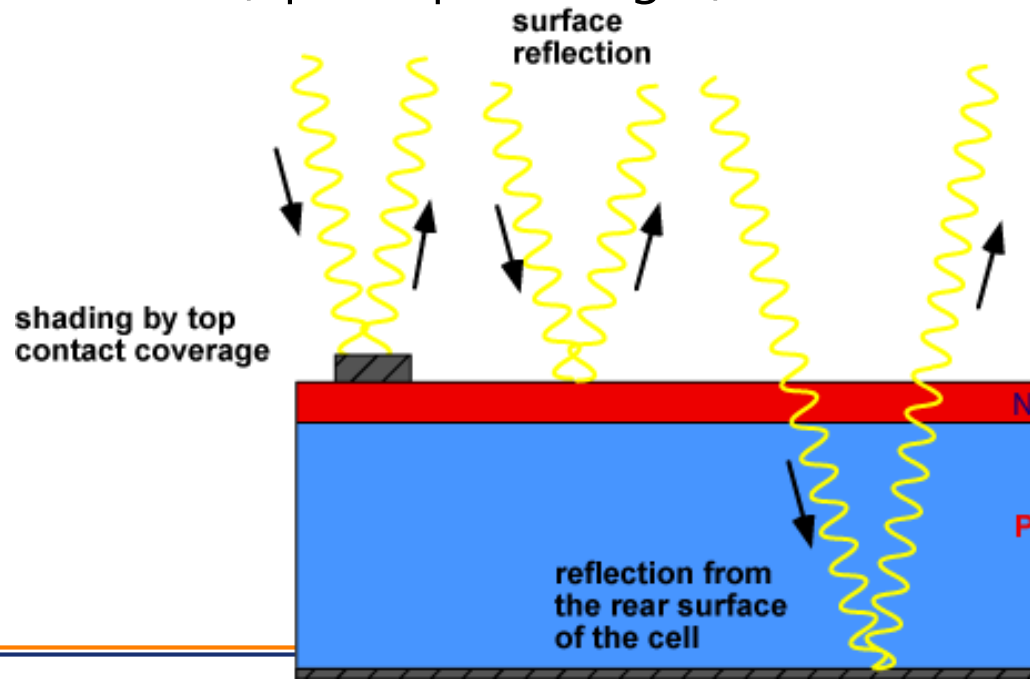
- 광학적 손실 (optical losses)
 - 전자-정공쌍을 생성할 수 있는 빛이지만 표면에서 반사되거나 태양전지에 흡수되지 않아 발생.
 - 단락 전류 (short-circuit current)를 낮추어 태양전지의 전력에 영향을 줌.

- 반사: 층 (layer)간의 상이한 굴절률
- 투과: 재료의 두께, 흡수율
- 면적 손실: 금속 전극



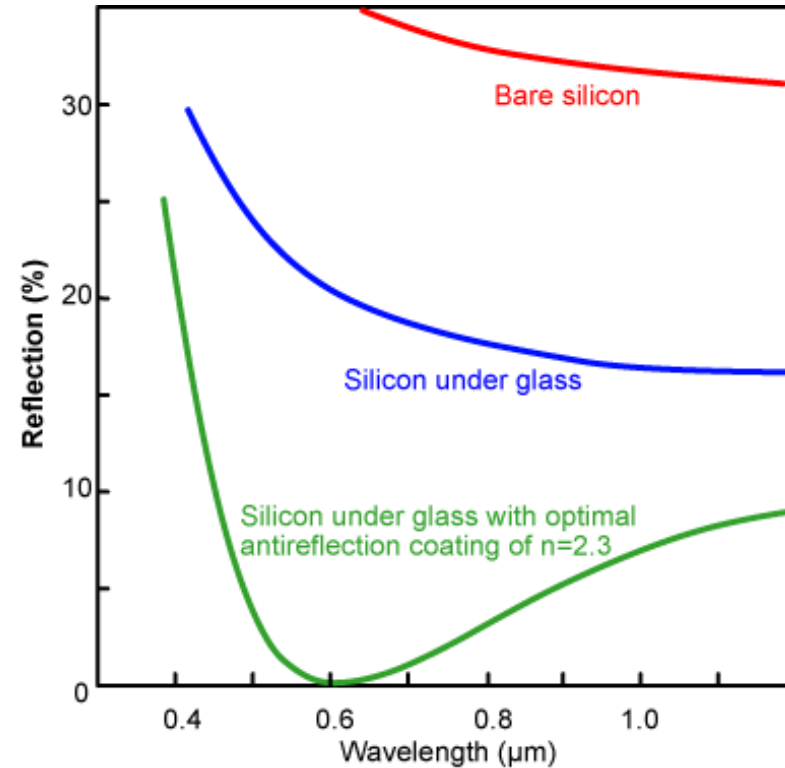
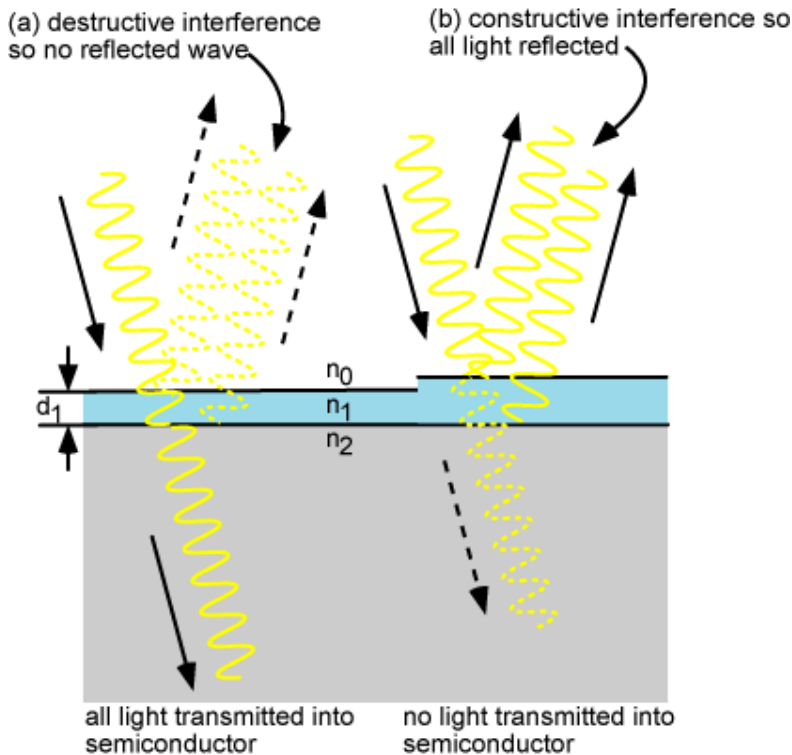
광학적 특성

- 광학 손실을 줄이는 방법
 - 태양전지 표면에 전극이 차지하는 면적을 최소화
 - 태양전지 표면에 반사 방지 코팅을 사용
 - 표면 텍스처링에 의한 반사 줄임
 - 흡수 증가를 위한 태양전지의 두께 증가 (단점?)
 - 광 포획 (light trapping) 효과로 광 경로 길이 (optical path length) 증가

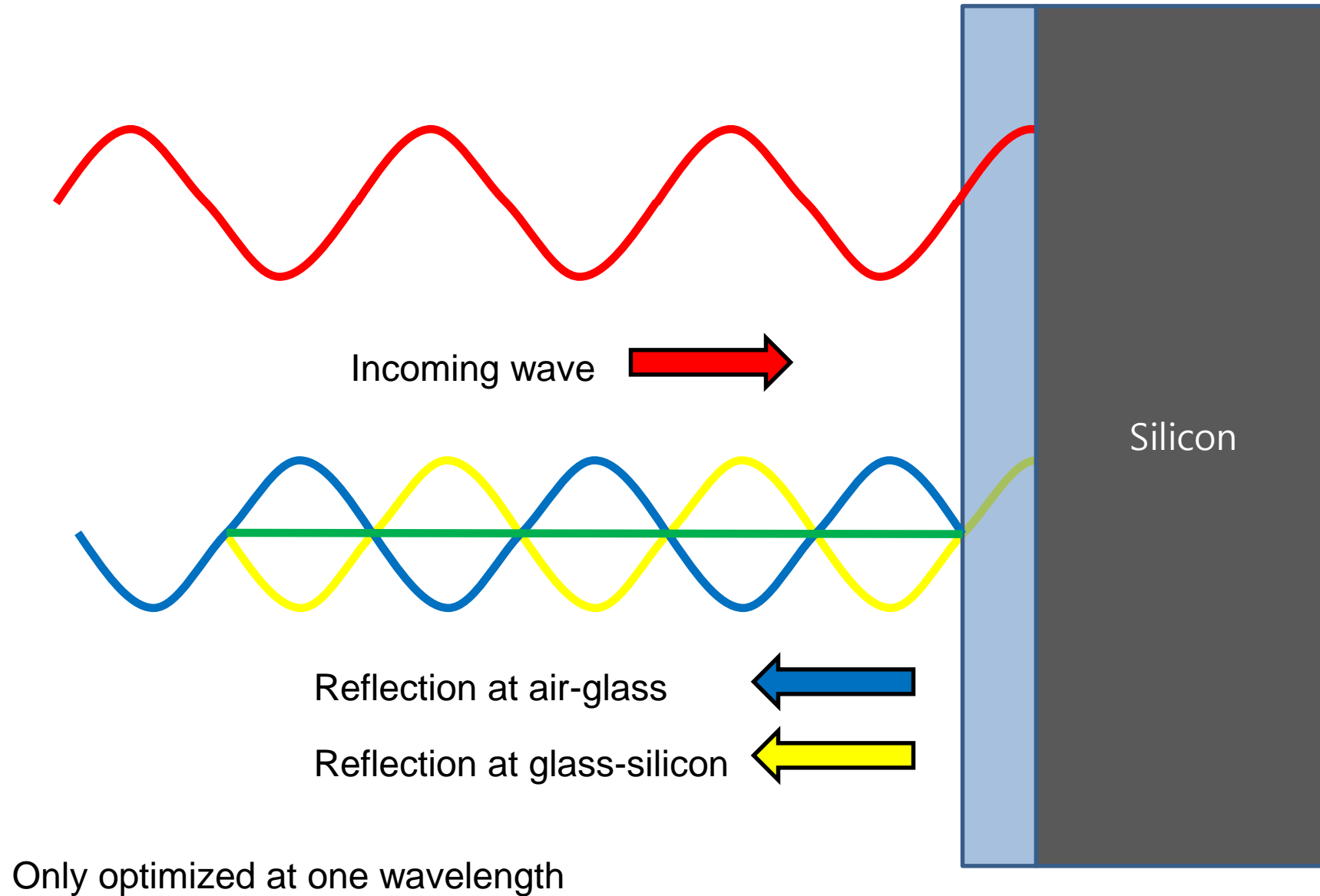


광학적 특성

- 반사 방지 코팅 (anti-reflection coating, ARC)
 - 얇은 층의 유전 재료로 구성
 - 두께를 적절히 선택하여 반사방지 표면층에서 반사된 파동이 반도체 표면에서 반사된 파동과 위상이 다르게 되도록 한다.

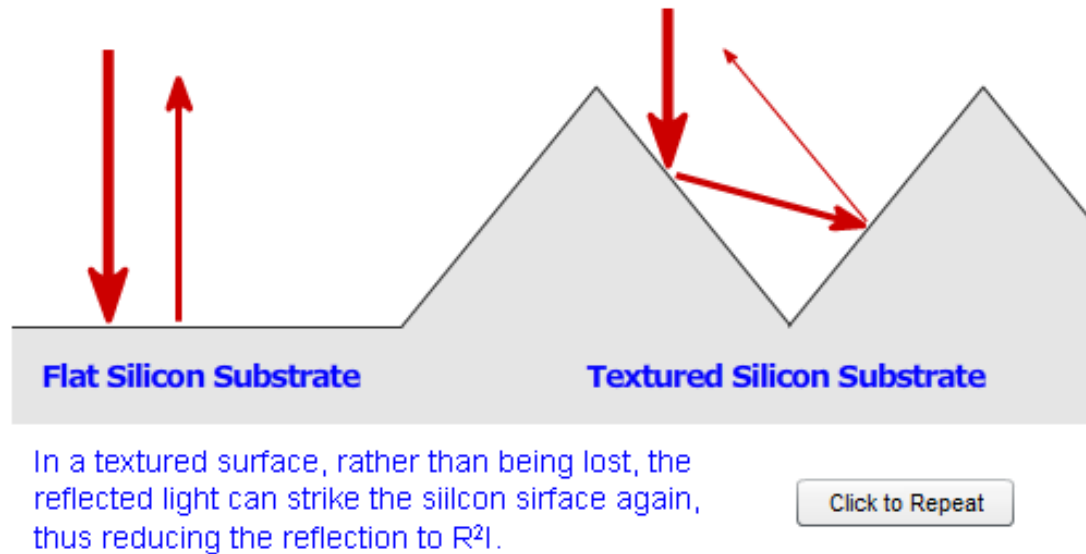


광학적 특성



광학적 특성

- 표면 텍스처링 (surface texturing)
 - 반사 방지 코팅과 연계하거나 그 자체로 반사를 최소화하는데 사용.
 - 표면을 거칠게 하여 반사된 빛이 다시 표면 쪽으로 되돌아 오게 함.

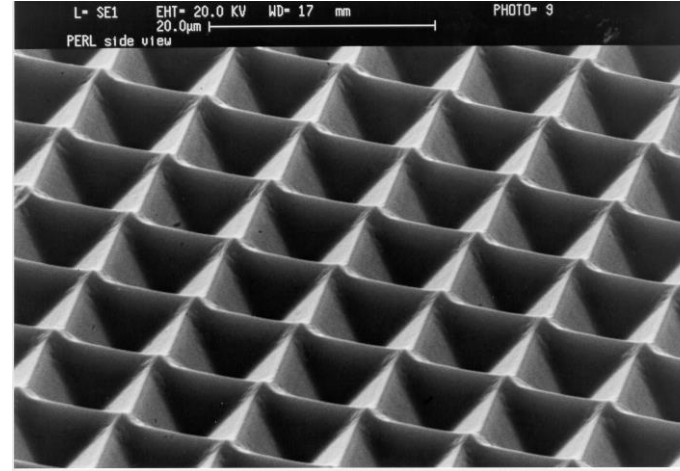
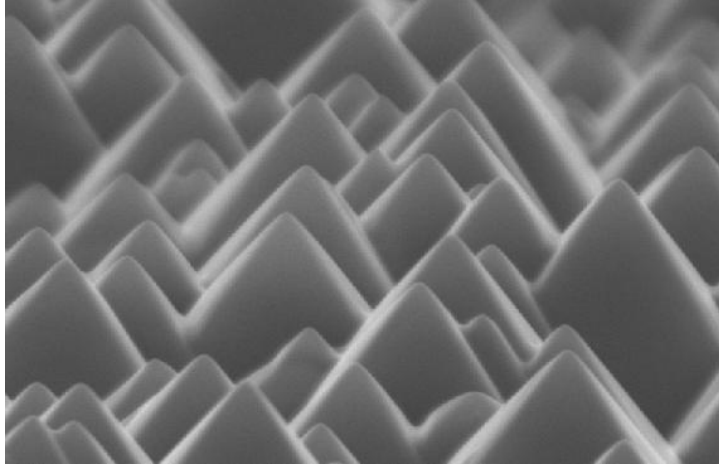


단결정 기판: 결정면을 따라 에칭하여 텍스처링 함.

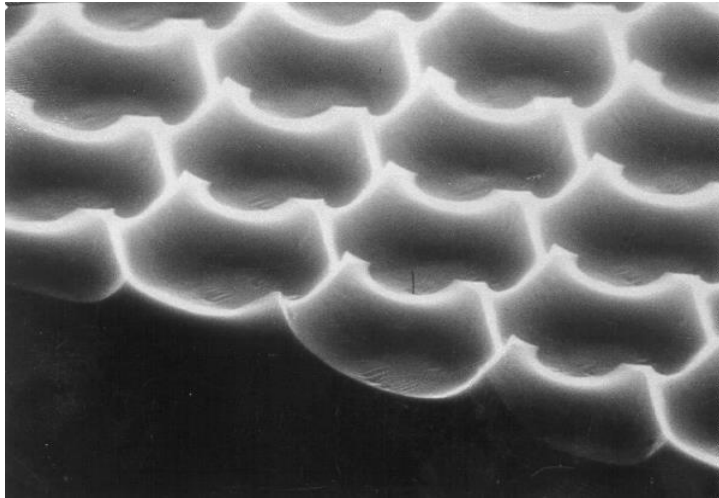
다결정 기판: 레이저 혹은 photolithography

광학적 특성

- 단결정 실리콘: 결정면을 따라 에칭하여 텍스처링

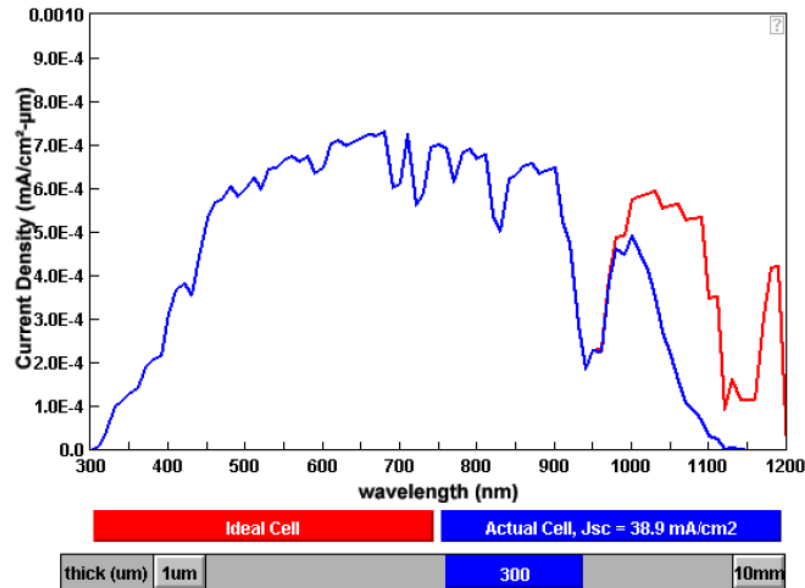


- 다결정 실리콘: 표면을 기계적으로 조각하거나, photolithographic 기법을 사용



광학적 특성

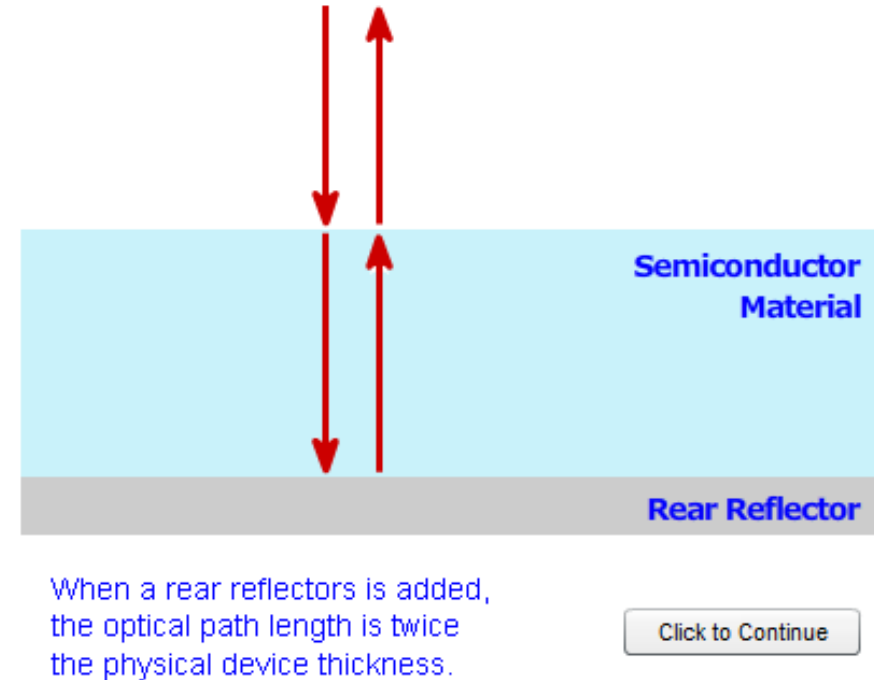
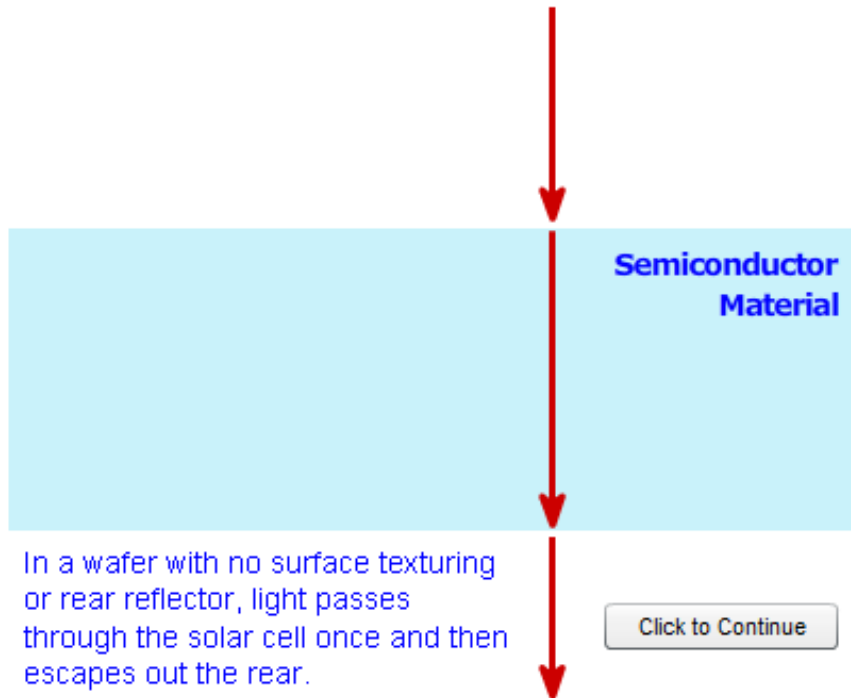
- 재료의 두께 (material thickness)
 - 태양전지 내의 모든 빛을 흡수하는 것이 중요.
 - 흡수된 빛의 양은 광 경로 길이 (optical path length)와 흡수계수에 의존.
 - 얇은 태양전지는 통상 뒷면에 반사체를 추가하여 흡수가 증가되도록 설계.



두께가 10 mm를 넘는 실리콘 재료의 경우에는, 실질적으로 밴드갭보다 큰 에너지를 가진 모든 빛이 흡수된다. 전체 전류의 100 %의 의미는 두께 10 mm에서는 실리콘에 흡수될 수 있는 모든 빛이 흡수된다는 사실을 가리킨다. 두께 10 μm의 재료에서는 가용한 전체 전류의 30 %만 흡수된다. 손실되는 광자는 오렌지색과 붉은색 광자들이다.

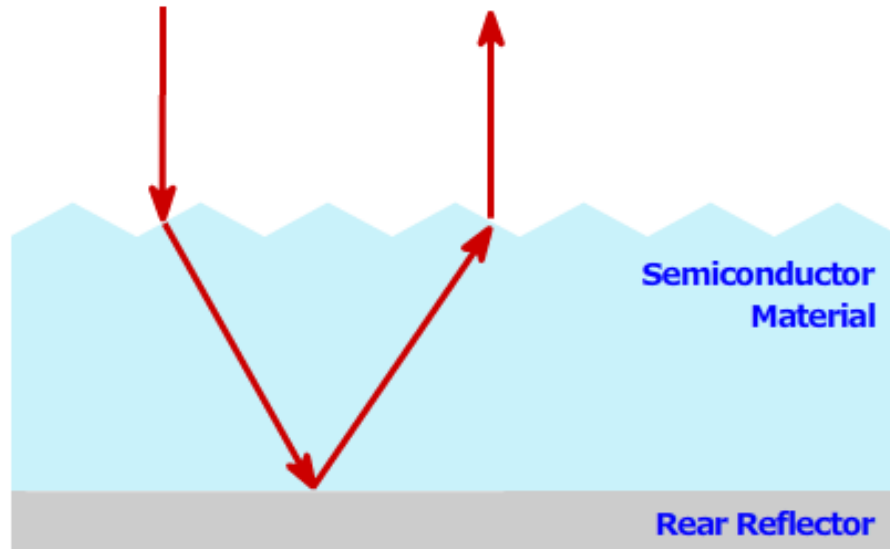
광학적 특성

- 광 포획 (light trapping)
 - 광 경로 길이 (optical path length)를 크게 하여 빛이 태양전지 안에 오래 머물도록 한다.
 - 텍스처링된 표면은 빛을 비스듬히 들어갈 수 있도록 함으로써 소자의 두께보다 더 긴 광 경로 길이 제공.



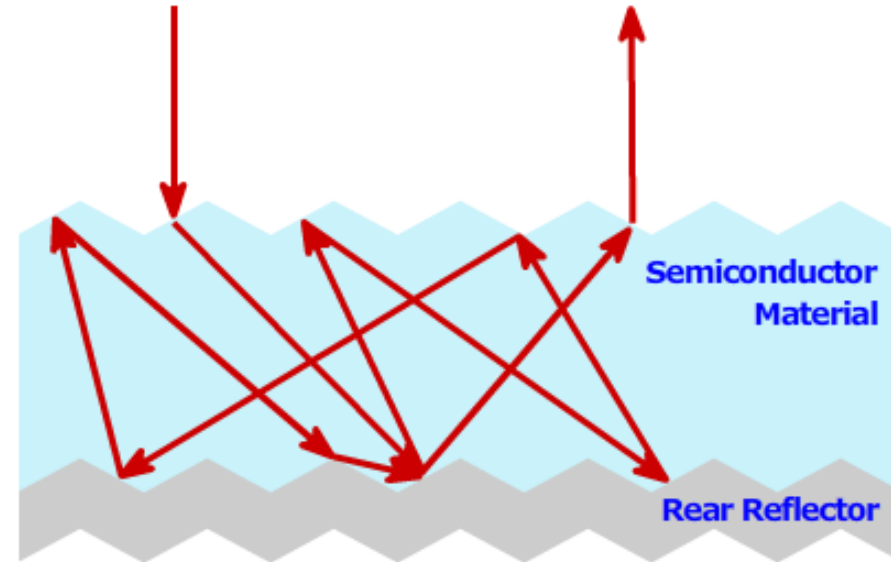
광학적 특성

- 광 포획 (light trapping)



Surface texturing increases the path length but light escapes after two passes through the solar cell.

Click to Continue



Front and rear surface texturing can trap light for multiple passes due to total internal reflection.

Click to Repeat

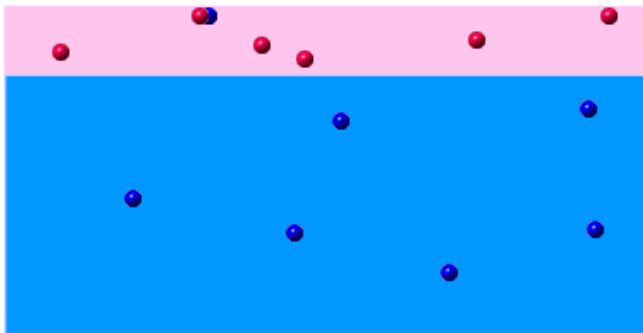
- 내부 전반사를 이용하면 빛은 태양전지 내부에서 포획되어 광 경로 길이를 길게 유지할 수 있음.

재결합 줄이기

- 재결합 손실 (recombination losses)
 - 개방 전압 (V_{oc})와 단락 전류 (I_{sc})에 영향을 미침.
 - 재결합이 일어나는 영역에 따라 분류.
 1. 표면 재결합 (surface recombination)
 2. 벌크 재결합 (bulk recombination)
 3. 공핍영역 재결합 (depletion region recombination)

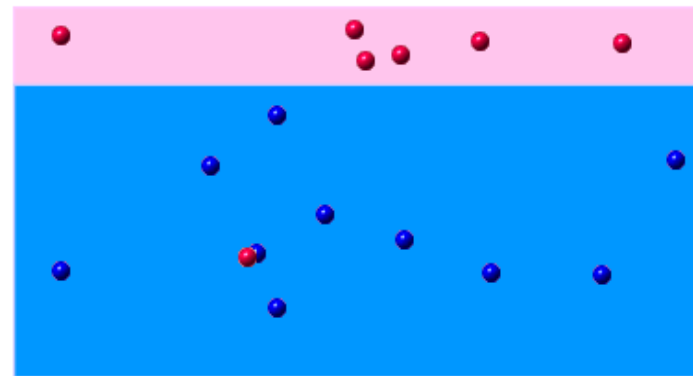
The hole recombines at the top surface.

[Click to Continue](#)



The electron recombines in the base.

[Click to Continue](#)





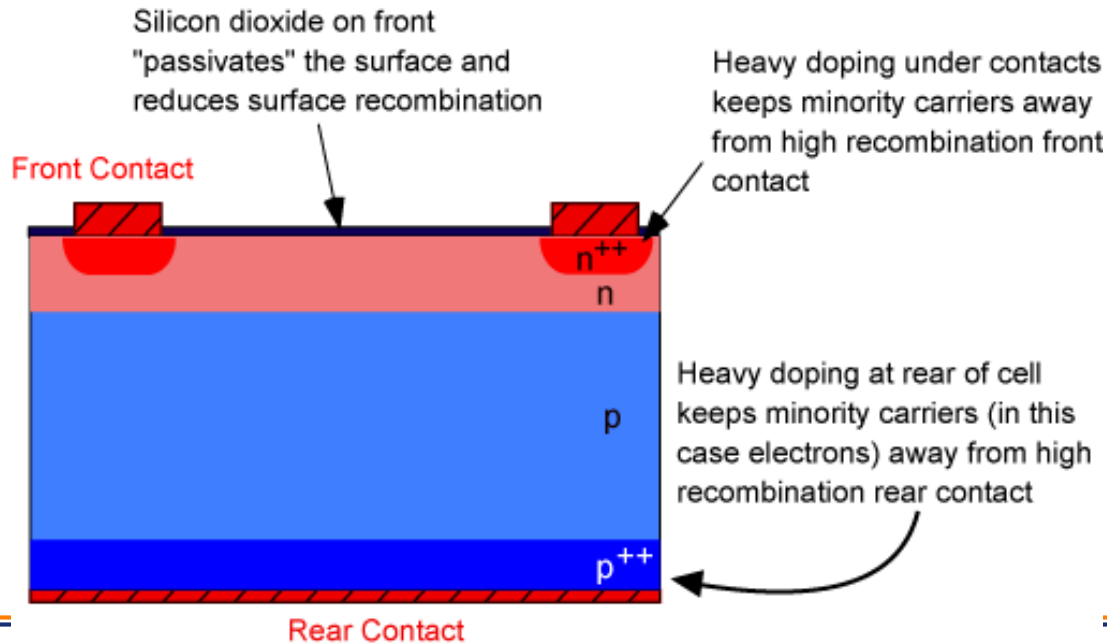
재결합 줄이기

- 재결합에 의한 전류의 손실
 - pn 접합이 광생성 캐리어들을 모두 수집하기 위해서는 표면과 벌크 재결합 최소화
 - 전류수집에 요구되는 조건
 1. 캐리어가 접합으로부터 확산길이 내에서 생성
 - ⇒ 재결합 이전에 접합 쪽으로 확산될 수 있어야 함.
 2. 국부적으로 재결합 속도가 높은 곳 (부동태화되지 않은 표면 또는 결정입계)
 - ⇒ 캐리어들이 재결합 사이트보다 접합에 더 가깝게 생성되어야 함.

재결합 줄이기

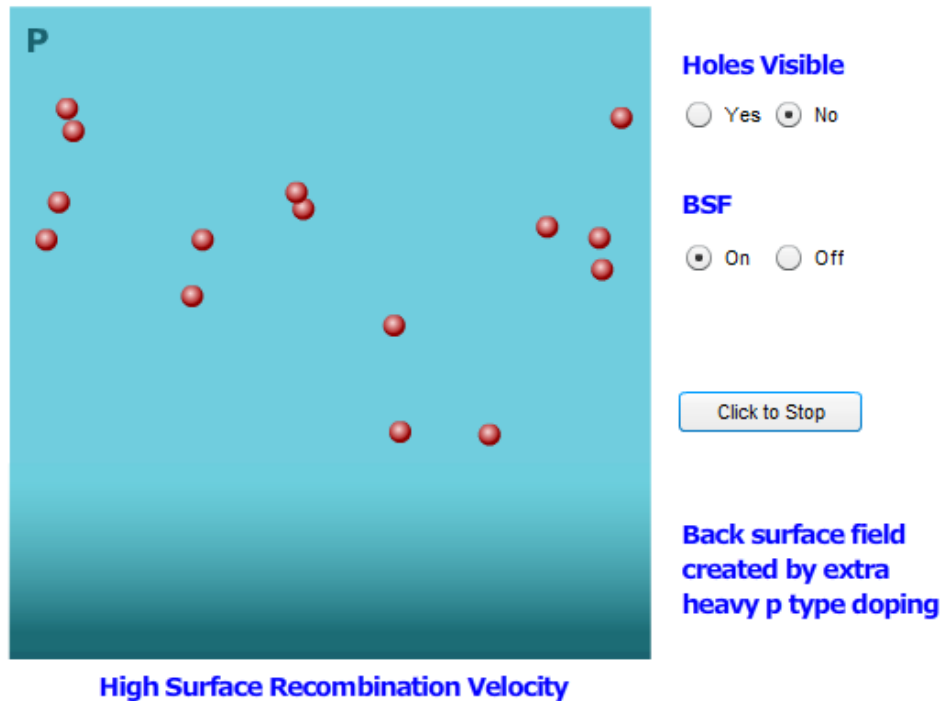
- 표면 재결합

- 상단 표면에서의 표면 재결합은 단락 전류에 큰 영향 (캐리어 생성이 가장 많이 되는 영역)
- 상단 표면의 재결합 속도를 낮추는 방법은 부동태 층 (passivation layer) 도입
- 부동태 층: 열적으로 성장시킨 SiO_2
- 금속과 오믹 접촉하는 영역은 부동태 층을 사용할 수 없음.
 - 국부적으로 도핑 농도를 증가시킴으로써 재결합 줄임.

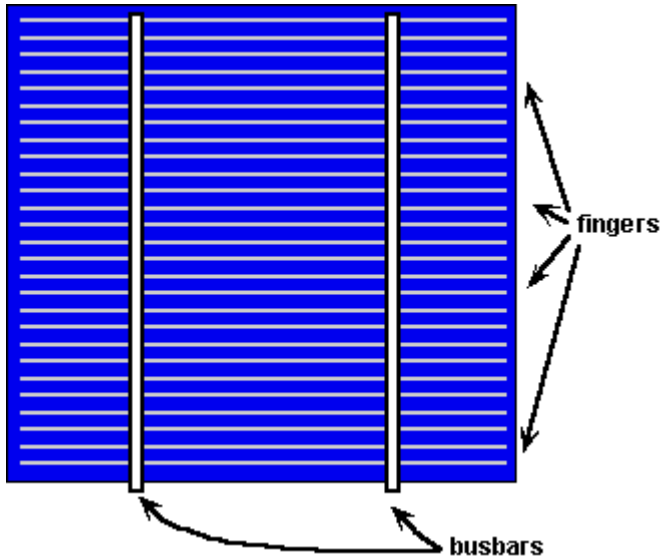


재결합 줄이기

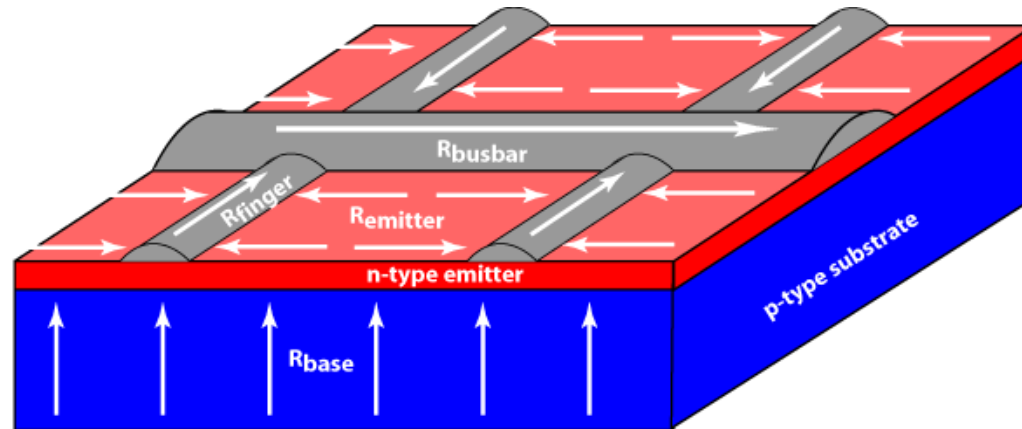
- 후면 전계 (Back Surface Field, BSF)
 - 태양전지의 후면 (p-type)에 매우 높은 농도로 도핑된 영역을 형성
 - 높은 도핑 영역과 낮은 도핑 영역간의 전계가 형성
 - 소수 캐리어 (전자)가 후면으로 흐르는 것을 방해



상단 접촉전극



- Finger: 전류를 수집하는 가는 굵기의 전극
- Busbar: Finger에서 수집된 전류를 외부 리드에 연결



- 그리드 간의 간격과 빛을 받는 면적간의 절충이 중요