

PCID를 이용한 단결정 실리콘 태양전지 효율의 최적화

임원섭, 문인용, 이준신
성균관대학교

PCID Simulation for Optimization of Single Crystalline Silicon Solar Cell

WonSub Lim, Inyong Moon, Junsin Yi
Sungkyunkwan Univ.

Abstract : 결정질 실리콘 웨이퍼의 텍스처링과 도핑은 태양전지의 효율을 결정하는 매우 중요한 요인이다. 높은 효율을 갖는 태양전지 설계를 위해 PCID를 이용하여 텍스처링 사면체의 폭 및 각도, 베이스 면저항 및 농도를 조절하였다. 최적화 결과, 텍스처 피라미드의 폭은 2~4 μm , 각도는 79°, 베이스 면저항 100 Ω/\square , 도핑 농도 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 에서 15.06%의 변환효율을 얻을 수 있다.

Key Words : Solar Cell, PCID, high efficiency, texturing, doping, optimization

1. 서론

태양전지의 변환효율을 높일 수 있는 방법 중에서 가장 대표적인 3가지는 Texturing, Doping 그리고 Passivation을 들 수 있다. Texturing은 표면을 일정한 구조로 조직화하는 것으로 이러한 과정을 통하여 태양전지의 표면적을 넓게 하고, 빛의 통과길이를 길게 할 수 있다. Doping은 불순물 농도 분포와 불순물 주입 깊이(junction depth)제어 등이 중요하게 작용한다. 본 논문에서는 PCID를 활용하여 Passivation을 제외한 Texturing과 Doping을 통하여 최적화된 변환효율을 얻어낼 수 있는 최적의 조건들을 제시하였다.

2. 실험

물질은 기존에 많이 사용하고 있는 비저항 1 $\Omega \cdot \text{cm}$, 두께 240 μm 의 Single Crystalline Si wafer를 사용하였다. 최적화된 조건을 찾기 위한 일련의 절차를 <그림 2>에 나타내었다.

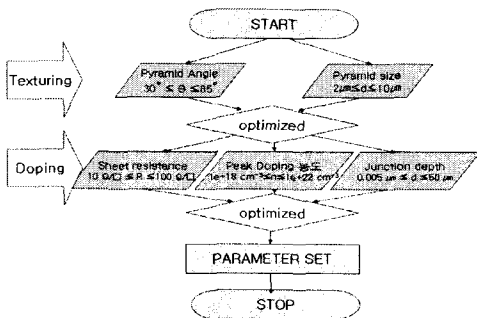


그림 1. PCID 모의실험을 통한 최적화 순서도

Texturing 부분의 최적화를 위하여 사용한 변수는 Texturing의 각도와 Texturing된 피라미드 폭(Pyramid size)이다. 그 후에 Doping부분의 면저항 (Sheet resistance), 도

핑농도, 접합깊이(Junction depth)를 최적화하였다. 한편, 다른 요인들의 영향을 최소화하기 위해서 후면의 Texturing과 P⁺⁺층을 무시한 채로 실험을 하였으며, 모의실험에 사용된 설정 값은 표 1과 같다.

표 1. 모의실험을 위해 사용된 Parameter

Parameter	Value
Area	148.58 cm ²
Exterior front reflectance	7%
Base Thickness	240 μm
Base concentration	1 $\Omega \cdot \text{cm}$, 1.513e+016cm ⁻³
Carrier lifetime	n=p=7.208 μs
Front SRV, Rear SRV	1000 cm/s, 100000 cm/s

3. 결과 및 검토

Texturing의 영역의 최적화에 관한 실험 결과이다.

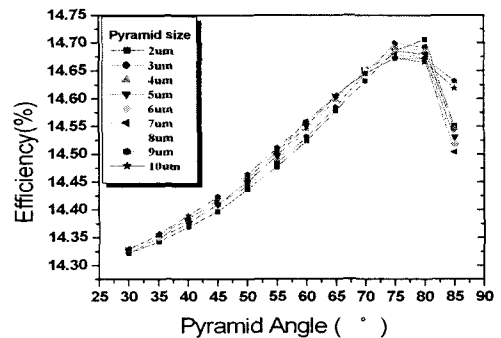


그림 2. 피라미드 폭과 각도에 따른 변환 효율

그림 2를 보면, 피라미드 폭은 2~10 μm 사이의 범위 내에서 피라미드 폭이 작을수록 더 입사광의 표면적이 넓어지기 때문에 높은 변환효율을 가져오는 것을 알 수 있다. 각도에 따른 변환효율을 살펴보면 약 80°까지 효율이 증가한다. 사면체의 각도가 클수록 빛의 반사 횟수와 빛을 받는 표면적이 증가하기 때문이다.

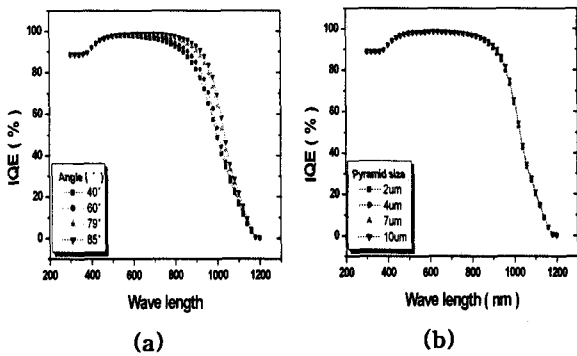


그림 3. 피라미드 폭과 각도에 따른 IQE

그림 3은 피라미드 폭과 각도에 따른 IQE 실험에 대한 결과이다. 피라미드의 각도는 그 값이 커질수록 장파장 영역에서의 IQE특성이 좋아지는 반면에 피라미드 폭은 IQE에 별다른 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

다음은 BASE영역에서의 최적화에 대한 실험 결과이다.

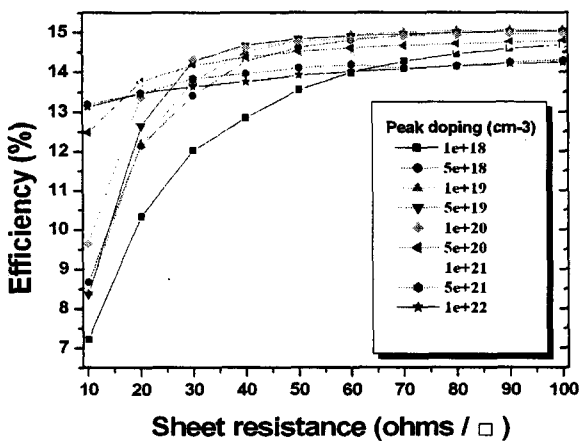


그림 4. 면저항과 Peak Doping 농도에 따른 변환효율

그림 4는 면저항과 도핑의 농도에 따른 변환효율을 나타낸 것이다. 일정한 농도 하에서 면저항의 증가는 접합 깊이가 얕아지는 것이고, 동시에 전자와 정공의 수집효율이 증가하여 변환효율 역시 증가하게 된다. Peak Doping 농도는 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 지점까지 변환효율이 증가하다가 그 이후에는 에미터층의 반송자 이동도(carrier mobility)가 떨어지면서, 내부의 재결합이 증가하기 때문에 그 값이 감소하고, 따라서 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 에서 가장 높은 변환 효율을 가져오는 것을 알 수 있다.

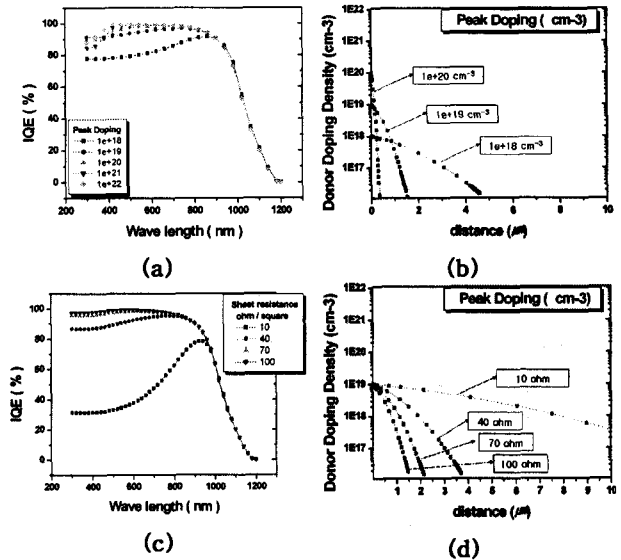


그림 5. Peak Doping과 면저항에 따른 IQE

그림 5는 Peak Doping과 면저항에 따른 IQE특성을 나타낸 것이다. 그림 5(a)와 5(c)를 보면, 먼저 도핑의 농도는 도핑농도가 낮은 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 을 제외하고는 대부분이 거의 비슷하나, 도핑 농도가 증가할수록 단파장 영역의 IQE특성이 다소 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 면저항은 그 값이 클수록 단파장 영역에서 IQE특성이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 5(b)와 5(d)에서 보듯이 도핑농도와 면저항이 증가할수록 도핑이 형성된 두께가 얇기 때문이다.

4. 결론

본 논문에서 우리는 쉽게 구할 수 있는 기존의 단결정 실리콘 태양전지로부터 최고의 변환효율을 내기 위한 최적화된 조건들을 제시하였다. 먼저 texturing부분에서는 피라미드 사면체의 각도가 79°일때, 그 폭은 비록 많은 영향을 미치지는 않지만 2~4μm범위 일때, 에미터층의 Doping 부분에서는 Peak Doping농도는 10^{19}cm^{-3} 일때, 면저항은 100 Ω/□일때, 접합깊이가 약 1.5μm일때, 15.06%로 최고조의 변환효율을 가져오는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 결과물은 산업자원부의 출연금으로 수행한 특성화 대학원사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] A. Goetzberger et al., Crystalline Silicon Solar Cells, p 94, 1994.
- [2] H. J. Hovel, Semiconductor and Semimetal Vol. 11, p51, 1975.
- [3] 이준신 김경해 공저, 태양전지 공학 p53~56, p378~392, 2007