

후면전극형 태양전지의 고효율화를 위한 최적화 연구

안병섭¹, 강이구^{1,a}

¹ 극동대학교 태양광공학과

Optimization for High Efficiency of Point Contact Solar Cell

Byoung Sub Ahn¹ and Ey Goo Kang^{1,a}

¹ Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

(Received April 4, 2011; Revised April 12, 2011; Accepted April 17, 2011)

Abstract: This paper was carried about optimization for high efficiency of point contact solar cell. We have studied on the characteristics of power converter according to each parameter for the optimization for high efficiency of point contact solar cell on this study. We have 25.1352% of convert efficiency after adapt optimal parameters as mentioned in point body and superior conclusion is drawn by comparison with general efficiency has within 20%. At this time, the value of parameter is 100 um cell pitch, 0.01 um AR coating, 0.9 um N+ FSF thickness., etc. This study will continue to go on for optimization for efficiency in future, as it looks now, the results of this study would contribute to the business of high efficiency of point contact solar cell.

Keywords: Point contact, High efficiency, Passivation, Solar cell

1. 서론

실리콘 태양전지의 역사는 1950년대까지 거슬러 올라가지만 1970년대 중반의 Violet 전지나 Black 전지 이후 약 10년간 효율의 큰 변화가 없었다. 1980년대에는 마이크로 엘렉트로닉스에서 사용하기 시작한 실리콘 산화막을 이용한 실리콘 표면 passivation 기술과 전극의 passivation 기술을 적용하면서 고효율 태양전지 시대가 도래하였다. 이 기술을 이용한 대표적인 전지로는 MINP (metal-insulator-NP junction) 전지와 PESC (passivated emitter solar cell)이 있으며 PESC는 20%의 벽을 넘은 최초의 전지이다.

Sunpower에서 개발한 후면전극 (point contact) 태양전지는 그림 9와 같이 shading loss로 작용하는 전면전극이 존재하지 않고 음극과 양극의 전극을 모두

뒷면에 형성시킨 구조가 특징이다. 전극이 한쪽에만 존재하기 때문에 기판의 품질이 좋아야 하고 전면과 후면의 표면 passivation이 아주 중요하다. 지금까지 가격이 높아서 집광형 태양전지나 일부 고효율이 요구되는 특수한 용도에 사용 되었으나 최근 후면전극을 값비싼 사진식각공정 대신 스크린 프린팅 공정을 이용하여 형성함으로써 지상용을 대량생산할 수 있는 발판을 마련하였다. 최근 FZ과 CZ 기판을 이용하여 각각 20.4, 19.5%의 효율을 보고하였다.

본 논문에서는 태양전지의 변환효율에 영향을 미치는 parameter (FSF영역, P+emitter영역, N+BSF영역, base영역의 도핑농도·두께, ARC두께, texture구조 각도 및 크기, contact hole크기 및 위치, 두께, cell pitch 등)의 최적값을 찾기 위해서 다른 parameter를 고정시킨 상태에서 각 parameter값을 변화시켜 최고의 변환효율을 확보하고자 하였다. 최적화를 위해 사용된 프로그램은 Silvaco 공정시뮬레이터 Athena (ver.5.16.3.R)와 소자 시뮬레이터

Atlas (ver.5.14.0.R)를 사용하였다. 후면전극 태양전지의 소자 시뮬레이션 모델링에는 SRH (shockley-read-hall) recombination model, BGN (band gap narrowing), CONSRH (dependence of the lifetimes with doping level), Auger (auger recombination)이 사용 되었으며, AM 1.5 G solar spectrum을 사용하였다.

2. 실험 방법

본 논문에서 사용한 후면 전극형 태양전지의 구조는 그림 1과 같이 나타내고 있으며, 본 구조를 이용하여 최적화를 이루기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 최적화를 이루기 위해 태양전지의 변환효율에 영향을 미치는 변수의 최적값을 갖기 위해서 다른 변수를 고정시킨 상태에서 각 변수의 값을 변화시켜 최고의 변환효율을 확보하고자 하였다.

일반적으로 소자 두께가 두꺼울수록 표면에서 생성된 홀과 전자가 이동해야 하는 거리가 길어지므로 효율이 떨어지는 경향을 보이게 된다. 이번 논문에서는 공정을 고려했을 때 (두께 200 um, 4 inch wafer 사용가능)소자의 두께는 200 um로 고정시켜 두었다.

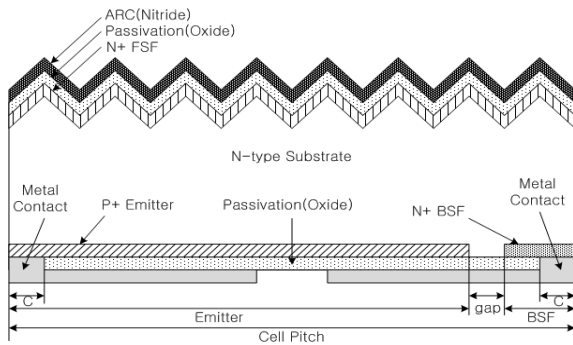


Fig. 1. The structure of point contact solar cell for simulation.

표 1에서는 시뮬레이션에 사용된 소자의 파라미터를 보이고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Cell pitch에 따른 변환효율 특성

Table 1. Device parameter for simulation.

Parameter	Value	Parameter	Value
Cell Pitch(um)	100	N+ BSF width(um)	10
Substrate Thickness(um)	200um	N+ BSF Thickness(um)	0.8
Substrate Concentration (/cm ³)	1E16	Peak doping in emitter(/cm ³)	5E20
AR coating (SiO2,um)	0.05	N+ Front Surface Field Thickness(um)	0.4
AR coating (Si3NH4,um)	0.07	Peak Doping in N+ Front Surface Field(/cm ³)	2E19
Contact opening(um)	10	Surface Recombination Velocity(cm/sec)	100
P+ Emitter width(um)	85	Life Time	100us
P+ Emitter thickness	0.9	Incident light beam(°)	90
Peak doping in emitter(/cm ³)	1E20	Gap between N+ and P+(um)	5

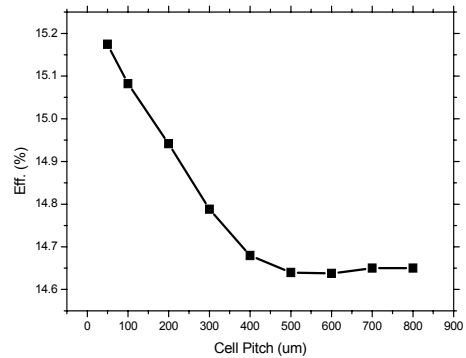


Fig. 2. Power transfer efficiency according to cell pitch.

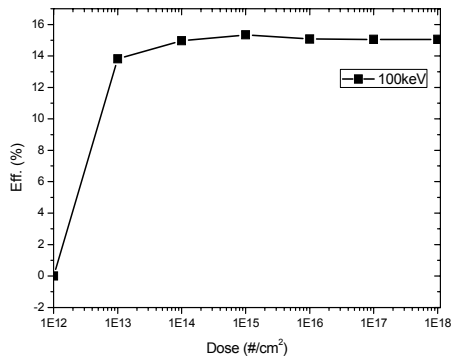


Fig. 3. Power transfer efficiency according to base region doping concentration.

Cell pitch는 후면전극 태양전지의 unit cell의 너비이다. 그림 2에서는 cell pitch에 따른 변환효율을 보여주고 있다. 일반적으로 cell pitch가 커지면 전자가 이동해야 하는 거리가 길어지게 되므로 변환효율이 낮아진다고 알려져 있다. 모의실험을 통해 cell pitch를 100 um부터 1,600 um 까지 변화 시켜가며 변환효율의 변동을 확인하였다. 1,000 um 이후로는 14.6% 정도에서 더 이상 낮아지지 않는 양상을 보였다. 이는 N+collector와 일정거리 이상 떨어져 있는 전자는 전극으로 빠져나가지 못하고 홀과 재결합되어 전력생산에 기여하지 못한 것으로 보인다.

3.2 베이스 영역 도핑농도에 따른 변환효율 특성

그림 3은 베이스 영역의 도핑농도에 따른 전력변환 효율 특성을 보이고 있다. 후면전극형 태양전지에 있어서 베이스 영역의 도핑농도가 너무 높으면 캐리어의 확산길이가 줄어들어 전력생산에 기여하는 전자-홀의 수가 줄어들고, 도핑농도가 너무 낮을 경우에는 series resistance가 증가하게 된다. 이러한 트레이드-오프관계 하에 최적점을 찾기 위해서 베이스도핑농도를 변화시켜가며 효율을 관찰하였다. 기관농도는 $1E14/cm^3$ 일 때 16.3%의 최대 효율을 보였으며 그 이후로 서서히 감소하기 시작하는데 이는 너무 높은 기관 농도를 가질 경우 기관의 재결합률이 증가하게 되고 이는 광전류를 줄이는 역할을 하게 된다.

3.3 P+ 에미터 임플란트 도우즈량에 따른 전력변환 효율

그림 4는 P+ 에미터 임플란트 도우즈량에 따른 전력변환효율을 보여주고 있다. P+emitter의 implant에너지 100 keV는 고정시킨 상태에서 도핑 도우즈량을 $1E12 \sim 1E18/cm^2$ 까지 변화시켜 가며 효율의 변화를 관찰하였다. 도우즈량이 $1E12/cm^2$ 일 때는 도우즈량이 너무 적어 P-N정선이 형성되지 않아 태양전지로서 작동되지 않았으며, 도우즈량이 $1E15/cm^2$ 가 될 때까지 효율이 증가하고, 그 이상의 경우에는 괄목할 만한 효율변화는 나타나지 않았다. 도핑농도가 낮을 경우에 P-N접합의 자생전위 (built in potential)가 낮아 N+로 이동되어야 하는 전자가 P+emitter 표면에서 재결합되기 때문에 동작특성이 나빠진 것으로 판단된다. 또한 표면농도는 이전 실험에서 최대 효율을 보인 값 ($5E19/cm^3$)으로 유지시킨 상태에서 확산시간을 변화시켜서 실험해본 결과 확

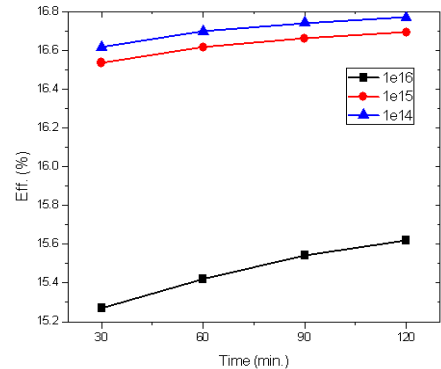


Fig. 4. Power transfer efficiency according to P+ emitter dose concentration.

3.4 N+ BSF Implant 도우즈량에 따른 전력변환 효율

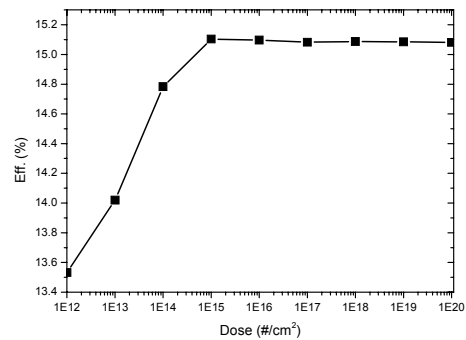


Fig. 5. Power transfer efficiency according to N+ BSF dose concentration.

산 시간이 길어질수록 효율의 증가를 보이나, 일정수준 이상부터는 효율의 증가량이 포화됨을 확인할 수 있었다. 베이스 영역의 도핑농도는 $1E14/cm^3$ 일 때 가장 높은 효율을 보였다.

그림 5는 N+ BSF 도우즈량에 따른 전력변환효율을 보여주고 있는데, P+emitter와 마찬가지로 도핑 도우즈량을 $1E12 \sim 1E18/cm^2$ 까지 변화시켜가며 효율의 변화를 관찰하였다. 도우즈량이 증가할수록 효율이 증가하다가 $1E15/cm^2$ 일 때 가장 높은 효율을 보였으며 그 이상의 경우 조금씩 효율이 감소하는 양상을 보였다.

3.5 에미터-BSF의 비율에 따른 전력변환 효율

Emitter-BSF간의 간격을 5 um로 고정시킨 상태에서 emitter의 너비를 20 um에서 85 um까지 변화시켜가며 효율의 변화를 관찰하였다.

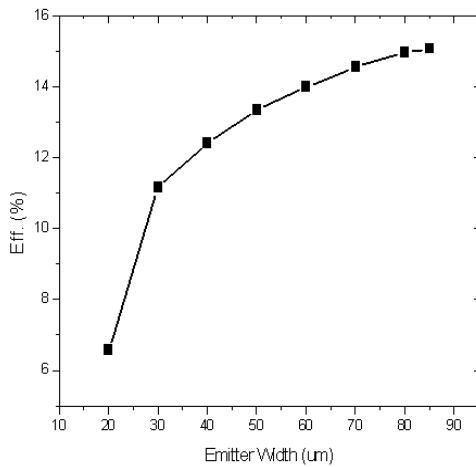


Fig. 6. Power transfer efficiency according to emitter-BSF ratio.

그림 6에서 확인할 수 있듯이 emitter의 너비가 넓어질수록 효율은 증가하는 양상을 보였다. 기판이 N도핑 되어있기 때문에 전자는 비교적 손실이 적게 N+ 전극으로 이동하는 반면, 홀은 P+전극에 도달할 때까지 기판의 전자와 재결합된다. 그러므로, P+의 이동경로를 최대한 짧게 해주기 위해서 P+BSF의 너비를 넓게 해주는 것이 더 높은 효율을 얻는데 효과적이라 할 수 있다.

3.6 텍스처 피라미드에 따른 전력 변환 효율

텍스처 (texture)는 태양전지로 입사되는 빛의 반사율을 줄임으로써 태양입사량을 증가시키는 역할을 하는 구조로 일반적으로 역피라미드형 구조를 사용한다. 이번 연구에서는 그림 6과 같이 텍스처 피라미드의 각도(θ)와 밑변너비(W)를 변화 시켜가며 효율의 변화를 관찰하였다.

그래프에서 볼 수 있듯이 각도가 60도일 때, 밑변의 길이는 2 um일 때 가장 높은 효율인 21.5%를 보이고 있다. texture 피라미드를 형성 시키는 방법 중에는 입의 형태로 형성 가능한 RIE (reactive ion etching), 실리콘 결정방향에 따른 etching속도차이를 이용한 wet etching 등이 있다. 이 중에서 일반적으로 등방성 wet etching을 이용하면 값싸고 간단하게 54.7도의 각도의 피라미드를 형성해 낸다는 점에서 널리 쓰이고 있다. 따라서 54.7도와 가장 가까운 55도의 실험결과를 통해 역피라미드 너비는 2 um로 결정하였다.

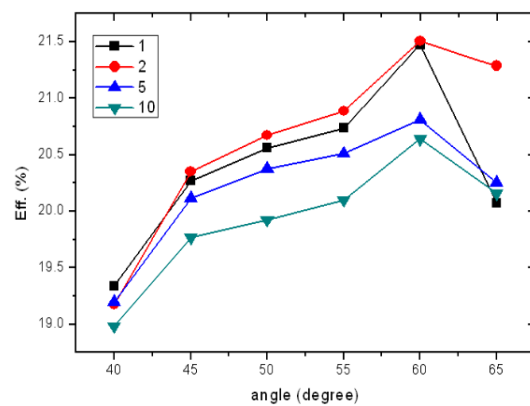
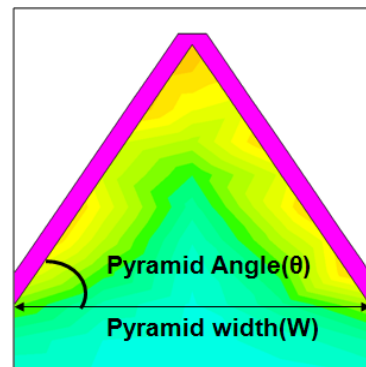


Fig. 7. Power transfer efficiency according to angle of pyramid.

3.7 FSF (front surface field)에 따른 전력 변환 효율

FSF (front surface field)는 기판의 표면 재결합속도 (front-surface recombination velocity)를 줄여주는 역할을 한다. 또한, FSF영역은 기판과 표면을 분리해 줌으로써 degradation을 줄여주고 보다 안정적인 동작을 보장해준다. 앞에서 적용한 diffusion공정 시뮬레이션을 통하여 표면농도, diffusion시간을 변화 시켜가며 효율의 변화를 관찰하였다.

그림 8에서 볼 수 있듯이 FSF의 표면농도가 5E18 일 때 가장 높은 효율을 보였으며, diffusion시간을 늘일수록 효율이 감소하는 것으로 보아 FSF의 두께는 두꺼워질수록 효율이 낮아짐을 알 수 있다. 그 이유는 셀 표면에 가까울수록 더 많은 전자-홀이 생성되는데 high doping되어있는 FSF영역에서는 홀이 생성되어도 바로 재결합되기 때문이다. 따라서 FSF영역의 두께는 가능한 한 얇게 만들어 주는 것이 좋다. 효율은 최적으로 설계했을 때 22%의 효율을 보이고 있다.

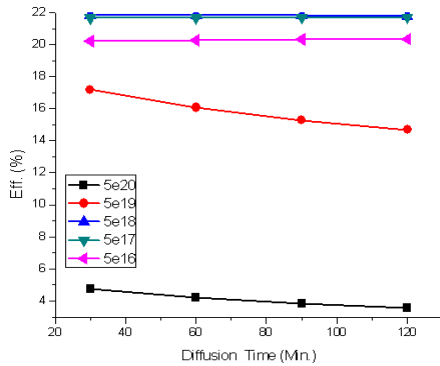


Fig. 8. Power transfer efficiency according to diffusion time of surface concentration.

3.8 ARC에 따른 전력 변환 효율

ARC는 태양전지의 표면에 투명하면서도 실리콘의 굴절률보다 낮은 굴절률을 가진 물질을 박막코팅 함으로써 빛의 반사율을 줄여 더 많은 양의 빛이 태양 전지 속으로 입사될 수 있도록 하는 역할을 한다. 단일 ARC를 사용할 경우 굴절률이 1.95, 81 nm의 두께를 가지는 물질을 코팅할 때 최적의 효율을 얻을 수 있다는 연구결과가 있었다. 아직까지는 정확히 1.95의 굴절률을 갖는 물질을 찾지 못했으며 더 나은 ARC물질을 찾기 위해 연구 중에 있다. 현재는 SiNx:H ARC가 활발히 연구되고 있는데, 굴절률면에서 탁월한 성능을 보이면서도 기존의 나이트라이드 ARC의 한계였던 passivation 특성이 향상되었기 때문이다. 이번 연구에서는 SiO₂ passivation 위에 Si₃N₄ ARC를 증착함으로써 표면 재결합 속도의 감소와 동시에 반사율 저감을 목표로 SiO₂와 Si₃N₄의 두께를 10 nm단위로 0 ~ 70 nm까지 변화시켜가며 효율향상여부를 관찰하였다.

실험결과 SiO₂와 Si₃N₄모두 사용했을 때 (이중 ARC)어느 경우든지 두께가 짝수록 효율은 떨어졌다. 그 이유로는 SiO₂의 굴절률은 1.46이고 Si₃N₄의 굴절률이 2.05인데 passivation의 의도로 사용했던 SiO₂가 Si₃N₄의 반사방지역할을 저해했기 때문이다.

그림 10에서 보이는 바와 같이 단일 ARC로 사용했을 경우에는 SiO₂와 Si₃N₄ 모두 60 nm이하의 경우에 한하여 ARC를 사용하지 않았을 때 비해서 효율이 증가하는 모습을 보였다. 또한 단일 ARC의 최대효율

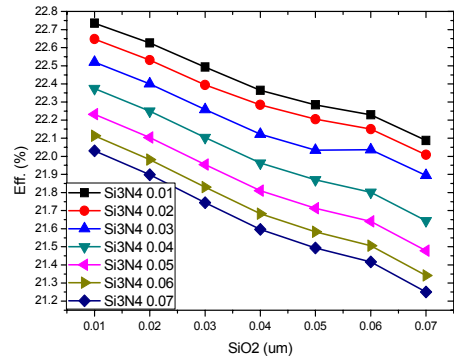


Fig. 9. Power transfer efficiency according to thickness of SiO₂.

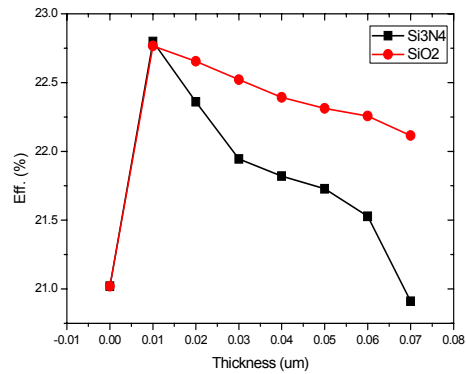


Fig. 10. Power transfer efficiency according to thickness of SiO₂ and Si₃N₄.

(SiO₂: 22.7984%, Si₃N₄: 22.7667)은 이중 ARC의 최대효율 (22.7353%)보다 높았다. 그러나 Si₃N₄를 단일 ARC로 사용할 경우 표면 재결합 속도가 증가하기 때문에 적절하지 않다. 그러므로 최적화 소자에는 SiO₂ 10 nm의 두께로 열 산화를 이용하여 passivation 및 ARC적층을 사용하는 것이 우수한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 후면전극형 태양전지의 고효율화를 위한 소자의 최적설계를 위하여 각 파라미터에 따른 전력변환 효율 특성을 검토하였다. 본론에서 언급된 최적의 파라미터를 적용한 결과 25.1352%의 변환효율

을 얻었으며, 일반적으로 20% 이내의 효율을 갖는 것에 비해 우수한 결과를 도출하였다. 이때 얻은 파라미터의 값은 100 μm 의 셀 피치, AR 코팅은 0.01 μm , N+ FSF의 두께는 0.9 μm 등의 값을 얻었다. 미래에는 지속적으로 효율의 극대화를 위해 연구가 진행될 것이며, 이에 비추어볼 때 본 논문의 결과는 고효율 후면진극형 태양전지 산업에 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단의 2010년도 지역혁신인력 양성사업의 지원에 의해 수행되었음.

REFERENCES

- [1] P. J. Verlinden, R. M. Swanson, and R. A. Crane, *Progress in Photovoltaic and Applications*, **2**, 143 (1994).
- [2] P. J. Verlinden, R. M. Swanson, and R. A. Crane, *Proc. 12th EC Photovoltaic Solar Energy Conference* (Amsterdam, Netherlands, 1994) p. 1477.
- [3] P. J. Verlinden, R. M. Swanson, T. Iwata, K. Handa, H. Ogasa, and D. L. King, *Proc. 12th EC Photovoltaic Solar Energy Conference* (Amsterdam, Netherlands 1994) p. 1304.
- [4] J. Zhao, A. Wang, D. M. Roche, S. R. Wenham, and M. A. Green, *Technical Digest 9th International Photovoltaic Science and Engineering Conference* (Miyazaki, Japan, 1996) p. 65.
- [5] R. R. King, R. A. Sinton, and R. M. Swanson, *Contractor Report to Sandia National Lab.*, **91** (Albuquerque, New Mexico, 1991).