

# 면저항에 따른 셀 효율에 관한 연구

현일섭, 오테레사  
 청주대학교 전자정보공학부 반도체설계공학과

## Study on the Cell Efficiency depending on the Sheet Resistance

Il Sup Hyun, Teresa Oh

<sup>1</sup>Division of Semiconductor, School of Electronic Information, Cheongju University

### 요 약

실리콘 태양전지의 pn 접합 계면특성을 조사하기 위해서 p형 실리콘 기판 위에 전기료를 이용한 POCl<sub>3</sub> 공정을 통하여 n형의 불순물을 주입하여 pn접합을 만들었다. n형 불순물의 확산되어 들어가는 공정시간이 길고 공정온도가 높을수록 면저항은 줄어들었다. n형 불순물의 주입이 많아질수록 pn 접합 계면에서의 전자친화도가 줄어들면서 면저항은 감소되었다고 할 수 있다. n형 반도체의 페르미레벨이 높아지면서 공핍층도 생기지만 n형 불순물이 많아지면서 공핍층의 폭은 점점 좁아지고 쇼키 장벽의 높이도 낮아지면서 자유전자와 홀 쌍의 이동이 쉽게 이루어지게 되었다. n형의 불순물 확산공정시간이 긴 태양전지 셀에서 F.F. 계수가 높게 나타났으며, 효율도 높게 나타났다.

### 1. 서론

최근 지구환경문제와 화석에너지 고갈, 원자력발전의 폐기물 처리 및 신규발전소 건설에 따른 위치선정 등의 문제로 인하여 신·재생에너지에 대한 관심이 많아지면서 고조되고 있으며, 그 중에서도 무공해·무진장의 에너지원인 태양광발전에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다 [1-4]. 태양전지에는 크게 실리콘 태양전지, 박막형 태양전지, 염료형 태양전지, 화합물 박막전지, 유기물 박막전지가 있으며, 현재 결정질 실리콘 태양전지의 사용이 가장 많이 이용되고 있다. 박막 태양전지의 경우에는 Si 박막이나 화합물 반도체박막 등의 증착이 추가로 필요하게 된다. 태양전지로 동작하기 위한 빛과 물질과의 상호작용에는, “흡수”, “반사”, “굴절”, “편광”, “산란” 등, 여러 가지 현상을 볼 수 있지만, 이것들을 일으키는 여러 가지 과정은 물질 내에 존재하는 캐리어와 전자파와의 에너지 상호작용이라 생각할 수 있다. 태양전지와 에너지상호작용이 일어나서 전기에너지로 활용되는 태양복사에너지는 가시광선과 적외선 영역이며, 반도체에 빛이 쬐여지면 여기되어 이동하는 자유전자나 정공이 생기면서 광전효과가 발생한다. 전자와 정공이 분리되면서 하전캐리어의 분극이 일어나기 때문에, 반도체의 양측에는 전위차가 생기고, 이 현상을 광기전력효과(photo-voltaic effect)라 부른다. 태양전지에 사용되는 반도체 박막은 열적 성장이나 물리적 증착, 혹은 화학반응에 의해 증착되는 금속, 반도체, 절연체의

박막으로써, 가장 기본이 되는 것은 pn 접합으로 형성된 서로 다른 특성의 반도체 층인데, 태양전지 발생의 근원이면서 재결합과 열에너지에 의한 손실이 발생하는 부분으로 태양전지의 효율을 감소시키는 원인이 되는 부분이기도 하다. 태양전지에 필요한 4가지 동작으로 광학적 정합, 캐리어생성, 생성캐리어 분극, 캐리어수집이 있는데, 이 과정에서 반사손실, 재결합 손실, 열 발생에 의한 소실이 발생하기 마련인데 이러한 실리콘의 손실성분에 의해서 효율이 56% 정도 떨어지게 된다[11-12]. 그래서 실리콘 태양전지와 관련되어 이루어지는 연구의 대부분은 효율을 향상시키기 위해서 손실성분을 줄이는 기술과 새로운 물질 개발로 이루어져 있다. 반사손실을 줄이기 위한 방법으로는 여러 가지방법이 있는데 일반적으로 KOH, NaOH, HNO<sub>3</sub>의 산화물과 IPA의 혼합물을 이용한 에칭 용액 내에서 표면을 식각하는 방법을 사용한다 [13]. 손실성분에 대한 조사는 각 공정에서 일어나는 박막의 계면특성에 대한 조사로부터 이루어지며, pn접합에서 일어나는 접합면의 동작원리를 이해하는 것은 손실을 줄이는 중요한 과정이라 할 수 있다.

본 실험에서는 pn접합공정과 셀 효율의 상관관계를 조사하기 위해서 여러 가지 조건에서의 pn접합공정을 실시하여 면저항을 측정하고 태양전지 셀을 만들어 효율을 측정하였다. 반도체 계면에서의 특성 변화를 살펴보고, 여러 가지 조건에서 효율에 미치는 영향을 조사하였다.

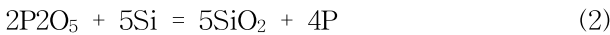
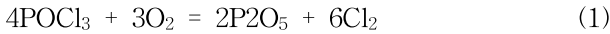
## 2. 이론 및 실험방법

태양전지의 곡선 인자 (Fill Factor)는 개방전압과 단락전류의 곱에 대한 출력의 비로 정의되며, 전류-전압 곡선에서 채울 수 있는 최대 직사각형의 면적에 해당한다. 곡선인자는 최적 동작전류  $I_{max}$ 와 동작전압  $V_{max}$ 에 가까운 정도를 나타내며, 단락전류와 개방전압과 더불어 전지의 효율에 직접적인 영향을 미치는 중요한 파라미터이다. FF인자의 관계식은 다음과 같다.

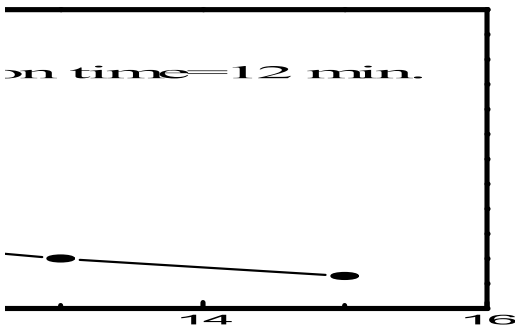
$$FF = \frac{I_{max} \times V_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1)$$

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 열처리시간에 따른 면저항을 850°C와 830°C에서 실시한 결과를 보여준다. p형의 실리콘 기판위에 n형의 불순물을 주입하기 위한 POCl<sub>3</sub> 기체의 증착공정은 12분 동안 이루어졌으며, n형의 불순물이 p형 실리콘 안으로 주입되어 들어가는 시간은 각각 다르게 하였다.



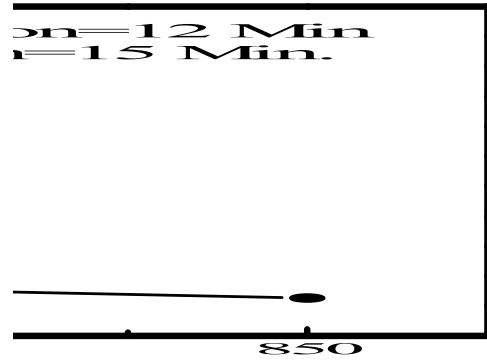
POCl<sub>3</sub>용액의 운반은 N<sub>2</sub>를 이용하고 소량의 O<sub>2</sub>를 주입하여 Si표면에 산화막을 형성한 다음, 산화막 내에 분포하는 불순물을 열처리 공정을 이용하여 확산시켰다.



[Fig. 1] Sheet resistance at pn junction in accordance with the increasing of the diffusion times.

POCl<sub>3</sub>용액중의 P원자가 확산해 들어가는 과정은 식 (1)과 (2)에서 보여준다. POCl<sub>3</sub>용액이 산소와 결합하고 Cl 원자가 떨어져 나간다. 2P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 결합은 다시 실리콘기판과 반응하여 산화막과 P를 생성하고 생성된 P는 열처리 공정에 의해서 반도체 기판안으로 확산해

들어가게 되면 pn 접합이 완성된다.

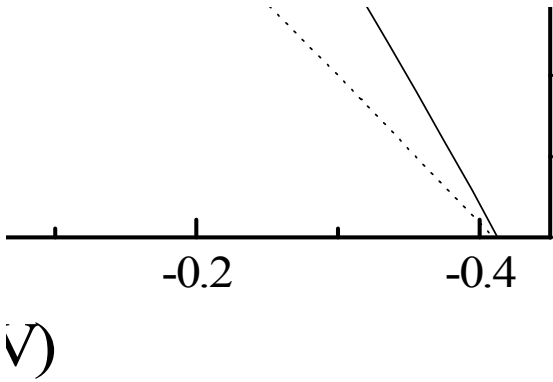


[Fig. 2] Sheet resistance at pn junction in accordance with the increasing of the annealing temperatures.

그림 1을 분석해 보면, 확산 공정시간(drive in time)이 길수록 면저항은 줄어들었으며, 확산공정 온도가 높을수록 면저항은 줄어들고 있다. 확산 공정 온도가 높고 확산공정시간이 길수록 p형 실리콘 기판 안으로 확산되어 주입되는 n형 불순물이 많아지기 때문에 접합의 깊이가 깊어지고 넓어지기 때문이라고 볼 수 있으며, n형 반도체의 페르미 준위가 점점 높아진다고 볼 수 있다. 페르미준위가 높다는 의미는 n형의 반도체의 에너지 갭이 점점 낮아진다는 것이며, 즉 면저항은 줄어든다고 볼 수 있다.

그림 2은 n형 불순물 증착 후, 15분 동안 이루어진 확산 공정 동안, 확산공정온도에 따른 면저항을 나타낸다. 확산공정 온도가 높을수록 면저항은 줄어들고 있는데 높은 온도에서 n형 불순물이 p형 반도체 안으로 넓고 깊게 확산되어가고 있기 때문이다. 주입된 n형 불순물은 이온화된 전자들과 일부 자유전자로 동작하면서 pn 접합 계면에서 공핍층도 구성하게 되며, 이로써 태양전지의 기본 동작을 구성하는 성분이 완성되게 된다. pn 접합만을 이용한 태양전지셀은 효율이 매우 낮기 때문에 표면 Texturing 방법을 사용하여 태양전지셀을 만들고 효율을 측정하였다. Texturing은 일반적으로 사용되어지는 KOH 에칭 용액을 만들어서 30분간 표면을 에칭하고 앞면과 뒷면에 전극을 입혀 솔라시뮬레이터로 효율을 측정하였다.

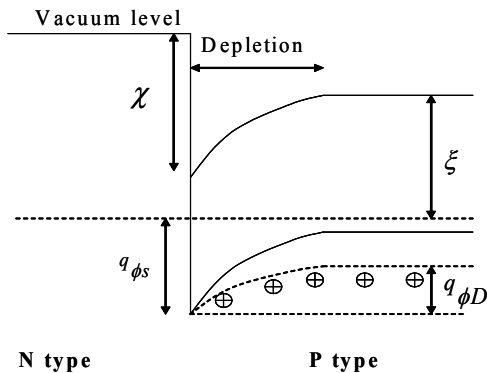
그림 3은 850 °C에서 제작된 샘플의 확산공정시간에 따른 I-V 특성결과를 보여준다.



[Fig. 3] Current characteristic with increasing the voltage at solar cell with various drive in times.

확산공정시간(drive in time)이 5분인 셀에서는 26.65 %의 Fill factor(F.F.)와 16.461 mA/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도를 얻었지만 확산공정시간이 7분인 셀에서는 33.5 %의 F.F와 20.725 mA/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도를 나타내었다. 확산공정시간이 긴 셀에서는 n형 불순물의 확산이 더 많이 이루어져서 면저항이 낮아짐에 따라 pn 접합 계면에서의 전자와 홀쌍 (EHP:electron hall pair)이 많이 만들어졌다고 볼 수 있다. 이것은 전류밀도의 증가와 F.F.계수의 증가로 이어졌다고 볼 수 있다.

그림 4는 pn 접합의 계면형성과정에 따른 접합면의 특성에 대하여 설명하고 있다.  $\chi$ 는 전자친화도,  $\xi$ 는 페르미레벨과 전도대 사이의 차,  $q_{\phi_s}$ 는 쇼키장벽의 높이,  $q_{\phi_D}$ 는 접촉전위차에 해당한다. 전자친화도는 확산공정시간이 길면 짧아지고 공핍층의 폭 또한 좁아진다. 따라서 쇼키장벽의 높이 역시 낮아지게 되면, 계면을 통하여 전자정공쌍이 많이 만들어지면서 장벽을 쉽게 넘어 자유전자를 많이 만들게 된다. 반대로 전자친화도가 크다는 것은 확산공정시간이 짧다는 것이고 공핍층의 폭이 크다는 의미이다.



[Fig. 4] Operation mechanism at the interface of pn junction.

그러면 쇼키 장벽의 높이가 높아지고 전자정공쌍이 넘어가기 힘들다는 것을 의미한다. 이것을 해결하기 위해서는 접촉전위  $q_{\phi_D}$ 를 활용하면 개선될 수도 있다. 접촉전위  $q_{\phi_D}$ 의 문제는 앞면과 후면에서 이루어지는 전극이 반도체계면과의 접촉특성에 따른 문제에 해당한다. 이상의 결과로부터 얻을 수 있는 결론은 확산공정시간이 길수록 면저항이 낮아지면서 EHP 쌍이 많이 만들어지고 쇼키장벽이 낮아져서 효율이 높아진다는 것을 확인하였다.

#### 4. 결 론

실리콘 태양전지의 pn 접합 특성을 연구하기 위해서 POCl<sub>3</sub>와 산소를 혼합한 가스를 사용하여 퍼니스를 이용하여 확산공정을 실시하였다. p형의 실리콘 기판위에 n형의 불순물을 주입하는 열처리 온도가 높고 확산공정시간이 길수록 면저항은 낮아졌으며, 확산공정시간이 길수록 태양전지 셀의 효율은 증가하였다. n형의 불순물이 많을수록 p형 실리콘 기판과의 접합면에서 전자친화도가 줄어들면서 쇼키장벽의 높이가 낮아지고 EHP쌍이 많이 생김에 따라서 효율이 증가되었다. 태양전지의 셀 효율을 개선시키기 위해서는 접촉전위와 재결합에 의한 손실성분에 대한 연구가 더 필요할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] Michael Y. Levy and Christiana Hongserg : IEEE, transactions on Electron Devices, 55(3), 706-711 (2008).
- [2] 안민형, 조의식, 권상직 : 한국진공학회지, 18(6), 440-446 (2009).
- [3] Li Ding Yu, Sun Lei, Zhang Sheng Dong, Wang Yi, Liu Xiao Yan and Han Ru Qi : Chin. Phys. Soc. 16, 240-245 (2007).