

## 습식텍스처를 이용한 다결정 실리콘 광학적·전기적 특성 연구

한 규민\*\*\*\*, 유 진수\*\*, 유 권종\*\*, 이 희덕\*\*\*\*, 최 성진\*\*\*\*, 권 준영\*\*\*, 김 기호\*\*\*, 이 준신\*

\*성균관대학교 정보통신공학부, \*\*한국에너지기술연구원, \*\*\*충북대학교 대학원 전기공학과, \*\*\*\*충남대학교 전자·전파·정보통신공학부

### A Study on the Optical and Electrical Characteristics of Multi-Silicon Using Wet Texture

Kyumin Han\*\*\*\*, Jinsu Yoo\*\*, Kwonjong Yoo\*\*, Hideok Lee\*\*\*\*, Sungjin Choi\*\*\*\*, Junyoung Kwon\*\*\*, Kiho Kim\*\*\*, Junsin Yi\*

\* School of information and Communication Engineering, Sungkyunkwan university.

\*\* Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research.

\*\*\* Department of Electrical Engineering, Chungbuk national university.

\*\*\*\* Department of Electronics Engineering, Chungnam national university.

#### Abstract

Multi-crystalline silicon surface etching without grain-boundary delineation is a challenging task for the fabrication of high efficiency solar cell. The use of sodium hydroxide - sodium hypochlorite (NaOH40% + NaOCl 12%) solution for texturing multi-crystalline silicon wafer surface in solar cell fabrication line is reported in this article. in light current-voltage results, the cells etched in NaOH 40% + NaOCl 12% = 1 : 2 exhibited higher short circuit current and open circuit voltage than those of the cells etched in NaOH 40% + NaOCl 12% = 1 : 1 solution. we have obtained 15.19% conversion efficiency in large area(156cm<sup>2</sup>) multi-Si solar cells etched in NaOH 40% + NaOCl 12% = 1 : 1 solution.

Keywords : 다결정 실리콘 (Multi-crystalline silicon), 텍스처 (Texturing), 태양전지 (Solar cell), 차인산나트륨 (Sodium hypochlorite)

#### 1. 서 론

태양전지 제조기술 개발은 주로 에너지 변환 효율 향상과 저가화에 주력하고 있다. 다결정 실리콘 태양전지는 단결정 태양전지의 70~80% 달하는 변환 효율 달성이 가능하며

웨이퍼의 가격이 낮아 태양전지의 저가화에 유리하다는 장점이 있다.<sup>1)</sup> 결정질 태양전지의 효율을 감소시키는 요인에는 태양전지 표면에서의 광학적 손실과 캐리어를 수집하는 전극부분에서의 저항과 캐리어의 재결합에 따른 전기적 손실이 있다. 이들 중에서도 태

양전지 표면에서의 입사광 반사에 의한 광학적 손실이 태양전지의 효율 감소에 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이 광학적 손실을 줄이는 방법으로는 기관 텍스처링과 반사방지막 형성 등이 있다.<sup>2)</sup> 그중에서 텍스처링에 의한 광 가둠구조는 전면의 반사율을 감소 시키며, 태양전지 내에서 빛의 통과 길이를 길게 하고, 후면으로부터의 내부반사를 이용하여 흡수된 빛의 양을 향상 시킬 수 있다.<sup>3)</sup> 다결정 실리콘 기관의 경우에는 태양광에 의해 발생된 전류의 흐름을 방해하는 역할을 하는 결정립계의 존재 때문에, 단결정 실리콘에 비하여 효율이 크게 떨어진다. 따라서 다결정 실리콘 기관은 효율을 극대화 하는 텍스처링의 효과적인 적용이 필수적이며, 현재까지 텍스처링을 위한 다양한 연구가 진행되어 알카리, 산 용액에 의한 식각, 다공성 실리콘 형성에 의한 식각 등의 화학적 식각방법 과 레이저 텍스처링, 기계적 그루빙, 건식 식각방법 등이 연구 되어 왔다.<sup>4)5)6)7)</sup> 이 중에서 화학적 습식 식각방법은 제조 공정이 간단하고 장비가 불필요하다는 장점 때문에 건식 식각보다 공정 비용을 크게 절감할수 있어 저가 고효율을 추구하는 다결정 실리콘 텍스처링에 적합한 방법으로 알려져 있다. 본 연구에서는 NaOH + NaOCl 용액을 사용하여 식각 조건에 따른 기관의 표면 현상 및 다결정 실리콘 태양전지의 광학적·전기적 특성을 분석하였다.

## 2. 실험

본 연구의 실험은 붕소(Boron) 가 도핑된 p-type, 비저항 0.5-3Ωcm, 125mm×125mm 크기의 초크랄스키 다결정 실리콘 웨이퍼를 이용하여 수행되었고, 초음파 세척기에 NaOH 1%의 조건에서 400초 동안 세정하여 웨이퍼 표면의 오염물을 제거하였다. 본 실험에서의 실리콘 습식 텍스처 조건은 차인산

나트륨(NaOCl)의 변화에 따른 표면의 변화에 중요성을 두었고 모든 텍스처 조건은 표 1에 나타낸 바와 같이, 수산화나트륨(NaOH 40%)을 고정하고 차인산나트륨(NaOCl)을 변화하였다.

표 1. NaOH 40% + NaOCl 12% 텍스처를 위한 실험 조건.

solution	Temp.	Time (min)	Etching Depth (one side)
NaOH40% + NaOCl12% = 1 : 1	85℃	5,7,8	6,8,10μm
NaOH40% + NaOCl12% = 1 : 2	85℃	10,12,14	6,8,10μm

그림 1에 나타낸 바와 같이, 수산화나트륨(NaOH40%) 과 차인산나트륨(NaOCl) 용액을 교반하여 85℃에서 한면 을 기준으로 6 μm, 8μm, 10μm 식각하였으며, 표면의 구조적, 광학적 특성을 분석하였다. 태양전지 제작은 한면을 기준 6μm 텍스처 후에 POCl3 용액 소스를 이용한 인 확산 공정은 pre-deposition 과 drive-in 공정으로 구성된다. pre-deposition 공정은, 820℃에서 진행되며 면저항은 90~100Ω/□ 이다. drive-in 공정은, 860℃에서 진행되며 면저항은 60~65Ω/□이다. 반사방지막은 굴절률 2.24, 80 Å의 두께로 증착하였다. 전극 형성은 앞면은 은 페이스트와 후면은 알루미늄 페이스트를 인쇄하였고 급속 열처리 공정으로 동시 소결시켰다. 제작 된 결정질 실리콘 태양전지의 전기적 특성평가를 위해 시료의 표면은 현미경, 반사도(s-3100)와 표면 저항은 4분 탐침법으로 측정하였고, 전류-전압(LIV) 측정으로 전기적 특성을 분석하였다.

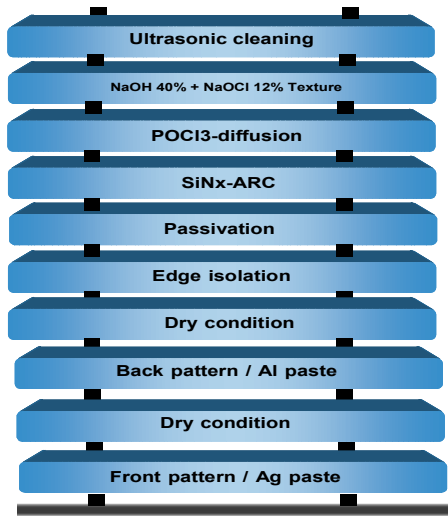
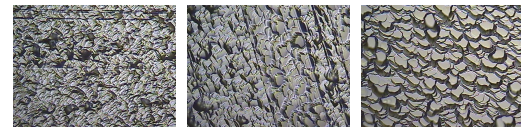


그림 1. 실험 절차

### 3. 결과 및 고찰

다결정 실리콘 웨이퍼의 결정면은 (111) 결정방향이 60% 이상이다. 나머지 40% 정도를 (110)면 과 (100)면이 결정 성장법에 따라서 약간씩 다른 분포도를 가지고 있다. 기존 알칼이 에칭을 사용하면 다결정 실리콘 웨이퍼의 방향은 무작위로 혼합 배열된 상태를 가지므로 (100)면 결정립과 (111)면의 결정립 사이에는 계단과 같은 식각 단차가 발생하여, 효율에 많은 영향을 미치게 된다.<sup>8)9)</sup> 따라서 다결정 실리콘에 있어서 모든 결정립을 아주 효과적으로 산화를 시킬수 있는 차인산나트륨 (NaOCl)을 사용하여 다결정 실리콘의 모든 결정방향을 아주 효과적으로 산화 시킨다.

그림 2는 NaOH 40%+ NaOCl 12% = 1:1,1:2 수용액을 사용하여 식각온도 85℃ 조건으로 6 μm, 8μm, 10μm 식각한 기판을 현미경으로 관찰한 것이다. 그림 2 (a), (b)에서 보는 바와 같이 문제가 되는 계단형 식각결과가 좌,상에 나타나는데, 피라미드보다는 사각이나 육각에 가까운 표면 조직이 60% 이상이 된다. 단지 10% 내외가 하,우 피라미드 구조를 가진다.



(a) 6μm

(a) 8μm

(a) 10μm



(a) 6μm

(a) 8μm

(a) 10μm

그림 2. NaOH + NaOCl = 1 : 1 (a) , 1 : 2 (b) 사용한 다결정 실리콘 표면 광학현미경 사진.

차인산 나트륨(NaOCl) 비율이 높아짐에 따라 계단 모양의 폴리쉬 면을 관찰할수 있었다.

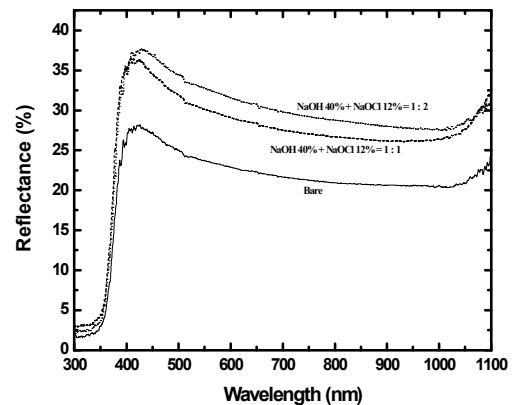
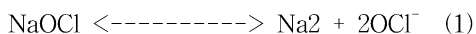


그림 3. NaOH + NaOCl = 1 : 1 , 1 : 2 반사도.

그림3은 여러조건에서 에칭된 기판들을 300~1200nm 파장 영역에서 측정된 반사도 평균값 결과를 나타낸것이다. 차인산 나트륨의 농도가 높아짐에 반사율이 약 30% 이상 높아짐을 알수 있었다. 이와 같은 반사율 차이는 결정방향에 따라서 등방성으로 한층 한층 식각되는 실리콘의 식각 메커니즘으로 판단된다. 그러므로 차인산나트륨(NaOCl) 용액은 아주 강한 산화제로서 산화율을 제어하며 수산화나트륨(NaOH)용액 과 차인산나트륨(NaOCl)용액의 비율은 중요한 요소로서 표면 거친정도를 결정하며 결정입계를 최소화하는 구조를 형성할 수 있다. 높은 농도의

수산화나트륨(NaOH) 용액은 실리콘 산화막을 빠르게 식각한다. 결정입계를 최소화하기 위한 차인산나트륨(NaOCl) 용액의 적당한 비율은 수산화나트륨(NaOH)에 의해 산화막이 식각되는 데 방해되지 않는다. 수산화나트륨(NaOH)용액의 비율이 높다면 다결정 실리콘에 있어서 표면 손상을 제거하는데 아주 긴시간이 걸린다. 이것은 양산에 있어서 결국에 생산량에 영향을 미치게 되는 것이다. 차인산나트륨(NaOCl)은 물 속에서 이온화되어 HOCl 과 OCl<sup>-</sup> 이온으로 되어 아래 식과 같이 된다.



적은 OH<sup>-</sup> 이온에 의해 식각은 아주 느리게 일어나지만 고농도의 수산화나트륨에 의해 다결정실리콘의 표면은 빠른 식각에 의해 연마된다. 차인산나트륨(NaOCl) 이 높아 짐에 따라 평탄한 면을 가지기 때문에 반사도가 높다고 판단된다.

그림 4는 식각량을 줄이기 위해 한면 6 $\mu\text{m}$ 를 식각하여 태양전지를 제작하였다.

NaOH40% + NaOCl = 1 : 1에서 개방전압 608.7mV, 단락전류 5.07A, 충실도 77, 효율은 15.19% 로 나왔으며 NaOH40% + NaOCl 12% = 1 : 2에서는 개방전압 606.1mV, 단락전류 5.02A, 충실도 75, 효율은 14.64% 로 변환효율 및 우수한 전기적 특성을 얻었다. NaOCl 이 비율이 점차적으로 배합 했을때 전기적 특성이 떨어졌다. 즉 NaOCl 의 비율에도 효율에 미치는 영향이 있음을 알수 있었다.

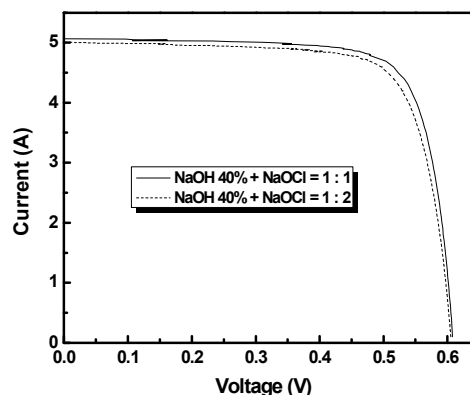


그림 4. 다결정 실리콘 태양전지의 개방전압, 단락전류, 충실도 및 변환효율.

## 5. 결 론

본 논문에서는 다결정 실리콘 태양전지 제작에 적용할 습식텍스처 조건을 연구하였으며, 다결정 실리콘 비등방성 표면 처리시 서로 다른 방향의 실리콘 표면에서 불균일한 표면을 효과적으로 제거하기 위해 NaOH 40% + NaOCl 12% = 1 : 1, 1 : 2 을 사용하여 다결정 실리콘 표면을 처리하여 결정면을 효과적으로 제거하면서, 대면적 (125 × 125 mm) 다결정 태양전지의 광전류전압 특성을 분석한 결과, NaOH 40% + NaOCl 12% = 1 : 1에서 15.19%의 변환효율과 우수한 전기적 특성을 획득할수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. S.S. Kim, The Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers Vol. 10, No. 10, p.1034, 1977.
2. S. W. Hwang, I. S. Moon, D. S. Kim, S. H. Lee, Proceeding of Foll Meeting, Solar Energy Soc., (2002) 66-73.
3. J. H Lee, D. G Lim, J. S Yi, Principle of

- Solar Cell, Hong Neung Science, (2005) 280-299.
4. Erik Stensrud Marstein, Hans Jorgen Solheim, Daniel Nilsen Wright and Arve Holt, "Acidic texturing of multi crystalline silicon wafers", Proceedings of the 31th IEEE PVSC, pp. 1309-1312, 2005.
  5. M. Abbott, L. Mai and J. Cotter. "Laser Texturing of Multicrystalline Silicon Solar Cells", 14th PVSEC, 2004.
  6. G. Willeke and P. Fath, "Mechanical wafer engineering for semitransparent polycrystalline silicon solar cells". Applied Physics Letters, Vol. 64, Issue. 10, pp. 1274-1276, 1994.
  7. G.Kumaravelu, M,MAlkaiii, A,Bittar, "surface texturing for silicon solar cells using reactive ion etching technique", 29th IEEE PVSC, pp, 258-261, 2002.
  8. R.Einhaus, E.Vazsonyi, J.Szlufcik, J.Nijs, RMertens, "Isotropic texturing of multicrystalline silicon wafers with acidic texturing solutions", Proceedings of the 26th IEEE PVSC, pp.167-17, 1997
  9. N. I. Cho, I. H. Chon, J. Kor: Vacuum Soc., 11 (2002) 253.