

텍스처링을 이용한 결정질 실리콘 태양전지의 표면 반사율 감소에 대한 연구
Investigation of texturing to reduce surface reflectance of crystalline silicon solar cells

최준영^{a*}, 김범호^a, 이은주^a, 이수홍^a
(a) 세종대학교 전략에너지개발사업단

초 록 : 표면 수정에 의한 결정질 실리콘 태양전지의 표면 반사율의 감소는 실리콘 태양전지에 있어서 가장 중요한 문제들 중 하나다. 결정질 실리콘 기판 표면에 텍스처링을 이용하여 반사방지막을 형성하는 것은 태양전지의 표면 반사율을 줄이는 측면에서 주목할 만한 것이다. 이 논문에서는 단결정 실리콘과 다결정 실리콘에 텍스처링을 이용하여 표면 반사율을 감소할 수 있는 방안에 대해서 연구한다.

1. 서 론

최근 태양전지의 제조기술 개발은 주로 에너지 변환 효율 향상과 저가화에 주력하고 있다. 다결정 실리콘 태양전지는 단결정 태양전지의 70~80%에 달하는 변환 효율 달성이 가능하며 웨이퍼의 가격이 50% 낮아 태양전지의 저가화에 유리하다는 장점이 있다[1]. 결정질 실리콘 태양전지의 광학적 손실을 줄이는 방법에는 여러 가지가 있는데, 그중 가장 일반적으로 적용되는 방법이 texturing과 anti-reflection coating(ARC)이다[2,3]. Texturing 기술로는 전체 입사된 빛의 약 10% 가까이 반사를 줄일 수가 있으며 ARC로 약 5~3% 정도까지 반사를 줄일 수 있다[4,5].

단결정 실리콘의 anisotropic(이방성) texturing은 태양전지에서 광반사를 효과적으로 줄이기 위한 방법으로 잘 알려져 있다. 일반적으로 NaOH 또는 KOH에 IPA(isopropyl alcohol)를 첨가한 용액을 사용한다[6,7,8]. 이들 용액은 Si wafer의 (100)과 (111) 방향에 따른 식각 속도가 다르고, 그 결과 (100) 방향에 random한 upright pyramid를 형성한다.

다결정 실리콘을 texturing 하는 방법으로는 RIE(reaction ion etching), 등방성(isotropic) 습식 식각, 다공성 실리콘 형성(porous silicon formation)등 여러 가지가 있다. 그 중 등방성 습식 식각은 특별한 장비 없이 손쉽게 할 수 있으며, 그 방법으로는 acid texturization과 수산화칼륨(KOH) saw damage 제거 후 각기 다른 산성 용액에 두 번 식각하는 double-step chemical etching이 있다[9]. 두 가지 모두 질산(HNO₃)과 불산(HF)을 물이나 초산(CH₃COOH)에 섞은 용액이 가장 일반적으로 사용된다. 질산은 실리콘과 작용하여 먼저 SiO₂ 산화물을 만들고 SiO₂는 불산에 의해 식각되어 물과 H₂SiF₆를 생성시키는데 H₂SiF₆는 수용성 물질이기 때문에 식각 공정에는 큰 변수로 작용하지 않는다[10].

본 연구에서는 결정질 실리콘 태양전지의 광학적 손실을 줄이기 위하여 표면 구조를 개선하는 방법으로서 단결정 기판 texturing을 위해 표면에 조밀한 random pyramid를 형성하는 방법과, 다결정 기판 위에 acid texturing을 형성함으로써 이와 같은 방법들이 태양전지에 적용할 경우 기대되는 성능 향상 효과에 대해 논의하였다.

2. 본 론

본 실험에 사용된 단결정 실리콘 웨이퍼는 붕소(Boron)가 도핑된 CZ p-type, (100)으로 비저항이 0.4~1.0 Ωcm이고, 3.3 X 3.3 cm의 크기를 가진다. 다결정 실리콘 웨이퍼

역시 boron이 도핑된 p-type으로, 저항률이 1 Ωcm이고, 2 X 2 cm 크기를 가진다. 기판은 saw damage를 제거하기 위해 80℃의 30% 수산화칼륨(KOH) 용액에서 7분간 식각하였다. Etch rate는 3 μm / min 이다.

준비된 단결정 기판은 Na₂CO₃ 수용액에서 etching 하였다. 표면 texturing 위한 용액은 25wt% Na₂CO₃ 수용액에 NaHCO₃를 첨가하여 제작되었다. 실험 조건은 90~100℃ 온도에서 5~30분 동안 진행하였다. 각 온도와 시간에 따라 texturing한 silicon 표면 pyramid 구조를 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 관찰하고, 400~1000nm 파장 영역에서 반사율을 측정하였다.

Saw damage를 제거한 다결정 기판은 HF-HNO₃-H₂O로 이루어진 수용액(solvent)에 담가 식각하였다. 실험 조건은 상온에서 HNO₃의 농도와 식각 시간을 달리 하여 5~60초 동안 진행되었고, 이 역시 SEM을 이용하여 관찰하고, 400~1000nm 파장 영역에서 반사율을 측정하였다.

3. 결 론

3.1 단결정 실리콘 웨이퍼의 표면 텍스처링

단결정 실리콘 표면에 sodium carbonate 용액을 이용하여 온도 및 시간을 변수로 하고 random pyramid를 형성하였고, 각 조건에 따른 표면 특성 및 반사율을 평가하였다. 그림 1.은 표면을 SEM으로 관찰한 결과이다. 일반적인 alkaline solution을 이용한 식각에 비해 pyramid 크기가 작고 조밀하게 형성되었음을 알 수 있었다. 또한 식각 온도가 100℃에 가까운 경우, 약 95℃에서 식각한 경우에 비해 pyramid의 형성 밀도가 높았고, 상대적으로 pyramid 크기가 커지는 것을 확인할 수 있었다.

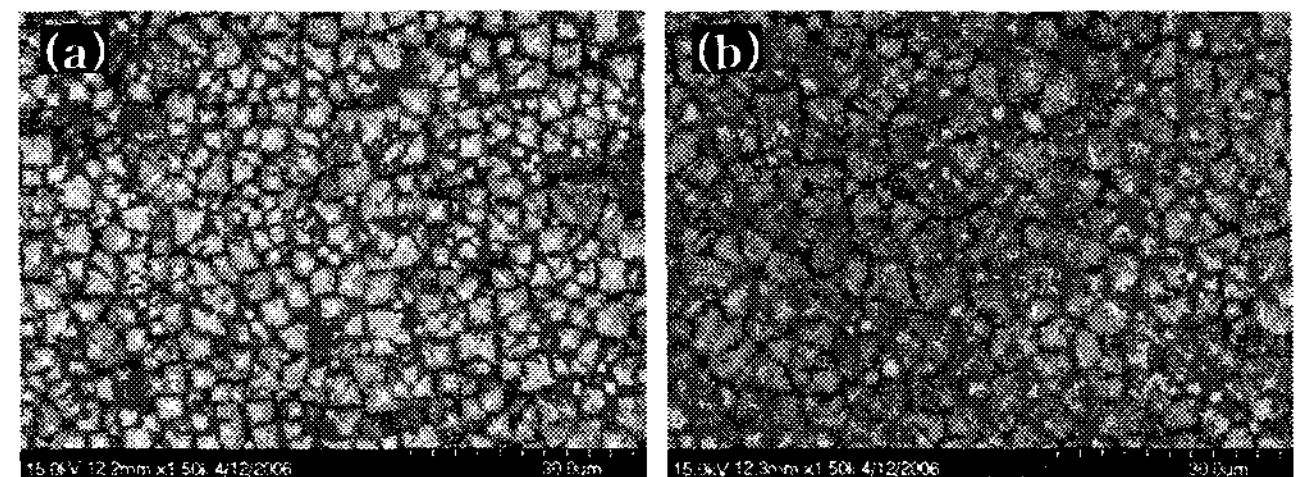


그림 1. Texturing 조건에 따른 silicon 표면 SEM 관찰 (a) 95℃, 10min. (b) 100℃, 10min.

그림 2.는 그림 1.의 기판의 반사율 측정 결과이다. 식각 온도가 높을수록 반사율이 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 SEM 표면 관찰결과에서도 알 수 있듯이 공정 온도가 높은 경우 상대적으로 pyramid의 형성 밀도가 높고 크기가 균일하기 때문인 것으로 생각된다. 100℃에서 공정을 진행한 경우 400~1000nm의 파장영역에서 반사율은 약 12% 까지 낮아졌다.

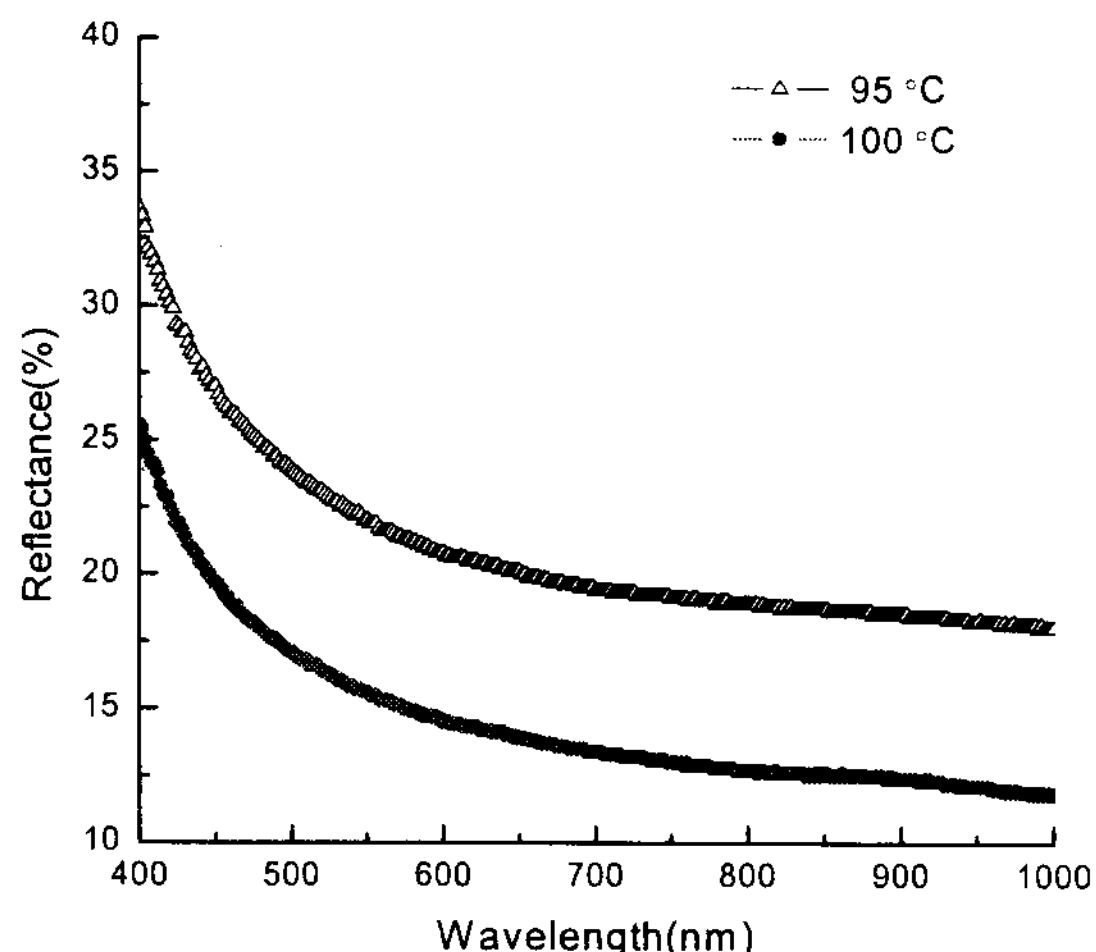


그림 2. Texturing 조건에 따른 표면 반사율 측정. Etching 온도에 따른 반사율 비교.

3.2 단결정 실리콘 웨이퍼의 표면 텍스처링

아래 그림 3은 다결정 실리콘을 각각 KOH saw damage를 제거한 것과, 이것을 HF-HNO₃-H₂O 수용액에 20초, 55초 동안 식각한 기판 표면을 현미경과 SEM으로 관찰한 것이다.

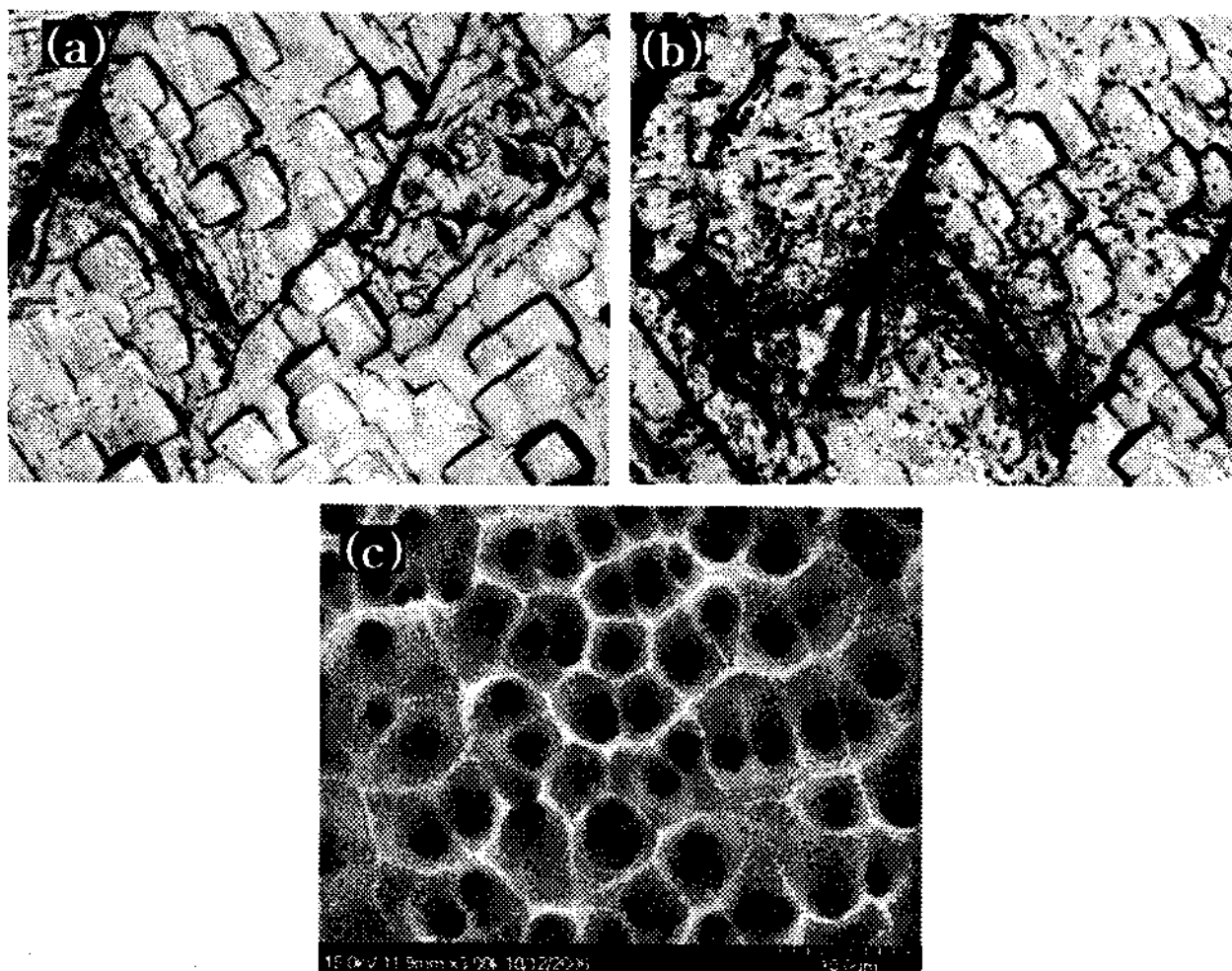


그림 3. (a) 수용액에 20초, (b) 55초 식각한 기판의 현미경 표면 사진 (X 200)
(c) (b)의 SEM 표면 사진 (× 3,000)

KOH saw damage를 한 기판을 수용액에 담그면, 초반에는 바늘구멍과 같은 좁은 폭의 미세공(pore)이 국부적으로 형성되기 시작하고, 식각 시간이 길어짐에 따라 이런 미세공의 개수가 점점 많아지며 그 폭도 확장된다. 식각 시간이 지속될수록 새로운 미세공이 형성되기도 하고, 이미 형성된 미세공의 폭이 점점 확장됨에 따라 대부분의 미세공들이 서로 합쳐져서 하나의 새로운 미세공이 형성되어 그림 3.(c)와 같은 표면의 기판을 얻게 된다.

그림 4는 다결정 실리콘 웨이퍼를 각각의 수용액 농도와 식각 시간에 따라 식각한 기판의 표면반사율을 그래프로 나타낸 것이다. 400~1000nm의 파장영역에서 반사율은 약 8% 까지 낮아졌다

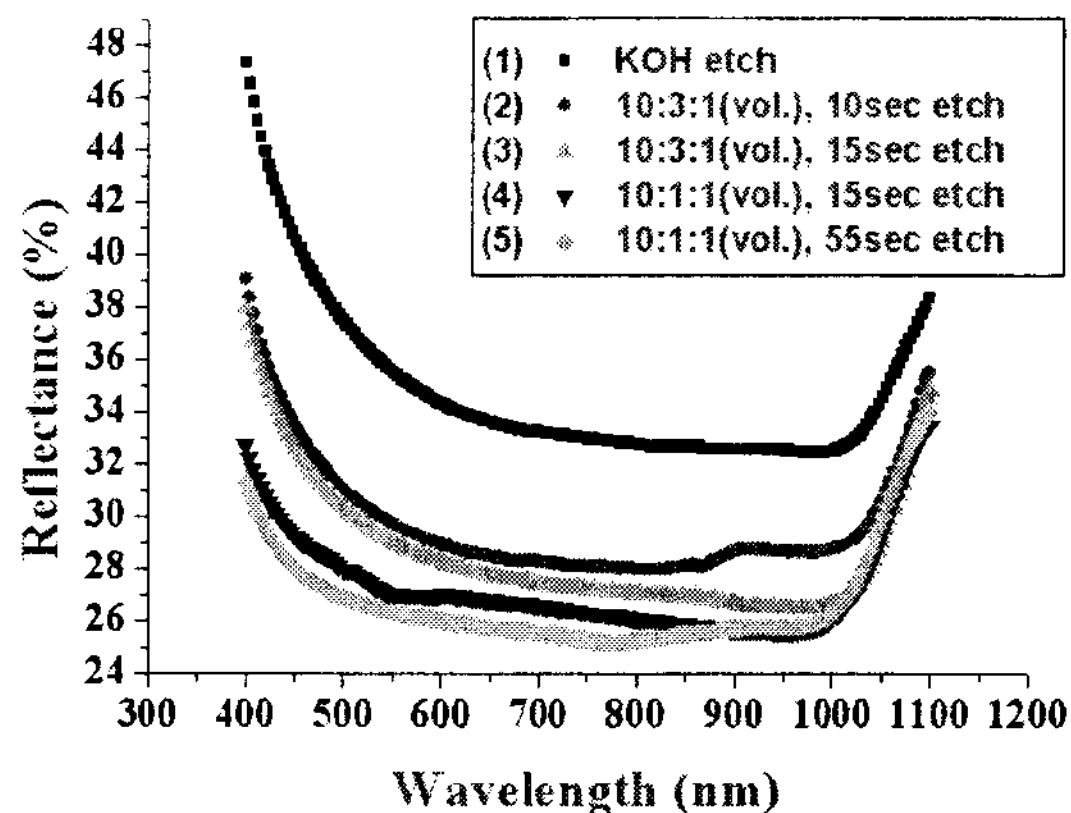


그림 5. 각각의 조건에서 texturing된 기판의 표면 반사율

3.3 결과 및 고찰

본 연구에서는 결정질 실리콘 태양전지의 광학적 손실을 줄이기 위한 방법으로 단결정 실리콘 웨이퍼 표면에는 random pyramid를 형성하고, 다결정에는 미세공을 형성하여 그 구조적 광학적 특성을 평가하였다. 단결정 실리콘 texturing으로 표면 반사율을 최소 12% 까지 낮출 수 있었으며, 다결정 실리콘 texturing으로 표면 반사율을 8% 까지 표면 반사율을 낮추었다. 400~1000nm 파장 영역에서 반사율이 고르게 낮아지는 효과를 볼 수 있었으며, 실리콘 태양전지에 일반적으로 사용하는 ARC 막에 비교하여도 우수한 특성을 나타냄을 확인 할 수 있었다. 따라서 향후 결정질 실리콘 태양전지에 적용하여 광 흡수를 최대화함으로써 변환효율 향상에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산자부 국책연구개발사업의 지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

- [1] S.S. Kim, The Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers Vol. 10, No.10, p.1034, 1977.
- [2] P. Campbell, M. A. Green, J. Appl. Phys. 243-246, 62, 1987.
- [3] H. Saha, S. K. Datta, K. Mukhopadhyay, S. Banerjee, M. K. Mukherjee, Electron Devices, IEEE Transactions on 39, 1100, 1992.
- [4] H. Saha, S.K. Datta, K. Mukhopadhyay, S. Banerjee, M. K. Mukherjee, Electron Devices, IEEE Transactions on 39, 1100, 1992.
- [5] O.B. Lee, J. Appl. Phys, p.40, 1969.
- [6] Chitre SR., Proceedings of the 13th IEEE International Photovoltaic Specialist Conference, Washington, DC. 1978, 152-154
- [7] King DL, Buck ME., Proceedings of the 22nd IEEE International Photovoltaic Specialist Conference, Las Vegas, 1991, 303-308
- [8] Vazsonyi E, Improved anisotropic etching process for industrial texturing of silicon solar cells, Solar Energy Materials & Solar Cells 1999, 57, 179-88
- [9] P. Panek, M. Lipinski, J. Dutkiewicz, Journal of Materials Sciencn 40, p.1459, 2005.
- [10] I. Rudge, Halbliter-Technologie, Springer-Verlag, Berlin · Heidelber · New York, 1975.