

결정입계의 선택적 식각을 이용한 다결정 규소 태양전지의 제작과 특성

김상수, 김철수, 임동건, 김도영, 이준신

성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터공학과

Fabrication and Characterization of Polycrystalline Silicon Solar Cells using Preferential Etching of Grain Boundaries

Sang-Su Kim, Cheol-Su Kim, Dong-Gun Lim, Do-Young Kim, Junsin Yi

Sung Kyun Kwan Univ.

Abstract - A solar cell conversion efficiency was degraded by grain boundary effect in polycrystalline silicon. To reduce these effects of the grain boundaries, we investigated various influencing factors such as preferential chemical etching of grain boundaries, grid design, transparent conductive thin film, and top metallization along grain boundaries. Pretreatment in N₂ atmosphere and gettering by POCl₃ and Al were performed to obtain polycrystalline silicon of the reduced defect density. Structural, electrical, and optical properties of solar cells were characterized. Improved conversion efficiencies of solar cell were obtained by a combination of Al diffusion into grain boundaries on rear side, fine grid finger, top Yb metal grid on Cr thin film of 200Å and buried contact metallization along grain boundaries.

1. 서 론

태양전지를 사용한 전력은 아직 기존의 상용전력에 비해 생산 단가가 높아서 생산단가를 낮추면서도 변환 효율이 높은 태양전지의 제작이 필수적이다. 다결정 실리콘 태양전지는 단결정 태양전지의 70~80%에 달하는 변환 효율 달성이 가능하며, 웨이퍼 가격이 50% 정도 낮다. 태양전지의 효율은 광학적, 전기적 손실에 의해 제한을 받기 때문에 손실을 최소화시키기 위한 공정으로 전열처리(pretreatment), 게터링(gettering), 수소화 처리(hydrogen passivation)와 산화막 성장(oxidation), 등이 진행되고 있다. 다결정 실리콘은 내부 결함(intragrain defect)과 결정입계(grain boundary)를 많이 포함하고 있어 태양전지의 광 변환 효율을 저하시킨다. 결정입계는 전위장벽을 형성하여 반송자의 흐름에 장벽을 주거나 계면 내에 존재하는 트랩 때문에 빛에 의해 생성된 반송자는 결정입계에서 재결합한다. 재결합은 다결정 태양전지의 소수 반

송자 수명을 단축하고 변환효율을 감소시킨다. 본 연구에 의한 태양전지의 구조는 결정입계의 영향을 줄이기 위해 결정입계를 따라 함몰전극을 형성하거나 상부에 200Å 이하의 박막을 성장하여 변환효율을 상승시키고자 하였다. p-n접합 후에 후면 전계형성을 위한 후면 처리, 결정입계 식각 후 상부전극 형성, 다양한 전극 형태, 상부 투명전도막을 위한 금속 박막을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구의 실험은 크기가 10cm×10cm, 두께가 350μm, 비저항이 1~5Ω-cm인 p-형 다결정 실리콘 웨이퍼를 출발 물질로 사용하였다. 결정입(grain)수는 10cm×10cm 기판에 약 59개의 결정이 존재하였다. 결정입 크기 범위는 5~50mm이고 평균 크기는 16.9mm이다. KOH 또는 KOH+IPA+DI water를 사용한 습식 식각을 한 후에 POCl₃로 n-형 전면 확산을 행하였다. 다결정 실리콘 기판의 광학적 특성 규명을 위해 광원으로 할로젠 램프를 이용하여 조사시 전류-전압 특성을 조사하였다. N층의 저항성분 또한 4분 탐침법을 사용하여 규명하였다. 다결정 기판에 n-형 확산을 행한 후에는 2가지 습식 식각된 시료에 대하여 각각 buffered HF로 표면의 산화막을 제거하고 상부 전극을 형성하거나 산화막을 성장한 후 상부 전극을 형성하였다. 그림 1은 상부 금속 형성을 위해 시도된 전극 형태이다. 상부 금속 형태는 기존의 전극, 결정입계로의 함몰전극(buried contact grid), 기존의 전극에 결정입계로의 함몰전극이 혼합된 전극과 50, 100, 150, 200Å 두께의 Cr 금속 박막 위에 기존의 상부 전극 형성의 4가지 형태로 시도되었다. 함몰전극 형성을 위해 결정입계만을 선택적으로 습식 식각하고 식각된 결정입계위로 금속을 증착하고 lift-off 과정을 통하여 결정입계에만 전극을 형성하였다. 전지의 상부 금속에 대한 영향은 Al, Cr, Yb를 이용하여 연구하였다. 전극 형성은 약 10⁻⁶ Torr의 진공상태에서 thermal evaporator를 사용하여 증착하였다.

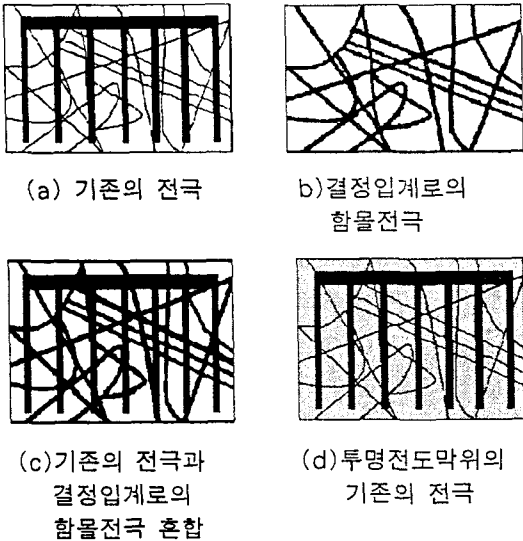


Fig. 1. The various grid patterns used in the investigation.

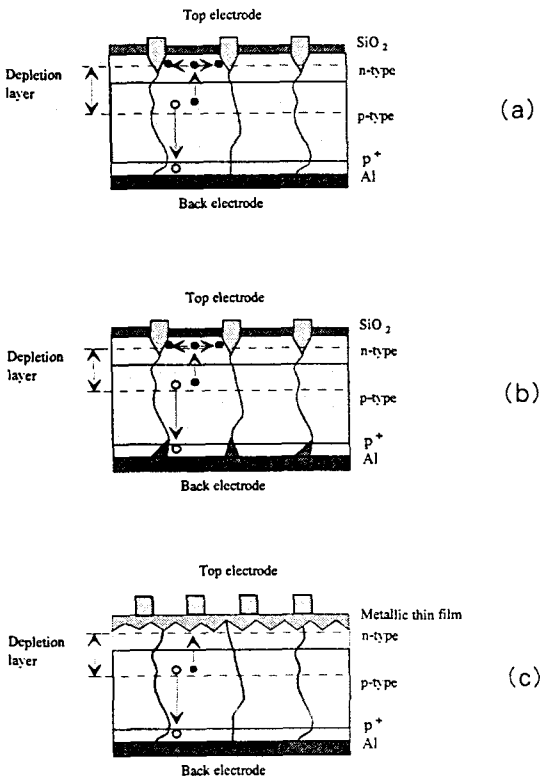


Fig. 2. The fabricated structure of solar cells in the investigation (a) buried electrode without back treatment (b) buried electrode with back preferential etching (c) grid with top metallic thin film.

그림 2는 본 연구에서 시도된 태양전지의 구조이다. 습식 식각을 이용하여 전지의 후면 처리에 따른 영향을 살펴보았다. n형 확산시 기판의 후면에도 n층이 확산이 되므로 등방성 식각액 ($\text{HNO}_3(70\%)+\text{DI water}+\text{HF}(49\%)=50:20:2$)으로 후면 n층을 제거한 후 하부 전극을 형성하거나 후면 결정입계에서의 캐리어 재결합을 줄이기 위해 결정입계를 선택적으로 식각하는 Schimmel 식각액 ($\text{HF}+(1\text{M}-\text{CrO}_3)=2:1$)으로 습식 식각을 한 후 하부 전극을 형성하였다. 제작이 완료되면 n-p 접합 분리를 위해 최종적으로 diamond saw cutter(Buehler ISO 9001)로 절단 후에 제작된 태양전지의 암 조 사시 전류-전압 특성을 관찰하였다. 분광 반응도는 Jobin Yvon XC-150 광원과 MAP23 monochromator controller를 이용하고 전류는 Keithley 617을 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

다결정 실리콘을 초음파 세척을 하고 KOH와 KOH+IPA+DI water를 사용하여 식각을 한 후 전면 확산을 phosphorous로 doping하여 접합 깊이가 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 를 얻었다. N층의 비저항을 4분 탐침법으로 10여군데의 측정결과 $0.02\sim 0.09\Omega\cdot\text{cm}$ 를 얻었다. 측정된 비저항에 상응하는 불순물의 농도는 $5.1\times 10^{16}\text{cm}^{-3}\sim 2.3\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 를 얻었다. Schimmel 식각액은 결정입계를 선택적으로 식각하면서 표면을 texturing하는 특성을 보였다. Texturing된 표면 구조가 불규칙한 피라미드 형태로 $2\mu\text{m}$ 정도의 깊이로 형성되고 동시에 결정입계를 우선 식각하여 깊이가 약 $10\mu\text{m}$ 가 되었다. Schimmel 식각액을 기판 후면에 적용하고 하부금속을 형성하여 광여기된 캐리어의 손실을 줄이고자 하였다. 후면 n층만을 제거한 후에 하부전극을 형성한 전지와 비교해 볼 때 장파장대의 광전류 특성이 약간 개선되었다. 이는 후면의 결정입계로 인한 재결합 손실이 감소되었음을 나타낸다. 전지 면적은 0.11cm^2 에서 2.1cm^2 까지 범위하였다. 전극의 면적은 전체 전지 면적의 13%에서 30%까지 범위하였다. 다양한 전극 형태중에서도 전극 선 간격이 작을수록, 전극 금속 선폭이 좁을수록 효율 특성이 좋게 나타났다. 다결정 실리콘은 결정입의 크기가 많은 차이를 보여 결정립의 크기가 큰 기판인 경우 결정입계로만 함몰전극을 형성한 전지는 전극 간격이 평균 17mm 정도로 넓어서 전극 간격 사이의 직렬저항 성분 때문에 광여기된 캐리어들을 효과적으로 수집할 수 없어 전지의 특성은 좋지 못했다. 그림 3과 표 1은 기존의 전극 형태로 전지 면적의 13%로 상부 전극을 형성한 전지와 결정입계로 함몰전극을 형성한 전지, 그리고 기존의 전극에 결정입계를 따라 함몰전극을 추가한 전지 모두 3가지 종류의 태양전지의 빛 조사시 전

류밀도-전압 측정 결과를 보인 결과이다.

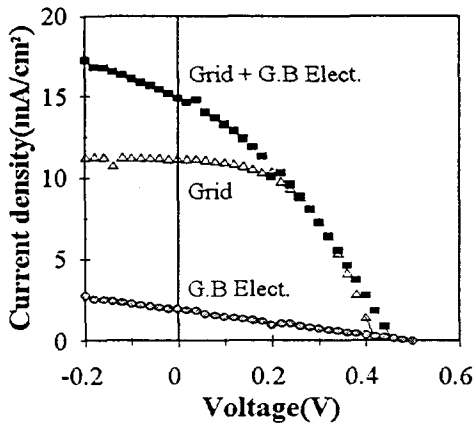


Fig. 3. Light I-V characteristic curves for poly-Si solar cells.

ID	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	FF(%)	Eff.(%)
Grid	0.42	1.01	46	16.8
Grid+ G.B. Elect	0.44	1.14	43.1	18.7
G.B. Elect.	0.44	2	40.6	2.36

Tab. 1. The variation of solar cell parameters as a grid type($P_{in}=8.9mW/cm^2$).

기존의 전극에 결정입계로 전극 형성을 추가한 전지는 단락 전류밀도가 향상된 특성을 보였다. 전압을 -0.2V에서 0.6V까지 변화하였으며 전류밀도는 $15mA/cm^2$ 까지 달성하였다. 입사광 전력을 고려하면 전류밀도는 우수하다고 고려되나 개방전압은 비교적 낮은 0.41V로 측정되었다. 이는 표면 n층의 불순물 농도가 비교적 낮기 때문이다. 개방전압 증가와 직렬저항 성분 감소를 위해선 향후 $1 \times 10^{18}cm^{-3}$ 정도로 불순물 농도를 조절할 필요가 있다. 기존의 전극에 결정입계로 함몰전극을 추가한 경우 측정된 효율 향상은 개방전압보다는 단락전류의 개선에 의한 것으로 보아 광생성된 반송자가 결정입계에서 재결합하거나 전위장벽에 의한 방해가 줄어들어 광전류 수집이 증가함으로써 2% 개선된 효율이 관측되었다. 상부전극으로 이용한 각 금속은 모두 낮은 금속 일함수를 가지고 있어 전류-전압 특성 곡선은 유사하였다. Yb는 증착하기가 용이하였으며 전류-전압 특성은 약간 더 우수하였다. 그림 4는 50~200Å 두께의 크롬 금속 박막을 형성한 후의 광투과도를 나타내었다. 80%~90% 이상의 높은 광투과율을 보였다. 기존 전극의 태양전지보다 200Å의 금속 박막 형성 후 기존의 전극을 형성한 전지는 직렬저항의 감소로 5% 정도의 효율 향상이 관찰되었다. 50~150Å의 금속 박막은 기관 표면의

피라미드 구조로 인해 박막이 전체적으로 연결되지 못하여 직렬 저항 성분 감소에 기여하지 못했다. 향후 접촉 저항과 직렬 저항 성분을 감소시키기 위한 상부 투명 전극 형성이 필요하다.

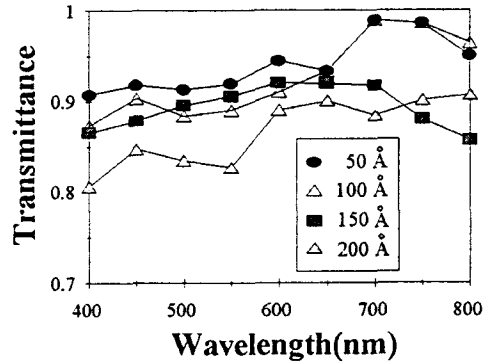


Fig. 4. Transmittance of Cr metallic thin film of 50,100,150,200Å on glass plates.

4. 결 론

본 연구에 의한 다결정 실리콘 태양전지는 여러 가지 전극 형태, 결정입계로의 함몰 전극 형성, 기존의 전극 구조에 결정입계에서의 캐리어 재결합 손실을 줄이기 위한 함몰전극 형성, 200Å 두께의 크롬 박막 위의 기존의 상부전극 형성으로 5% 정도 향상된 변환효율을 달성하였다. 향후의 연구는 기관 자체의 두께 감소와 불순물 농도의 증가와 선택 확산에 의한 결정입계의 최적화와 결정입계를 식각 후 ITO, AZO(ZnO:Al) 등의 낮은 접촉 저항과 직렬 저항 성분을 갖는 상부 투명전극 형성에 대한 연구가 권장된다.

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 권봉수, 박용관, 조기현, 김홍국, 윤종욱, 오영현, 조효용, "고효율 다결정 실리콘 태양전지 개발", 금성 Siltron보고서, 상공부편, 1994.
- [2] S. Narayanan, J. H. Wohlgemuth, J. B. Creager S. P. Roncin, and J. M. Perry, "Buried Contact Solar Cell", 23rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, pp.277-280, 1993.
- [3] D. G. Schimmel, "Defect Etch for <100> Silicon Evaluation", J. Electrochemical. Soc. : Solid-State Science and Technology, Vol. 126, No.3, pp.479-483, 1979.