

Textured 표면을 갖는 에피텍셜 베이스 실리콘 태양전지

장지근 · 임용규 · 정진철
단국대학교 전자컴퓨터학부

Textured Surface Epitaxial Base Silicon Solar Cell

Gee Keun Chang, Yong Keu Lim and Jin Cheol Jeong

Department of Electronics and Computer Science, Dankook University

초 록: Si 태양전지의 효율 개선을 위해 textured 표면을 갖는 에피텍셜 베이스 전지(TSEB)를 제작하고 이의 전기광학적 특성을 조사하였다. 제작된 전지는 AM-1 100 mW/cm² 입사광 아래에서 개방전압이 0.62 V로, 단락전류가 40 mA로, 충실도가 0.7, 전력변환 효율이 16%로 나타났다. 본 연구에서 제안된 전지는 p⁺/p⁺ 에피구조에 의한 광흡수 영역에서 캐리어의 드리프트 이동과 효과적 배면전계의 형성, 그리고 buried contact을 통한 낮은 직렬저항 등으로 인해 고효율 Si 태양전지의 제작에 적합한 구조로 판단된다.

Abstract: The new textured surface epitaxial base(TSEB) cell as a high efficiency Si solar cell was fabricated and its eletro-optical characteristics were investigated. The fabricated device showed the open circuit voltage of 0.62 V, the short circuit current of 40 mA, the fill factor of 0.7, and the efficiency of 16% under the incident light of AM-1 100 mW/cm². The TSEB cell proposed in this paper has the structural superiority in the fabrication of high efficiency solar cell due to the carrier drift transport in the optical absorption region and the formation of back surface field by p⁺/p⁺ epitaxial base, and the low emitter series resistance by insertion of n⁺ buried contact.

Keywords: solar cell, textured surface, epitaxial base, efficiency, series resistance

1. 서 론

광 에너지를 전기적 에너지로 변환시키는 태양 전지의 개발에서 두가지 중요한 측면은 제작비용을 낮추고 높은 전력 변환효율을 얻는 것이다. 오늘날 소자의 산업적 생산과 관련하여 공정이 용이하고 높은 변환효율을 얻을 수 있는 일반적 구조로는 n⁺-p 접합형 Si 태양전지를 들 수 있다.

Si 태양전지의 이론적 효율은 상온에서 약 28%에 이르고 있으나¹⁾ 일반구조에서 실제 효율은 표면에서 광반사손실, 캐리어 이동과정에서 재결합손실, 직렬저항 효과 등으로 인해 10~12%에 불과하게 나타나고 있다.

이에 따라 지금까지 Si 태양전지의 효율증대를 위한 많은 연구가 있었으며, 오늘날 고효율 Si 태

양전지 제작에 이용되는 대표적 기술로는 표면에서 광반사 손실을 줄이기 위한 surface texturing 기술²⁾과 광반사 방지막 형성기술³⁾, 캐리어의 재결합 손실을 줄이기 위한 이미터 passivation 기술⁴⁾과 배면전계 형성기술⁵⁻⁶⁾, 낮은 직렬 저항을 얻기 위한 불순물 조절기술과 그리드전극 설계기술 등을 들 수 있다.

최근에 이르러 Stanford 대학에서 PC(point-contact) 구조, UNSW 대학에서 PERL(passivated emitter rear locally diffused) 구조 등 20% 이상의 고효율 태양전지들이 발표되고 있으나⁷⁻⁸⁾ 이들 전지들은 여러번의 불순물확산과 고온산화, lithography 과정이 필요함으로 제조공정이 복잡하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 비교적 제조공정이 간단하면서도 고효율 특성을 얻을 수 있는 새로운 구조의

TSEB(textured surface epitaxial base) 전지를 설계·제작하고 AM-1 스펙트럼 아래에서 이의 전기광학적 특성을 분석하였다.

2. 전지의 구조

태양전지의 광반사 손실을 줄이기 위한 방안으로는 금속전극에 의한 차광면적을 최소화하고 광이 입사되는 표면을 texturing 하거나 광반사 방지막을 설치한다. 광생성된 캐리어의 수집효율과 소자의 누설전류 및 직렬저항은 전지의 구조와 도핑 분포 그리고 공정기술에 영향을 받는다.

본 연구에서는 제조공정이 간단하면서도 우수한 효율특성을 얻을 수 있는 새로운 Si 태양전지로 Fig. 1과 같은 TSEB 구조의 소자를 설계하였다.

Fig. 1의 구조에서 전지의 베이스는 p⁻/p⁺ 에피 구조를 갖는다. 또한 광이 입사되는 수광면이 textured되며 이미터-상부전극 간에 n⁺ buried contact이 삽입된다. TSEB 전지의 특징은 textured 표면에 의한 광반사 손실을 최소화 하고 광이 흡수되는 유효영역의 길이 정도만을 저농도로 에피성장시켜 p⁻ 영역에서 소수캐리어의 드리프트 이동에 의한 수집효율을 높이는 데 있다. 또한 고농도로 도핑된 기판을 사용함으로써 기판에서 낮은 직렬저항과 효과적인 배면전계가 자연스럽게 형성된다. 이미터- 금속전극 간의 buried contact 삽입은 전지의 이미터 직렬저항을 최대한 줄이고 있다.

3. 소자제작

단위전지의 유효입사광 면적을 1.1 cm²로 설계하여 공정마스킹들(표면 texturing용, 소자 격리용, n⁺확산용, 금속-반도체 접촉용, 그리드 전극용)을 제작하였으며 p(111) 구조 ($\rho=0.01 \Omega\text{-cm}$) 상에 약 16 μm 두께의 p⁻에피층($\rho=100 \Omega\text{-cm}$)을 갖는 웨이퍼를 TSEB 전지의 기판으로 사용하였다.

공정순서로는 먼저 각 시료의 웨이퍼를 산화한 후 사진식각술로 전지의 수광면을 약 2 μm 깊이로 등방성 식각하여 texturing하였다. 이후 산화막을 모두 제거한 후 약 6000 Å의 산화막을 다시 형성하고 격리마스킹을 이용하여 소자간의 격리영역에 붕소를 확산($R_s=10 \Omega/\square$)하였다. 다음으로 웨이퍼 뒷면의 산화막을 보호한 상태에서 금속-반도체 접촉영역에 n⁺ buried layer를 형성한 후 전지

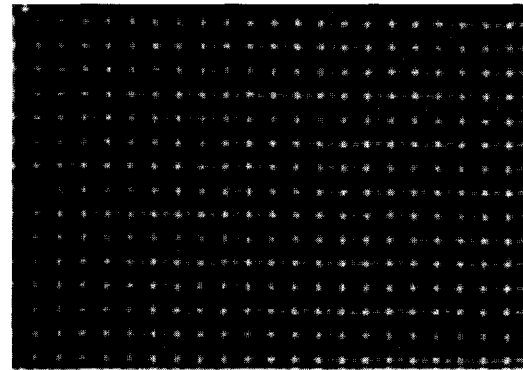


Fig. 2. Top view of the textured surface.

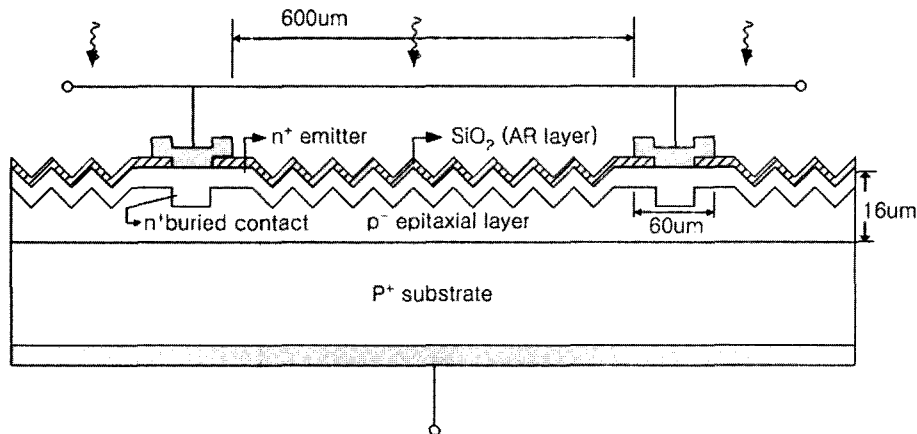


Fig. 1. The textured surface epitaxial base (TSEB) cell.

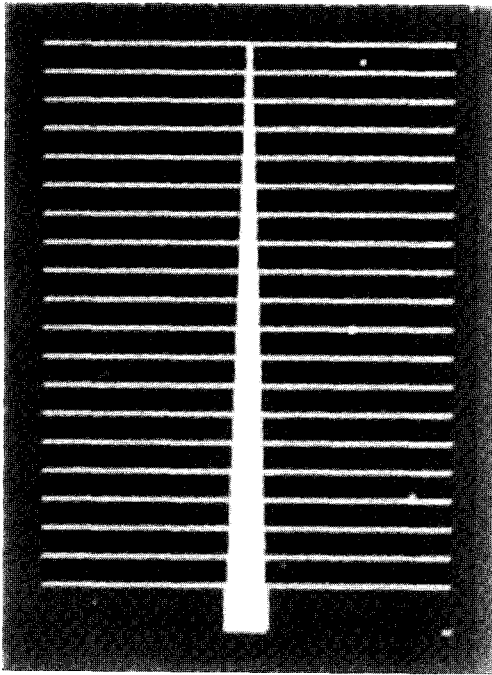


Fig. 3. Photograph of the fabricated cell.

의 이미터 영역을 개방하여 T=960°C에서 450초간 인(phosphorous)을 확산(Rs=100 Ω/□)하였다. 이후 약 1200 Å의 SiO₂막을 광반사 방지막으로 성장시켰다. 마지막으로 금속-반도체 접촉 창구를 개방한 후 전극을 형성하고 금속-반도체간의 오염성 접촉을 위한 alloy 공정을 실시하였다.

Fig.2는 제작된 소자의 textured 표면형상이며 Fig.3는 실물사진이다.

4. 결과 및 고찰

Spectral Energy Corp.의 ss 1000×solar simulator와 HP 4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 제작된 소자들의 전기 광학적 특성을 조사하였다. Fig. 4은 측정장치의 구성도이다.

Fig. 4의 장치에서 ss 1000×solar simulator의 스펙트럼은 AM-1(airmass-1)이며⁹⁾ 입사광의 세기를 100 mW/cm²으로 조절하였다. Fig. 5는 빛을 차단한 상태에서 순방향 전압에 따른 전류값을 HP4145B로 측정한 그림이다. 순방향 전압이 nkT/q보다 충분히 클때는 Shockley 방정식으로 부터 태양전지의 암전류 전압 관계식이

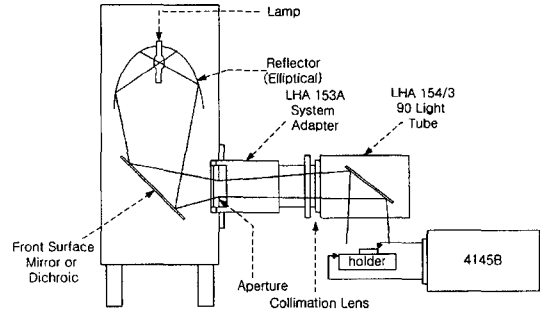


Fig. 4. Schematic diagram of the measurement system.

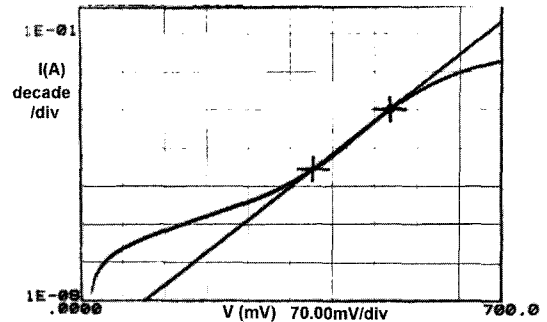


Fig. 5. The dark forward current-voltage characteristics.

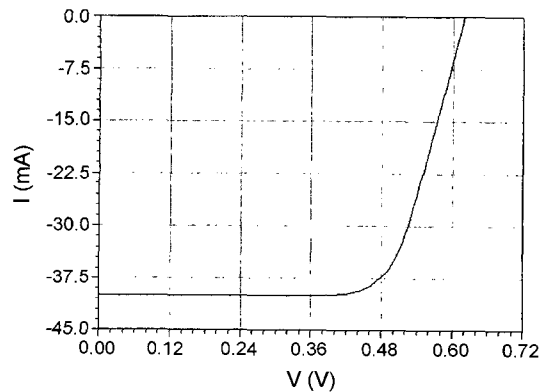


Fig. 6. The photocurrent-voltage characteristics.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \tag{1}$$

로 표현된다. 여기서 I₀와 n은 다이오드의 포화 전류와 이상계수이다. 역포화전류는 점근선이 전류축과 만나는 점의 좌표값으로 나타나며 점근선상의 임의점에서 다이오드의 이상계수를 계산적으로 구할 수 있다.

Fig. 6은 제작된 전지의 광전류-전압 특성곡선이다. Fig. 6에서 100 mW/cm², AM-1 스펙트럼 아래

Table 1. Electro-optical parameters

parameters	symbols	unit	TSEB cell
reverse saturation current	I_0	A	0.5×10^{-9}
ideality factor	n	-	1.3
series resistance	R_s	Ω	2.5
open circuit voltage	V_{oc}	V	0.62
short circuit current	I_{sc}	mA	40
fill factor	FF	-	0.7
efficiency	η	%	16

측정된 전지의 개방전압(V_{oc})은 0.62 V로 단락전류(I_{sc})는 40 mA로, 충실도 (FF)는 0.7로 나타나고 있다. 태양전지의 효율을

$$\eta = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF / A \cdot P_{in} \quad (2)$$

관계식으로부터 계산하면 제작된 전지는 16%의 전력변환효율 특성을 보이고 있다.

전지의 직렬저항 (R_s)값은

$$R_s = 2 \left[\frac{V_{oc}}{I_{sc}} - \frac{A_p}{I_{sc}^2} - \frac{nkT}{q} - \frac{1}{I_{sc}} \right] \quad (3)$$

의 관계식으로부터 계산할 수 있으며, 여기서 A_p 는 동작영역의 loop power이다⁽⁹⁾.

표 1에서는 제작된 전지들의 전기광학적 특성과 라미터들을 요약하였다.

태양전지가 갖는 실제효율은 물리적구조 외에도 공정환경과 제조기술에도 크게 영향을 받는다. 예를 들어 동일구조의 태양전지라고 할지라도 광이 입사되는 이미터 영역을 적절한 분위기에서 passivation하는 경우와 그렇지 않은 경우, 또한 공정환경의 양호성에 따라 전지의 효율특성은 크게 달라진다. 본 연구에서는 실험실 규모에서 소자를 제작한 결과 TSEB 전지로부터 최고수준의 고효율 특성을 얻을 수는 없었으나 동일한 공정환경에서 제작된 플래너형 n^+p 전지에 비해 효율특성이 훨씬 우수하게 나타났다.

TSEB 전지의 이러한 효율개선은 p^-/p^+ 에피구조에 의한 광흡수 영역에서의 캐리어 드리프트 이동과 효과적 배면전계의 형성, 그리고 낮은 직렬저항에 의한 결과로 판단된다.

마이크로전자 및 패키징학회지 제10권 제2호 (2003)

5. 결 론

본 연구에서는 비교적 제조공정이 간단하면서도 고효율 특성을 얻을 수 있는 새로운 구조의 TSEB(textured surface epitaxial base) 전지를 제작하였다.

TSEB 전지의 구조적 특징은 textured 표면에 의해 광반사 손실을 줄이고 광이 흡수되는 p^- 영역에서 발생된 전자를 이미터 쪽으로 전계 이동시켜 소수캐리어의 수집효율을 높이고 있다. 또한 p^-/p^+ 베이스 구조를 통해 기판에서 낮은 직렬저항과 효과적인 배면전계를 제공하며 이미터-금속전극 간의 buried contact을 삽입하여 이미터 직렬저항을 줄이고 있다.

제작된 전지는 100 mW/cm² 입사광 아래에서 0.62 V의 개방전압과 40 mA의 단락전류, 0.7의 충실도, 16%의 전력변환 효율특성을 나타내었다. 또한 전지의 직렬저항은 2.5 Ω 으로 비교적 낮게 나타났으며 빛이 차단된 상태에서 역포화전류는 0.5×10^{-9} A로 나타났다.

본 연구에서 제안된 전지는 p^-/p^+ 에피구조에 의한 광흡수 영역에서 캐리어의 드리프트 이동과 효과적 배면전계의 형성, 그리고 buried contact을 통한 낮은 직렬저항 등으로 인해 고효율 Si 태양전지의 제작에 적합한 구조로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2001학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., 798 (1981).
2. R. A. Arndt, J. F. Allison, J. G. Haynos and A. Meulenbergh, Jr., "Optical Properties of the COMSAT Non-Reflective Cell", Conf. Rec. 11th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., IEEE, New York, 40 (1975).
3. P. A. Iles, "Antireflection Coatings for Solar Cells", J. Vac. Sci. Technol., 14(5), 1100-1105 (1977).
4. Eun Chel Cho, Young Hyun Cho, Dong Seop Kim, Soo Hong Lee and Il Hwan Ji, "Development Status of Silicon Solar Cell", J. Korean Institute of Electrical

- and Electronics Mat. Eng., 8(3), 362-370 (1995).
5. S. R. Dhariwal, "Theory of Back Surface Field Silicon Solar Cells", Solid State Electronics, 24(12), 1162-1165 (1981).
 6. Sinton, R. A., Y. Kwark, J. Y. Gan and R. M. Swanson, "27.5% Silicon Concentrator Solar Cells", IEEE Electron Device Lett., EDL-7 567 (1986).
 7. R. Swanson, S. Beckwith, R. Crane, W. Eades, Y. Kwark, R. Sinton and S. Swirhun, "Point-Contact Silicon Solar Cells", IEEE Trans. Electron Devices, ED-31, 661 (1984).
 8. Jianhua Zhao, Aihua Wang, Martin A. Green and Francesca Ferrazza, "19.8% Efficient Honeycomb Textured Multicrystalline and 24.4% Monocrystalline Silicon Solar Cells", Appl. Phys. Lett., 73(14), 1991-1993 (1998).
 9. E. S. Yang, "Microelectronic Devices", McGraw-Hill, 366-367 (1988).
 10. Gerardo L. Araujo, "A New Method for Experimental Determination of the Series Resistance of a Solar Cell", IEEE Trans. on Electron Devices, 29(10), 1511-1513 (1982).