

에피텍셜 베이스 실리콘 태양전지에서 Buried Contact 효과

장지근[†] · 임용규 · 정진철
단국대학교 전자컴퓨터학부

Effect of Buried Contact on the Epitaxial Base Silicon Solar Cell

Gee Keun Chang[†], Yong Keu Lim and Jin Cheol Jeong
Department of Electronics and Computer Science, Dankook University San 29,
Anseo-dong, Cheonan, Chungnam 330-714, Korea

(2003년 4월 2일 받음, 2003년 5월 2일 최종수정본 받음)

Abstract The new epitaxial base cell as a high efficiency Si solar cell was fabricated and the effect of buried contact on the cell characteristics was investigated. In our experiments, the cell with buried contact 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 insertion of buried contact in the epitaxial base structure brought the fabricated cell to the efficiency improvement of about 33%. The 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 reduction of emitter series resistance by n⁺ buried contact.

Key words solar cell, epitaxial base, buried contact, efficiency, series resistance

1. 서 론

광 에너지를 전기적 에너지로 변환시키는 태양전지의 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 태양전지 제작에 이용되는 대표적 기술로는 표면에서 광반사 손실을 줄이기 위한 surface texturing 기술²⁾과 광반사 방지막 형성 기술,³⁾ 캐리어의 재결합 손실을 줄이기 위한 이미터 passivation 기술⁴⁾과 배면전계 형성기술,^{5,6)} 낮은 직렬 저항을 얻기 위한 불순물 조절기술과 그리드전극 설계기술 등을 들 수 있다.

최근에 이르러 Stanford 대학에서 PC(point-contact) 구조, UNSW에서 PERL(passivated emitter rear locally diffused) 구조 등 20% 이상의 고효율 태양전지들이 발표 되었으나,^{7,8)} 이들 전지들은 여러번의 불순물확산과 고

온산화, lithography 과정이 필요함으로 제조 공정이 복잡하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 비교적 제조공정이 간단하면서도 고효율특성을 얻을 수 있는 새로운 구조의 에피텍셜 베이스 Si 태양전지를 제안하고, 제안된 구조에서 이미터-상부전극간의 buried contact이 전지의 효율개선에 미치는 영향을 조사하였다.

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 도핑분포 그리고 공정기술에 영향을 받는다.

본 연구에서는 제조공정이 간단하면서도 우수한 효율특성을 얻을 수 있는 새로운 에피텍셜 베이스 Si 태양전지로 Fig. 1과 같은 구조의 소자들을 설계하고 이들을 제작하였다.

Fig. 1(a)는 이미터 영역과 상부전극 사이에 n⁺ 매몰층 없이 직접적으로 금속-반도체를 접촉한 구조이며 Fig. 1(b)는 금속-반도체 접촉 부위에 n⁺ 매몰층을 삽입하여 이미터 영역의 상부전극을 형성한 경우이다. 에피텍셜 베이스 Si 태양전지의 특징은 광이 흡수되는 유효영역의 길이 정도만을 저농도로 에피성장시켜 p⁻ 영역에서 소수캐

[†]E-Mail : semicgk@dankook.ac.kr

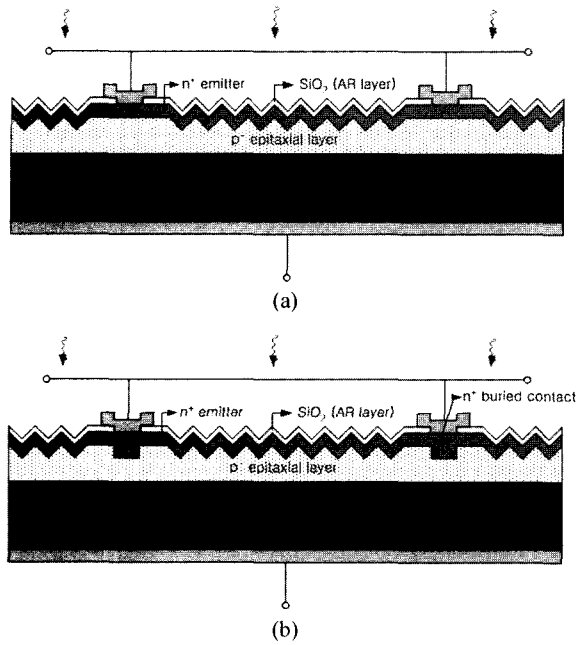


Fig. 1. The epitaxial base Si solar cells ; (a) without and (b) with buried contact.

리어의 드리프트 이동에 의한 수집효율을 높이는 데 있다. 또한 고농도 도핑된 기판을 사용함으로써 배면전계가 자연히 형성되며 광전류가 흐르는 기판에서의 직렬저항을 최대한 줄이고 있다. Fig. 1(a)의 구조에서 이미터 영역은 고농도로 도핑됨으로 이 영역에서 광생성된 캐리어들은 대부분 재결합 소멸된다. 따라서 전지의 효율증대를 위해서는 이미터 영역을 가능한 얇게 만들어야 하는데 이미터 영역이 극히 얇아질 경우 전지의 이미터 직렬저항이 증가하게 된다. Fig. 1(b)의 buried contact 에 피택셀 베이스 전지는 금속-반도체 접촉 부위에 n+ 매몰층을 삽입함으로써 얇은 이미터 영역을 통해서도 전지의 직렬저항을 크게 줄일 수 있는 구조로 연구된다.

3. 소자 제작

단위전지의 유효입사광 면적을 1.1 cm²로 설계하여 공정마스킹들(표면 texturing 용, 소자 격리용, 이미터 확산용, 금속-반도체 접촉용, 그리드 전극용)을 제작하였으며 비저항이 약 0.01 Ω·cm인 p⁺(111) 상에 약 16 μm 두께의 p 에피층(ρ ≃ 100 Ω·cm)을 갖는 웨이퍼를 전지의 기판으로 사용하였다. 공정순서로는 먼저 각 시료의 웨이퍼를 산화한 후 사진식각술로 전지의 수광면을 약 2 μm 깊이로 등방성 식각하여 texturing 하였다. 이후 산화막을 모두 제거하고 약 6000 Å의 산화막을 다시 형성하여 소자간의 격리영역과 전지의 뒷면을 개방하고 붕소를 확산(Rs = 10 Ω/□)하였다. 다음으로 웨이퍼 뒷면의 산화막을 보호한 상태에서 Fig. 1(b)의 시료에 대해서만 금속-반도체 접촉영역에 n⁺ 매몰층을 형성한 후 모든 전지의 이미터 영역을 개방하여 T = 960°C에서 450초간 인(phos-

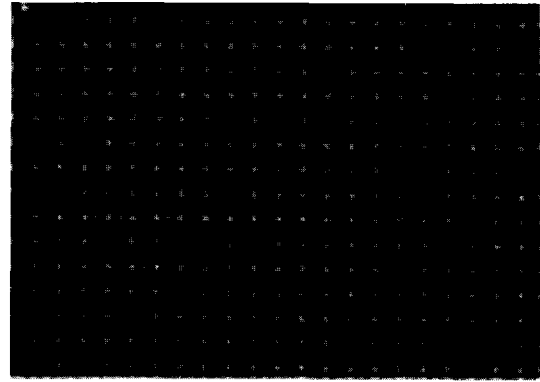


Fig. 2. Top view of the textured surface.

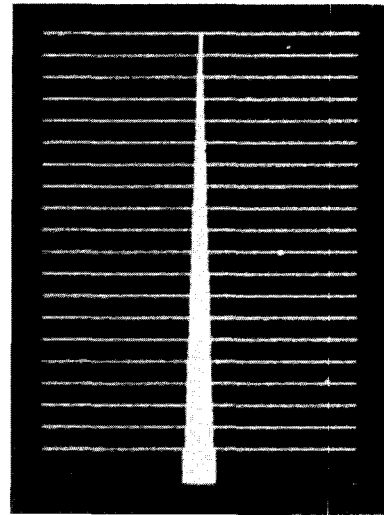


Fig. 3. Photograph of the fabricated cell.

phorous)을 확산(Rs = 100 Ω/□)하였다. 이후 약 1200 Å의 SiO₂막을 광반사 방지막으로 성장시키고 금속-반도체 접촉 장구를 개방한 후 Al 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. 4는 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/q)보다 충분히 클때는 Shockley 방정식으로 부터 태양전지의 암전류 전압 관계식이

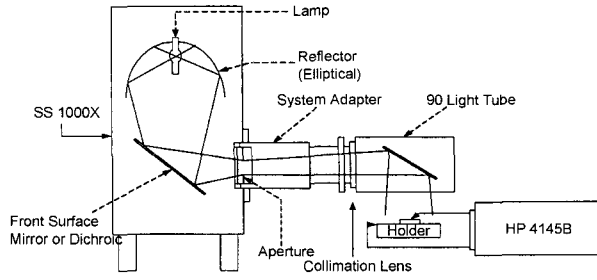


Fig. 4. Schematic diagram of the measurement system.

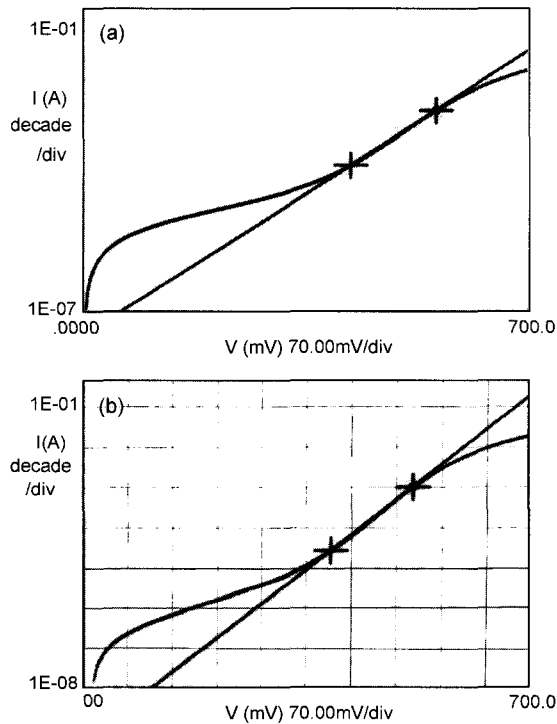


Fig. 5. The dark forward current-voltage characteristics of the cells; (a) without and (b) with buried contact.

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

로 표현된다. 여기서 I_0 와 n 은 다이오드의 포화전류와 이상계수이다.

역포화전류는 점근선이 전류축과 만나는 점의 좌표값으로 나타나며 점근선상의 임의점에서 다이오드의 이상계수를 계산적으로 구할 수 있다.

Fig. 6은 제작된 전지들의 광전류-전압 특성곡선이다. Fig. 6에서 100 mW/cm^2 , AM-1 스펙트럼 아래 측정된 buried contact이 없는 전지(Fig. 6a)의 개방전압(V_{oc})은 0.58V로, 단락전류(I_{sc})는 38 mA로, 충실도 (FF)는 0.6으로 나타나고 있으며, buried contact을 갖는 전지의 경우 개방전압은 0.62 V로, 단락전류는 40 mA로, 충실도는 0.7로 나타나고 있다. 태양전지의 효율을

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

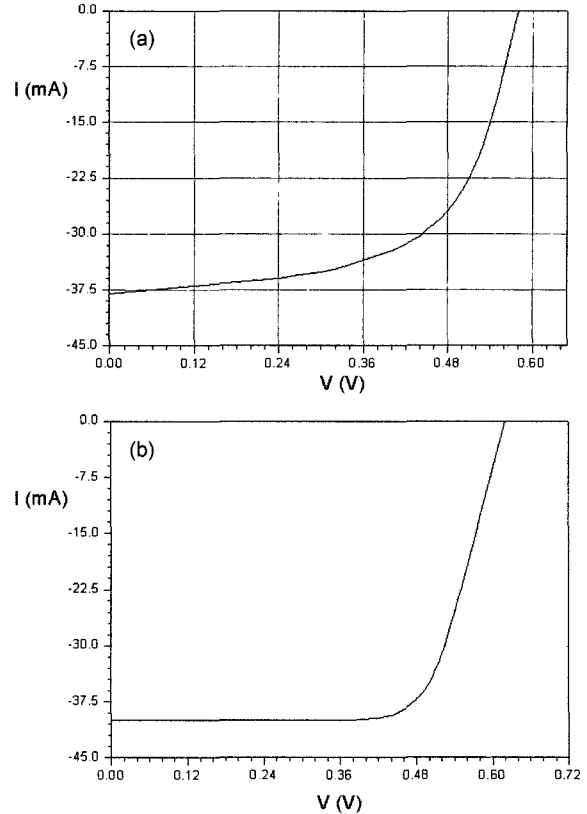


Fig. 6. Photocurrent-voltage characteristics of the cells; (a) without and (b) with buried contact.

관계식으로부터 계산하면 Fig. 6(a) 전지는 12%, Fig. 6(b) 전지는 16%의 전력변환효율 특성을 보이고 있다.

전지의 직렬저항 (R_s)값은

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

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

표 1에 제작된 전지들의 전기광학적 특성파라미터들을 요약하였다.

태양전지가 갖는 실제효율은 물리적구조 외에도 공정 환경과 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 제작된 전지로부터 현존 최고 수준의 효율특성을 얻을 수는 없었으나 에피택셜 베이스 전지구조에서 buried contact의 삽입은 이미터 직렬저항을 감소시켜 효율특성이 크게 개선됨을 확인할 수 있었다. 에피택셜 베이스 전지는 기본적으로 p^-/p^+ 에피구조에 의한 광흡수 영역에서의 캐리어 드리프트 이동과 효과적 배

Table 1. Electro-optical parameters.

parameters	symbols	unit	cells	
			without buried contact	with buried contact
reverse saturation current	I_0	A	3.4×10^{-8}	0.5×10^{-9}
ideality factor	n	-	1.8	1.3
series resistance	R_s	Ω	5	2.5
open circuit voltage	V_{oc}	V	0.58	0.62
short circuit current	I_{sc}	mA	38	40
fill factor	FF	-	0.6	0.7
efficiency	η	%	12	16

면전계의 형성, 그리고 낮은 베이스 저항특성을 갖고 있어 이미터 직렬저항을 줄일 수 있는 buried contact 전지는 고효율 Si 태양전지 제작에 적합한 구조로 판단된다.

5. 결 론

Si 태양전지의 효율을 개선할 수 있는 새로운 구조로 에피텍셀 베이스 전지를 제작하고 제작된 소자에서 이미터-상부전극 간의 buried contact이 전지의 효율특성에 미치는 영향을 조사하였다. 소자제작 결과, AM-1 100 mW/cm² 입사광 아래에서 buried contact을 갖는 에피텍셀 베이스 전지는 0.62 V의 개방전압과 40 mA의 단락전류, 0.7의 충실도, 16%의 전력변환 효율을 나타내었으며 buried contact이 없는 전지의 경우에 비해 약 33%의 효율개선과 50%의 직렬저항 감소특성을 보였다. buried contact을 갖는 에피텍셀 베이스 전지의 이러한 효율개선은 이미터-상부전극 간의 n⁺매몰층 삽입에 의한 이미터 직렬저항의 감소 영향으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-

2000-000-00359-0) 지원으로 연구되었음.

참 고 문 헌

1. S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., p.798 (1981).
2. R.A. Arndt, J. F. Allison, J. G. Haynos and A.Meulenberg. Jr., Conf. Rec. 11th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., IEEE, New York, p.40 (1975).
3. P. A. Iles, J. Vac. Sci. Technol., **14**(5), 1100 (1977).
4. M. A. Green, J. Zhao and S. R. Wenham, IEEE Electron Device Letters, **13**(6), 317-318 (1992).
5. S. R. Dhariwal, Solid State Electronics, **24**(12), 1162 (1981).
6. Sinton, R. A., Y. Kwark, J. Y. Gan and R. M. Swanson, IEEE. Electron Device Letters, EDL-7, 567 (1986).
7. Eun Chel Cho, Young Hyun Cho, Dong Seop Kim, Soo Hong Lee and Il Hwan Ji, J. Korean Institute of Electrical and Electronics Mat. Eng., **8**(3), 362 (1995).
8. Jianhua Zhao, Aihua Wang, Martin A. Green and Francesca Ferrazza, Appl. Phys. Lett., **73**(14) 1991 (1998).
9. E. S. Yang, Microelectronic Devices, McGraw-Hill, 366-367 (1988).
10. Gerardo L. Araujo, IEEE Trans. on Electron Devices, Vol.ED-29, No.10, 1511 (1982).