

ITO/InP 태양전지 제작에 응용된 sulfur passivation의 효과

(The effects of sulfur passivation on the performance of ITO/InP solar cells)

李永鐵*, 韓教龍*

(Young Chorl Lee and Kyo Yong Han)

요 약

ITO/InP 태양전지의 전기적 특성을 향상시키기 위해, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액을 이용한 sulfur passivation 방법을 태양전지 제작 공정에 응용하였다. Sulfur passivation의 효과를 분석하기 위해, 다양한 공정조건에서 ITO/InP 태양전지를 제작하여 ITO/InP 태양전지의 단락전류밀도(J_{sc})와 ITO/InP 계면의 저온 photoluminescence(PL)를 측정하였다. 그 결과, sulfur passivation 처리된 태양전지의 단락전류가 상대적으로 증가하였다. 그리고, 단락전류와 PL intensity의 증가 및 감소는 같은 경향으로 변화하는 상관관계를 처음으로 확인하였다. 특히, 60°C 공정온도에서 passivation 처리된 태양전지가 가장 큰 J_{sc} 와 PL intensity를 보여 주었다. 따라서 ITO/InP 계면의 상태밀도가 단락전류에 크게 영향을 미치고 있음이 확인 되었다.

Abstract

In order to improve the electrical performance of ITO/InP solar cells, sulfur passivation technique was employed using $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ solution. Passivation effects were analyzed by measuring the short circuit current density(J_{sc}) of solar cells and photoluminescence(PL) of ITO/InP interfaces. This paper firstly reports the sulfur passivation effects by investigating the correlation between the PL intensity and the short circuit current. Generally, PL intensity and the short circuit current of sulfur passivated samples were increased, and showed the same trend. Especially, samples prepared at 60°C $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ solution exhibited the highest J_{sc} and PL intensity. These results demonstrated that the short circuit currents was influenced by the ITO/InP interface states.

I. 서 론

III-V 화합물 반도체 표면에 존재하는 높은 표면상태밀도 (surface state density)는 안정성과 신뢰성을 갖는 III-V 초고속 전자 소자 및 광소자의 구현을 어렵게 한다. 따라서 성능향상을 위해 표면의 전기적 성질을 향상시키려는 많은 연구노력이 집중되어 왔다. 그중 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 을 이용한 습식

sulfur passivation의 결과로 얻어지는 낮은 표면 상태밀도, 낮은 표면재결합속도 (surface recombination velocity), 그리고, unpinned surface 때문에 MISFETs^[1], HBTs^[2], Laser Diodes^[3,4], photodetectors^[5] 등의 다양한 III-V 소자의 구현 및 성능향상을 위해 많은 연구가 성공적으로 진행되어 왔다. InP Metal-Semiconductor-Metal photodetectors에 sulfur passivation을 응용한 결과^[5]에 따르면, 암전류(dark current)가 현저히 감소되었다. 이와 같은 결과는 표면상태밀도의 감소에 기인한다고 보고되었다. InP MISFET^[1]에 응용된 경우, InP와 P_3N_5 사이에 존재하는 계면상

* 正會員, 嶺南大學校 工科大學校 電氣·電子 工學部
(School of Electrical and Electronic Engineering
College of Engineering, Yeungnam University)
接受日字:1997年6月28日, 수정완료일:1997年8月18日

태밀도의 감소, 높은 전자의 이동도, 그리고 드레인 전류가 상당히 안정되었다. 이것은 sulfur passivation에 의해 InP 표면의 native oxide가 효과적으로 제거되어 재산화가 방지되었기 때문에, InP 표면에서 표면상태들이 감소된 것으로 설명하였다.

ITO/InP 태양전지^[6,7,8,9]는 저 농도로 도핑된 p-type InP 기판 위에 Indium Tin Oxide(ITO)를 스퍼터링하여 제작된다. 따라서 ITO/InP 계면의 전기적 특성이 소자성능에 미치는 영향에 대한 고찰이 요구된다. X. Li^[6,7] 등은 Ar/H₂ 환경에서 ITO를 스퍼터링하여 제작된 ITO/InP 태양전지가 Ar/O₂ 환경에서 제작된 태양전지에 비해 상대적으로 향상된 성능을 나타낸다고 보고하였다. T. J. Coutts^[9] 등은 H₂ 플라즈마가 p-type 억셉터인 Zn를 passivation^[10,11] 하여, p-type InP 표면을 n-type으로 변환시키는 type conversion의 효과를 증가시키고, 또한 InP 표면 및 벌크(bulk)에 존재하는 deep level traps을 passivation^[12] 하여 소자의 특성이 향상되었다고 설명하였다. 그러나, H₂ 플라즈마는 억셉터 passivation과 deep level passivation 효과와 더불어, InP 표면의 phosphorus의 결핍^[10,12]을 유도하여 표면 roughness 및 표면상태밀도의 증가의 원인이 되어, 성능저하를 초래할 수 있다. 따라서 H₂ 플라즈마에 의해 억셉터(Zn)의 passivation과 deep level passivation 효과를 증대시키고, InP 표면의 phosphorus의 공핍을 최소화하기 위한 노력이 요구된다.

본 논문에서는 InP 표면에 sulfur(S) 층을 형성시켜, H₂ 플라즈마에 의한 InP 표면의 phosphorus의 결핍을 방지할 수 있는, (NH₄)₂S_x을 이용한 습식 sulfur passivation 방법^[13,14]을 제작 공정에 도입하였다. Sulfur passivation 효과를 분석하기 위해, 다양한 공정조건에서 ITO/InP 태양전지를 제작하여, 단락전류와 ITO/InP 계면의 저온 PL을 측정하였다. 또한 그 상관관계를 조사하였다.

그 결과, 계면상태밀도와 InP 벌크 내에 존재하는 deep level traps이 sulfur passivation 방법에 의해 감소하여, 입사한 빛에 의해 생성된 광캐리어의 손실이 최소화되어 태양전지의 단락전류와 PL intensity가 증가하였다.

II. 실험

ITO/InP 태양전지 제작에 사용된 InP 기판은 방향이 (100), Zn가 약 10^{16}cm^{-3} 으로 도핑된 p-type이다. 기판 뒷면에 낮은 옴성 접합(ohmic contact)을 형성하기 위해 Au/Be(1wt%Be)을 진공 증착기로 약 2000Å 증착한 후 375°C에서 2분간 Rapid Thermal Processing(RTP)를 시행하였다.

(NH₄)₂S_x 용액을 이용한 sulfur passivation 공정의 변수는 용액의 온도, 농도, 입사하는 빛의 세기, 그리고 시간이다. 본 실험에서는 시간을 15분으로, 용액의 농도를 (NH₄)₂S_x:H₂O(1:1)로 고정하고 용액의 온도 변화에 대한 passivation 효과를 비교하고자 하였다. 용액을 40°C, 50°C, 60°C, 그리고 70°C로 각각 가열한 후, InP 기판을 (NH₄)₂S_x 용액에 담그고, tungsten lamp(300W)를 15분간 조사하였다. InP 기판 위에 남아있는 용액을 N₂로 제거하였다. (NH₄)₂S_x 처리된 InP 기판이 공기 중에 장시간 노출될 경우 passivation 효과가 감소되기 때문에 빠른 시간 내에 스퍼터링 챔버에 InP 기판을 넣는다.

ITO를 Ar/H₂ 분위기에서 RF 스퍼터링 방법으로 약 50Å 증착한다. 그리고 ITO를 반사방지막으로 사용하기 위해 광투과성이 우수한 Ar/O₂ 분위기에서 ITO를 약 500Å 증착하였다. ITO 스퍼터링 조건은 다음과 같다. Ar/H₂ 분위기에서 RF 전력은 24W, base 압력은 4×10^{-4} torr, 공정 압력은 1.4×10^{-3} torr, H₂ 유량비는 8sccm, Ar의 유량비는 17.5sccm이었다. Ar/O₂ 환경에서 RF 전력은 6W, base 압력은 4×10^{-5} torr, 공정 압력은 1.4×10^{-3} torr였다. Ar의 유량비는 17.5sccm, O₂의 유량비는 1.5sccm이었다.

면적이 $1.8 \times 1.8 \text{mm}^2$ 인 태양전지의 활성화 영역을 만들기 위해 photolithography 공정을 이용하여 증착된 ITO를 희석한 HF 용액으로 에칭한 후, InP를 H₃PO₄:H₂O₂:H₂O(1:2:1) 용액으로 약 2000Å 에칭하였다. 태양전지의 활성화 영역 위의 top grid contact은 Al 박막을 약 1500 - 2000Å 두께로 진공 증착하였다. Grid contact의 finger의 길이는 5 μm , finger 사이 폭은 450 μm 이다. 활성화 영역에 대한 grid contact의 면적비는 약 5.5%이다.

그림 1은 본 연구에서 제작한 ITO/InP 태양전지의 단면 구조이다.

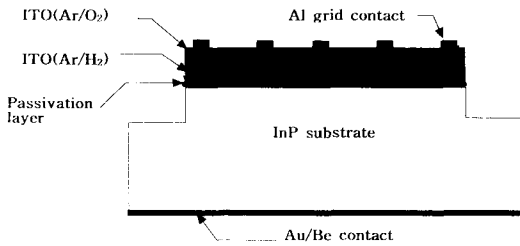


그림 1. ITO/InP 태양전지의 단면구조(finger 길이 : $5\mu\text{m}$, 간격 : $450\mu\text{m}$)

Fig. 1. Schematic cross section of an ITO/In solar cell(finger width : $5\mu\text{m}$, spacing : $450\mu\text{m}$).

III. 결과 및 고찰

제작한 ITO/InP 태양전지의 단락전류(J_{sc})와 개방전압(V_{oc})을 측정하기 위해 probe-station에서 현미경의 광원(tungsten lamp:200mW)을 태양전지에 조사하여 측정하였다. 그림 2는 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리되지 않은 ITO/InP 태양전지와 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액의 온도를 40°C , 50°C , 60°C , 그리고 70°C 로 변화시켜 제작된 ITO/InP 태양전지의 J_{sc} 와 V_{oc} 을 보여준다. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리되지 않은 ITO/InP 태양전지에 비해 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 태양전지의 단락전류(J_{sc})가 상대적으로 크게 증가한 것을 볼 수 있다. 그러나 개방전압(V_{oc})은 거의 변화가 없었다. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 태양전지의 경우 온도가 증가함에 따라 J_{sc} 도 같이 증가하였다. 특히, 60°C $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액의 온도에서 처리된 샘플에서 J_{sc} 가 약 $5.2\text{mA}/\text{cm}^2$ 으로 가장 우수하였다. 이것은 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액의 온도가 증가함에 따라 InP 표면의 native oxide가 효율적으로 제거되어 ITO와 InP 사이의 낮은 접촉저항이 형성된 것으로 생각된다. 그리고 indium과 sulfur의 결합으로 인해 InP 표면이 안정화^[13,14]되었고, InP 표면의 sulfur 층 때문에 H_2 플라즈마에 의한 InP 표면의 phosphorus 결핍^[10,12]이 방지되어 InP와 ITO 계면에 존재하는 상태밀도가 감소된 것으로 생각된다. 이와 같은 상태밀도의 감소로 인해 입사한 빛에 의해 생성된 광 캐리어의 확산거리를 증가시켜

손실을 최소화한 것으로 생각된다. 그러나 70°C 에서 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 태양전지의 J_{sc} 는 감소하였는데, 이것은 다음의 원인으로 생각된다. 70°C 의 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액에서 sulfur(S) 석출물(crust)이 심하게 발생하였다. 이런 sulfur(S) 석출물로 인한 InP 표면의 오염이 원인이 되어 단락전류가 감소한 것으로 생각된다.

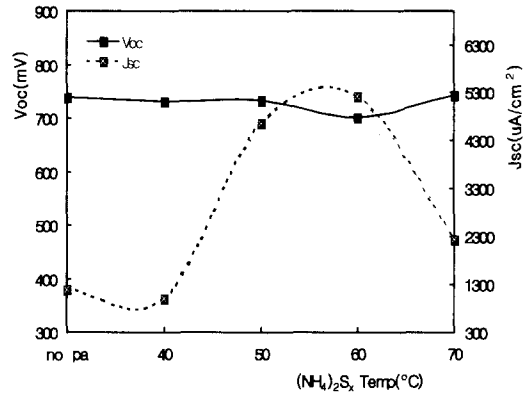


그림 2. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액 온도 변화에 대한 sulfur passivation의 효과(no pa : $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ passivation 처리되지 않은 ITO/InP 태양전지)

Fig. 2. Effect of sulfur passivation on temperature changes of $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ solution (no pa : unpassivated ITO/InP solar cell)

60°C 에서 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 태양전지의 단락전류가 약 $5.2\text{mA}/\text{cm}^2$ 으로 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리되지 않은 ITO/InP 태양전지의 단락전류($1.1\text{mA}/\text{cm}^2$)에 비해 약 5배 증가한 것을 확인하였다. 60°C 에서 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 계면의 sulfur passivation 효과를 분석하기 위해, 다음과 같이 샘플을 제작하여 저온 PL을 측정을 하였다. 기준(bare) InP 샘플, 60°C 에서 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 샘플, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리되지 않은 ITO/InP 샘플을 제작하였다. ITO 스퍼터링 공정 조건은 RF 전력이 24W, 수소 유량이 3sccm이었다. 그림 3은 세 개의 peak를 가지는 InP의 전형적인 PL 스펙트럼을 보여주고 있다. 약 875nm 에서 peak는 conduction band edge에서 valence band edge (BE)로의 전이이고, 약 900nm 에서의 peak는 conduction band에서 acceptor(e^- -A) 전이이다. 그리고 약 925nm 에서 약한 peak는 LO phonon에

의한 것이다^[13]. 기준 InP 시편은 ITO가 없기 때문에 PL intensity가 높게 측정된 것으로 생각된다. 60°C에서 (NH₄)₂S_x 처리된 ITO/InP 샘플의 PL intensity가 (NH₄)₂S_x 처리되지 않은 ITO/InP 샘플의 PL intensity에 비해 약 3배 증가하는 것을 볼 수 있다. Sulfur passivation 공정으로 PL intensity가 상대적으로 크게 증가한 것은 다음과 같이 설명될 수 있다. Sulfur passivation 공정으로 InP 표면의 native oxide가 효율적으로 제거^[13,14] 되었고, 그 표면에 sulfur 층이 형성되어 Ar/H₂ 환경에서 ITO 스퍼터링시 H₂ 플라즈마에 의해 발생하는 phosphorus 결핍이 방지된 것으로 보여진다. 따라서 InP 표면에서 비방사(nonradiation) 재결합 중심으로 작용하는 표면 상태(surface states)들이 효과적으로 passivation되었고, InP와 ITO의 계면에 존재하는 계면상태밀도의 감소에 기인한다고 생각된다. 또한, InP의 재결합 중심(traps)이 Ar/H₂ 환경에서 스퍼터링 공정 중 H₂ 플라즈마에 의해 passivation되어 PL intensity가 증가한 것으로 생각된다.

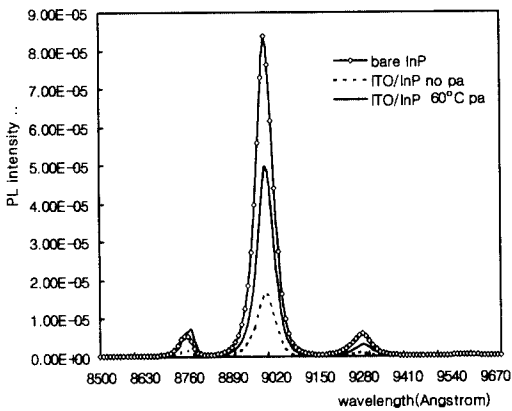


그림 3. ITO/InP 샘플의 저온 PL 스펙트럼(T=9°K, Ar Laser power=20mW, λ_{ex}=5145Å, pa: passivation)

Fig. 3. Low-temp PL spectra of ITO/InP samples (T=9°K, Ar Laser power=20mW, λ_{ex}=5145Å, pa:passivation).

(NH₄)₂S_x 용액의 온도 변화에 대한 sulfur passivation 효과를 ITO/InP 태양전지의 단락전류를 측정하여 확인하였다. 따라서, (NH₄)₂S_x 용액의 온도 변화에 대한 sulfur passivation 효과를 분석

하기 위해 ITO/InP 계면의 저온 PL을 측정하였다. PL 측정 결과를 태양전지의 단락전류와 비교, 분석하였다.

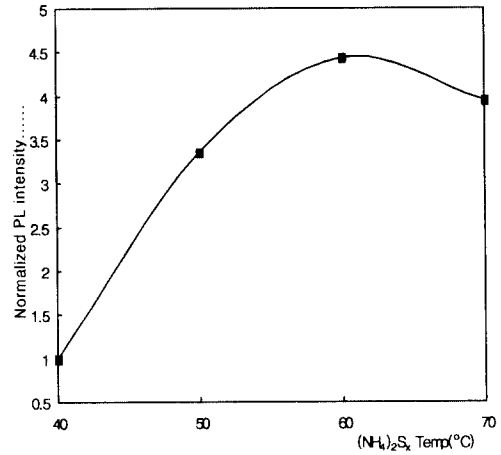


그림 4. (NH₄)₂S_x 용액 온도 변화에 대한 ITO/InP 샘플의 PL intensity

Fig. 4. PL intensity of ITO/InP samples on temperature changes of (NH₄)₂S_x solution.

(NH₄)₂S_x 용액을 40°C, 50°C, 60°C, 그리고 70°C로 각각 가열한 후, InP 기판을 용액에 담그고, tungsten lamp(300W)를 15 분간 조사하였다. InP 기판 위에 남아있는 용액을 N₂ 건(gun)으로 제거한 후, ITO를 Ar/H₂ 환경에서 RF 스퍼터링 방법으로 약 50 Å 증착하고, 연속적으로 Ar/O₂ 환경에서 ITO를 약 500 Å 증착하였다. ITO 스퍼터링 공정 조건은 앞의 ITO/InP 태양전지의 제작 때와 동일하다. 제작된 ITO/InP 샘플들을 PL 측정하였다. PL 측정 조건은 다음과 같다. 측정 온도는 10°K였고, power가 20mW, 파장이 5145 Å인 Ar laser를 이용하였다. 그림 4는 (NH₄)₂S_x 용액의 온도를 변화시켜 제작한 ITO/InP 샘플의 PL intensity를 보여주고 있다. y축의 PL intensity는 40°C에서 (NH₄)₂S_x 처리된 ITO/InP 샘플의 PL intensity를 기준으로 정규화한 것이다. (NH₄)₂S_x 용액의 온도가 높아짐에 따라 PL intensity가 증가하였다. 특히, 60°C에서 (NH₄)₂S_x 처리된 ITO/InP 샘플의 PL intensity가 가장 우수하게 나타났다. 그러나 (NH₄)₂S_x 용액의 온도가 70°C로 높아짐에 따라 PL intensity가 감소하였다. 이러한 결과는 용액의 온도변화에 대한 태양전지의 단락

전류와 동일하다. 즉, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액의 온도 변화에 대한 단락전류의 증가 및 감소가 PL intensity의 증가 및 감소와 동일하였다. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액의 온도 변화에 대한 PL intensity 변화의 원인은 태양전지의 단락전류 변화와 동일한 것으로 생각된다. PL intensity의 증가는 sulfur passivation에 의해 ITO와 InP의 계면에 존재하는 계면상태밀도의 감소와 H_2 플라즈마에 의한 deep level passivation에 기인한다. 이와 같은 계면상태밀도의 감소와 deep level passivation에 의한 deep level traps의 감소는 입사한 빛에 의해 생성된 광 캐리어의 손실을 최소화할 수 있으므로 태양전지의 단락전류를 증가시킬 것으로 생각된다. 따라서 ITO와 InP 사이에 존재하는 계면상태밀도가 단락전류에 크게 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

ITO/InP 태양전지의 전기적 특성을 향상시키기 위해, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액을 이용한 sulfur passivation 방법을 태양전지 제작 공정에 적용하였다. sulfur passivation의 효과를 분석하기 위해, 다양한 공정 조건에서 ITO/InP 태양전지를 제작하여, ITO/InP 태양전지의 단락전류(J_{sc})와 ITO/InP 계면의 저온 PL을 측정하였다.

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리되지 않은 ITO/InP 태양전지에 비해 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 태양전지의 단락전류(J_{sc})와 PL intensity가 상대적으로 크게 증가하였다. 특히, 60°C 에서 sulfur passivation 효과가 가장 우수한 것을 확인하였다. 그리고 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액의 온도 변화에 대한 단락전류의 증가 및 감소가 PL intensity의 증가 및 감소와 동일하였다. 이런 결과는 다음과 같이 설명될 수 있다. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 태양전지의 경우, InP 표면의 native oxide의 제거^[13,14]로 인한 ITO와 InP 사이의 낮은 접촉저항 형성, InP 표면의 sulfur 층 형성으로 H_2 플라즈마에 의한 InP 표면의 phosphorus 결핍^[10,12]이 방지되었고, 그로 인한 InP와 ITO 계면에 존재하는 상태밀도의 감소로 입사한 빛에 의해 생성된 광 캐리어의 확산거리를 증가시켜 ITO/InP 태양전지의 단락전류가 상대적으로 크게 증가한 것으로 생각된다.

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 처리된 ITO/InP 샘플의 PL intensity 증가는 Ar/ H_2 환경에서 ITO 스퍼터링 공정 중에 H_2 플라즈마에 의한 deep levels passivation^[12], 그리고 InP의 표면 상태(surface states)들이 passivation 되어 InP와 ITO의 계면에 존재하는 계면상태밀도의 감소에 기인한다고 볼 수 있다.

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액을 이용한 sulfur passivation 공정으로 ITO와 InP의 계면상태를 개선할 수 있음을 확인하였고, ITO/InP의 계면상태밀도가 태양전지의 단락전류에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

※ 본 연구는 서울대학교 반도체 공동연구소의 반도체 분야 교육부 학술연구구성비(95-E-3013)에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Y. H. Jeong, S. K. Jo, B. H. Lee, and T. Sugano, "Enhancement Mode InP MISFET's with Sulfide Passivation and Photo-CVD Grown P_3N_5 Gate Insulators", IEEE Electron Device Letters, vol. 16, no. 3, pp. 109-111 1995
- [2] C. J. Sandroff, R. N. Nottenburg, J. -C. Bischoff, and R. Bhat, "Dramatic enhancement in the gain of a GaAs/AlGaAs heterostructure bipolar transistor by surface chemical passivation" Appl. Phys. Lett. vol. 51, no. 1, pp. 33-35, 1987
- [3] Louis F. DeChiaro, and Claude J. Sandroff, "Improvements in Electrostatic Discharge Performance of InGaAsP Semiconductor Lasers by Facet Passivation" IEEE Transaction on Electron Devices, vol. 39, no. 3, pp. 561-565, 1992
- [4] A. J. Howard, C. I. H. Ashby, J. A. Lott, R. P. Schneider, and R. F. Corless, "Electrochemical sulfur passivation of visible($\sim 670\text{nm}$) AlGaInP lasers" J. Vac. Sci. Technol. A, vol. 12, no. 4, pp. 1063-1067, 1989

- [5] U. Schade, St. Kollakowski, E.h. Böttcher, and D. Bimberg, "Improved performance of large-area InP/InGaAs metal- semiconductor-metal photodetectors by sulfur passivation", Appl. Phys. Lett, vol. 64, no. 11, pp. 1389-1391, 1994
- [6] X. Li, M. W. Wanlass, T. A. Gessert, K. A. Emery, and T. J. Coutts, "High-efficiency solar cells fabricated from direct-current magnetron sputtered Indium tin oxide onto p-InP grown by atmospheric pressure metalorganic vapor phase epitaxy", J.Vac. Sci. Technol. A, vol. 7, no. 3, pp. 827-832, 1989
- [7] X. Li, M. W. Wanlass, T. A. Gessert, K. A. Emery, and T. J. Coutts, "High efficiency indium tin oxide / indium phosphide solar cells", Appl. Phys. Lett, vol. 54, no. 26, pp. 2674-2676, 1989
- [8] T.J. Coutts, and S. Naseem, "High efficiency indium tin oxide / indium phosphide solar cells", Appl. Phys. Lett, vol. 46, no. 2, pp. 164-166, 1985
- [9] T.J. Coutts, X. Li, T. A. Gessert and M. W. Wanlass, "A review of ITO/InP solar cells", SPIE Indium Phosphide and Related Materials for Advanced Electronic and Optical Devices, vol. 1144, pp 446-475, 1989
- [10] W. C. Dautremont-Smith, J. Lopata, S. J. Pearton, L. A. Koszi, M. Stavola, and V. Swaminathan, "Hydrogen passivation of acceptors in p-InP", J. Appl. Phys. vol. 66, no. 5, pp. 1993-1996, 1989
- [11] T. R. Hayes, W. C. Dautremont-Smith, H. S. Luftman, and J. W. Lee, "Passivation of acceptors in InP resulting from CH₄/H₂ reactive ion etching" Appl. Phys. Lett. vol. 55, no. 1, pp. 56-58, 1989
- [12] T. Sugino, A. Boonyasirikool, H. Hashimoto, and J. shirafuji, "Hydrogenation of InP surface by phosphorus-added hydrogen plasma", SPIE vol. 1144 Indium Phosphide and Related Materials for Advanced Electronic and Optical Devices, pp. 224-232, 1989
- [13] R. Iyer, and D. L. Lile, "Role of polysulfides in the passivation of the InP surface", Appl. Phys. Lett, vol. 5 no. 4, pp. 437-439, 1991
- [14] R. Iyer, R. R. Chang, and D. L. Lile, "Sulfur as a surface passivation for InP", Appl. Phys. Lett. vol. 53, no. 2, pp. 134-136, 1988

 저 자 소 개



李永鐵(正會員)

1969년 1월 6일생. 1995년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(B.S). 1997년 8월 영남대학교 전자공학과 졸업(M.S.). 현재 LG 반도체. 주관심분야는 광소자, 반도체 표면 passivation



韓教龍(正會員)

1959년 11월생. 1982년 2월 성균관대학교 전자공학과(학사). 1986년 5월 Univ. of Massachusetts, Amherst, Dept. of Electrical and Computer Engineering(석사). 1992년 5월 Colorado State Univ. Dept of Electrical Engineering(박사). 1992년 ~ 현재 영남대학교 전기전자공학부 교수. 주관심분야는 III-V 소자 및 공정, smart pixels, 광전 집적회로 등임