

論文98-35D-1-8

H₂S 플라즈마 passivation 방법을 응용한 ITO/InP 위성용 태양전지의 제작

(Fabrication of ITO/InP solar cells by employing H₂S plasma passivation technique)

李 永 鐵 * , 韓 教 龍 *

(Young Chorl Lee and Kyo Yong Han)

要 約

p-형 InP 표면의 type conversion과 표면의 sulfur passivation을 동시에 수행하여, 상대적으로 향상된 전기적 특성을 갖는 ITO/InP 태양전지의 제작을 위해, H₂S 플라즈마 전식 passivation 방법을 처음으로 제작공정에 도입하여, ITO/InP 위성용 태양전지를 성공적으로 제작하였다. RF 전력과 플라즈마 노출시간을 변화시켜 태양전지를 제작하였고, 제작된 태양전지의 특성을 측정하였다. 또한 passivation 효과를 분석하기 위해 ITO/InP 계면의 저온 photoluminescence (PL)를 측정하였다. 그 결과, (NH₄)₂S_x 습식 sulfur passivation 방법을 응용하여 제작된 태양전지와 비교할 때, 상대적으로 우수한 특성을 갖는 태양전지를 얻을 수 있었다.

Abstract

In order to simultaneously achieve surface type conversion and sulfur passivation of p-type InP, a H₂S plasma dry passivation technique was firstly proposed and successfully applied to the fabrication of ITO/InP solar cells. This new technique was expected to improve the performance of solar cells. The devices, fabricated by changing the process parameters such as RF power and plasma exposure time, were characterized and PL measurements were performed to investigate the passivation effects. As a result, H₂S plasma treated solar cells demonstrated better performance than that of (NH₄)₂S_x treated ones.

I. 서 론

Indium Tin Oxide (ITO)/InP 태양전지는 우수한

radiation resistance, 높은 변환효율(conversion efficiency), 그리고 제작공정의 단순함 때문에, 위성의 전력원으로 이용하기 위해 많은 연구개발이 이루어져 왔다^[1-8]. 저 농도 Zn 도핑된 p-형 InP 기판위에 ITO를 DC 마그네트론 또는 RF 스퍼터링하여, 제작되어지는 ITO/InP 태양전지의 효율을 향상시키기 위해, p-형 InP 기판의 최적 도핑농도, MgF₂ 무반사(anti-reflection) 코팅, 그리고 n⁺-p 접합 형성에 관한 연구가 집중되었다. 특히, ITO 스퍼터링 공정에 의해 p-형 InP 표면이 n-형으로 변환되는, type conversion에 대해 체계적인 연구가 진행되어 왔다. Ar/H₂ 환경에서 약 5 nm 두께의 ITO를 스퍼터링

* 正會員, 嶺南大學校 工科大學 電氣·電子工學部
(School of Electrical and Electronic Engineering
College of Engineering, Yeungnam University)

※ 본 연구는 서울대학교 반도체 공동연구소의 반도체 분야 교육부 학술연구 조성비(96-E-3010)와 부분적으로 1996년도 영남대학교 연구조교 지원비에 의해 수행되었음.

接受日字: 1997年10月10日, 수정완료일: 1997年12月31日

증착하여, 제작된 ITO/InP 태양전지의 성능이 Ar/O₂ 환경에서 제작된 태양전지에 비해 상대적으로 우수함이 실험적으로 증명되었다^[5,6]. 그 결과 H₂ 플라즈마가 type conversion에 매우 큰 영향을 미치고 있음이 확인되었다. 그 이유는 H₂ 플라즈마가 p-형 억셉터인 Zn를 passivation하여, type conversion된 n⁺-p 접합이 형성되었기 때문이다. 또한 InP 표면 및 벌크에 존재하는 deep level trap들을 passivation 하였기 때문이라 설명되었다^[8-11].

반면에, H₂ 플라즈마는 InP 표면의 phosphorus의 공핍을 유도하여, 표면의 거친(roughness) 및 표면상태밀도를 증가시켜, 태양전지의 단락전류가 감소한다^[9,12]. 따라서 ITO/InP 계면특성의 변화에 대한 ITO/InP 태양전지의 특성변화에 대한 연구가 요구된다. ITO/InP 계면 특성을 향상시키기 위해 (NH₄)₂S_x 습식 sulfur passivation방법이 제안되었다^[12,13]. (NH₄)₂S_x passivation은 표면의 native oxide을 제거하고, 재산화를 방지하므로, 낮은 표면상태밀도를 갖는 계면을 얻을 수 있다. 그 유효성은 MISFETs^[14], HBTs^[15], 레이저 다이오드^[16,17], 그리고 포토다이오드^[18] 등 다양한 III-V 소자의 성능향상을 통해 증명되어 왔다. 이 방법을 ITO/InP 태양전지의 제작공정에 응용한 결과, 표면상태밀도의 감소로 인해 표면 재결합(surface recombination)이 감소하여, 태양전지의 단락전류(J_{sc}) 및 PL intensity가 증가함을 볼 수 있었으며, H₂ 플라즈마의 phosphorus의 선택적(preferential) 에칭이 감소함을 알 수 있었다. (NH₄)₂S_x 습식공정이 소자의 성능 향상에 크게 기여함에도 불구하고, 이러한 습식공정은 공정제어 및 재현성의 문제가 존재한다. 따라서 H₂S 가스 또는 H₂S 플라즈마를 이용한 전식 passivation방법이 연구되어 왔다^[19,20]. 최근 H₂S 플라즈마에 노출된 p-형 InP 표면을 XPS로 분석한 결과, type conversion에 의해 n⁺-p shallow 접합이 형성되며, InP 표면에는 플라즈마 노출시간에 따라 In-S와 P-S bond 또는 안정된 polymeric sulfur(S_n) overlayer가 형성된다고 보고하였다^[20]. III-V 소자의 성능향상을 위한 표면 passivation에서는 type conversion과 같은 수소에 의한 캐리어의 농도 변화를 최소화하기 위해 연구노력을 집중하고 있다.

본 논문에서는, H₂S 플라즈마 전식 passivation 방법을 처음으로 ITO/InP 태양전지의 제작공정에 도입하여, 보다 향상된 특성을 갖는 태양전지의 제작에 매우 유효하게 적용할 수 있음을 논의한다. 본 공정은 H₂ 플라즈마에 의한 type conversion과 sulfur에 의한 표면 passivation을 동시에 수행할 수 있는 장점을 가지고 있고, 또한 상대적으로 낮은 광 투과성을 갖는, Ar/H₂ 환경에서 증착된 ITO층을 제거할 수 있음으로, 광 투과율을 향상시킬 수 있다. 제작된 태양전지의 특성을 분석하여, n⁺-p 접합의 형성과 passivation 효과를 확인하고, 공정변수의 변화에 따른 태양전지의 V_{oc}와 J_{sc}를 측정하여, 공정을 분석하였다. 본 연구진에 의해 동일한 구조로, Ar/H₂ 환경에서 ITO를 스퍼터링 증착하여 제작된 소자와 (NH₄)₂S_x passivation 처리한 소자의 특성과 비교하여, 본 공정의 유효성을 증명하였다.

II. 실험방법

결정방향이 (100), Zn가 약 10¹⁶cm⁻³으로 도핑된 p-형 InP 기판 뒷면에 Au/Be(1wt% Be)을 약 2000 Å 진공증착한 후, 375°C에서 2분간 Rapid Thermal Processing (RTP)을 수행하여, 저항성 접촉을 형성하였다. InP 샘플을 organic solvent를 이용하여, 표면을 세척하고, NH₄OH:H₂O(1:15) 용액에 약 10초간 담그어 native oxide를 제거한 후, H₂S 플라즈마 챔버로 이동한다.

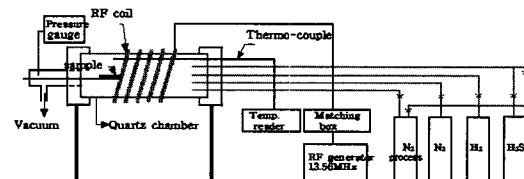


그림 1. H₂S 플라즈마 발생장치

Fig. 1. Schematic diagram of H₂S plasma system.

그림 1은 본 실험을 위해 제작된 H₂S 플라즈마 시스템의 개략도를 나타낸다. 챔버는 지름이 7.6 cm이고, 길이가 32 cm인 석영으로 제작되었으며, 로터리 진공펌프를 이용하여, 챔버의 압력을 5x10⁻³ torr까지 감소시킨다. 순도 99.9 % H₂S 가스를 유량계(flow meter)를 이용하여, 챔버안으로 주입시키고, H₂S 가스의 압력은 디지털 압력계를 이용하여 측정하였다.

본 실험에서는 H_2S 가스압력을 약 250 mtorr로 고정하고, RF 전력과 샘플의 플라즈마 노출시간을 변화시켜, 태양전지 및 PL 샘플을 제작하였다. 13.56 MHz의 RF 전력공급원과 RF 코일을 사용하여, H_2S 플라즈마를 발생시켜, InP 표면을 플라즈마에 노출시킨다. 본 공정은 상온에서 수행되었고, 플라즈마의 온도는 thermocouple를 이용하여 관찰하였으며, 챔버의 온도가 $100^\circ C$ 이하가 되도록 공정조건을 결정하였다. H_2S 플라즈마 처리된 샘플은, 대기와의 접촉을 최소화하기 위해, 가능한 한 빠르게 스퍼터링 챔버로 이동하였고, Ar/O₂ 환경에서 ITO를 약 500 Å 증착하였다. 이때 스퍼터링 공정조건은 RF 전력이 12W, Ar의 유량비는 20 sccm, O₂의 유량비는 0.5 sccm, 그리고 증착시간은 10분이었다.

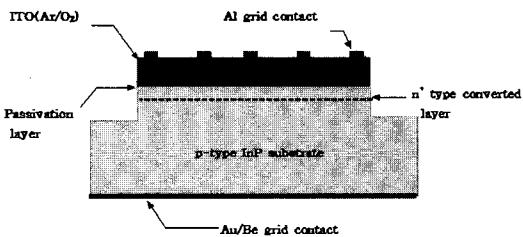


그림 2. ITO/InP 태양전지의 단면구조 (finger 폭 : 5 μm , 간격 : 450 μm)

Fig. 2. Schematic cross section of an ITO/InP solar cell(finger width : 5 μm , spacing : 450 μm)

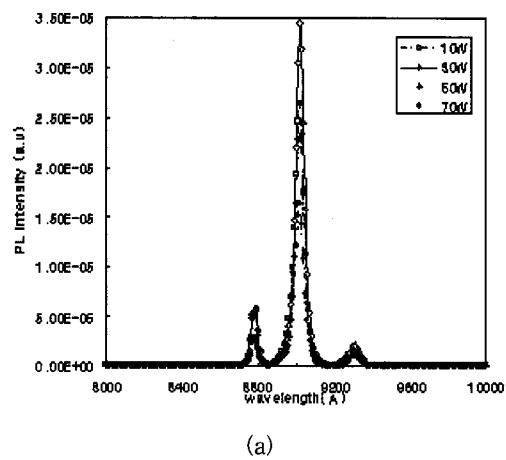
태양전지의 활성화 영역($1.8 \times 1.8 \text{ mm}^2$)을 만들기 위해 포토리소그래피 공정을 이용하여 패턴을 형성한 후, 희석한 HF 용액으로 ITO를 에칭하고, 연속적으로 $H_3PO_4:H_2O_2:H_2O(1:2:1)$ 용액을 이용하여 InP를 약 2000 Å 에칭하였다. 태양전지의 활성화 영역 위의 top grid contact은 알루미늄을 약 1500~2000 Å 두께로 진공증착하여 형성하였다. Grid contact의 finger의 폭은 5 μm , finger 사이 간격은 450 μm 이다. 활성영역에 대한 grid contact의 면적비는 약 5.5 %이다. 그림 2는 제작된 태양전지의 단면도를 나타낸다.

제작된 ITO/InP 태양전지의 전기적 특성은 HP 4145 parameter analyzer를 이용하여 측정하였고, 광학적 특성분석은 프로브 스테이션에서 현미경의 광원(tungsten lamp : 200 mW)을 태양전지의 활성영역에 조사하여, 단락전류(J_{sc})와 개방전압(V_{oc})을 측정하여 수행되었다. H_2S 플라즈마의 passivation 효과를

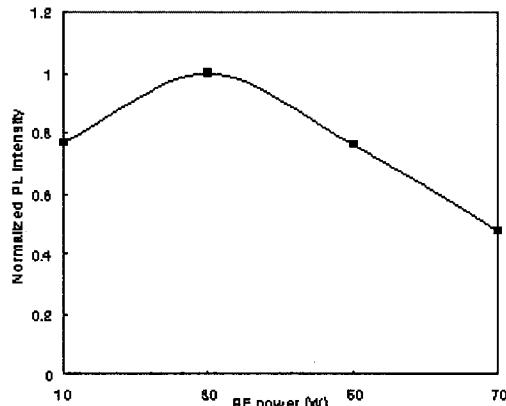
분석하기 위해, 아르곤(Ar) 레이저 (5145 Å)를 이용하여, 약 $13^\circ K$ 에서 PL 측정을 수행하였다. 측정온도는 액체헬륨 냉각장치를 이용하여 얻어졌다.

III. 실험결과 및 고찰

H_2S 플라즈마 공정변화에 의한 ITO/InP 계면의 상태를 분석하기 위해, H_2S 가스압력과 노출시간을 각각 약 250 mtorr와 5 분으로 고정하고, RF 전력을 10W, 30W, 50W, 그리고 70W로 증가시켜, ITO/InP 샘플을 제작하고, 저온 PL 측정을 수행하였다.



(a)



(b)

그림 3. (a) H_2S 플라즈마의 RF 전력 변화에 대한 저온 PL 스펙트럼 (PL 측정조건 : $T=13^\circ K$, $\lambda=5145\text{Å}$, 공정조건 : $P_{H_2S}=250\text{ mtorr}$, $t_{expose}=5\text{ min}$), (b) 정규화된 PL intensity

Fig. 3. (a) Low temperature PL spectra of ITO/InP samples on RF power changes of H_2S plasma (PL measurement condition : $T=13^\circ K$, $\lambda=5145\text{Å}$, Process condition : $P_{H_2S}=250\text{ mtorr}$, $t_{expose}=5\text{ min}$), (b) Normalized PL intensity of ITO/InP samples

그림 3(a)는 제작된 샘플들의 PL 측정결과이며, 세 개의 피크(peak)를 가지는 InP의 전형적인 PL 스펙트럼을 보여주고 있다. 875 nm 부근에서의 피크는 전도대(conduction band edge)에서 가전자대(valence band edge)로의 전이이고, 약 900 nm에서의 피크는 전도대에서 억 셉터준위로의($e^- \text{Å}$) 전이이다.

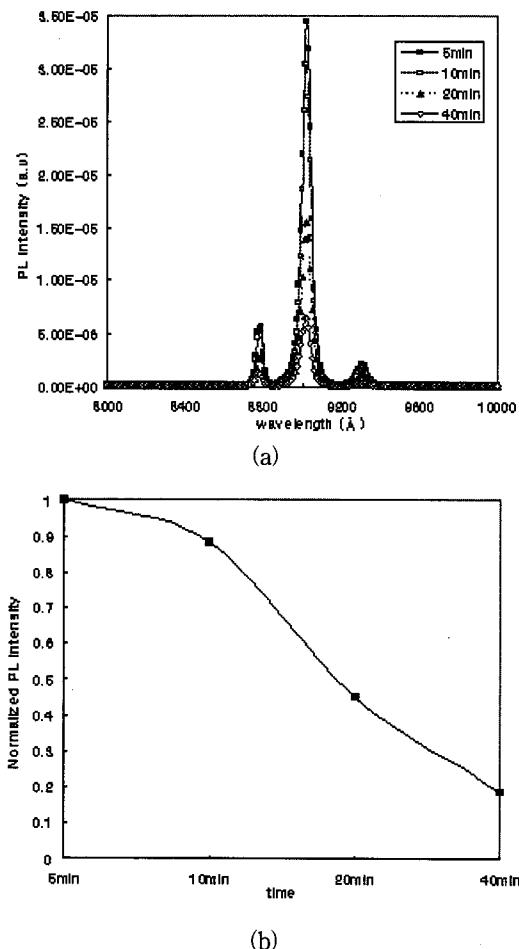


그림 4. (a) H₂S 플라즈마의 노출 시간 변화에 대한 저온 PL 스펙트럼 (PL 측정조건 : T=13 °K, $\lambda=5145\text{\AA}$, 공정조건 : P_{H2S}=250 mtorr, Power=30 W, (b) 정규화된 PL intensity

Fig. 4. (a) Low temperature PL spectra of ITO/InP samples on exposing time changes of H₂S plasma (PL measurement condition : T=13 °K, $\lambda=5145\text{\AA}$, Process condition : P_{H2S}=250 mtorr, Power=30 W) (b) Normalized PL intensity of ITO/InP samples

그리고 925 nm 부근에서의 상대적으로 약한 피크는 LO phonon에 의한 것이라 알려져 있다^[21]. 그림

3(b)는 30W의 RF 전력에서 제작된 샘플의 PL intensity를 기준으로 정규화된 PL intensity값의 변화를 보여준다. RF 전력이 증가함에 따라 PL intensity는 증가하고, 피크값에 도달한 후, 감소하게 된다. PL intensity의 증가는, 수소 플라즈마의 궁정적인 효과, 즉 native oxide의 제거와 표면 및 벌크의 트랩 passivation이 보다 효과적으로 성취되었기 때문이다. 또한 sulfur passivation이 성공적으로 수행되어, 재산화가 억제되고, 또한 수소 플라즈마에 의한 phosphorus의 선택적인 에칭이 방지되었기 때문이다. RF 전력의 증가에 따른 PL intensity의 감소는, 플라즈마 에너지의 증가로 인해, 스퍼터링 효과가 증대되어, InP 표면에 sulfur passivation층이 효과적으로 형성되지 못하고, 또한 수소 플라즈마의 부정적인 효과, 즉 InP 표면에서 phosphorus의 선택적인 에칭이 증대되었기 때문이라 생각된다. 그림 4(a)는 H₂S 가스압력과 RF 전력을 각각 약 250 mtorr와 30W로 고정하고, 노출시간을 5분, 10분, 20분, 그리고 40분으로 증가시켜, 제작된 ITO/InP 샘플들의 PL 스펙트럼이며, 그림 4(b)는 5분간 노출된 샘플의 PL intensity를 기준으로 정규화된 PL intensity값의 변화를 보여준다. 노출시간이 증가할수록 PL intensity가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 이유 역시 표면에 형성된 sulfur 층의 스퍼터링과 수소 플라즈마에 의한 phosphorus의 선택적인 에칭이 증대되었기 때문이라 생각된다.

본 PL 측정 데이터를 고려하여, H₂S 가스압력과 노출시간을 각각 약 250 mtorr와 5 분으로 고정하고, RF 전력을 1W, 5W, 20W, 그리고 35W로 증가시켜, ITO/InP 태양전지를 제작하였다. 제작된 ITO/InP 태양전지의 전기적 특성을 HP 4145 parameter analyzer를 이용하여 측정하였다. 그림 5는 제작된 태양전지의 개방전압과 단락전류의 변화를 보여준다. RF 전력 변화에 따른 개방전압의 변화는 거의 없음을 알 수 있다. 따라서, H₂S 가스 또는 플라즈마에 노출된 샘플의 표면에 형성된 n⁺-p 접합은 RF 전력변화에 거의 영향을 받지 않으며, 가스의 유량 또는 노출시간이 보다 큰 영향을 미치게 될 것이다. 반면에 단락전류의 변화는 PL intensity의 변화와 같은 경향을 나타내고 있다. 단락전류의 증가는 수소 플라즈마와 sulfur passivation에 의한 native oxide의 제거 및 재산화 방지, 그리고 표면 및 벌크 트랩 passivation

이 효과적으로 수행되어, 입사되는 빛에 의해 생성된 광 캐리어의 손실이 감소하였기 때문이다.

Sulfur passivation 층의 스퍼터링의 효과를 감소시키고, 또한 상대적으로 낮은 RF 전력에서, 노출시간의 변화에 따른 특성변화를 조사하기 위해, H_2S 가스 압력과 RF 전력을 각각 약 250 mtorr와 5 W로 고정하고, 노출시간을 1분, 5분, 20분, 그리고 30분으로 증가시켜, ITO/InP 태양전지를 제작하였다. 그림 6은 제작된 태양전지의 개방전압과 단락전류의 변화를 보여준다. 노출시간의 변화에 따른 개방전압의 변화가 매우 작음을 알 수 있고, 따라서 type conversion은 가스의 유량이 매우 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그러나 단락전류는 노출시간이 길어짐에 따라 증가하고, 피크값에 도달한 후, 감소하게 됨을 알 수 있다.

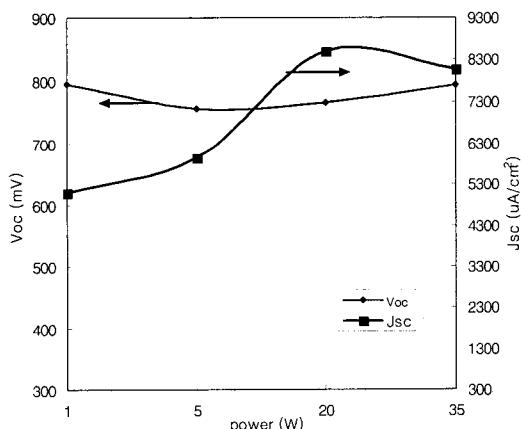


그림 5. H_2S 플라즈마 RF 전력 변화에 대한 J_{sc} 와 V_{oc} ($P_{H2S}=250$ mtorr, $t_{expose}=5$ 분)

Fig. 5. J_{sc} and V_{oc} versus RF power of H_2S plasma. ($P_{H2S}=250$ mtorr, $t_{expose}=5$ min)

그 이유는 ITO/InP 태양전지의 특성향상을 위해 요구되는 표면의 native oxide의 제거 및 재산화 방지, 그리고 표면 및 벌크 트랩 passivation을 얻기 위해서는, 상대적으로 낮은 플라즈마 전력을 보상하는, 상대적으로 긴 노출시간이 필요하기 때문일 것이다. 30W RF 전력에서 5분 이상의 플라즈마에 노출하여 측정된 결과(그림 4)와 비교해 보면, 상대적으로 낮은 RF 전력에서는, 플라즈마 에너지의 감소로 인해, native oxide의 제거 및 sulfur passivation 층의 형성에 상대적으로 긴 노출시간이 요구됨을 알 수 있다. 노출시간의 증가에 따른 단락전류의 감소는 sulfur passivation 층의 스퍼터링과 더불어 수소 플라즈마에

의한 phosphorus의 선택적인 에칭이 증대 되었기 때문이다 생각된다.

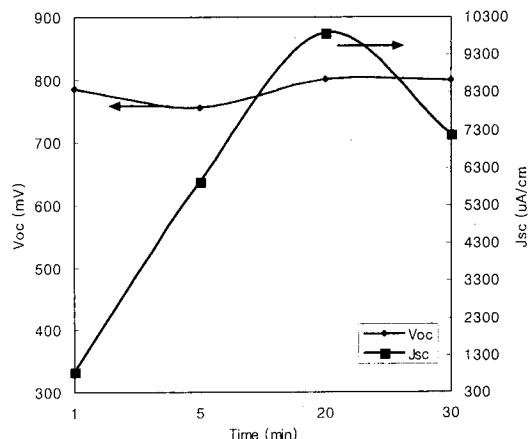


그림 6. H_2S 플라즈마 노출시간 변화에 대한 J_{sc} 와 V_{oc} ($P_{H2S}=250$ mtorr, Power=5 W)

Fig. 6. J_{sc} and V_{oc} versus on exposing time changes of H_2S plasma. ($P_{H2S}=250$ mtorr, Power=5 W)

본 연구진에 의해 제작된 다른 태양전지^[13]와 비교할 때, 본 논문에서 H_2S 플라즈마 전식 passivation 방법을 응용하여 제작된 태양전지의 특성이 보다 향상되었음을 알 수 있다. 특히 단락전류의 증가는 제안된 공정의 유효성을 보여준다. Ar/H₂ 환경에서 ITO를 스퍼터링 증착하여 제작된 소자의 단락전류는 약 1.1 mA/cm²이고, 60°C에서 $(NH_4)_2S_x$ 처리된 ITO/InP 태양전지의 단락전류는 약 5.2 mA/cm²이다. 반면에 H_2S 가스 압력과 노출시간을 각각 약 250 mtorr와 20분, 그리고 RF 전력을 5W 인가시켜, 제작된 태양전지의 단락전류는 약 9.8 mA/cm²로 측정되었다.

IV. 결론

p-형 InP 표면의 type conversion과 표면의 sulfur passivation을 동시에 수행하여, 상대적으로 향상된 특성을 갖는 ITO/InP 태양전지의 제작을 위해, H_2S 플라즈마 전식 passivation 방법을 처음으로 제작공정에 도입하여, ITO/InP 위성용 태양전지를 성공적으로 구현하였다. 다양한 공정조건에서 샘플을 제작하고, 제작된 샘플의 PL, 개방전압, 그리고 단락전류를 측정하여, 공정변수에 따른 특성변화를 분석하였다.

제안된 공정이 ITO/InP 계면에 미치는 영향을 분석하기 위해, 250 mtorr의 H₂S 가스압력에서 RF 전력 및 노출시간을 변화시켜 제작된 샘플들의 저온 PL 측정을 수행하였다. 측정결과 RF 전력 및 노출시간의 변화에 따라 PL intensity가 증가 또는 감소하게 됨을 알 수 있었다. PL intensity의 증가는, 수소 플라즈마의 긍정적인 효과, 즉 native oxide의 제거와 표면 및 벌크의 트랩 passivation이 보다 효과적으로 일어지고, 또한 sulfur passivation이 성공적으로 수행된 결과, 수소 플라즈마에 의한 phosphorus의 선택적인 에칭이 방지되며, 또한 재산화가 억제되었기 때문이다. PL intensity의 감소는, 플라즈마의 에너지의 증가로 인해, 표면에 형성된 sulfur passivation층의 스퍼터링과 더불어 수소 플라즈마의 부정적인 효과, 즉 InP 표면에서 phosphorus의 선택적인 에칭이 증대되었기 때문일 것이다.

제작된 ITO/InP 태양전지의 특성을 측정한 결과, RF 전력 및 노출시간의 변화에 따른 개방전압의 변화는 거의 없음을 알 수 있었다. 반면에 단락전류의 변화는 PL intensity의 변화와 같은 경향을 나타내고, 단락전류의 증가는 수소 플라즈마와 sulfur passivation에 의한 native oxide의 제거 및 재산화 방지, 그리고 표면 및 벌크 트랩 passivation이 효과적으로 수행되어, 임사되는 빛에 의해 생성된 광 캐리어의 손실이 감소하였기 때문이다.

상대적으로 낮은 RF 전력(5W)의 경우, 노출시간이 길어짐에 따라 단락전류는 증가 또는 감소하게 됨을 알 수 있었다. 단락전류의 증가는 표면의 native oxide의 제거 및 재산화 방지, 그리고 표면 및 벌크 트랩 passivation을 얻기 위해서, 상대적으로 낮은 플라즈마 전력을 보상하는, 상대적으로 긴 노출시간이 필요하기 때문이다. 단락전류의 감소는 sulfur passivation층의 스퍼터링과 더불어 수소 플라즈마의 phosphorus 선택적인 에칭이 증대되었기 때문이다 생각된다.

본 연구진에 의해, 동일한 구조로 Ar/H₂ 환경에서 ITO를 스퍼터링 증착하여 제작된 소자와 (NH₄)₂S_x passivation 처리한 소자의 특성과 비교할 때, H₂S 플라즈마 건식 passivation 방법을 이용하여 제작된 태양전지의 특성이 향상되었다. 따라서 본 공정에 대한 최적화가 수행된다면, 보다 높은 효율을 갖는 태양전지의 구현이 가능할 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Yamamoto, M. Yamaguchi, and C. Uemura, "High conversion efficiency and high radiation resistance InP homojunction solar cell", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 44, no. 6, pp. 611-613, 1984.
- [2] K. Ando, and M. Yamaguchi, "Radiation resistance of InP solar cells under light illumination", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 47, no. 8, pp. 846-848, 1985.
- [3] G. W. Turner, John C. C. Fan, and J. J. Hsieh, "High-efficiency InP homojunction solar cell", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 37, no. 4, pp. 400-402, 1980.
- [4] S. K. Min, W. C. Choi, and H. Y. Cho, "Hydrogenation effects on n⁺-p InP solar cell", *Appl. Phys. Lett.*, 64(10), 1994.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] W. C. Dautremont-Smith, J. Lopata, S. J. Pearton, L. A. Koszi, M. Stavola, and V. Swamlnathan, "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] 이영철, 한교용, "고효율 ITO/InP solar cells 제작공정의 최적화", 전자공학회 논문집 제34권 D편 11호 게재 예정
- [13] 이영철, 한교용, "ITO/InP 태양전지 제작에 응용된 sulfur passivation의 효과", 전자공학회 논문집 제34권 D편 제9호, pp 50-55, 1997
- [14] Y. H. Jeong, S. K. Jo, B. H. Lee, and T. Sugano, "Enhancement Mode InP MISFET's with Sulfide Passivation and Photo-CVD Grown P₃N₅ Gate Insulators", *IEEE Electron Device Letters*, vol. 16, no. 3, pp. 109-111 1995.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] A. J. Howard, C. I. H. Ashby, J. A. Lott, R. P. Schneider, and R. F. Corless, "Electrochemical sulfur passivation of visible(~670nm) AlGaInP lasers", *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 12, no. 4, pp. 1063-1067, 1989.
- [18] 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.
- [19] J. S. Herman and F. L. Terry, Jr., "Plasma passivation of gallium arsenide", *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 11, no. 4, pp. 1094-1098, Jul/Aug, 1993.
- [20] A. J. Nelson, S. P. Frigo, and R. Rosenberg, "Surface type conversion of InP by H₂S plasma exposure: A photoemission investigation", *J. Vac. Sci. Technol. A* 11(4), pp.1022-1027, 1993.
- [21] 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.

저자 소개

李永鐵(正會員) 第34卷 D編 第9號 參照

韓教龍(正會員) 第34卷 D編 第9號 參照