

GaN를 이용한 Schottky diode형 자외선 수광소자의 제작

(Fabrication of a Schottky Type Ultraviolet Photodetector Using GaN Layer)

成翼重*, 李昔憲**, 李采香*, 李龍鉉**,
李正熙**, 咸成鎬*

(Ik-Joong Seong, Suk-Hun Lee, Chae-Hyang Lee, Yong-Hyun Lee,
Jung-Hee Lee, and Sung-Ho Hahm)

요 약

본 논문에서는 GaN 박막 위에 각각 알루미늄(Al)과 백금(Pt)을 증착하여 저항성 전극 및 투명한 schottky 전극을 형성한 평면형 자외선 수광소자를 제작하였다. 제작된 소자에 대해 전기적 특성과 광학적 특성을 조사하여 자외선 센서로서의 적합성을 검토하였다. 사파이어 기판위에 성장된 GaN 박막은 $7.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 의 도핑(doping)농도와 $138 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 의 이동도(mobility)를 가졌으며, 파장이 365 nm 이하인 빛만을 흡수하는 자외선 감지막 특성을 나타내었다. 5 V의 역방향 전압을 인가하였을 때 제조된 schottky형 자외선 센서는 325 nm의 자외선 파장에서 응답도가 2.84 A/W 였고 4×10^4 의 큰 신호대 잡음비(SNR)와 $3.5 \times 10^{-9} \text{ W}$ 의 잡음등가전력(NEP)을 나타내었다. 따라서 이들 결과로부터 GaN를 이용한 schottky 다이오드가 가시광 차단 UV photodetector를 제조할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

We fabricated a planar ultra-violet photodetector whose ohmic and schottky contacts were respectively formed with evaporated Al and Pt on the GaN layer. To examine the applicability of the device to the UV sensor, we investigated its electrical and optical characteristics. The GaN layer on the sapphire wafer had $7.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ of doping concentration and the $138 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ of electron mobility and it absorbed the spectrum of the light below 325 nm wavelength. It had the responsivity of 2.8 A/W of at 325 nm, and the signal to noise ratio(SNR) of 4×10^4 , and the noise equivalent power(NEP) of $3.5 \times 10^{-9} \text{ W}$ under 5 V reverse bias. These results confirmed that the GaN schottky diode had a solar blind property when it was applied to the UV photodetector.

I. 서 론

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Department of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

** 正會員, 慶北大學校 센서工學科
(Department of Sensor Engineering, Kyungpook National University)

接受日字:1999年3月23日, 수정완료일:1999年5月20日

자외선 센서(UV detector)는 인공위성을 이용한 대기권 내의 비행선 및 미사일 발사 탐지 등의 군사 분야, 지구 오존층 감시등의 환경분야, 그리고 화재감시 및 핵발전소 등과 같은 고온 환경에서의 물체감지가 요구되는 산업분야에 많이 응용되고 있으며, 이와 같은 자외선 분야의 센서응용이 광범위함에도 그 시장 규모가 작고, 고효율의 수광소자가 부족한 실정이다.

지금까지의 silicon 자외선 센서는 1.1 eV의 작은 에너지 갭(energy gap)을 가지므로 열적·화학적 안정성이 떨어져 사용 범위가 제한되며 가지광에 대해서도 응답을 보이므로 자외선 영역의 광만을 선택적으로 감지하기 어렵다. 반면 질화물계 반도체는 2 ~ 6 eV의 에너지 밴드갭을 가지며 내방사성(radiation hardness), 낮은 누설전류 등 우수한 전기적 특성과 안정된 열적·화학적 특성을 가진다.^[1,2]

특히 Al_xGa_{1-x}N (3.4 ~ 6.2 eV)와 같은 삼원계 화합물 조성비를 조절하여 넓은 자외선 영역에 대하여 검출 파장을 선택 할 수 있다. 표 1은 GaN, SiC, PMT, Si등을 이용하여 제작된 자외선 센서들의 특성을 나타낸 것이다.^[3]

그러나 GaN등 질화물을 자외선 센서로 제작할 경우 해결해야 할 몇가지 문제점들이 있다. 첫째로 질화물 결정성장을 위한 기판으로서 주로 이용되는 격자 부정합과 열팽창계수(thermal expansion coefficient)의 차이가 크기 때문에 질 좋은 질화물 결정을 성장시키기 어렵다. 둘째로 불순물 제어의 한계로 금속과 접촉시 큰 접촉저항을(contact resistivity)을 가지며, 저항성 전극에서 발생하는 전기적 신호의 손실로 인해 소자의 성능이 악화되는 문제점이 있다. 또한 안정된 정류성(schottky)접촉을 얻기 어렵다. 셋째로 재료의 화학적 안정성 때문에 화학적 식각이나 전식식각이 매우 어렵다.

본 논문에서는 비교적 넓은 파장대에서 투과도가 일정한 사파이어 기판을 성장 기판으로 사용하였으며 응답도, 응답시간, 암전류, 단파장에서 빛의 흡수율에서 상대적으로 우수한 schottky다이오드 구조를 선택하였다. 식각을 하지 않은 평면형(planar)구조의 소자를 제작하되 접촉저항, 저항성 전극에서 발생하는 신호손실을 줄이기 위한 소자설계를 꾀하였다. 또한 결정 성장에 있어서는 사파이어와 GaN 완충층(buffer layer)을 저온(500℃)에서 성장시켜 사파이어 기판과 수광부의 GaN 단결정의 사이에서 생기는 결함을 최소화하였다. 접촉 저항을 줄이기 위해 GaN에 비하여 일함수가 낮고 녹는점이 낮은 Al을 이용하여 저항성 접합(ohmic contact)을 형성하였다. 제작된 소자는 전기적으로 5 V의 breakdown 전압과 1.3의 이상계수를 가졌으며 자외선 센서로서의 가지광 차단효과를 가지며 수광 응답도 50 mA/W에서 2.8 A/W로 증가하는 특성을 보였다.

표 1. 발표된 자외선 센서들의 특성
Table 1. Characteristics of the reported ultraviolet sensors.

parameter	GaN		
	Photoconductive	Schottky	pin
spectral range	200~365 nm	200~365 nm	200~365 nm
peak responsivity	2000 A/W (at 5 V)	0.18 A/W (at 0V)	0.2 A/W
response time	1 ms	118 ns	-
maximum operation temp.	-	~300 °C	~200 °C

parameter	SiC	PMT	silicon
	photodiode		photodiode
spectral range	200~365 nm	200~365 nm	400~1200 nm
peak responsivity	0.16 A/W	0.04 A/W	0.55 A/W
response time	-	-	0.1 μs
maximum operation temp.	275 °C	275 °C	125 °C

II. 이 론

접합형 수광다이오드에서 흡수된 광신호에 의해 형성되는 전류는 공핍영역 내에서 광에 의하여 생성된 표동전류(drift current) 성분과 공핍영역 근처의 소수캐리어 확산거리에서 생성되어 공핍영역으로 정공에 의한 확산전류(diffusion current) 성분이 있다.^[4,5] n형의 반도체의 공핍영역(W)은 식(1)과 같다.

$$W(V) = \left[\frac{2\epsilon(V_o - V - kT/q)}{q} \left(\frac{1}{N_d} \right) \right]^{1/2} \quad (1)$$

이때, ϵ 은 반도체 물질의 유전율, V_o 는 built-in potential, 그리고 N_d 는 이온화된 도너 불순물의 농도이다.

Schottky 다이오드에 역바이어스를 가하고 빛을 조사하였을 때 발생할 수 있는 전체 전류밀도(J_{total})는 식 (2)와 같다.

$$J_{total} = J_{drift} + J_{diffusion} \quad (2)$$

여기서 J_{drift} 는 공핍영역 내부에서 생성된 캐리어에 의한 표동전류이며, $J_{diffusion}$ 은 공핍영역 외부에서 생성된 소수 캐리어가 역방향 전압이 인가된 공핍영역으로 확산하여 형성되는 확산전류이다.

캐리어 생성률 $g(x)$ 는 식(3)과 같다.

$$g(x) = -\frac{d\Phi(x)}{dx} = \Phi_0 a e^{-\alpha x} \text{ [cm}^{-3}\text{-sec}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

여기서 Φ_0 는 면적 A 를 가지는 schottky 접촉 전극용 금속을 통과하여 반도체 표면에 입사된 광속(optical flux)이며, α 는 입사된 빛의 파장에 대한 반도체의 흡수계수이다.

공핍영역에서 생성된 전하에 의해 생긴 표동전류는 식 (4)와 같다.

$$J_{drift} = q \int_0^W g(x) dx = q\Phi_0 (e^{-\alpha W} - 1) \quad (4)$$

한편, $x=W$ 에서 확산전류밀도($J_{diffusion}$)는 식 (5)와 같다.

$$J_{diffusion} = -q\Phi_0 \frac{\alpha L_p}{(1 + \alpha L_p)} e^{-\alpha W} - q\Phi_0 \frac{D_p}{L_p} \quad (5)$$

schottky형 수광소자에 단일파장을 가지는 광이 입사된 경우에 흐르는 전체 전류는 식(4)와 (5)에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$J_{total} = -q\Phi_0 \left[1 - \frac{e^{-\alpha W}}{(1 + \alpha L_p)} \right] - q\Phi_0 \frac{D_p}{L_p} \quad (6)$$

여기서 schottky 접촉형 수광소자의 응답도(R : responsivity)를 식 (7)과 같이 정의할 수 있다.

$$R = \frac{\text{Photocurrent}(A)}{\text{Optical power}(W)} = \frac{AJ_{total}}{\Phi_0} \text{ [A/W]} \quad (7)$$

따라서 schottky형 수광소자의 응답특성은 빛을 흡수하는 반도체 물질의 두께와 도핑농도, schottky 전극의 종류와 면적을 이용하여 최적화시킬 수 있다. 그러나 현재 GaN기술은 낮은 불순물 농도에서 높은 이동도를 가지는 고순도 성장층을 얻기 어려운 실정이다. 한편 schottky형 수광소자에서 발생하는 잡음, 응답속도 등은 표면과 계면의 상태 그리고 상태나 bias 조건 등에 따라 다르지만 대체로 pin형 다이오드와 유사한 특성을 가진다.^[6]

III. 설계 및 제조

1. 소자의 설계

본 논문에서는 같은 성장면에서 원형띠 모양의

schottky 및 ohmic 접촉형태를 가지는 원형 구조의 평면형(planar type)수광소자를 설계하였다. 감광영역(photosensitive area)을 직경 600 μm 의 원형구조를 선택함으로써 가장자리에서 발생하는 누설전류를 최소화하여 항복전압이 최대한 증가되도록 하였다. 저항성 전극은 감광영역을 기준으로 100 μm 의 폭을 가지는 원형띠 구조이며 저항성 전극과 schottky 접촉전극사이의 간극은 응답도와 저항(series resistance) 면에서 가까울수록 좋으나 누설전류(leakage current)의 최소화과 공정상의 어려움 등으로 50 μm 가 되도록 설계하였다. 설계된 자외선 센서의 구조도는 그림1과 같다.

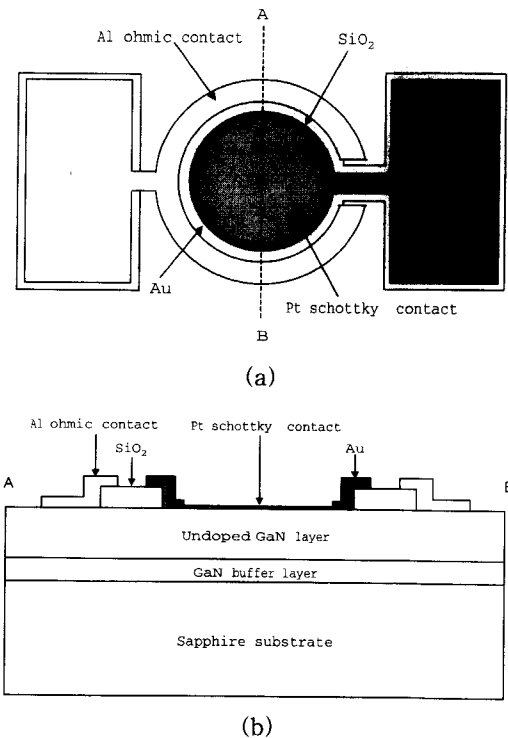


그림 1. 소자의 구조 : (a) 평면도 및 (b) 단면도
Fig. 1. Schematic structure of the device : (a) top view and (b) cross-sectional view.

소자설계에 앞서 소자제작 조건과 동일한 GaN 및 사파이어 기판의 광흡수특성을 검토하였다. 그림 2의 (a)와(b)는 분광광도계(spectrophotometer)를 이용하여 성장한 GaN 박막과 사파이어 기판의 윗면에 200 nm ~ 650 nm의 파장범위의 빛을 조사하여 투과도를 측정된 결과이다. 측정결과 GaN 박막은 363 nm 이하의 빛은 완벽히 흡수하고, 363 nm 이

상의 빛은 약 81 %가 투과되는 직접천이형(direct transition) 반도체의 투과특성을 보여 줌으로써 완벽한 solar blind 특성을 기대할 수 있다. 또한 굴절을 측정치로부터 투과도를 계산한 결과 측정치와 비교하였을 때 약 2 %오차를 가지는 83 %의 투과특성을 보였다. 또한 사파이어 기판은 측정범위 내에서 92 %의 비교적 일정한 투과특성을 나타내었다. 따라서 성장된 GaN박막은 약 363 nm의 차단파장(cut off wave-length)을 가지는 자외선 감지막의 특성을 지니고 있음을 알 수 있다. 한편 GaN층의 doping 농도가 $8 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 인 경우에 5 V의 역전압에서 동작 시 캐리어를 충분히 공핍시키기 위하여 두께를 1.5 μm 로 하였다. 이러한 특성을 바탕으로 본 논문에서는 사파이어를 기판으로 사용하여 결정성장을 한 뒤 전면에서 빛이 입사되는 (front illumination) 평면형 schottky구조를 이용하였다.

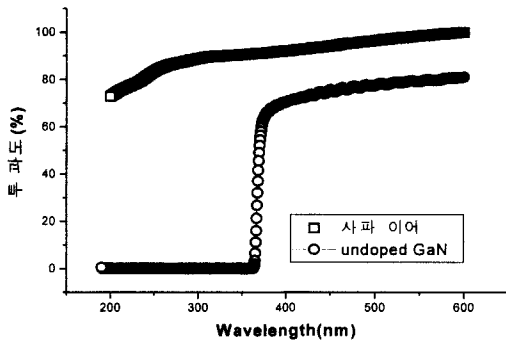


그림 2. GaN 박막 및 사파이어 기판의 투과특성
Fig. 2. Transmission properties of sapphire substrate and GaN.

2. 소자의 제조

1) GaN 박막성장

GaN 박막성장을 위해 EMCORE사의 MOCVD 장비를 이용하여 뒷면이 경면 연마되고 (1000) 결정면을 가지는 사파이어 기판위에 GaN 완충막(buffer layer)을 성장시킨 후 자외선 감지막으로 사용할 GaN 박막을 성장시켰다. 완충막과 GaN 박막을 성장할 때 Ga과 N의 재료로 각각 TMG와 NH₃ (99.9995%)를 사용하였고 H₂(99.9999%)를 수송가스로 이용하였다. 그리고 GaN 완충막을 성장시키기 전에 사파이어 표면의 오염 물질을 제거하기 위하여 1030℃, H₂ 분위기에서 3분간 열처리를 시행하였다.

그림 3은 본 실험에서 사용된 시편과 동일한 조건의 undoped GaN의 PL특성을 나타낸 것이다. PL 측정에 사용된 레이저 광원은 325 nm의 파장을 가지는 He-Cd 레이저이며, 측정파장의 범위는 340 nm~650 nm이다. 측정결과 362 nm의 band edge emission 파장을 가지는 직접천이형 PL 스펙트럼 특성을 나타내었다. 이 파장은 3.42 eV의 에너지 갭에 해당하며 일반적으로 알려진 GaN의 에너지 갭과 일치한다. Hall 측정으로부터 성장층은 $7.8 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 의 n형 도핑농도와 138 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 의 이동도를 나타내었다.

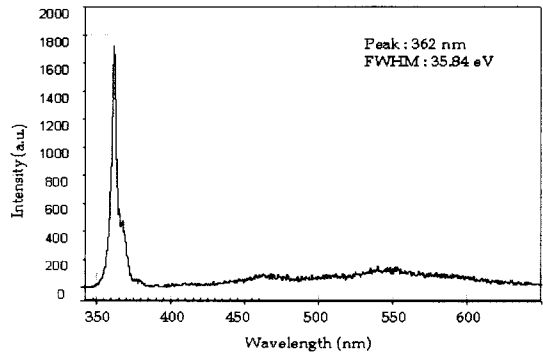


그림 3. undoped GaN의 상온에서의 PL 스펙트럼
Fig. 3. PL spectrum of undoped GaN layer at room temperature.

2) 자외선 센서제작

GaN기판이 자외선 센서의 바탕소자로써 사용할 수 있는 가능성을 조사한 후 성장된 GaN를 초기 세척하고 PECVD 방법으로 110℃, 250 mTorr에서 SiH₄와 O₂의 혼합가스를 이용하여 1000 Å 두께의 실리콘 산화막을 증착하였다. 실리콘 산화막 증착후 SiO₂ 식각 마스크를 정렬하여 감광액 패턴을 형성시킨 후, BHF(NH₄F:HF=30:1) 용액으로 실리콘 산화막을 식각하였다. 여기서 실리콘 산화막은 와이어 본딩패드 및 저항성 전극과 schottky 전극사이의 표면 누설전류를 방지하기 위한 절연막이다. ohmic 접촉저항을 형성하기 위하여, 5×10^{-5} Torr의 진공에서 2000 Å 두께의 알루미늄을 열증착하고, 알루미늄 식각전극과 TLM 패턴을 정의하였다. 이후 질소 분위기에서 열처리를 시행하였다. 저항성 전극형성 후 백금 식각 마스크를 정렬하여 패턴을 형성시킨 후 BHF (NH₄F:HF=30:1)에 약 10초간 넣어 GaN 계면을 세척을 하였다. 세척후 쇼트키 전극 형성을 위해 6×10^{-6}

Torr의 진공에서 전자빔 증착기로 70 Å 두께의 백금을 lift-off 공정으로 형성한 뒤 2000 Å 두께의 금(Au)을 lift-off 공정으로 형성하여 쇼트키 전극의 와이어 본딩을 위한 패드를 형성시켰다.

IV. 결과 및 고찰

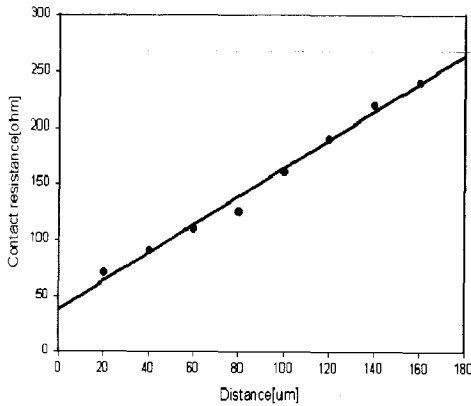


그림 4. TLM 패턴 거리에 대한 접촉저항의 변화
Fig. 4. Variation of the contact resistance for TLM pattern distance.

제작된 소자에 대해 ohmic 및 schottky전극 특성, 그리고 파장에 따른 응답특성을 측정하여 자외선 센서로서의 적합성을 검토하였다. 그림 4는 GaN 박막 위에 알루미늄 전극을 형성하고 질소 분위기에서 600 °C, 10분간 처리를 시행한 다음 TLM 패턴의 전극간 거리에 따른 저항의 변화를 측정한 결과이다. 알루미늄을 이용한 저항성 전극은 증착 후 비교적 큰 저항을 가지는 schottky 전극 특성을 나타낸다. 그러나 알루미늄 용점에 가까운 600 °C에서 열처리를 시행하면 알루미늄이 GaN 표면으로 부분적인 침투가 발생하여 알루미늄과 GaN 표면사이의 절연층이 제거되고 알루미늄의 접착력(adhesion)이 향상되므로 최소의 접촉저항을 지니는 저항성 전극이 형성된다.^[7] TLM 패턴을 이용하여 측정한 알루미늄의 전극의 접촉 저항율은 약 $8 \times 10^{-3} [\Omega\text{-cm}^2]$ 이며 저항율이 다른 반도체 물질에 비해 높은 원인은 Al과 GaN가 가지는 일함수 차 및 접촉표면의 불균일성 등이다. TLM 측정결과와 기울기에서 구한 면저항(R_s : sheet resistance)은 약 $1.4 \times 10^3 \Omega/\square$ 이었다. TLM 측정을 통하여 얻은 면저항은 Hall 측정을 통하여 구한 면저항 값과의 일치한 값을 나타낸다.

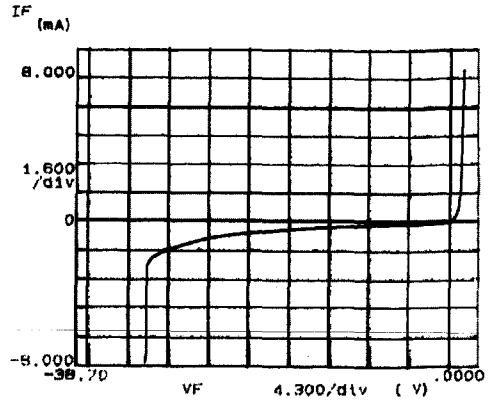


그림 5. 쇼트키 다이오드의 전압전류
Fig. 5. I-V characteristics of Schottky diode.

그림 5는 70 Å 두께의 백금을 증착하여 형성한 schottky 다이오드의 전압전류 특성을 측정한 것이다. 역방향 항복전압은 24 V로 비교적 높으나 역방향 전압에 따라 암전류가 증가하는 비이상적인 특성을 보였다. 이는 ohmic 접촉을 위한 금속을 증착한 이후 열처리에 의한 표면상태의 변화때문으로 보인다. 한편 schottky접촉만 형성된 시편의 경우 암전류는 수 nA 정도로 그 변화가 크지 않으며 이상계수도 1.03 정도로 우수하였다. 측정결과로부터 구한 Pt schottky 전극의 전위장벽 및 이상계수는 각각 0.99 eV와 1.3이다.

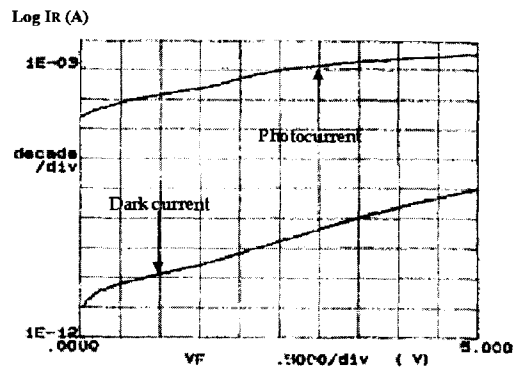


그림 6. 역방향 전압에 대한 광응답 특성
Fig. 6. Photoresponse of the fabricated device with reverse bias.

그림 6은 제작된 소자의 역방향 전압에 따른 광전류 및 암전류의 특성을 나타내고 있다. 이 소자에 역방향 전압을 5 V까지 증가시키면 암전류가 10 pA에

서 0.1 μA 까지 증가되었으며 약 50 M Ω 의 큰 역방향 저항을 보였다. 또한 광 전력 및 직경이 각각 3 mW, 800 μm , 그리고 325 nm의 파장을 가지는 He-Cd 레이저를 조사하고 역방향 전압을 5 V까지 증가시키면 광전류는 70 μA 에서 4 mA까지 증가되었다. 그림 6에서 보는바와 같이 응답도는 50 mA/W에서 2.84 A/W로 증가되는 특성을 보였다. 역방향 전압에 따라 응답도가 증가하는 이유는 광을 감지하는 공핍영역의 체적이 증가하므로 광의 흡수가 증가하여 발생하는 현상이다. 잡음등가전력(NEP : noise equivalent power)은 일정 조건에서 암전류와 같은 크기의 광전류를 얻을 수 있는 입사광의 세기이며, 평균 광전류(I_p), 암전류(I_D) 및 응답도(R)에서 유도할 수 있다. 5 V 역방향 전압을 인가한 경우 잡음등가전력은 3.5×10^{-8} W로 타 연구 그룹에 비하여 10배정도 큰값이다.^[8] 이는 schottky접촉 특성을 개선하고, 반도체 내부의 noise mechanism을 규명하여 소자의 구조를 개선하므로써 낮출수 있다. 또한 5 V의 역방향 전압에서 광전류와 암전류의 비(SNR: signal to noise ratio)는 4×10^4 으로 비교적 큰 값을 나타내었다.

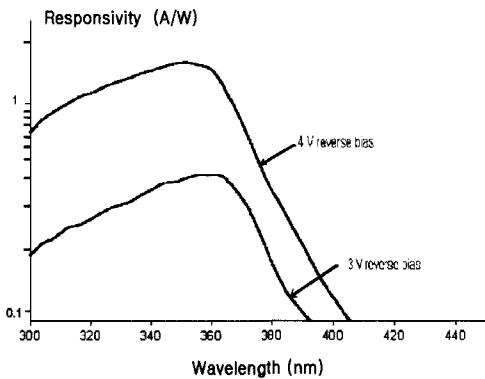


그림 7. 파장에 대한 광응답도 특성
Fig. 7. Photoresponse of the fabricated device for wavelength.

그림 7은 제조된 소자에 4 V 및 3 V의 역방향 전압을 인가한 후 분광 광도계(spectrophotometer)를 이용하여 300 nm ~ 450 nm 파장 범위의 광을 조사하면서 파장에 대한 광응답 특성을 측정된 결과이다. 각 파장에 대한 광전력은 전력 측정틀을 이용하여 측정하였으며 이를 정규화시켜 응답도를 나타내었다. 결과에서 보인바와 같이 400 nm 이하의 자외선 파

장에 대해서는 응답특성이 높게 나타나고 있으나 400 nm 이상의 파장에 대해서는 광 응답특성이 현저히 감소하는 특성을 나타내고 있다. 이러한 특성으로 볼 때 제작된 자외선 센서는 가시광 차단효과(solar blind effect)가 우수함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 MOCVD 장비를 이용하여 성장한 GaN 박막 위에 알루미늄과 백금을 이용하여 저항성 전극 및 투명한 schottky 전극을 형성하여 자외선 센서를 제작하고 그 특성을 조사하였다. 성장한 GaN 박막은 7.8×10^{16} cm^{-3} 의 n형 도핑농도와 138 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 의 이동도를 지녔으며 363 nm의 차단파장을 가지는 자외선 감지막의 특성을 보유하고 있음을 확인할 수 있었다.

성장된 GaN박막 위에 알루미늄을 증착하여 형성한 알루미늄 전극은 600 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10분간 열처리했을 때 8×10^{-3} [$\Omega\text{-cm}^2$]의 접촉 저항을 가지는 저항성 전극의 특성을 나타내었다. 그리고 백금을 이용하여 증착한 schottky 전극은 0.99 eV의 전위장벽과 1.3의 이상계수를 나타내었으며 약 -32 V의 역방향 항복전압 특성을 나타내었다.

제조된 자외선 센서는 325 nm의 자외선 파장에 대하여 역방향 전압을 5 V까지 증가시킬 때 응답도가 50 mA/W에서 2.84 A/W로 증가되는 특성을 나타내었고 5 V의 역방향 전압에서 4×10^4 의 큰 신호대 잡음비(SNR)와 3.5×10^{-9} W의 잡음등가전력(NEP)을 나타내었다. 그리고 제조된 소자에 200 nm ~ 650 nm 파장범위의 광을 인가할 때 400 nm 이하의 자외선 파장에만 응답을 하고 파장이 짧아질수록 금속에서 광의 반사와 흡수가 증가하여 응답도가 감소하는 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Strite and H. Morkoc, "GaN, AlN, and InN: A review," J. Vac. Sci. Technol. B, No. 10(4), pp. 1237-1263, 1992.
- [2] J. A. Garrido, E. Monroy, I. Lzpura and E. Munoz, "Photoconductive gain modeling of GaN photoconductors,"

- Semiconductor Science Technology, vol 13, pp. 563-568, 1998.
- [3] Boston Electronics Corporation, http://www.boselec.com/uv_photodiode, 1998.
- [4] Y. P. Shie, and R. C. Card, "Germanium Photodetectors with Induced p-n Junctions," IEEE Trans. on Elec. Dev., Vol. ED 29, No. 9, pp. 1414-1419, 1982.
- [5] Wolfgang W. Gartner, "Depletion-Layer Photoeffects in Semiconductors," Physical Review, Vol. 116, pp. 84-87. 1959.
- [6] J. H. Edger, "Properties of Group III Nitrides," EMIS Datareviews Series, No. 11, p. 3, INSPEC, United Kingdom, 1994.
- [7] B. P. Luther, S. E. Mohny, T. N. Jackson, M. Asif Khan, Q. Chen, and J. W. Yang, "Investigation of the Mechanism for Ohmic Contact Formation in Al and Ti/Al contacts to n-GaN," Appl. Phys. Lett. 70(1), pp. 57-59, 1998.
- [8] A. Osinsky, S. Gangopadhyay, B. W. Lim, M. Z. Anwar, and M. A. Khan, "Schottky barrier photodetectors based on AlGaIn," Appl. Phys. Lett. 72 (6), pp. 742-745, 1998.

 저 자 소 개



成翼重(正會員)

1974년 12월 25일생. 1998년 2월 대구대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 3월 ~ 경북대학교 대학원 센서공학과 석사과정 재학중. 주관심분야는 화합물반도체를 이용한 광소자 및 시스템응용

咸成鎬(正會員) 第35卷 D編 第8號 參照

李正熙(正會員) 第35卷 D編 第8號 參照



李采香(正會員)

1973년 2월 28일생. 1996년 2월 대구 효성가톨릭대학교 물리학과 졸업(이학사). 1998년 2월 경북대학교 대학원 센서공학과 졸업(공학석사). 주관심분야는 반도체를 이용한 광센서

李昔憲(正會員) 第35卷 D編 第8號 參照

李龍鉉(正會員) 第35卷 D編 第8號 參照