

Enhancement of light reflectance and thermal stability in Ag-Mg alloy contacts on *p*-type GaN

송양희, 손준호, 김범준, 정관호, 이종람

포항공과대학교 신소재공학과 · 첨단재료과학부(World Class University Program)

Abstract

The mechanism for suppression of Ag agglomeration in Ag-Mg alloy ohmic contact to *p*-GaN is investigated. The Ag-Mg alloy ohmic contact shows low contact resistivity of $6.3 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$, high reflectance of 85.5% at 460 nm wavelength after annealing at 400 °C and better thermal stability than Ag contact. The formation of Ga vacancies increase the net hole concentration, lowering the contact resistivity. Moreover, the oxidation of Mg atoms in Ag film increase the work function of Ag-Mg alloy contact and prevents Ag oxidation. The inhibition of oxygen diffusion by Mg oxide suppresses the Ag agglomeration, leading to enhance light reflectance and thermal stability.

I. 서론

최근 GaN 반도체를 이용한 발광다이오드(LED)가 백열등, 형광등, 수은등과 같은 기존의 광원을 대체할 수 있다는 전망이 지배적으로 형성되면서, 고효율 GaN LED에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1] 일반적으로 GaN LED 박막층은 부도체인 sapphire 기판 위에 성장되기 때문에, 소자 동작 시 발생하는 열이 sapphire 기판을 통해 원활히 제거되지 못한 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하여 고효율 GaN LED를 구현하는 한 가지 방법이 수직구조형 LED이다.[2] 수직구조에서는 LED의 활성층에서 나온 빛이 p형 오믹 전극을 통해 반사되어 위쪽으로 나오기 때문에, 광 추출효율을 증가시킬 수 있다. 이때 p형 오믹 전극으로 사용되는 물질은 빛의 흡수가 적고 반사도가 뛰어나야 한다. 이러한 p형 전극물질로 반사도가 90%가 넘는 Ag가 널리 사용되고 있지만 오믹전극으로 만들기 위해 거치는 열처리 과정에서 집괴가 되면서 소자의 전기적, 광학적 특성을

급격히 감소하고 있다. 이처럼 Ag의 열적 안정성은 LED 소자의 수명과 연관이 되는 중요한 문제이다.[3]

Ag가 높은 온도에서 집괴가 이루어지는 이유는 전체에너지를 줄여주기 위해 diffusion이 이루어지기 때문이다. 따라서 높은 온도에서도 Ag의 diffusion을 억제하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔다. 하지만 이는 모두 표면을 통한 diffusion을 감소시키고 있어 여전히 높은 온도에서 Ag 집괴 현상이 일어나고 있다. 높은 온도에서 Ag의 집괴 현상을 막기 위해서는 표면을 통한 diffusion뿐만 아니라 전극 내부를 통한 diffusion까지 차단할 수 있는 연구가 진행되어야 한다.

본 연구에서는 수직 구조 LED 소자에 적용이 가능한 Ag 오믹 전극을 개발하기 위해 Mg를 첨가하고 Mg에 의해 Ag의 열적안정성이 증가하는 원인을 규명하였다.

II. 실험 방법

본 실험에는 사파이어 기판 위에 MOCVD로 성장된 InGaN/GaN MQW structure의 LED 박막이 이용되었다. 오믹 접촉 저항의 측정은 transmission line method (TLM) 방법을 이용하였다. 오믹 금속 증착 전에 표면의 산화물이나 불순물을 제거하기 위해서 boiling aqua regia 용액에 10분 동안 담그어 LED 박막을 세척하였다. 오믹 금속은 3×10^{-7} Torr의 압력하에서 electron beam evaporator로 증착되었으며, 전류-전압 (I-V)의 특성은 HP4156을 이용하여 4-point probe 기술로 측정되었다. 분위기 조절이 가능한 rapid thermal annealing (RTA)을 이용하여, 열처리 온도에 따른 접촉 저항의 변화를 관찰하였으며, 열처리는 각 온도에서 1분간 실시되었다. 또한 개발된 p형 오믹 전극의 반사도를 측정하기 위해

45° 에서 할로겐 램프를 이용하여 빛의 조사후 45° 에서 반사되어 나오는 빛을 분광기를 이용하였다.

개발된 고반사율 p 형 오믹전극의 계면 결합상태를 분석하기 위해 방사광 가속기 XRPES 를 이용하였으며, 표면형태를 살펴보기 위해 SEM 과 AFM 을 이용하였다.

III. 결과 및 토의

그림 1 은 공기중에서 열처리 온도를 변화시키면서 Ag 전극과 Ag-Mg 전극의 접촉저항과 반사도를 측정한 값을 보여주고 있다. Ag 오믹전극의 경우 300 °C 에서 가장 낮은 접촉저항을 갖은 후, 높은 온도의 열처리가 진행됨에 따라 급격히 접촉저항이 증가한다. 또한 반사도 역시 300 °C 이후 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면 Ag-Mg 오믹 전극의 경우 400 °C 에서 가장 낮은 접촉을 가지며, 높은 온도의 열처리가 더 진행되어도 크게 접촉저항이 증가하지 않고, Ag 보다 낮은 접촉저항을 갖는다. 또한 반사도 역시 Ag 보다 높은 반사도 값을 갖는 것을 통해 높은 열적 안정성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

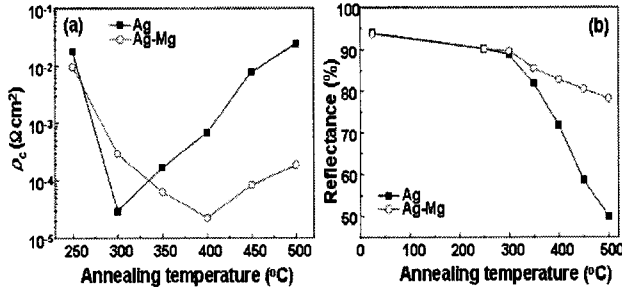


FIG. 1. Change of (a) ρ_t and (b) light reflectance at 460nm wavelength for Ag and Ag(Mg) contacts as a function of annealing temperature in air ambient.

그림 2 는 400 °C 공기중에서 열처리 시간을 증가시켰을 때, Ag 오믹 전극과 Ag-Mg 오믹 전극의 접촉저항과 반사도의 변화를 보여주고 있다. Mg 를 첨가하였을 경우, 100 분간 열처리를 진행하여도 처음 같은 접촉저항이 크게 증가하지 않으며 80%가 넘는 높은 반사도를 유지하는 것을 통해 열적 안정성이 높다는 것을 나타내게 되었다.

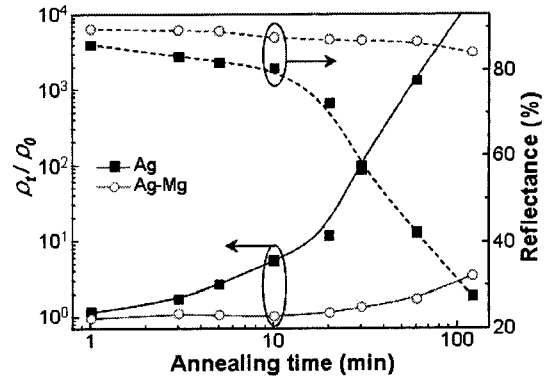


FIG. 2. Change of (a) ρ_t/ρ_0 and (b) light reflectance at 460nm wavelength for Ag and Ag(Mg) contacts as a function of annealing time at 400 °C in air ambient.

그림 3 은 SRPES 를 이용하여 Mg 의 결합상태를 살펴본 내용이다. Mg 2p 를 이용하여 분석한 결과 열처리 전에는 Mg 이 Ag 와 결합을 이루며 solid solution 상태로 존재하고 있다. 하지만 열처리를 진행함에 따라 Mg-O bonding 의 세기가 급격히 증가를 하는 것을 살펴 볼 수 있다. 즉 Ag 의 집괴를 일으키는 산소가 Mg 와의 반응을 통해 Ag 의 집괴를 일으키지 않는 것을 알 수 있다. 또한 전체적인 core level 이 낮은 에너지 방향으로 이동한 것을 살펴 볼 수 있다. 이는 열처리를 진행함에 따라 Ga 공공이 증가함에 따라 표면 부근에서는 공공 주입장벽이 낮아지게 된다는 것도 살펴 볼 수 있다.

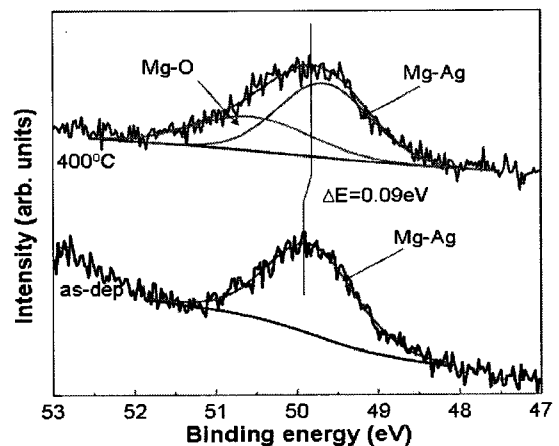


FIG. 3. SRPES spectra of Mg 2p core levels for Ag(Mg) (20 Å) contacts before and after annealing at 400 °C for 1 min in air ambient.

그림 4는 SEM과 AFM을 이용하여 Ag 전극과 Ag-Mg 전극의 표면형상을 측정하는 것이다. 공기중에서 400 °C에서 열처리를 진행하게 될 경우, Ag는 4(a)처럼 집괴가 많이 진행되어 GaN 표면이 드러나게 되며, 매우 불규칙한 표면을 가지게 된다. 반면 4(b)는 Ag-Mg 전극으로 매끈한 표면을 가지고 있으며, void가 형성되어 있지 않은 것을 살펴 볼 수 있다.

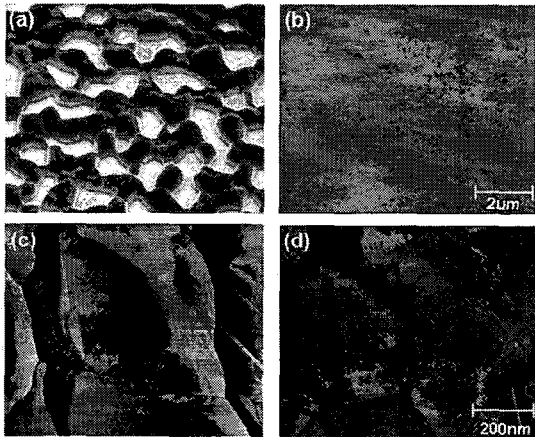


Fig. 4. SEM micrographs of (a) Ag contact and (b) Ag(Mg) contact after annealing at 400 °C in air ambient. AFM phase images of (c) Ag contact and (d) Ag(Mg) contact after annealing at 400 °C in air ambient.

4(c)와 4(d)는 두 전극의 표면을 AFM을 이용하여 관측한 결과로 집괴가 많이 진행된 Ag 전극의 경우, grain이 매우 크게 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 반면 Ag-Mg 전극은 집괴가 많이 진행되지 않기 때문에 grain 크기가 작은 것을 알 수 있다. 이를 통해 Ag-Mg의 열적 안정성이 좋다는 것을 알 수 있다.

IV. 요약

수소구조의 InGaN LED 소자에 적용이 가능하며 높은 열적안정성을 갖는 저저항 고반사율 p형 오믹 전극을 개발하였다. Ag에 Mg를 첨가하여 p형 전극을 이용하여 400 °C, 공기중에서 1분간 열처리 후 $2.2 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ 의 낮은 접촉 저항을 얻을 수 있었고, 460 nm 파장에서 82.6%의 높은 반사율을 획득할 수 있었다. 이는 Mg가 첨가됨에 따라 Ag가 고온에서 집괴되는 원인인 산소-공공 결합을 줄여줌으로써 높은 열적 안정성을 얻게 되었다. Ag를 열처리 할 경우, 외부에 존재하는 산소가 공공 자리에 들어간 후, 산소와 공공의 강한 인력에 의해 산소가 침입형 자리에 들어가서면서 두개의 공공과 강하게 bonding을 갖는 diffusion center가 많이 존재하게 된다. 하지만 Mg가 첨가되었을 경우, Oxygen affinity가 강한 Mg에 산소가 먼저 결합을 이루면서 산소-공공 결합을 줄여주게 되어 높은 온도에서도 diffusion이 이루어지지 않고 높은 열적 안정성을 갖게 된다.

Acknowledgement

본 연구는 정보신소재 연구소와(KRF-2008-005-J00501)와 첨단재료과학부(World Class University Program)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] W.K. Wang, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **88**, 181113 (2006).
- [2] J. H. Son, *et al.*, *Electron. Mater. Lett.* **4**, 157 (2008).
- [3] L.-B.Chang, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 163515