

Ti-Al 반사막을 이용한 405 nm LED의 광추출 효율 향상

김창연 · 권새롬 · 이두형 · 노승정*

단국대학교 죽전 센트로 캠퍼스 응용물리학과, 용인 448-701

(2008년 4월 1일 받음)

Metal organic chemical vapor deposition (MOCVD)를 이용하여 사파이어 기판 위에 405 nm의 파장을 갖는 GaN light-emitting diode (LED)를 제작하였다. LED의 InGaN 활성층에서 생성되어 칩의 후면으로 향하는 광자를 전면으로 반사시키기 위하여, 사파이어 기판 후면에 반사막을 증착하였다. 반사막으로는 Al을 사용하였으며, 사파이어 기판에 대한 Al 박막의 접착력을 개선하기 위하여 사파이어 기판 후면에 Ti를 먼저 증착한 후에 Al을 증착하였다. Ti-Al 반사막을 채용한 결과, 광추출 효율이 52 % 향상되었다.

주제어: GaN, 405 nm LED, Ti-Al 반사막, 광추출 효율

I. 서 론

Nichia의 Nakamura가 metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) 성장기술로 GaN계 청색 light-emitting diode (LED) 제작에 성공한 이후 GaN계 LED는 비약적인 발전을 계속하고 있으며, 현재에는 청색보다 짧은 파장을 갖는 고효율 LED에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[1-9]. 자색 및 자외선 LED는 수명, 발광효율, 에너지 측면 등에서 우수한 특성을 갖고 있어 조명에 응용하려는 연구가 매우 활발히 진행되고 있으며 바이오 센서, 위폐감별기 및 공기정화기 등의 분야로 연구범위 및 시장규모가 확대될 것으로 전망된다.

에피택셜(epitaxial)을 비롯한 공정 및 재료기술의 발달로 인하여 내부양자효율(internal quantum efficiency)은 70-80 %까지 증가 하였다[10-11]. 반면에 광추출 효율(light extraction efficiency)은 상대적으로 많은 개선의 여지가 있어 칩 구조, 표면처리, 반사막, 미세구조 어레이(microstructure array), 패키징 및 시뮬레이션 연구 등 광추출 효율을 향상시키는 다양한 방법이 제시되고 있다 [12-19].

본 연구에서는 MOCVD를 이용하여 사파이어 기판 위에 405 nm 파장의 GaN-LED를 제작하고, InGaN 활성층에서 생성된 광자 중 칩의 후면으로 향하는 광자를 전면으로 반사시키기 위하여 사파이어 기판 후면에 Al 반사막을 채

택하였다. 사파이어 기판 후면에 Ti를 먼저 증착한 후에 Al을 증착하여 사파이어 기판에 대한 Al 박막의 접착력을 개선하였으며, Ti-Al 반사막을 채용한 결과 광추출 효율이 52 % 향상되었다.

II. 실 험

그림 1은 MOCVD를 이용하여 사파이어 기판 위에 제작한 405 nm의 파장을 갖는 GaN-LED의 단면도이다. 사파이어 기판 전면에는 n-GaN, InGaN 활성층, p-GaN, 투명전극, p-전극, n-전극 등이 위치하며, 사파이어 기판 후면에는 기판과 반사막 사이의 접착력 향상을 위한 Ti 박막과 Al 반사막이 위치한다.

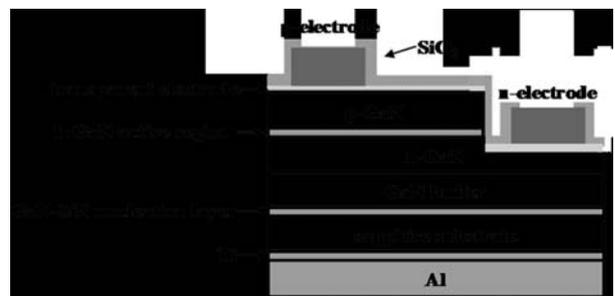


Fig. 1. Schematic cross section of a 405 nm LED adopting a Ti-Al reflector.

* [전자우편] sjnoh@dankook.ac.kr

기판 전면에 대한 주요 공정은 다음과 같다. 사파이어 기판 위에 저온 GaN-SiN nucleation 박막을 성장시킨 후, 그 위에 undoped GaN 버퍼층, Si-doped n-GaN, InGaN-GaN single quantum well (SQW) 활성층, 그리고 Mg-doped p-GaN를 성장시킨다. p-GaN와 n-GaN 위에 전자빔을 이용하여 Ni-Au 투명전극을 증착하고, 이어서 p-전극과 n-전극에 대한 증착 및 열처리 과정을 진행하여 오믹(Ohmic) 접촉을 형성한다. 소자보호와 무반사(anti-reflection)를 위해 plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD)로 SiO₂를 증착하여 기판 전면부 공정을 완성한다.

사파이어 기판 후면에 대한 주요 공정은 다음과 같다. 그라인딩(grinding), 랩핑(lapping) 및 폴리싱(polishing) 등의 공정을 이용하여 기판의 두께를 줄이고, 광자의 추출 임계각을 증가시키기 위하여 표면을 거칠게 형성한 후에, 전자빔 금속 증착기를 이용하여 Al을 증착한다. 이때 사파이어 기판과 Al 반사막 사이의 접착력이 약하여 Al 박막이 외부의 충격에 쉽게 떨어져 나가는 단점이 발견되어, 전자빔 금속 증착기를 이용하여 Ti 박막을 먼저 증착한 후에 Al을 증착하여 반사막의 접착력을 성공적으로 향상시켰다. Ti 박막을 증착하기 전에 사파이어 기판 표면에 존재하는 유기물을 제거하기 위하여 180초 동안 산소 플라즈마 처리를 하였다. Ti 박막은 사파이어와 금속 사이의 접착력을 향상시키는 외에도, 표면의 오염 및 산화물을 제거하는 목적으로 사용된다[20].

III. 결과 및 논의

그림 2는 (a) 기판 후면에 Al 반사막을 직접 증착한 사진, (b) 기판 후면에 Ti층을 먼저 형성한 후에 Al 반사막을 증착한 사진을 각각 나타낸다. 그림 2(a)에서 보듯이, 사파이어 기판에 대한 Al 반사막의 접착력이 약해 반사막 형성 후 진행되는 전사 공정, 칩 분류 공정 등의 과정에서 반사막이 박리되는 현상이 발견되었다. 그림 2(b)에서처럼 Ti 증착공정을 추가하여 박리현상과 이물질 생성이 없는 Ti-Al 반사막을 성공적으로 형성하였다.

이와 같이 Ti 박막은 Al 반사막 형성을 위한 필수 금속인 반면에 광자를 흡수하는 성질을 갖고 있다. 따라서 기판과 반사막 사이에 충분한 접착력을 유지하면서, InGaN 활성

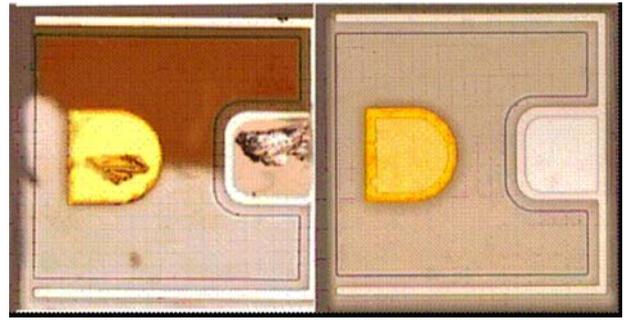


Fig. 2. Photographs of an Al layer : (a) deposited onto a sapphire substrate and (b) deposited on a sapphire substrate followed by Ti evaporation.

층에서 발생한 광자들이 Al 반사막에 도달하는 과정에서 Ti에 흡수되는 양을 최소화하여야 한다. 그림 3은 Ti 두께에 대한 광추출 효율의 변화를 나타낸다. 가로축은 Ti의 두께로써 각각 20 Å, 30 Å, 50 Å, 100 Å의 값을 갖는데, 모든 경우에 사파이어 기판과 Al 반사막 사이의 충분한 접착력을 확인하였다. 세로축은 Ti-Al 반사막을 채용하기 전후의 광세기 비(optical power ratio)로써 다음과 같이 정의 된다.

$$\text{optical power ratio} = \frac{\text{optical power after Ti - Al reflector coating}}{\text{optical power before Ti - Al reflector coating}}$$

그림 3에서 보듯이 Ti의 두께가 증가하면 Ti 박막에 흡수되는 광자의 양이 증가하여 광추출 효율이 감소하게 된다. Ti의 두께를 20 Å으로 하여 Ti-Al 반사막을 형성한 경우에 가장 큰 광의 세기를 얻었으며, 이는 52%의 광추출 효율 향상에 해당된다. Ti 박막의 두께가 30 Å을 넘어

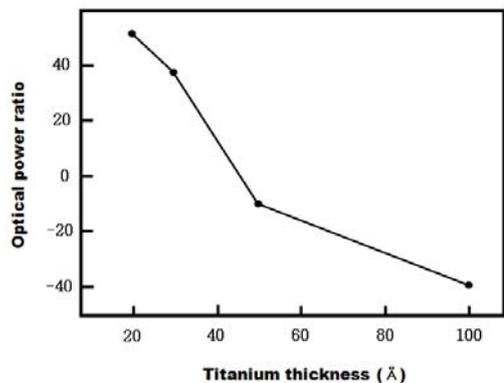


Fig. 3. Variation in the light extraction efficiencies of 405 nm GaN-LEDs with different Ti thicknesses. The optical power ratio is defined as the optical power after Ti-Al reflector coating over the optical power before Ti-Al reflector coating.

서면 Ti 박막에서 흡수되는 광자의 양이 급격히 증가하게 되어 50 Å와 100 Å의 경우에는 오히려 광의 세기가 감소하게 된다.

IV. 결 론

MOCVD를 이용하여 사파이어 기판 위에 405 nm의 파장을 갖는 GaN-LED를 제작하였다. InGaN 활성층에서 생성된 광자 중 칩의 후면으로 향하는 광자를 전면으로 반사시키기 위하여 Al 반사막을 사파이어 기판의 후면에 성공적으로 형성하여 광추출 효율을 향상시켰다. 기판 후면에 Al 반사막을 직접 증착한 시료에 대한 전사 공정, 칩 분류 공정 등의 과정에서 반사막이 박리되는 현상이 발견되었다. 기판 후면에 Ti 층을 먼저 형성한 후에 Al 반사막을 증착하여 사파이어 기판에 대한 반사막의 접착력을 개선하였다. 반면에 Ti가 광자를 일부 흡수하여 Ti 박막의 두께가 증가하면 광추출 효율이 감소함을 관찰할 수 있었다. Ti의 두께를 20 Å으로 최적화하여 Ti-Al 반사막을 형성한 결과, 광추출 효율이 52 % 향상되었다.

감사의 글

본 연구는 2006학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

- [1] J. U. Seo, C. Y. Kim, H. S. Kim, and S. J. Noh, *J. Kor. Vac. Soc.* **12**, 235 (2003).
- [2] M. D. Bremser, W. G. Perry, T. Zheleva, N. V. Edwards, O. H. Nam, N. Parikh, D. E. Aspnes, and R. F. Daviset, *J. Nitro. Semi. Res.* **1**, 8 (1996).
- [3] D. Brunner, H. Angerer, E. Bustarret, F. Freudenberg, R. Hopler, R. Dimitrov, O. Ambacher, and M. Stutzmann, *J. Appl. Phys.* **82**, 5090 (1997).
- [4] K. Osamura, S. Naka, and Y. Murakami, *J. Appl. Phys.* **46**, 3432 (1975).
- [5] Q. Guo, H. Ogawa, and A. Yoshida, *Crystal Growth* **146**, 462 (1995).
- [6] K. S. Kim, A. Saxler, P. Kung, M. Razeghi, and K. Y. Lim, *Appl. Phys. Lett.* **71**, 800 (1997).
- [7] Y. J. Koide, H. Itoh, M. R. H. Khan, K. Hiramatu, N. Sawaki, and I. Akasaki, *J. Appl. Phys.* **61**, 4540 (1987).
- [8] S. J. Lee, J. O. Kim, C. S. Kim, S. K. Noh, and K. Y. Lim, *J. Kor. Vac. Soc.* **16**, 27 (2007).
- [9] Y. Kim, *J. Kor. Vac. Soc.* **16**, 210 (2007).
- [10] Y. Kawakami, Y. Narukawa, K. Omae, Sg. Fujita, and S. Nakamura, *Phys. Status Solidi A* **178**, 331 (2000).
- [11] T. Nishida, H. Saito, and N. Kobayashi, *Appl. Phys. Lett.* **79**, 711 (2001).
- [12] O. Shmatov and Z.S. Li, *IEE Proc.-Optoelectron.* **150**, 3, 273 (2003).
- [13] M. R. Krames, M. Ochiai-Holcomb, G. E. Höfler, C. Carter-Coman, E. I. Chen, I. - H. Tan, P. Grillot, N. F. Gardner, H. C. Chui, J.-W. Huang, S. A. Stockman, F. A. Kish, M. G. Craford, T. S. Tan, C. P. Kocot, M. Hueschen, J. Posselt, B. Loh, G. Sasser, and D. Collins, *Appl. Phys. Lett.* **75**, 2365 (1999).
- [14] Y. C. Yoo, I. K. Han, and J. I. Lee, *J. Kor. Vac. Soc.* **16**, 353 (2007).
- [15] T. Fujii, Y. Gao, R. Sharma, E. L. Hu, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 855 (2004).
- [16] H. W. Choi, M. D. Dawson, P. R. Edwards, and R. W. Martin, *Appl. Phys. Lett.* **83**, 4483 (2003).
- [17] C. C. Sun, C. Y. Lin, T. X. Lee, and T. H. Yang, *Opt. Eng.* **43**, 1700 (2004).
- [18] J. J. Wierer, D. A. Steigerwald, M. R. Krames, J. J. O'Shea, M. J. Ludowise, G. Christenson, Y. C. Shen, C. Lowery, P. S. Martin, S. Subramanya, W. Götz, N. F. Gardner, R. S. Kern, and S. A. Stockman, *Appl. Phys. Lett.* **78**, 3379 (2001).
- [19] J. B. Lee, S. H. Yoon, D. W. Kim, and C. H. Choi, *전자공학회논문지* **44(SD4)**, 91 (2007).
- [20] D. J. Kim and C. Huh, *Proc. KIEE.* **48**, 10 (1999).

Enhancement in the light extraction efficiency of 405 nm light-emitting diodes by adoption of a Ti-Al reflection layer

C. Y. Kim, S. R. Kwon, D. H. Lee, and S. J. Noh*

Department of Applied Physics, Dankook University, Yongin 448-701

(Received April 1, 2008)

GaN-based light-emitting diodes (LEDs) of a 405 nm wavelength have been fabricated on a sapphire substrate by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD). In order to reflect the photons, which are generated in the InGaN active region and emitted to the backside, to the front surface, a reflection layer was deposited onto the back of the substrate. Aluminum was used as the reflection layer and Al was deposited on the sample followed by Ti evaporation for firm adhesion of the reflection layer to the substrate. The light extraction efficiency was enhanced 52 % by adoption of the Ti-Al reflection layer.

Keywords: GaN, 405 nm LED, Ti-Al reflector, Light extraction efficiency

* [E-mail] sjnoh@dankook.ac.kr