

GaN계 스핀 발광소자의 스핀편극된 빛의 발광

함문호, 윤석호*, 박용조*, 명재민

연세대학교, 삼성종합기술원*

Emission of spin-polarized light in GaN-based spin LEDs

Moon-Ho Ham, Sukho Yoon*, Yongjo Park*, and Jae-Min Myoung

Yonsei Uni., SAIT*

Abstract

We investigated the fabrication and characteristics of spin-polarized LEDs based on GaN using (Ga,Mn)N as spin injection source. (Ga,Mn)N thin films were found to exhibit the ferromagnetic ordering above room temperature and the negative MR up to room temperature. The electrical characteristics in spin LEDs did not degraded in spite of the insertion of (Ga,Mn)N films. In EL spectra of spin LEDs, it is confirmed that spin LEDs emit the strong light at 7 K as well as room temperature. These results suggest that it is possible to emit spin-polarized light in our spin LEDs.

Key Words : spin LED, DMS, GaN, spin polarization, ferromagnetism

1. 서 론

반도체를 기반으로 하는 전자소자는 반도체 내의 전자 전하만을 전기장을 사용하여 제어하는데 반해, 스핀트로닉스(spintronic)는 전자가 가지는 전하와 스핀을 전기장과 자기장으로 각각 제어한다 [1-3]. 스핀편극된(spun-polarized) 전자의 제어를 통해 새로운 개념의 스핀트로닉 소자를 창출하고자 하며, 이를 통하여 비휘발성, 빠른 스위칭 시간, 저전력소모 등의 특성 향상을 기대할 수 있다.

일반적인 발광소자(light emitting diode; LED) 구조는 p-n 또는 p-i-n 접합(junction)으로 구성되어 있으며, p-n 접합 사이에 다층 양자우물(multiple quantum well; MQW) 구조를 삽입하기도 한다. 반면에 스핀 LED는 기존의 LED 구조에 강자성 특성을 나타내는 재료를 접합시킴에 의해 스핀편극된 빛을 방출하는 소자를 말한다. 스핀 LED로의 응용을 위해서는, 반도체 내로의 스핀편극된 캐리어(carrier)의 효과적인 주입이 필수적이다. (Ga,Mn)As와 (Zn,Mn)Se 자성반도체(diluted

magnetic semiconductor; DMS) 박막을 사용하여 스핀 LED를 제작한 논문들이 보고되고 있다 [4,5]. 하지만, 스핀주입소스로서 사용된 (Ga,Mn)As 또는 (Zn,Mn)Se가 상온 이하의 온도에서만 자성 특성을 나타내므로, 스핀 LED의 스핀 편극된 빛 또한 저온에서만 발광되었다.

본 연구에서는 상온에서 강자성 특성을 나타내는 (Ga,Mn)N 박막을 이용하여 제작된 스핀 LED의 특성을 살펴보고자 한다.

2. 실험

(Ga,Mn)N DMS 박막을 LED 구조에 삽입하여 스핀 LED를 제작하였으며, 개략적인 구조는 그림 1과 같다. LED 구조는 MOCVD(metalorganic chemical vapor deposition) 법을 이용하여 성장하였으며, 삽입된 (Ga,Mn)N DMS 박막은 PEMBE(plasma-enhanced molecular beam epitaxy) 법으로 성장하였다. 사파이어(sapphire) 기판 위에 에피택시 성장을 위하여 GaN 버퍼층을 성장시킨 후, InGaN/GaN MQW이 삽입된 LED 구

조를 성장하였다. 스핀주입소스인 (Ga,Mn)N 박막은 전기적으로 n-형 특성을 나타내므로 n-형 GaN 쪽에 위치하도록 하였다. 스핀 LED는 photolithography와 etching을 통하여 그림 1(b)와 같이 패터닝되었다.

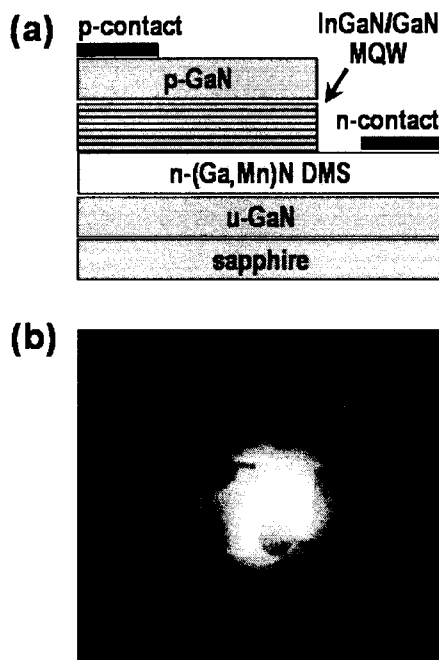


그림 1. (a) 스핀 LED의 개략적인 구조와 (b) 패터닝된 소자의 발광 사진.

(Ga,Mn)N 박막의 자기적 특성은 AGM을 이용하여 상온에서 측정되었다. 또한, (Ga,Mn)N 박막의 자기수송 현상을 살펴보기 위하여, 자기저항(magnetoresistance; MR) 측정을 5~300 K의 온도에서 자기장을 9 T까지 인가하면서 수행하였다. 제작된 스핀 LED의 I-V 특성은 상온에서 HP4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 측정하였고, EL(electroluminescence) 측정을 통해 편광된 빛의 발광 유무를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

스핀 LED의 제작을 위한 스핀주입소스로서 사용된 (Ga,Mn)N 박막의 자기적 특성과 자기수송 특성을 살펴보기 위하여 상온에서 자기이력 곡선과 온도에 따른 MR을 측정하였고, 그 결과를 각각

그림 2(a), 2(b)에 나타내었다. (Ga,Mn)N 박막에서 나타난 자기이력 현상은 (Ga,Mn)N가 상온에서 강자성 특성을 나타냄을 명백히 알려준다. 또한 상온까지 음의 MR이 유지됨을 확인하였다. 이것은 상온에서 스핀편극된 전자의 이동 현상을 보여주는 결과이며, 스핀트로닉 소자로의 응용 가능성을 제시해준다.

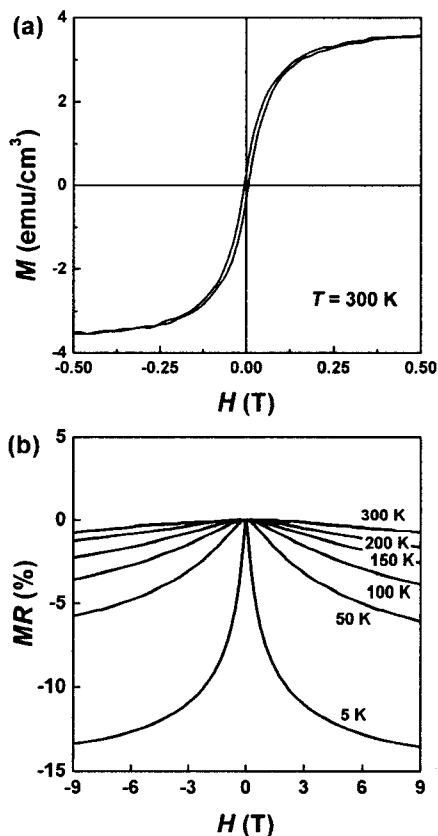


그림 2. (Ga,Mn)N 박막의 상온에서 측정된 자기이력 곡선과 온도에 따른 MR 변화.

(Ga,Mn)N 박막이 삽입된 스핀 LED의 전기적 특성을 살펴보기 위하여, 전류-전압 (I-V) 곡선을 측정하였고, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 스핀 LED의 I-V 곡선은 비선형적인 rectifying diode 특성을 유지함을 보여주었으며, 누설 전류는 약 10^{-8} A를 나타내었다. 또한 상온에서 3.15 V에서 turn-on 특성을 나타내었다. 이러한 결과들은 스핀 LED 내에 (Ga,Mn)N 박막이 삽입되었다고 LED의 특성이 거의 저하되지 않았음을 알려준다.

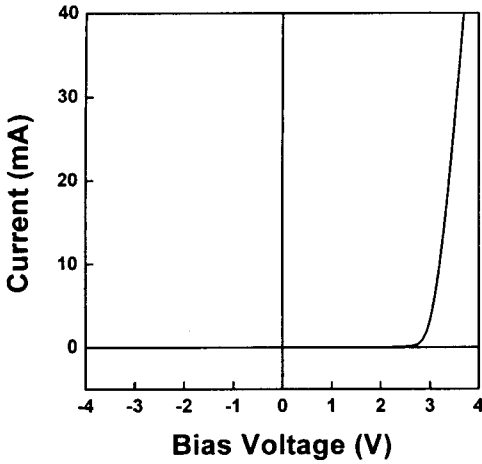


그림 3. 상온에서 측정된 스핀 LED의 I-V 곡선.

그림 4는 7 K와 상온에서 측정된 스핀 LED의 전형적인 EL spectra를 보여준다. 상온에서 20 mA의 전류를 인가했을 때 400 nm에서 발광 특성이 관찰되었다. 이것은 InGaN/GaN MQW에 의한 피크(peak)에 해당한다. 온도가 7 K로 내려감에 따라 EL 피크의 세기가 감소하였으며, EL 피크의 위치도 395 nm로 blueshift되었다. 또한, 7 K의 온도에서도 충분히 강한 빛이 발광함을 확인하였다. 이것은 스핀 LED 내에 (Ga,Mn)N 박막이 삽입되더라도 특성 저하가 거의 없고, 스핀분극된 빛의 관찰을 위한 저온 실험이 가능하다는 것을 의미한다.

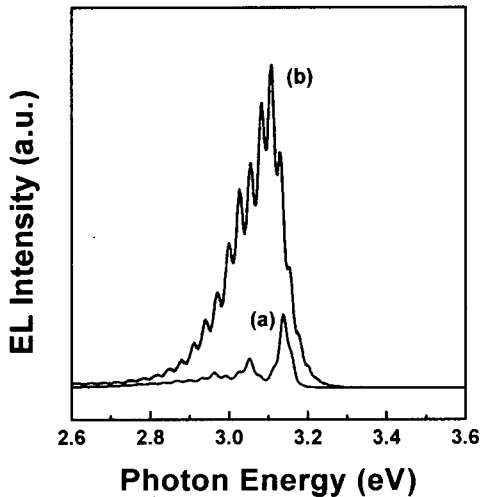


그림 4. (a) 7 K와 (b) 상온에서 측정된 스핀 LED의 EL spectra.

4. 결론

본 연구에서는 상온에서 강자성 특성을 나타내는 (Ga,Mn)N DMS 박막을 이용하여 스핀 LED를 제작하고 그 특성을 살펴보았다. PEMBE를 이용하여 성장된 (Ga,Mn)N 박막은 상온에서 강자성 특성을 나타내었다. (Ga,Mn)N 박막이 삽입된 스핀 LED는 I-V 측정 결과 전기적 특성의 저하가 거의 일어나지 않았으며, EL 측정 결과 상온 뿐만 아니라 저온에서도 발광 특성이 유지됨을 확인하였다. 이러한 결과는 스핀 LED에서 스핀분극된 빛의 발광 가능성을 제시해준다.

감사의 글

본 연구는 삼성종합기술원의 지원 하에 수행되었습니다 (Grant No. 2003-2-0799).

참고 문헌

- [1] S. A. Wolf, D. D. Awschalom, R. A. Buhrman, J. M. Daughton, S. von Molnar, M. L. Roukes, A. Y. Chtchelkanova, and D. M. Treger, "Spintronics: A Spin-Based Electronics Vision for the Future", Science Vol. 294, p. 1488. 2001.
- [2] H. Ohno, "Making Nonmagnetic Semiconductors Ferromagnetic", Science Vol. 281, p. 951 1998.
- [3] G. A. Prinz, "Magnetoelectronics", Science Vol. 282, p. 1660 1998.
- [4] Y. Ohno, D. K. Young, B. Beschoten, F. Matsukura, H. Ohno, and D. D. Awschalom, "Electrical spin injection in a ferromagnetic semiconductor heterostructure", Nature Vol. 402, p. 790 1999.
- [5] R. Fiederling, M. Keim, G. Reuscher, W. Ossau, G. Schmidt, A. Waag, and L. W. Molenkamp, "Injection and detection of a spin-polarized current in a light emitting diode", Nature Vol. 402, p. 787 1999.