

## 화합물 반도체 기판 위에 제작된 산화 알루미늄 광결정 특성

최재호, 김근주, 정 미\*, 우덕하\*  
전북대학교 기계공학과, KIST 광기술연구센터\*

### Aluminum Oxide Photonic Crystals Fabricated on Compound Semiconductor

Jae Ho Choi, Keunjo Kim, Mi Jung\*, and Duk Ha Woo\*  
Chonbuk National University, Photonics Research Center KIST\*

**Abstract :** We fabricated photonic crystals on GaAs and GaN substrates. After anodizing the aluminium thin film in electrochemical embient, the porous alumina was implemented to the mask for reactive ion beam etching process of GaAs wafer. And photonic crystals in GaN wafer were also fabricated using electron beam nano-lithography process. The coated PMMA thin film with 200 nm-thickness on GaN surface was patterned with triangular lattice and etched out the GaN surface by the inductively coupled plasma source. The fabricated GaAs and GaN photonic crystals provide the enhanced intensities of light emission for the wavelengths of 858 and 450 nm, respectively. We will present the detailed dimensions of photonic crystals from SEM and AFM measurements.

**Key Words :** Photonic crystals, GaAs and GaN Compound Semiconductors, Anodic Aluminium Oxide

#### 1. 서론

최근에 반도체 발광소자의 발광효율을 높이기 위해서 광결정을 이용한 외부 양자효율을 높이는 많은 연구가 진행되어지고 있다.[1] 광결정이란 두 가지 이상의 유전체가 서로 주기적으로 배열되어 있는 격자구조로서, 빛이 광결정을 지나면서 회절하여 보강간섭이나 상쇄간섭을 일으켜 빛의 세기가 달라진다.

이러한 광결정을 제작하기 위해 많은 제조기술이 개발되어졌으며, 대표적으로 E-beam이나 AFM을 이용한 리소그래피 패턴기술과 전기화학적 다공성의 양극산화 알루미늄(Anodized aluminium oxide : AAO)의 형성기술이 활용되고 있다. 이 양극산화 알루미늄 형성기술은 전해질의 종류, 온도, 농도 등의 전기화학적 조건에 따라 다양한 나노단위의 구멍을 제작할 수 있다.[2]

본 연구에서는 양극산화 알루미늄 박막을 식각 마스크로 패턴화한 GaAs 광결정과 전자빔 나노리소그래피 패턴 기술을 이용한 GaN 광결정의 제작 및 발광특성을 파악하였다.

#### 2. 실험

본 실험에서 두 가지 형태의 광결정을 제작하였다. 먼저 알루미늄 박막에 AAO 패턴을 전기화학적 방식으로 제작하여 GaAs 기판위에 접합하여 식각마스크로 활용하였다. 반응성 이온빔을 이용한 건식 식각(RIE) 방식으로 GaAs 표면에 알루미늄 다공성의 패턴을 갖는 광결정을 제작하였다 또한 E-beam 나노리소그래피(Electron beam nanolithography)를 이용하여 GaN 기판 위에 200

nm의 두께를 갖는 PMMA 박막을 도포하여 삼각격자구조를 갖는 패턴을 형성한 다음, 유도결합성 고밀도 플라즈마로 GaN 박막을 식각하여 광결정을 제작하였다.

AAO 박막을 제작하기 위해 먼저 표면 산화층과 압연자국 등의 표면의 불순물과 표면거칠기를 HClO<sub>4</sub>(60%)와 EtOH(1:4 in volume)의 혼합용액에서 20 V 전압을 약 60 초 동안 인가한 전해연마(electrochemical polishing)로 제거하였다. 그리고 Si 양극(anode)과 Pt 음극(cathode)으로 옥살산에서 양극 산화시켜 AAO를 형성하였다.

GaN 시료는 사파이어 기판 위에 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor deposition)를 이용하여 450 nm 파장을 갖는 InGaN/GaN 다중양자우물구조의 LED구조를 형성하였다. 이 LED구조의 p형 GaN 표면층에 삼각형의 격자상수가 690 nm이고 직경이 150 nm인 구멍의 광결정을 제작하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 GaAs에 양극 산화시켜 알루미늄 구멍을 형성한 AFM 사진으로 격자의 간격은 89 nm이고 구멍의 지름은 63 nm로 비교적 규칙적인 배열을 보여주고 있다.

그림 2는 GaN 광결정의 AFM 사진으로 PMMA (polymethylmethacrylate)에 E-beam을 이용하여 직경 150nm인 구멍을 만들었고 methylcobuthyl ketone과 isopropyl alcohol 용액에 현상한 다음, 건식식각 공정을 ICP(inductively coupled plasma)를 이용하여 5초 동안 수행되었던 것으로 격자간격은 690 nm 이다.

그림 3은 860 nm의 빛에서 AAO를 이용하여 GaAs위에 제작한 광결정과 광결정을 형성하지 않은 기준시료의

photoluminescence (PL) spectra 로서, 광결정 GaAs 시료의 PL 세기가 광결정이 없는 기준시료보다 증가하였음을 볼 수 있다.

그림 4는 GaN에 격자상수가 690 nm인 광결정과 광결정을 형성하지 않은 기준시료의 각 InGaN/GaN 다중양자우물층(MQW)으로 부터의 PL spectra이다. InGaN/GaN MQW 구조에서 빛의 파장이 450 nm인 청색 광에 대해 광결정이 있는 시료가 없는 시료보다 PL이 증가하였음을 보인다. 광결정이 있는 시료의 PL 세기는 격자상수가 더 커질수록 광결정이 없는 시료의 PL에 근접할 것으로 예상된다.

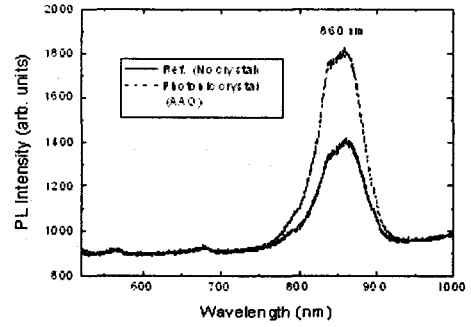


그림 3. GaAs 광결정 구조의 PL spectra

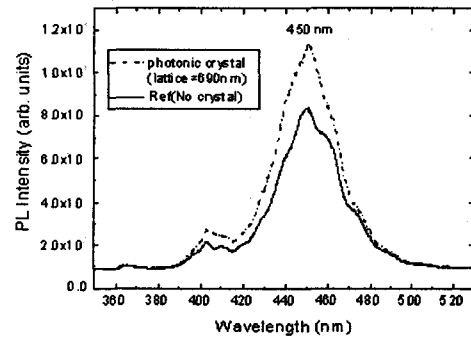


그림 4. GaN 광결정 구조의 PL spectra

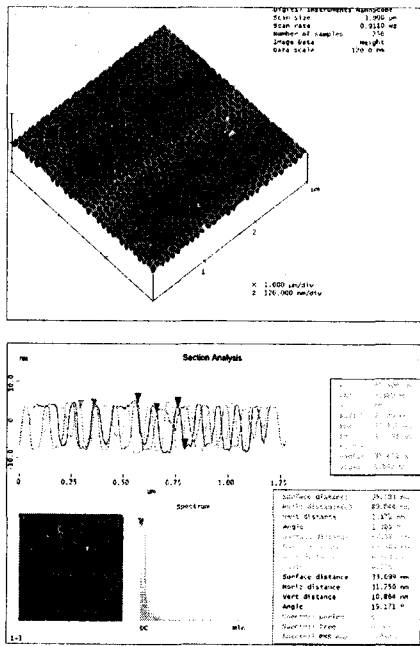


그림 1. GaAs 광결정 구조의 AFM사진

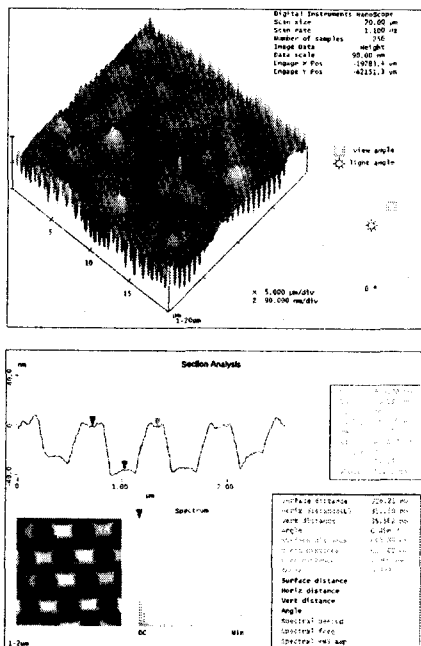


그림 2. GaN 광결정 구조의 AFM사진

#### 4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 금속박막의 전기화학적 양극산화 공정으로 GaAs에 격자 간격이 89 nm이고, 구멍의 지름이 63 nm인 다공성 구멍을 형성하였다. 비교적 주기성이 약한 국소적인 광결정성을 형성하며, 적외선광 860 nm (1.44 eV)의 경우, 구멍에서의 나노회절현상으로 PL이 증가하였다. GaN시료는 MOCVD를 이용하여 사파이어 기판 위에 n-type GaN층과 InGaN/GaN MQW를 성장시키고 그 위에 p-type GaN층을 형성하였다. 이 표면층에 격자 간격이 690 nm이고 구멍의 지름이 150 nm인 광결정을 E-beam lithography와 ICP 식각을 통하여 제작하였다. 이때 빛의 파장이 450 nm인 청색광의 경우 보강간섭에 의하여 PL이 증가됨을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단(KRF 2004 041-D00296) 연구비 지원으로 수행되었음.

#### 참고 문헌

- [1] N. Kawai, K. Inoue, N. Carlson, N. Ikeda, Y. Sugimoto, Asakawa and T. Takemori, "Confined Band Gap in an Air-Bridge Type of Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal", Phys. Rev. Lett. Vol. 86, No. 11, p. 2289 (2001).
- [2] 정미, 박사학위논문(2005): 나노다공성 알루미늄을 이용한 균일한 탄소 나노튜브 및 CdTe 양자점 배열의 성장과 그 특성연구.