

광결정 수직공진 표면광 레이저

Photonic-crystal vertical-cavity surface-emitting lasers

송대성*, 이용재**, 이금희***, 김세현, 박홍규, 김창규, 이용희
 *삼성종합기술원, **삼성전자(주), ***Opticis(주), 한국과학기술원 물리학과
sds821@empal.com

단일기본모드 수직공진표면광레이저(VCSELs)는 광네트워크, 광연결, 광저장 및 레이저 프린팅 등 다양한 분야에 응용이 가능한 소자로서 많은 관심과 연구가 증대되고 있다. 일반적으로 VCSELs는 공간홀버닝(spatial hole burning)과 열렌즈효과(thermal lensing)로 인하여 단일기본모드로 동작하기가 쉽지 않다. 지금까지 여러 가지 연구가 진행되고 있는데 대표적인 예로서 VCSEL의 공진기를 길게 하거나⁽¹⁾ 출력경 표면을 정교하게 식각하는 방법⁽²⁾, 그리고 이온 주입구경과 산화막을 함께 사용한 것들⁽³⁾이 있다. 이러한 방법들은 정교한 제작과정이 필수적이고 동작전류가 어느 값 이상 커지게 되면 쉽게 다중 횡모드로 동작하는 단점이 있다. 본 연구에서는 통상적인 VCSELs 구조에 단일결합을 가진 광결정 공기구멍을 출력경에 형성시킴으로써 모든 동작 전류 내에서 단일기본모드로 동작시키는데 성공하였다. 이러한 광결정 수직공진표면광레이저(PC-VCSELs)는 제작이 용이하고 식각이 가능한 모든 구조에 적용 가능하다. 광결정 공기구멍은 그림1과 같이 삼각형 격자로 이루어져 있으며 소자의 중앙부에 단일 결함이 있다. 격자의 주기와 공기구멍의 직경은 각각 $5\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ 이며 깊이는 약 $2.4\mu\text{m}$ 이다. 결함이 있는 중앙 부분은 주변보다 유효굴절률이 크므로 광인도 구조(waveguide structure)가 형성되며 유효굴절률 차이를 적절히 조절하면 단일 기본모드만을 형성하는 공진기가 이루어지게 된다. 주변부의 유효굴절률은 공기구멍의 크기와 깊이 그리고 주기 등의 특성에 의해 결정되는데 이것은 공진기 내의 전장 분포(electric field distribution)가 공기구멍들 사이에 주로 분포하게 되어 유효굴절률 차이가 작은 광인도 구조가 형성되게 된다. 이러한 PC-VCSEL의 광모드특성은 광결정 광섬유(photonic crystal fiber)와 유사한 특성을 가질 것으로 예상된다.

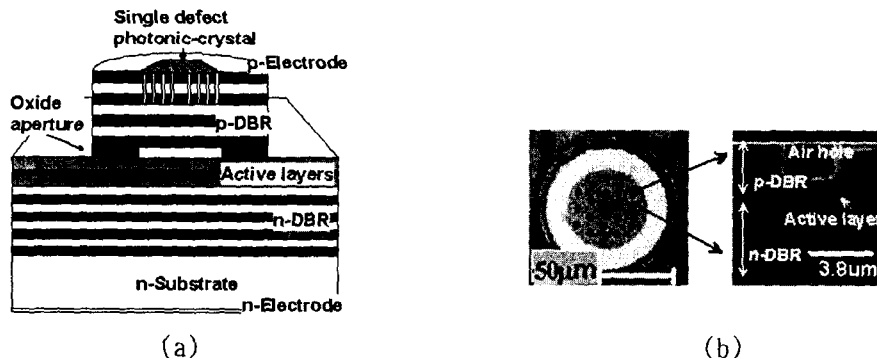


그림.1.(a) 850nm PC-VCSEL의 계략도 및 (b) 광결정의 광학사진과 주사전자현미경으로 관찰한 단면.

실제로 그림 2에서 보는 바와 같이 광결정의 결함부에 구경 $9\mu\text{m}$ 의 광모드가 형성되었다. 이는 단일기본 모드로 동작하는 산화막 수직공진표면광 레이저의 광모드가 $3\sim 4\mu\text{m}$ 인 것을 감안하면 매우 큰 값이다. 출력광의 스펙트럼은 모든 동작전류범위에서 $35\sim 40\text{dB}$ 의 고차모드억제(side-mode suppression ratio)특성을 보였다. PC-VCSELs의 단일 기본모드 특성은 광결정 광섬유와 유사한 광인도구조에 의한 것뿐만 아니라, 반사율이 낮아진 공기구멍들과 고차모드들과의 중첩이 단일 기본모드보다 심하므로 광손실이 크게 되기 때문이다. 원형의 공기구멍으로 이루어진 PC-VCSEL의 편광 특성은 불안정하여 전류에 따라 수직인 두 편광이 쉽게 스위칭(switching)된다. finite-difference time-domain(FDTD)방법으로 전산시뮬한 결과에 따르면 이러한 특성은 구조적 대칭성에 기인한 것으로 원형 공기구멍을 타원으로 바꾸게 되면 대칭이 깨짐으로 인해 각각 수직인 두 편광의 광모드가 달라지게 된다. 이때 전류를 비대칭적으로 주입하게 되면 어느 한쪽 편광모드의 모달이득(modal gain)이 상대적으로 다른 쪽

보다 크게 된다. 그리고 큰 모달이득에 의하여 발진한 편광모드는 전류의 변화에 의해 편광이 바뀌지 않고 안정화 되기 된다. 전류의 비대칭적 주입은 광결정의 중앙부와 도넛모양의 위쪽전극의 상대적 위치에 의해서 결정된다. 그림3에서 나타낸 바와 같이 옆으로 길쭉한 공기구멍으로 이루어진 PC-VCSEL의 경우 비대칭적인 전류의 주입에 의하여 29dB의 편광억제(polarization extinction ratio)를 갖는 단일 기본모드 특성을 나타내었다.

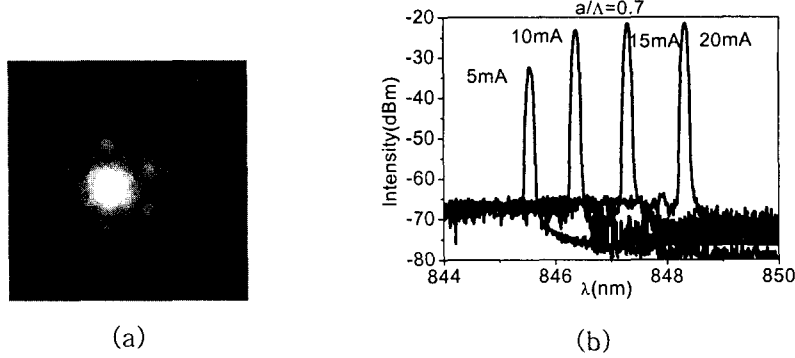


그림.2.(a) 광결정의 주기가 $5\mu m$ 이고 공기구멍의 직경이 $3\mu m$ 인 850nm PC-VCSEL의 근접장 사진 및 (b) 동작 전류에 따른 각각의 스펙트럼

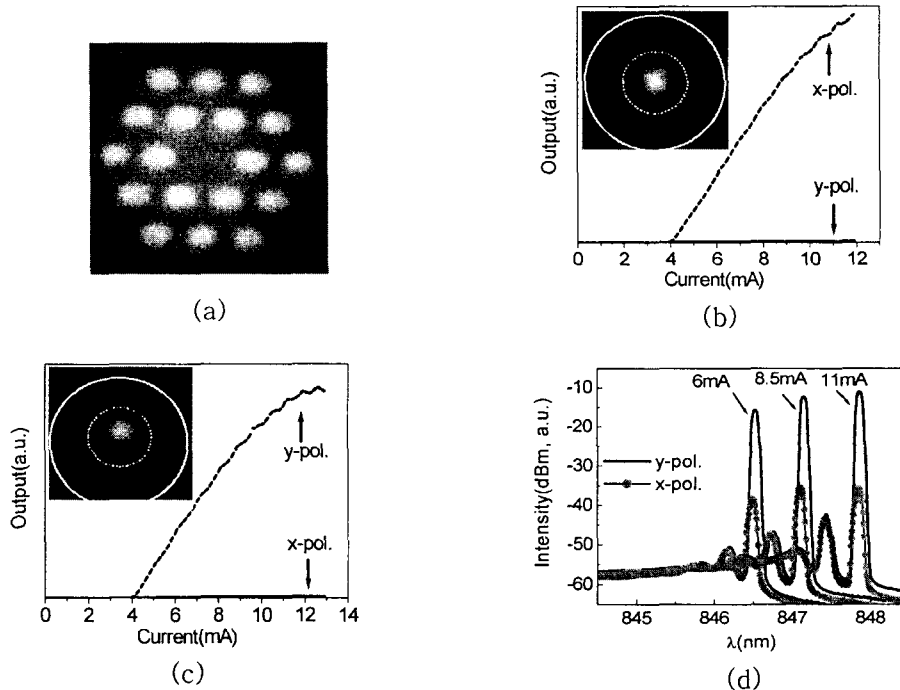


그림.3.(a) 좌우로 길쭉한 공기구멍으로 이루어진 PC-VCSEL의 레이저로 발진하기 전의 근접장사진. (b) 와 (c)는 비대칭적 전류주입에 의한 레이저 발진 후의 근접장사진 및 편광에 따른 전류-출력 특성 곡선. (d)(c)의 각각의 전류에 대한 편광 스펙트럼. 그래프내의 근접장사진에 표시한 안쪽 점선원은 광결정의 중앙부를 표시한 것이며 바깥쪽 실선은 도넛모양전극의 안쪽 경계를 표시한 것이다.

참고문헌

1. H. J. Unold, M.C. Riedl, S.W.Z. Mahmoud, R. Jager and K.J. Ebeling, Electron. Lett., **37**, 178 (2001)]
2. H. J. Unold, S. W. Z. Mahmoud, R. Jager, M. Grabherr, R. Michalzic, and K. J. Ebeling, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. **7**, 386 (2001)
3. F.W. Young, K.D. Choquette, S.L. Chung, K.M. Geib, A.J. Fischer, and A.A. Aleerman, IEEE Photon. Tech. Lett., **13**, 927 (2001)