

광양자태 레이저 어레이를 이용한 교통 신호 시스템

김영천, 신미향, 채광현, 김태겸, 권오대
포항공과대학교

PQR array chip technology in traffic signal system

Young Chun Kim, Mi Hyang Shin, Kwang Hyun Chae, Tae Kyum Kim, O'dae Kwon
Pohang University of Science and Technology

Abstract - 도로 교통에서의 보행자 안전을 위해 광양자태 레이저 어레이를 이용한 첨단 교통 신호 시스템 응용 기술을 소개한다. 저소비 전력 및 온도 특성이 뛰어난 광양자태 레이저는 대규모 어레이로 제작이 용이하며 고속 모뮬레이션 및 색순도 등이 뛰어나 광학 투사 시스템을 이용해 고해상도의 글자체 및 영상 구현이 가능하다. 횡단 보도 인근에 고집적, 고효율의 글자체 광양자태 레이저 어레이를 도로 바닥에 투사 및 영상화 시킴으로써 운전자 및 보행자의 교통 사고 예방에 획기적인 효과를 가져올 것으로 기대된다.

그림 2는 직경 10 μ m, 소자 중심 간 거리(center to center) 34 μ m인 1k 적색 광양자태 레이저 어레이에 100mA 전류 주입 후, 볼록 렌즈(focal length: 25mm)를 이용하여 소자에서 약 5m 떨어진 거리에 상을 200배 확대한 영상이다. 우측의 확대 영상에서 1k 적색 광양자태 어레이 각각의 점 광원들이 명확히 구분되어짐을 확인할 수 있으며, 광양자태 레이저 어레이를 더욱 고집적화 시킬 경우 고해상도의 글자체 및 영상을 얻을 수 있다.

1. 서 론

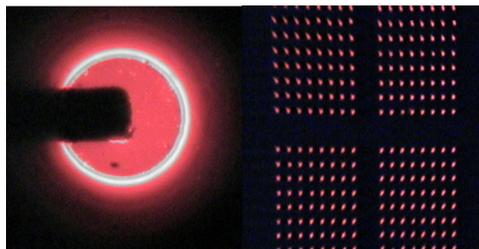
지능형 교통 시스템은 첨단 정보 통신 기술을 도로 교통 분야에 적용하여 사고 및 피해를 줄이고 운전 효율성을 증대하는 이른바 최적의 교통 관리 체계를 말한다. 그중에서도 보행자 안전을 위한 첨단의 교통 신호 시스템은 일반적으로 운전자가 횡단보도나 교차로를 앞두고 가속도를 내는 현상을 막을 수 있어 횡단보도 인근의 교통사고 예방에 큰 효과를 가져올 수 있다는 점에서 주목을 받고 있다. 본 논문의 주제인 광양자태 레이저 어레이를 이용한 교통 신호 시스템은 현재와 같이 보행 신호를 알리는 녹색 불빛의 점자와 초단위의 신호등과는 달리 레이저 빛으로 횡단보도의 도로 바닥에 "정지"라는 문자를 표시함으로써 횡단보도 등에서의 교통사고 발생률을 획기적으로 낮추는데 기여할 것으로 기대된다.

2. 본 론

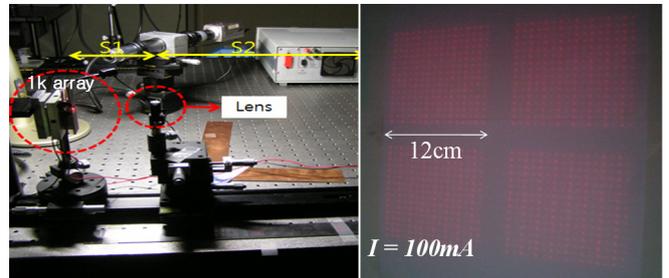
본 연구실의 월천 특허 기술인 광양자태[1] (PQR : Photonic Quantum Ring) 레이저는 소자의 3차원 공진 구조(속삭이는 동굴 모드, whispering cave mode : WCM)에 의한 양자선(Quantum Wire) 특성에 기인한 매우 낮은 문턱 전류(nA~ μ A급) 및 온도 대비 파장 안정성이 뛰어나 대규모 어레이 제작시 발생하는 열화문제에 있어서 매우 유리하며, 기존 레이저의 공동 약점인 스펙클(speckle) 문제에 있어서도 자유롭다. [2] 또한 1Å 미만의 매우 sharp한 linewidth를 갖는 광양자태 레이저는 저전력 소모 광원으로써 일반적으로 LED의 변조특성이 MHz를 밑도는 데 비해, 이론적으로 수백 MHz~GHz급의 고속 모뮬레이션이 가능하여 기존의 LED 및 레이저를 대체할 수 있는 차세대 조명 및 투사형 디스플레이 광원으로 활용될 수 있다.

2.1 투사 광학계를 이용한 글자체 광양자태 레이저 어레이

광양자태 레이저의 낮은 전력 소모와 높은 색순도는 글자체 형의 디스플레이 광원으로 적합하다. 그림 1의 좌측은 직경 10 μ m, 주입 전류 24 μ A에서 발진하는 적색 광양자태 레이저의 CCD 발진 이미지이며, 우측 사진은 이를 집적시킨 256 어레이 이미지이다. 테두리에서 나오는 빛이 유도 방출(stimulated emission)에 의해 발진하는 광양자태 레이저이고 가운데에서 나오는 빛이 자발 방출(spontaneous emission)에 의해 발광하는 LED 이다. 광양자태 레이저의 발광효율이 월등함을 알 수 있다.



〈그림 1〉 (좌) 직경 10 μ m, 주입 전류 24 μ A의 적색 광양자태 레이저 (우) 이를 집적시킨 256 어레이 이미지



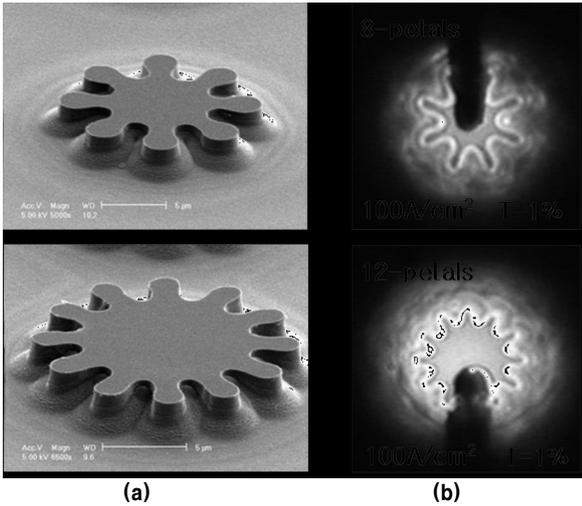
〈그림 2〉 (좌) 볼록 렌즈를 이용한 직경 10 μ m, 1k 적색 광양자태 레이저 어레이의 투사 광학 시스템 (우) 투사 광학 시스템을 이용한 주입전류 100mA에서의 1k 적색 광양자태 레이저 어레이의 확대 영상

2.2 고효율 꽃잎형 광양자태 레이저

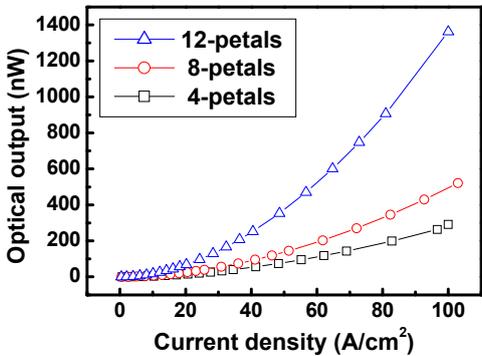
투사 광학계를 이용한 글자체 형의 광양자태 레이저 어레이를 교통 신호 시스템에 사용하기 위해서는 어두운 발광뿐만 아니라 대낮에도 투사 영상을 운전자 및 보행자가 식별할 수 있을 만큼의 고효율의 레이저 어레이를 제작할 필요가 있다.

기존 반도체 광원에 비해 광양자태 레이저가 상기와 같은 독보적인 발광 특성을 보이는 한편 기존의 광양자태 레이저 구조만으로는 메사 직경에 비례하는 출력 특성을 보이기에는 하지만 광양자태 레이저의 크기는 임계직경(critical diameter)이라는 한계를 벗어날 수 없다.[3] 즉, 원형 메사의 광양자태 레이저를 예로 들면 그 테두리 부분에서만 발진이 일어나므로, 같은 둘레를 갖는 LED가 원형 메사의 전 표면에서 발광하는 것보다 출력량이 적게 되는 한계에 다다르게 된다. 따라서 고효율의 광양자태 레이저 어레이를 제작하기 위해서 기존의 원형 메사 대신 꽃잎의 형태로 대체한 즉, 꽃잎의 볼록한 부분에서는 메사 타입의 concave 전반사 조건이 성립하고 오목한 부분에서는 홀 타입의 convex 전반사가 성립함에 의하여 꽃잎의 개수가 증가함에 따라 전체 광양자태 레이저의 발진 길이도 증가하며 따라서 꽃잎개수를 늘림에 따라 광출력이 증가함을 증명하다.[4]

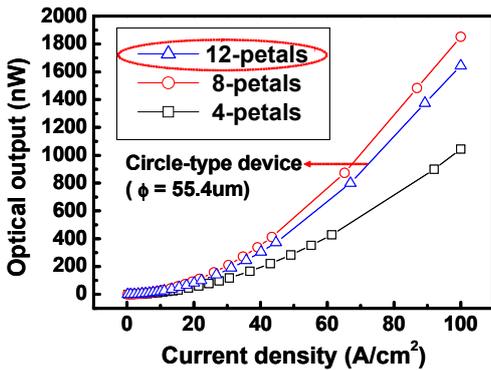
그림 3 (a)는 꽃잎 개수 8개(위), 12개(아래)일 때의 광양자태 레이저 소자 구조를 보여주는 SEM 사진이며, (b)는 꽃잎 개수 8개(위), 12개(아래)일 때의 주입 전류 밀도 100A/cm²에서의 광양자태 레이저의 CCD 발진 이미지를 나타낸다. (발광량이 CCD를 포화시키므로 Neutral Density Filter로 발광량 대부분을 차단함, 투과도(T) = 1%, 직경(Φ) = 20 μ m) 그림 4 (a)는 직경 20 μ m인 꽃잎 소자들에 대한 전류밀도에 따른 출력 파워 그래프이며 꽃잎의 개수가 늘어날수록 동일 전류 밀도에서 더욱 강한 세기를 나타냄을 확인할 수 있다. 하지만 그림 4 (b)와 같이 직경 30 μ m인 꽃잎 소자들에 동일 실험을 한 결과, 꽃잎 12개 소자의 경우 더 이상 꽃잎 테두리 레일리 밴드(Rayleigh and) 안쪽에서의 강한 발진에 의한 출력 파워의 향상을 기대할 수 없었는데, 이는 앞선 설명에서 광양자태 레이저는 임계 직경이라는 한계를 갖고 있기 때문인 것으로 해석된다. (직경 30 μ m인 꽃잎 12개 소자는 직경 55.4 μ m인 원형 메사에 해당하며, 이는 광양자태 레이저의 임계 직경(40~50 μ m)을 넘는 경우이다.)



〈그림 3〉 (a) 위 : 꽃잎 8개, 아래 : 꽃잎 12개일 때의 광양자테 레이저 SEM 사진 (b) 위 : 꽃잎 8개, 아래 : 꽃잎 12개일 때의 CCD 발진 이미지, 투과도 (T)=1%, 직경 (ϕ)=20um



(a)



(b)

〈그림 4〉 (a) 직경(ϕ) 20um인 꽃잎 4개, 8개, 12개 광양자테 레이저의 전류밀도에 따른 출력파워 그래프 (b) 직경(ϕ) 30um인 꽃잎 4개, 8개, 12개 광양자테 레이저의 전류밀도에 따른 출력파워 그래프

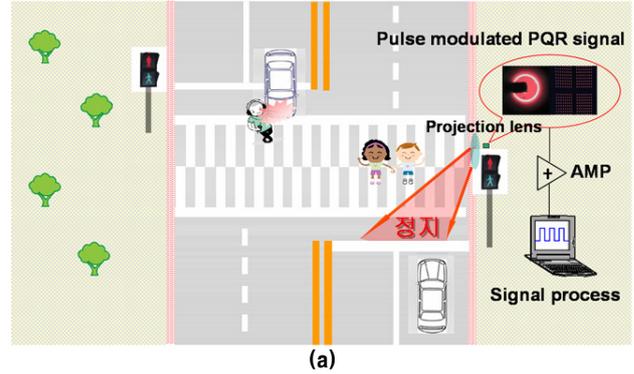
2.3 광양자테 레이저 어레이를 이용한 글자체 교통 신호 시스템

그림 5 (a)는 횡단 보도 인근에서 적색 신호등이 켜질 경우 광양자테 레이저 어레이를 이용해 도로 바닥에 “정지”라는 글자체를 투사함으로써 운전자 및 보행자가 미연의 사고를 방지하는 교통 신호 시스템에 대한 개략도이다. 도로 바닥에 글자체를 투사하기 위하여 신호등 정도의 높이를 갖는 위치에 글자체용 광양자테 레이저 어레이 모듈을 설치한다. 모듈을 구성하는 요소에는 (가로x세로) 약 5.5cmx3.5cm의 크기인

“정지” 글자체의 광양자테 레이저 어레이와 어레이 상단부에 광원을 투사면(도로 바닥 등)에 집속하기 위한 투사형 렌즈, 그리고 광원 어레이를 펄스 신호로 구동시키기 위한 간단한 회로부로 이루어진다. 어레이를 구성하는 광원은 고출력에 적합한 꽃잎 형태의 광양자테 레이저를 이용한다.

광양자테 레이저는 3차원 동굴 모드 발진 원리에 의해 모든 레이저의 디스플레이 광원으로서의 공통 약점인 인간의 눈에 피로감을 주는 스펙클 문제에 있어 보다 자유롭기 때문에 운전자나 보행자에게 거부감을 안일으키고 동시에, 수직 주도의 3차원 공간 모드로 인해 자발방출에 의존하는 LED와 달리 광원의 빛을 효율적으로 집속시킴이 용이하다.

그림 5의 (b)는 실제 도로 상에서의 응용 예시를 나타낸 사진으로 바닥에 투사된 “정지” 글자체를 통해 신호등이 없는 건물목 혹은 어두운 밤길에도 운전자가 과속운전을 못하게 하는 역할을 수행할 것으로 기대된다.



(a)



(b)

〈그림 5〉 (a) 광양자테 레이저 어레이를 이용한 글자체 교통 신호 시스템 개략도 (b) 실제 도로 상에서의 응용 예시

3. 결 론

도로 교통에서의 운전자 및 보행자의 안전을 위해 광양자테 레이저 어레이를 이용한 글자체 교통 신호 시스템에 대해 알아보았다. 현재 본 연구실에서는 어레이 모듈을 구성하는 고집적, 고출력의 광원부 및 이를 구동하는 펄스 회로부, 그리고 어레이 상단에 장착할 투사형 렌즈를 일체형으로 제작 중에 있으며, 실제 도로상에서의 응용 가능성을 알아보기 위해 A시 교통행정과와 시연 준비 중에 있다. 양자선 특성에 기인한 저전력 소모 및 스펙클 문제 등에 있어 자유로운 광양자테 레이저는 향후 투사형 디스플레이 기술로서 그 활용 범위를 넓혀나갈 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] J.C. Ahn, K.S. Kwak, B.H. Park, H.Y. Kang, J.Y. Kim and O'Dae Kwon, "Photonic Quantum Ring", Phys. Rev. Lett, Vol. 82, No. 3, pp 536-539, 1999
 [2] O'Dae Kwon, "2D Whispering Gallery vs. 3D Whispering Cave [Invited]", Proc. of SPIE, Vol. 6872, 68720M, 2008
 [3] O'Dae Kwon, M.J. Kim, S.-J. An, D.K. Kim, S.E. Lee, J. Bae, J.H. Yoon, B.H. Park, J.Y. Kim, and J.C. Ahn, "Hole emitter of photonic quantum ring", Appl. Phys. Lett, Vol. 89, 11108, 2006
 [4] Y.C. Kim, M.H. Shin, K.H. Chae, C.H. Kim, and O'Dae Kwon, "Photonic quantum ring flower laser of whispering cave mode", Elec. Lett, accepted, 2009