

# 특집 ■ 최근 레이저 개발동향

## 수직공진형 표면방출 레이저 개발 동향

유병수\*

반도체 레이저 기술의 발전에 따라 다양한 구조의 레이저 소자가 제안, 개발되어 왔는데, 특히 70년대 말 제안된 수직공진형 표면방출 레이저(vertical-cavity surface-emitting laser, VCSEL)는 기존의 DFB LD(distributed feedback laser diode)나 FP LD(Fabri-Perot laser diode)와 같은 측면방출 레이저(edge-emitting laser)와 달리 기판에 수직인 방향으로 빔의 방출되는 구조로 이와 같은 구조적 특징으로 인하여 여러 측면에서 장점을 갖추고 있어 세계적으로 활발히 상용화되고 있다.

그림 1에 나타난 것과 같이 VCSEL은 기판에 수직인 방향으로 빔이 방출 되므로 circular symmetry한 분포를 지니고 있어 광섬유와 높은 커플링 효율을 보이고, wafer scale의 공정 및 제작이 가능하여 저가의 레이저 제작이 가능하며, 이차원 어레이형의 병렬 광원의 제작이 용이하다. 그리고 일반적으로 마이크로 크기의 공진 거리를 갖고 있으므로 낮은 소모 전력에서의 동작이 가능하다. 이와같은 저가의 소자 제작 및 실장 특성과 낮은 소모 전력 특성은 광배선과 광통신용 광원으로 활발히 적용되고 있으며, 새로운 응용 가능성으로 많은 주목을 받고 있다.

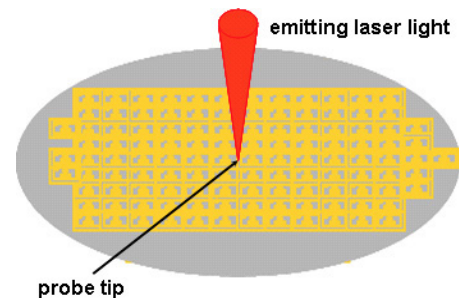
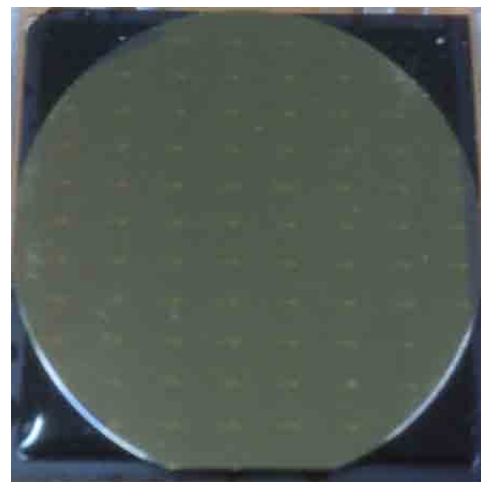


그림 1. VCSEL wafer 및 emission 특성

\* (주)레이칸

## 수직공진형 표면방출 레이저 개발 동향

최근에 스마트 폰, 스마트 TV 및 스마트 그리드 등은 사회적인 추세로 스마트 폰을 시작으로 상상을 넘어서는 폭발적인 성장을 예고하고 있는데 이들 기기 및 응용에 따른 cloud computing, social networking 등으로 가능하게 되는 스마트 워킹 환경을 구축하기 위해서 세계적으로 데이터 센터의 신설은 물론 대형화가 가속되고 있다. 데이터 센터에서는 호스트 혹은 서버 간의 연결에 통상 수십만~수백만 회선의 전송케이블이 사용되는데 주로 구리선을 기반으로 하는 케이블을 사용하여왔다. 그러나 Green IT화, 데이터 센터의 초대형화 및 전송속도의 초 고속화에 따라 유연성과 전송속도와 거리에서 제한을 갖는 구리선으로는 효율적인 데이터 센터의 구성 및 운영이 크게 제한받게 되므로 이를 해소하는 광을 이용한 능동 광 케이블(Active Optical Cable: AOC)의 사용 요구가 크게 증대되고 있다. 특히 최신 대형 데이터 센터의 전력소모는 웬만한 중소도시의 전력량과 맞먹을 정도로 향후 10~25%의 성장률을 보일 것으로 예측되는 데이터 센터의 전력 문제 해결은 중요한 화두이다. 이와 같은 소모 전력 문제의 해결에 있어서 낮은 소모 전력의 VCSEL 광원을 이용한 송수신소자는 핵심 기술로 떠오르고 있으며 빠르게 시장에 적용되고 있다. 본 원고에서는 낮은 소모 전력 특성의 단파장 및 장파장 대역에서의 VCSEL 개발 동향을 소개하고자 한다.

### 1. 단파장 VCSEL 개발 동향

레이저는 빛을 생성하는 활성층과 생성된 빛의 반사를

통한 증폭을 위한 거울층으로 구성되는데, VCSEL은 수직으로 빔의 방출을 위하여 기판 위에 거울층 + 활성층 + 거울층으로 구성되어진다. 850 nm 대역의 단파장 VCSEL의 경우 기판으로는 GaAs를 사용하고 있으며 거울층은 GaAs에 격자 정합된 AlGaAs의 Al 조성 변화를 통하여 낮은 굴절율과 높은 굴절율이 교대로 성장된 DBR(distributed Bragg reflector)을 사용한다. 그리고 활성층은 원하는 파장의 빛을 생성하기 위한 GaAs 다중 양자 우물 구조를 주로 사용한다. 일반적으로 거울층은 99% 이상의 높은 반사율을 갖고 있고, 활성층은 200~300 nm의 두께로 형성되어 레이저 발진이 시작되는 문턱전류가 약 1 mA 그리고 동작전류가 약 6~7 mA로 낮은 소모 전력의 특성을 보인다. 단파장 VCSEL의 경우 이미 단거리 데이터 통신 및 광통신용 광원으로 널리 활용되고 있으며, 산화막을 이용한 구조에서는 문턱 전류, 전압 등의 소자의 정특성에 있어서 안정된 수준에 도달되어 있다.

최근에 와서는 데이터 센터 등의 대용량 전송을 위하여 기존의 채널별 10G 기반의 단파장 VCSEL 기술에서 16G, 25G의 대용량 초고속으로 시장 및 기술 요구가 빠르게 발전하고 있다. 100BASE-SR4, Fiber channel32, Infiniband등 차세대 광연결 통신을 위한 20Gb/s 이상의 고속 전송 특성을 위한 VCSEL의 기술 개발이 여러 그룹에서 진행되고 있다. 일부 그룹에서 VCSEL을 이용한 25 Gbps의 송수신 소자의 R&D 등을 보고하고 있으며, 25 G VCSEL을 이용하여 FFE(feed-forward equalizer)등 전자 회로 조절을 이용한 ~40 Gbps의 동작 등이 보고되고 있다. 보다 낮은 소모

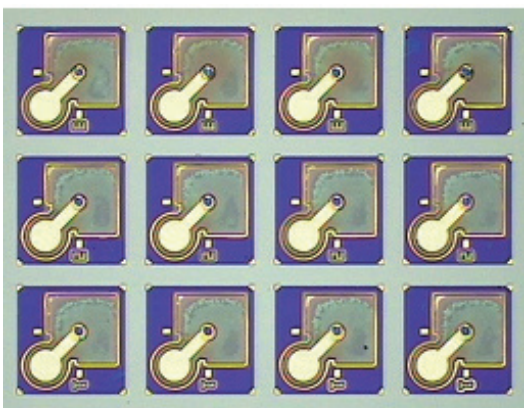
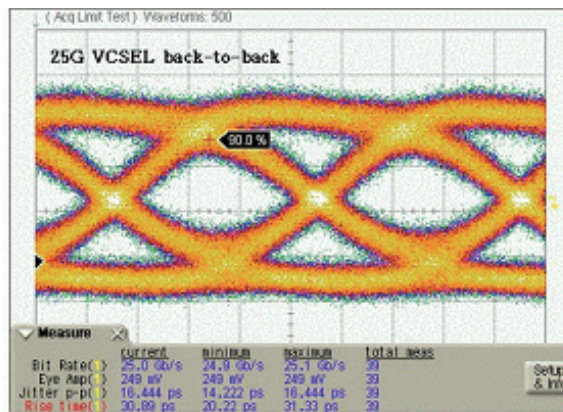


그림 2. 25G 단파장 VCSEL chip 및 25Gbps eye pattern



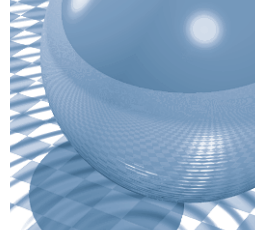
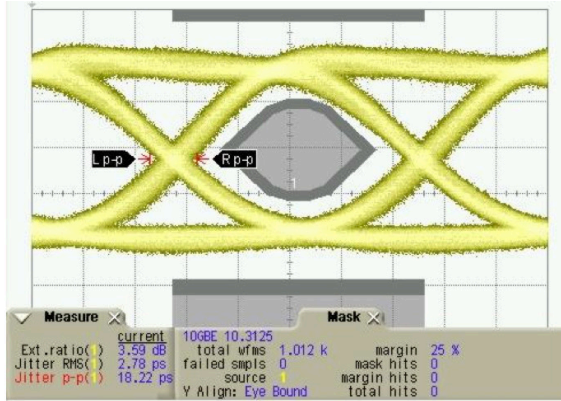


그림 3. 10G 장파장 VCSEL chip 및 10Gbps eye pattern



전력의 특성을 갖고, 신뢰성 있는 특성을 위하여 낮은 구동 전류의 25 Gbps 급 단파장 VCSEL의 기술 개발과 제품화가 경쟁적으로 이루어지고 있다.

그림2은 단파장 VCSEL의 칩과 25 Gbps 동작 eye 특성을 나타내는데, 고속 동작을 위하여 활성층 및 거울층의 이득 및 손실 특성 개선이 이루어지고 있다. 이와같은 단파장 VCSEL은 대용량 데이터 센터의 100 m 이내의 거리의 핵심 송수신 소자로 자리 잡을 것으로 예측된다.

또한 25 Gbps 이상의 고속 동작과 더불어 사용 파장 대역의 확대를 통한 대용량 송수신 소자 개발이 진행되고 있는데, 이를 위하여 780, 980, 1,060 nm 대역의 단파장 VCSEL 기술 개발도 이루어지고 있다. 여러 파장을 이용하여 단일 광섬유를 통한 대용량 신호 처리를 할 수 있는 소자의 제품화도 빠르게 진행되고 있다.

양자 효율, 낮은 밴드 불연속성에 의한 누설 전류 증가, 그리고 낮은 열전도성 등으로 인하여 구현에 많은 어려움을 지니고 있다. 이와같은 문제점을 해결하기 위하여 GaAs 기반의 장파장 이득 물질 도입, 유전체 거울을 이용한 이중 구조, InP 기반의 성장 구조 등 다양한 구조에서 VCSEL 구현이 이루어져 오고 있다. 현재 세계적으로 2~3개의 업체만이 장파장 VCSEL의 제품 출시가 이루어지고 있는데, 낮은 소모 전력의 특성을 바탕으로 2~10 km의 데이터 센터 및 데이터 통신용 송수신소자로 개발이 진행되고 있다.

그림 3은 10G 장파장 VCSEL 칩 및 10Gbps eye pattern을 나타낸다. 1,310 및 1,550 nm 대역에서 약 10 Gbps 급 VCSEL 등이 출시되고 있다. 장거리 대용량 전송을 위하여 단일 소자의 고속화를 위한 기술 개발과 WDM(wavelength division multiplexing) 활용을 위한

## 2. 장파장 VCSEL 개발 동향

850 nm 대역의 단파장 VCSEL은 실리카 광섬유의 특성상 주로 100 m 이내의 거리에서 사용이 가능하다. 이와같은 파장이 갖는 전송 거리의 한계를 극복하기 위하여 실리카 광섬유에서 손실 및 분산 특성이 좋은 1.3 ~ 1.5  $\mu\text{m}$ 의 장파장 대역에서 VCSEL을 구현하기 위한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

장파장 VCSEL은 구조적으로 고반사율의 거울 및 고효율 이득 물질 선택의 어려움, Auger 재결합 등 낮은

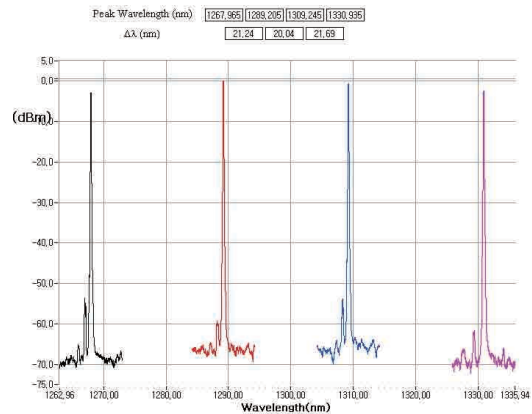


그림 4. 10G 장파장 VCSEL WDM 모듈의 spectrum 특성

## 수직공진형 표면방출 레이저 개발 동향

다양한 파장의 VCSEL 상용화가 활발히 이루어지고 있다.

특히 장파장 VCSEL의 경우 대용량의 방향으로 다양한 파장을 이용한 소자 개발이 이루어지고 있는데 20 nm 또는 5 nm 등의 파장 간격의 VCSEL 소자들을 이용하여 대용량 전송에 적합한 송수신 소자의 개발이 이루어지고 있다. 그림 4는 1,310 nm 대역에서 약 20 nm 간격의 4채널 WDM 광원의 파장 특성을 나타낸다. 한 채널당 10 G로 총 40 G급의 전송 특성을 갖는 광원의 특성을 나타낸다. 이와같은 장파장 VCSEL은 낮은 소모 전력의 특성을 바탕으로 2 km 이상의 대용량 데이터 센터의 송수신소자의 광원으로 활용이 기대된다.

### 3. 결론

단파장 VCSEL은 낮은 소모전력 및 저가의 특성을 바탕으로 대용량 데이터 센터 등의 데이터 통신에 있어서 핵심 송수신 소자로 활용되고 있다. 그리고 단거리의 단파장 VCSEL과 더불어 2km 이상의

장거리에도 장파장 VCSEL의 적용을 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 또한 VCSEL의 고속화 및 파장의 다양화를 통하여 AOC 등의 다양한 분야에 활용될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

[1] M Cooke, Semiconductor Today, Vol. 6, Issue 1, 6 (2011)

### 약력

#### 유병수



유병수 박사는 1990년 KAIST에서 물리학으로 박사 학위를 취득하였고, 1990년 한국전자통신연구원(ETRI)에 입원하여 집적광원소자팀장 등을 역임하였고, 2002년 수직공진형 표면방출 레이저 기술을 바탕으로 (주)레이칸을 공동 창업하여 현재 대표이사를 맡고 있다.

Email : ceo@raycan.com