

버슈트가 거의 없어 불필요한 트롤리 전·후진을 억제하여 운전자의 피로를 경감시키는 것이 가능함을 확인하였다.

둘째, 또한 도립막대 시스템에 적용한 결과, LQ 제어기는 약간의 파라미터 변화에 대해서도 심한 헌팅 현상과 함께 매우 불안정한 응답특성을 보이며 제어가 불가능하였으나, FLQ 제어기의 경우 설계된 제어구간 내에서 파라미터 변화나 외란에 대해서 정상편차 없이 뛰어난 목표위치 추종성능을 보임으로써 그 제어의 유효성과 강인성이 확인되었다.

셋째, 뉴로-퍼지 제어기에서는 계단상 기준입력 변화에 대해 정상편차 없이 양호한 목표위치 추종성능을 보였으며, 파라미터의 변화, 외란 등 제어환경의 변화에 대해서도 비교적 강인함을 확인함으로써 수학적 모델에 의하지 않더라도 많은 경험을 가진 뛰어난 운전자로부터 이상적인 목표 입·출력 자료를 얻을 수만 있다면 우수한 제어기 구성이 가능하다는 결론을 얻었다.

## 7. 평면매립형 고위도 다이오드의 반사특성 개선에 관한 연구

전자통신공학과 황 상 구  
지도교수 홍 창 희

LD(Laser Diode)와 LED(Light Emitting Diode)의 중간적인 특성을 가지는 SLD(Superluminescent diode)는 광섬유센서의 광원으로 주로 사용되고 있다. SLD의 특성을 LED와 비교하여 보면, 스펙트럼 영역이 SLD는 LED에 비하여 좁으나, 광출력은 SLD가 높다. 그러나 LD와 비교하면 오히려 SLD가 스펙트럼영역이 넓고 출력은 작지만 보다 낮은 가간섭성과 편광성을 가진다. 반사경을 이용하여 공진을 하는 LD에 비하여 SLD는 반사경을 사용하지 않기 때문에 공진모드가 없고, 출력이 낮으며, 가간섭 길이가 짧은 optical beam을 제공한다.

전 세계적으로 볼 때 단파장 영역의 SLD가 먼저 개발되어 광섬유 자이로스코프와 같은 광센서용 광원으로 사용되고 있지만, 통신용 광섬유에서 보다 낮은 전파 손실 및 분산 특성을 갖는  $1.3\mu\text{m}$  또는  $1.55\mu\text{m}$  파장의 SLD가 요구되고 있으며, 이에 대한 많은 연구가 이루어져 상용화 단계에 이르고 있다. 또한 SLD의 용도는 점점 더 다양해지고 있으며, 그 수요 또한 광산업의 발전과 더불어 크게 증가할 것으로 예측된다.

한편, SLD를 제작할 때 가장 핵심이 되는 요소는 단면반사도를 감소시켜 발진을 억제하는 것이다. 이를 위하여 여러 가지 방법들이 사용되고 있으며 가장 일반적인 방법은 무반사 코팅을 하여 반사도를 줄이는 것이다. 그러나 레이징을 억제 할 만한 수준의 무반사 코팅을 재현성 있게 구현한다는 것이 오늘날의 기술수준에서도 그리 쉬운 일이 아니다. 따라서 본 연구에서는 MQW(Multi-Quantum Well)-PBH(Planar buried heterostructure)-SLD를 무반사 코팅을 하지 않고 제작하기 위하여 SLD의 일반적인 특성과 제작시 고려사항 등을 검토하고, 이어서 파동방정식을 이용하여 SCH(Separate Confinement Heterostructure)-MQW 구조의 횡모드 해석과 측모드 해석을 하였다. SCH-MQW구조의 광가둠계수와 Well 수와의 관계, Well의 수에 따른 최적의 SCH 층 두께 등에 관하여 해석을 하였다.

$\lambda_g = 1.55\mu\text{m}$ 의 발진파장을 가지는 InGaAsP/InP SLD의 제작에 적합한 에피 웨이퍼를 성장

시키기 위하여 SCH-MQW의 구조를 5층 slab 도파로 구조로 근사화하여 해석하였다. 횡방향 TE 모드에 대한 파동방정식을 Maxwell 방정식으로부터 유도하였으며, 변수분리법을 이용하여 해를 구하고, 구해진 해와 경계조건을 바탕으로 주어진 구조에서 각각의 고유치를 구하였다. 고유치를 이용하여 얻어진 결과에서  $1.55\mu\text{m}$  InGaAsP/ $1.24\mu\text{m}$  InGaAsP SCH-MQW 구조에서 하나의 활성층으로 근사된 MQW 내의 well 수에 따라 최적의 SCH 층 두께를 구할 수 있었다. Well의 개수가 4, 6, 10인 경우에 대해 각각 1700Å, 1500Å, 1200Å의 성장에 필요하다는 것을 알 수 있었다.

실제 발진파장  $\lambda_g = 1.55\mu\text{m}$ 인 InGaAsP SLD가 단일모드 동작을 위한 활성층의 폭이 1~1.5  $\mu\text{m}$ 정도인 것을 고려하여 SCH 층을  $1.24\mu\text{m}$  InGaAsP로 할 경우에 적절한 광가둠계수를 얻기 위한 SCH 층의 두께는  $0.08\mu\text{m} \sim 0.12\mu\text{m}$ 가 적당한 것으로 생각된다.

한편, SCH-SLD구조에 따른 반사도에 관한 해석에서는 SLD의 반사도를 낮추기 위하여 SLD 후면에 윈도우 영역을 만들고, 활성영역과 윈도우 영역 사이의 계면에서 충분히 낮은 반사도를 얻기 위한 Laterally tilted angle을 두어 활성층의 폭과 각도와와의 관계를 해석하였으며, 반사도와 윈도우 영역의 길이에 대한 관계를 해석하였다. 반사도를 낮추기 위하여 SLD의 후면에 윈도우 영역을 만들 경우에 활성영역과 윈도우영역 사이의 계면에서의 반사도와 비교되는 낮은 반사도( $\text{Reff} \ll 0.01\%$ )를 얻기 위해서는 활성층의 두께가  $0.2\mu\text{m}$ , SCH 층의 두께가  $0.08\mu\text{m}$ 인 경우에 대하여 무반사 코팅을 하지 않은 경우에는 윈도우 영역의 길이,  $lw$ 가  $100\mu\text{m}$ 정도가 되어야 한다. 하지만 1% 무반사 코팅을 한 경우에는  $10\mu\text{m}$ 정도 길이의 윈도우 영역이면 충분히 낮은 10-4정도의 반사도를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

또한 활성영역의 도파로에 laterally tiled angle을 만들어 줄 경우에는 10-3이하의 반사도를 얻기 위해서는 활성층 폭이  $1\mu\text{m}$ 인 경우에는 tilted angle을 약  $10^\circ \sim 11^\circ$ 가 적당한 것으로 생각되며, 활성층 폭이  $1.5\mu\text{m}$ 인 경우에는 tilted angle을 약  $13^\circ \sim 14^\circ$ 가 적당한 tilted angle임을 알 수 있다.

이러한 해석결과를 바탕으로 본 연구에서는  $1.55\mu\text{m}$ 파장대역의 InGaAsP/InP계 재료로 6가지 형태의 소자를 제작하였다. 활성영역과 윈도우 영역이 각각 7도와 15도씩 좌, 우로 각도를 가지게 한 구조와 끝부분이 휘어지게 하는 두 가지 구조를 제작하여 측정하였다.

제작된 소자의 특성을 펄스와 CW로 각각 구동하여 전기·광학적 특성을 측정하였고, 측정된 결과를 바탕으로 소자를 TO type pigtailed device로 만들어 광섬유 자이로 스크프에 적용하였다.

본 연구에서는 제작된 SLD의 특성을 간단히 정리하면 표 1과 같다. 펄스 동작 및 CW 동작으로 구분하여  $25^\circ\text{C}$ 에서 측정한 결과이다.

표 1 제작된 SLDs의 특성 [T=25℃]  
Table 1 The characteristics of fabricated SLDs [at 25℃]

SLD Type		L7	R15	Round450	Round500	
펄스 동작	임계전류 [mA]	55	50	35	45	
	중심파장 [ $\mu\text{m}$ ], $I=2I_{th}$		1.56	1.55	1.56	1.56
	출력 [mW]	$I=100$ [mA]	2.6	2.6	1.6	1.8
		$I=200$ [mA]	11	9.3	4	4.4
	스펙트럼 반치 폭 [nm], $I=2I_{th}$		33	47.5	40	35.5
CW 동작	중심파장 [ $\mu\text{m}$ ]		1.56	1.55	1.56	1.57
	출력 [mW] $I=100\text{mA}$	packaging 전	0.13	0.15	0.27	0.28
		packaging 후	-	0.013	0.044	0.05
	스펙트럼 반치 폭 [nm], $I=100\text{mA}$		-	0.76	53	52

표 1에서 보면 4가지 구조의 SLD에 대해 임계전류의 값은 크게 차이가 없고,  $2I_{th}$ 의 동작전류에서 중심파장이  $1.55\sim 1.56\mu\text{m}$ 이며, spectral half width도  $33\sim 47.5\text{nm}$ 로서 광섬유 자이로스코프의 광원으로 적용 가능한 값을 얻었다. L7과 R15의 출력특성을 Round450, Round500과 비교해 보면 동일 전류  $100\text{mA}$ 에서는 크게 차이가 없지만,  $200\text{mA}$ 에서는 큰 차이를 보이는데 이것은 전류가 증가함에 따라 tilted된 부분에서 반사된 광에 의해 출력특성이 증가하는 것으로 생각된다.

전체적으로 임계전류값은 거의 비슷하게 나왔으며, 중심파장도  $1.55\sim 1.56\mu\text{m}$ 로 설계한 파장값 범위이내에 있다. 그러나 R15의 경우 CW구동시 발진을 하였으며 L7의 경우 출력이 미약하였다.

한편, 본 연구에서 제작한 SLD를 패키징을 한 후 depolarized gyroscope에 적용하여 자이로용 광원으로서의 성능을 평가하였다. 광섬유 자이로스코프에 적용한 결과 광섬유 자이로스코프의 광원으로 응용이 가능함을 실험을 통하여 확인하였다. 제작된 SLD는 광섬유 자이로스코프용 광원으로서 사용하기에 충분히 넓은 파장선폭( $53\text{nm}$ )을 가지며, 자이로스코프에 적용 하였을 때 자이로스코프 출력의 불규칙잡음계수는  $0.0025 \text{ deg}/\sqrt{\text{hr}}$  가지는 것으로 평가되었다. 따라서 자이로스코프의 광원으로서 충분히 활용할 수 있을 것으로 생각된다.