

## 실시간 모니터링이 가능한 두 파장 타원 해석기를 사용하여 반도체 레이저의 두 층 무반사 박막 제작

### Double layer AR coating for Semiconductor Laser with In-Situ Monitoring dual wavelength ellipsometer

김상혁, 김종민, 박동현, 김재용, 이용탁

광주과학기술원 정보통신공학과

kimbob@gist.ac.kr

최근 광통신의 발전에 따라 주로 파장 변환기에 사용되고 있는 반도체 광증폭기에 대한 관심이 증가되고 있다. 반도체 광 증폭기를 제작하기 위해서는 박막의 굴절률과 두께를 각각  $\pm 0.02$ 와  $\pm 2\text{nm}$  이내로 제어할 수 있어야 25dB이상의 이득(gain)을 갖는 반도체 광 증폭기를 제작할 수 있다.<sup>(1,2)</sup> 본 논문에서는, 무반사 박막의 굴절률과 두께를 정밀하게 제어하고자 실시간 두께와 굴절률 측정이 가능한 두 파장 타원 해석기(dual wavelength ellipsometer)를 장착한 RF-magnetron 스퍼터링 시스템을 사용하여 두 층 무반사 박막을 제작하였다.

무반사 박막 설계를 위해  $1200\mu\text{m}$  공진 길이를 갖는 InGaAsP 반도체 레이저를 사용하였으며, 소자 단면의 굴절률은 유효 굴절률 방법을 사용하여 계산하였다. 또한 무반사막 두께 설계를 위해 평면파 반사(plane wave reflection)와 전달 행렬(transfer matrix)이 사용되었다. 행렬에 적용된 물질의 굴절률을 타원 해석기를 통해서 알 수 있기 때문에 두께를 변수로 사용하여 최소의 반사율을 가지는 두 물질의 두께를 구할 수 가 있었다. 시뮬레이션 결과 최소의 반사율을 가지는  $\text{TiO}_2$ 와  $\text{SiO}_2$ 의 두께는 각각 189nm와 119nm였다.

스퍼터링으로 박막 증착시 변화하는 빛의 편광상태를 실시간 측정하여 그림 1과 같이  $\Delta$ 와  $\Psi$  곡선이 얻어졌으며, 이  $\Delta$ 와  $\Psi$ 의 곡선으로부터 실시간으로 증착되는 물질의 두께와 굴절률이 계산되어졌다.

균일한 물질의 굴절률을 가지는 박막 제작을 위해서 99.99% 유전체 물질인  $\text{TiO}_2$ 와  $\text{SiO}_2$ 를 타겟으로 사용하였다. 무반사막은 Ar gas flow rate: 50sccm, 압력:  $1 \times 10^{-3}\text{Torr}$ 에서 증착되었으며, 이때 RF power는  $\text{TiO}_2$  250W와  $\text{SiO}_2$  360W가 사용되었다. 그리고 박막 표면 상태를 보기 위해 AFM으로 측정한 결과 박막의 RMS roughness는  $\leq 2\text{nm}$ 가 얻어졌다.

무반사막의 특성을 보기 위해 두 층 무반사막 전과 후의 반도체 레이저의 출력 스펙트럼을 비교하였고, 그림 2와 3에서 보여주는 결과를 얻었으며, 반도체 레이저의 출력된 스펙트럼의 modulation index 차<sup>(3)</sup>를 사용하여 계산된 무반사율은 그림 4와 같이 얻어졌다. 그림 4에서 보듯이 최소 반사율은 1518nm에서  $4.432 \times 10^{-6}$ 이었으며, 1500~1560nm에서  $1 \times 10^{-4}$  이하의 반사율이 얻어졌다.

본 연구에서는 실시간 두께와 굴절률 모니터링이 가능한 두 파장 타원 해석기를 사용하여 반도체 레이저의 두 층 무반사 박막을 제작하였으며, 제작된 무반사막의 반사율을 측정된 결과 1500~1560nm에서  $1 \times 10^{-4}$  이하의 반사율이 얻어졌다.

\*감사의 글

본 연구는 산업자원부의 광기술 부품 개발사업 일환으로 지원되었습니다.

\*참고문헌

1. T. Saitoh, T. Mukai, and O. Mikami, "Theoretical analysis and fabrication of antireflection coating on laser-diode facets," J. Lightwave Technol., **LT3**, 288-293, 1988
2. I.-Fan Wu, J. B. Dottellis, and M. Dagenais, "Real-time *In situ* ellipsometric control of antireflection coatings for semiconductor laser amplifiers using SiO<sub>x</sub>," J. Vac. Sci. Technol. A **11**(5), 2398-2406, 1993.
3. I. P. Kaminow, G. Eisenstein, and L. W. Stulz, " Measurement of the Modal Reflectivity of an Antireflection Coating on a Superluminescent Diode," IEEE J. Quant. Electron. **19**(4), 493-495, 1983.

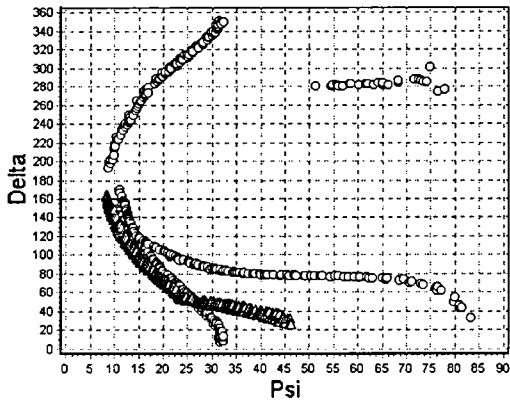


그림 1. TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 무반사 박막 성장에 따른 Δ와 Ψ 곡선

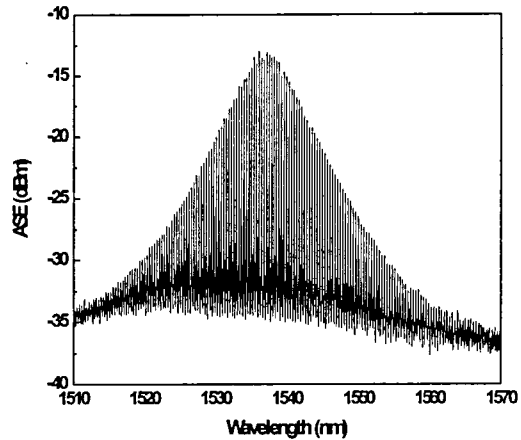


그림 2. 코팅 전 반도체 레이저의 출력 스펙트럼

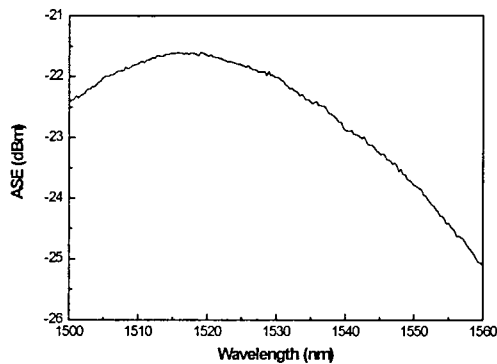


그림 3. 코팅 후 반도체 레이저의 출력 스펙트럼

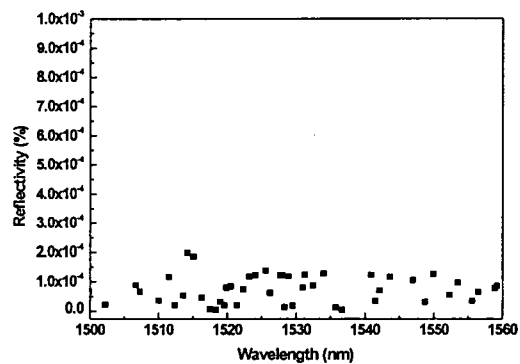


그림 4. Modulation index 차를 사용하여 계산한 반사율

T  
E