

# 광대역폭을 가지는 반도체 광 증폭기를 위한 무반사 코팅에 관한 연구

## Anti-Reflection Coating for Semiconductor Optical Amplifier with Broad bandwidth

박윤호, 강병권, 이 석, 우덕하, 김선호, 최상삼, 이정근\*, Takeshi KAMIYA\*  
한국과학기술연구원 광기술연구센터, \*동경대학 전자공학과  
uno@kist.re.kr

### 1. 서론

광대역폭을 가지는 진행파형 반도체 광 증폭기를 실현하기 위해서는  $10^{-4}$  이하의 극저 무반사 코팅이 레이저 단면에 필요하다. 또한 최소한의 펄스 폭이 유지되기 위해서는 수십 nm의 대역폭을 갖는 무반사 코팅 기술이 요구된다. 따라서, 양질의 반도체 광 증폭기를 제작하기 위해서는 반사율이 낮고 밴드폭이 넓은 무반사 코팅 기술이 확보되어야 한다.

현재 반도체 광 증폭기에 가장 많이 사용하고 있는 무반사 코팅 기술은 두께가  $\lambda/4$ 이고 굴절률이 기판 굴절률의 제곱근이 되도록 하는 단층막 코팅이다. 하지만 단층막 무반사 코팅의 단점은 코팅의 두께와 굴절률을 정확히 동시에 조절하기가 매우 힘들고, 대역폭도 매우 작다는 것이다.

박막 기술의 발달과 광통신 시스템의 발달은 단층막 무반사 코팅 조건 이상의 소자 성능을 요구하고 있으며, 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 다층막 무반사 코팅을 해야만 한다. 이와 같은 다층막 무반사 코팅 기술은 약 100nm의 넓은 대역폭이 필요한 반도체 광 증폭기, 파장 가변 외부 공진기, 모드잠김 레이저 및 파장 변환기 등의 소자에 필수적으로 사용되어질 핵심기술이다. 아울러 이러한 핵심소자의 개발은 광통신 및 광정보 처리 기술등 광기술을 획기적으로 발전시킬 수 있다.

따라서 본 연구는, 무반사막 제작이 쉬우면서 넓은 대역폭과 극저 반사율을 가질 수 있는 무반사막 코팅 기술을  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{TiO}_2$ 를 사용하여 4중층 무반사막으로 넓은 대역폭과 극저 반사율을 가지는 진행파형 반도체 광 증폭기용 무반사막 코팅에 대한 최적 설계를 하였다.

### 2. 본론

본 연구에서는 다중층의 반사율을 광 어드미턴스를 통해 계산하였다. 이러한 다중층은 식(1)과 같은 입력 광 어드미턴스  $Y$ 를 가진다.

$$Y = C/B \quad (1)$$

여기서,  $B$  와  $C$ 는 다음과 같은 특성 행렬에 의해 결정된다.

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left( \prod_{r=1}^N \begin{bmatrix} \cos \delta_r & \frac{i \sin \delta_r}{n_k} \\ i n_k \sin \delta_r & \cos \delta_r \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} 1 \\ n_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

$k=1$  if  $r = \text{odd number}$   
 $k=2$  if  $r = \text{even number}$

여기서,  $\delta_r = 2\pi n_k d_r / \lambda$ , 또는  $\delta_r = 2\pi w_r / 2$  이다. 식(2)를 사용하여 반사율과 투과율은 다음과 같이 나타내어진다.

$$R = \left( \frac{n_0 B - C}{n_0 B + C} \right) \left( \frac{n_0 B - C}{n_0 B + C} \right)^* = \left| \frac{Y - n_0}{Y + n_0} \right|^2 \quad (3)$$

$$T = 1 - R \quad (4)$$

식(3)에서 영 반사율을 얻기 위한 조건은 광 어드미턴스  $Y$ 가  $n_0$ 와 같아야 하며,<sup>1)</sup> 이의 real부와 imaginary부는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Re}(Y - n_0) &= 0 \\ \text{Im}(Y - n_0) &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

한편, 본 연구에서는 위의 광 어드미턴스 정합 대신에, 광 어드미턴스 detuning에 근거하여 계산하였다. 이는 광 어드미턴스 정합 조건을 완화시켜 넓은 범위에 걸쳐 설계 파라미터를 적용할 수 있는 것으로서, 즉,

$$\begin{aligned} |\text{Re}(Y - n_0)| &\leq \Delta \\ |\text{Im}(Y - n_0)| &\leq \Delta \end{aligned} \quad (6)$$

이다. 여기서,  $\Delta$ 는 detuning factor이다.

식(5)의 광 어드미턴스 정합은 최소 반사율이 파장대의 중앙에 있는 것을 나타낸다. 그러나, 식 (6)은 정합 위치 근처의 영역에 대해서 최소 반사율을 계산해 준다. 따라서, 이러한 detuning factor를 사용하여 광대역폭에 걸친 무반사 코팅 설계를 할 수가 있으며, detuning factor  $\Delta$ 를 0.001에서 0.1로 변화시켜 계산한 것을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 4중층의 구조는 sub/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/air이며 두께는 각각  $\lambda/4$ 두께인 160.5nm와 268.4nm 이며,  $\Delta=0.1$ 에서 100nm의 대역폭을 가지는 것을 알 수 있다.

그림 2는 detuning factor  $\Delta$ 값에 따른 최대 대역폭의 관계를 나타낸 그림이다. 최대 대역폭은  $\Delta=0.01$ 까지는 급히 증가하나 그후로는 포화되는 경향을 가진다.

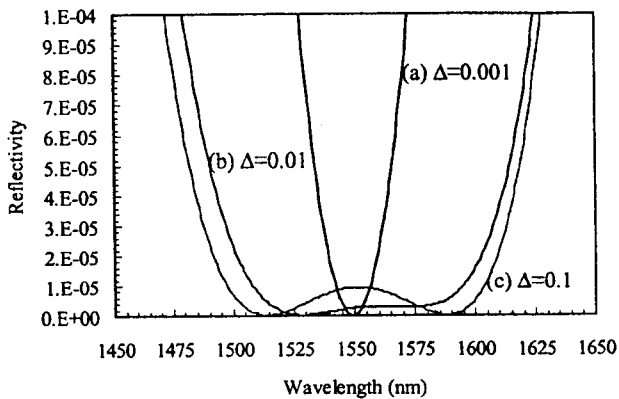


그림 1. detuning factor  $\Delta$ 에 따른 4중층 무반사 코팅의 반사율 스펙트럼

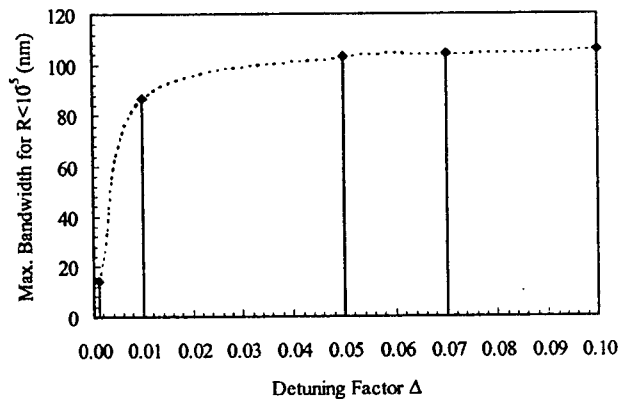


그림 2. detuning factor  $\Delta$ 값에 따른 최대 대역폭의 증가

### 3. 결론

넓은 대역폭을 가지는 반도체 광 증폭기의 무반사 코팅을 위해 TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 4중층 무반사막에 대해 광 어드미턴스 detuning factor를 적용하여 광대역폭에 걸친 무반사 코팅 설계를 하였으며, 약 100nm 범위에서 10<sup>-5</sup> 이하의 극저 반사율을 얻을 수 있었다.

이와 같은 다층막 무반사 코팅은 넓은 파장 대역폭과 극저 반사율을 동시에 갖는 광소자 요구사항을 충족시킬 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 기능을 갖는 광통신 시스템을 구성하는데 필수적 기술이 될 것이다.

### 참고문헌

- 1) H.A.Macleod, "Thin-film optical filters," 2nd ed, Bristol, U.K.;Adam Hilger, pp.71-136, 1985.

