

등가박막을 이용한 광통신용 고밀도 파장분할

다중(DWDM) 간섭필터 설계 방법

Design method of DWDM interference filter

for optical telecommunication using equivalent layers

오남석, 황보창권, 김희경*, 김명진*, 임영민*
 인하대학교 물리학과, 전자부품연구원 광부품센터*
 hwangbo@inha.ac.kr

최근 데이터 용량이 급격히 증가하면서 대용량의 정보를 전달할 수 있는 광통신 시스템의 대역폭이 증가되고 있다. 이러한 대역폭의 문제를 해결하기 위하여 한 개의 광섬유에 여러 개의 파장을 사용함으로써 대역폭을 증가시키는 WDM 기술이 대두되었으며, 사용되는 파장의 간격이 점차 좁아지고 있다. 따라서 채널 간격이 매우 좁은 고밀도 WDM(DWDM)기술에는 일정한 간격으로 여러 채널들을 분리시키고 합치는 파장분할 다중소자가 필요하다. 이러한 소자로 사용되는 DWDM 필터로는 광학 박막을 이용한 박막 간섭필터가 주로 사용되고 있으며, 박막 간섭필터는 투과대역에서의 삽입손실과 채널사이에서의 교차대화가 작으며, 온도변화와 편광에 대한 안정성이 높기 때문에 WDM 시스템에 있어서 매우 중요한 역할을 하고 있다.

패브리-페로형의 광학 박막의 필터는 1/4파장의 광학 두께의 유전체 다층박막으로 제작되며, 유전체 박막은 고굴절률 물질인 $Ta_2O_5(2.1@1550nm)$ 와 저굴절률 물질인 $SiO_2(1.44402@1550nm)$ 를 주로 사용한다. DWDM 간섭필터의 모양은 이상적으로 직사각형이어야 하고, 각각의 파장에 해당하는 채널은 다른 채널과 교차되지 않아야 한다. 그러나 단일 공동 필터의 투과스펙트럼의 모양은 넓은 삼각형 모양을 이루고 있기 때문에 직사각형 모양으로 만들기 위해서는 여러 개의 단일 공동 필터를 연결층을 사용하여 연결시킨 다중 공동 필터를 사용해야 한다.

일반적인 DWDM 간섭필터는 $(HL)^S H mL H(LH)^S L (HL)^S H mL H(LH)^S L \dots$ 와 같이 단일 공동 필터를 연결시킨 구조이다. 필터의 반치폭은 공동의 수와 간격층의 차수 그리고 거울층의 주기수에 의해 조절되어지기 때문에 공동의 수가 증가할수록 필터를 설계하기 위한 변수들이 매우 많아져 복잡하게 되어 설계상 많은 시행착오를 겪는 어려움이 있다.

그러나 일반적인 패브리-페로 간섭필터는 대칭구조로 설계되고, 1/4파장의 대칭구조의 경우에는 한 개의 등가굴절률로 된 일층박막으로 간주할 수 있으므로, 등가박막으로 설계함에 있어 변수가 비교적 줄어들고 이론적인 접근이 용이하다. DWDM 간섭필터의 일반적인 구조를 [공기 | $(HL)^S H mL H(LH)^S mL$ [기판]으로 [결합층 | 저차대칭층 | 기본대칭층 | 저차대칭층 | 결합층]의 구조로 표현될 수 있다. 그림 1과 같이 필터의 특성을 결정하는 부분인 기본대칭층[$mL (HL)^S H mL$]^q의 등가 굴절률은 N_H^{S+1}/N_L^S 이며, 반복횟수 q 값에 관계없이 일정하다. 등가 굴절률의 실수부는 투과대역이 되며 허수부는 반사대역이므로 이를 이용하면 규격을 접근하도록 기본대칭층을 설계할 수 있고, 입사매질과 기판쪽에 대하여 무반사 조건을 만족하는 결합층을 설계한다.

예를 들어, 기준파장이 1550nm이고 채널간격이 50GHz인 DWDM 필터를 등가박막으로 설

계할 경우 기본 대칭층은 $[6L(HL)^{17}H6L]^2$ 으로 설계될 수 있고, 등가 굴절률은 1222.37이 된다. 등가 굴절률 1222.37이 기판쪽과 무반사 조건이 되는 굴절률을 구하면 42.82가 된다. $(HL)^9H$ 는 등가굴절률이 42.01으로 기판과 좋은 무반사 조건이 되기 때문에 기판쪽의 결합층으로 설계될 수 있다. 마찬가지로 방법으로 공기쪽과의 무반사 조건을 구하면 34.96이 되며, $(HL)^8H$ 는 등가굴절률이 28.88로 적절한 무반사 조건이 된다. 그러나, 공기쪽에서 기본대칭층과 결합층과의 굴절률차로 인하여 반사손실이 생기게 되므로 1/4파장이 아닌 두께로 무반사층을 삽입시키면 기준과장에서의 반사손실은 줄일 수 있다.

50GHz($\Delta\lambda=0.4\text{nm}$) DWDM 필터의 투과대역은 0.2nm가 되므로 투과대역에서 기준과장과 인접한 투과대역에서 잔물결이 생기게 된다. 따라서 저차대칭층의 분산을 기본 대칭층과 결합층 사이에 무반사가 되는 분산조건을 추가시키면 잔물결을 줄일 수 있다. 그림 1에서와 같이 실제로 사용하는 물질이 두가지 물질로 제한되어 있기 때문에 이론에 만족하는 분산조건과 일치하는 분산은 없다. 따라서 규격을 만족하는 범위내에서 저차대칭층의 분산을 찾는다면 그림 2와 같이 잔물결(ripple)이 거의 발생하지 않는 필터를 설계할 수 있다.

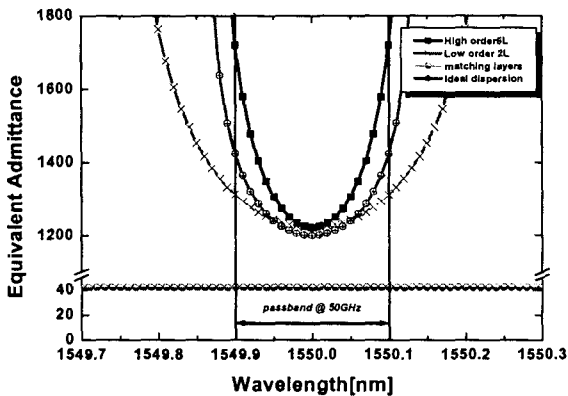


그림 1. 기본대칭층, 저차대칭층, 결합층의 등가어드미턴스

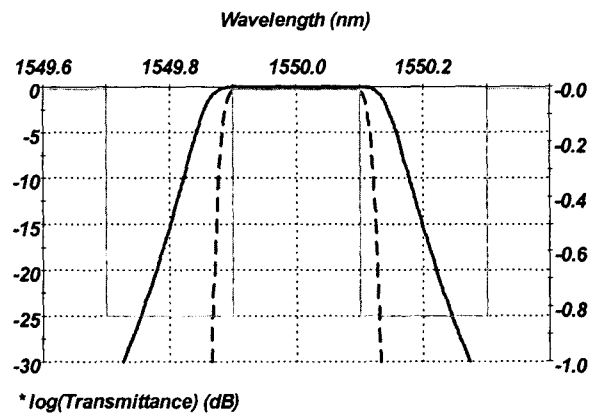


그림 2. 50GHz DWDM 필터 설계 결과 스펙트럼

참고문헌

1. 황보창권, *박막광학*, 2nd ed (다성, 서울, 2001)
2. H. A. Macleod, *Thin-film Optical Filters*, 3rd ed. (Macmillan, New York, 2001)
3. H. A. Macleod. "Coatings for wavelength division multiplexing" in 45th Annual Technical Conference Proc., SVC, Orlando, FL, USA.(2002)