

고밀도 파장 다중분할 필터용 반사형 위상보상 필터 설계

Design of reflective phase compensator(RPC) filters for dense wavelength-division-multiplex(DWDM) filter

이상현*, 황보창권, 김회경**, 김명진**, 임영민**

인하대학교 물리학과, **전자부품 연구원

e-mail: sanghyunlee@empal.com

초고속과 고용량으로 데이터를 전송하기 위하여 WDM 박막 필터는 채널 간격이 200GHz에서 100GHz로 이미 감소하고 있으며, 더 나아가 50 GHz와 25GHz로 채널 간격이 계속 감소할 것으로 기대된다. 광통신에서는 정보 전달을 펄스로 하며, 펄스는 여러 파장으로 구성되어 있다. 각 파장은 매질의 굴절률 분산 때문에 진행되는 속도가 다르게 되고, 이에 따라 도착하는 시간이 달라지게 된다. 이를 색 분산(Chromatic dispersion)이라 하며, 두 파장의 도착 시간 차이를 그룹지연(group delay, GD)이라 한다.

광통신에서 두 펄스의 주기가 10% 틀릴 때까지는 신호로 허락이 된다고 가정할 때, 2.5Gbps 통신 시스템의 주기는 400ps이므로 40ps 까지 시간 지연을 허락 할수 있고, 10 Gbps의 시스템은 10ps, 40 Gbps는 2.5ps 까지 가능하다. 이보다 크면 펄스의 왜곡이 일어나 비트에러율(biterror rate)이 증가 할 수 있다. 따라서 초고속 광통신 시스템용 WDM 광학박막 필터에서는 투과 밴드에서 GD ripple을 줄여야 한다. GD의 변화 폭을 감소시키기 위해서는 GD가 작은 WDM 광학박막 필터를 설계하거나, 반사형 위상 보상(RPC) 필터를 추가로 사용 하여야 한다.

RPC 필터는 WDM 필터의 투과 대역에서 고반사율을 가져야 하며 동시에 GD ripple을 0에 가깝도록 보상 해주어야 한다. 고반사율을 가지기 위해서는 고굴절률 물질(H)과 저굴절률 물질(L)을 교번으로 쌓은 유전체 다층박막이나 금속박막을 거울층으로 사용하면 된다. 투과 대역에서 GD ripple을 최소화하기 위해서는 WDM 필터의 GD값이 양의 값일 경우 RPC 필터는 음의 값을 가져야 하며, 둘의 합이 일정한 상수 값이 되도록 설계 하여야 한다. 다른 방법으로는 투과 대역에서 WDM 필터의 group delay dispersion (GDD)값이 선형적으로 감소한다면, RPC 필터는 WDM 필터의 GDD값의 음수배로 선형적으로 증가하도록 설계하면 된다.

RPC 필터의 GD, GDD와 WDM 필터의 GD, GDD 사이의 관계는 (식 1)과 (식 2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$GD_{RPC} = -GD_{WDM} + constant \quad (\text{식 1})$$

$$GDD_{RPC} = -GDD_{WDM} \quad (\text{식 2})$$

(식 1)에서 constant 는 투과 파장에 독립적인 임의의 상수 값으로 WDM 필터마다 임의의 상수 값을 따로 결정하여야 하므로 설계 목표치(target)의 설정이 어렵다. 그러나 GD의 분산을 표현한 (식 2)를 사용하면 constant 항이 존재하지 않아 설계시 target의 결정이 용이 하므로 위상 보상 필터 설계에 쉽게 접근 할 수 있다.

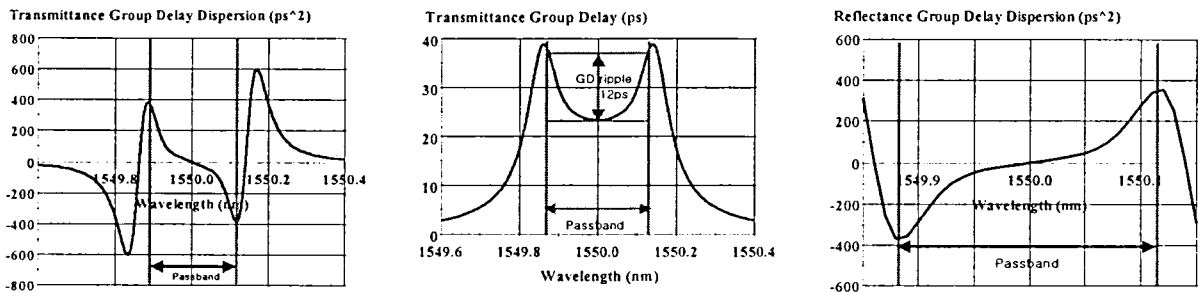
본 연구에서는 고굴절률 물질로 $Ta_2O_5(2.073 @1550nm)$ 와 저굴절률 물질로 $SiO_2(1.475 @1550 nm)$ 를

사용하여 그림 1의 GD ripple이 12ps인 50 GHz DWDM 필터용 RPC 필터를 경사 입사각도 5° 를 고려하여 1/4 파장 광학 두께의 유전체 다층 박막만을 이용하여 설계하였다.

RPC 필터는 하나 이상의 RPC 필터를 나열하여 GD ripple을 최소화 하도록 설계하였다. 그림2(c) 와 같이 6개의 RPC 필터를 나열하고, 설계시 층수를 최대한 작게 하기 위하여 하나의 간격 층을 가지는 패브리-페로 필터 구조로 기판쪽에 고반사 거울층을 삽입한 [공기/ (거울층)^s/(간격층)^m/(거울층)^s/연결층/(고반사 거울층)/기판] 것을 기본 설계로 하여 s값과 m값을 적절히 변화시켜 target에 접근하도록 하였다. 이중 고반사 거울층은 (HL)¹²H 으로 반사율이 99%가 되도록 설계 하였으며 (식 3)은 RPC 필터의 설계 결과 이다.

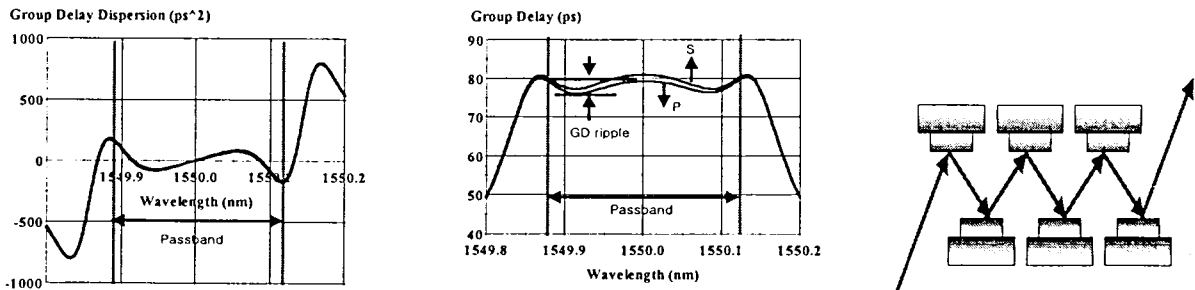
$$[\text{Air}/(\text{HL})^7\text{H} \ 8\text{L} \ \text{H}(\text{LH})^7 \ \text{L} \ (\text{HL})^{12}\text{H}/\text{Glass}] \quad (\text{식 } 3)$$

이와 같이 설계된 그림2(c)의 RPC 필터는 그림2(b)와 같이 GD ripple을 3.1ps 까지 감소 시킬수 있었다. 이러한 RPC 필터는 6개를 모두 정렬하는 것이 현실적으로 매우 어려움으로 RPC 필터 개수를 줄여야 하며 40 Gbps 시스템에 사용하기위해서 GD ripple값을 2.5ps이하로 감소시킬 수 있는 설계 값을 찾아야 할 것으로 판단된다.



F
A

a) 50 GHz DWDM 필터의 GDD b) 50 GHz DWDM 필터의 GD c) RPC 필터의 GDD target
 그림 1 50 GHz DWDM 필터의 GD, GDD 와 RPC 필터의 설계 목표(target)



a) 50 GHz DWDM 필터 + 6개의 RPC 필터의 GDD b) 50 GHz DWDM 필터 + 6개의 RPC 필터의 GD c) 6개의 RPC 필터를 나열한 구조도

그림 2 50GHz DWDM 필터용 RPC 필터의 설계 결과