

이중 이온빔 스퍼터링 방식을 사용한 채널 간격 50 GHz 광통신용 협대역 투과 필터의 제작 및 특성

김희경[†] · 김명진

전자부품연구원 광부품연구센터

☎ 451-865 경기도 평택시 진위면 마산리 455-6

(2003년 2월 11일 받음, 2003년 4월 14일 수정본 받음)

본 연구는 이중 이온빔 스퍼터링 증착법으로 제작한 채널 간격 50 GHz 광통신용 협대역 투과 필터에 관한 연구이다. Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 특성 분석을 통해 공정 조건을 최적화 하였으며, DPS 필터 예비 증착을 통해 0.1 nm 이하의 박막 두께 균일성을 확보하였다. 1/4 파장 광학박막 두께를 기본으로 하여 총 216층으로 구성되고 4개의 간격층을 갖는 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터를 설계하였고, 파장 가변 레이저를 사용한 비접촉 광학 두께 제어 시스템을 사용하여 증착하였다. 박막 증착시 발생하는 스트레스를 줄이기 위하여 열팽창 계수가 큰 유리 기판을 사용하였으며, 비접촉 광학 두께 제어 시스템의 오차를 줄이기 위하여 협대역 투과 필터의 제작에 앞서 기판의 뒷면에 무반사 증착을 수행하였다. 이렇게 제작된 채널 간격이 50 GHz인 협대역 투과 필터의 광학 특성은 삽입 손실이 0.40 dB, 잔물결이 0.20 dB이며, -0.5 dB와 -25 dB에서의 투과 대역폭이 각각 0.20 nm, 0.60 nm로 광통신에서 사용되는 사양을 만족하였다.

주제어 : thin film, dual ion beam sputtering, narrow band pass filter, 50 GHz DWDM filter.

I. 서 론

최근 수년동안 데이터 트래픽(traffic)이 급격하게 증가함에 따라 전송 용량을 증가시키기 위한 광 전송방식 및 관련 핵심 부품의 연구개발이 활발하게 진행 중이다. 광 전송방식 중 하나의 광섬유에 각각의 광신호가 서로 다른 파장으로 입력되어 파장 다중화 및 역다중화 과정을 거쳐 전송되는 파장분할다중화(WDM; Wavelength Division Multiplexing) 전송방식은 기술적, 경제적 측면에서 가장 효과적으로 이미 세계적인 추세이다. 파장분할다중화 전송방식에서 전송 용량을 증가시키는 방법은 사용하는 광신호의 파장 영역을 기존의 C-band(1528~1561nm)에서 L-band(1561~1620 nm) 이상으로 확대하는 방법과 기존의 C-band 영역에서 광신호 사이의 파장 간격을 좁힘으로 보다 많은 채널을 확보하는 것이다. 보다 많은 채널을 확보하기 위해서는 채널 간격이 수 nm 이하인 조밀한 파장분할다중화(Dense WDM)가 가능하여야 하며, 이를 위해 수 nm 이하의 파장만을 투과시키는 협대역 투과 필터(Narrow Band Pass Filter)가 요구된다.^[1] 협대역 투과 필터는 DWDM 광통신에서 파장분할다중화의 핵심 소자로 특히 유전체 다층박막으로 구성된 광학박막 필터는 다른 기술과 비교하여 신뢰성과 광특성이 매우 우수하다.

광학박막 필터는 유리 기판 위에 굴절률이 서로 다른 고굴절률 물질(H)과 저굴절률 물질(L)을 교번한 다층박막으로 제작되고, 보강 및 소멸간섭에 의하여 투과 대역 파장의 광신호만을 투과하고 나머지 파장의 광신호들은 반사하는 기능을 갖는다. 수 nm 이하의 좁은 파장을 투과시키는 광학박막 필

터는 투과 대역폭 내의 삽입 손실, 잔물결(ripple), 투과 대역폭 등의 광특성이 매우 중요하며, 이러한 광특성을 만족하는 광학박막의 설계 및 제작은 박막의 두께 및 굴절률 등과 같은 박막의 특성 제어에 의해 결정된다.

광학박막의 제작 방식은 크게 열 증착법과 스퍼터링 증착법으로 분류되며, 환경 변화에 대한 높은 신뢰성과 협대역 투과 특성을 갖는 광학박막을 제작하기 위해서는 이온빔 또는 플라즈마 빔을 보조 빔으로 사용한다. 두 방식은 박막의 증착 속도, 조밀도, 굴절률 등에서 차이가 있으나, 상대적으로 박막의 두께 조절이 용이한 이온빔 스퍼터링 증착법이 광통신용 협대역 투과 필터의 경우 더욱 유리하다. 이온빔에 의한 스퍼터링과 함께 또 다른 보조 이온빔을 사용하여 증착된 박막의 조밀도를 높이는 이중 이온빔 스퍼터링(Dual Ion Beam Sputtering) 증착법은 박막의 광학적, 기계적 특성을 향상시키고, 이를 통하여 협대역 투과 필터의 광특성 및 환경 변화에 대한 신뢰성을 만족할 수 있다.^[2,3]

본 논문에서는 이중 이온빔 스퍼터링 장치를 사용하여 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막을 증착하고 각각의 굴절률, 소멸계수 특성 및 표면 미세구조를 분석하였으며, 이러한 단층박막의 특성을 기본으로 하여 채널 간격이 50 GHz인 광통신용 협대역 투과 필터를 설계 및 제작하고, 제작된 필터의 삽입손실, 잔물결, 투과 대역폭 등과 같은 광학적 특성을 고찰하였다.

II. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 이중 이온빔 스퍼터링 장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 이중 이온빔 스퍼터링 장치는 크게 진공 펌프들로 이루어진 진공부, RF 이온총 등으로 이루어진 증

[†]E-mail: kime@keti.re.kr

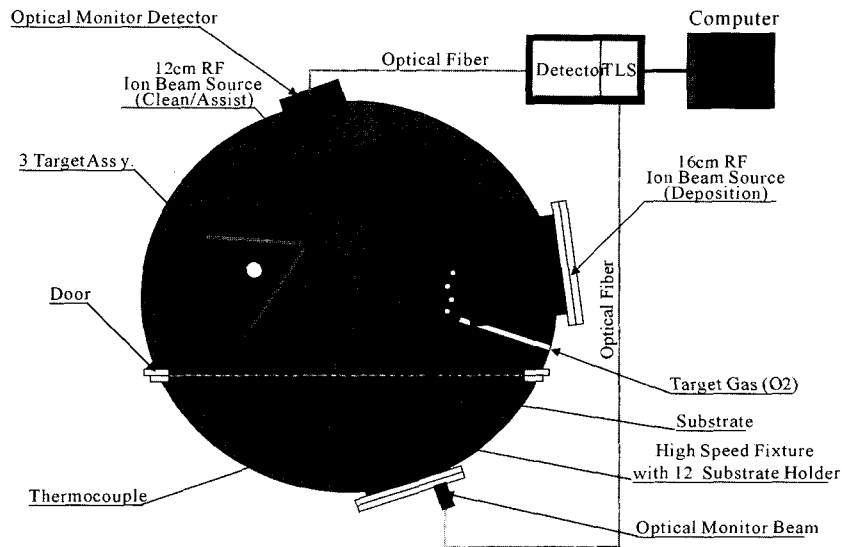


그림 1. 이중 이온빔 스퍼터링 장치.

착부, 파장 가변 레이저(Tunable Laser)로 이루어진 박막 두께 제어부로 구성되어 있다. 진공 펌프는 저진공용 로타리 펌프와 고진공용 cryo 펌프가 사용되며 진공도는 convectron gauge와 ion gauge를 사용하여 측정하였다. 사용되는 RF 이온총은 Kaufman형 이온총으로 방전 챔버 내로 주입된 가스가 RF 파워에 의하여 플라즈마로 변환되고, 3개의 그리드 사이의 전압차에 의하여 양이온만이 가속되어 이온빔의 형태로 조사된다.¹⁴⁾ 타깃 물질과 기판이 양전하로 대전되는 것을 방지하기 위하여 Radio Frequency Neutralizer(RFN)가 스퍼터링 RF 이온총과 보조 증착 RF 이온총에 각각 장착되었다. 16cm RF 이온총에서 조사된 이온빔은 타깃 물질을 스퍼터링하여 기판에 박막을 형성하며, 12cm RF 이온총에서 조사된 이온빔은 형성되는 박막을 더욱 조밀하게 만든다. 16cm RF 이온총에서 사용되는 이온화 가스는 아르곤 가스이며, 12cm RF 이온총에서 사용되는 이온화 가스는 아르곤과 산소의 혼합 가스이다. 타깃 물질은 지름이 14 inch인 원형의 tantalum(Ta, 99.95%)과 silicon dioxide(SiO₂, 99.995%)를 사용하였다. Tantalum pentoxide(Ta₂O₅)는 Tantalum(Ta)에 비해 증착률이 낮기 때문에 100층 이상의 다층으로 이루어져 증착에 오랜 시간이 요구되는 헤파대역 투과 필터의 경우 Ta 타깃을 사용하는 것이 유리하다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 또한 선폭이 매우 작은 파장 가변 레이저(Agilent, 81640B)와 광세기 검출기, 신호처리기로 구성된 비접촉 광학 두께 제어 시스템(Optical Monitoring System)은 증착 물질의 1/4 파장 광학박막 두께를 정확하게 제어할 수 있다.¹⁸⁻¹¹¹⁾

본 연구는 굴절률이 안정적이며, 흡수가 적고 조밀도가 높은 박막을 제작하기 위하여 보조 증착 RF 이온총의 산소 분압, 주입된 반응성 산소 가스의 양 등의 조건을 변화시켜가며 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막을 제작하였고, 제작된 단층박막의 특성 분석을 통하여 공정 조건을 최적화 하였다. 단층박막의 증착에 사용된 기판은 박막의 구조적 특성을 분석하기 위한 실리콘 웨이퍼와 광학적 특성을 측정하기 위한 유리 기판(Corning, 7059)을 사용하였다. 증착 전에 기판 표면에 존재할

수 있는 유기물을 제거하기 위하여 아세톤, 알콜, 증류수를 사용하여 기판을 세척한 후 질소 가스를 사용하여 기판을 건조시켰다. 세척 과정을 거친 기판을 기판 홀더에 장착한 후 챔버 내의 압력을 기본 압력(base-pressure)인 3.0×10⁻⁷ Torr가 될 때까지 낮추었다. 할로겐 램프를 사용하여 기판의 온도를 증착 온도인 110°C로 일정하게 유지하고, 박막 두께의 균일성을 향상시키기 위하여 기판을 1200 rpm의 고속으로 회전시켰다. 16 cm RF 이온총에 아르곤 가스 18 sccm, 12 cm RF 이온총에 아르곤 가스 3 sccm과 산소 가스 12 sccm, 챔버 내에 반응성 가스로 산소 가스 25 sccm을 Gas Flow Controller(GFC)를 사용하여 일정하게 주입하였다. 유리 기판과 실리콘 웨이퍼 위에 증착한 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 두께는 각각 5/4 파장 광학박막 두께이다. 증착 시의 챔버의 진공도는 2.2×10⁻⁴ Torr이었으며, 16 cm RF 이온총과 12 cm RF 이온총의 공정 최적화 조건은 표 1에 나타내었다. 제작된 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막을 Ellipsometer(J.A. Woollam Co., Variable Angle Spectroscopic Ellipsometer)를 사용하여 굴절률, 소멸계수의 광학적 특성을 측정하였고, Scanning Electron Microscope(SEM)와 Atomic Force Microscope(AFM)를 이용하여 박막의 표면 및 단면의 미세구조를 관측하였다.

또한 헤파대역 투과 필터의 제작에 앞서 2개의 공동(cavity)을 갖는 dual peak spike(DPS) 필터를 유리 기판(Schott, BK-7) 위에 증착하였다. DPS 필터의 투과 특성을 spectrophotometer(Hitachi, U-3410)를 사용하여 기판의 위치에 따라 측정하였다. 이러한 과정을 통해 기판 상의 박막 두께 균일성을 확보하고 각각의 박막의 증착률을 분석하였다.

III. 실험결과 및 논의

3.1. 단층박막 및 두께제어 특성

광통신용 헤파대역 투과 필터를 제작하기 위해서는 먼저 각층을 구성하고 있는 고굴절률 물질인 Ta₂O₅와 저굴절률 물질인

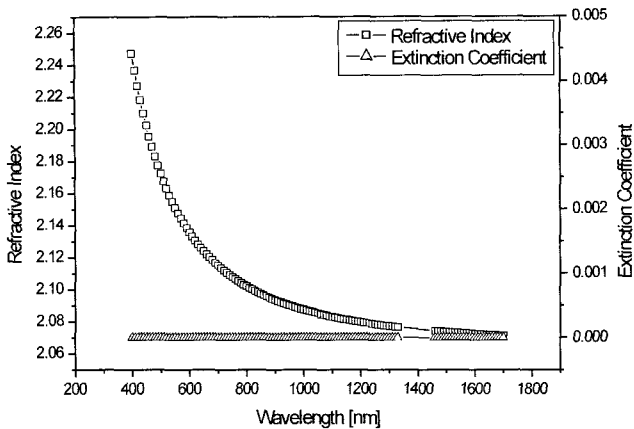


그림 2. Ta₂O₅ 단층박막의 굴절률과 소멸계수.

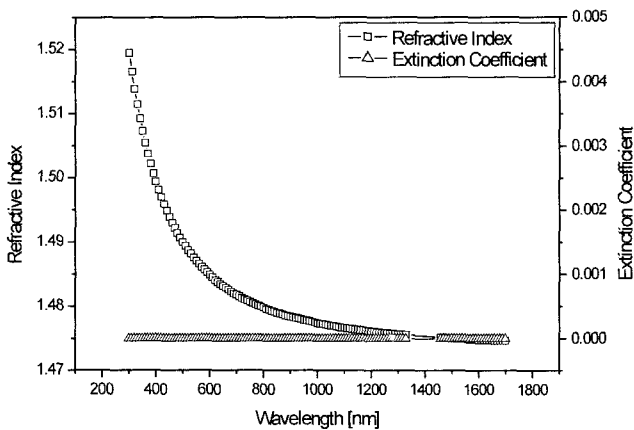


그림 3. SiO₂ 단층박막의 굴절률과 소멸계수.

SiO₂ 단층박막의 증착을 통해 각각의 단층박막의 특성을 분석하고 이를 기본으로 하여 원하는 사양을 갖는 다층박막의 구조설계 및 제작을 수행한다. 이를 위해 각각의 단층박막은 안정적인 굴절률, 낮은 소멸계수, 높은 조밀도를 가져야만 하며, 다층박막 구성 시 박막 두께의 정확한 제어가 이루어져야만 한다. 본 절에서는 2장에서 언급한 조건으로 제작된 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 특성과 다층박막 제작 시 필요한 각층의 광학박막 두께 제어 특성에 관해 분석하였다.

그림 2와 그림 3은 표 1에서 제시한 조건으로 증착된 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 굴절률과 소멸계수이다. Spectroscopic ellipsometer에 의해 측정된 Ta₂O₅와 SiO₂의 굴절률은 1550 nm 파장 영역에 대해 각각 2.073과 1.475이며, 소멸계수는 1.0 × 10⁻⁵ 이하의 매우 작은 값을 갖는다. 그림 4는 Scanning Electron

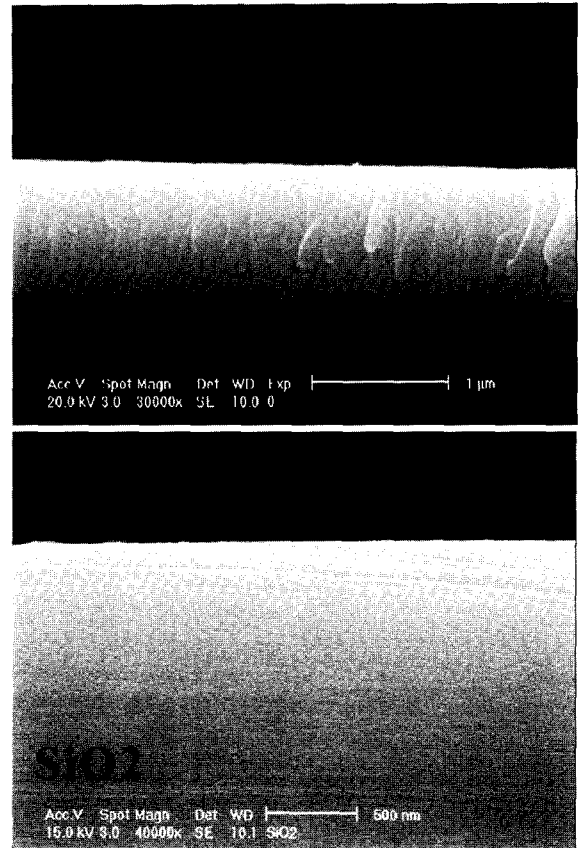
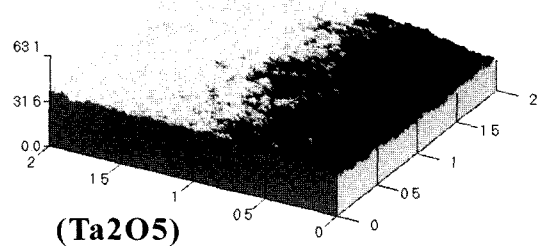
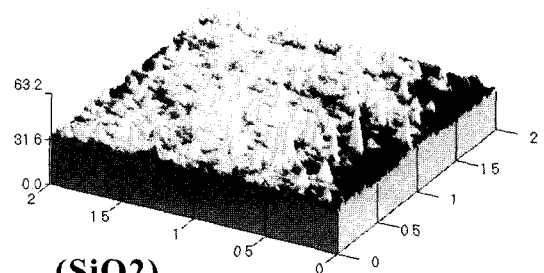


그림 4. Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 단면 SEM 사진.

Microscope로 측정된 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 단면 사진으로, Ta₂O₅와 SiO₂ 박막 모두 기동 구조 없이 조밀함을 확인하였다. Atomic Force Microscope로 측정된 Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 제곱근 평균 표면 거칠기(RMS Surface Roughness) 역시 각각 1.6 Å, 2.6 Å으로 우수한 특성을 나타내었다(그림 5).



(Ta₂O₅)



(SiO₂)

그림 5. Ta₂O₅와 SiO₂ 단층박막의 표면 거칠기.

표 1. 박막 증착시 RF 이온총의 공정 조건

Sputtering ion source [16 cm RF source]		Assist ion source [12 cm RF source]	
Beam Voltage [V]	Current [mA]	Beam Voltage [V]	Current [mA]
1250	600	SiO ₂	75
		Ta ₂ O ₅	150

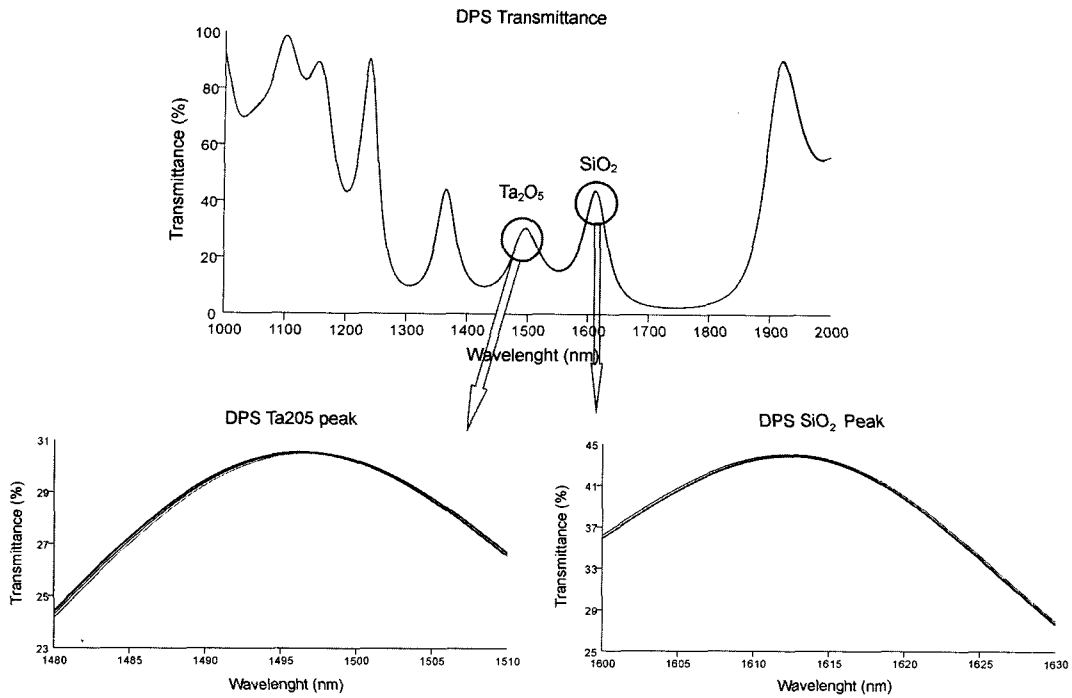


그림 6. DPS 필터의 설계.

또한 협대역 투과 필터를 제작하기 위해서는 단층박막의 특성뿐만 아니라 다층박막을 구성하는 각각의 박막 층의 두께 균일도(thickness uniformity)와 이에 대한 제어 역시 매우 중요하다. 이를 위해 협대역 투과 필터의 증착에 앞서 중심파장이 1550 nm이며 총 13층으로 구성되고 2개의 간격층(spacer)을 갖는 Dual Peak Spike(DPS)(SUB/1.04H 1.04L 1.04H 8.32L 1.04H 1.04L 1.04H L 0.96H 0.96L 3.84H 0.96L 0.96H/AIR) 필터를 비접촉 광학 두께 제어 시스템을 사용하여 증착한다. 제작된 DPS 필터의 투과 특성을 측정하고 설계된 투과 특성과 비교하여 각각의 Ta₂O₅와 SiO₂층의 두께 오차를 분석하였다. DPS 필터는 Ta₂O₅와 SiO₂를 각각 간격층으로 하는 단일공동 필터 두 개를 연결층(coupling layer)을 사용하여 연결한 것으로 각각의 피크를 구별하기 위하여 두 단일공동 필터를 1550 nm 파장에 대하여 각각 단파장과 장파장의 중심 파장을 갖도록 설계하였다. 즉, Ta₂O₅를 간격층으로 하는 단일공동 필터(0.96H 0.96L 3.84H 0.96L 0.96H)는 중심파장이 1488 nm (0.96×1550 nm)가 되도록 설계하였고, SiO₂를 간격층으로 하는 단일공동 필터(1.04H 1.04L 1.04H 8.32L 1.04H 1.04L 1.04H)는 중심파장이 1612 nm(1.04×1550 nm)가 되도록 설계하였다. 이 두 개의 단일공동 필터를 연결한 DPS 필터에서 Ta₂O₅의 간격층을 나타내는 Peak는 1496.70 nm에서 나타나고, SiO₂의 간격층을 나타내는 Peak는 1612.36 nm에서 나타난다. 제작된 DPS 필터의 투과 특성에서 나타나는 두 피크 파장을 설계치와 비교함으로써 Ta₂O₅와 SiO₂ 각각의 박막 두께 균일도와 오차를 제어할 수 있다.

DPS 필터 설계에서 박막 두께에 상대 오차를 줄 경우 Ta₂O₅와 SiO₂ 간격층을 나타내는 각각의 피크 파장은 변화한다. 이러한 피크 파장의 변화를 바탕으로 제작된 박막 두께의

균일도를 분석 및 제어할 수 있다. 본 연구에서는 DPS 다층 박막 필터의 Ta₂O₅와 SiO₂ 박막 층에 0.1 nm의 박막 두께 상대 오차를 준 설계(그림 6)와 제작된 DPS 필터의 투과 스펙트럼(그림 7)의 비교를 통하여 기판 상의 반경 115~125 mm 영역 내에서 Ta₂O₅와 SiO₂ 0.1 nm 이하의 박막 두께 균일도를 확보하였다. 그림 6의 0.1 nm의 박막 두께 상대 오차를 갖는 설계의 경우 Ta₂O₅와 SiO₂를 나타내는 피크는 모두 1.1 nm 이상의 Peak 파장 변화를 보여준다. 제작된 DPS 필터의 경우 기판 상의 반경 115~125 mm 내에서 Ta₂O₅와 SiO₂를 나타내는 피크 모두 0.7 nm 이하의 피크 파장 변화를 보여준다. 이러한 결과는 반경 115~125 mm 영역 내에서는 Ta₂O₅와 SiO₂ 모두 0.1 nm 이하의 박막 두께 균일도가 확보되었음을 나타낸다. 측정된 DPS 필터의 모양과 최고 투과율이 차이 나는 이유는 spectrophotometer의 잡음 때문이다. 측정하고자 하는 피크 파장의 변화량이 매우 작기 때문에 spectrophotometer의 분해능을 0.1 nm로 하여 측정하였다. 이럴 경우 측정된 투과 스펙트럼에 잡음이 크기 때문에 평탄화 과정(smoothing)을 통하여 투과 스펙트럼을 여과하였고, 이로 인하여 측정된 스펙트럼의 모양과 최고 투과율이 설계치와 차이가 난다. 평탄화 과정에 따른 오차를 줄이기 위하여 피크 파장은 투과율이 최고인 지점으로 선택하지 않고, 반치폭에서의 중심 파장으로 선택하였다. 기판 상에서 0.1 nm 이하의 박막 두께 균일성을 확보하고 각 박막의 증착률 등의 사전 정보를 얻는 DPS 필터 예비 증착은 수 nm 이하의 투과 대역폭을 갖는 광통신용 협대역 광학박막을 제작하기에 앞서 반드시 선행되어야만 한다.

3.2. 협대역 투과필터 제작 및 특성분석

협대역 투과 필터는 1/2 파장의 정수 배의 광학박막 두께를

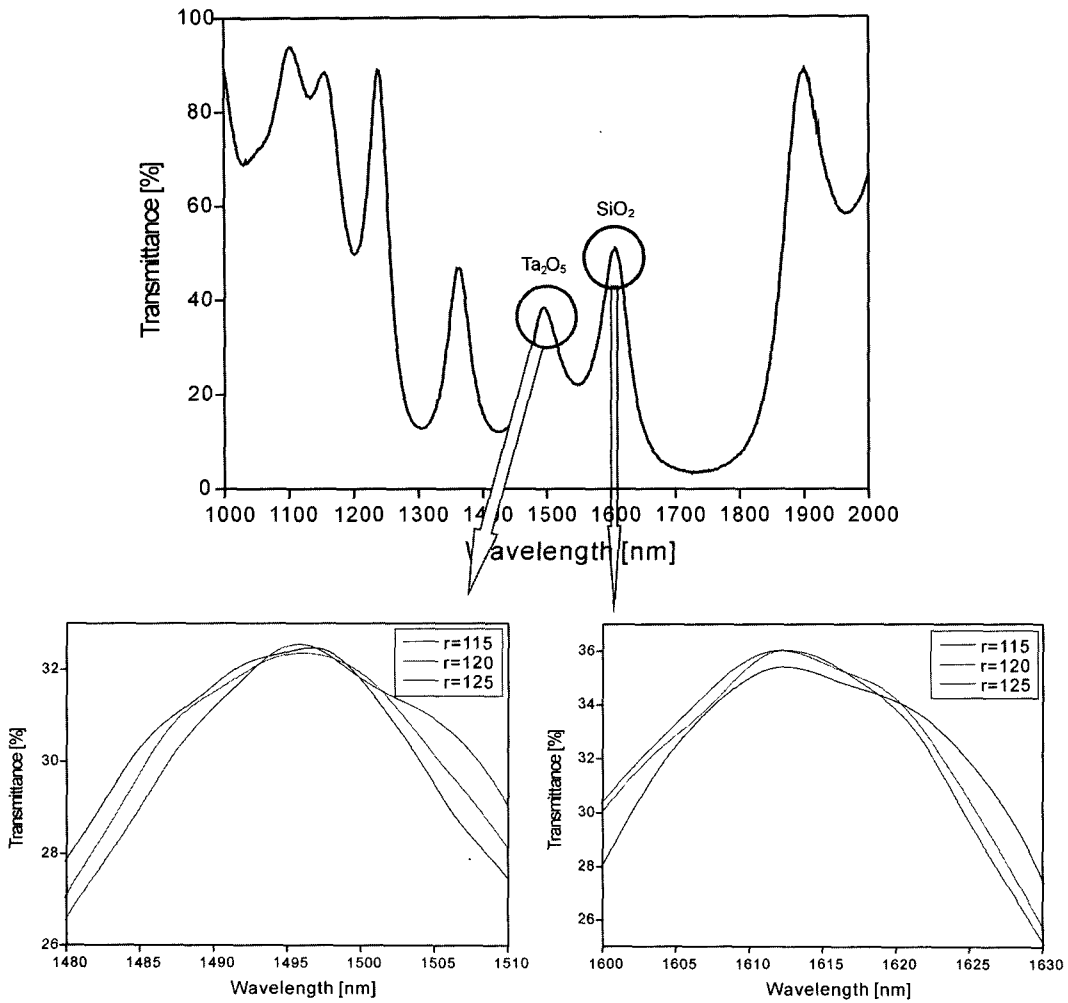


그림 7. DPS 필터의 투과 스펙트럼.

갖는 간격층과 1/4 파장 광학박막 두께를 갖는 적층된 평행한 거울층으로 이루어진 유전체 패브리-페로 에탈론을 기본으로 구성된다. 협대역 투과 필터는 이상적으로 직사각형 형태의 투과 스펙트럼이 되어야하고, 각각의 파장에 해당되는 채널은 다른 채널과 교차되지 않아야 하며, 낮은 삽입 손실과 적은 잔물결을 갖아야 한다. 대역폭과 투과 스펙트럼의 형태는 공동층의 치수와 거울층의 반사율에 의해 주로 결정되며 이상적인 직사각형 형태의 투과 스펙트럼에 근접하기 위해서는 여러 개의 단일 공동 필터를 연결층을 사용하여 연결한 다중 공동 필터를 사용한다.^[12] 본 연구에서 제작한 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터는 고굴절률 물질로 Ta₂O₅와 저굴절률 물질로 SiO₂를 사용하였으며 총 216층으로 구성되고 4개의 간격층을 갖는 패브리-페로 에탈론 구조이다. 그림 8은 SUB/(HL)⁷ H 22L H (LH)⁷ L (HL)⁸ H 20L H (LH)⁸ L (HL)⁸ H 20L H (LH)⁸ L (HL)⁷ H 22L H (LH)⁶ L 0.65H 0.67 L/Air의 박막 층 구조를 갖는 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터의 설계이다. 여기서 H와 L은 각각 고굴절률 물질과 저굴절률 물질의 1/4 파장 광학박막 두께를 나타내며 밑줄 친 부분은 간격층을 나타낸다. 설계된 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터의 사양은 삽입 손실이 0.01 dB, 잔물결이 0.02 dB

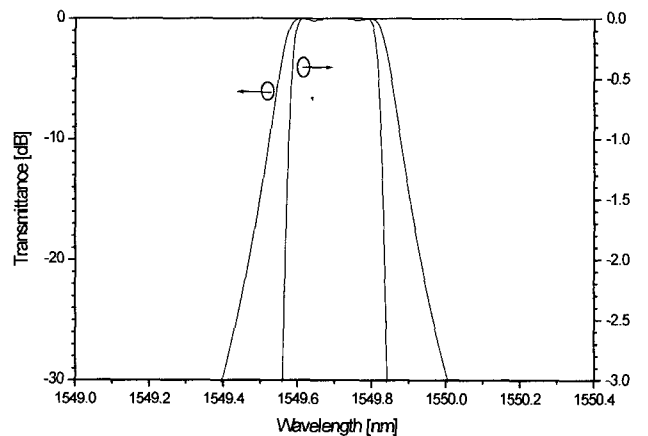


그림 8. 50 GHz 협대역 투과 필터의 설계.

이며, -0.5 dB와 -25 dB에서의 투과 대역폭은 각각 0.23 nm, 0.53 nm이다.

광통신용 협대역 투과 필터의 제작을 위해서는 먼저 필터 증착시 발생하는 박막의 스트레스에 의한 중심파장의 온도 의존성을 최소화하기 위하여 적절한 열팽창 계수(CTE; Coefficient of Thermal Expansion)를 갖는 기판의 선택이 중요하다.

Takahashi¹¹³⁾는 협대역 투과필터를 제작할 때 기판의 열팽창 계수가 증가함에 따라 중심파장의 온도 의존성이 감소하며, 기판의 열팽창 계수가 $11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 일 때 거의 0이 됨을 보고 하였다. 본 연구에 사용된 기판은 지름이 12 inch, 열팽창 계수가 $11.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이고, 1550 nm 파장 영역에 대한 굴절률이 1.519인 유리 기판(OHARA, WMS-13)이다. 비접촉 광학 두께 제어 시스템에 사용되는 파장 가변 레이저의 가간섭 길이가 매우 길기 때문에 기판의 앞면과 뒷면 사이에서 발생할 수 있는 다중 빔 간섭현상으로 인한 광신호의 잡음을 최소화하기 위하여 두께가 7 mm인 두꺼운 기판을 사용하였으며, 협대역 투과 필터의 증착에 앞서 기판의 뒷면에 먼저 무반사 증착을 수행하였다.

또한 증착하는 동안 발생하는 outgas를 방지하고 기판의 열처리를 위하여 150°C 이상의 온도로 4시간 이상 챔버를 가열 하였다.

앞에서 언급한 박막 설계를 기본으로 DPS 필터를 예비 증착하여 박막 두께 균일성이 확보된 상태에서 2장에서 언급한 공정 조건을 사용하여 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터를 제작하였다. 제작된 협대역 투과 필터의 단면을 Scanning Electron Microscope로 측정된 사진은 그림 9와 같다. 여기서 검은 부분은 SiO_2 , 옅은 부분은 Ta_2O_5 , 넓은 폭을 갖는 검은 부분은 SiO_2 로 구성된 간격층을 나타낸다. 또한 Broadband Light Source(Lightcomm, C+L Band)와 Optical Spectrum Analyzer

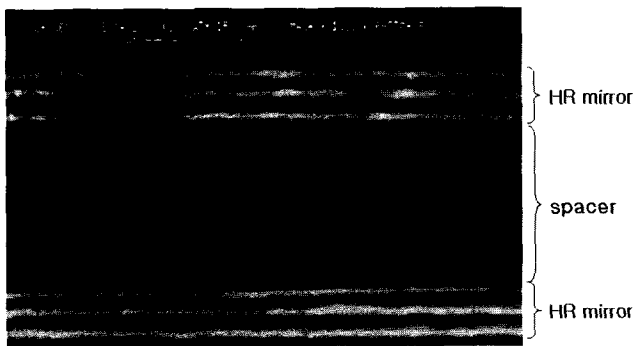


그림 9. 50 GHz 협대역 투과 필터의 단면 SEM 사진.

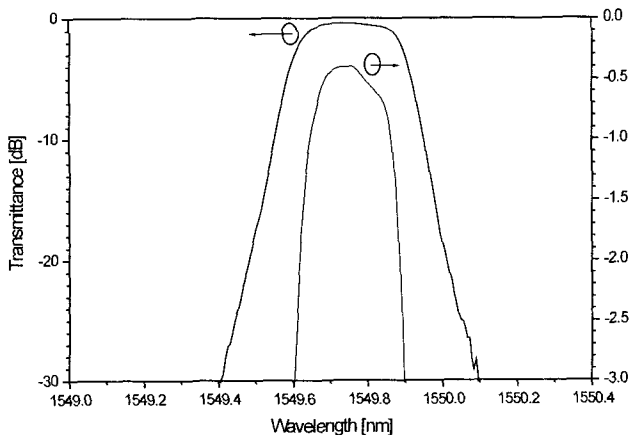


그림 10. 50 GHz 협대역 투과 필터의 특성.

표 2. 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터의 광특성 비교

	설계	제작	일반사양
Insertion Loss [dB]	0.01	0.40	≤ 0.5
Passband ripple [dB]	0.02	0.20	≤ 0.3
Pass bandwidth@ -0.5 dB [nm]	0.23	0.20	≥ 0.20
Isolation bandwidth@ -25 dB [nm]	0.53	0.60	≤ 0.60

(Ando, AQ6317B)로 이루어진 광링크를 사용하여 협대역 투과 필터의 삽입 손실, 잔물결, 투과 대역폭 등의 광특성을 측정 및 분석하였다. 그림 10은 이중 이온빔 스퍼터링 증착법으로 제작된 채널 간격이 50 GHz인 협대역 투과 필터의 투과 스펙트럼으로 사양은 삽입 손실이 0.40 dB, 잔물결이 0.20 dB이며, -0.5 dB와 -25 dB에서의 투과 대역폭은 각각 0.20 nm, 0.60 nm이다. 이와 같이 설계된 필터의 사양과 제작된 필터의 사양이 차이가 나는 이유는 필터의 제작시 발생할 수 있는 광학박막 두께의 상대 오차로 설명할 수 있다. 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터 설계의 전산모의 결과 필터 제작시 발생하는 광학박막 두께의 상대 오차가 0.1 nm 이하일 경우에도 제작된 필터의 사양은 설계된 필터의 사양과 차이가 나타난다. 본 연구에서는 협대역 투과 필터의 제작에 앞서 DPS 필터의 예비 증착을 통하여 0.1 nm 이하의 박막 두께 균일도를 확보하였기 때문에 제작된 필터의 사양이 설계된 필터의 사양과는 차이가 나지만 광통신에서 사용되는 일반적인 사양은 만족한다. 본 연구에서 설계 및 제작한 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터의 광특성과 광통신에서 일반적으로 요구되는 광특성을 비교하면 표 2와 같다.

VI. 결 론

본 연구에서는 두 개의 Kaufman형 RF 이온총을 장착한 이중 이온빔 스퍼터링 장치를 사용하여 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터를 제작하였다. 공정 조건을 최적화 하기 위하여 Ta_2O_5 와 SiO_2 단층박막을 각각 제작하여 특성을 분석하였다. Spectroscopic Ellipsometer와 Scanning Electron Microscope, Atomic Force Microscope으로 분석한 Ta_2O_5 와 SiO_2 단층박막은 모두 흡수가 나타나지 않았으며, 박막의 단면 및 표면 상태도 미세 기둥 구조 없이 조밀하며 우수함을 확인하였다. 또한 총 13층으로 구성되고 2개의 간격층을 갖는 Dual Peak Spike 필터 예비 증착을 통하여 기판 상의 반경 115~125 mm 영역 내에서 Ta_2O_5 와 SiO_2 모두 0.1 nm 이하의 박막 두께 균일성을 확보하고 각각의 박막의 증착을 등의 사전 정보를 얻었다.

최적화된 공정 조건과 DPS 필터 예비 증착을 통해 확보된 두께 균일성을 바탕으로 1/4 파장 광학박막 두께를 기본으로 하여 총 216층으로 구성되고 4개의 간격층을 갖는 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터를 설계 및 제작하였다. 다층박막 제작시 발생하는 스트레스를 줄이기 위하여 열팽창 계수가 큰 기판을 사용하였으며, 비접촉 광학 두께 제어 시스템의 오차를 줄이기 위하여 협대역 투과 필터의 제작에 앞서 기판의 뒷면에 무반사 증착을 수행하였다.

이렇게 제작된 채널 간격 50 GHz 협대역 투과 필터의 광학 특성은 삽입 손실이 0.40 dB, 잔물결이 0.20 dB이며, -0.5 dB 와 -25 dB에서의 투과 대역폭이 각각 0.20 nm, 0.60 nm로 광 통신에서 사용되는 사양을 만족한다.

참고문헌

- [1] S. V. Kartalopoulos, *Introduction to DWDM Technology: Data in a Rainbow*, First ed., (IEEE Press, New York, USA, 2000), Chapter 4.
- [2] H. A. Macleod, *Thin Film Optical Filters*, 3rd Ed., (Institute of Physics Publishing, Bristol, UK, 2001), pp. 393-418.
- [3] R. R. Hummel, K. H. Guenther, *Handbook of Optical Properties Vol. 1 Thin Films for Optical Coatings*, (CRC Press, Boca Raton, USA, 1995), Chapter 7.
- [4] H. R. Kaufman, and R. S. Robinson, *Operation of Broad-Beam Sources*, (Commonwealth Scientific Corporation, Alexandria, USA, 1987), Part I.
- [5] C. C. Lee, J. C. Hsu, D. T. Wei, and J. H. Lin, "Morphology of dual ion beam sputtered films investigated by atomic force microscopy," *Thin Solid Films*, vol. 308-309, pp. 74-78, 1997.
- [6] C. C. Lee, J. C. Hsu, and D. H. Wong, "The characteristics of some metallic oxides prepared in high vacuum by ion beam sputtering," *Appl. Sur. Sci.*, vol. 171, pp. 151-156, 2001.
- [7] H. Demiryont, J. R. Sites, and K. Geib, "Effects of oxygen content of the properties of tantalum oxide films deposited by ion-beam sputtering," *Appl. Opt.*, vol. 24, pp. 490-495, 1985.
- [8] Ronald R. Welley, *Practical Design and Production of Optical Thin Films*, (Marcel Dekker, Inc., New York, USA, 1996), pp. 212-276.
- [9] H. A. Macleod, "Turning value monitoring of narrow-band all-dielectric thin-film optical filters," *Optica Acta*, vol. 19, pp. 1-28, 1972.
- [10] H. A. Macleod, "Absorption in turning value monitoring of narrow-band thin-film optical filters," *Optica Acta*, vol. 20, pp. 493-508, 1973.
- [11] H. A. Macleod, D. Richmond, "The effect of errors in the optical monitoring of narrow-band all-dielectric thin film optical filters," *Optica Acta*, vol. 21, pp.429-443 1974.
- [12] F. Li, and Y. Lin, "Design of Optical Interference Filter for DWDM" in *APOC 2001, Proc. SPIE Vol. 4581*, Beijing, China, 2001, pp. 384-389.
- [13] H. Takahashi, "Temperature Stability of thin film narrow band pass filters produced by ion-assisted deposition," *Appl. Opt.*, vol. 34, no. 4, pp. 667-675, 1995.

Fabrication and optical characteristics of 50 GHz narrow band pass filter for fiber optical communication using dual ion beam sputtering technique

Hwekyung Kim and Myoung-Jin Kim

Optical Telecommunication Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Pyungtaek 451-865, KOREA

(Received February 11, 2003, Revised manuscript April 14, 2003)

This paper represents 50 GHz narrow band pass filters for fiber optical communication fabricated by dual ion beam sputtering method. We have analyzed the characteristics of the Ta₂O₅ and SiO₂ single layers in order to optimize the process conditions for the 50 GHz narrow band pass filters, and controlled the film thickness uniformity to less than 0.1 nm deviation by dual peak spike filter pre-deposition. We designed and fabricated 50 GHz narrow band pass filters that consist of 216 layers including 4 cavities based on quarter wave optical thickness. Glass substrates with high thermal expansion coefficients were used to reduce the film stress. Anti-reflection coating at the rear side of the substrate was also needed to reduce the optical thickness errors of the Optical Monitoring System caused by multiple beam interference between the front side and the rear side of substrate. The optical characteristics of this 50 GHz narrow band pass filters are insertion loss of 0.40 dB, pass band ripple of 0.20 dB, and pass bandwidth at -0.5 dB of 0.20 nm, and isolation bandwidth at -25 dB of 0.6 nm, which satisfy specifications of dense WDM system in fiber optical communications.

OCIS Codes : 230.3720, 260.1180, 260.2130.