

## 다층 박막을 이용한 패럴 단면의 무반사 코팅 설계 및 특성

### Design and Characteristics of Anti-reflection Coating using Multi-layer Thin Film on the Ferrule Facet

기현철<sup>1,2,a</sup>, 양명학<sup>1</sup>, 김선훈<sup>1</sup>, 김태언<sup>1</sup>, 김희종<sup>1</sup>, 구할본<sup>2</sup>  
(Hyun-Chul Ki<sup>1,2,a</sup>, Mung-Hark Yang<sup>1</sup>, Seon-Hoon Kim<sup>1</sup>, Tea-Un Kim<sup>1</sup>, Hwe-Jong Kim<sup>1</sup>, and Hal-Bon Gu<sup>2</sup>)

#### Abstract

In this paper, we have designed the anti-reflection (AR) coating for 1400~1600 nm wavelength range on the ferrule facet of optical connector. The low-temperature ion-assisted deposition was applied to AR coating on the ferrule facet in order to avoid damage of optical connector. We have measured the refractive index of coating film ( $Ta_2O_5$  and  $SiO_2$ ) using the ellipsometer and optimized the film thickness using the SEM and thickness measurement equipment. UV-VIS-NIR spectrophotometer is used to measure transmissivity of the AR coated ferrule facet. The refractive index of  $Ta_2O_5$  and  $SiO_2$  is 2.123~2.125 and 1.44~1.442, respectively, for 1400~1600 nm wavelength range. The transmissivity of the AR coated ferrule facet is more than 99.8 % for 1425~1575 nm wavelength range and more than 99.5 % for 1400~1600 nm wavelength range. The return loss of the AR coated ferrule facet is 30.1 dB.

**Key Words** : Ferrule, Anti-reflection coating, Broadband, Return-loss

#### 1. 서론

초고속 정보통신망의 구현을 위한 광학적 Link에 필수적이고, 광학정렬 및 접속회로 교환기, 전송장치, 광 감쇠기, 커플러, 계측기 등의 장치 내 연결과 상호간의 광학적 연결을 위해 광 접퍼코드가 사용되는데, 패럴은 접퍼코드의 가장 중요한 핵심부품으로 물리적, 기계적, 환경적 요소 등의 내구성이 필요하다. 패럴은 광 통신용 케이블을 연결시키는 단순한 기능을 하지만, 정보의 전송효율과 정보의 질을 결정하는 극히 중요한 역할을 하므로 높은 정밀도가 요구되는 초정밀 부품이다.

광커넥터의 현재 핵심 요소 기술은 저손실화, 저반사화, 조작성, 고밀도 실장성을 말한다. 저손실화를 위해서는 패럴 정렬기술, 편심방향 조정에 따른 저손실화 기술이 중요하고, 저반사화를 위해서는 광커넥터 단가의 반 이상을 차지하는 핵심 부품인 패럴에 삽입된 Fiber 단면처리기술이 중요하다. 저반사화 기술전개는 패럴의 비스듬한 면에 의한 반사광의 저반사 특성 확보 방법에서 패럴에 삽입된 Fiber 모듈에 직접 무반사(Anti Reflective) 코팅을 하여 저반사화를 실현하는 방향으로 전개되고 있으나, 국내에서는 직접 패럴에 무반사 코팅을 적용하고 있지 못하고 있다.

무반사 코팅 박막을 증착하는 방법으로는 E-beam, sputter, 이온 빔 보조증착 방식이 이용되어진다. Sputter 방식은 무반사 코팅 박막의 두께를 조절하기 힘들기 때문에 투과율의 좋은 특성을 얻을 수가 없고, 패럴과 박막의 밀착도가 떨어지기 때문에 여기에 이온 빔을 보조해서 사용하고 있다. 또한 E-beam 방식은 우수한 투과율 특성을 얻을

1. 한국광기술원 광응용연구사업부 광소자팀 (광주시 북구 월출동 971-35)  
2. 전남대학교 전기공학과  
a. Corresponding Author : kihc75@kopti.re.kr  
접수일자 : 2007. 9. 21  
1차 심사 : 2007. 10. 11  
심사완료 : 2007. 10. 15

수 있으나 저온에서는 박막과 패럴의 밀착도가 떨어진다. 이러한 것을 보완한 장치가 이온 빔 보조 증착방식(Ion-Assisted Deposition system)이다[1].

본 논문에서는 광커넥터의 저반사를 실현하기 위하여 무반사 다층 박막을 설계하였고 광파이버의 물리적 손상과 박막의 밀착도를 향상시키기 위해서 저온에서 이온빔 보조 장치를 이용하여 무반사 코팅을 수행하였다. 또한 실제 광커넥터에 무반사 코팅막을 증착하여 광커넥터의 반사손실(Return-loss)을 측정하였고, 무반사 코팅 시 BK7 glass를 장착하여 증착되어진 무반사 코팅 박막의 물리적 특성 및 광학적 특성을 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 무반사 코팅물질 선정 및 설계

본 논문에서는 무반사 코팅막 설계전 증착물질을  $Ta_2O_5/SiO_2$ 로 선정하였다.  $Ta_2O_5$ 는 다층박막에서 굴절률이 적은  $SiO_2$ 와 한 짝을 이루는 고굴절률 박막으로 많이 사용되고 있다.  $Ta_2O_5$ 는 증착방법, 증발물질, 반응기체압력, 기판온도, 증착률 등에 따라 굴절률이 2.1에서 2.7까지 변한다[2].  $SiO_2$ 는 200~4,500 nm의 넓은 영역에서 투과하며 굴절률이 낮으며 내구성이 높고 외부환경에 강해 무반사 코팅에 사용되고 있다[3]. 실제 사용되는 광커넥터의 필요투과특성은 1425~1575 nm영역에서 99.8% 이상, 1400~1600 nm에서 99.5% 이상에 특성이 필요하다. 파장대역이 광대역이므로  $Ta_2O_5/SiO_2$ 를 1쌍(pair) 10층으로 Broadband 다층 코팅 박막으로 설계하였다. 그림 1은 설계한 박막의 simulation 결과이다. 각층의 광학적 두께를 최적화하면서 무반사 코팅 박막을 설계하였다. 설계된 박막을 사용 파장영역에서 simulation한 결과 투과율이 99.8% 보다 높은 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 설계한 무반사 다층 박막의 최적의 무반사 박막으로 설계되었음을 확인 할 수 있었다.

### 2.2 무반사 코팅막 증착

패럴과 광파이버의 물리적 손상 없이 무반사 다층막을 증착하기 위해서는 80 °C이하 저온에서 증착하여야 하며 증착 후 패럴과 다층막의 박리현상이 없어야 한다. 그림 2는 설계된 무반사 코팅막 증착을 위한 Ion-assisted deposition system의 내부 사진이다. 이온빔 보조 증착은 적당한 에너지와 전류밀도의 이온빔으로 증착되고 있는 박막에 충격을 주어 박막의 기동이 부서지면서 조밀도가 커지므로 외부환경에 강한 박막을 증착할 수 있다. 그

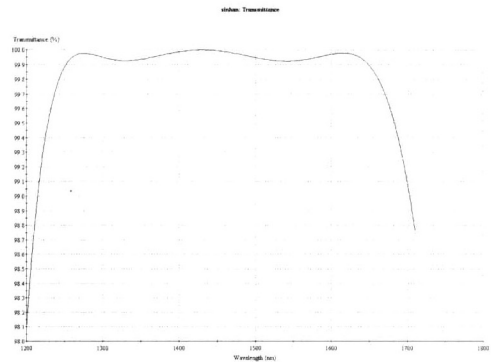


그림 1. 무반사 코팅 박막의 Simulation 결과.  
Fig. 1. Simulation result of AR coating film.

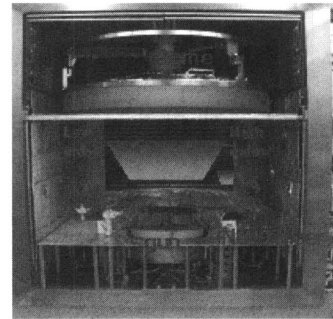


그림 2. 이온보조장착 증착 시스템.  
Fig. 2. Ion-assisted deposition system.

리고 dome과 chamber wall의 온도를 조절 가능하므로 저온에서 증착할 수 있는 장비이다[4].

또한 증착 전에 이온빔으로 기판을 세척할 수 있으므로 박막과 기판과의 부착력을 증가시킬 수 있기 때문에 저온 코팅 후 패럴과 다층막의 박리현상을 방지할 수가 있다.  $O_2$ 나  $N_2$ 와 같은 반응 이온을 사용하기 때문에 화학 반응을 촉진시키므로 원소 조성비가 증가하여 빛의 흡수가 작은 박막을 증착할 수 있다. 이온빔 보조 증착은 Ar이나 혼합( $Ar+O_2$ )사용하여 증착 물질의 굴절률이 증가하고, 진공-공기사이의 스펙트럼 이동이 거의 없을 정도로 미세구조가 조밀하게 되어진다[5].

증착 시 이온빔과 neutralizer의  $O_2$ 의 유량은 각각 50 sccm, 8 sccm을 주입해주었다. 광커넥터와 패럴의 물리적인 손상이 없기 위해서 증착온도는 저온증착을 위하여 45 °C로 고정하였고, 코팅 전  $O_2$ 와 Ar이온으로 cleaning공정을 실행하였다.

Ion-beam의 cleaning 공정은 광파이버와 코팅 광학박막의 부착력을 증가시켜주는 역할을 한다.

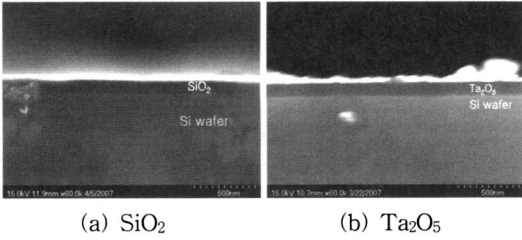


그림 3. SEM 결과.  
Fig. 3. SEM result.

### 3. 결과 및 고찰

무반사 코팅막의 설계를 위해서 증착 물질인 SiO<sub>2</sub>와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 굴절률을 측정한 후 설계프로그램에 입력을 하여 다층막을 설계해야 한다. 굴절률을 측정하기 위하여 SiO<sub>2</sub>와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 각각 Si wafer위에 증착하였다. 증착 시 온도 조건 및 Ion의 투입량은 다층막의 증착조건과 동일하게 하였다.

증착되어진 SiO<sub>2</sub>와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>박막의 평탄정도를 SEM(Hitachi, S-4700)으로 확인하였고 두께 측정은 Thickness measurement system으로 측정하였으며 굴절률은 Ellipsometer(Horiba, UVIS EL HR 460)를 이용하여 측정하였다. 그림 3은 45 °C에서 증착되어진 SiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 SEM 사진이다. SiO<sub>2</sub>와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>코팅 박막의 균일함과 조밀함을 확인할 수 있었다. 이온 보조 방식으로 증착되어진 박막은 주입되어진 이온이 연쇄적으로 표면 근처의 원자와 충돌하여 원자를 산란시켜 빈자리를 만들고 그 빈자리에 새로 주입되는 원자의 일부가 그 부분을 채움으로써 조밀도를 증가시키게 되어진다[6].

그림 4는 사용된 물질의 굴절률을 측정된 결과이다. SiO<sub>2</sub>박막의 굴절률은 200~1600 nm에서 1.44~1.53까지 변화하며 사용파장 대역인 1400~1600 nm에서는 1.44~1.442이었으며 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>박막의 굴절률은 2.121~2.7까지 변화하며 사용 파장대역에서는 2.123~2.125로 변화가 거의 없음을 확인할 수 있었다. 유전체박막의 굴절률은 증착방법, 증착온도, 증착시 이온 투입량 등에 영향을 받을 수가 있다. E-Beam방식으로 증착한 박막의 굴절률은 기판 온도에 영향을 받을 수 있으나 이온 보조 증착을 장착한 E-beam은 실온에서도 이온의 투입량의 조절로 굴절률을 증가시키거나 안정시킬 수 있다 [7]. 본 논문에서 사용한 두 물질의 굴절률이 45 °C에서 안정된 굴절률 값을 얻을 수 있었던 것은 이온 보조 증착의 이온주입량으로 굴절률을 안정시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

무반사 다층 박막의 투과율을 측정하기 위하여

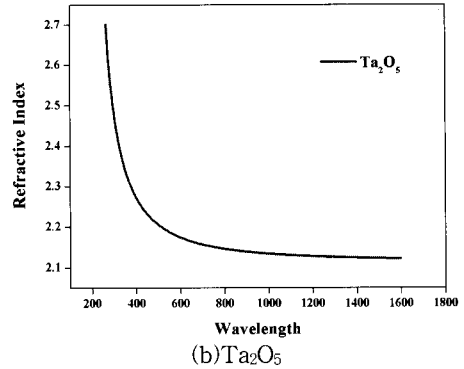
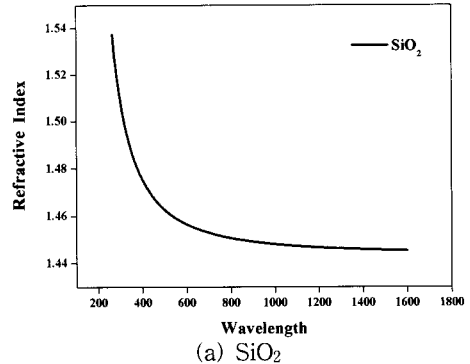


그림 4. Ellipsometer로 측정된 굴절률.  
Fig. 4. Refraction index used ellipsometer.

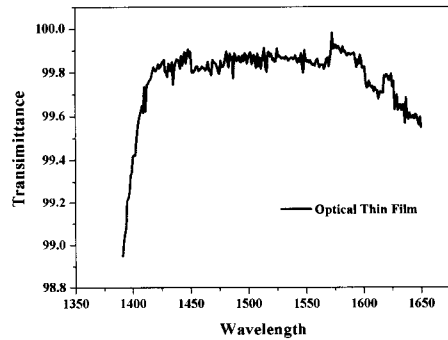


그림 5. 무반사 코팅막 투과율.  
Fig. 5. Transmissivity of refraction coating film.

High resolution UV-VIS-NIR spectrophotometer (Varian, Cary500Scan)로 측정하였다.

그림 5는 무반사 코팅 시 장착한 BK7 유리의 투과율을 측정된 결과 값이다. 증착된 무반사 다층 박막의 투과율은 1425~1575 nm에서 99.8 %이상, 1400~1600 nm에서는 99.5 %이상의 결과를 얻었다. 측정되어진 투과율을 앞에서 무반사 코팅막을 simulation한 결과 값과 거의 일치함을 볼 수 있었다.

표 1. 무반사 코팅 전후의 커넥터 반사 손실값.  
Table 1. Optical connector return loss before and after AR coating.

광 커넥터 부분	무반사 코팅 전	무반사 코팅 후
FC connector	39.8 dB	48.2 dB
Capillary	22.3 dB	30.1 dB

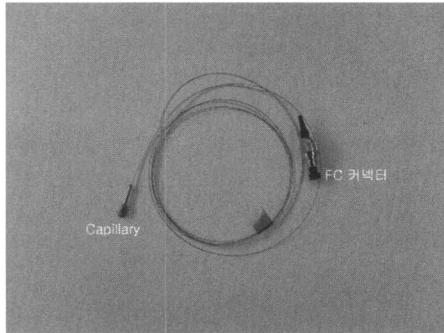


그림 6. 무반사 코팅된 광커넥터.  
Fig. 6. Optical connector used reflection coating.

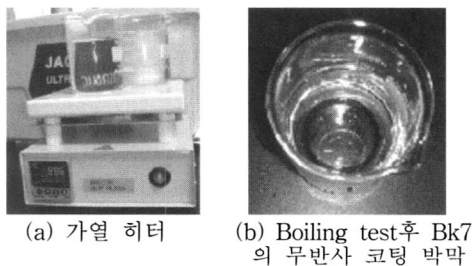


그림 7. Boiling test 와 test 결과.  
Fig. 7. Boiling test and test result.

그림 6은 설계되어진 무반사 다층 박막을 적용한 커넥터이다. 표 1은 무반사 코팅 전후의 커넥터의 반사 손실값이다.

무반사 코팅 후 FC connector에서는 11.6 dB, capillary에서는 7.3 dB 향상됨을 알 수 있었다. 패럴과 무반사 코팅막의 밀착도 측정은 100 °C를 유지하면서 1시간동안 코팅 시 장착한 BK7 glass의 박막 Boiling test방법을 이용하였다. 그림 7은 Boiling test 방법과 test 후에 BK7 glass의 무반사 코팅 박막이다. 저온에서 증착한 무반사 박막과 BK7 표면과의 박리 현상이 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 이온빔으로 증착되어진 박막은 기동 미세구조의 감소로 표면 거칠기가 줄어들며, 증착 전 이온빔으로 기판을 세척하여 부착력을 증가시키므로 박리현상이 나타나지 않는다. 이러한 저온에서 증착을 하더라도 박막

의 박리현상을 보이지 않음으로써 패럴에 증착되어진 무반사 박막이 광파이버의 코어를 보호할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 무반사 코팅 박막으로 사용할 물질을 광학박막에서 안정적인 특성을 가지고 있는 SiO<sub>2</sub>와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 선정하였고, 선정된 물질의 굴절률은 각각 1.44~1.442, 2.123~2.125로 사용파장내역에서 변화가 없는 것을 확인하였으며 무반사 코팅 박막 설계의 기초단계를 완성하였다.

그리고 광대역의 주파수영역에서 사용하기 위한 Broadband 다층막 설계기술을 적용하였고, 완성제품인 패럴의 외부적인 손상이 되지 않는 상태에서 코팅을 시행하기 위해서 45 °C이하에서 코팅박막을 증착하였다. 증착되어진 코팅막의 투과율은 1425~1575 nm에서 99.8 %이상, 1400~1600 nm에서는 99.5 %이상의 결과를 얻었다.

본 논문에서 설계한 무반사 다층 코팅 박막을 실제 제품에 적용하여 광커넥터의 반사손실이 7.3 dB이상 향상되는 것을 확인할 수 있었으며 박리현상이 보이지 않음으로써 패럴에 증착되어진 무반사 박막이 광파이버의 코어를 보호할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] P. J. Martin and R. P. Netterfield, "Optical films produced by ion-based techniques", in Progress in Optics XXIII, E. Wolf Ed., 1986.
- [2] M. Lottiaux, "Comparison of the properties of titanium dioxide films prepared by various techniques", Thin Solid Films, Vol. 179, p. 107, 1989.
- [3] P. G. Pai, "Infrared spectroscopic study of SiO<sub>x</sub> films produced by plasma enhanced chemical vapor deposition", Appl. Opt., Vol. 28, p. 5545, 1996.
- [4] U. J. Gibson, "Ion-beam method for optical thin films", Physics of Thin film, Vol. 13, 1987.
- [5] P. J. Martin, "Ion-based methods for optical thin film deposition", J. Mat. Sci., Vol. 21 p. 1, 1986.
- [6] K. H. Mueller, "Model for ion-assisted thin film densification", J. Appl. Phys., Vol. 59, p. 2803, 1986.
- [7] Y. Fujiwara, N. Toyoda, K. Mochiji, T. Mitamura, and I. Yamada, Nuclear Instrument and methods in Physics Research Section B: "Beam interactions with materials and atoms", Vol. 206, p. 870, 2003.