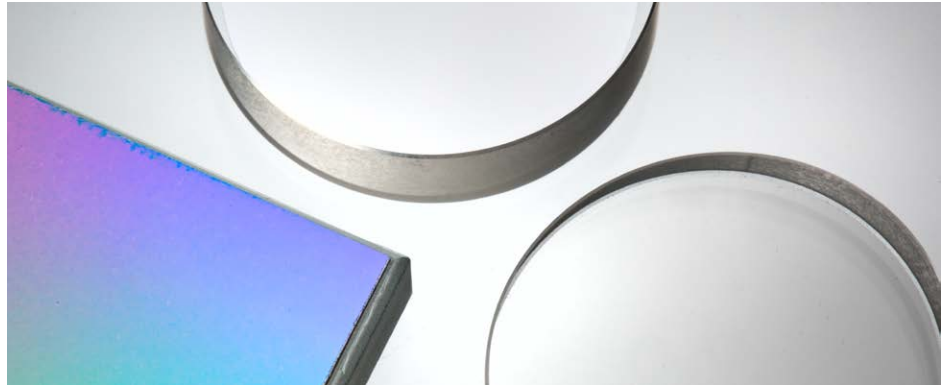


## 박막의 광학 특성 규명

Agilent Cary UV-Vis-NIR 분광 광도계용 범용 측정 액세서리 사용



### 저자

Robert Francis, Travis Burt  
Agilent Technologies, Inc.  
Mulgrave, Victoria  
Australia

### 서론

이 연구에 대한 보다 자세한 내용은 Applied Optics, 10 January 2012/Vol. 51, No. 2에 출판되었습니다.<sup>1</sup>

박막과 다층 코팅의 광학 파라미터를 정확하게 측정하는 것(광학 코팅의 역공학을 사용하여)은 고품질 제품의 생산에서 가장 중요한 일입니다. 데이터는 설계/생산 과정에 피드백을 제공합니다. 각 층을 순서대로 분석하는 역공학 결과를 사용하면 증착 파라미터 조절, 모니터링 시스템 재검교정, 각 층의 두께 제어 개선 등이 가능합니다.

일반적으로 광학적 특성은 자외-가시-근적외선(UV-Vis-NIR) 또는 푸리에 변환 IR(FTIR) 분광기를 사용하여 투명 기판 위에서 분석한 박막 시료의 정상 입사 또는 근사 정상 입사 투과율(T) 또는 반사율(R) 데이터에 기초하여 규명됩니다. 그러나 정상 입사 T와 R 측정에 기초한 광학 특성 규명 및 정상 입사 또는 근사 정상 입사 T와 R 측정 데이터에 기초한 믿을 수 있는 역공학은 수행이 어려운 과제입니다.

이 응용 자료에서는 범용 측정 액세서리(UMA)를 장착한 Agilent Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광도계를 사용해, 단일 박막의 광학 특성 규명 및 다층 광학 코팅 역공학에 대한 다각도 스펙트럼 광도 데이터의 적용 가능성을 보여줍니다. 이 연구에서는 일반적으로 특성 규명이 보다 어려운 고밀도 박막, 마그네트론 스퍼터링으로 생산한 다층 구조, 전자 빔(e-beam), 증착 박막을 대상으로 합니다. 또한 이 데이터는 Agilent Cary 7000 범용 측정 분광 광도계(UMS)에서도 수집될 수 있습니다.

## 실험

### 시료

이 연구에서는 마그네트론 스퍼터링과 e-beam 증착이라는 2개의 다른 증착 기술을 사용해 2세트의 실험 시료를 측정했습니다. 자세한 내용은 참조 1에서 찾으실 수 있습니다.

### 기기

- Agilent Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광도계
- 애질런트 범용 측정 액세서리

UMA는 고도로 자동화된 다중 각도 경면 반사 및 투과 시스템으로, 시료, 검출기, 편광 위치에 대해 완전한 소프트웨어 제어 기능을 제공합니다. UMA는 제어 가능한 여러 각도의 입사광(0~85도 %T, 5~85도 %R)에서 투과율(%T)과 절대 정반사(%R)를 측정하여, 시료의 빠르고 정확하며 완전한 광학 특성 규명 결과를 제공합니다. 시료를 비추는 선형적 편광 빔은 투과율로 측정할 수 있습니다. 시료에서 일정한 반경을 유지하며 평면으로 검출기 어셈블리를 이동하여 절대 반사율로 측정할 수도 있습니다. UMA의 다양한 측정 모드 기능으로 생산성은 개선되며, 보다 정밀한 시료 특성 규명이 가능합니다. UMA의 구성도는 그림 1에 나와 있습니다.

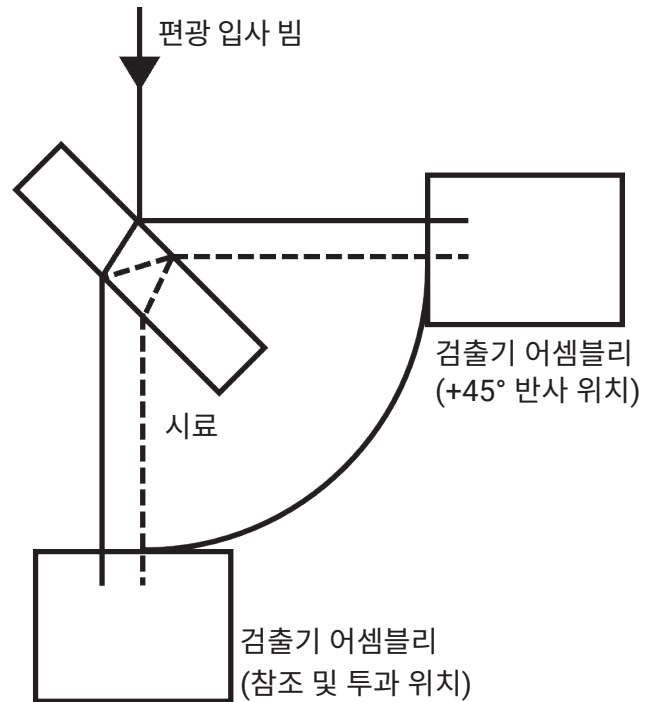


그림 1. Agilent UMA의 구성도, 절대 가변 각도 반사 및 투과 액세서리.

## 결과 및 토의

s- 및 p-편광에 대해 7°, 10°, 20°, 30° 및 40°의 입사각에서 300 ~ 2,500nm 범위의 스펙트럼 범위에 있는 모든 시료에 대해 다각 스펙트럼 광도 측정이 수행되었습니다. 이 연구의 모든 광학 특성 규명 및 역공학 절차에서는, 330~1,100nm의 스펙트럼 범위에서 측정된 데이터만이 사용되었습니다. 1,100nm를 초과하는 파장에서는 기판 내부 흡광이 뚜렷하게 나타나, 측정의 정확도를 불확실하게 만들었습니다.

### 고밀도 유전체 박막

마그네트론 스퍼터링으로 생산한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 SiO<sub>2</sub> 박막의 광학 특성 규명을 위해 UMA를 사용하여 다각도 스펙트럼 광도계 데이터를 얻었습니다. 표 1은 광학 특성의 수치 결과인 측정된 막 두께와 λ = 600nm에서의 굴절률 값을 보여주고 있습니다. 여러 입사각과 편광 상태에서 측정된 T와 R 데이터를 사용해 얻은 결과는 훌륭한 일관성을 나타내었습니다. 두 재료 모두, 두께와 굴절률(n)의 편차는 표 1의 모든 컬럼의 평균값과 0.1% 미만입니다.

표 1. Agilent UMA로 얻은 경사각의 T와 R 데이터에 기초한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 SiO<sub>2</sub> 막의 파라미터.

편광 상태/입사각	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		SiO <sub>2</sub>	
	물리적 두께(nm)	600nm에서의 n	물리적 두께(nm)	600nm에서의 n
s, 7°	292.3	2.162	401.4	1.486
s, 10°	292.5	2.160	401.7	1.485
s, 20°	292.4	2.161	401.5	1.484
s, 30°	292.4	2.161	401.9	1.484
s, 40°	292.4	2.161	401.6	1.483
p, 7°	292.7	2.159	401.9	1.484
p, 10°	292.5	2.160	401.4	1.485
p, 20°	292.5	2.160	401.5	1.484
p, 30°	292.5	2.160	401.9	1.486
p, 40°	292.4	2.161	401.7	1.483

### 다각도 분광법에 기초한 역공학의 신뢰성

다각도의 광도 측정 데이터에 기초한 역공학의 신뢰성을 확인하기 위해, 특별히 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 SiO<sub>2</sub>로 만들어진 15개 층 구조의 1/4 파장 거울을 높은 굴절률과 낮은 굴절률의 재료로 분석했습니다. 거울은 층 두께의 시간 모니터링을 사용해 마그네트론 스퍼터링으로 생산하였습니다. 이 거울의 증착 과정에서 3번째, 8번째, 14번째, 15번째 거울 층에 각각 +5%, 7%, -5%, +5%의 의도적인 오차가 적용되었습니다. UMA를 사용해 다양한 조합의 입력 측정 데이터를 얻었으며, 의도적인 두께 오차는 모든 경우에서 안정적으로 감지되었습니다.<sup>1</sup> 획득된 결과의 일관성에 대한 일반적인 예는 그림 2에 나와 있습니다.

### 비균일적인 e-beam 증착 박막의 광학 특성 규명을 위한 다각 분광법 적용

다각도 스펙트럼 광도 측정은 다양한 두께의 e-beam 증착 HfO<sub>2</sub> 및 SiO<sub>2</sub> 막에 대한 광학적 파라미터 결정에도 응용되었습니다. 이는 특별히 준비한 다층 거울의 역공학을 통해 달성했습니다. 막 두께에 따라 e-beam 증착 HfO<sub>2</sub> 막의 광학 특성이 달라진다는 점이 발견되었습니다. 모든 역공학 시도의 결과는 일관됩니다. 역공학 과정에서 밝혀진 SiO<sub>2</sub> 굴절률의 오프셋은 SiO<sub>2</sub> 단일 층의 특성 규명에서 발견한 SiO<sub>2</sub>의 공칭 굴절률에 대해 1.5~1.7%였습니다. HfO<sub>2</sub> 층의 우수한 굴절률 일치도 관찰되었습니다.

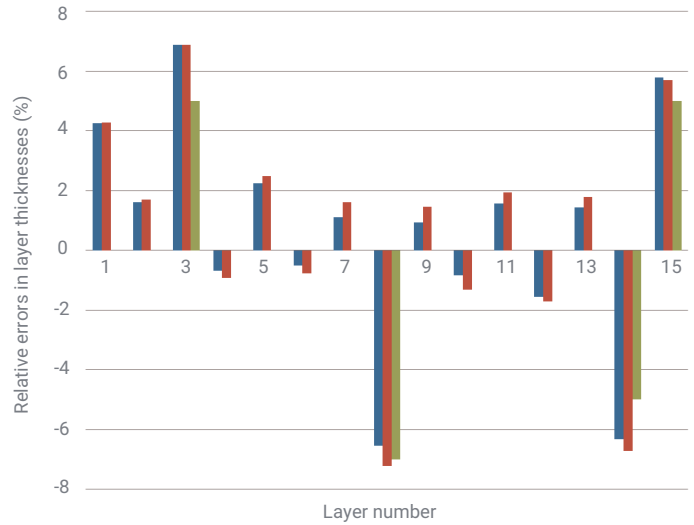


그림 2. 7°, 10°, 20°, 30° 및 40°에서 s-편광(파란색 막대)과 p-편광(빨간색 막대)의 사례에 대해 반사율 및 투과율 데이터에 기초하여 발견된 15층 구조의 1/4 파장 거울 층 두께 오차 비교. 녹색 막대는 3번째, 8번째, 14번째, 15번째 층에 대해 계획된 두께 오차를 보여줍니다.

경사각 T와 R 측정으로부터 산출된 HfO<sub>2</sub> 굴절률 값의 변이는 0.5%를 초과하지 않았습니다. 그림 3에서 HfO<sub>2</sub> 막의 측정된 굴절률 파장 의존성이 이전 연구의 참조 파장 의존성과 일치함을 알 수 있습니다.<sup>2</sup> 이러한 일치는 HfO<sub>2</sub>의 결정 상태가 막 두께에 따라 달라진다는 기존의 결론을 확인시켜줍니다.<sup>3,4</sup> 이 참고 문헌들에서 볼 수 있듯, 박막은 기본적으로 비정형인 데 반해 보다 두꺼운 막은 부분적으로 결정질이며, 결정 부분의 비율이 높을수록 막은 두껍습니다. 이는 이 연구에 사용된 HfO<sub>2</sub> 막의 굴절률 차이가 단일층의 경우 197nm, 다층 구조인 경우에는 약 50nm였다는 것을 설명해 줍니다.

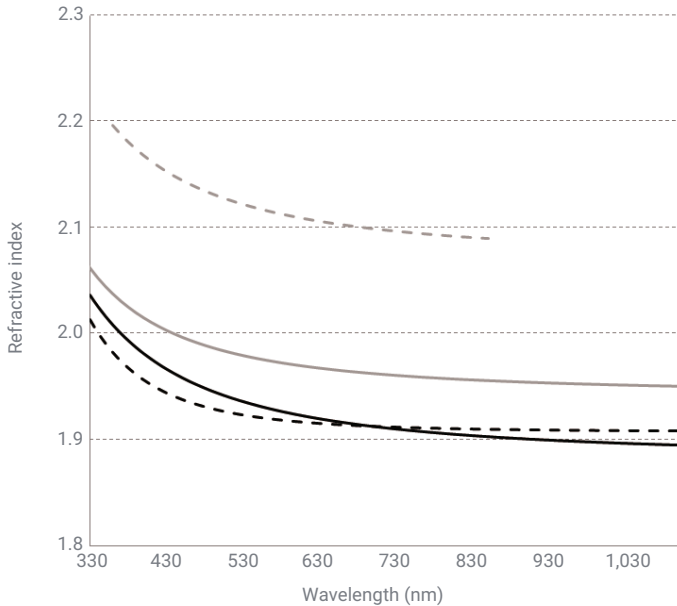


그림 3. e-beam 증착 HfO<sub>2</sub> 막의 공칭 굴절률 파장 의존성(검은색 곡선), 무선 주파수 스퍼터링으로 생성한 HfO<sub>2</sub> 막의 참조 굴절률 파장 의존성(회색 곡선), 이온 빔 스퍼터링(점선으로 된 회색 곡선). 점선으로 된 검은색 곡선은 12개 층 1/4 파장 거울과 관련하여 측정된 데이터에서 발견된 HfO<sub>2</sub> 박막의 굴절률을 보여줍니다.

## 결론

박막의 광학 특성 규명 및 다층 코팅의 역공학을 위한 다각 분광법의 적용에 대해 연구하였습니다. 분광 광도계용 고급 액세서리인 Agilent UMA(Agilent Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광도계에 장착)는 여러 각도 및 s와 p-편광에 대해 반사율과 투과율 데이터를 제공했습니다. 측정 데이터의 정확도를 확인하였으며, 모든 측정 데이터가 UV부터 NIR까지의 넓은 스펙트럼 범위와 최대 40°의 입사각에 이르기까지 우수하게 나타났습니다.

연구자들은 다각 스펙트럼 광도를 통해 기존의 분광법보다 더 많은 실험 정보를 얻을 수 있습니다. 이 연구는 UMA 분광 광도계 액세서리가 다양한 광학 코팅 특성 규명 및 역공학 문제를 해결할 수 있는 실험 정보를 제공한다는 것을 보여줍니다.

입력되는 다각도 분광 데이터의 다양한 조합에 대한 비교 분석은 얻은 결과에 대한 자체 검증을 제공합니다. 다각 스펙트럼 측광법은 경사진 입사각 또는 분산광 조명 하의 광학 코팅 분석에 완벽한 도구입니다.

## 참고 문헌

1. Tikhonravov, A. *et al.* Optical Characterization and Reverse-engineering Based on Multiangle Spectroscopy. *Appl. Opt.* **2012**, 51(2), 245–254.
2. Tikhonravov, A. *et al.* Optical Parameters of Oxide Films Typically Used in Optical Coating Production. *Appl. Opt.* **2011**, 50, C75–C85.
3. Modreanu, M. *et al.* Solid Phase Crystallisation of HfO<sub>2</sub> Thin Films. *Mater. Sci. Eng. B* **2005**, 118, 127–131.
4. Modreanu, M. *et al.* Investigation of Thermal Annealing Effects on Microstructural and Optical Properties of HfO<sub>2</sub> Thin Films. *Appl. Surface Sci.* **2006**, 253, 328–334.

[www.agilent.com/chem/cary5000](http://www.agilent.com/chem/cary5000)

DE64562306

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2013, 2022  
2022년 12월 29일 한국에서 발행  
5991-1356KO

한국에질런트테크놀로지스(주)  
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,  
A+ 에셋타워 9층, 06621  
전화: 82-80-004-5090 (고객지원센터)  
팩스: 82-2-3452-2451  
이메일: korea-inquiry\_lsca@agilent.com