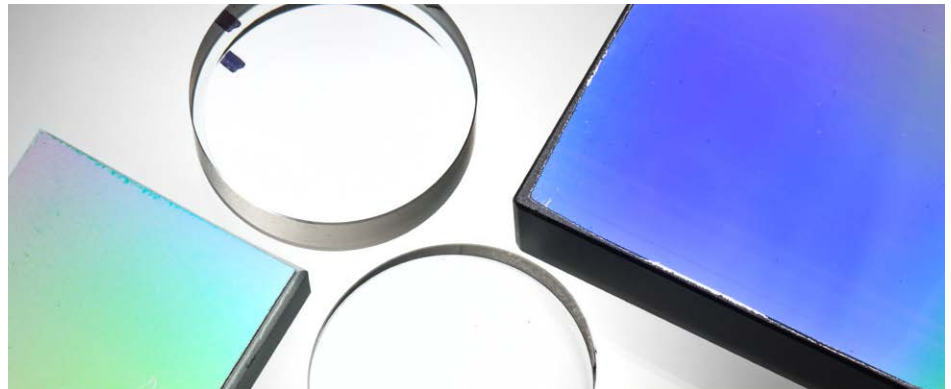


## 박막 반응에 대한 깊은 인사이트 확보

애질런트 Cary 범용 측정 액세서리를 사용하여 스펙트럼  
진동 극복



### 저자

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

### 서론

이 연구에 대한 보다 자세한 내용은 Optics Express 16129, 2 July 2012, Vol. 20, No. 14에서 처음 발행되었습니다.<sup>1</sup>

고품질 다층 광학 코팅의 설계자와 제조업체는 높은 정확도로 박막 재료의 광학 상수를 측정하기 위한 신뢰할 수 있는 분석법을 필요로 합니다. 이는 보통 UV-visible-IR 분광 광도계를 사용하여 시료의 정규 및 준 정규 투과율(T) 및 반사율(R) 스펙트럼을 획득합니다. 생성된 데이터의 정확성과 오차(우연 또는 계통 오차)의 원인을 이해하면 시료의 특성 규명을 더욱 신뢰할 수 있습니다.<sup>2,3</sup>

랜덤 오차(랜덤 노이즈)는 측정 데이터 세트의 지점마다 다르며 특성 규명 결과에 최소한의 영향을 미치는 것으로 나타났습니다.<sup>2</sup> 그러나 스펙트럼 특성 전체의 오프셋 또는 T 및 R 곡선의 대규모 파장 변화를 초래하는 계통 오차는 박막 파라미터의 정확한 측정에 특히 중요합니다.<sup>2</sup>

데이터 정확성과 관련된 중요한 정보는  $TL(\lambda) = 100\% - R(\lambda) - T(\lambda)$ 를 사용하여 박막 시료<sup>45</sup>의 총 손실(TL)을 계산함으로써 제공됩니다. 일반적으로, 기판과 박막이 비흡수성이고 비산란성인 스펙트럼 범위에서는 총 손실이 0으로 예상되는 반면, 흡수성 필름의 경우  $TL(\lambda)$ 은  $\lambda$ 가 증가함에 따라 감소합니다.

TL에 대한 스펙트럼을 분석할 때, 연구자들은 데이터의 품질에 대한 의심을 야기할 수 있는 진동을 관찰하곤 합니다. 이러한 진동의 원인은 다음과 같습니다.

- T와 R이 측정되는 입사각(AOI)의 차이
- 박막 내 흡수와 방해 효과의 조합
- 필름 두께의 비균일성

TL에서의 진동의 기원에 대한 전체 보고서는 참고 문헌 1에서 논의됩니다.<sup>1</sup> 이 응용 자료는 범용 측정 액세서리(UMA)가 장착된 Agilent Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광도계가 어떻게 시료를 움직이지 않고도 T 및 R을 측정할 수 있는 기능으로 이전에 보고된 적 없는 박막 특성 규명에 대한 정보를 제공하는지 보여줍니다.

## 실험

### 시료

292nm 두께의  $Ta_2O_5$  필름은 마그네트론 스퍼터링 Leybold Optics HELIOS 플랜트를 사용하여 직경 25mm 및 두께 6.35mm의 Suprasil 기판 위에 증착되었습니다.<sup>1</sup> 필름 두께가 약간 다른 사전 전처리된 두 번째  $Ta_2O_5$  시료 또한 사용되었습니다. s-편광의 투과 데이터는 7°와 10°에서 측정되었고, s-편광 반사 데이터는 10°에서 측정되었습니다.

### 기기

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

UMA는 고도로 자동화된 가변각의 절대 정반사 및 투과 측정 시스템입니다. 시료에 조사한 선형 편광 빔은 그림 1에 나타난 것처럼 투과 시 시료를 통과하는 축을 중심으로 검출기 어셈블리를 회전시켜 측정할 수 있고, 반사 시 입사면에 수직으로 회전시켜 측정할 수 있습니다. 따라서 시료 위의 동일한 점이 T 및 R 측정에 모두 사용됩니다. UMA의 이러한 다중 측정 모드 기능을 통해 박막의 광학적 특성을 보다 정확하고 신속하며 완전하게 규명할 수 있습니다. 이러한 데이터는 Cary 7000 범용 측정 분광 광도계 (UMS)에서도 수집할 수 있습니다.

## 결과 및 토의

전통적으로 반사와 투과 측정은 다른 액세서리 부착물을 갖춘 분광 광도계를 이용해 수행했습니다. 실제로 시료 표면의 다른 영역을 테스트할 수 있습니다. 만약 증착 절차로 인해 필름의 두께가 불균일해진다면, 반사와 투과 측정에도 영향이 있을 거라고 예상하는 것이 합리적입니다.

UMA가 개발됨에 따라 이제 동일한 시료 지점에서 T와 R을 측정할 수 있어 결과에 영향을 미치는 하나의 진동 원인을 극복할 수 있습니다. 이 연구에서는 UMA가 탑재된 Agilent Cary 5000 이중 빔 UV-Vis-NIR 분광 광도계를 사용하여 7° 및 10°에서의 s-편광 투과 데이터와 10°에서의 s-편광 반사 데이터를 획득하였습니다. UMA의 기능을 확인하기 위해, 몇 달 후 동일한 시료를 두 번째 UMA 유닛과 다른 시료 마운트를 사용하여 재분석했습니다.

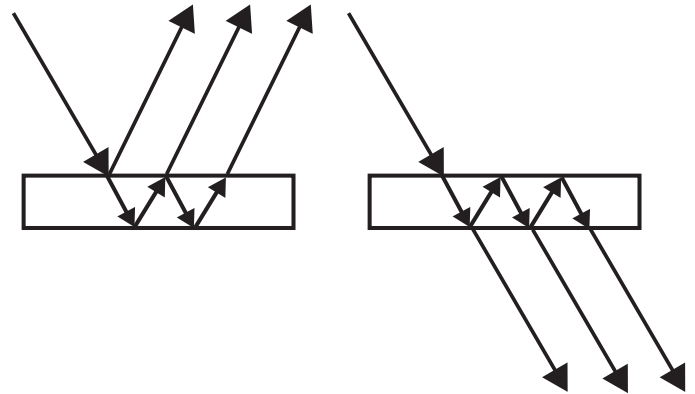


그림 1. 전면 및 후면 반사율(왼쪽)과 직접 및 상호 반사 투과율(오른쪽) 측정이 가능한 절대 가변각 반사 및 투과 액세서리인 Agilent UMA의 도식도.

첫 번째 실험에서는 다음 식을 따라 첫 번째 UMA 유닛을 사용하여 서로 다른 AOI에서 측정된 T 및 R 측정값을 기반으로 계산된 TL을 고려했습니다:  $TL^{(s)}(\lambda) = 100\% - T^{(s)}(7^\circ, \lambda) - R^{(s)}(10^\circ, \lambda)$ . 실험 총 손실은 그림 2A(빨간색 선)에 나와 있습니다. 약 0.4% 규모의 진동이 명확하게 관찰됩니다. 그림 2A의 검은색 굵은선(검은색 실선)은 T와 R을 각각 7도와 10도의 서로 다른 각도에서 측정했을 때 예상되는 총 손실의 이론적 근사치를 나타냅니다. 그림 2A에 나타난 실험 결과와 이론적 결과가 거의 일치합니다. 이러한 일치는 진동이 AOI의 차이에만 기인하고 두께 불균일성의 영향이 총 손실 스펙트럼 거동에 영향을 주지 않는다는 것을 보여줍니다.

그림 2B는 동일한 AOI에서 측정된 T 및 R 측정값으로 계산된 실험 총 손실을 보여줍니다:  $TL^{(s)}(\lambda) = 100\% - T^{(s)}(7^\circ, \lambda) - R^{(s)}(7^\circ, \lambda)$ .

진동이 없는 것이 분명하게 관찰됩니다. 이는 T 및 R 측정값이 시료의 동일한 지점에서 얻어질 때 두께 불균일성이 총 손실에 영향을 미치지 않는다는 것을 추가로 보여줍니다.

두 번째 실험은 다른 UMA 유닛을 탑재한 Cary 5000 분광 광도계를 사용하여 새 시료 마운트의 원래 시료에서 T 및 R 데이터를 획득했습니다. 그림 3A의 검은색 곡선(실선)은 UMA 유닛을 사용하여 획득한 데이터를 나타냅니다.

4개월 후 다른 UMA 유닛을 사용하여 동일한 시료를 재분석했으며 결과는 빨간색 선으로 나타냈습니다. 두 데이터 세트는 육안으로 구분할 수 없으며, 이는 여러 UMA 유닛 간의 우수한 재현성을 보여줍니다. 이를 통해 예를 들어 두 대 이상의 기기를 사용할 수 있는 제조 환경에서 서로 다른 UMA/UMS 시스템에서 얻은 결과를 신뢰할 수 있습니다.

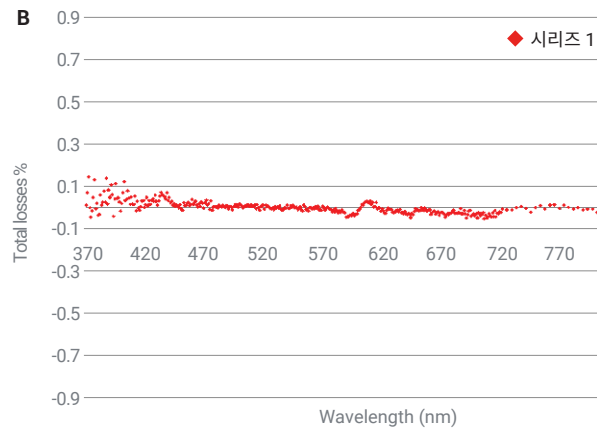
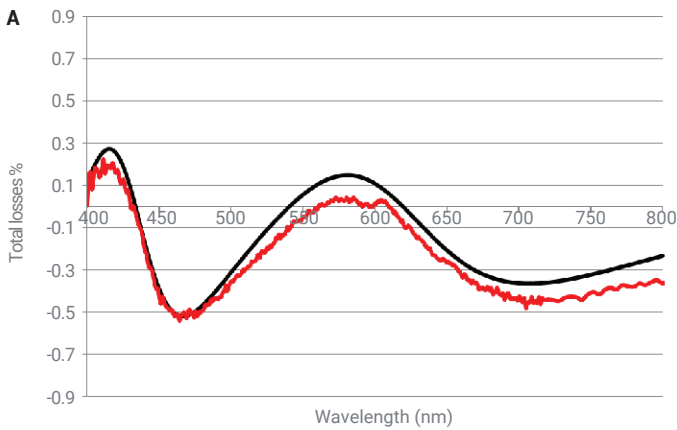


그림 2. (A) 실험 데이터로 계산한  $TL^{(s)}(\lambda) = 100\% - T^{(s)}(7^\circ, \lambda) - R^{(s)}(10^\circ, \lambda)$ 와 이론 방정식으로 계산한  $TL^{(s)}AOI(\lambda)$ 의 비교.<sup>1</sup> (B) 실험 데이터로 계산한 총 손실  $TL^{(s)}(\lambda) = 100\% - T^{(s)}(7^\circ, \lambda) - R^{(s)}(7^\circ, \lambda)$ .

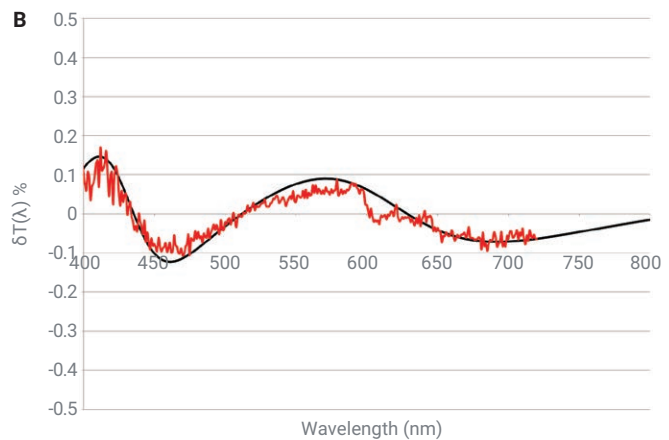
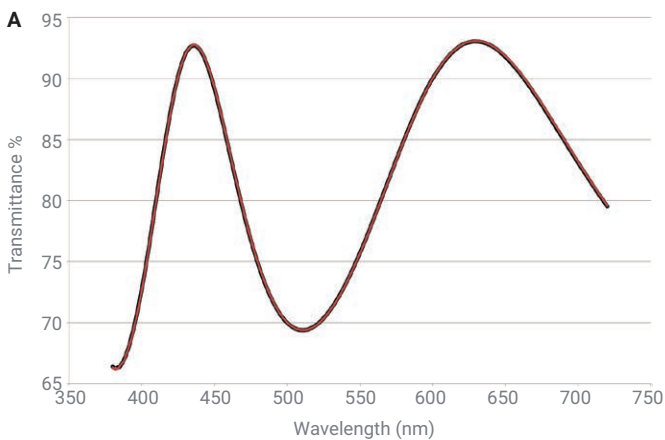


그림 3. (A) 두 개의 서로 다른 UMA 액세서리를 탑재한 Agilent Cary 5000 분광 광도계를 사용하여 획득한 두 개의 투과율 스펙트럼 비교. 데이터는 동일한  $Ta_2O_5$  시료와 관련됩니다. (B) 실험 데이터로 계산한 결과(빨간색 선)와 이론 값으로 계산한 결과(검정색 선)의  $T^{(s)}(\lambda) = T^{(s,1)}(7^\circ, \lambda) - T^{(s,2)}(7^\circ, \lambda)$  비교.<sup>1</sup>

두 투과율 스펙트럼의 차이는 그림 3B의 빨간색 선으로 나타냈습니다. 약 0.15% 규모의 진동을 명확하게 관찰할 수 있습니다. 그림 3B의 검은색 곡선(검은색 실선)은  $\Delta d = -0.3\text{nm}$ 로 계산된 총 손실의 이론적 근사치를 나타냅니다. 이 불균일 두께 값은 기하학적 필름 두께( $d = 292\text{nm}$ )의 약 0.1%에 해당합니다. 이는 HELIOS 증착 플랜트의 두께 불균일성 수준과 완전히 일치합니다.

## 결론

총 손실 스펙트럼의 진동 원인 중 하나는 박막 시료의 약간의 두께 불균일성에 있습니다. 그러나 이 오차의 원인은 T와 R 측정 사이의 AOI 변화와 비교하면 작을 수 있습니다. Agilent Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광도계에 고급 분광 광도계 액세서리 (Agilent Technologies가 개발)를 탑재하여 AOI 오차를 제거할 수 있습니다. UMA는 시료 또는 입사 빔을 시료로 옮기지 않고 T 및 R 데이터를 획득하는 가변각 정반사 및 투과 시스템입니다.

이 보고서에 나타낸 결과는 AOI 변화를 제거한 후 관찰된 잔류 진동은 아주 미세하며 이론적 값과 완전히 일치한다는 것을 보여줍니다. 조사된 시료의 동일한 지점에서 T 및 R을 측정할 수 있는 기기를 사용할 때 두께 불균일성의 영향이 총 손실 스펙트럼 거동에 영향을 주지 않는다는 것을 확인했습니다. 최신 다각도 스펙트럼 광도 측정법은 연구자들에게 이전보다 박막의 특성 규명을 위한 더 정확한 분광학적 정보를 제공합니다.

## 참고 문헌

1. Amotchkina, T. V. *et al.* Oscillations in Spectral Behavior of Total Losses ( $1-R-T$ ) in Thin Dielectric Films. *Optics Express*, 2 July **2012**, 20(14), 16129–44.
2. Tikhonravov, A. V. *et al.* Effect of Systematic Errors in Spectral Photometric Data on the Accuracy of Determination of Optical Parameters of Dielectric Thin Films. *Appl. Opt.* **2002**, 41, 2555–2560.
3. Woollam, J. Ellipsometry, Variable Angle Spectroscopic, *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, J. Webster, ed. (Wiley, New York, 2000). Supplement 1.
4. Tikhonravov, A. V. *et al.* Optical Parameters of Oxide Films Typically Used in Optical Coating Production. *Appl. Opt.* **2011**, 50, C75–C85.
5. Tikhonravov, A. *et al.* Reliable Determination of Wavelength Dependence of Thin Film Refractive Index. *Proc. SPIE* **2003**, 5188, 331–342.

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

DE92672129

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2013, 2022  
2022년 12월 29일 한국에서 발행  
5991-2111KO

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](mailto:korea-inquiry_lsca@agilent.com)