

## 2층 구조의 광학 특성 및 두께

UMA 액세서리를 장착한 Cary 5000를 이용하여 측정한 굴절률 및 필름 두께



### 저자

Kozlova N.S., Kozlova A.P.,  
Zabelina E.V., Goreeva Zh.A.,  
Didenko I.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory "Single crystals  
and Stock on their Base"  
NUST "MISiS", Moscow,  
Russia

### 서론

다층 광학 코팅은 자외선에서 적외선에 이르기까지 빛의 특성을 이용하는 기술에 널리 사용됩니다(1). 성공적인 광학 코팅 설계 및 제조를 위해서는 적층된 박막 구조의 굴절률, 흡수 계수 및 두께에 대한 고품질 정보가 필요합니다.

박막 구조의 특성을 성공적으로 연구하기 위해서는 비파괴 분석법을 사용하는 것이 좋습니다. 적층된 박막 구조의 특성 규명에 대한 기본적인 접근 방식은 벌크 재료에 대한 광학적 특성 규명 기술과 근본적으로 다릅니다. 필름의 광학적 특성은 일반적으로 시료에서 반사된 빛의 편광 상태 분석에 기초한 광학 기술인 타원 편광법(ellipsometry)을 사용하여 특성을 규명합니다. 이제 대체적인 다목적 비파괴 광학 기술인 다각 분광 광도법이 있습니다(2, 3).

입사 편광에 대한 반사율 및 투과율의 스펙트럼 및 각도 기능은 액세서리가 장착된 분광 광도계를 사용하여 수행됩니다.

그러나 광학 파라미터는 다음과 같은 조건에 매우 많이 의존합니다

- 기판 및 필름 성장 조건
- 필름 균질성
- 기판 균질성 및
- 광학 특성. (4, 5)

여기서 우리는 구조의 수명 동안 필름 균질성을 유지하기를 기대합니다.

이 연구의 목적은 고유하고 자동화된 범용 측정 액세서리(UMA)가 장착된 Agilent Cary 5000 분광 광도계를 사용하여 필름의 두께(d), 굴절률(n) 및 소광 계수(k)를 측정하는 것입니다.

## 실험

UMA가 장착된 Cary 5000 분광 광도계를 사용하면 다음 항목을 자동으로 무인 측정할 수 있습니다.

- 절대 반사율 R (5~85° 입사각) 및 투과율 T (0~85° 입사각에서), 최소 단계 간격: 0.02°
- 하나의 작업 시퀀스 내에서 서로 다른 각도와 편광에서의 T 및 R 측정
- 비편광에 대한 190~2,800nm의 작동 파장 범위
- s- 및 p-편광에 대한 250~2,500nm 파장 범위

따라서 시료를 이동하지 않고도 시료에 대한 전체 정보를 얻을 수 있습니다. UMA가 장착된 Carry 5000은 여러 콘솔 사용, 교체 및/또는 재구성이 필요 없는 범용 측정 시스템입니다. 시료의 한 영역에서 모든 특성을 측정하여 고품질 데이터를 제공합니다. 이 액세서리의 큰 장점은 시료의 동일한 영역의 다양한 입사각에서 입사각의 편광을 변화시켜 광학적 특성을 측정할 수 있다는 것입니다. UMA 설계는 고정 광원, 360° 회전 가능한 시료 홀더 및 독립적인 검출기로 구성됩니다. 검출기는 수평면에서 시료 주위를 이동할 수 있습니다.

필름의 굴절률과 두께는 이중 각도 광 입사(double angle light incidence)를 사용하여 특성을 규명했습니다(6). 이 분석법은 필름이 투명하거나 흡수가 극히 낮은 스펙트럼 범위에만 적합합니다.

## 결과 및 토의

두 개의 시료는 각각 다른 유형 기판(가시 파장 범위에서 투명 또는 불투명), 석영 기판의 나노복합체 코팅 Zr-Si-B-(N) 필름과(가시 파장 범위에서 투명)(7) (001) 단결정 실리콘 기판의 적층된 lithium niobate LiNbO<sub>3</sub> 구조(가시 범위에서 불투명) 시료로 특성이 규명되었습니다(8, 9).

두 구조 모두 고주파 마그네론 스퍼터링을 사용하여 증착되었습니다. 빛을 투과하는 기판의 기능은 이 분석법에서 측정된 파라미터의 선택에 영향을 미칩니다. 투명한 기판의 경우 투과율을 사용할 수 있고 불투명한 기판의 경우 반사율을 사용할 수 있습니다.

첫 번째 시료의 두께(d)를 측정하기 위해 투과 스펙트럼을 두 개의 임의의 서로 다른 비편광 입사각에서 구했으며, 이 경우 수직 입사  $\phi_1 = 0^\circ$  및  $\phi_2 = 20^\circ$ 입니다(그림 1).

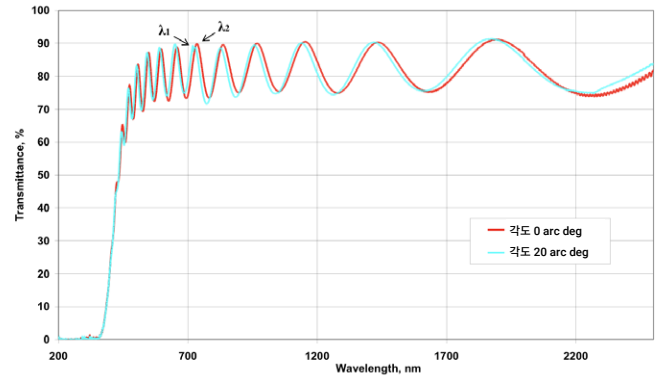


그림 1. 수직 입사( $\lambda_1$ ) 및 20° ( $\lambda_2$ )에서 석영 기판의 나노복합체 코팅 Zr-Si-B-(N) 필름의 투과 스펙트럼.

스퍼터링된 층의 굴절률을 평가하기 위해 두 개의 서로 다른 비편광 입사각, 즉  $\phi_1 = 6^\circ$  및  $\phi_2 = 20^\circ$ 에서 기록된 스펙트럼 반사 의존성을 사용했습니다(그림 2).

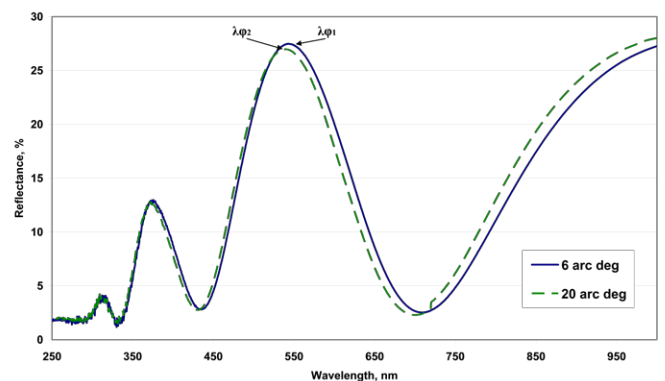


그림 2. 두 개의 입사각 6° 및 20°에서 실리콘 기판의 LiNbO<sub>3</sub> 구조 시료의 반사 스펙트럼.

결과 스펙트럼에서 각각  $\varphi_1$ 과  $\varphi_2$  입사각에서 동일한 간섭 피크에 해당하는 파장  $\lambda_{\varphi_1}$ 과  $\lambda_{\varphi_2}$ 를 선택하고 다음 공식을 사용하여 필름의 굴절률을 측정합니다(6):

$$\left(\frac{n}{n_0}\right)^2 = \frac{\sin^2 \varphi_1 - \beta \sin^2 \varphi_2}{1 - \beta},$$

여기서  $n_0$ 은 매체의 굴절률(여기서 공기의 경우  $n_0=1$ )이고 계수  $\beta$ 는 다음과 같이 측정됩니다:

$$\beta = \left(\frac{\lambda_{\varphi_1}}{\lambda_{\varphi_2}}\right)^2,$$

첫 번째 식을 사용하여 계산된 필름 굴절률  $n$ 은 표 1과 표 2에 각각 요약되어 있습니다.

필름  $dn$ 의 광학 두께는 다음 공식을 사용하여 동일한 광 입사각 (둘 중 더 낮은 쪽)에서 인접한 간섭 최대값  $\lambda_1$  및  $\lambda_2$ 의 위치를 기반으로 계산되었습니다(6):

$$d \cdot n = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{4(\lambda_2 - \lambda_1)}.$$

필름  $dn$ 의 광학 두께를 굴절률  $n$ 으로 나누어 구한 필름 두께는  $250\text{nm} \pm 30\text{nm}$ 였습니다. 안타깝게도 이 기술을 사용하여 측정된 굴절률은 피크 파장 측정 정확도에 상당히 민감합니다. 따라서 이 분석법은 초기 근사치를 선택하기 위한 굴절률의 예비 평가에만 적합합니다.

이러한 필름들은 광학 현미경으로 검출된 이질 구조를 가지고 있습니다. 이러한 이질성은 값  $n$  측정 정확도에서 뚜렷하게 나타납니다. 필름의  $n$ 을 측정하는 정확도는 0.01보다 낮지 않습니다.

표 1. 석영 기판의 Zr-Si-B-(N) 필름에 대해 얻어진 결과.

$\lambda_{\varphi_1}$ (20°), nm	$\lambda_{\varphi_2}$ (0°), nm	$n$	$d$ , nm
470	474	2.64	1380±5%
502	507	2.44	
590	596	2.42	
650	657	2.35	
725	733	2.32	
824	834	2.22	
883	895	2.20	
955	966	2.17	
1037	1050	2.17	

표 2. 단결정 실리콘 기판의 적층된 LiNbO<sub>3</sub> 구조에 대해 얻어진 결과.

$\lambda_{\varphi_1}$ (6°), nm	$\lambda_{\varphi_2}$ (20°), nm	$n$	$d$ , nm
543.62	539.25	2.58	250±5%
708.83	700.12	2.09	

얻어진 결과를 바탕으로, 석영 기판의 나노 복합체 코팅 Zr-Si-B-(N) 필름을, 실리콘 기판의 LiNbO<sub>3</sub> 구조 시료에 대한 굴절률의 분산 곡선을 각각 구성하였습니다(그림 3 및 4 참조).

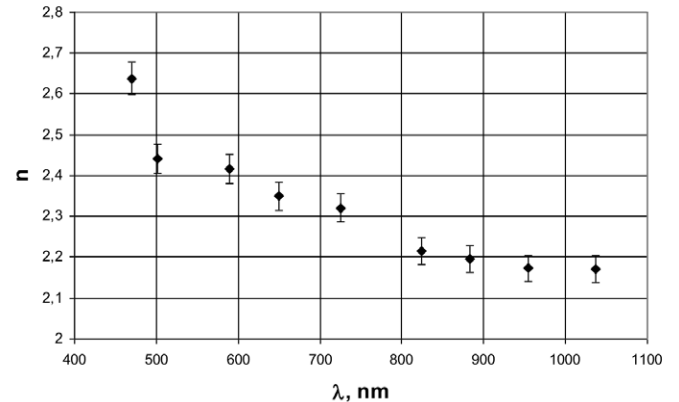


그림 3. 석영 기판의 나노 복합체 코팅 Zr-Si-B-(N) 필름의 분산 곡선.

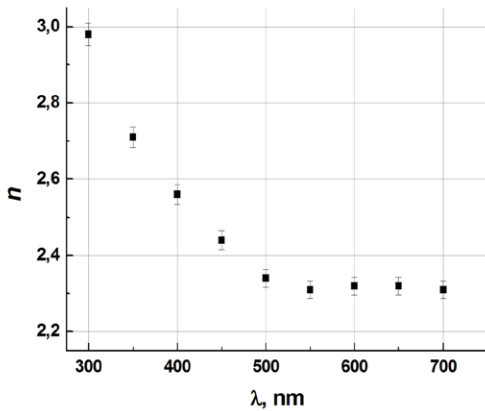


그림 4. 실리콘 기판의 LiNbO<sub>3</sub> 구조 시료의 분산 곡선.

## 결론

두 시료의 굴절률은 범용 측정 액세서리가 장착된 Cary 5000 분광 광도계에서 수행된 측정을 사용하여 측정되었습니다.

한 시료는 나노 복합재 코팅으로 구성되었습니다. 석영 기판의 Zr-Si-B-(N) 필름(가시 범위에서 투명). 두 번째 시료는 단결정 실리콘 기판의 적층된 lithium niobate LiNbO<sub>3</sub> 구조(가시 범위에서 불투명)였습니다.

두 시료의 굴절률은 ± 0.01의 정확도로 계산되었습니다. 필름 두께는 두 시료 모두에 대해 측정된 반사율로 계산되었습니다.

## 참고 문헌

1. D.P. Arndt, R.M.A. Azzam, J. M. Bennett, J. P. Borgogno, C. K. Carniglia, W. E. Case, J. A. Dobrowolski, U. J. Gibson, T. Tuttle Hart, F. C. Ho, V. A. Hodgkin, W. P. Klapp, H. A. Macleod, E. Pelletier, M. K. Purvis, D. M. Quinn, D. H. Strome, R. Swenson, P. A. Temple, and T. F. Thonn Multiple determination of the optical constants of thin-film coating materials, *Appl. Opt.* 23 (20) (1984), 3571 – 3596 <https://doi.org/10.1364/AO.23.003571>

2. A.V. Tikhonravov, M.K. Trubetskov, T.V. Amotchkina, G. DeBell, V. Pervak, A. Krasilnikova Sytchkova, M.L. Grilli, D. Ristau, Optical parameters of oxide films typically used in optical coating production, *Appl. Opt.* 50 (9) (2011) C1–C12, <http://dx.doi.org/10.1364/AO.50.000C75>
3. A.V. Tikhonravov, T.V. Amotchkina, M.K. Trubetskov, R.J. Francis, V. Janicki, J. Sancho-Parramon, H. Zorc, V. Pervak, Optical characterization and reverse engineering based on multiangle spectroscopy, *Appl. Opt.* 51 (2) (2012) 245–254, <http://dx.doi.org/10.1364/AO.51.000245>
4. W.-Ch Shih, Tz-L. Wang, X.-Y. Sun, M.-Sh Wu, Growth of c-axis-oriented LiNbO<sub>3</sub> films on ZnO/SiO<sub>2</sub>/Si substrate by pulsed laser deposition for surface acoustic wave applications, *Jpn. J. Appl. Phys.* 47 (5) (2008) 4056–4059, <http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.47.4056>
5. A.Z. Simoes, A.H.M. Gonzalez, A. Ries, M.A. Zaghe, B.D. Stojanovic, J.A. Varela, Influence of thickness on crystallization and properties of LiNbO<sub>3</sub> thin films, *Mater. Charact.* 50 (2003) 239–244, [http://dx.doi.org/10.1016/S1044-5803\(03\)00089-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1044-5803(03)00089-5)
6. B.M. Ayupov, I.A. Zarubin, V.A. Labusov, V.S. Sulyaeva, V.R. Shayapov, Searching for the starting approximation when solving inverse problems in ellipsometry and spectrophotometry, *J. Opt. Technol.* 78 (6) (2011) 350–354, <http://dx.doi.org/10.1364/JOT.78.000350>
7. Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, А.П. Козлова, Н.С. Козлова, Е.А. Левашов СТРУКТУРА, ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ Zr-Si-B-(N) Тезисы доклада Седьмой международной конференции «КРИСТАЛЛОФИЗИКА И ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ», Москва, 2017 г., с.104
8. N.S. Kozlova, V.R. Shayapov, E.V. Zabelina, A.P. Kozlova, R.N. Zhukov, D.A. Kiselev, M.D. Malinkovich, M.I. Voronova Spectrophotometric determination of optical parameters of lithium niobate films, *Modern Electronic Materials* 3 (2017), 122–126 <http://dx.doi.org/10.1016/j.moem.2017.09.001>
9. R.N. Zhukov, S.V. Ksenich, A.S. Bykov, D.A. Kiselev, M.D. Malinkovich, Yu.N. Parkhomenko, Synthesis and properties of the LiNbO<sub>3</sub> thin films intended for nanogradient structures, *PIERS Proc.* (2013) 98–101, <http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.47.4056>

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

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2018  
2018년 11월 30일 한국에서 발행  
5994-0558KO

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)