



포토닉 크리스탈(20점, 5시간)

소개

광자 결정은 빛의 파장과 비슷한 규모로 굴절률이 주기적으로 변화하는 물질입니다. 광자 결정의 광학 스펙트럼에는 빛의 전파가 억제되는 좁은 파장 영역이 존재합니다. 이러한 특이한 광학적 특성은 광자 결정을 기반으로 다양한 광학 요소(광학 필터, 반사판)를 개발하는 데 사용됩니다.

이 연구에서는 양극 산화 알루미늄의 다공성(공기로 채워진 정공) 필름을 기반으로 한 광자 결정의 특성을 연구합니다. 알루미늄의 전기화학적 산화(양극산화)로 제조된 양극 산화 알루미늄 다공성 필름의 구조는 필름 표면에 수직으로 위치한 분리된 원통형 채널의 시스템으로 표현할 수 있습니다(그림 1).

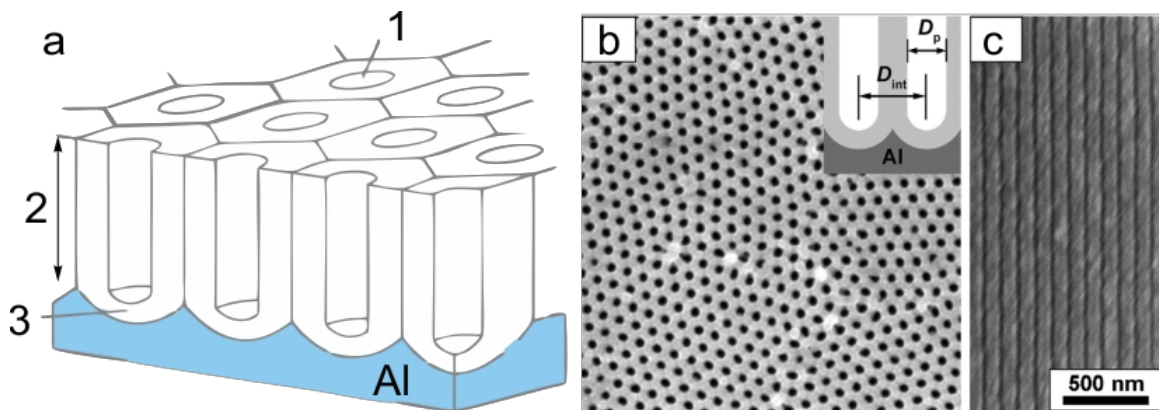


그림 1: (a) 양극 산화 알루미늄 다공성 필름의 개략적인 구조: (1) 기공, (2) 다공성 층, (3) 장벽 층. 그림 1: 양극 산화 알루미늄 다공성 필름의 개략적인 구조. 필름의 전자 현미경 이미지: (b) 평면도, (c) 단면도 [Electrochim. Acta, 2011, 56, 2378].

기공 직경과 기공 간 거리는 전기 화학 처리 조건에 따라 달라지므로 양극 산화 처리 중 전압을 변경하여 산화막 표면에 대한 법선을 따라 다양한 다공성을 가진 구조를 얻을 수 있습니다(그림 2).

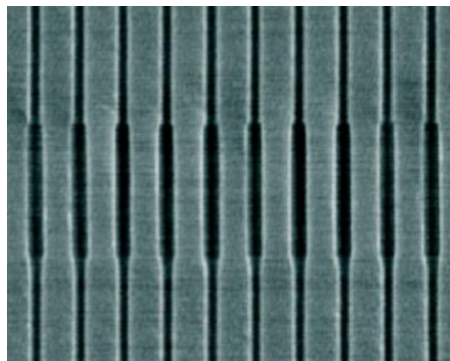


그림 2: 기공 직경이 다양한 양극 산화 알루미나 단면의 전자 현미경 이미지 [Nat.Mater., 2006, 5, 741].

실험



APhO
YAKUTSK 2017 RUSSIA

Q1-2

영어(공식)

이 연구에서 연구한 샘플의 기공 직경은 30nm 미만입니다. 이러한 작은 기공 직경을 가진 다공성 매질은 광학 범위 내에서 전자파에 대해 연속적이 되고 결과적으로 유효 (부피 평균) 굴절률로 특징 지을 수 있습니다.

산화막 다공성의 변화는 변화로 이어집니다. 연구된 샘플의 굴절률은 필름 표면에 대한 법선을 따라 한 방향으로만 주기적으로 변화한다는 점에 유의해야 합니다. 따라서 연구된 샘플은 *1차원 광자 결정입니다*.

균일한 직경을 가진 양극 산화 알루미늄 박막은 광학적으로 투명한 반면, 광자 결정은 층상 구조 내의 빛 간섭으로 인해 착색된다는 점에 유의해야 합니다.

이 연구에서는 다양한 복잡한 구조를 가진 양극 산화 알루미늄(AAO) 기반의 광자 결정 샘플 세 가지에 대한 광학 연구를 수행합니다



장비

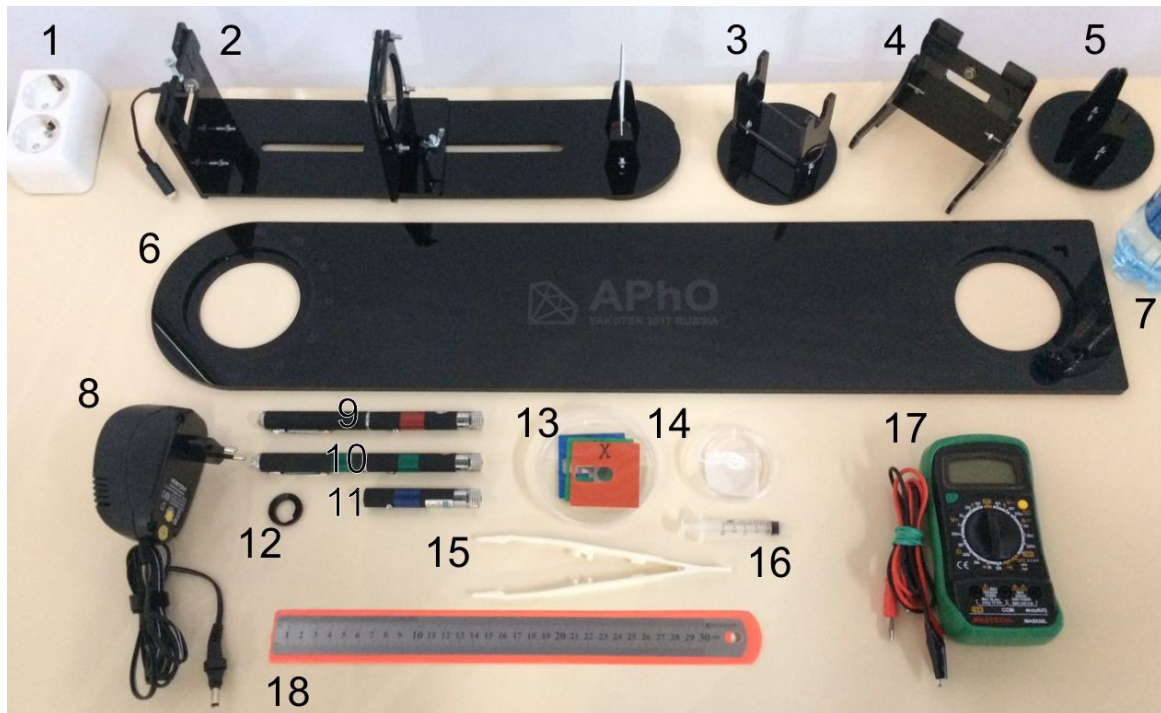


그림 3. 테이블 위의 장비.

1. 전기 콘센트
2. 스펙트럼 측정을 위한 회절 암
3. 고무 밴드가 있는 레이저 홀더
4. 홀더가 있는 포토 다이오드
5. 샘플 홀더
6. 각도기가 있는 메인 광학 벤치
7. 병에 담긴 물
8. DC 어댑터(전원 공급 장치)
9. 적색 레이저(파장 659nm)
10. 녹색 레이저(파장 530nm)
11. 블루 레이저(파장 400nm)

레이저는 위험합니다! 어떤 상황에서도 레이저를 눈에 쏘거나 레이저 빔을 들여다보지 마세요! 반사되는 광선을 조심하세요!

11. 블루 레이저(파장 400nm)

실험



APhO
YAKUTSK 2017 RUSSIA

Q1-4

영어(공식)

12. 레이저 버튼 잠금



광자 결정은 매우 깨지기 쉽습니다! 크리스탈을 만지지 마세요! 샘플은 프레임으로만 잡으세요! 새 샘플은 제공되지 않습니다!

13. 정사각형 컬러 프레임에 3개의 광결정 샘플이 담긴 페트리 접시

14. 커버 슬립이 있는 배양 접시

유리는 얇고 깨지기 쉽습니다! 사용하여 잡으세요!

15. 커버슬립을 조작하는 핀셋

16. 주사기

17. 커넥터 와이어가 있는 멀티미터

18. 눈금자

회절 암

스펙트럼 측정을 위해서는 다양한 파장을 얻기 위해 회절 암(그림 4)이 필요합니다. 회절 암은 필라멘트 램프(L), 홀더의 회절 격자(DG) 및 이동식 렌즈로 구성됩니다.

(F) 사이에 놓습니다. 회절 암을 설치하려면 디스크를 메인 벤치의 왼쪽 구멍에 넣습니다.

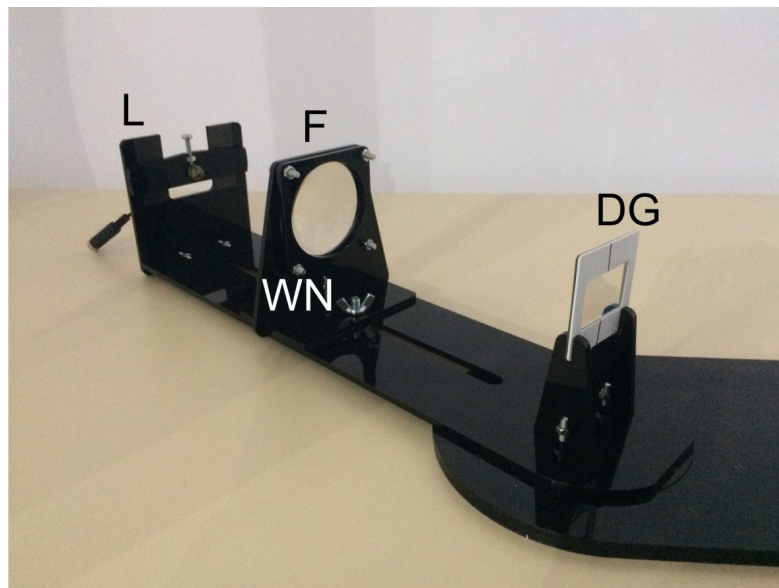


그림 4: 회절 암

램프는 처음에 중앙에 있지만 필요한 경우 조정할 수 있습니다. 회절 격자에서 더 미세한 스펙트럼 라인을 얻으려면 필라멘트가 수직인지 확인합니다.

렌즈를 움직여 빔의 컨버전스 각도를 설정할 수 있습니다. 윈 너트(WN)를 풀고 렌즈 홀더를 밀어서 다시 (너무 세게 조이지 말고 약간의 토크로도 렌즈가 실수로 움직이는 방지할 수 있습니다).

램프 및 레이저 전원 켜기

광원에 전원을 공급하려면 DC 어댑터를 테이블의 콘센트에 꽂습니다. 어댑터를 램프 또는 레이저의 소켓에 연결합니다. 레이저는 극성이 중요하며 처음에 올바르게 설정해야 합니다.

레이저

빨간색($\lambda=659\text{nm}$), 녹색($\lambda=530\text{nm}$), 파란색($\lambda=400\text{nm}$)으로 표시된 세 가지 레이저가 제공됩니다. 컬러 테이프를 사용합니다.

레이저는 위험합니다! 어떤 상황에서도 레이저를 눈에 쏘거나 레이저 빔을 들여다보지 마세요! 반사된 광선을 조심하세요!

빨간색과 파란색 레이저는 전원 어태치먼트를 공유합니다. 빨간색 레이저에서 파란색 레이저로 전환하려면 빨간색 레이저의 어태치먼트를 풀고 파란색 레이저에 나사로 고정합니다(그림 5a).

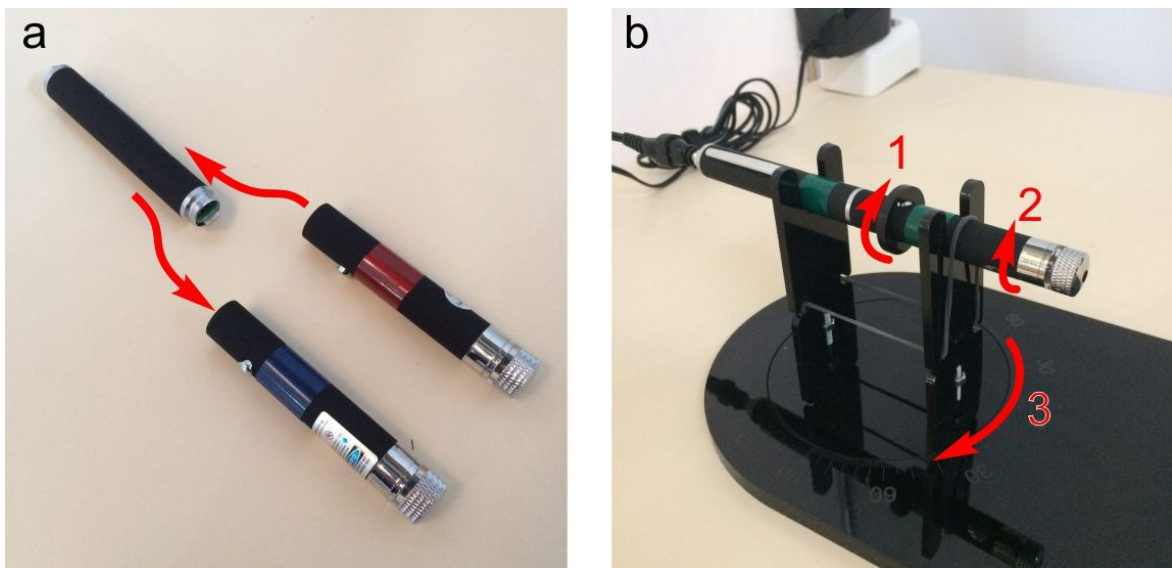


그림 5: (a) 전원 어태치먼트 전환하기. (b) 레이저 빔 조정하기.

광도 실험에서 레이저에 버튼 잠금 장치를 놓고 레이저를 홀더에 놓고 고무 밴드로 고정합니다(그림 5b). 홀더 디스크를 메인 벤치의 왼쪽 구멍에 넣습니다. 버튼 잠금 장치를 돌려 레이저를 켭니다(1).

레이저 빔을 조정해야 할 수도 있습니다. 빔이 수평면에 놓일 때까지 레이저를 축을 중심으로 회전하는 것부터 시작합니다(2). 그런 다음 홀더 디스크를 돌려 빔을 옵틱 벤치에 정렬합니다(3).

포토 다이오드

광도 측정 실험을 위해서는 빛의 투과 강도를 측정하기 위한 레이저와 광 다이오드가 필요합니다. 포토다이오드 홀더에는 메인 벤치의 슬롯에 삽입할 수 있는 다리가 있습니다(그림 6a).

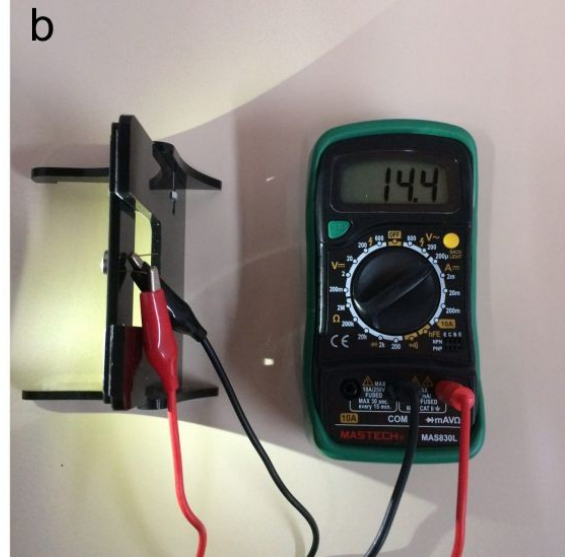
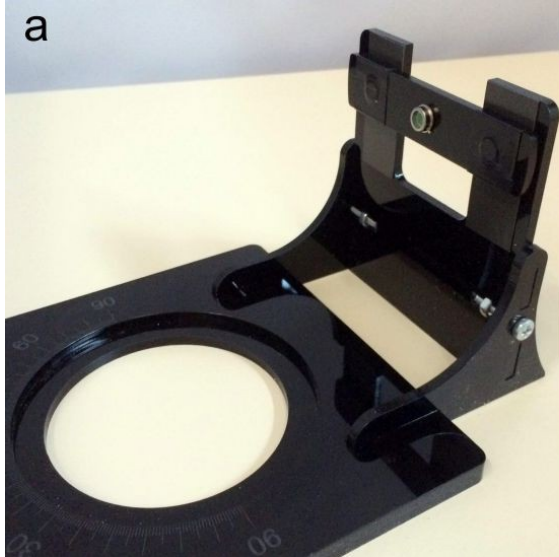


그림 6: (a) 포토 다이오드 설치. (b) 멀티미터 연결. 포토다이오드는 자석으로 홀더에 부착되며 레이저 빔에

맞게 조정할 수 있습니다.

광 다이오드를 사용하여 측정을 수행하려면 DC 전류 모드(μA)에서 멀티미터에 연결합니다(그림 6b). 광 다이오드의 전류는 입사광의 세기에 비례하므로 광 세기를 μA 단위로 측정합니다.

광결정 샘플

광자 결정은 매우 깨지기 쉽습니다! 크리스탈을 만지지 마세요! 샘플은 프레임으로만 잡으세요!

서로 다른 세 가지 광자 결정 샘플이 제공됩니다. 각 샘플의 앞면은 서로 다른 색으로 되어 있고 상단에 샘플 이름인 문자(X, Y 또는 Z)가 있습니다. 샘플을 홀더에 넣을 때 광선이 전면에 떨어지고 문자가 위에 있는지 확인합니다. 측정을 수행하는 동안 홀더 디스크를 메인 벤치의 오른쪽 구멍에 놓습니다. 홀더 디스크를 시계 방향으로 돌려서 반사된 광선을 피하세요.

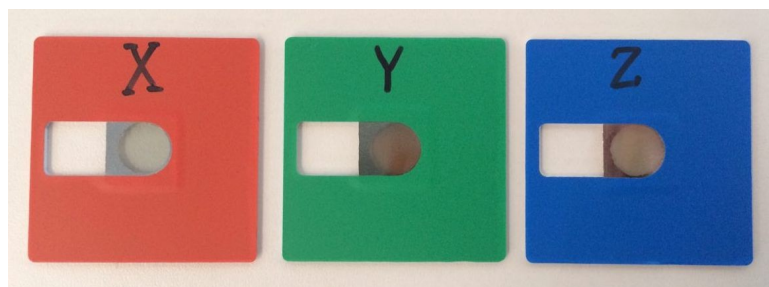


그림 8: 광결정 샘플



브래그-스넬 법칙

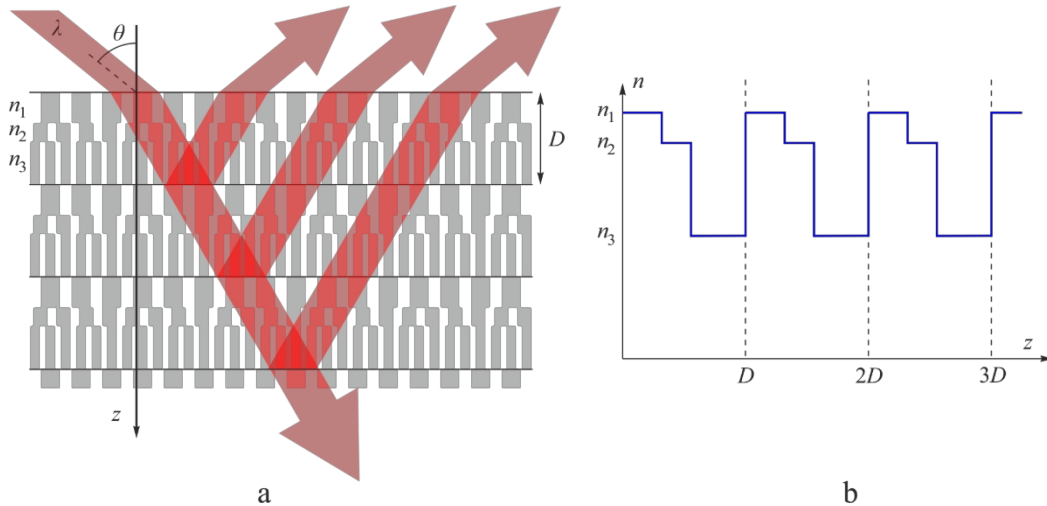


그림 8. (a) 광자 결정 구조. (b) 굴절률 $n(x)$ 의존성.

이 문제에서 탐구하는 광자 결정 샘플은 굴절률이 다른 층으로 구성되어 있습니다. 주사위 n_i . 굴절률은 주기적으로 x 축을 따라 주기적으로 변화하며 D 에 의존하지 않습니다. 파장 λ . 전체 평균 굴절률 n 과 굴절률 차이를 표시해 보겠습니다.

$n = n_{\text{최대}} - n_{\text{분}}$. AAO 결정에서

$$\Delta n \ll n. \quad (1)$$

파장이 λ 이고 강도가 일정하게 떨어지는 평행 단색 입사광선을 고려하면, 거울 반사는 방정식을 만족하는 각도에서 θ 최대값을 갖습니다. 광자 결정에 표시합니다. 입사각은 θ 입니다. 다른 층에서 반사된 광선이 간섭합니다. As

니다:

$$2D \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} = m\lambda, \quad (2)$$

여기서 $m=1, 2, \dots$ 는 간섭 순서를 나타내는 정수입니다.

방정식 (2)를 **브래그-스넬 법칙**이라고 합니다. 투과율 최소값은 동일한 각도에서 관찰됩니다.

θ_i 각도 θ 이 일정하고 파장 λ 가 변한다면, 브래그-스넬 법칙은 다음과 같은 방정식으로 간주할 수 있습니다. λ 가 변한다면, 브래그-스넬 법칙은 다음과 같은 방정식으로 간주할 수 있습니다. 그림 9는 반사율 및 투과율 스펙트럼의 스케치를 보여줍니다. 각 투과율 최소

은 브래그-스넬 법칙에 따라 어떤 정수 m 값에 해당합니다.

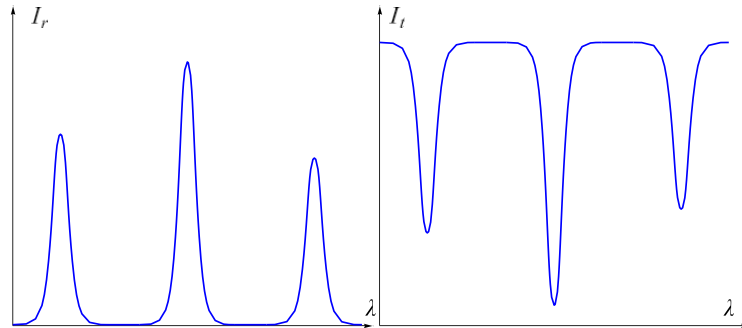


그림 9: 반사율 및 투과율 스펙트럼.

브래그-스넬 법칙(2)을 만족하는 파장을 **투과율 파장**이라고 합니다.

최소값. 최소 투과율의 파장은 입사각에 따라 달라집니다 θ . 트랜스

$\theta=0$ 의 최소 **투과율** 파장을 **정상 투과율 파장**이라고 합니다.

특정 광자 결정에 대한 최소값입니다.



이 문제에서 오류를 평가할 필요는 없습니다.

파트 A. 샘플 X. 스펙트럼 측정(3.5점)

샘플 X는 구조가 간단합니다(그림 10). 그 기간은 두께가 같은 두 개의 레이어 $D_E/2$ 로 구성됩니다.

와 가까운 굴절률 지수 n 및 n :

1

2

$$n_1 - n_2 = \Delta n \ll n_E = \frac{n_1 + n_2}{2} \quad (3)$$

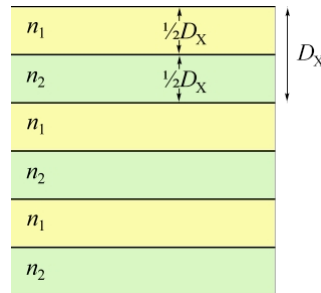


그림 10: 샘플 X의 구조 .

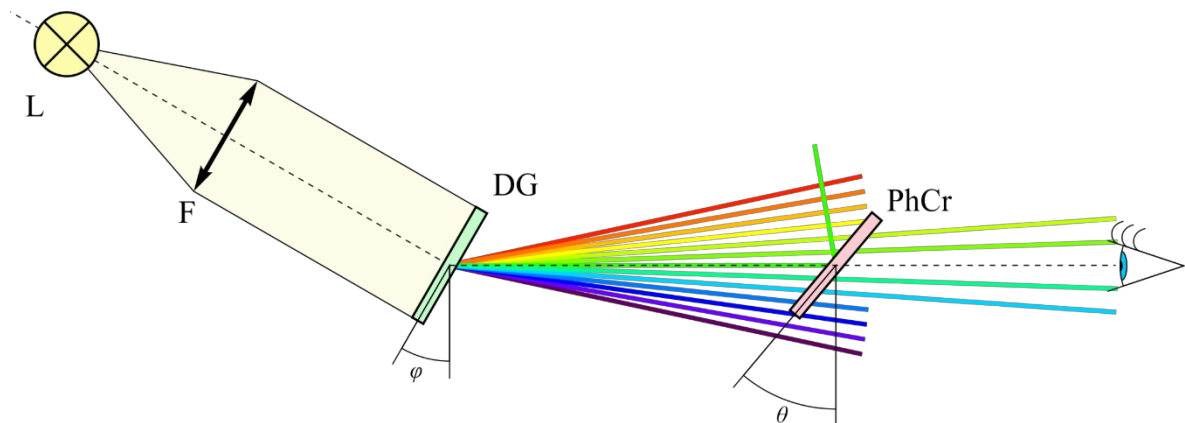


그림 11. 스펙트럼 측정을 위한 실험 설정: (F) 렌즈, (L) 렌즈의 초점에 위치한 램프, (DG) 회절 격자, (PhCr) 포토닉 크리스탈.

1. 스펙트럼 측정을 위한 실험 설정을 조립합니다. 회절 암을 메인 벤치의 왼쪽 구멍에 놓습니다;
2. 램프를 켭니다. 광학 벤치의 다른 쪽 끝에서 회절 격자를 살펴봅니다. 첫 번째 회절 순서(무지개 띠)가 보일 때까지 회절 암을 돌립니다.
3. 샘플 홀더를 메인 벤치의 오른쪽 구멍에 설치합니다(삼각형 표시를 0으로 설정). 샘플 X를 홀더에 놓습니다(빛이 빨간색 전면에 떨어뜨려야 합니다). 샘플을 통해 회절 격자의 무지개 스트립을 살펴봅니다.



4. 샘플을 시계 방향으로 직각으로 회전하면 투과된 스펙트럼에서 어두운 영역을 볼 수 있습니다(그림 12). 이것은 브래그-스넬 법칙에서 다음에 해당하는 **최소 투과율**입니다. $m=1$ 에 해당하는 최소 투과율입니다. 샘플을 회전하면 최소 투과율의 파장이 변경됩니다.

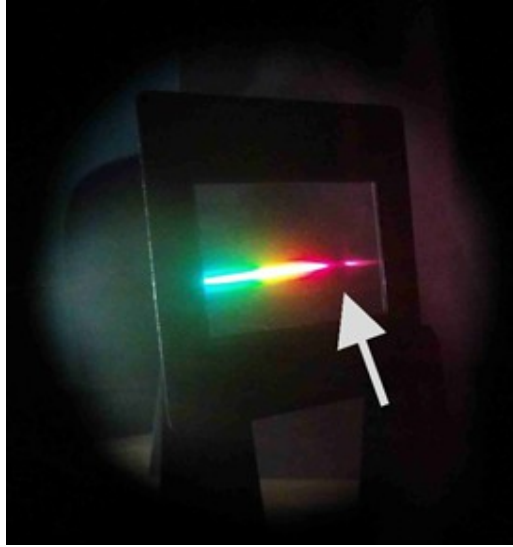


그림 12. 샘플 X의 투과율 스펙트럼 사진. 흰색 화살표는 최소 투과율(무지개 띠의 어두운 영역)을 나타냅니다.

5. 렌즈를 움직여 스펙트럼의 더 넓거나 좁은 부분을 볼 수 있습니다. 정확한 측정을 위해 램프가 초점에 위치하도록 렌즈를 배치합니다.

A.1 빛은 표면에 수직으로 회절 격자에 떨어집니다. 쓰기 0.1pt
 회절 각도 φ 와 파장 λ 을 연결한 방정식입니다. 격자
 기간은 $h = 1000 \text{ nm}$ 입니다. 답을 얇고 그대로 적어도 됩니다.

A.2 최소 투과율을 확인할 수 있는 입사각 θ 을 측정합니다, 1.0pt
 회절각의 함수로 φ 에 접속하는 θ 에서 읽습니다.
 최소값(어두운 영역)이 격자 상 가운데에 표시됩니다.

A.3 φ 에서 θ 대신 새 좌표를 찾아 그래프가 선형인지 테스트합니다. 플롯 1.5pt
 그래프를 새 좌표로 이동합니다.

A.4 샘플 기간 D_E 과 평균 굴절률 n_E 을 결정합니다. 0.9pt



파트 B. 샘플 X. 레이저 측정(5.0점)

결정의 다공성 p 은 공기로 채워진 결정 부피(채널)의 일부분입니다. 크리스탈 효과 굴절률은 공기 굴절률 $n=1$ 및 알루미늄 산화물 굴절률로 표현할 수 있습니다.

색인 : n_{AAO}

$$n_{dry} = \sqrt{pn_a^2 + (1-p)n_{AAO}^2} \quad (4)$$

채널에 물이 채워지면 크리스탈의 굴절률이 변경됩니다:

$$n_{wet} = \sqrt{pn_w^2 + (1-p)n_{AAO}^2} \quad (5)$$

여기서 $n_w=1.33$ 은 물의 굴절률입니다.

이 부분에서는 건식 시료와 습식 시료의 실험 데이터를 비교하여 광자 결정의 다공성 광자 결정의 결정합니다. 레이저 측정을 위한 설정을 사용하겠습니다.

B.1 다음에서 최소 투과율이 관찰될 수 있도록 레이저를 선택하십시오.
일부 샘플 회전 각도에서 레이저 파장 $\lambda\theta$. 파장을 기록합니다.
선택한 레이저의

0.1pt

파트 B의 모든 작업에서 선택한 레이저를 사용합니다.

**레이저 빔을 직접 응시하지 마세요! 반사된 광선이 눈에 들어가지 않도록 주의하세요.
짧은 시간만 노출되어도 눈에 심각한 손상을 입을 수 있습니다. 레이저 실험을 할 때는 빔 레벨에 머리를 대지 마세요.**

레이저 측정을 위한 실험 설정을 조립합니다(그림 13).

레이저 실험에서 데이터를 수집하기 전에 레이저 강도가 일정인지 확인하세요. 그렇지 않은 경우 3~5분 정도 기다리세요.

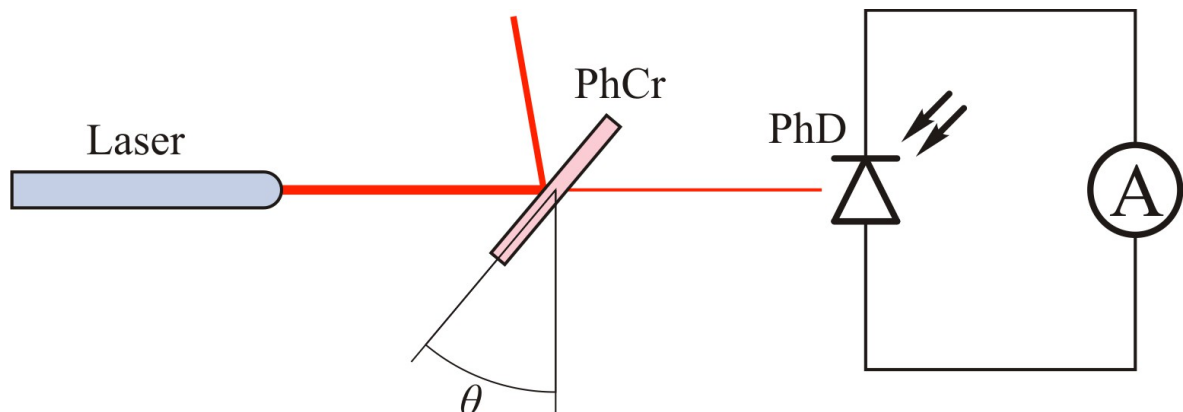


그림 13. 레이저 측정을 위한 설정: (레이저) 레이저, (PhCr) 광결정, (PhD) 광다이오드, 전류계에 연결됨. 전류계로 측정된 전류는 광 다이오드에 떨어지는 빛의 세기에 비례합니다.



B.2 광자를 통해 전송되는 레이저 빛 I_t (μA 단위)의 세기를 측정합니다. 1.0pt
의 함수로서 θ

B.3 그래프 $I_t(\theta)$ 를 플롯합니다. 1.0pt

B.4 투과율 최소값에 해당하는 입사각 θ_1 을 결정합니다. 0.2pt
을 레이저 파장에 대입합니다. 플롯에서 밸리 $\theta_{(1)}$ 의 폭을 결정합니다.
 $I_t(\theta)$ 를 반심도 수준으로 설정합니다(그림 14a).

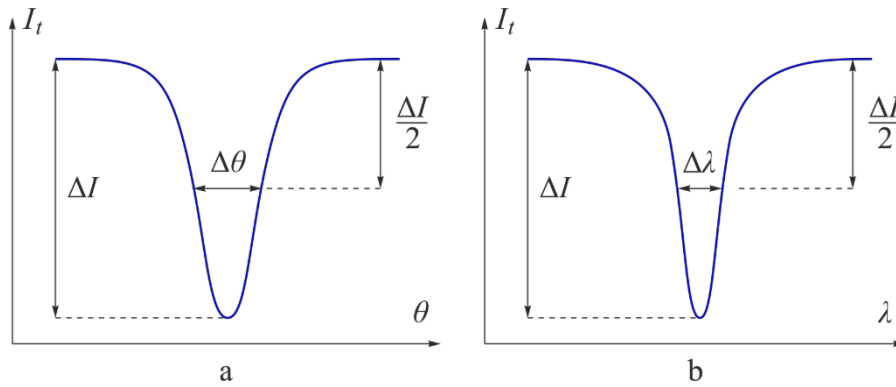


그림 14. (a) 입사각, (b) 파장에 대한 의존성에 대한 절반 깊이에서의 투과율 밸리 너비.

B.5 브래그-스넬 법칙(2)을 사용하여 투과율 최소값을 구합니다. 0.2pt
파장 λ_E 샘플 X의 경우 파트 A에서 n_E , B.4에서 $\theta_{(1)}$ 값을 사용하고
레이저 파장 λ

빛이 결정에 수직으로 떨어질 때 ($\theta=0$), 투과율의 스펙트럼 폭 $\Delta\lambda$ (그림 14b)의 미니
 $m=1$ 에 해당하며 n 및 Δn 로 다음과 같이 표현할 수 있습니다:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{2\Delta n}{n} \quad (6)$$

추정하려면 Δn_E 를 추정하려면, 투과율의 관계 스펙트럼 폭이 다음과 같다고 가정합니다. $\Delta\lambda$
는 회전해도 변경되지 않습니다.

B.6 샘플 X의 굴절률 차이 Δn_E 추정합니다. 0.6pt

시료 X의 앞면에 물을 약간 묻히고 실험 중 수분 증발을 방지하기 위해 시료 위에 커버슬립을 조심스럽게 덮습니다. 시료의 뒷면에는
물이 쏟아지는 것을 방지하는 15nm 두께의 고체 산화물 층이 있습니다.



조심하세요! 샘플은 매우 깨지기 쉽습니다. 너비는 머리카락 지름의 1/4입니다. 샘플은 프레임으로만 조작하세요. 커버 슬립도 매우 깨지기 쉽습니다! 핀셋으로만 잡으세요.

B.7 투과율 미니에 해당하는 입사각 θ 을 결정합니다.
레이저 파장에서 젖은 샘플의 엄마를 측정합니다. 0.3pt

B.8 시료 X와 산화 알루미늄 굴절률의 평균 다공성 p_E 을 구합니다.
색인 n_{A00} 1.0pt

B.9 샘플 X에 있는 층의 평균 다공성 p_1 및 $p_{(2)}$ 를 구합니다. 0.6pt



파트 C. 샘플 Y. 몇 가지 투과율 최소값(4.5점)

샘플 Y의 구조는 샘플 X의 구조보다 더 복잡합니다. 샘플 Y는 가시 스펙트럼 범위(400-800nm)에서 4개의 연속 정수에 해당하는 4개의 투과율 미니멈을 가지고 있습니다. m 에 해당하는 4개의 연속 정수에 해당하는 $n = n$.

Y E

- C.1** 시료 Y에 대한 최소 투과율은 4개이지만 스펙트럼 측정에서는 이 중 3개만 관찰할 수 있습니다. 스펙트럼 측정(파트 A 참조)을 사용하여 d 및 θ 이 세 가지 투과율의 정상 파장을 구합니다. 최소값 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. 0.6pt

이제 샘플 Y에 대한 레이저 측정을 수행합니다(파트 B 참조). 레이저 측정을 통해 정상 파장의 최소 투과율을 보다 정확하게 결정할 수 있습니다. 또한 파트 E에서 필요한 투과율 값을 결정할 수 있습니다.

- C.2** 적색 레이저의 경우, 투과광 강도 I_{red} 를 샘플링하여 측정합니다. 0.5pt

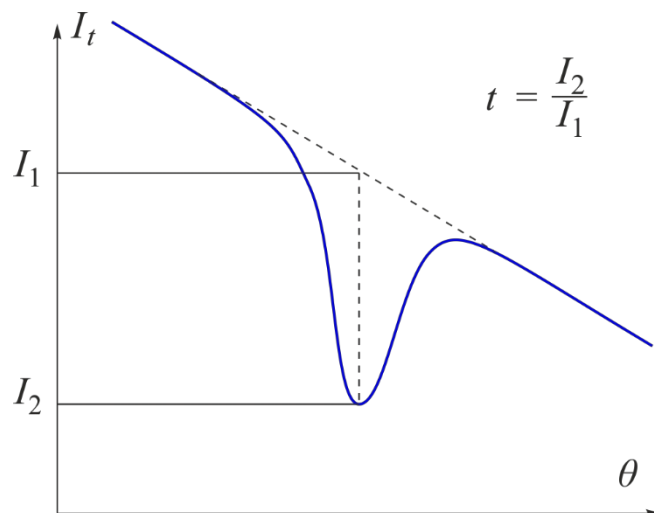
- C.3** 녹색 레이저의 경우, 투과광 강도 I_{green} 를 다음과 같이 측정합니다. 0.5pt

- C.4** 청색 레이저의 경우, 투과광 강도 I_{blue} 를 샘플링하여 측정합니다. 0.5pt

- C.5** 과제 C.2-C.4에서 얻은 데이터를 사용하여 4개의 횡단 파장의 정상 파장을 구합니다. 미턴스 최소값. 0.6pt

- C.6** C.5에서 얻은 4개의 정상 파장에 해당하는 정수 m 구합니다. 1.0pt

- C.7** 샘플 Y의 주기 D_Y 나노미터 단위로 구합니다. 0.2pt


 그림 15. $I(\theta)$ 플롯을 사용하여 투과율 t 결정하기

C.8

 4개의 투과율 최소값의 투과율 값 t 을 구합니다.
 ple Y(그림 15).

0.6pt

 이 값은 파트 E에서 샘플 Y의 구조를 결정하는 데 사용됩니다. 필요한 경우 그래프를 그릴 수 있지만
 필수는 아닙니다.



파트 D. 샘플 Z. 최소 투과율 누락(4.5점)

브래그-스넬 법칙(2)은 브래그-스넬 법칙에 의해 예측되는 일부 투과율 최소값이 특정 구조가 될 수 있는 각도와 파장을 결정합니다. 관찰된 투과율 값 t 은 기간의 내부 구조에 따라 달라집니다. 샘플에는 다음이 포함될 수 있습니다.

($t=$
1을 초과하므로 볼 수 없습니다. 이러한 최소 투과율을 **누락된 투과율**이라고 합니다.
최소값. 누락되지 않은 최소값을 **표시합니다**.

브래그-스넬 법칙에 의해 예측된 위치에서 스펙트럼 또는 레이저 실험에서 볼 수 없는 경우 최소 투과율을 누락된 것으로 간주합니다. 샘플 Y에는 누락된 최소 투과율이 없습니다. 반대로 샘플 Z는 가시 스펙트럼에서 2개의 누락된 최소값이 있습니다. 이는 모든 가시 투과율 최소값이 연속적인 m 에 해당하는 것은 아니라는 것을 의미합니다.

샘플 X와 Z의 평균 동일합니다: $n_Z = n_E$.

D.1 스펙트럼 및 레이저 실험을 사용하여 시료 Z의 가시 투과율 최소값의 정상 파장을 결정하십시오. 스케치 1.2pt
와 방정식을 사용하여 실험을 설명하십시오.

D.2 가시 투과율 최소값에 해당하는 정수 m 구합니다. You 2.0pt
필요한 경우 그래프를 그릴 수 있습니다.

D.3 샘플 Z의 주기 D_Z 나노미터 단위로 구합니다. 0.3pt

D.4 어떤 최소 투과율이 누락되었는지 확인합니다. m' 을 도출합니다. 1.0pt
브래그-스넬 법칙과 정상 파장 λ'_Z .



파트 E. 샘플 Y 및 Z. 기간의 내부 구조. (2.5점)

브래그-스넬 법칙(2)은 반사율 최대값과 투과율 최소값이 관찰될 수 있는 각도와 파장을 설명합니다(그림 9). 투과율 값은 주기의 내부 구조에 따라 달라집니다.

이 부분에서는 반사율 값에 대한 간단한 이론을 설명합니다. 빛의 정상 입사()를 고려합니다. 이러한 경우 브래그-스넬 법칙이 단순화됩니다:

$$2Dn = m\lambda \quad (7)$$

여기서 D 은 수정의 주기입니다.

이 모델에서는 빛이 높은 굴절률 층에서 낮은 굴절률 층으로 이동하는 경계에서만 반사된다고 가정합니다. 모델에서 고려되는 반사 경계는 그림 16에 화살표로 표시되어 있습니다.

샘플 X, Y, Z는 두께가 같고 굴절률이 서로 다른 두 개의 레이어로 구성되어 있으므로 이 특정 경우에만 한정하겠습니다.

d_l 이 중층의 두께, D 은 결정 주기, δ_j 은 주기 시작 사이의 거리입니다.
와 반사 경계 j

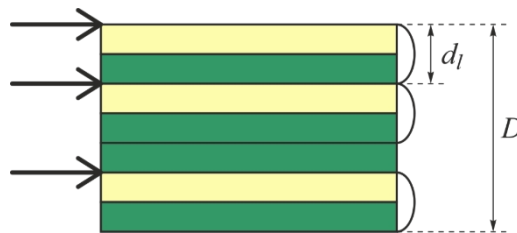


그림 16. 반복되는 결정 주기의 구조 예시 D . 짙은 녹색 레이어는 굴절률이 높습니다. 모델에서 고려한 반사 경계는 화살표로 표시됩니다.

들어, 그림 16의 구조는 결정 주기 $D=3.5d_l$, 반사 경계까지의 거리는 다음과 같습니다.
 $\delta_1=d_l, \delta_2=d_l, \delta_3=2.5d_l$

레이어 j 반사된 빔의 경우 위상 진행은 다음과 같습니다.

$$\varphi_{j,m} = 2\pi \frac{2\delta_j}{\lambda} \frac{n_j}{D} \quad (8)$$

한 주기에서 반사된 빔 간의 간섭을 고려하면 브래그-스넬 법칙의 최대 반사율에 대한 반사 강도를 추론할 수 있습니다. 이 브래그-스넬 법칙의 최대 반사율입니다:

$$I_{\text{refl},m} \sim \left| \sum_j \exp(i\varphi_{j,m}) \right|^2 \quad (9)$$

여기서 i - 가상의 단위.

위에서 고려한 모델은 정량적으로 정확하지는 않습니다. 그러나 반사율 최대값의 순서를 유지하므로 최대값의 크기를 비교하여 어느 것이 더 강렬할지 말할 수 있습니다. 반사율 최대값이 강하면 투과율 최소값의 투과율이 낮습니다. 반사율 최대값이 충분히 낮으면 투과율 최소값이 누락된 것으로 간주합니다.



부록에는 위상 편차가 없는 정수에 대해 방정식 (9)에 따라 계산된 값 $I_{m/I(0)}$ 이 있는 표가 있어 가능한 최대 강도를 출력할 수 있습니다. I_m 를 $I_{(0)}$ 에 $m=0$ 로 대체하여 계산합니다. 강도 $I_{(0)}$ 은 $m=0$ 의 경우 (9)에 따라 계산됩니다. 이 경우 모든 반사된 빔이

E.1	C.8에서 얻은 샘플 Y의 투과율 값을 부록의 표의 표 1.2pt와 비교합니다. 샘플 Y의 구조를 결정하십시오. 답안지에 있는 구조입니다.	부록
E.2	샘플 Z의 구조를 결정하십시오. 구조의 이름을 로 답안지에 적습니다.	1.3pt

샘플 Y와 Z의 구조는 표에 있습니다.



부록

샘플 Y와 Z의 구조의 가능한 변형. 구조의 이름은 그림 아래에 나와 있습니다. 표의 숫자는 m_0 입니다.

m								
1	1	3	11	3	1	0	1	0
2	0	0	33	7	1	0	0	0
3	1	6	11	56	1	0	1	0
4	0	0	33	56	2	0	0	0
5	2	41	11	7	6	1	2	0
6	0	0	100	3	48	1	1	0
7	5	41	11	100	48	2	3	0
8	0	0	33	3	6	5	6	0
9	41	6	11	7	2	45	36	11
10	0	0	33	56	1	45	1	72
11	41	3	11	56	1	5	32	15
12	0	100	100	7	1	2	10	2
13	5	3	11	3	100	1	1	0
14	0	0	33	100	1	1	2	0
15	2	6	11	3	1	0	0	0
16	0	0	33	7	1	0	1	0
17	1	41	11	56	2	0	0	0
18	0	0	100	56	6	0	6	7
19	1	41	11	7	48	100	28	27
20	100	0	33	3	48	0	25	23