광결정 (20점, 5시간)

서론

광결정은 빛의 파장과 비슷한 규모로 굴절률이 주기적으로 변하는 물질이다. 광결정의 광학 스펙트럼에는 빛의 전파가 억제되는 좁은 파장 영역이 존재한다. 이러한 특이한 광학적 성질은 광결정을 바탕으로 한 여러 광학 소자(광학 필터, 반사체)를 개발하는 데 쓰인다.

이 연구 과제에서는 다공성(공기로 채워진 구멍을 담은) 양극 산화 알루미늄 막을 바탕으로 한 광결정의 성질을 살펴본다. 알루미늄의 전기화학적 산화(양극 산화)로 만든 다공성 양극 산화 알루미늄 막의 구조는 막 표면에 수직으로 놓인 서로 떨어진 원통 관들의 계로 나타낼 수 있다(그림 1).

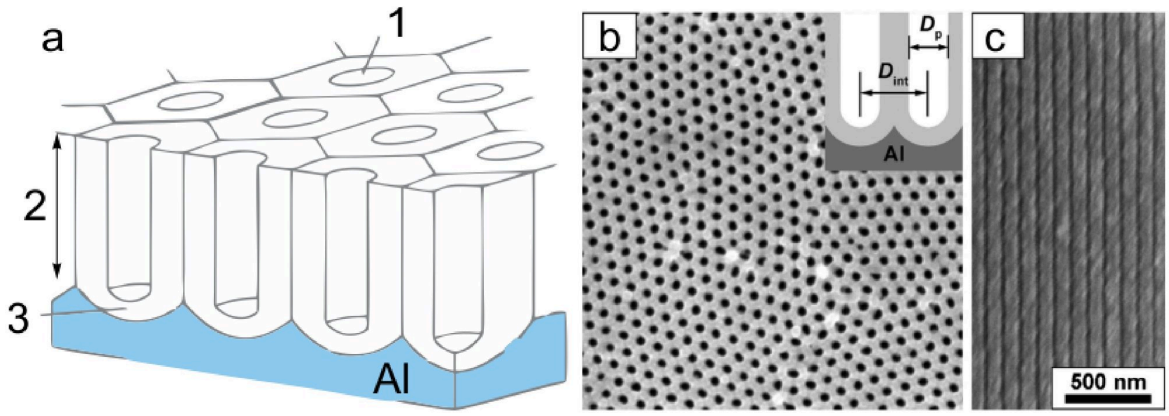


그림 1: (a) 양극 산화 알루미늄 다공성 막의 개략적 구조: (1) 구멍, (2) 다공층, (3) 장벽층. 막의 전자 현미경 사진: (b) 위에서 본 모습, (c) 단면 [Electrochim. Acta, 2011, 56, 2378].

구멍의 지름과 구멍 사이 거리는 전기화학 처리 조건에 따라 달라지므로, 양극 산화 중에 전압을 바꾸면 산화막 표면의 법선 방향을 따라 다공도가 변하는 구조를 얻을 수 있다 (그림 2).

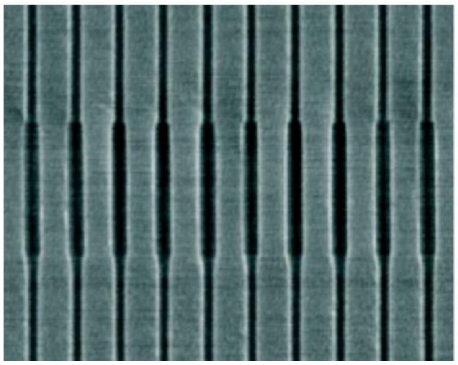


그림 2: 구멍 지름이 변하는 양극 산화 알루미나 단면의 전자 현미경 사진 [Nat. Mater., 2006, 5, 741].

APhO
YAKUTSK 2017 RUSSIA

Q1-2

Korean (Korea (Republic of))

이 연구에서 다루는 시료의 구멍 지름은 30 nm보다 작다. 구멍 지름이 이렇게 작은 다공성 매질은 광학 영역의 전자기파에 대해 연속적인 매질이 되며, 따라서 유효(부피 평균) 굴절률로 특징지을 수 있다.

산화막 다공도가 변하면 굴절률이 변한다. 살펴볼 시료의 굴절률은 오직 한 방향, 곧 막 표면의 법선 방향을 따라서만 주기적으로 변한다는 점에 유의하라. 따라서 살펴볼 시료는 *1차원 광결정*이다.

지름이 균일한 양극 산화 알루미늄 박막은 광학적으로 투명한 반면, 광결정은 층 구조 안에서 일어나는 빛의 간섭 때문에 색을 띤다는 점을 지적해 둔다.

이 연구에서는 양극 산화 알루미늄(AAO)을 바탕으로 한, 복잡도가 서로 다른 세 가지 광결정 시료의 광학적 성질을 조사한다.

실험 기구

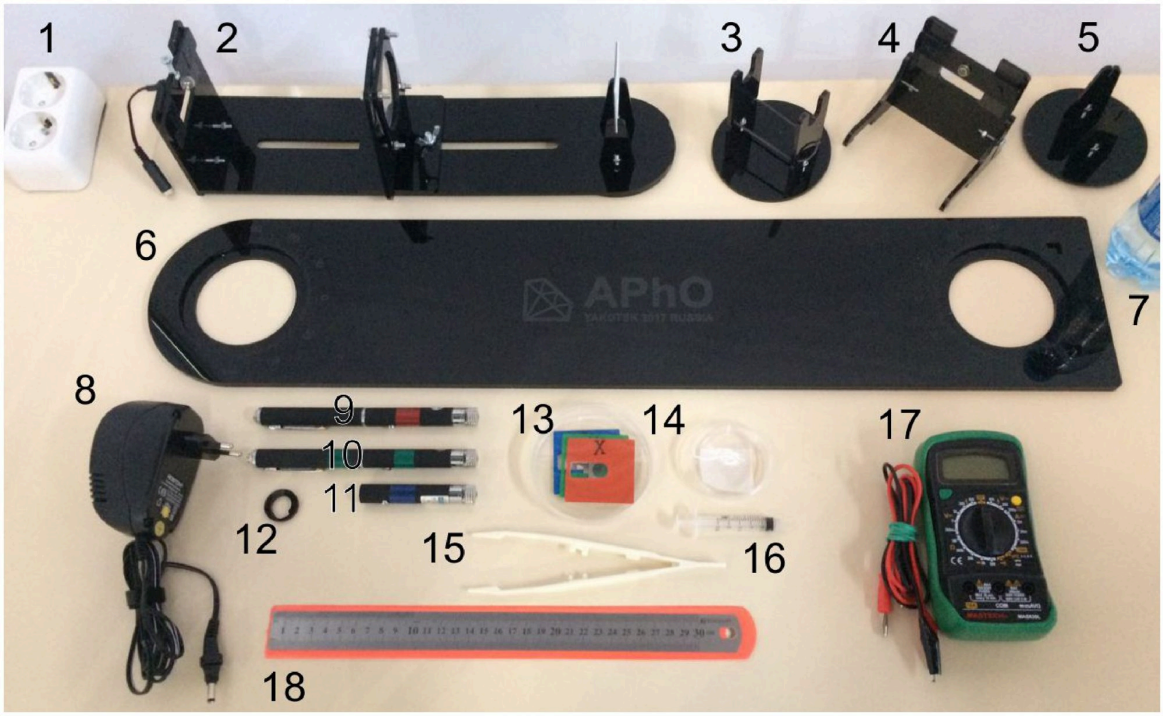


그림 3. 탁자 위의 실험 기구.

1. 콘센트
2. 스펙트럼 측정용 회절 팔
3. 고무줄이 달린 레이저 거치대
4. 거치대가 있는 광다이오드
5. 시료 거치대
6. 각도기가 있는 주 광학 벤치
7. 병에 든 물
8. DC 어댑터(전원 공급기)
9. 빨강 레이저(파장 659 nm)
10. 초록 레이저(파장 530 nm)
11. 파랑 레이저(파장 400 nm)

레이저는 위험합니다! 어떤 경우에도 레이저를 눈에 겨누거나 레이저빔을 들여다보지 마십시오! 반사된 빔에도 주의하십시오!

1. 레이저 버튼 잠금장치

1. 정사각형 색 틀에 든 광결정 시료 3개가 들어 있는 페트리 접시

광결정은 매우 부서지기 쉽습니다! 결정을 만지지 마십시오! 시료는 틀만 잡으십시오! 새 시료는 제공되지 않습니다!

1. 커버 글라스가 든 페트리 접시

유리는 얇고 부서지기 쉽습니다! 핀셋으로 잡으십시오!

1. 커버 글라스를 다루는 핀셋
2. 주사기
3. 연결선이 있는 멀티미터
4. 자

회절 팔

스펙트럼 측정을 위해서는 서로 다른 파장을 얻는 데 쓰는 회절 팔(그림 4)이 필요하다. 회절 팔은 필라멘트 램프(L), 거치대에 든 회절 격자(DG), 그 사이의 움직이는 렌즈(F)로 이루어져 있다. 회절 팔을 설치하려면 원판을 주 벤치의 왼쪽 구멍에 끼워라.

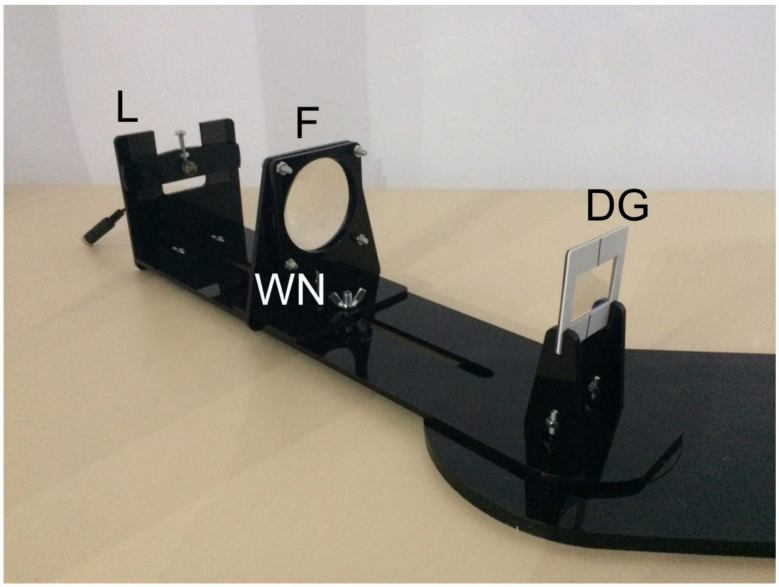


그림 4: 회절 팔

램프는 처음에 가운데에 맞추어져 있지만 필요하면 조정할 수 있다. 회절 격자에서 더 가는 스펙트럼 선을 얻으려면 필라멘트가 연직이 되도록 하라.

렌즈를 움직여 빔의 수렴각을 정할 수 있다. 나비 나사(WN)를 풀고 렌즈 거치대를 밀어 옮긴 뒤 다시 조여라(너무 세게 조이지 말 것. 렌즈가 저절로 움직이지 않을 정도의 약한 힘이면 충분하다).

램프와 레이저에 전원 넣기

광원에 전원을 넣으려면 DC 어댑터를 탁자 위의 콘센트에 꽂아라. 어댑터를 램프나 레이저의 소켓에 연결하라. 레이저에서는 극성이 중요하며 처음부터 올바르게 맞추어져 있다.

레이저

빨강($\lambda = 659$ nm), 초록($\lambda = 530$ nm), 파랑($\lambda = 400$ nm) 세 가지 레이저가 제공되며 색 테이프로 표시되어 있다.

레이저는 위험합니다! 어떤 경우에도 레이저를 눈에 겨누거나 레이저빔을 들여다보지 마십시오! 반사된 빔에도 주의하십시오!

빨강 레이저와 파랑 레이저는 전원 부속을 함께 쓴다. 빨강에서 파랑 레이저로 바꾸려면 빨강 레이저에서 부속을 돌려 빼고 파랑 레이저에 돌려 끼워라(그림 5a).

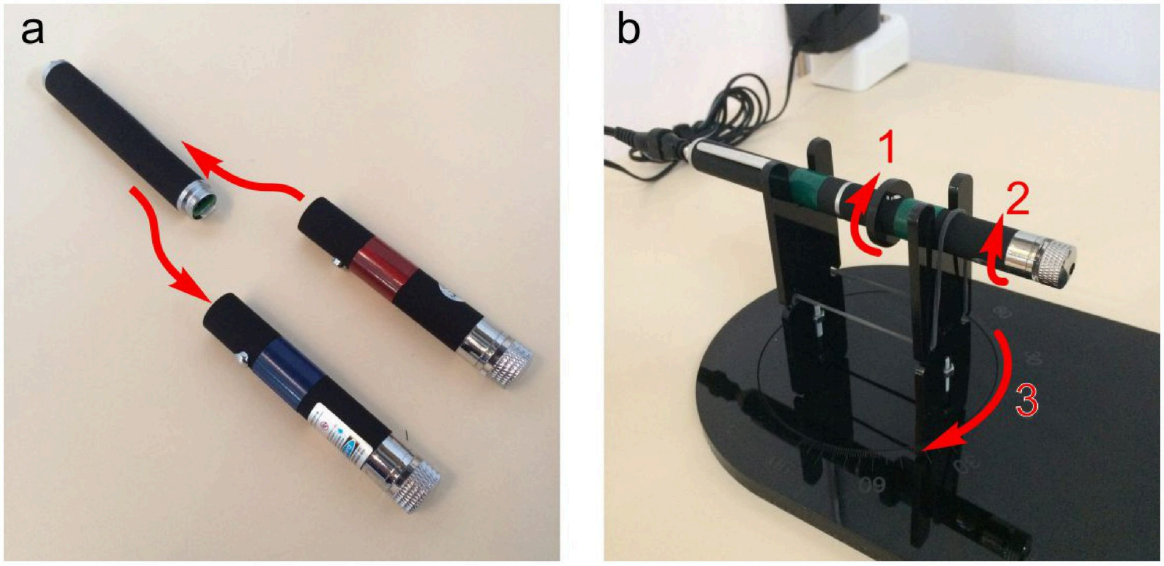


그림 5: (a) 전원 부속 바꾸기. (b) 레이저빔 조정하기.

광도 측정 실험에서는 레이저에 버튼 잠금장치를 끼우고 레이저를 거치대에 올려 고무줄로 고정하라(그림 5b). 거치대 원판을 주 벤치의 왼쪽 구멍에 끼워라. 잠금 버튼을 돌려 레이저를 켜라(1).

레이저빔을 조정해야 할 수도 있다. 먼저 레이저를 그 축 둘레로 돌려 빔이 수평면 안에 놓이게 하라 (2). 그런 다음 거치대 원판을 돌려 빔을 광학 벤치에 맞추어라(3).

광다이오드

광도 측정 실험에서는 투과된 빛의 세기를 재기 위해 레이저와 광다이오드가 필요하다. 광다이오드 거치대에는 주 벤치의 홈에 끼울 수 있는 다리가 달려 있다(그림 6a).

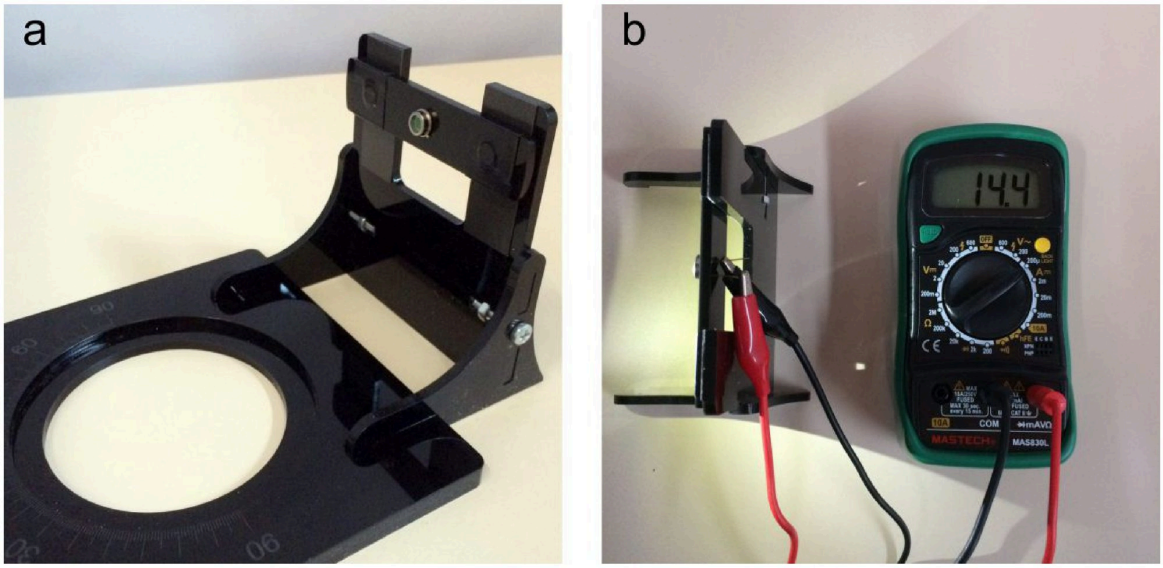


그림 6: (a) 광다이오드 설치. (b) 멀티미터 연결.

광다이오드는 자석으로 거치대에 붙어 있으며 레이저빔에 맞추어 조정할 수 있다.

광다이오드로 측정하려면 멀티미터를 DC 전류 모드(μA)로 하여 연결하라(그림 6b). 광다이오드의 전류는 들어오는 빛의 세기에 비례하므로 빛의 세기를 μA 단위로 재게 된다.

광결정 시료

광결정은 매우 부서지기 쉽습니다! 결정을 만지지 마십시오! 시료는 틀만 잡으십시오!

서로 다른 세 가지 광결정 시료가 제공된다. 앞면의 색이 서로 다르며 위쪽에 시료 이름 글자(X, Y, Z)가 적혀 있다. 시료를 거치대에 놓을 때 빛이 앞면에 닿고 글자가 위로 오도록 하라. 측정할 때는 거치대 원판을 주 벤치의 오른쪽 구멍에 끼워라. 반사된 빛이 비껴 나가도록 거치대 원판을 시계 방향으로 돌려야 한다.

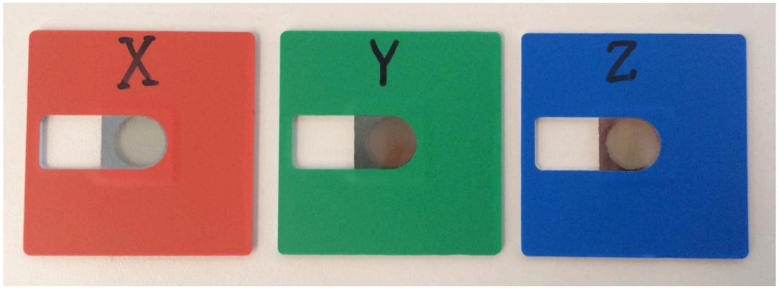


그림 8: 광결정 시료

브래그-스넬 법칙

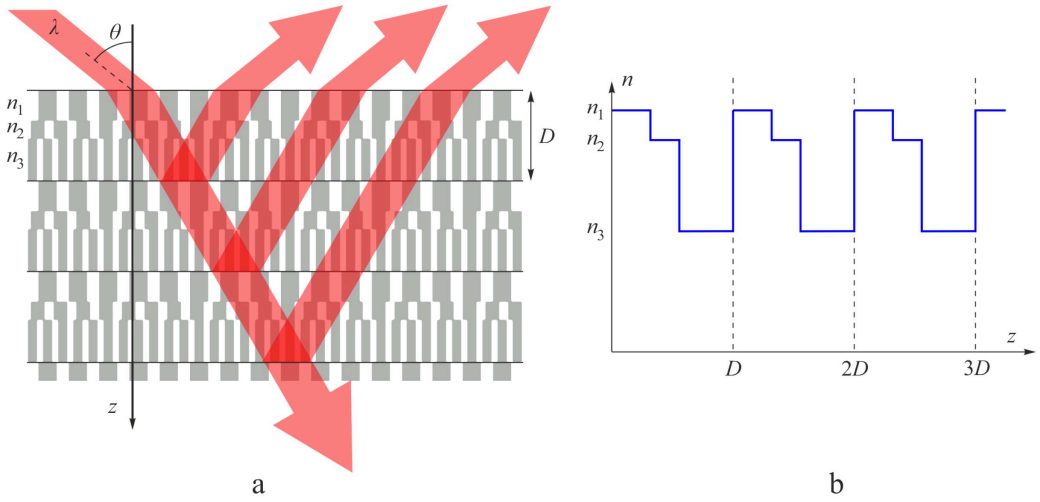


그림 8. (a) 광결정 구조. (b) 굴절률 $n(z)$ 의 변화.

이 문제에서 살펴볼 광결정 시료는 굴절률 n_i 가 서로 다른 층들로 이루어져 있다. 굴절률은 z 축을 따라 주기 D 로 주기적으로 변하며 파장 λ 에는 의존하지 않는다. 전체 평균 굴절률을 n, 굴절률 차를 $\Delta n = n_{\max} - n_{\min}$ 이라고 하자. AAO 결정에서는

$$\Delta n \ll n. \tag{1}$$

파장 λ 이고 세기가 일정한 평행 단색광 빔이 광결정에 들어온다고 하자. 입사각은 θ 이다. 서로 다른 층에서 반사된 빔들은 간섭한다. 그 결과 거울 반사는 다음 식을 만족하는 각 θ 에서 최대가 된다.

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

여기서 $m = 1, 2, \ldots$ 는 간섭 차수를 나타내는 정수이다.

식 (2)를 **브래그-스넬 법칙**이라고 한다. 같은 각 θ_i 에서 투과 최소가 관측된다. 각 θ 가 일정하고 파장 λ 가 변하면 브래그-스넬 법칙을 λ 에 대한 방정식으로 볼 수 있다. 그림 9는 반사 스펙트럼과 투과 스펙트럼의 개형을 보여 준다. 각 투과 최소는 브래그-스넬 법칙에 따라 어떤 정수 m 값에 대응한다.

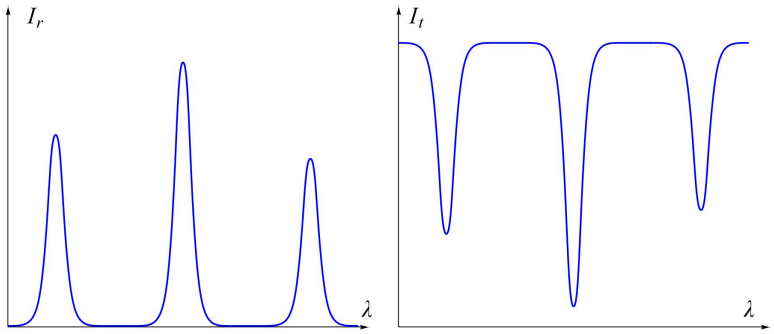


그림 9: 반사 및 투과 스펙트럼.

브래그–스넬 법칙 (2)를 만족하는 파장을 **투과 최소 파장**이라고 부르기로 한다. 투과 최소 파장은 입사각 θ 에 따라 달라진다. $\theta = 0$ 에서의 투과 최소 파장을 그 광결정의 **수직 투과 최소 파장**이라고 부르기로 한다.

이 문제에서는 오차를 평가할 필요가 없습니다.

A 부분. 시료 X. 스펙트럼 측정 (3.5점)

시료 X는 단순한 구조를 가진다(그림 10). 그 주기는 두께가 $D_X/2$ 로 같고 굴절률이 서로 가까운 n_1, n_2 인 두 층으로 이루어져 있다.

$$n_1 - n_2 = \Delta n \ll n_X = \frac{n_1 + n_2}{2} \tag{3}$$

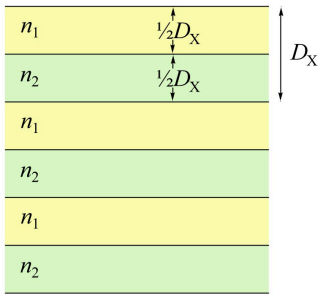


그림 10: 시료 X의 구조.

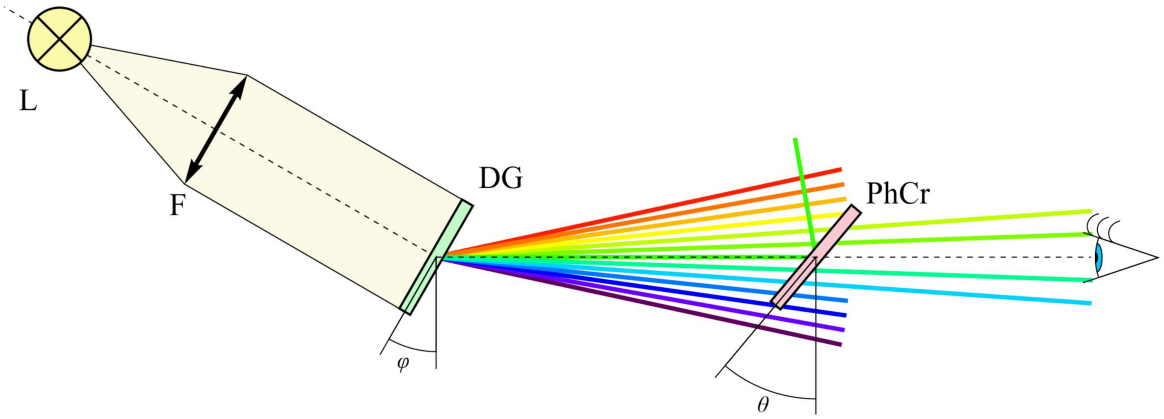


그림 11. 스펙트럼 측정용 실험 장치: (F) 렌즈, (L) 렌즈의 초점에 놓인 램프, (DG) 회절 격자, (PhCr) 광결정.

1. **스펙트럼 측정용 실험 장치**를 조립하라. 회절 팔을 주 벤치의 왼쪽 구멍에 끼운다.
2. 램프를 켜라. 광학 벤치 반대쪽 끝에서 회절 격자를 보아라. 1차 회절 차수(무지개 띠)가 보일 때까지 회절 팔을 돌려라.
3. 시료 거치대를 주 벤치의 오른쪽 구멍에 끼워라(삼각 표시를 0에 맞춘다). 시료 X를 거치대에 놓아라(빛이 빨간 앞면에 닿아야 한다). 시료를 통해 회절 격자의 무지개 띠를 보아라.

1. 시료를 알맞은 각도로 시계 방향으로 돌리면 투과 스펙트럼에서 어두운 영역을 볼 수 있다(그림 12). 이것이 브래그–스넬 법칙의 $m = 1$ 에 대응하는 **투과 최소**이다. 시료를 돌리면 투과 최소의 파장이 변한다.

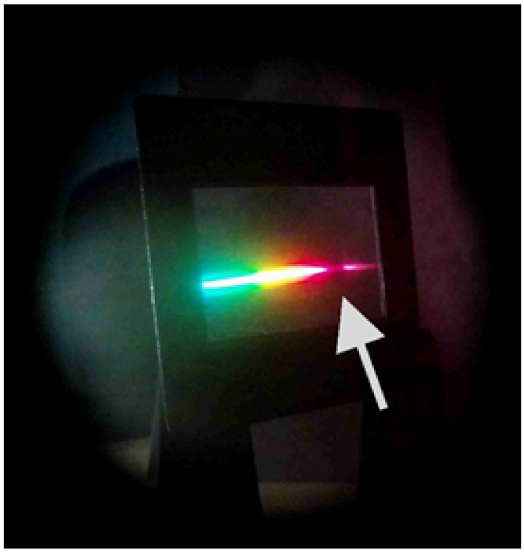


그림 12. 시료 X의 투과 스펙트럼 사진. 흰 화살표가 투과 최소(무지개 띠 안의 어두운 영역)를 가리킨다.

1. 렌즈를 움직이면 스펙트럼의 더 넓거나 좁은 부분을 볼 수 있다. 정밀한 측정을 위해서는 램프가 렌즈의 초점에 오도록 렌즈를 두어라.

A.1	빛이 회절 격자 표면에 수직으로 들어온다. 회절각 φ 와 파장 λ 를 잇는 식을 써라. 격자 주기는 $h = 1000$ nm이다. 유도 과정 없이 답만 적어도 된다.	0.1pt
A.2	투과 최소가 보이는 입사각 θ 를 회절각 φ 의 함수로 재어라. 투과 최소(어두운 영역)가 격자 창의 가운데에서 보이도록 θ 를 읽어라.	1.0pt
A.3	그래프가 직선이 되는지 확인할 수 있도록 θ 와 φ 대신 쓸 새 좌표를 구하여라. 새 좌표로 그래프를 그려라.	1.5pt
A.4	시료의 주기 D_X 와 평균 굴절률 n_X 를 구하여라.	0.9pt

B 부분. 시료 X. 레이저 측정 (5.0점)

결정의 다공도 p 는 결정 부피 가운데 공기(관)로 채워진 비율이다. 결정의 유효 굴절률은 공기의 굴절률 $n_a = 1$ 과 산화 알루미늄의 굴절률 n_{AAO} 로 나타낼 수 있다.

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

관이 물로 채워지면 결정의 굴절률이 바뀐다.

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

여기서 $n_w = 1.33$ 은 물의 굴절률이다.

이 부분에서는 마른 시료와 젖은 시료의 실험 자료를 비교하여 광결정의 다공도 p 를 구한다. 레이저 측정 장치를 쓴다.

B.1	어떤 시료 회전각 θ 에서 레이저 파장 λ 의 투과 최소를 볼 수 있는 레이저를 골라라. 고른 레이저의 파장을 적어라.	0.1pt

B 부분의 모든 과제에서 고른 레이저를 쓴다.

레이저 측정용 실험 장치를 조립하라(그림 13).

레이저빔을 직접 들여다보지 마십시오! 반사된 빔을 늘 확인하고 눈에 들어가지 않게 하십시오. 짧은 노출로도 눈에 심각한 손상을 입을 수 있습니다. 레이저 실험을 할 때는 머리를 빔 높이에 두지 마십시오.

레이저 실험에서 자료를 모으기 전에 레이저 세기가 일정한지 확인하라. 일정하지 않으면 3–5분 기다려라.

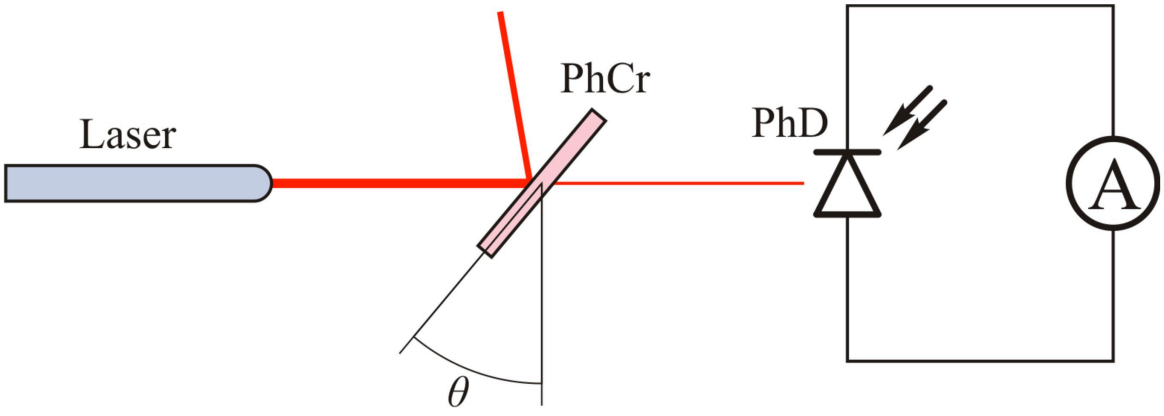


그림 13. 레이저 측정 장치: (Laser) 레이저, (PhCr) 광결정, (PhD) 전류계에 연결된 광다이오드. 전류계가 재는 전류는 광다이오드에 닿는 빛의 세기에 비례한다.

B.2	광결정을 투과한 레이저 빛의 세기 I_t (μA 단위)를 θ 의 함수로 재어라.	1.0pt

B.3	그래프 $I_t(\theta)$ 를 그려라.	1.0pt

B.4	레이저 파장에서 투과 최소에 대응하는 입사각 θ_1 을 구하여라. 그래프 $I_t(\theta)$ 에서 깊이의 절반이 되는 높이에서 골의 너비 $\Delta\theta_1$ 을 구하여라(그림 14a).	0.2pt

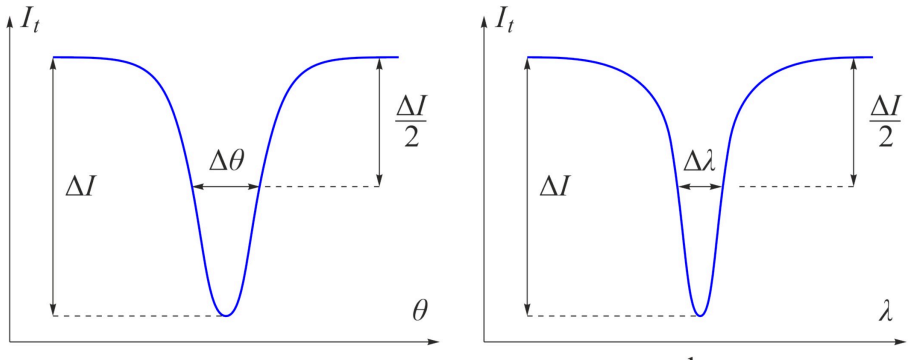


그림 14. 반깊이에서의 투과 골 너비: (a) 입사각에 대한 의존성, (b) 파장에 대한 의존성.

B.5	브래그–스넬 법칙 (2)를 써서 시료 X의 수직 투과 최소 파장 λ_X 를 구하여라. A 부분의 n_X 값, B.4의 θ_1, 레이저 파장 λ 를 써라.	0.2pt

빛이 결정에 수직으로 들어올 때($\theta = 0$), $m = 1$ 에 대응하는 투과 최소의 스펙트럼 너비 $\Delta\lambda$ (그림 14b)는 n 과 Δn 으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{2}{\pi}\frac{\Delta n}{n}. \tag{6}$$

시료 X의 Δn_X 를 어림하기 위해, 투과 최소의 상대적 스펙트럼 너비 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ 가 회전에 따라 변하지 않는다고 가정하라.

B.6	시료 X의 굴절률 차 Δn_X 를 어림하여라.	0.6pt

시료 X의 앞면에 물을 조금 떨어뜨려라. 실험 중 물이 증발하지 않도록 커버 글라스를 시료 위에 조심스럽게 덮어라. 시료 뒷면에는 두께 15 nm의 단단한 산화층이 있어 물이 새지 않는다.

APhO
YAKUTSK 2017 RUSSIA

Q1-13

Korean (Korea (Republic of))

조심하십시오! 시료는 매우 부서지기 쉽습니다. 그 너비는 머리 카락 지름의 4분의 1입니다. 시료는 틀만 잡고 다루십시오. 커버 글라스도 매우 부서지기 쉽습니다! 핀셋으로만 잡으십시오.

B.7	레이저 파장에서 젖은 시료의 투과 최소에 대응하는 입사각 θ_2 를 구하여라.	0.3pt
B.8	시료 X의 평균 다공도 p_X 와 산화 알루미늄의 굴절률 n_{AOO} 를 구하여라.	1.0pt
B.9	시료 X에서 각 층의 평균 다공도 p_1 과 p_2 를 구하여라.	0.6pt

C 부분. 시료 Y. 여러 개의 투과 최소 (4.5점)

시료 Y의 구조는 시료 X보다 복잡하다. 시료 Y는 가시광 영역(400–800 nm)에서 브래그–스넬 법칙 (2)의 연속된 정수 m 4개에 대응하는 투과 최소 4개를 가진다. 시료 Y와 X의 굴절률은 $n_Y = n_X$ 로 같다.

C.1	시료 Y에는 투과 최소가 4개 있지만 스펙트럼 측정에서는 그중 셋만 관측할 수 있다. 스펙트럼 측정(A 부분 참조)을 써서 이 세 투과 최소의 수직 파장 λ_1^{sp}, λ_2^{sp}, λ_3^{sp} 를 구하여라.	0.6pt

이제 시료 Y에 대해 레이저 측정을 수행하라(B 부분 참조). 레이저 측정을 쓰면 투과 최소의 수직 파장을 더 정확하게 구할 수 있다. 또 E 부분에서 필요한 투과율 값도 구할 수 있다.

C.2	빨강 레이저에 대해 투과광 세기 I_{red} 를 시료 회전각 θ 의 함수로 재어라.	0.5pt
C.3	초록 레이저에 대해 투과광 세기 I_{green} 을 시료 회전각 θ 의 함수로 재어라.	0.5pt
C.4	파랑 레이저에 대해 투과광 세기 I_{blue} 를 시료 회전각 θ 의 함수로 재어라.	0.5pt
C.5	과제 C.2–C.4에서 얻은 자료를 써서 투과 최소 4개의 수직 파장을 구하여라.	0.6pt
C.6	C.5에서 얻은 수직 파장 4개에 대응하는 정수 m 을 구하여라. 필요하면 그래프를 그려도 좋다.	1.0pt
C.7	시료 Y의 주기 D_Y 를 나노미터 단위로 구하여라.	0.2pt

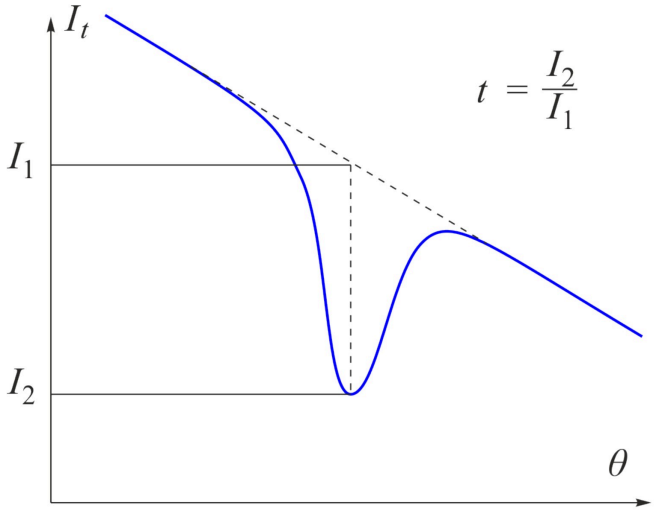


그림 15. $I(\theta)$ 그래프를 써서 투과율 t 정하기

C.8	시료 Y의 투과 최소 4개의 투과율 값 t 를 구하여라(그림 15). *이 값들은 E 부분에서 시료 Y의 구조를 정하는 데 쓰인다. 필요하면 그래프를 그려도 좋으나 꼭 그릴 필요는 없다.*	0.6pt

D 부분. 시료 Z. 사라진 투과 최소 (4.5점)

브래그–스넬 법칙 (2)는 투과 최소가 관측될 수 있는 각과 파장을 정해 준다. 투과율 값 t 는 주기의 내부 구조에 따라 달라진다. 어떤 시료는 특정한 구조 때문에 브래그–스넬 법칙이 예측하는 투과 최소 가운데 일부가 $t = 1$ 이 되어 보이지 않을 수 있다. 이런 투과 최소를 **사라진 투과 최소**라고 부르기로 한다.

브래그–스넬 법칙이 예측하는 위치에서 스펙트럼 실험이나 레이저 실험으로 볼 수 없는 투과 최소를 사라진 것으로 본다. 시료 Y에는 사라진 투과 최소가 없다. 반대로 시료 Z는 가시 스펙트럼에서 사라진 최소가 2개 있다. 이는 보이는 모든 투과 최소가 연속된 m 에 대응하지는 않음을 뜻한다.

시료 X와 Z의 평균 굴절률은 같다: $n_Z = n_X$.

D.1	시료 Z에서 보이는 투과 최소의 수직 파장 λ_Z 를 구하여라. 스펙트럼 실험과 레이저 실험을 쓰라. 실험을 그림과 식으로 설명하여라.	1.2pt
D.2	보이는 투과 최소에 대응하는 정수 m 을 구하여라. 필요하면 그래프를 그려도 좋다.	2.0pt
D.3	시료 Z의 주기 D_Z 를 나노미터 단위로 구하여라.	0.3pt
D.4	어떤 투과 최소가 사라졌는지 구하여라. 브래그–스넬 법칙에서의 m' 과 수직 파장 λ'_Z 를 이끌어내어라.	1.0pt

E 부분. 시료 Y와 Z. 주기의 내부 구조. (2.5점)

브래그–스넬 법칙 (2)는 반사 최대와 투과 최소가 관측될 수 있는 각과 파장을 기술한다 (그림 9). 투과율 값은 주기의 내부 구조에 따라 달라진다.

이 부분에서는 반사율 값에 대한 간단한 이론을 다룬다. 빛의 수직 입사($\theta = 0$)를 생각한다. 이 경우 브래그–스넬 법칙은 다음과 같이 간단해진다.

$$2Dn = m\lambda \tag{7}$$

여기서 D 는 결정의 주기이다.

이 모형에서는 빛이 굴절률이 높은 층에서 낮은 층으로 진행하는 경계에서만 반사한다고 가정한다. 모형에서 고려하는 반사 경계는 그림 16에 화살표로 표시되어 있다.

시료 X, Y, Z는 두께가 같고 굴절률이 서로 다른 두 종류의 층으로 이루어져 있으므로 이 특별한 경우만 다룬다.

d_l 을 이중층의 두께, D 를 결정 주기, δ_j 를 주기의 시작에서 반사 경계 j 까지의 거리라고 하자.

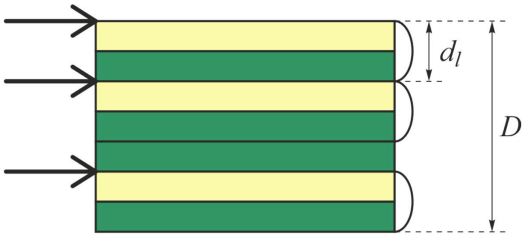


그림 16. 되풀이되는 결정 주기 D 의 구조 예. 짙은 초록 층은 굴절률이 높고 밝은 노랑 층은 굴절률이 낮다. 모든 층의 두께는 $d_l/2$ 로 같다. 모형에서 고려하는 반사 경계는 화살표로 표시되어 있다.

예를 들어 그림 16의 구조는 결정 주기가 $D = 3.5d_l$ 이고 반사 경계까지의 거리는 $\delta_1 = 0$, $\delta_2 = d_l$, $\delta_3 = 2.5d_l$ 이다.

층 j 에서 반사된 빔의 위상 진행은 다음과 같다.

$$\varphi_{j_m} = 2\pi\frac{2\delta_j n}{\lambda} = 2\pi m\frac{\delta_j}{D} \tag{8}$$

한 주기에서 반사된 빔들 사이의 간섭을 생각하면, 브래그–스넬 법칙의 반사 최대 m 에 대한 반사 세기는 다음과 같다.

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

여기서 i 는 허수 단위이다.

위에서 다룬 모형은 정량적으로 정확하지는 않다. 그러나 반사 최대의 크기 순서는 유지하므로, 최대들의 크기를 비교하여 어느 것이 더 강한지 말할 수 있다. 반사 최대가 강하면 투과 최소의 투과율 값 t 가 낮다. 반사 최대가 충분히 낮으면 사라진 투과 최소로 본다.

APhO
YAKUTSK 2017 RUSSIA

Q1-18

Korean (Korea (Republic of))

부록에는 1부터 20까지의 정수 m 에 대해 식 (9)로 계산한 I_m/I_0 값의 표가 있다. 세기 I_0 는 $m = 0$ 에 대해 식 (9)로 계산한 값이다. 이 경우 반사된 모든 빔이 위상차 없이 간섭하여 가능한 최대 세기를 낸다. I_m/I_0 값은 %로 나타내었다.

시료 Y와 Z의 구조도 이 표 안에 들어 있다.

E.1	C.8에서 얻은 시료 Y의 투과율 값을 부록의 표와 비교하여라. 시료 Y의 구조를 정하여라. 답안지에 구조의 이름을 적어라.	1.2pt

E.2	시료 Z의 구조를 정하여라. 답안지에 구조의 이름을 적어라.	1.3pt

APhO
YAKUTSK 2017 RUSSIA

Q1-19

Korean (Korea (Republic of))

부록

시료 Y와 Z의 가능한 구조들. 구조의 이름은 그림 아래에 있다. 표의 숫자는 I_m/I_0 이다.



m	i5-5	i3-3	i2-1	n-3	n-6	n-9	hi5-5	h5-5
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