

다음에서 반사된 광학 회절 패턴 1차원 구조

소개

이 실험은 최근 나노 스케일에서 1차원(1D) 비균일 변조뿐만 아니라 1D 나노 구조의 방향을 따라 주기적인 원자 격자 간격을 갖는 나노 구조의 아연-셀레나이드(ZnSe) 표면에서 반사된 고에너지 전자 회절 현상을 발견한 것을 기반으로 합니다(나노기술, 20 (21), 215607(2009)). 그림 1은 금(Au) 층으로 덮인 나노 구조의 ZnSe 표면 단면 이미지이며, 삽입된 이미지는 금(Au) 캡이 없는 표면 이미지입니다.

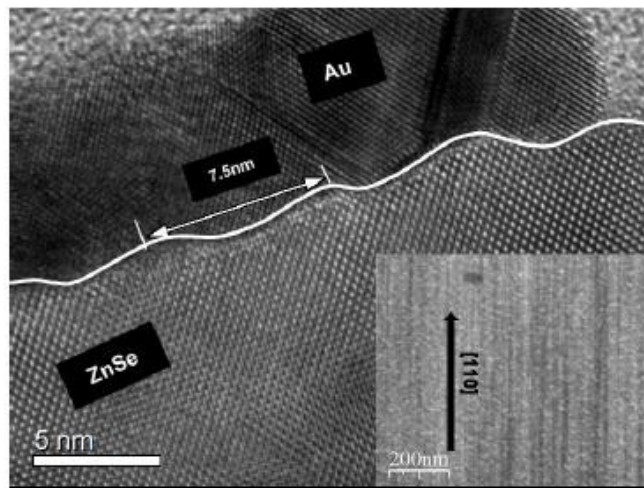


그림 1: 금(Au) 층으로 덮인 나노 구조의 ZnSe 표면 단면 이미지, 삽입된 이미지는 금(Au) 캡이 없는 표면의 이미지입니다.

목표

이 실험에서는 마이크로미터 단위의 1D 구조를 가진 샘플에 대해 이 현상의 광학적 유추를 살펴봅니다.

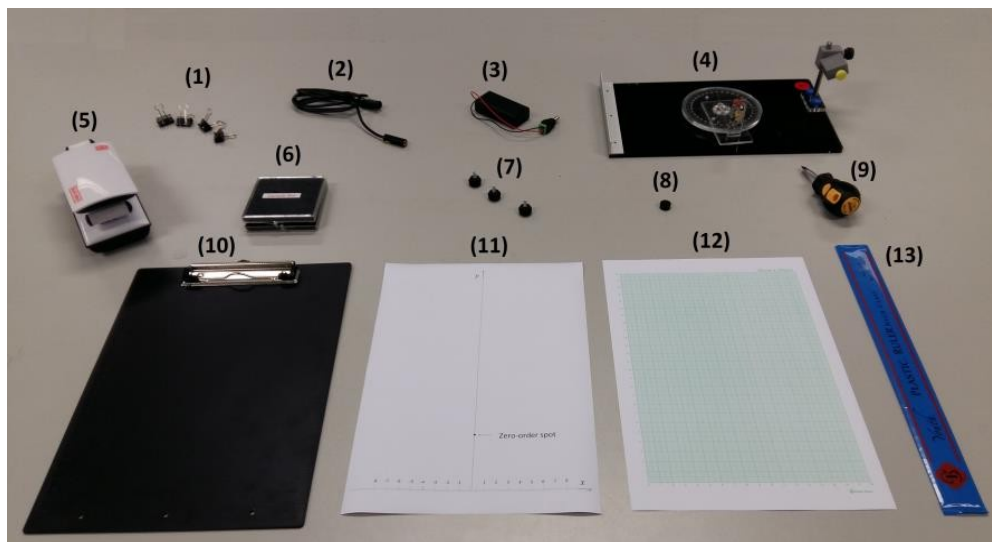


그림 2: 이 실험을 위한 장치 및 도구

장치 및 도구 목록

[1]	4 종이 클립
[2]	레이저 다이오드
[3]	온/오프 스위치가 있는 배터리 팩
[4]	회전 디스크, 각도 눈금 및 레이저 다이오드 홀더가 있는 광학 플랫폼
[5]	LED 램프
[6]	샘플 1~5가 들어 있는 샘플 상자
[7]	관찰 보드용 나사 3개
[8]	핀홀
[9]	일자 드라이버
[10]	관찰 보드
[11]	정렬 시트
[12]	그래프 용지
[13]	30cm 자

주요 장치 및 도구



그림 3: 관찰 보드

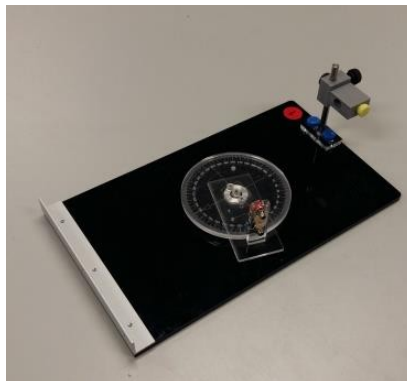


그림 4: 회전 디스크, 각도 눈금 및 레이저 다이오드 홀더가 있는 광학 플랫폼



그림 5: 핀홀



그림 6: 650nm 파장에서 0.5mW 출력을 내는 레이저 다이오드(클래스 II).



그림 7: 1~5로 레이블이 지정된 샘플이 들어 있는 샘플 상자

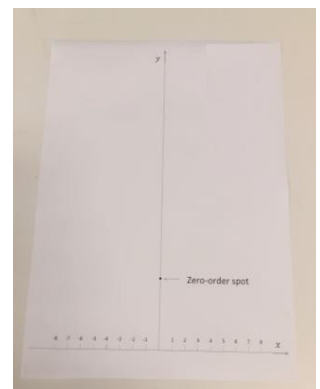


그림 8: 정렬 시트

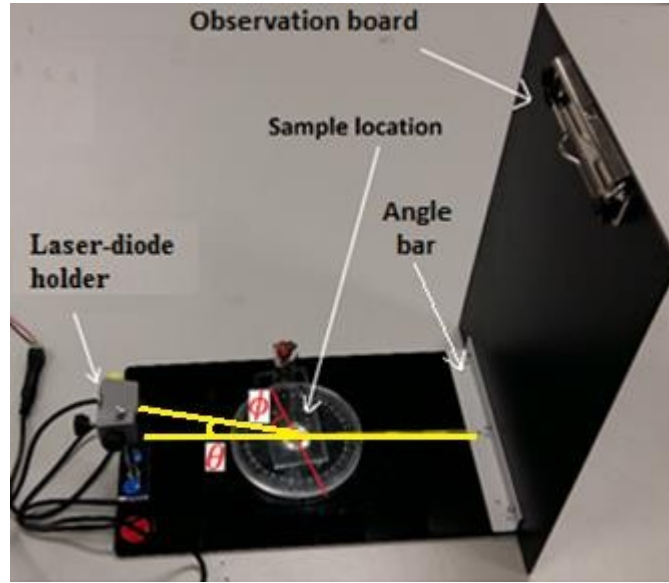


그림 9: 이 실험에 사용된 설정. 관찰 보드, 테스트 대상 샘플, 회전 디스크가 있는 광학 플랫폼 및 레이저 다이오드를 어떻게 조립해야 하는지 보여줍니다. 각도 ϕ 는 샘플의 회전 각도입니다. 각도 θ 는 샘플 표면에 대한 레이저 빔의 입사 각도입니다.

샘플 상자의 항목에 대한 추가 참고 사항

- 이 실험에 사용된 모든 샘플은 1.크기의 정사각형 모양입니다. ×
1.. 각 샘플 홀더의 한쪽 면에 1부터 5까지 모두 라벨이 붙어 있습니다.
- 모든 샘플 홀더의 크기는 2.0cm× 2.0cm이며 한쪽 가장자리 중앙에 삼각형으로 표시된 기준점이 새겨져 있습니다.
- 각 샘플을 회전 디스크의 중앙에 배치하기 전에, 회전 디스크의 화살표 끝이 각도 눈금의 0° 표시를 가리키고 있는지 확인해야 합니다. 새 샘플을 배치할 때는 플랫폼의 회전 디스크에 있는 사각형 표시와 정렬되도록 하세요. $\phi=0^\circ$ (샘플 2~5에만 해당)의 샘플 위치는 기준점이 각도 눈금의 0° 표시를 향하고 정렬되어 있을 때 정의됩니다.

샘플	샘플에 대한 설명
1	평면 거울.
2	두 모서리에 평행한 직선형 스크래치 홈이 있는 강판과 비 균일한 간격.
3	인접한 홈 사이의 간격이 a 와 같은 규칙적인 격자, 격자 상수입니다.
4	샘플 2와 유사하지만 회전 디스크의 각도 눈금에서 0° 및 180° 표시를 연결하는 선에 대해 ϕ^* 각도로 스크래치 홈이 균일하지 않은 간격으로 배치되어 있습니다.
5	간격이 균일하지 않은 직선형 스크래치 홈이 있을 뿐만 아니라 인접한 간격이 동일한 사전 제작된 홈이 있는 강판 b . 이러한 사전 제작된 홈은 간격이 균일하지 않은 직선 스크래치 홈에 수직으로 놓 여 있습니다.

안전 예방 조치 및 일반적인 조언

이지 중

1. 주의: 주의: 레이저 빔을 직접 응시하지 마세요!!!
2. 불필요한 배터리 소모를 방지하기 위해 레이저 다이오드를 사용하지 않을 때는 전원을 끄세요.
3. 샘플은 항상 똑바로 보관하세요. 샘플 표면이 닿지 않도록 주의하세요.
4. 샘플을 옮길 때는 항상 샘플 홀더의 가장자리를 손으로 잡아야 합니다.

초기 조정/절차

1. 그림 9와 같이 실험 설정을 구성합니다. 그림 10과 같이 3개의 나사를 사용하여 관찰 보드를 회전 디스크에 부착할 수 있습니다.

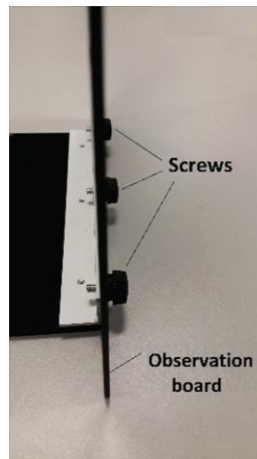


그림 10: 관찰 보드는 3개의 나사를 사용하여 회전 디스크에 부착할 수 있습니다.

2. 레이저 다이오드 홀더에 레이저 다이오드를 장착합니다. [참고: 레이저 다이오드를 홀더에 고정할 때 노란색 나사를 과도하게 조이지 마십시오. 그렇지 않으면 레이저 다이오드가 손상될 수 있습니다.]
3. 그림 11과 같이 배터리 팩을 레이저 다이오드에 연결합니다.

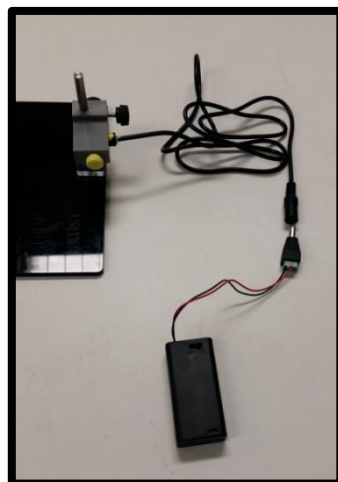


그림 11: 배터리 팩에 연결된 레이저 다이오드.

이지 중

4. 관찰 보드에 종이를 부착하여 레이저 다이오드에서 방출되는 빛을 관찰한 다음 일자 드라이버를 사용하여 레이저 다이오드의 조리개를 조정하여 직경 약 1mm의 빔 스팟을 얻습니다.
5. 레이저 다이오드 홀더에 레이저 다이오드의 헤드가 홀더에서 약 5~10mm 바깥쪽으로 나오도록 레이저 다이오드를 놓습니다.
6. 그림 12와 같이 제공된 핀홀을 레이저 다이오드에 부착하여 빔 스팟의 크기를 더 줄일 수 있습니다.



그림 12: 핀홀이 부착된 레이저 다이오드.

7. 이 실험에서는 레이저 빔의 수평 투사가 각도 눈금에서 0° 및 180° 표시와 정렬되어야 하며 레이저 빔이 연 구 중인 샘플의 중앙에 맞아야 합니다. 이는 그림 13과 같이 나사를 사용하여 레이저 다이오드 홀더의 위치와 기울기 각도를 조정하여 달성할 수 있습니다.

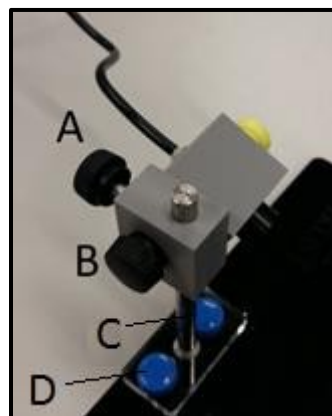


그림 13: 레이저 다이오드 홀더의 위치와 기울기 각도는 라벨이 표시된 나사를 사용하여 조정할 수 있습니다. 나사 'A'를 사용하여 레이저 빔의 높이를 변경할 수 있습니다. 나사 'B'로 레이저 빔을 기울일 수 있습니다. 나사 'C'와 'D'를 사용하면 레이저 다이오드 홀더를 수평으로 조정할 수 있습니다.

실험

파트 A: 설정 정렬

그림 9에 따라 실험 설정을 구성합니다. 관찰 보드와 회전 디스크의 중심 사이의 거리 D 는 15cm로 고정되어 있습니다. 샘플 1을 다음 위치에 놓습니다.

샘플 상자의 항목에 대한 추가 참고 사항(3페이지)에 설명된 절차에 따라 회전 디스크의 중심을 정렬합니다. 관찰판을 고정하는 앵글 바의 상단 가장자리와 일치하는 x -축을 사용하여 정렬 시트를 관찰판에 부착합니다(이 표시된 X축 아래의 용지 부분을 뒤로 접으면 됩니다). x -

축이 이러한 방식으로 정의되는 이유는 실험 설정이 회전 디스크에 있는 모든 샘플의 표면이 이 각도 막대의 상단 가장자리와 정렬되도록 설계되었기 때문입니다. 또한 x -축의 원점은 각도 막대의 180° 마크와 정렬되어야 합니다

스케일. 이 실험에서는 레이저 빔의 입사각 θ 을 특정 값으로 고정합니다.

레이저 다이오드의 높이와 기울기 각도를 조정하여 레이저 빔이 샘플 1의 중앙에 닿고 반사된 레이저 빔의 스폿이 정렬 시트에 표시된 "영차 스폿"과 겹치도록 합니다.

작업		Mark
A1	x -축의 원점에서 "0차 지점" h의 높이를 측정합니다. D 및 h에서 레이저 빔의 입사각 θ 을 구하십시오. 답안지의 해당 표에 h의 값을 cm 단위로, θ 의 값을 세 자릿수로 적으세요.	0.6

파트 B: 샘플 2의 회절 패턴

샘플 홀더의 기준점이 0° 표시와 정렬되어 있고 샘플 2의 균일하지 않은 간격의 스크래치 홈 방향이 레이저 빔의 수평 투영과 평행이 되도록 샘플 1을 샘플 2로 교체합니다. 샘플의 회전 각도 ϕ 회전 디스크를 돌려 조정하고 각도 눈금에서 읽을 수 있습니다.

그래프 용지를 관찰 보드에 붙입니다. 그래프 용지의 아래쪽 축이 관찰판을 고정하는 각도 막대의 위쪽 가장자리와 일치하는지 확인합니다(아래쪽 축 아래의 용지 부분을 뒤로 접어서 이 작업을 수행할 수 있습니다). 또한 x -축의 원점이 각도 눈금의 180° 표시와 정렬되어야 합니다.

작업		Mark
B1	회전 디스크의 회절패턴을 그래프 용지에 $\phi = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$에 대해 기록하고 각 패턴 옆에 해당하는 회전 각도 ϕ 를 적습니다. 이 그래프 용지의 맨 위에 "# 2"를 적습니다.	0.8

파트 C: 샘플 3의 회절 패턴

이 과제와 다음 과제의 실험은 과제 (B1)에서 관찰된 회절 패턴의 이면에 있는 물리학을 이해하는 데 도움이 될 것입니다. 회전 디스크에서 시료 2를 제거하고 시료 홀더의 기준점이 0° 표시를 향하도록 시료 3으로 교체합니다. 샘플 3의 시작 위치(예: $\phi=0^\circ$)의 방향은 격자 선은 레이저 빔의 수평 투영과 평행합니다.

그래프지를 관찰 보드에 부착합니다. 에 설명된 대로 그래프 용지의 아래쪽 축이 관찰판을 고정하는 앵글 바의 위쪽 가장자리와 일치하는지 확인합니다.

(B). 또한 x -축의 원점은 각도의 180° 마크와 정렬되어야 합니다 규모.

작업		마크
C1	샘플 3의 회절점 중심을 $\phi=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 에 표시하고 각 패턴 옆에 해당하는 회전 각도 ϕ 그래프 용지에 적습니다. 이 그래프 용지 상단에 "# 3"을 적습니다.	0.8

과제 (B1)과 (C1)을 완료한 후, 샘플 2의 반사 회절 패턴은 연속적인 반면 샘플 3의 패턴은 불연속적이라는 것을 알 수 있었을 것입니다. 그 이유는 샘플 2의 인접한 직선 스크래치 홈 사이의 간격이 균일하지 않기 때문에 격자 상수가 다양한 값을 포함하는 격자와 같기 때문입니다. 따라서 회절 패턴은 샘플 3의 회절 패턴과 같이 일반 격자의 회절 패턴의 일반적인 모양을 따르지만, 회절 지점이 넓어져 관찰된 것처럼 연속적인 패턴을 형성합니다.

파트 D: 3부: 샘플 3의 반사된 회절 패턴에 대한 이론

샘플 3과 같은 일반 격자에서 반사된 회절 패턴의 원점은 기하학적 광학을 통해 이해할 수 있습니다. 이 실험에서는 그림 14와 같이 원점을 샘플 중앙에 두고 $-xyz$ 좌표계를 정의합니다.

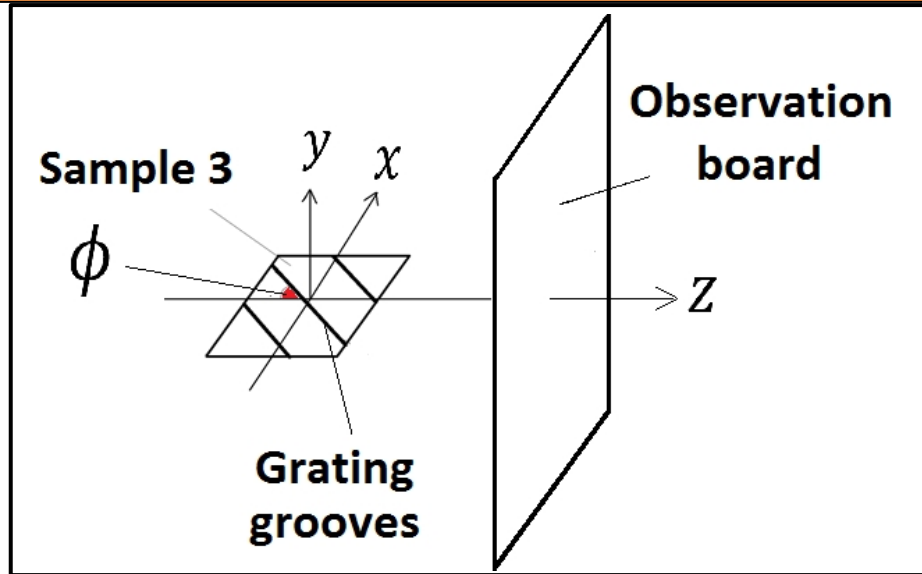


그림 14: 이 작업에 사용된 -xyz 좌표계의 정의(여기서 ϕ 은 샘플의 회전 각도이며, 관찰판이 z 축에 수직인 경우)입니다.

기하학적 광학을 사용하면 샘플 3에서 반사된 회절 패턴에 대한 다음 방정식을 도출할 수 있습니다,

$$y^2 = \frac{(D \cos \phi + x \sin \phi)^2}{\cos^2 \theta \cos^2 \phi} - x^2 - D^2 \quad (1)$$

$$x = \frac{D m \lambda \cos \phi}{a \cos \theta - m \lambda \phi} \quad (2)$$

여기서 λ 는 입사된 레이저 빔의 파장이고 m 은 회절의 차수입니다. 다음을 사용하여 ϕ 의 함수로서 회절 지점의 x 및 y 좌표를 예측할 수 있습니다.

방정식 (1) 및 (2)는 과제 (C1)에서 관찰된 패턴과 일치하는 것으로 입증될 수 있습니다.

방정식 (1) 및 (2)에 따르면, $\phi = 90^\circ$ 의 회절점은 y -축을 따라 다음 위치에 있어야 합니다.

$x = 0$ 을 다음 방정식으로 표현한 y 좌표로 변환합니다:

$$y = D \sqrt{\frac{a^2}{(a \cos \theta - m \lambda)^2} - 1} \quad (3)$$

작업		마크
D1	방정식 (3)을 재배열하여 격자 상수 a 의 이차 방정식을 구할 수 있습니다. 샘플 3, as $Aa^2 + Ba + C = 0. \quad (4)$ A, B 및 C 에 대한 식을 도출합니다. 답안지의 해당 표에 결과를 입력합니다.	0.9

D2	이 이차 방정식을 풀고 측정된 회절 지점의 y 값을 사용하면 다음과 같습니다. 샘플 3의 경우 $\phi = 90^\circ$ (작업 (C1) 참조)에서 $D\theta$ 및 λ 의 알려진 값과 함께 샘플 3의 격자 상수 a 를 미터 단위로 각각 세 자릿수까지 구합니다. 1차($m = 1$)에서 6차($m = 6$)까지의 회절 순서 [힌트: 이 순서는 0차 지점 위의 여섯 지점에 해당합니다]. 답안지의 해당 표에 결과를 입력합니다.	1.8
D3	격자 상수 a // 대한 평균을 미터 단위로 세 자리 수로 계산하고 평균의 표준 오차. 답안지의 해당 표에 결과를 입력합니다.	0.8

파트 E: 샘플 4의 미지각 결정 ϕ^*

샘플 홀더의 기준점이 0° 표시와 정렬되고 이를 향하도록 샘플 3을 샘플 4로 교체합니다. 샘플 4를 회전 디스크에 놓을 때 기준점에 가까운 샘플 홀더의 측면이 레이저 빔과 수직이 되어야 합니다.

관찰 보드에 그래프 용지를 붙입니다. 그래프 용지의 아래쪽 축이 관찰판을 고정하는 각도 막대의 위쪽 가장자리와 일치하는지 확인합니다(아래쪽 축 아래의 종이 부분을 뒤로 접어서 이 작업을 수행할 수 있습니다). 또한 x 축의 원점이 각도 눈금의 180° 표시와 정렬되어야 합니다.

작업		마크
E1	그래프 용지에 투영된 샘플 4의 연속 회절 곡선을 따라 $x = -1.0\text{cm}$ 에서 3.5cm 까지 10개의 지점에 대해 y - 좌표 (cm)를 측정합니다. 0.. 답안지의 해당 표에 결과를 입력합니다.	0.6
E2	과제 (D)에 주어진 방정식 (1)을 바탕으로 다음과 같은 형태의 선형 방정식을 작성합니다. $M(y, D, \theta) = I(D) + S(\phi^*)x \quad (5)$ $M(y, D, \theta)$, $I(D)$, $S(\phi^*)$ 의 함수 형태를 결정합니다. E1에 기록된 데이터를 사용하여 M_x 에 플롯합니다. 이 그래프에서 미지의 각도 ϕ^* 도 단위로 구합니다. 모든 함수 형태와 ϕ^* 의 값을 답안지의 해당 표에 적으십시오.	1.6

파트 F: 샘플 5의 회절 패턴

샘플 홀더의 기준점이 0° 표시와 정렬되고 이를 향하도록 샘플 4를 샘플 5로 바꿉니다. 샘플 5의 지오메트리는 그림 15에 나와 있습니다. 샘플 5의 시작 위치에서 간격이 균일하지 않은 스크래치 홈의 방향은 레이저 빔의 수평 투영과 평행합니다.

지 중

그래프 용지를 관찰 보드에 붙입니다. 그래프 용지의 아래쪽 축이 관찰판을 고정하는 각도 막대의 위쪽 가장자리와 일치하는지 확인합니다(아래쪽 축 아래의 용지 부분을 뒤로 접어서 이 작업을 수행할 수 있습니다). 또한 x -축의 원점이 각도 눈금의 180° 표시와 정렬되어야 합니다.

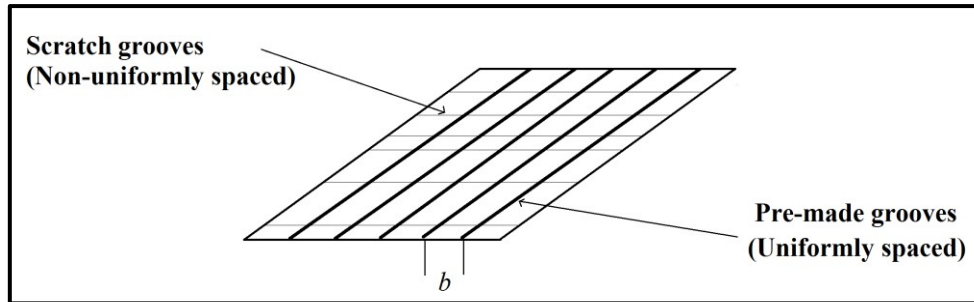


그림 15: 스크래치 홈의 간격이 불균일하고 미리 만들어진 홈의 간격이 균일한 샘플 5의 구조. 미리 만들어진 홈 사이의 인접한 간격은 b 입니다.

작업		마크
F1	$\phi = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$에 대해 관찰한 회절 패턴을 ϕ의 각 값에 대해 별도의 그래프 용지에 기록합니다. 각 그래프 용지 상단에 '#5'와 그에 해당하는 ϕ 값을 적습니다. 10개 이상의 회절을 관찰할 수 있을 것으로 예상됩니다. 주문. 단, 각 그래프 용지에는 상대적으로 밝은 주문 3개만 기록해야 합니다.	0.8

샘플 5의 샘플 구조는 샘플 2와 샘플 3의 조합으로 간주할 수 있으며, 균일한 간격으로 미리 만들어진 홈이 불균일한 간격으로 스크래치 홈에 수직으로 배치되어 있습니다. 이것은 서론에서 설명한 나노 격자의 광학적 유추입니다.

작업		마크
F2	이 이해를 바탕으로 균일한 간격의 사전-사후 간격을 b (미터)로 추정합니다. 과제 (F1)에서 $\phi = 0^\circ$에 대해 기록된 회절 패턴을 사용하여 샘플 5의 홈을 만들었습니다. 답안지에 b 값을 입력합니다. [b의 값을 추정할 때는 첫 번째 회절 차수의 측정 데이터만 가져와야 하며, 추정값 b은 소수점 셋째 자리까지 반올림해야 한다는 점에 유의하세요.]	1.6

파트 G: ZnSe의 격자 평면 간격 결정

지 중

서론에서 언급했듯이, 위 현상은 나노 구조의 ZnSe 표면의 반사 고에너지 전자 회절(RHEED) 패턴에서 처음 발견되었습니다. 이러한 표면은 나노 홈에 수직인 주기적인 원자 격자 평면을 가질 뿐만 아니라 균일하지 않은 공간 분리를 가진 나노 스케일의 1차원(1D) 변조를 가지고 있습니다. 그림 16은 전자빔이 균일하지 않은 간격으로 나노 홈에 수직일 때 이러한 나노 구조의 ZnSe 표면의 RHEED 패턴을 보여줍니다(힌트: 주기적 원자 격자 평면과 관련하여 이러한 조건은 $\phi = 0^\circ$)에 해당합니다.

이 그림에서 줄무늬의 간격은 RHEED 패턴 아래에 주어진 눈금을 사용하여 측정할 수 있으며, 형광 스크린에 투영된 실제 회절 패턴과 정확히 일치합니다(이 실험에 사용된 관찰 보드와 유사).

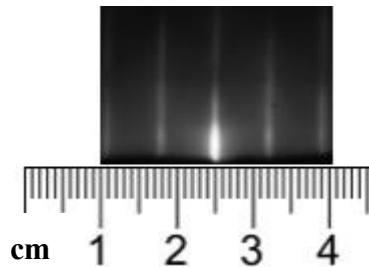


그림 16: 전자빔이 불균일한 간격으로 나노 홈에 수직인 경우, ZnSe의 나노 구조 표면에서 반사 고에너지 전자 회절(RHEED) 패턴을 살펴봅니다.

그림 16에 표시된 회절 패턴을 촬영할 때 전자총의 가속 전압은 $V = 13,000$ 볼트로 설정되었습니다. 시료 표면의 중심에 입사하는 고에너지 전자의 해당 파장 λ 은 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$\lambda = \frac{12.247 \times 10^{-10}}{\sqrt{V(1 + 10^{-6} V)}} \text{ nm} \quad (6)$$

상대주의적 효과가 고려된 경우입니다.

ZnSe 샘플 표면에 대한 전자 빔의 입사각은 $\approx 0^\circ$ 이고 형광 스크린과 나노 구조의 ZnSe 표면에서 전자의 입사 지점 사이의 거리는 $D = 26\text{cm}$ 입니다.

작업		마크
G1	그림 16과 위에 주어진 실험 조건에 따라, ZnSe 샘플의 경우, 나노 홈에 수직인 주기적 원자 격자 평면의 격자 평면 간격 a * 균일하지 않은 간격으로 미터 단위에서 세 자리까지 결정하십시오. 수치를 입력합니다. 답안지의 해당 표에 결과를 입력합니다.	1.7

END

금속의 반사 위상 이동

(총 점수: 8.0)

소개

천연 물질은 진공보다 굴절률(n)이 큰 것으로 알려져 있습니다($n_0 = 1$). 그러나 메타물질(나노 크기의 구조를 가진 인공 물질)은 음의 유효 굴절률을 고려하여 설명할 수 있는 음의 굴절과 같은 이색적인 현상을 나타낼 수 있습니다. 일반적으로 금속과 같은 물질의 굴절률은 빛 흡수가 있을 때 복소수가 될 수도 있습니다.

복잡한 굴절률을 연구하는 간단한 방법은 광선이 물질의 표면에서 반사될 때 위상 편이 ϕ 를 측정하는 것입니다. 광학에서 표면 반사로 인한 위상 변화는 많은 응용 분야, 특히 홀로그래프 측정에서 중요합니다.

일반 유리의 경우, 일반 입사 시 반사 위상 편이 ϕ 는 180° (또는 라디안 단위의 π)입니다. 그러나 금속의 경우 금속의 흡수율에 따라 ϕ 는 다른 값을 가질 수 있습니다. 광학에서의 위상 측정은 까다롭고 높은 정밀도가 필요합니다. 광학 위상 측정을 위해 많은 정교한 기술이나 방법이 개발되었습니다. 하지만 고등학생이 구현하기에는 너무 복잡합니다. 여기에서는 간단하고 저렴한 접근 방식을 소개합니다.

목표

파브리-페로 레이저 간섭계를 사용하여 티타늄(Ti) 표면에서 반사된 빛의 위상 변화를 연구합니다.

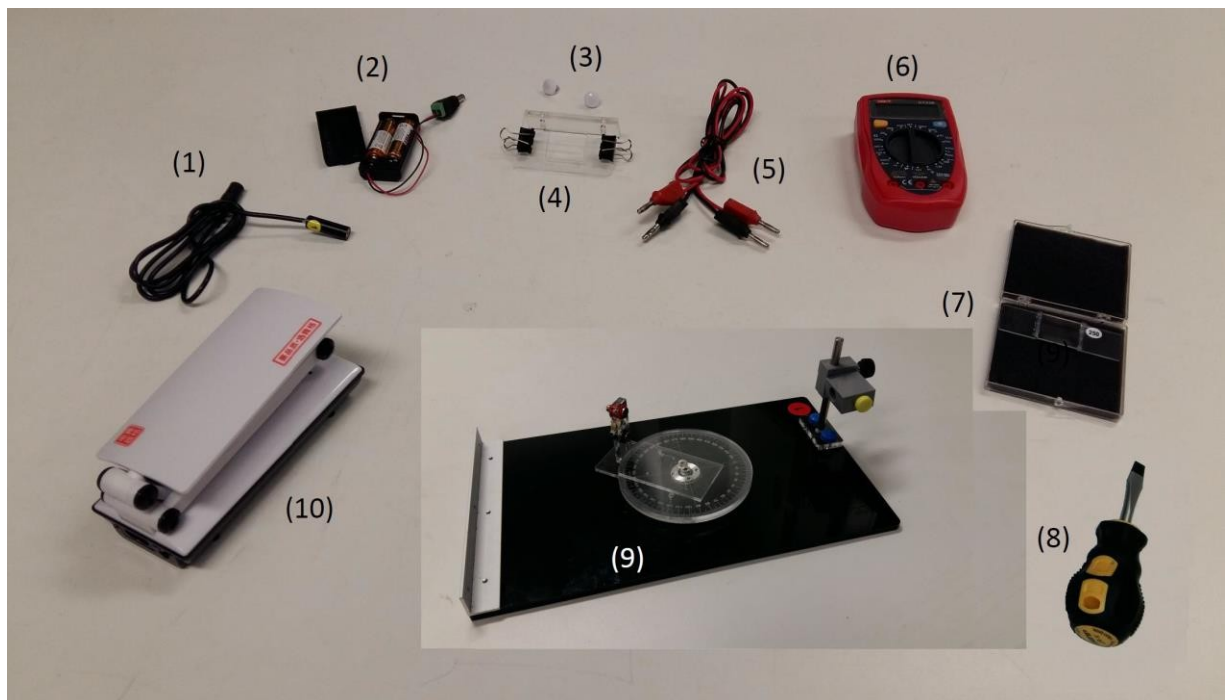


그림 1: 이 실험을 위한 장치

장치 목록

[1]	레이저 다이오드
[2]	레이저 다이오드용 배터리가 포함된 배터리 팩
[3]	샘플 홀더용 화이트 컬러 캡 나사
[4]	종이 클립 2개가 포함된 샘플 홀더
[5]	바나나 커넥터가 있는 전선
[6]	디지털 멀티 미터
[7]	특정 샘플 번호가 적힌 티타늄(Ti) 코팅 파브리-페로 에탈론 1개가 들어 있는 샘플 박스
[8]	일자 드라이버
[9]	회전 디스크, 턴테이블 검출기 홀더, 고정 각도 눈금 및 레이저 다이오드 홀더가 있는 광학 플랫폼
[10]	LED 램프

장치에 대한 설명



그림 2: 650nm 파장에서 0.5mW 출력의 레이저 다이오드(클래스 II)



그림 3: 2×1.5V AA 배터리 레이저 다이오드용 콘센트 플러그가 포함된 배터리 팩

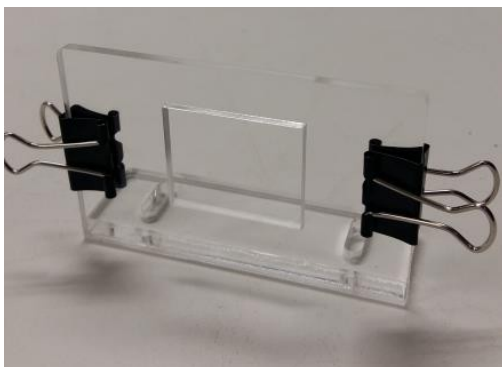


그림 4: 종이 클립이 두 개 있는 샘플 홀더



그림 5: 디지털 멀티 미터 및 바나나 커넥터가 있는 전선



그림 6: 샘플 박스 및 Ti-코팅된 Fabry-Perot(FP) 에탈론 1개(설명용으로 이 그림의 샘플 번호는 #250)



그림 7: 레이저 다이오드의 빔 크기를 조정하기 위한 일자 드라이버



그림 9: 읽기 및 쓰기용 LED 램프

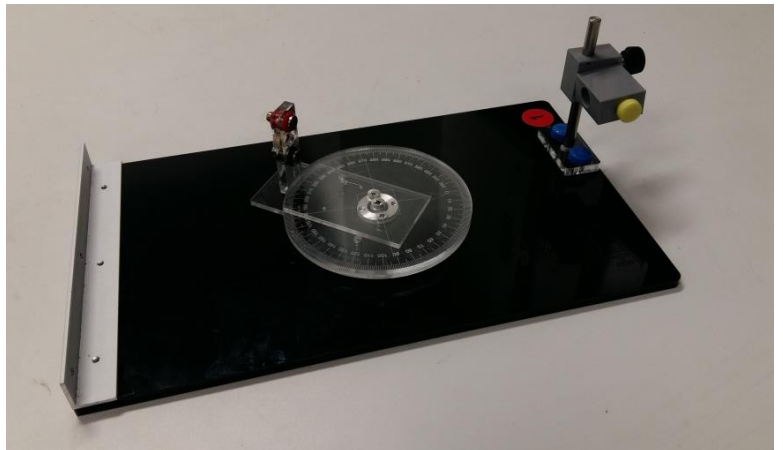


그림 8: 회전 디스크, 턴테이블 검출기 홀더, 고정 각도 눈금, 레이저 다이오드 홀더로 구성된 광학 플랫폼

이론

그림 10과 같은 이상적인 에어 갭 Fabry-Perot(FP) 에탈론을 생각해 보겠습니다. 에탈론은 상단의 두꺼운 유리판 (굴절률 n_g)과 그 사이에 얇은 에어 갭($L \sim 5$ 마이크론)을 끼운 하단의 샘플 플레이트(굴절률 n_s)로 구성됩니다.

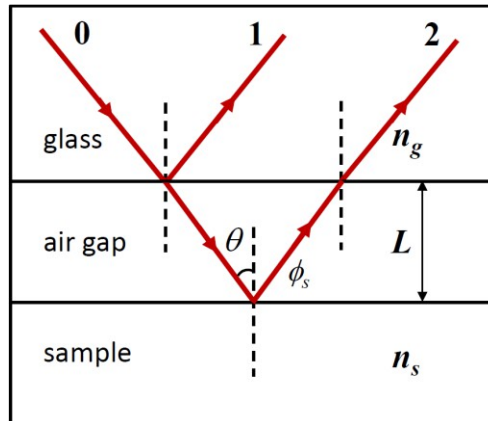


그림 10: 상단 유리판과 하단 샘플 판으로 구성된 이상적인 에어 갭 Fabry-Perot 에탈론의 빛 반사.

두 개의 빔 간섭 근사치를 사용하여 에어 갭 에탈론을 모델링합니다. 상단 유리의 공기-유리 계면에서의 반사를 무시하고 상단 유리판에 입사한 광선(빔 0)은 유리-공기 계면에서 부분적으로 반사(빔 1)되고 부분적으로 투과(굴절)됩니다. 그런 다음 투과(굴절)된 빔은 공기-샘플 인터페이스에서 반사된 후 상단 유리판을 통해 투과(굴절)되며, 그림 10에 빔 2로 표시되어 있습니다. 빔 2의 경우, 공기-샘플 인터페이스에서의 반사는 추가적인 위상 편이 ϕ_s 를 포착하는 반면 다른 인터페이스에서는 위상 편이가 없습니다. 입사각 θ 에 대한 반사광의 결과 강도 $I(\theta)$ 는 빔 1과 빔 2의 중첩으로 다음과 같이 주어집니다:

$$I(\theta) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(2kL \cos\theta + \phi_s), \quad (1)$$

여기서 I_1 및 I_2 는 각각 빔 1과 2의 강도이고 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 는 파수입니다.

여기서 λ 는 입사광의 파장입니다. 식 (1)은 고정 파장 λ 및 공극 간격 L 에 대한 입사각 θ 의 함수로서 강도 피크와 최저점을 나타냅니다. 이 실험에서는 입사광의 편광 방향을 고정하고 빔이 계면에서 반사/굴절될 때의 편광 효과를 무시합니다. 또한 FP 에탈론의 바닥 샘플 판으로 티타늄(Ti) 코팅 유리판을 사용합니다.

준비 절차/조정

1. 실험 E1을 먼저 선택한 경우, 이 실험 E2를 위해 장치를 조립하기 전에 관찰 보드와 E1용 핀 구멍을 제거하는 것을 잊지 마세요.
2. 주의: 레이저 다이오드의 레이저 광선을 직접 보지 마세요!!!
3. 그림 11과 같이 레이저 홀더의 원형 구멍에 레이저 다이오드를 설치합니다. 노란색 뚜껑이 있는 나사를 사용하여 레이저 다이오드를 고정합니다. 레이저 헤드의 본체가 수평을 이루고 부착된 노란색 라벨(그림 2 노란색 라벨이 있는 레이저 다이오드 참조)이 위를 향하도록 합니다(레이저 빛의 편광을 수직 방향으로 설정하기 위해). [참고: 레이저 홀더의 (노란색 라벨이 있는) 나사를 과도하게 조이지 마세요. 그렇지 않으면 레이저 다이오드가 손상될 수 있습니다.]

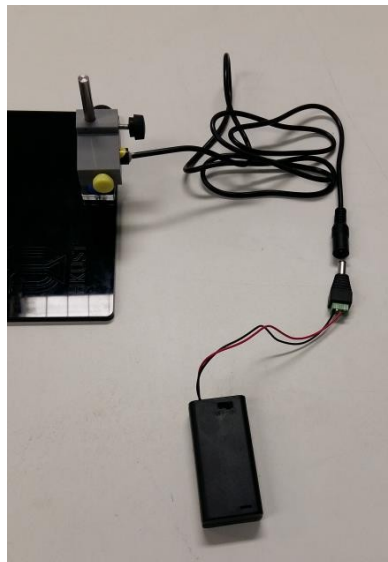


그림 11: 레이저 홀더 내부에 장착된 레이저 다이오드

4. 그림 11과 같이 배터리 팩을 레이저 다이오드에 연결하고 레이저 다이오드를 켭니다.
5. 레이저 다이오드는 20cm 거리에서 직경 약 1mm의 빔 스폿을 형성하는 것이 바람직합니다. 빔 크기를 확인하려면 레이저 다이오드에서 약 20cm 떨어진 곳에 종이를 놓고 레이저 다이오드에서 방출되는 레이저 빔의 스폿 크기를 관찰합니다. 필요한 경우 일자 드라이버를 사용하여 레이저 다이오드의 조리개를 조정하여 직경 약 1mm의 스폿 크기를 얻습니다.
6. 그림 12와 같이 감지기 홀더에 미리 장착된 광검출기의 출력 단자를 전기선을 사용하여 멀티미터에 **조심스럽게** 연결합니다. 광 검출기는 저항과 병렬로 연결된 포토다이오드로, 빛을 비추면 포토다이오드에서 생성되는 전류를 저항을 가로지르는 전압을 측정하여 기록할 수 있습니다.

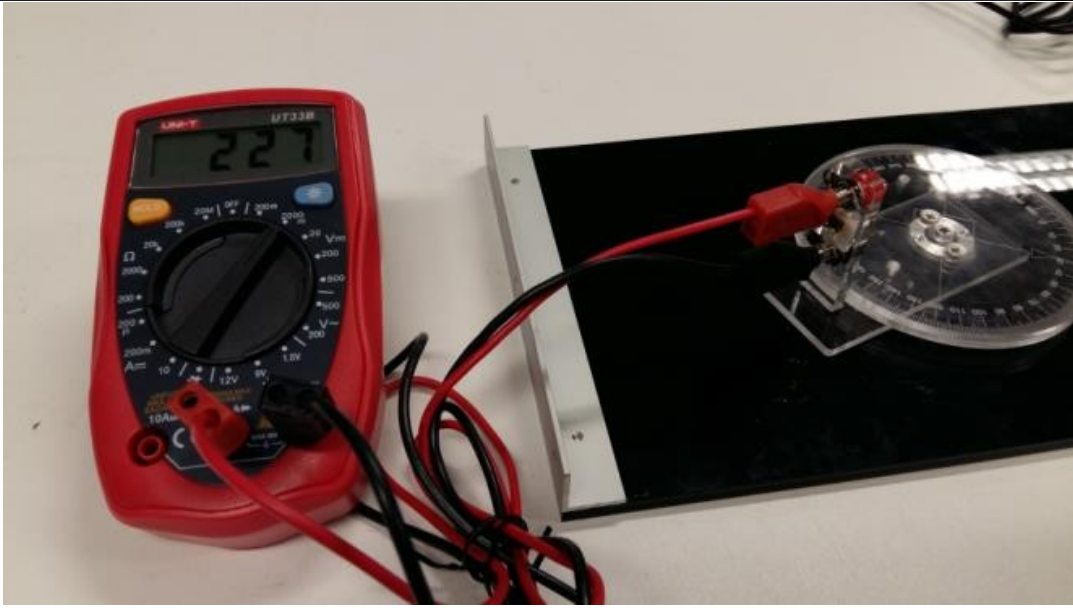


그림 12: 멀티 미터에 연결된 광 검출기

7. 레이저 다이오드의 위치를 조정하여 레이저 빔이 각도 눈금의 0° 표시 위로 수평으로 발사되어 회전 디스크의 중앙을 가로질러 각도 눈금의 180° 표시 위에 위치한 감지기에 직접 닿도록 합니다(그림 13 참조). 멀티미터를 켜서 레이저 빔의 강도(전압 기준)를 모니터링하여 최적의 상태를 얻을 수 있습니다. [참고: 이 단계가 끝나면 레이저 다이오드를 끄는 것을 잊지 마세요!]

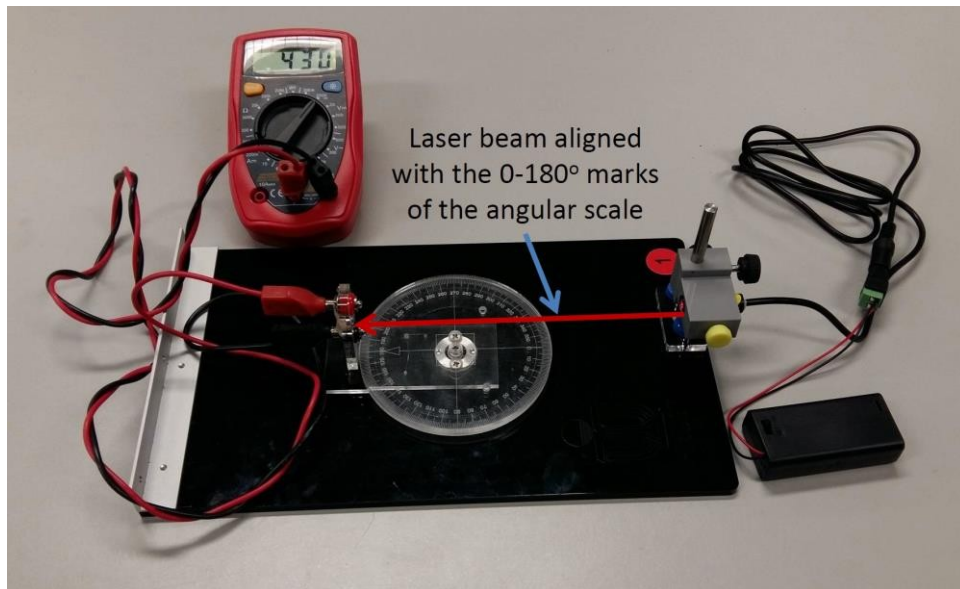


그림 13: 레이저 빔 정렬

8. 그림 14와 같이 흰색으로 덮인 나사를 사용하여 광학 플랫폼의 회전 디스크에 샘플 홀더를 장착합니다.

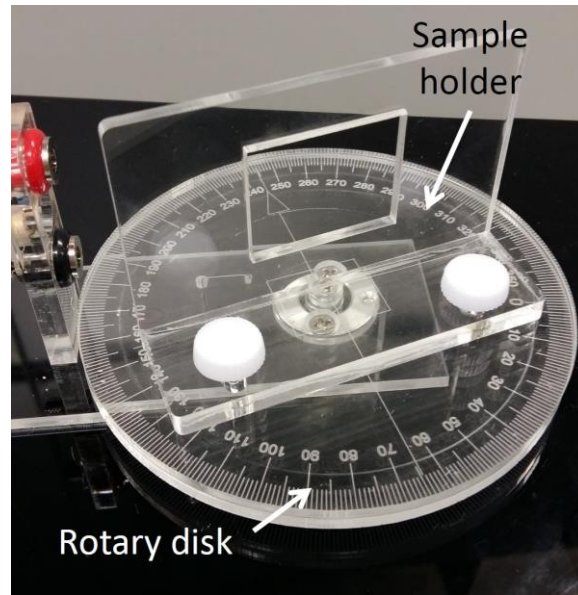


그림 14: 로터리 디스크에 장착된 샘플 홀더

9. 그런 다음 그림 15와 같이 시료의 하단 유리판이 홀더의 벽면에 닿도록 제공된 두 개의 종이 클립을 사용하여 시료 번호(여기서는 #250)가 있는 티타늄 코팅 에탈론을 시료 홀더에 똑바로 세워서 장착합니다.

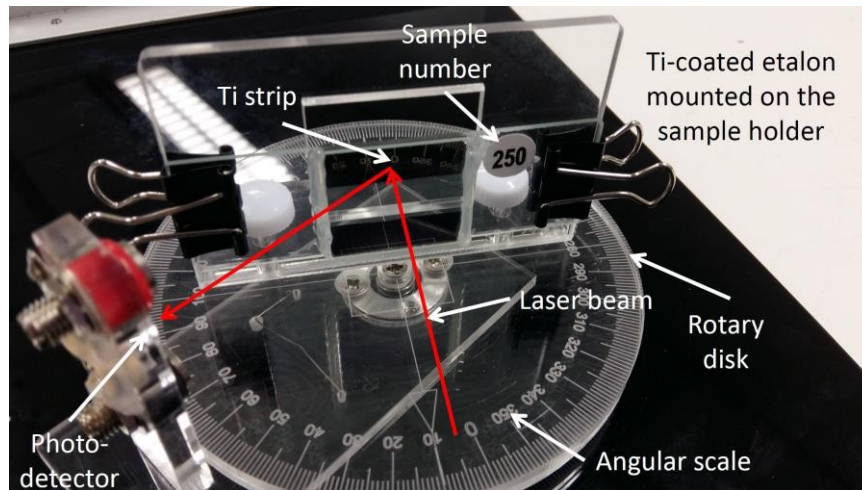


그림 15: 샘플 홀더에 장착된 샘플

10. 레이저 다이오드를 켜고 에탈론의 수직 위치를 조정하여 그림 15와 같이 레이저 빔이 에탈론의 상단 또는 하단 Ti 스트립의 중간 영역에서 발사되어 광 검출기에 반사되도록 합니다. 그런 다음 최대 신호를 위해 광 검출기의 위치를 조정합니다(멀티 미터로 측정된 전압 기준). 또한 Ti 스트립이 회전 디스크와 같은 축으로 회전하도록, 즉 동축이 되도록 흰색으로 덮인 두 개의 나사를 사용하여 샘플 홀더의 위치를 조정해야 합니다.

11. 이제 레이저 빔이 각도 눈금에 표시된 대로 시료 표면의 법선에 대해 입사각 θ 를 이루도록 시료 홀더를 장착된 티타늄 코팅 에탈론과 함께 회전합니다. 그런 다음 광 검출기를 약 2θ 의 각도로 이동하고 멀티미터에서 최대 신호를 얻기 위해 광 검출기의 각도 위치를 조정합니다. 위의 모든 단계/절차를 완료하면 이제 실험을 위한 설정이 준비되었습니다.

참고: 모든 숫자 값과 답은 세 자리 숫자를 포함해야 합니다.

실험

작업	설명	마크
1	가능한 한 많은 강도 피크가 기록되도록 $\theta \sim 4^\circ$ 에서 시작하여 충분히 미세한 각도 단계로 입사각 θ 의 함수로서 전압 측면에서 Ti-코팅된 에탈론의 반사 강도를 측정합니다. 표 E2_1에 데이터를 입력합니다.	1.0
2	시료 홀더에 대한 레이저 빔의 잘못된 정렬과 광학 플랫폼의 각도 눈금에 대한 오차를 줄이려면 먼저 시료를 각도 눈금의 0° 표시의 반대쪽을 돌려서 각도 눈금의 반대쪽에서 각도에 대해 유사한 측정을 수행한 다음 광검출기를 그에 따라 이동하여 반사된 레이저 빔의 세기를 측정합니다. 표 E2_2에 데이터를 입력합니다.	1.0
3	표 E2_1에 기록된 데이터를 사용하여 입사각 θ 의 함수로서 반사 강도를 그래프 용지에 플롯하고 그래프에 '그래프 E2_1'이라는 레이블을 붙입니다. 표 E2_2의 데이터에 대한 유사한 그래프를 다른 그래프 용지에 그리고 그래프에 '그래프 E2_2'라는 레이블을 붙입니다. 그래프 E2_1과 그래프 E2_2의 데이터 포인트에 맞는 부드러운 곡선을 그려서 반사 강도의 변화를 표시합니다.	0.9
4	반사 강도의 피크를 식별하고 입사각이 가장 큰 피크부터 시작하여 그래프 E2_1 및 E2_2에 순차적인 피크 번호로 레이블을 지정합니다.	0.2
5	방정식을 사용하여 $L, \theta, \phi_s, \lambda$ 측면에서 반사 강도 피크의 조건을 도출합니다. (1). 이 조건을 방정식 (2)로 표시합니다.	0.3
6	그래프 E2_1과 E2_2의 반사 강도 피크가 반사 강도 대 $X(\theta)$ 그래프에서 균등한 간격을 갖도록 θ 의 적절한 함수인 $X(\theta)$ 를 새로운 독립 변수로 선택합니다. 그런 다음 $X(\theta)$ 의 해당 값을 계산하고 이를 새 열로 표 E2_1과 E2_2에 삽입합니다.	0.4
7	표 E2_1과 E2_2의 데이터에 대한 피크 수와 해당 입사각으로 구성된 표 E2_3을 작성합니다. 각각 LHS(왼쪽) 및 RHS(오른쪽)의 표기법(예: θ_{LHS} 및 θ_{RHS})으로 레이블을 지정할 수 있습니다. 그런 다음 각각에 대해 일치하는 반사 강도 피크, θ_{LHS} 및 θ_{RHS} 의 평균값을 계산하고 레이블을 지정합니다. 평균을 θ_{avg} 및 $X(\theta_{avg})$ 로 구하고 결과를 표 E2_3에 새 열로 입력합니다. [참고: 표 E2_1과 E2_2의 피크 수치는 다를 수 있습니다. 그래프 E2_1 및 E2_2에서 얻은 해당 피크와 일치하는지 확인합니다.]	0.6
8	별도의 그래프 용지에 그래프를 그려 피크 수와 $X(\theta_{평균})$ 사이의 관계를 표시합니다. 이 그래프에 '그래프 E2_3'이라는 레이블을 붙입니다.	0.6

9	그래프 E2_3의 모든 데이터 요소를 통과하는 직선을 그린 다음 이 선의 기울기와 y -절편값을 구합니다. [참고: 그래픽 접근 방식도 허용되며 오류 분석은 필요하지 않습니다.]	0.4
10	과제 5에서 유도한 방정식 (2)를 다시 작성하여 과제 6에서 얻은 간섭 차수 m 과 함수 $X(\theta_{\text{평균}})$ 의 식을 구합니다. 이 방정식을 방정식 (3a)로 표시합니다. 방정식 (3a)에서 $L, \lambda, \theta_{\text{평균}}$ 의 관점에서 m 의 식을 방정식 (3b)로 적습니다. 따라서 정규화된 반사 위상 $\phi_{s,n} = \phi_s / 2\pi$ 를 L, λ 및 $\theta_{\text{평균}}$ 으로 표현합니다. 이를 방정식 (3c)로 변환합니다. $\phi_{(s,n)}$ 의 범위를 적습니다. 그런 다음 피크를 작업 7에서 얻은 결과에서 추출하여 표 E2_3에 새 열로 삽입합니다.	1.2
11	그래프 E2_3에 m 대 $X(\theta_{\text{평균}})$, 즉 피크 수 대 $X(\theta_{\text{평균}})$ 의 플롯에 대해 동일한 그래프를 그립니다. 이 플롯의 모든 데이터 포인트를 통해 선을 그립니다. 따라서 에탈론의 에어 갭 간격 L 과 Ti의 반사 위상 $\phi_{(s)}$ 를 결정합니다. [참고: 다시 말하지만, 그래픽 솔루션이 허용되며 오류 분석은 필요하지 않습니다.]	1.4

END