제3회 아시아 물리 올림피아드

싱가포르

실험 경연

(실험 경연은 부분 A와 부분 B 두 부분으로 이루어진다)

2002년 5월 10일

부분 A

주어진 시간: 부분 A에 2½시간

먼저 읽으시오

1. 이 실험에서는 실험 결과의 불확도를 나타내지 않아도 된다.

2. 주어진 펜만 쓰시오.

3. 주어진 답안지와 빈 작업지는 앞면만 쓰시오.

4. 답은 주로 식, 수, 그림으로 나타내고 글은 될 수 있는 한 적게 쓰시오. 최종 결과가 수치이면 밑줄을 그으시오.

5. 빈 작업지에는 식의 유도, 측정 데이터, 그리고 문제 풀이에 필요하고 채점받고 싶은 것을 모두 적으시오. 채점받고 싶지 않은 메모용 빈 종이는 종이 전체에 크게 ×표를 하고 번호에 넣지 마시오.

6. 답안지, 작업지, 그래프 용지 맨 위 칸에 이름(Name), 국가(Country), 학생 번호(Student No.)를 반드시 적어야 한다. 또 빈 작업지에는 문제 부분 번호(Question Part No.), 각 종이의 일련번호(Page No.), 쓰고 채점받고 싶은 빈 작업지의 전체 수(Total Pages)를 적으시오.

7. 경연의 첫 절반인 2½시간이 끝나면, 경연의 둘째 부분으로 넘어가기 전에 답안지와 그래프를 순서대로 스테이플러로 묶으시오.

부분 A

반사율 측정과 굴절률 정하기

I. 배경

이 실험의 목적은 편광된 빛의 반사가 각에 따라 어떻게 달라지는지 재고, 반도체 웨이퍼의 굴절률을 정하는 것이다.

빛이 반도체 표면에 닿으면 일부는 반사되고, 일부는 투과되고, 일부는 흡수된다. 반사되는 빛 일률의 상대적인 양을 반사율 R이라 하며, 입사 일률 I_i에 대한 반사 일률 I_r의 비로 정의한다:

$$R = \frac{I_r}{I_i} \qquad (1)$$

입사광은 두 편광 성분으로 나눌 수 있다. 한 성분은 입사면에 평행하게 편광되어 있고(p 편광이라 한다), 다른 성분은 입사면에 수직으로 편광되어 있다(s 편광이라 한다). 이 실험에 쓰는 빨간 레이저 파장에서는 반도체 표면에서의 흡수 효과를 무시할 수 있다. 이 조건에서, 공기에서 물질로 들어가는 빛에 대해 p 성분과 s 성분의 반사율 R_p와 R_s는 각각 프레넬 식으로 주어진다:

$$\pm\sqrt{R_p} = \frac{n\cos\theta_i - \cos\theta_t}{\cos\theta_t + n\cos\theta_i} \qquad (2)$$

$$-\sqrt{R_s} = \frac{\cos\theta_i - n\cos\theta_t}{\cos\theta_i + n\cos\theta_t} \qquad (3)$$

여기서 n은 물질의 굴절률, θ_i는 입사각, θ_r은 반사각, θ_t는 투과각(굴절각)이며, 그림 1과 같다.

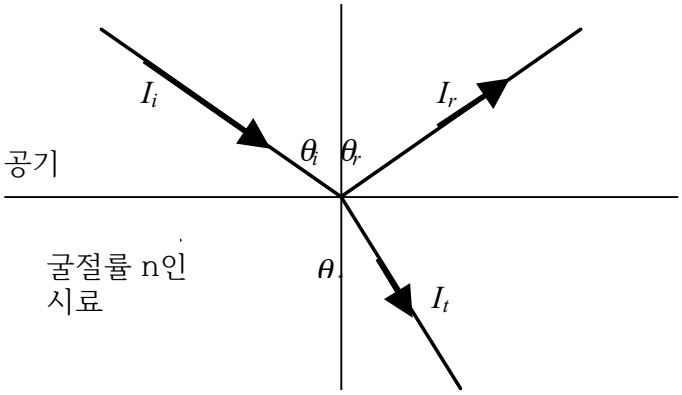


그림 1

θ_i = 0에서 R_s와 R_p를 직접 재는 것은 실제로 불가능하다. 그러나 프레넬 식을 쓰면 어떤 비스듬한 입사각에서 얻은 R_s와 R_p로부터 n을 계산할 수 있다. 측정 장치의 개략도는 아래 그림 2와 같고, 권장하는 장치의 사진은 그림 3과 같다.

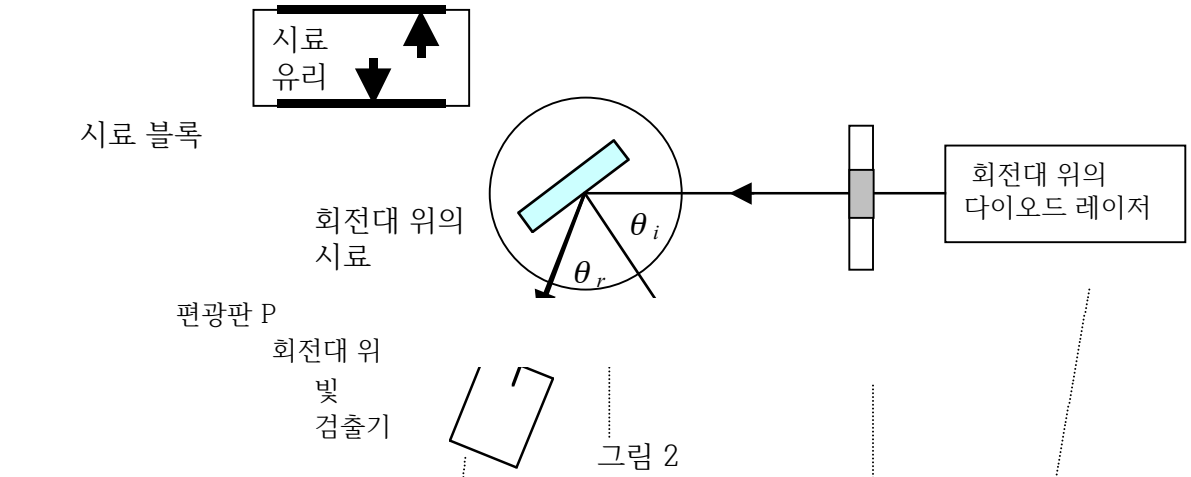


그림 2

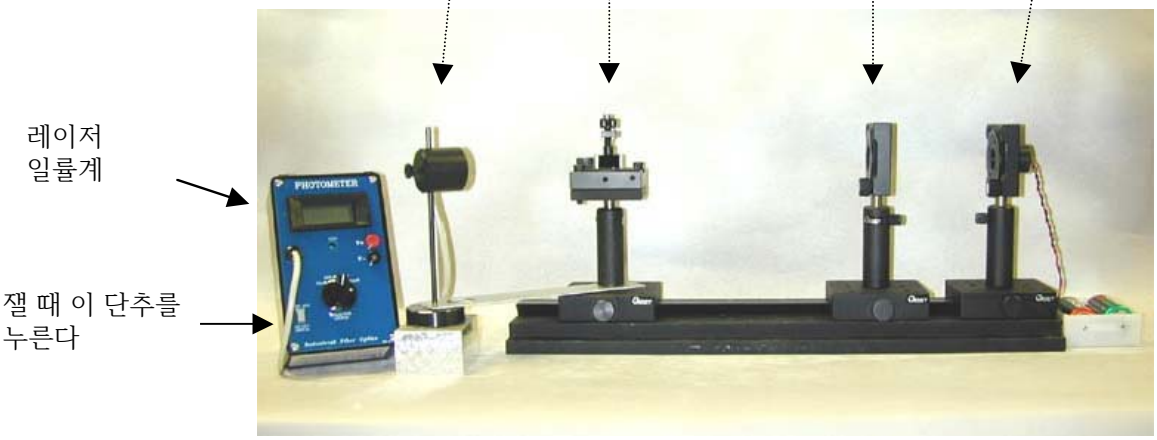


그림 3

주: 각도를 맞추는 기준선은 회전대의 왼쪽 위 모서리에 있다

II. 장비와 재료

(1) 3 V 건전지 전원과 함께 회전대 위에 놓인 다이오드 레이저. 레이저는 파장 650 nm의 빛을 낸다.

주의: 레이저 빛을 들여다보지 마시오
흩어지거나 산란된 레이저 빛을 조심하시오

주어진 휴지로 유리와 시료 표면을 깨끗이 유지하시오

(2) 회전대 위에 놓인 지름 20 mm의 선편광판. (주: 회전대의 0° 눈금은 편광판의 편광축과 아무 관계가 없다.)

(3) 직사각형 시료 블록의 마주 보는 두 면에 붙인 유리판(파장 650 nm의 빛에 대한 굴절률 1.57)과 반도체 웨이퍼.

(4) 시료 블록을 고정하는 집게가 달린 회전 광학대

(5) 시료 둘레로 돌릴 수 있는 받침대에 빛 검출기 머리가 달린 디지털 레이저 일률계.

(6) 광학 레일 하나

(7) 편광판 회전대의 각 눈금에 대한 반사 레이저 일률용 그래프 용지 (2장)

(8) 입사각에 대한 반사율용 그래프 용지 (4장)

(9) 차광판

(10) 손전등과 휘어지는 자

III. 실험과 계산

(1): 입사 레이저 빛의 편광면을 정하시오. (1점)

다이오드 레이저는 650 nm에서 부분적으로 선편광된 빛을 낸다. 측정에서 가장 좋은 결과를 얻으려면 편광판의 편광축을 레이저 빛의 가장 센 선편광 성분에 맞추어야 한다.

R_s나 R_p를 얻으려면, 입사면에 평행하거나 수직으로 편광된 빛을 만들도록 편광판의 편광축 방향을 정해야 한다. 편광판의 편광축은 굴절률을 아는(1.57) 유리 시료에서 반사된 레이저 일률로 알아낼 수 있다.

광학계를 될 수 있는 한 정확히 정렬한 뒤,

a) 편광판이 레이저 빛의 가장 센 선편광 성분에 맞추어지도록 다이오드 레이저와 편광판의 상대 방향(다이오드 레이저 회전대와 편광판 회전대의 각 눈금 차이, 도 단위)을 정하시오. 이어지는 측정에서는 편광판과 광원을 한 계로 여기고, 필요하면 둘을 함께 돌리시오.

b) 유리 시료를 브루스터 입사각으로 회전대에 놓으시오. 편광판의 각 눈금(도)에 대한 반사 레이저 일률을 재고 그래프로 그리시오. 이로부터 편광판의 편광축 방향을 정하시오.

주: 읽을 때마다 레이저 일률계의 단추(그림 3에 표시)를 눌러야 한다.

(2): 반도체 웨이퍼의 반사율 R_p와 R_s를 재시오 (5점)

반도체 웨이퍼의 반사면이 입사광의 경로 위에서 연직축 둘레로 돌 수 있도록 시료 블록을 회전대에 놓으시오.

광학계를 될 수 있는 한 정확히 정렬한 뒤,

a) 반도체 웨이퍼에 들어가는 빛이 입사면에 평행하게 편광되도록 입사광의 방향을 맞추시오.

반사 레이저 일률을 재고, 실험 장치가 허락하는 가장 넓은 입사각 범위에서 입사각의 함수로 R_p 값을 그래프로 그리시오.

b) 반도체 웨이퍼에 들어가는 빛이 입사면에 수직으로 편광되도록 입사광의 방향을 바꾸시오.

반사 레이저 일률을 재고, 실험 장치가 허락하는 가장 넓은 입사각 범위에서 입사각의 함수로 R_s 값을 그래프로 그리시오.

(3): 반도체 웨이퍼의 굴절률을 계산하시오 (4점)

(a) 프레넬 식으로부터 다음을 보이시오: n= $\sqrt{\frac{\left(1 \pm \sqrt{R_p}\right)\left(1 + \sqrt{R_s}\right)}{\left(1 \mp \sqrt{R_p}\right)\left(1 - \sqrt{R_s}\right)}}$

그래프 등을 써서 다음 부호가 양과 음이 되는 입사각의 범위를 정하시오.

부호: $\pm\sqrt{R_p}$ 의 양·음.

(b) (2)에서 얻은 그래프로 입사각 20˚, 30˚, 40˚, 50˚, 60˚, 80˚에서 R_p와 R_s 값 여섯 쌍을 얻으시오.

이 여섯 쌍으로 반도체 웨이퍼의 굴절률 n 값 여섯 개를 계산하시오. n의 평균값을 구하고 표준 편차를 어림하시오.

(c) (2)에서 얻은 그래프로 외삽하여 수직 입사에서의 R_s와 R_p를 정하시오. 이 외삽 결과로부터 반도체 웨이퍼의 평균 굴절률 n을 계산하시오.