

## 교류열량계 제작 및 ZnS 광학박막이 증착된 유리기판의 열확산도 측정\*

김석원 · 김형근 · 박병복 · 한성홍

울산대학교 물리학과

성 대 진

한국표준과학연구원 양자연구부

(1995년 12월 15일 받음)

광학박막의 미세구조가 그것이 증착된 유리기판의 열확산도에 미치는 영향을 조사하기 위하여, Ar-ion 레이저를 광원으로 하는 교류열량계를 직접 제작하여 광학박막으로 널리 쓰이는 ZnS박막의 증착속도를 각각  $5 \text{ \AA/s}$ ,  $10 \text{ \AA/s}$ ,  $20 \text{ \AA/s}$ ,  $40 \text{ \AA/s}$  및  $60 \text{ \AA/s}$ 로 하여 유리기판 위에 제작한 후 시편의 면에 평행한 방향의 열확산도를 측정된 결과 시편의 온도가 증가할수록 열확산도는 감소하였고 증착속도가  $20 \text{ \AA/s}$ 일 때 열확산도가 가장 크며 증착속도에 따라 최대 약 27%의 차이를 나타내었다.

### I. 서 론

지금까지는 박막에 대한 국내외의 연구가 주로 박막의 구조, 기계적·화학적 성질에 국한되었지만 자동차, 항공·우주 및 마이크로 전자공학 등 소위 첨단 산업이 본격화되면서 박막의 열적성질에 대한 연구의 필요성이 대두되게 되었다.<sup>[1,2]</sup> 특히 광기록매체와 자기기록매체의 장점을 이용한 광자기박막(magneto-optic film) 물질은 박막의 상전이를 이용하여 정보의 저장 및 판독을 수행하므로 기록밀도를 높이기 위해서는 열적성질에 관련된 연구가 필수적이다.<sup>[3,4]</sup> 박막은 성장조건에 따라 그 미세구조가 크게 달라지므로<sup>[5]</sup> 박막의 열적특성 또한 성장조건에 절대적으로 지배되며 이에 대한 연구는 효율적인 냉각을 요하는 고출력 레이저반사경 등 내열용 광학박막 제작에 필수적이라 할 수 있다. 그러나 광학박막의 경우 그 두께가 수  $\mu\text{m}$  이하로 매우 얇아서 기판에서 분리한 자유상태(free standing)에서 측정하기는 불가능하므로 본 연구에서는 박막의 미세구조 변화가 그것이 증착된 기판의 열확산도에 미치는 영향을 조사

하기 위하여 교류 열량계(ac calorimeter)를 제작하고 광학박막중 가장 널리 쓰이는 물질중의 하나인 ZnS박막<sup>[6,8]</sup>의 증착속도를 변화시키며 박막의 미세구조변화를 유도하여 증착속도에 따른 박막시편의 면방향에 대한 열확산도를 측정하였다.

교류열량계를 사용하여 열물성을 측정하는 방법은 1962년 Kraftmakher가 1500~3000 K의 온도에서 금속의 열용량을 측정된 것을 효시로<sup>[9]</sup>, 60년대 중반 P. Sullivan과 G. Seidel이 기틀을 확립하고<sup>[10]</sup>, 이후 최근까지 여러 형태로 변형된 교류열량계가 비열, 열용량, 열확산도 등과 같은 열물성을 측정하는데 사용되고 있다.<sup>[11-13]</sup>

교류 열량계법으로 열확산도를 측정하는 경우에는 다양한 물질들의 열확산도를 결정할 수 있기 때문에 막대 혹은 평판모양의 시료에 대해서도 측정할 수가 있다. 막대의 경우는 다른 두 지점에서 교류온도가 측정되고 두 지점의 교류온도가 떨어지는 것으로 열확산도를 결정할 수 있으며, 빛이 평판에 수직 방향으로 조사되는 것을 측정하여 평판의 열확산도도 결정할 수 있다. 이러한 교류열량계를 사용하면 가혹한 실험조건에 거의 영향을 받지 않으며 열확산도가 높거나( $2 \text{ cm}^2/\text{s}$  이상) 낮은물질( $0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$  이하)의 측정도 가능하며 여러 층으로 구성된 물질의 열확산도도 측정할 수 있으므로 박막의 열특성연구에 다양한 응용을 할 수 있다.

\*이 연구는 94년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임.

\*과제번호 : 941-0200-016-2

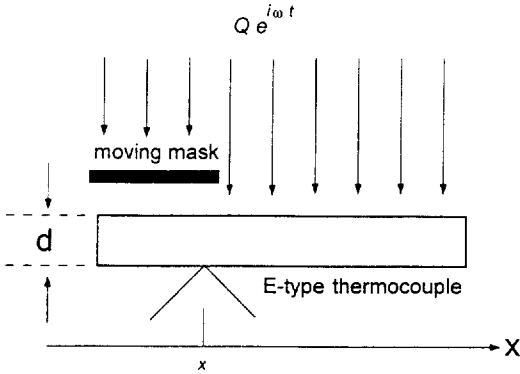


그림 1. 교류열량계를 이용한 박막시편의 측정 단면도.

## II. 이 론

### 2.1 교류열량계<sup>[12]</sup>

그림 1과 같이 두께  $d$ 인 얇은 박판 위에  $x=0$ 인  $y$ 축을 경계로 반평면의 빛가리개(mask)가 놓여있고 그 위에 단위면적, 단위시간당 교류열류  $Qe^{i\omega t}$ 가 시편 및 빛가리개 표면에 균일하게 照射된다고 하자. 열전달 이론에서 열 확산 파수(wave number)를  $k$ , 열확산도를  $a$ 라 하면 이들의 관계는

$$k \equiv \sqrt{\frac{\pi t}{a}} \quad (1)$$

로 정의되어 진다. 여기서  $f \left( \equiv \frac{\omega}{2\pi} \right)$ 는 chopping frequency이다. 또한 시편의 두께가 열확산파장  $\left( \lambda = \frac{2\pi}{k} \right)$ 보다 훨씬 짧아서 ( $d \ll \lambda$ ) 표면과 이면의 온도가 동일하게 될때까지의 시간, 즉 내부(열)완화시간  $\tau \left( \equiv \frac{d^2}{2a} \right)$ 가 매우 짧다고 하면

$$\omega \tau \ll 1 \quad (2)$$

으로 표현할 수 있는 조건이 만족되므로 이 계는 단순히 1차원으로 생각할 수 있다. 이때 빛가리개의 끝단으로부터  $x$ 만큼 떨어져 측정되는 시료의 절대온도를  $T(x)$ 라 하면 시료의 열전달 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$cd \frac{\partial T}{\partial t} + \delta T - \chi d \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = Q(x, t) \quad (3)$$

$$Q(x, t) = 0 \quad x > 0$$

$$Q(x, t) = Qe^{i\omega t} \quad z \geq 0.$$

여기서  $c$ 는 비열,  $d$ 는 시료의 두께,  $\chi$ 는 시료의 열전

도도로서  $\chi = c\rho a = c$  ( $\rho$ 는 시료의 밀도)이며  $\delta$ 는 시료와 주변 열조 사이의 단위면적당 열전도도로서 시편이 진공속에 있고 가는 열전대가 부착되어 있을 경우에 대류에 의한 영향 및 열전대에 의한 전도는 무시할 수 있을 정도로 작아서 시편표면의 복사(radiation)에 의한 전도만 주로 고려된다.

위 식의 해는 다음과 같다.

$$T(x) = \frac{Q}{2(i\omega cd + \delta)} \exp\left(-\sqrt{\frac{i\omega cd + \delta}{kd}} x\right) \quad \text{for } x > 0 \quad (4)$$

$$T(x) = \frac{Q}{i\omega cd + \delta} - \frac{Q}{2(i\omega cd + \delta)} \exp\left(\sqrt{\frac{i\omega cd + \delta}{kd}} x\right) \quad \text{for } x \leq 0 \quad (5)$$

여기서  $\tau$ 를 시료의 온도가 주변의 온도와 같아지는 시간 (외부 완화시간)이라고 정의하면

$$\tau = \frac{cd}{\delta} \quad (6)$$

으로 쓸 수 있으며 (4)식은

$$T(x) = \frac{Q}{2i\omega cd \left(1 - i \frac{1}{\omega \tau}\right)} \exp\left(-\sqrt{\frac{i\omega}{a} \left(1 - i \frac{1}{\omega \tau}\right)} x\right) \quad (7)$$

으로 쓸 수가 있다. 만약  $\omega \tau \ll 1$ 이며 (2)식을 만족하여 측정주파수의 범위가

$$\tau^{-1} \ll f \ll \tau^{-1} \quad (8)$$

를 만족한다면 (7)식은 간단히

$$T(x) = \frac{Q}{2\omega cd} \exp\left\{-kx - i\left(kx + \frac{\pi}{2}\right)\right\} \quad (9)$$

으로 표현된다. 따라서 이러한 온도신호의 크기(amplitude)를 측정함으로써 열확산 파수  $k$ 를

$$k = \frac{\ln|T(x + \Delta x)| - \ln|T(x)|}{\Delta x} \quad (10)$$

로부터 측정할 수 있고 이로부터 (1)식에 의해 시편의 열확산도를 구할 수 있다.

## III. 교류열량계의 제작

### 3.1 전체구성

본 연구에서 제작, 구성한 교류열량계는 그림 2와 같다.

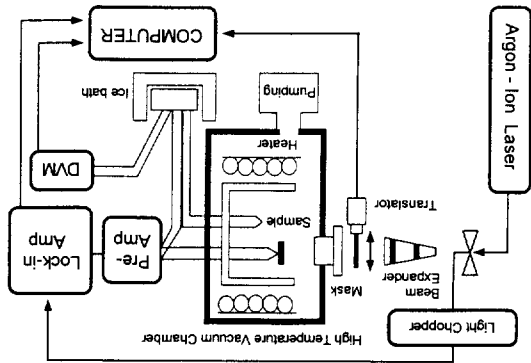


그림 2. 교류열량계를 이용한 박막의 열확산도 측정시스템.

열원인 Ar-ion 레이저에서 나온 TEM<sub>00</sub> 모드 광속은 light chopper에서 chopping되고 광속확대기를 거쳐서 구리로 만든 시편홀더 내부에 장착된 시편의 표면에 입사하게 되고 이때 대략 레이저광속의 직경은 10 mm이며 파워는 100 mW 정도 이며 translator에 의해서 움직이는 빔가리개에 의해서 일부분이 가리워지게 된다. 측정시편의 크기는 대략 5×10 mm<sup>2</sup>이며 광이 입사되는 시편의 앞면은 그파라이트의 일종인 DGF(dry graphite film)를 두께가 0.1 μm 이하가 되게 가능한 얇게 뿌려서 박막계의 열적성질에 미치는 영향을 최소화하고 입사에너지가 시편전면에 고르게 반사없이 많이 흡수되도록 한다. 시편홀더는 진공조 속에 장착되고 입사광원이 시편에 입사되도록 quartz window가 전면에 마련되어 있다.

### 3.2 시편홀더

시편은 주변과의 열적접촉을 피하기 위해서 가는 열전대를 사용하여 시편에 부착시켜 공간에 띄워 놓아야 한다. 특히 시편과 열조사이는 열적으로는 연결이 되어 있으면서 열적 저항은 커야 하므로 가능한 한 가는 열전대를 써야 한다. 그러나 시편이 균일하게 가열 및 감열되려면 시편의 면방향으로의 열전달이 원활하여 시편 전체의 진동온도(AC signal)가 lock-in amp로 읽는 AC 신호이어야 하므로 시편과 열조사이의 열전달이 주위의 불활성기체에 의해서 원활히 되도록 해야 한다.

시편홀더는 thermal mass가 어느정도 커서 외부 혹은 heater의 갑작스런 온도변화에 대해 완충역할을 해주면서 시편 주위에 불활성기체의 대류에 의한 열전달을 없애기 위하여 시편을 둘러싸는 캡슐형으로 만들었다. 직경이 3 cm, 길이가 4 cm, 두께가 2 mm인 원통형 구리에 원반형 구리판의 중심에서 1 cm 정도 떨어져 90도

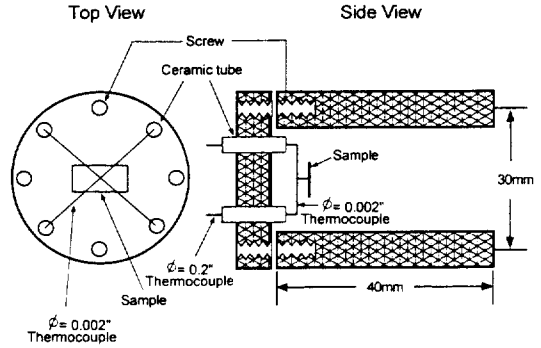


그림 3. 설계된 시편홀더의 평면도 및 정면도.

간격으로 4개의 구멍을 뚫고 세라믹 튜브를 넣어서 열전대가 들어가도록 하여 세라믹 paste로 고정시킨다. 이 원반형 구리판은 시편을 부착시킨 후 구리캡슐에 열적 연결이 잘 되도록 4개의 나사로 고정하였다. 온도센서로는 직경이 0.002 inch인 E-type (chromel-constantan) 열전대를 십자형으로 시편의 중심부에서 silver paste로 부착하고 세라믹 튜브 내부로 관통시켜 내부의 시편 연결부분에서 connetcor까지 25 cm 정도로 하여 역시 세라믹 paste로 고정시킨다. 이때 1쌍의 열전대는 시편의 온도를 측정하는데 사용되고 나머지 1쌍은 교류신호를 측정하기 위해서 lock-in amp에 연결된다. Lock-in amp에서 측정된 신호의 크기 및 위상은 컴퓨터에 전송되어 메모리에 저장된 후에 해석 되어진다.

이 시편홀더는 시편의 전체 분위기온도를 안정하게 해 주는 일종의 열조역할을 하게 되며 온도상승, 강하를 위해서 quartz tube(직경 36 mm)주위에 칸탈 wire를 감아서 전체저항이 약 27 Ω 정도가 되도록 만들고 programmable 전원 공급장치로 온도를 미세조절 하였다. 그림 3은 시편홀더인 원판과 원통형 구리블록의 design이다.

## IV. 시편제작 및 실험

구성된 교류열량계의 성능을 검증하기 위하여 두께 125 μm, 길이 10 mm, 폭 5 mm, 순도 99.99%인 니켈박판의 열확산도를 상온에서 약 750 K 온도 범위에서 측정해 보았다. 레이저빔을 시편에 조사하면서 RS232C로 연결된 translator 콘트롤러에 부착된 빔 가리개가 속도 2.5 μm/s로 움직이게 하고 진공조 내부에 argon 가스를 주입하면서 lock-in amp로 열전대 신호의 크기와 위상을 측정하고 GP-IB를 이용하여 컴퓨터에 저장한 후 해석

하였다. 이때 chopping 주파수는 식 (8)을 만족하는 범위 내에 있는 4 Hz로 하였다.

측정에 사용된 박막시편을 다음 순서에 의해서 제작하였다.

(1) 두께 0.1 mm인 유리기판(현미경 cover glass)을  $5 \times 10$  mm 크기로 절단하고,  $K_2Cr_2O_7$  용액에 담가서 30분 가량 초음파세척기로 세척한다. 이어서 측정하려는 ZnS박막의 미세구조 변화를 유도하기 위하여 ZnS박막을 진공증착기에서 증착 속도를 각각  $5 \text{ \AA/s}$ ,  $10 \text{ \AA/s}$ ,  $20 \text{ \AA/s}$ ,  $40 \text{ \AA/s}$ , 그리고  $60 \text{ \AA/s}$ 로 달리하며 두께가 약  $2 \mu\text{m}$ 이 되게 thermal evaporation 법으로 증착시킨다. 이때의 진공도는 약  $10^{-6}$  torr이며 기판의 온도는  $200^\circ\text{C}$ 로 유지시킨다. (증착속도 외의 모든 조건은 각 시편에 대해 동일하게 유지되도록 한다.)

(2) 열전대(E-type, chromel-constantan)를 십자형으로 하여 그 부분을 silver paste로 시편표면에 고정시킨다. 상온에서 대략 30분 지나면 silver paste는 굳어진다. (급속시편은 spot-welding을 한다.)

앞서 측정한 니켈박판의 경우와 동일한 방법으로 온도를 조절하며 박막이 증착된 유리기판의 열확산도를 측정하였다.

### V. 실험결과 및 논의

그림 4는 니켈시편의 이동에 따른 열전대신호의 변화를 측정하여 chopping frequency가 4 Hz일 때 빛가리개의 이동거리에 따라 측정되어진 시편의 온도에 자연로그를 취한 곡선을 나타낸 것이다. 열확산도를 구하기 위해서는 두 지점간의 거리차와 온도함수의 차만 알면 되므로 그림에서  $\ln T(x)$ 는 측정된 열전대신호의 크기에 자연대수를 취한 것으로 그 단위는 임의의 단위(arb. units)이다(실제 온도상승은  $10^\circ\text{C}$  내외임.) 곡선들이 직선을 이루는 구간을 추출하여 식 (10)에 따라 fitting하여 기울기  $k$ 를 구하고 이로부터 식 (1)에 의해서 니켈박판의 열확산도  $\alpha$ 를 구하게 된다. 각 온도에서 열확산도를 구한 결과를 TPRC의 추천값(recommended value)<sup>[14]</sup>과 같이 그림 5에 나타내었다. 추천값과 비교하여 전 온도범위에서 5% 이내에 있음을 확인하였으며 이로부터 본 장치의 신뢰도는 양호한 것으로 판단하였다. 특히 니켈의 상전이 온도인 631 K 부근<sup>[14]</sup>에서 열확산도가 최저치를 나타내고 있는 것으로 미루어 교류열량계가 상전이연구에도 유용한 장치로 사용될 수 있음을 알 수 있다.

엄밀히 말해서 식 (10)은 니켈박판과 같은 얇고 균질한 시편에 적용하기 위한 식이지만 본 연구에서 측정한

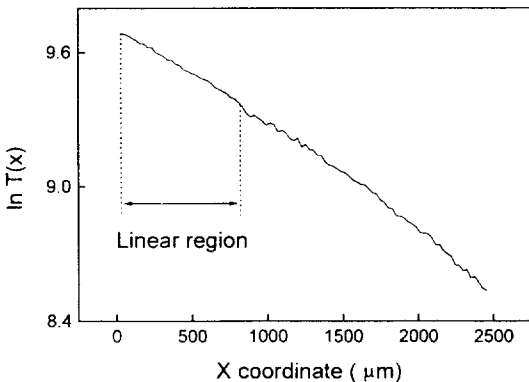


그림 4. 니켈시편에서 빛가리개의 이동에 따라 측정된  $\ln T(x)$  값의 변화.

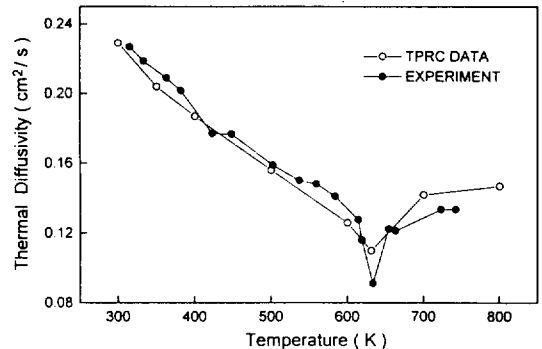


그림 5. 온도에 따른 니켈박판의 열확산도 측정값과 TPRC의 추천값과의 비교.

표 1. 순수한 유리기판의 열확산도 및 박막의 증착속도와 온도에 따라 측정된 유리기판의 열확산도(단위 :  $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )

온도	증착속도					
	순수유리기판	$5 \text{ \AA/s}$	$10 \text{ \AA/s}$	$20 \text{ \AA/s}$	$40 \text{ \AA/s}$	$60 \text{ \AA/s}$
$25^\circ\text{C}$	9.594	8.484	8.652	9.385	6.834	6.607
$100^\circ\text{C}$	8.260	5.984	6.518	6.936	5.509	5.866
$200^\circ\text{C}$	8.350	5.704	6.319	6.268	5.248	5.304

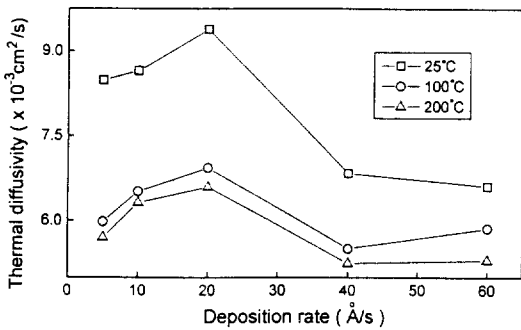


그림 6. ZnS이 증착된 유리기판의 온도와 박막증착속도에 따른 열확산도 측정값.

박막이 증착된 시편의 경우 유리기판과 증착된 박막의 열확산도의 차이가 크지 않다고 가정하면<sup>[15,16]</sup>, chopping된 레이저광속에 의한 두 물질내부에서의 온도진폭이 같다고 볼 수 있으므로<sup>[17]</sup> 식 (10)을 무리없이 적용할 수 있다.

표 1은 증착속도를 달리하여 제작한 각 시편들과 박막이 증착되지 않은 순수 유리기판의 온도를 상온, 100°C, 200°C로 각각 변화시키며 열확산도를 5회 측정하여 평균치를 기록한 것이다. 보다 높은 온도까지 실험을 시도해 보았지만 시편의 온도가 250°C 이상이 되면 박막이 들뜨게 되어 측정이 불가능하게 됨에 따라 200°C까지 온도를 올리며 열확산도 측정을 수행하였다. 같은 온도에서 순수 유리기판의 열확산도에 비해서 ZnS박막이 증착된 유리기판의 열확산도가 대체로 작은 값을 보이고 있어서 증착된 박막의 효과가 기판의 열적특성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 표 1을 도표로 나타낸 것인데 온도가 증가함에 따라서 열확산도는 일반적인 경향과 같이 감소하는 형태를 보여주고 있다. 증착속도에 따라서는 측정온도에 상관없이 5 Å/s에서 시작하여 증가하여 20 Å/s에서 최대치를 보이고 그 뒤로는 증착속도의 증가에 따라 오히려 감소하는 경향을 보이고 있으며 증착속도에 따라 열확산도 값이 최대 약 27%의 차이를 보이고 있다. 이것은 처음에 증착속도가 작을 때에는 박막의 미세구조의 입도 (grain size)가 크게 형성이 되다가 증착속도가 어느정도 증가하면서 입도가 작아지며 촘촘한 경향을 보이다가 증착속도가 더 커지면 다시 기공률 (porosity)이 커져서 열확산도가 다시 작아지는 것으로 풀이할 수 있다.

그림 7은 박막의 증착속도에 따라 달라진 시편의 단면을 전자현미경(SEM)으로 사진 찍은 것의 일부분으로서 (a) 증착속도 10 Å/s, (b) 증착속도 20 Å/s, (c) 증착속도 60 Å/s 인 시편의 사진이다. 증착속도에 따라

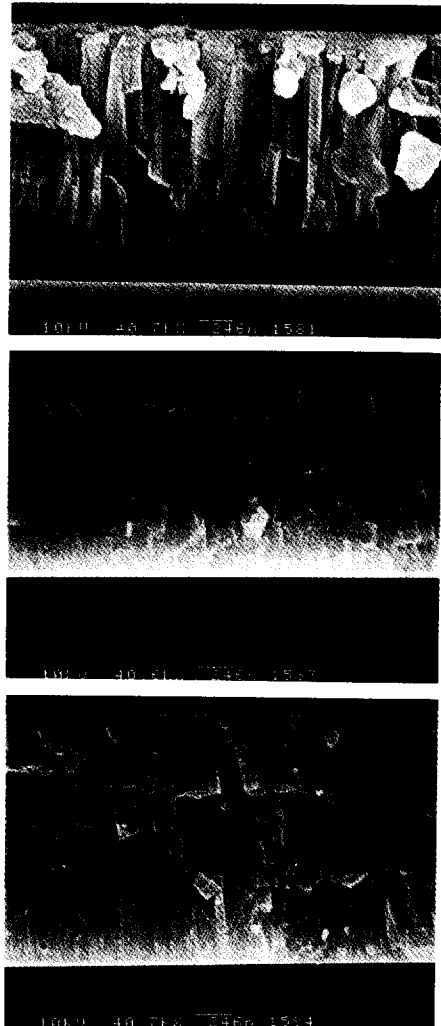


그림 7. ZnS가 증착된 측정시편의 전자현미경(SEM) 단면사진.

(a) 증착속도 10 Å/s, (b) 증착속도 20 Å/s, (c) 증착속도 60 Å/s

입도가 변하는 것을 확인할 수 있다.

현재까지 ZnS 박막을 포함한 광학박막 및 그것이 증착된 유리기판의 열확산도에 관한 연구결과는 보고된 바가 없으며 보다 다양한 박막물질이나 박막성장 상태에 관한 정량적인 조사를 위해서는 장기적으로 많은 종류의 박막시편들을 많이 측정해야 할 것이라 생각된다. 특히 박막의 굴절률을 측정하고 이를 이용하여 porosity를 계산하여 전자현미경 사진인 미세구조와의 상관관계를 정량적으로 밝히는 것도 시도해야 할 것이라 생각된다. 앞서 언급하였듯이 광학박막은 얇고 부서지기 쉬우므로 free standing한 상태에서 측정하기는 불가능하다.

그러나 실제로 유리에 증착된 상태에서 사용되므로 본 실험결과는 의미가 있는 것이라 생각된다.

일반적으로 다층 광학박막이 사용되는 경우는 고반사율을 얻기위한 레이저 미러 혹은 edge filter 등이다. 따라서 레이저출력이 높아지는 경우에는 발생하는 열이 거울에 미치는 손상을 방지하기 위해서는 열확산도가 커야하며 본 연구의 결과를 고려하면 가능한 한 ZnS박막의 증착속도가 20 Å/s 부근이어야 되며 시편의 온도가 낮을수록 열확산도가 크므로 레이저미러의 온도는 항상 냉각되어 상온을 유지하도록 하는 것이 바람직 하다.

## VI. 결 론

Ar-ion 레이저를 광원으로 하고 고온에서 박막의 열적성질을 측정하기 위한 교류열량계를 직접 제작하고 니켈박판의 열확산도를 측정한 결과 5% 이내의 신뢰도를 확인할 수 있었다. 그리고 박막의 미세구조와 열확산도와의 상관관계를 알아보기 위하여 광학용 박막으로 널리 쓰이는 ZnS박막의 증착속도를 여러 가지로 다르게 하여 유리기판위에 제작한 후 시료의 면에 평행한 방향의 열확산도를 측정한 결과 박막의 증착속도가 증가함에 따라 시편 전체의 열확산도도 증가하다가 증착속도가 20 Å/s 일때 최대치를 보이고 다시 감소함을 볼 수 있었다.

광학박막은 얇고 부스러지기 쉬우므로 free standing한 상태에서 측정하기는 불가능하므로 본 연구에서는 광학박막이 얇은 유리기판의 열확산도를 측정한 것이다. 그러나 실제로 유리기판에 증착되어서 사용되므로 본 실험결과는 의미가 있는 것이라 생각된다. 앞으로 다른 박막물질들이나 다층 광학박막이 증착된 시편의 열확산도를 측정하기 위한 연구, 박막증착시의 기판온도 등 증착속도 외의 요인이 박막의 열적성질에 미치는 영향 그리고 박막의 굴절률을 측정하고 이를 이용하여 porosity를 계산하여 전자현미경 사진인 미세구조와의 상관관계를 정량적으로 밝히는 연구도 시도해야 할 것이라 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Nagashima 외 20인 熱物性値 測定法(養賢堂, 東京, 1991) pp. 166-175.
- [2] 문한규 외 신소재특성평가 기술개발 조사연구(한국표준연구소 연구보고서, KSRI-89-29-IR, 대전, 1989).
- [3] T. Ozawa and H. Tsukada, *Netsu Bussei* **4**, 128 (1990).
- [4] B. J. Bartholomeuz, *J. Appl. Phys.* **65**, 262(1989).
- [5] K. H. Guenther, *Appl. Opt.* **23**, 3806 (1984).
- [6] 백응기, 이상수, *새물리* **16**, 175 (1976).
- [7] 이영재, 김웅, 최상삼, *새물리* **21**, 232 (1981).
- [8] 김석원, 한성홍, 이상수, *새물리*, **25**, 78 (1985).
- [9] K. D. Maglic, A. Cezairliyan, and V. E. Peletsky, *Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods* 1(Plenum Press, New York, 1984) pp. 591-634.
- [10] P. F. Sullivan and G. Seidel, *Phys. Rev.* **173**, 679 (1968).
- [11] M. B. Salamon, P. R. Garnier, B. Golding, and E. Buehler, *J. Phys. Chem. Solids* **35**, 851 (1974).
- [12] I. Hatta, Y. Sasuga, R. Kato, and A. Maesono, *Rev. Sci. Instrum.* **56**, 1643 (1985).
- [13] I. Hatta, R. Kato, and A. Maesono, *Jpn. J. Appl. Phys.* **26**, 475 (1987).
- [14] Y. S. Touloukian, *Thermal Diffusivity*(IFI/Plenum, New York, 1973).
- [15] R. T. Swimm, *Appl. Phys. Lett.* **42**, 955 (1983).
- [16] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 2nd ed.(John Wiley & Sons, New York, 1985).
- [17] H. J. Lee, Ph. D. Mechanical Engineering Dissertation(University of Purdue, West Lafayette, Indiana, 1975) Chapter 2.

**Construction of AC Calorimeter and Measurement of  
Thermal Diffusivity of Glass Substrate Coated  
by ZnS Optical Thin Films**

S. W. Kim, H. K. Kim, B. R. Park and S. H. Hahn  
*Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea*

D. J. Seong  
*Division of Quantum Metrology, KRISS, Taejon 305-600, Korea*

(Received: December 15, 1995)

For the investigation of the influence of microstructure of optical thin films on the in-plane thermal diffusivity of glass substrate coated by that films, we constructed the AC calorimeter which uses argon-ion laser as a thermal source and measured several kinds of ZnS optical thin films which prepared by the changing of thermal evaporation speed such as 5 Å/s, 10 Å/s, 20 Å/s, 40 Å/s, 60 Å/s. The result showed that the thermal diffusivity decreases as the temperature increases. Also, when the evaporation speed is 20 Å/s, the thermal diffusivity has maximum value, and the variation of the thermal diffusivities are 27% at maximum.