

## 반도체재료의 빛흡수에 기초한 용액온도의 한가지 측정방법

김호진, 리경준

용액의 온도는 농도와 함께 용액을 다루는 식료공업과 화학공업, 의학, 양어 등에서 중요한 파라미터의 하나이다.

빛의 굴절효과에 기초한 용액의 농도측정에서는 굴절률이 온도에 관계되는것으로 하여 온도변화가 측정오차에 주는 주되는 요인의 하나로 된다.[1, 2] 그러므로 이러한 빛굴절 농도계에서 용액의 농도를 정확히 측정하자면 온도의 영향을 고려하여야 한다.

한편 반도체재료들은 그것이 나타내는 빛 흡수효과에 기초하여 압력이나 온도의 측정에 널리 리용되고있다.[3]

우리는 반도체재료의 빛 흡수효과를 리용하여 용액의 온도를 측정하는 한가지 방법을 제기하였다.

### 1. 이론적기초

반도체재료의 빛 흡수계수는 온도에 관계되므로 반도체재료를 투과하는 빛의 세기는 온도에 따라 변하게 된다.

일정한 두께의 반도체재료에서 투과되는 빛의 세기는 빛의 흡수법칙에 따라 다음식으로 표시된다.

$$I(l, T) = I_0(1 - R)\exp(-\alpha(T)l) \quad (1)$$

여기서  $I_0$ 은 입사빛의 세기,  $l$ 은 반도체재료의 두께,  $\alpha(T)$ 는 온도가  $T$ 일 때의 흡수계수,  $R$ 는 반사계수이다.

GaAs결정과 같은 반도체재료의 흡수계수는 다음의 식으로 표시된다.

$$\alpha(T) = A[h\nu - E_g(T)]^{1/2} \quad (2)$$

여기서  $A$ 는 재료상수,  $E_g(T)$ 는 온도  $T$ 에 관계되는 에너지기띠틈너비,  $h$ 는 플랑크상수,  $\nu$ 는 빛의 진동수이다.

한편 반도체재료에서 에너지기띠틈너비  $E_g(T)$ 는 다음의 식으로 표시된다.

$$E_g(T) = E_g(0) - \gamma T^2 / (\beta + T) \quad (3)$$

여기서  $E_g(0)$ 은 온도 0K에서 띠틈너비,  $\gamma$ 와  $\beta$ 는 실험적으로 결정되는 상수들이다.

식 (3)에 의하면 반도체재료에서 흡수띠의 경계파장은 다음의 식으로 표시할수 있다.

$$\gamma_g(T) = \frac{hc}{E_g(T)} = \frac{hc}{E_g(0) - \gamma T^2 / (\beta + T)} \quad (4)$$

여기서  $c$  는 빛속도이다.

그리고 식 (1)–(3)으로부터 반도체재료에서 투과빛의 세기와 온도사이에 성립하는 다음의 식을 쓸수 있다.

$$I(l, T) = I_0(1 - R) \exp\{-A[hv - E_g(0) - \gamma T^2 / (\beta + T)]^{1/2} l\} \quad (5)$$

식 (5)에 의하면 반도체재료를 투과한 빛의 세기는 온도에 따라 변화된다. 그러므로 반도체재료를 투과한 빛의 세기를 재는 방법으로 그 온도를 결정할수 있다.

## 2. 실험결과 및 분석

GaAs결정에서  $E_g(0) = 1.522\text{eV}$ ,  $\gamma = 5.8 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$ ,  $A \approx 2.46 \times 10^4 (\text{cm eV})^{-1}$ ,  $\beta = 300\text{K}$ 이다.

식 (4)를 리용하여 계산한 GaAs결정에서 흡수경계파장과 온도의 관계곡선은 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 온도가  $25^\circ\text{C}$ , 대기압조건에서 GaAs결정의 흡수경계파장은 약  $\lambda_g = 865\text{nm}$ 이다. GaAs결정은  $\lambda_g$  보다 짧은 파장의 빛은 흡수하며 보다 긴 파장의 빛은 투과시킨다. 그러므로 GaAs결정은 보임빛을 차단시키며 적외선빛을 투과시킨다.

GaAs결정을 온도측정에 리용하자면 흡수경계파장  $\lambda_g$  를 중심으로 양쪽의 스펙트르선성

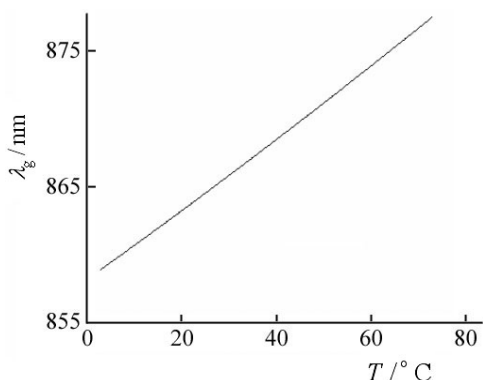


그림 1.  $\lambda_g$  와  $T$  사이의 관계곡선

분들을 다같이 복사하는 광원을 리용하여야 한다.

실험에서는 복사중심파장이  $\lambda = 890\text{nm}$ 이고 스펙트르선폭이  $\Delta\lambda = 100\text{nm}$ 인 적외선LED를 광원으로 리용하였다.

실험에 의하면 GaAs결정의 두께가 두터울수록 온도측정감도는 증가한다. 또한 실험에서는 두께가 약  $160 \mu\text{m}$ 인 GaAs결정판을 온도수감재료로 리용하였다.

한편 실험에서는 빛의 굴절효과를 리용하는 용액의 온도측정에서 빛점의 위치를 검출하는데 CCD수감기를 쓰는 조건을 고려하여 1개 화소의 크기가

$6 \mu\text{m}$ 인 CCD를 빛수감요소로 리용하였다.

그림 2에 용액의 온도를 재기 위한 측정계의 구성도를 주었다.

그림 2에서 보는바와 같이 크기가  $8\text{mm} \times 10\text{mm}$ 인 GaAs결정판을 크기가  $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 20\text{mm}$ 인 투명유리통안의 유리벽면에 에폭시수지로 고정시켰다.

용액으로는 순수한 물을 리용하고 전기가열기로 온도를 높였으며  $0.1^\circ\text{C}$ 의 측정정확도를 가진 열전온도계로 용액의 온도를 측정하였다.

주어진 측정계에서 광학계의 배율이 일정하므로 CCD수감기에서 얻어지는 광원영상의 크기는 측정과정에 변하지 않는다.

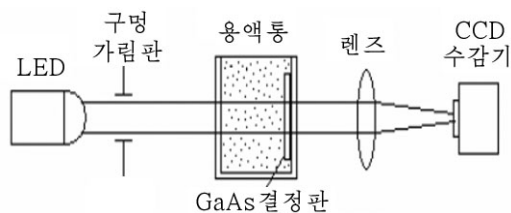


그림 2. 측정계의 구성도

또한 CCD수감기로 얻어지는 광원영상의 경계에서는 빛의 세기가 급격히 변화된다. 그러므로 용액의 온도가  $25^{\circ}\text{C}$  일 때 영상의 세기분포를 규격화하고 상대세기가 0.5인 경계를 광원영상의 유효크기로 보고 그 평균색값을 투과빛의 세기로 선택하였다.

그림 3에 실험에서 측정한 순수한 물의 온도에 따르는 투과빛의 상대세기사이의 관계곡선을 주었다.

그림 3에서 보는바와 같이 물의 온도가 증가할수록 투과빛의 상대세기는 단조감소한다. 주어진 실험계에서 용액온도의 측정범위는  $10\sim 70^{\circ}\text{C}$ 이며 측정오차는 약  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이다.

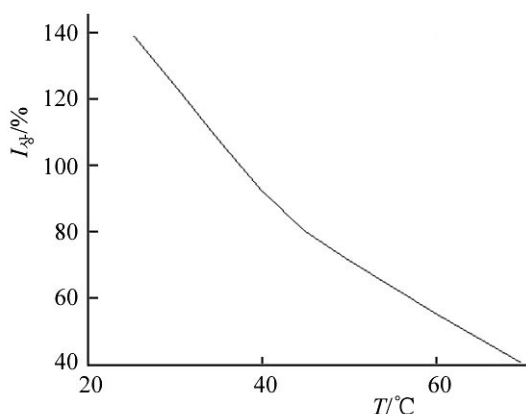


그림 3. 온도에 따르는 투과빛의 상대세기변화

## 맺 는 말

1) 근적외선대역에서 GaAs결정이 나타내는 빛흡수특성에 적합한 적외선LED광원과 면 CCD검출기를 리용하여 용액의 온도를 측정하기 위한 한가지 방법을 세웠다.

2) 이러한 용액온도의 측정방법은 광선의 굴절편위와 면CCD검출기를 리용하는 빛굴절농도계에서 온도에 따르는 농도변화의 교정에 효과적으로 리용할수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박문혁 등; 계량 및 규격화, 4, 7, 주체98(2009).
- [2] F. Samedov; Optics & Laser Technology, 38, 28, 2006.
- [3] Y. Zhao et al.; IEEE Sensors, 3, 4, 400, 2007.

주체104(2015)년 5월 5일 원고접수

## A Method to Measure the Temperature of Solution based on Absorption of Light in the Semiconductor Material

Kim Ho Jin, Ri Kyong Jun

We have suggested a method to measure the temperature of solution using infrared LED and CCD. This method can be effectively used in the correction of concentration variation according to temperature in the concentratometer using refraction displacement of optical beam and CCD.

Key words: concentration measurement, refraction displacement, CCD