

CTRW 방법을 이용한 비정질 $Te_{80}Se_{10}Sb_{10}$ 박막의 전도 특성에 관한 연구



A Study on the Conduction Characteristics of the Amorphous $Te_{80}Se_{10}Sb_{10}$ Thin Film Using the CTRW Approximation

김홍석*, 정홍배*

(Hong-Seok Kim, Hong-Bay Chung)

Abstract

In this paper, we investigated the electrical conduction characteristics of the amorphous $Te_{80}Se_{10}Sb_{10}$ thin film prepared by thermal evaporation. CTRW(Continuous Time Random Network) approximation showed that the d.c. conduction was made by thermally activated conduction. We obtained the activation energy and mobility gap from the data of d.c. conductivity. The d.c. conductivity was increased with temperature and a.c. conductivity also was increased with temperature and frequency. The data obtained from CTRW approximation was in good agreement with the one experimentally observed. The strong temperature dependence at higher temperatures is due to single polaron rather than bipolaron. It can be considered that the annealing is necessary for higher conductivity because the activation energy decreased but d.c. and a.c. conductivity increased with annealing.

Key Words(중요용어): CTRW approximation(CTRW 근사방법), d.c., a.c. conductivity(직류, 교류 전도도), Activation Energy(활성화 에너지), Single Polaron, Bipolaron(단일폴라론, 쌍폴라론)

1. 서 론

지난 수십년간 비정질 반도체는 거의 불투명한 미래에서 시작하여 현재 상업적으로 생산되는 태양전지, 평판 디스플레이, 그리고 광메모리등의 소자들로의 개발이 이루어지고 있다. 이러한 비정질 반도체 중 칼코게나이드계 물질을 이용한 스위칭 소자에 관한 연구는 1960년대 말 이후부터 계속적으로 연구되어왔다^{1,2)}. 이 중 칼코겐 원소인 Te를 주성분으로 하는 3원계, 4원계 물질들은 스위칭 소자로 중요한 연구의 대상이었다. 이런 물질들은 어떤 임계전압 아래의 낮은 전압을 인가할 때 고저항 상태를 가지며 이 임계값 이상의 전압을 인가하면 안정된 저저항 상태인 전도상태로 스위칭되는 특성을 가진다³⁾. 따라서, 이러한 전도특성에 관하여 알아보고자 하는 연구가 많이 시도되어 왔으며 여러 전도 메커니즘이 제안되었다.

Mott와 Davis⁴⁾는 많은 유리질 반도체나 비정질

반도체에서 a.c. 전도도가 주파수 의존성을 가지고 있다고 하였다. 이 때 전도 메커니즘은 캐리어들이 이동도폭 내에 놓여 있는 국재상태들 사이를 열적으로 활성화되어 양자역학적 터널링(thermally assisted Quantum-Mechanical Tunneling)을 하여 이루어진다. 이러한 양자역학적 터널링(QMT) 모델은 Austin과 Mott⁵⁾와 Pollak⁶⁾에 의해 비정질 반도체에 적용되기 시작하였으며, Pollak과 Geballe⁷⁾에 의해 실험적으로 증명된 주파수 의존성과는 잘 일치하였으나 다른 대부분의 비정질 반도체에 대하여 적용되는 것은 제한적이라는 것이 밝혀졌다.

이 QMT 모델에서 나타나는 문제점을 해결하기 위해 PA(Pair Approximation)를 기본으로 한 모델이 Pike⁸⁾에 의해 개발되었으며 이 모델은 Elliott⁹⁾에 의해 CBH(Correlated Barrier Hopping) 모델로 정리되었다. 이 모델은 두 전자상태 사이의 장벽을 통과하는 터널링이 아닌 장벽을 뛰어넘는 호핑을 고려한 것으로 이 모델을 칼코게나이드계 유리질에 적용하기 위해 bipolaron, 즉 전자를 갖고 있지

* : 광운대학교 공대 전자재료공학과(신기술연구소)

접수일자 : 1996년 1월 13일

심사완료 : 1997년 4월 7일

않거나, 전자 하나 또는 두 개를 갖고 있는 결합, 즉 덩글링 결합(dangling bond)을 각각 D^+ , D^0 , D^- 로 표기할 때, 충전된 결합들 D^+ 와 D^- 사이를 호핑하는 두 전자 또는 정공의 상태가 호핑정도에 기여하며, a.c. 전도에 기여하는 결합상태들이 서로 상호 반응이 일어나기 위해 충분히 가깝고 이들을 분리하는 장벽이 존재한다고 가정하였다. 이 모델의 a.c. 전도 메커니즘은 이동도폭 내의 결합상태들, 즉 국재상태들 사이의 장벽을 뛰어 넘는 호핑이므로 높은 온도에서는 잘 일치하지 않는다.

또 다른 모델로서 CBH 모델과 QMT 모델을 결합시킨 EPA(Extended Pair Approximation) 모델이 Summerfield와 Butcher¹⁰⁾에 의해 제안되었다. 이 모델은 두 상태와 그 상태들 주변사이의 상호반응을 고려하고 a.c. 전도도에서 주파수가 0일 때를 d.c. 전도도로 나타낸다.

CBH 모델의 단점을 보완하기 위해 Shimakawa¹¹⁾는 bipolaron에 의한 전도 외에도 비교적 고온 영역에서 호핑하는 전자(또는 정공)의 수가 $n=1$ 인 single polaron 즉, D^0 와 D^- 사이를 호핑하는 정공 또는 D^0 와 D^+ 사이를 호핑하는 전자에 의한 전도를 고려하였다. 이 모델은 고온 영역에서 a.c. 전도도의 강한 온도 의존성을 보여주었으나 결합 상태 밀도가 실제 값보다 더 큰 값을 나타낸다.

이러한 불규칙계 물질에서 a.c. 전도를 해석하기 위해 보완적인 모델이 CTRW (Continuous Time Random Walk) 근사 방법이다. 이 CTRW 근사 방법은 시간적으로 캐리어들이 불규칙하게 호핑한다는 것을 고려한 것으로 PA 방법보다 더 실제적이며 칼코게나이드계 물질에서의 a.c. 전도도의 강한 온도 의존성을 보여준다¹²⁾. 또한 Shimakawa¹³⁾은 As_2Se_3 의 물질로 실험한 결과 결합상태밀도가 실제값과 거의 일치하는 것을 보여주었으나 저주파수에서는 실험값과 계산값이 잘 일치하지 않았다.

본 연구실에서도 $\text{As}_{10}\text{Ge}_{15}\text{Te}_{75}$ 박막에 대한 전도 특성을 CBH방법과 EPA 방법으로 연구 보고한 바 있으나 고온에서의 a.c. 전도도의 강한 온도 의존성이 잘 일치하지 않고 결합상태밀도값이 실제값보다 더 큰 결과를 얻었다¹⁴⁾¹⁵⁾.

따라서 본 연구에서는 칼코게나이드 유리질을 스위칭 소자로서 응용하기 위하여 스위칭시 응용에 문제가 되는 임계전압을 낮추어 보기 위해 박막의 열적인 성질과 구조적인 성질에 관련된 전도상태를 조사하는 데 관심을 가지게 되었다.

본 연구에서는 비정질 형성이 용이한 Te-Se-Sb 계 칼코게나이드 유리질 중 $\text{Te}_{80}\text{Se}_{10}\text{Sb}_{10}$ 의 조성비¹⁶⁾¹⁷⁾를 가지는 벌크를 제작한 후 열중착방법으로 박막을 제조하고 열처리 조건에 따른 d.c.와 a.c.

전도도의 주파수 및 온도의존성을 측정 한 후 CTRW 방법을 이용하여 구한 비정질 $\text{Te}_{80}\text{Se}_{10}\text{Sb}_{10}$ 박막의 a.c. 전도도를 계산하여 실험적으로 구한 값과 서로 비교 조사하여 고온에서의 a.c. 전도도의 강한 온도 의존성을 입증하고 실제 박막 스위칭 소자로서의 응용가능성을 타진해보고자 한다.

2. 이론

2.1 d.c. 전도도

다윈계 칼코게나이드 유리질 반도체의 d.c. 전도도는 온도에 따라 지수함수적으로 증가하며, 다음 식(1)과 같은 활성화 전도식을 따른다.

$$\sigma_{dc} = \sigma_0 \exp\left[-\frac{E_{dc}}{kT}\right] \quad (1)$$

여기서, σ_{dc} 는 d.c. 전도도이며, σ_0 는 최소금속전도도(minimum metallic conductivity)에 상응하고, k 는 Boltzmann 상수, T 는 절대온도이다. E_{dc} 는 활성화 에너지(activation energy)로 이동도 갭(mobility gap)의 1/2이다. 식(1)의 양변에 자연로그를 취하고 $10^3/T$ 로 미분하여 주변 다음 식(2)와 같이 활성화 에너지를 구할 수 있다.

$$E_{dc} = -10^3 k \frac{d(\ln \sigma_{dc})}{d(10^3/T)} \quad (2)$$

즉, 박막의 온도 상승에 따른 d.c. 전도도를 측정하고, $10^3/T$ 에 대해 자연로그를 취한 d.c. 전도도의 기울기로부터 활성화 에너지를 구할 수 있으며, 이에 상응하는 이동도 갭을 구할 수 있다.

2.2 a.c. 전도도

PA(Pair Approximation)를 기본으로 하는 CBH (Correlated Barrier hopping)로부터 유도된 bipolaron에 의한 a.c. 전도도는 다음과 같다¹¹⁾¹³⁾.

$$\sigma_{ac} = \frac{n\pi^3 N N_P \omega \epsilon \epsilon_0}{6} \left[\frac{n e^2}{\pi \epsilon \epsilon_0} \left(\frac{1}{W_M - kT \ln(1/\omega \tau_0)} \right) \right]^6 \quad (3)$$

여기서, N 은 site의 수이고 N_P 는 캐리어의 수, W_M 은 최대 장벽 높이로 그림 2(a)에서 보여주는 것처럼 $B-W_1+W_2$ 로 정의되며, n 은 single polaron인 경우 1, bipolaron인 경우 2이다. 이러한 single polaron과 bipolaron에 의한 호핑과정은 그림 1에서 보여준다.

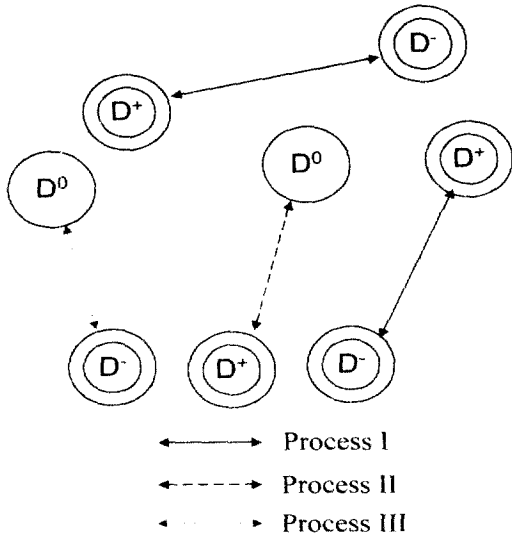


그림 1. a.c. 전도에 기여하는 3가지 호핑 과정, process I은 bipolaron, process II와 III은 single polaron에 의한 호핑 과정

Fig. 1. The three hopping processes that contribute to a.c. conduction ; process I(bipolaron), process II and III(single polaron).

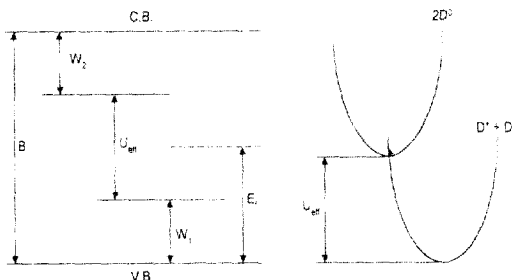


그림 2. 결함 D⁺, D⁰ 그리고 D와 관련된 에너지 밴드(a)와 배치 좌표 개략도(b)

Fig. 2. (a) Energy band levels and (b) configurational coordinate diagram associated with D⁺, D⁰ and D

식(3)은 저온에서 많은 특성들을 설명할 수 있으나 고온에서 대부분의 칼코게나이드계 물질에서 관찰되는 a.c. 전도도의 강한 온도의존성을 설명하기에는 부적합하다.

이런 고온에서의 강한 온도의존성은 bipolaron보다는 single polaron으로 해석될 수 있다. 즉 고온에서는 그림 2(b)에서 보여주는 $2D^0 \rightarrow D^+ + D^-$ 의 역반응에 의해 생성되는 중성 결함 밀도, D^0 가 더 중요

하고 single polaron의 기여가 bipolaron의 기여보다 더 크다.

이러한 역반응에 의해 생성되는 D^0 들의 수, N_0 는 다음과 같다.

$$N_0 = 2[D^0] = N_T \exp\left(\frac{-U_{eff}}{2kT}\right) \quad (4)$$

여기서, U_{eff} 는 부의 실효 상관 에너지(Negative Effective Correlation Energy)이고 이런 결합 상태와 관련된 에너지 밴드는 그림 2(a)에서 보여준다. 만약 D^0 들의 절반은 D^0 와 D^- 사이의 이완(그림 1의 process II)에 기여하고 나머지 절반은 D^0 와 D^+ 사이의 이완(그림 1의 process III)에 기여한다고 가정하면, single polaron에 의한 식 (3)의 인자 NN_p 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} NN_p &= N \frac{N_0}{2} = \frac{N_T^2}{4} \exp\left[\frac{-U_{eff}}{2kT}\right] \text{ (process II)} \\ &= N^+ \frac{N_0}{2} = \frac{N_T^2}{4} \exp\left[\frac{-U_{eff}}{2kT}\right] \text{ (process III)} \end{aligned} \quad (5)$$

따라서, 총 전도도는

$$\sigma_{ac(T)} = \sigma_{ac(b)} + \sigma_{ac(sh)} + \sigma_{ac(se)} \quad (6)$$

이다. 여기서, σ_b 는 bipolaron(process I)에 의한 전도도이며, σ_{sh} 와 σ_{se} 는 각각 single polaron (process II, process III)에 의한 전도도이다.

CTRW(Continuous Time Random Walk) 방법은 불규칙한 물질에서의 jump 주파수와 불규칙 호핑 거리이상에서 캐리어의 불규칙한 호핑을 설명할 수 있으며 광범위한 주파수에 대해 a.c. 손실을 설명할 수 있으므로 더 실재적이다^{14,15}.

이 때 d.c. 호핑 전도도는

$$\sigma_{dc} = \frac{n_0(eR_c)^2 \Gamma}{6kT} \quad (7)$$

이다. 여기서, n_0 는 호핑 캐리어의 수이며, bipolaron의 경우 $N_T/2$ 이고, single polaron일 경우 $N_T/2 \exp[-U_{eff}/2kT]$ 이다. 그리고 Γ 는 호핑율로 $1/\tau_c$ 이며, τ_c 는 임계 부과 길이(critical percolation length) R_c 에서의 호핑 이완 시간이다. 여기서 $R_c = [2.7 \times 3/2 \{N_T/2\}^2]^{1/3}$ 이다.

a.c. 전도도는

$$\sigma_{ac} = \sigma_{dc} \left[\frac{\omega \tau_c \arctan(\omega \tau_c)}{[\ln \sqrt{1 + (\omega \tau_c)^2}]^2 + [\arctan(\omega \tau_c)]^2} \right] \quad (8)$$

이며, ω 는 각 주파수이다.

2. 실험

2.1 벌크 제작

비정질 $Te_{80}Se_{10}Sb_{10}$ 벌크를 제작하기 위해서 각 원소의 원자량비(atomic weight %)에 해당하는 고순도(99.999%)의 시료를 전자천평(Alsep MEV-198A)으로 0.1mg까지 정확히 평량한 다음 내경 10mm인 석영관 속에 넣고 약 10^{-5} Torr로 진공배기 시키며 봉입하였다. 이 석영관을 전기로에 넣어 Se의 용융점 부근인 275°C와 Te의 용융점 부근인 460°C에서 각각 2시간, 그리고 Sb의 용융점 부근인 640°C에서 24시간동안 온도를 유지하며 가열하였다. 이 때 각 원소들의 균일한 혼합을 위하여 30분마다 전기로를 흔들어서 주었다. 그리고 나서 전기로에서 꺼낸 석영관을 비정질상을 얻기 위하여 공기중에서 몇 초간 급냉시킨 후 물속에서 급냉시켰다. 그림 3은 벌크 시료의 제조 공정을 나타낸 것이다.

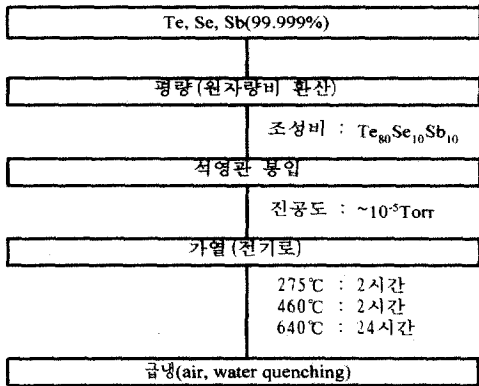


그림 3. 벌크 시료의 제작 공정 개략도
Fig. 3. The diagram of bulk preparation

2.2 박막 제작

비정질 $Te_{80}Se_{10}Sb_{10}$ 박막을 제조하기 위해 제작된 벌크를 열증착기를 이용하여 2×10^{-5} Torr의 진공도에서 휘발성인 Se의 선택적인 증착에 의한 조성변화를 막기 위해 빠른 속도($\sim 50\text{Å/s}$)로 증착하였다. 기판은 탈이온 증류수, T.C.E., 아세톤, 메틸알콜의 순으로 세척한 Micro-Slide glass를 사용하였고 보우트로는 Mo 보우트를 사용하였다. 증착된 박막의 크기는 5mm×5mm이고, 두께는 500~1500Å의 범위로 제작하였다. 두께는 crystal sensor를 이용한 Thickness monitor로 증착과 함께 측정할 후

n&k thin film analyzer를 이용하여 확인하였다. 이와 같이 제작된 박막을 진공오븐을 이용하여 50~100°C범위에서 20분 동안 열처리를 하였다. 그림 4는 박막 시편의 제조 공정을 나타낸 것이다.

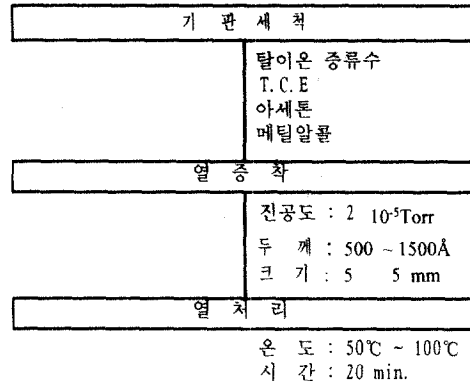


그림 4. 박막 시편의 제조 공정 개략도
Fig. 4. The diagram of thin film preparation

2.3 측정

제작한 비정질 $Te_{80}Se_{10}Sb_{10}$ 박막의 d.c.전도도 측정은 d.c. 전압을 인가하여 각각의 열처리 조건에 따른 온도의존성을 측정하고 그에 따른 활성화 에너지와 이동도 값을 구하였다. 그리고 a.c.전도도는 d.c. 전도도 측정과 마찬가지로 열처리조건에 따른 온도 의존성을 측정하였고 주파수에 따른 온도의존성도 측정하였다. 또한 CTRW방법을 이용하여 계산한 값과 실험적인 값을 비교 고찰하였다.

4. 결과 및 고찰

그림 5는 제작한 박막의 열처리 조건에 대한 온도 상승에 따른 d.c. 전도도의 측정 결과를 보인 것이다. 이 때 열처리 온도는 각각 50, 80, 그리고 100°C로 하였으며, 열처리 시간은 20분으로 하였다. 열처리 온도가 증가할수록 d.c. 전도도는 지수함수적으로 증가함을 알 수 있다. 이것은 d.c. 전도가 캐리어의 전도단에서의 이동에 의한 활성화형 전도를 따르므로 열처리에 따라 구조적인 결함이 감소하여 전도단에서 캐리어의 수와 흐름이 향상됨을 예측할 수 있다. 또한 고온 영역에서 d.c. 전도도가 일치하는 경향을 관찰할 수 있는데 이 영역에서 비정질상이 아닌 다른 상으로의 구조적인 변화가 발생하여 나타나는 특성으로 사료된다.

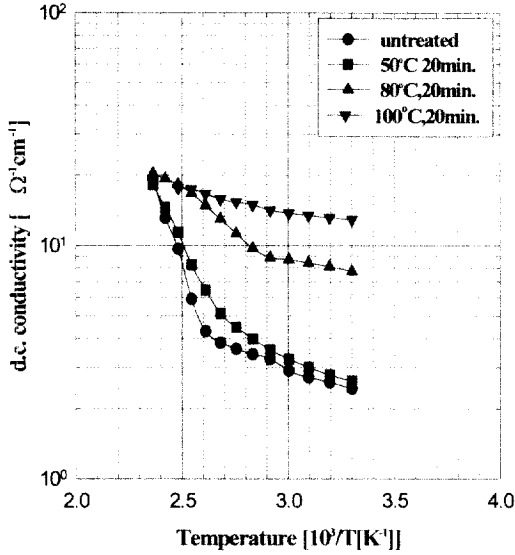


그림 5. 열처리에 따른 d.c. 전도도의 온도 의존성
Fig. 5. Temperature dependence of the d.c. conductivity with annealing

본 연구에서 사용한 박막의 활성화 에너지와 이동도 갭은 식(2)과 그림 5를 이용하여 구할 수 있으며 그 결과와 실온에서의 d.c. 전도도를 표 1에 나타내었다. 열처리 온도가 증가할수록 활성화 에너지와 이동도 갭은 감소한다.

표 1. 실온에서의 열처리 온도에 따른 d.c. 전도도 및 활성화 에너지, 이동도 갭

Table 1. d.c. conductivity and activation energy, mobility gap with annealing temperature(room temp.)

Sample	d.c. conductivity [$\Omega^{-1}cm^{-1}$]	Activation energy [eV]	Mobility Gap [eV]
Untreated	2.379×10^1	0.523	1.046
50[°C]/20[min]	2.576×10^1	0.345	0.690
80[°C]/20[min]	7.563×10^1	0.130	0.260
100[°C]/20[min]	1.278×10^2	0.033	0.066

그림 6은 1[kHz]의 주파수에서 제작한 박막의 열처리 조건에 대한 온도 상승에 따른 a.c. 전도도의 측정 결과와 CTRW 방법을 이용하여 계산한 값을 보인 것이다. 이 때 열처리 시간은 20분으로 하였다.

그림에서 보여주듯이 열처리 온도가 증가할수록 a.c. 전도도 역시 증가함을 볼 수 있다. d.c. 전도도와 마찬가지로 a.c. 전도도도 고온 영역에서 일치

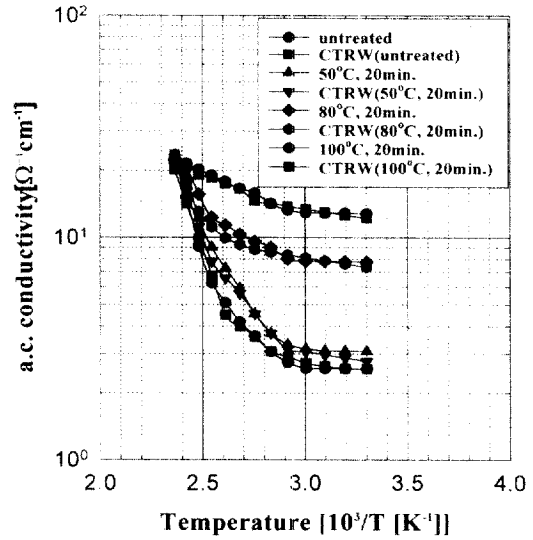


그림 6. 열처리에 따른 a.c. 전도도의 온도 의존성 (1[kHz])

Fig. 6. Temperature dependence of the a.c. conductivity the annealing(1[kHz])

하려는 경향을 보여주었으며, 온도가 높아질수록 d.c. 전도도에 가까운 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 실험치와 CTRW 방법을 이용한 계산치가 고온 영역에서도 서로 잘 일치함을 볼 수 있다. 따라서 CTRW 방법은 a.c. 전도도의 강한 온도 의존성을 설명하는 데 적합한 모델이라고 볼 수 있다. 그리고 실온에서 측정된 a.c. 전도도를 표 2에 나타내었다. 표 1과 비교할 때 a.c. 전도도가 d.c. 전도도보다 조금 더 높음을 알 수 있다. 따라서 이러한 특성을 이용하여 $Te_{50}Se_{10}Sb_{10}$ 박막을 스위칭 소자로 이용할 경우 고주파수 영역에서 높은 전도 특성을 보여줄 것으로 예상된다.

표 2. 실온, 주파수 1[kHz]에서의 a.c. 전도도

Table 2. a.c. conductivity for the frequency 1[kHz] at room temperature

Sample	a.c. conductivity [$\Omega^{-1}cm^{-1}$]
Untreated	2.570×10^1
50[°C]/20[min]	3.079×10^1
80[°C]/20[min]	7.754×10^1
100[°C]/20[min]	1.281×10^2

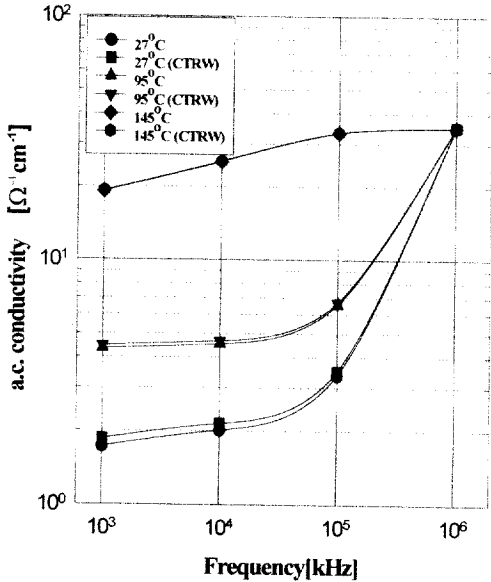


그림 7. a.c. 전도도의 주파수 의존성
 Fig. 7. Frequency dependence of the a.c. conductivity

그림 7은 주파수 증가에 따른 a.c. 전도도의 측정 결과와 CTRW 방법을 이용하여 계산한 결과를 보여준다.

그림에서 보여주듯이 주파수가 증가할수록 a.c. 전도도는 증가하며, 1[MHz]에서 모두 포화되는 특성을 보여준다. 또한 Shimakawa 등이 $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ 에 대해 제시한 결과¹¹⁾에 비해 저주파수 영역에서도 측정값과 계산값이 잘 일치함을 볼 수 있다. 즉, CTRW 방법은 본 연구에 사용한 $\text{Te}_{80}\text{Se}_{10}\text{Sb}_{10}$ 박막에 적용할 경우 넓은 주파수 범위에 대해서 a.c. 전도를 해석할 수 있는 가장 적합한 방법으로 사료된다.

그림 8은 주파수 증가에 대한 온도 상승에 따른 a.c. 전도도의 측정 결과를 보인 것이다. 이 때 측정된 박막은 모두 미처리 박막을 사용하였다.

그림에서 볼 수 있듯이 저주파수에서는 온도가 증가할수록 a.c. 전도도는 증가한다. 그러나 1[MHz] 이상의 주파수 영역에서 $\text{Te}_{80}\text{Se}_{10}\text{Sb}_{10}$ 박막의 a.c. 전도도는 온도가 증가함에 따라 거의 변화가 없이 일정한 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 따라서 1[MHz] 이상의 고주파수 영역에서 $\text{Te}_{80}\text{Se}_{10}\text{Sb}_{10}$ 박막을 사용한다면 온도에 대해 안정된 전도 특성을 얻을 수 있으리라 기대된다. 또한 실온에서 측정된 각 주파수에 대한 a.c. 전도도를 표 3에 나타내었다.

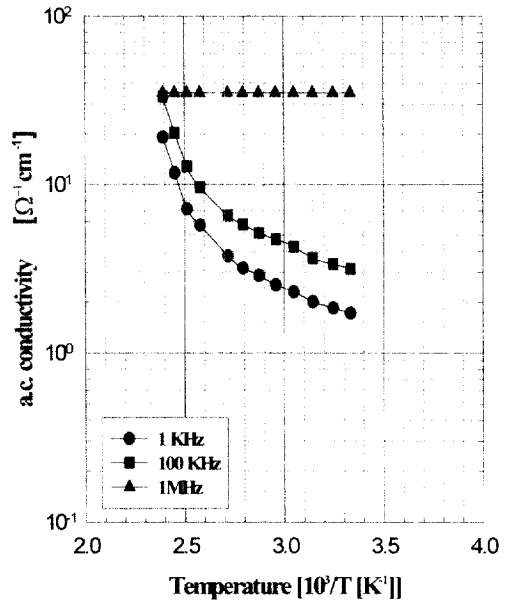


그림 8. 여러 주파수에 대한 a.c. 전도도의 온도의 의존성(미처리 박막)

Fig. 8. Temperature dependence of the a.c. conductivity with various frequency (untreated)

표 3. 실온에서의 주파수에 따른 a.c. 전도도.
 Table 3. a.c. conductivity with frequency at room temperature.

Sample	Frequency	a.c. conductivity [$\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$]
Untreated	1 [kHz]	1.726×10^0
Untreated	100 [kHz]	3.360×10^0
Untreated	1 [MHz]	3.501×10^1

5. 결론

비정질 $\text{Te}_{80}\text{Se}_{10}\text{Sb}_{10}$ 박막에 대한 전도 측정에 대해 연구한 결과 다음과 같은 다음과 같은 결론을 얻었다.

- d.c. 전도도를 측정된 결과 열처리 온도가 증가함에 따라 온도에 대해 지수함수적으로 증가하는 활성화형 전도형식을 따르며 활성화 에너지는 감소한다. 고온 영역에서 d.c. 전도도가 서로 일치하려는 경향을 볼 수 있는데 이것은 박막이 비정질상이 아닌 다른 상으로 변화하기 때문이다.
- a.c. 전도도 또한 열처리 온도와 주파수가 증가함에 따라 온도에 대해 증가하였고 또한 CTRW

방법을 이용하여 구한 값과 실험적인 값은 잘 일치하였다. 즉, 고온에서의 a.c. 전도도는 bi-polaron보다는 single polaron에 의한 전도가 더 지배적이며 CTRW모델은 칼코게나이드계 물질에 대해 a.c. 전도를 설명하기에 가장 적합한 모델이라는 것을 알 수 있다. 또한 1[MHz]이상의 주파수에 대해서는 온도에 대해 거의 변화를 보여 주지 않는 독립적인 특성을 보여주었다.

3. 열처리를 함에 따라 활성화 에너지는 감소하지만 d.c.와 a.c. 전도도는 증가하기 때문에 더 높은 전도도를 얻기 위해서는 열처리가 필요하다. 이런 전도특성의 측정 결과로 전도도의 변화와 박막의 변화가 발생한다는 것을 알 수 있으므로 본 실험에서 사용된 비정질 $Te_{80}Se_{10}Sb_{10}$ 박막은 집적화를 요구하는 회로의 스위칭 소자와 상변환을 이용한 광기록 물질로의 응용이 가능하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 1 N.F. Mott, Philos. Mag. Vol.22 p.911, 1970
- 2 H. Fritzsche, S.R. Ovshinsky, J. Non-Cryst. Solids, Vol.2 p.393, 1973
- 3 H. Fritzsche, IBM J. Res. Develop., Vol.13 p.515, 1969
- 4 N.F. Mott, E.A.Davis, Oxford: Clarendon Press, 1971
- 5 I.G. Austin, N.F. Mott, Adv. Phys. Vol.18 p.41, 1969
- 6 M. Pollak, Philos. Mag. Vol.23 p.519, 1971
- 7 M. Pollak, T.H. Geballe, Phys. Rev. 122 p.1742, 1961
- 8 G.E. Pike, Phys. Rev. B6 p.1572, 1972
- 9 S.R. Elliott, Philos. Mag. Vol.36 p.1291, 1977
- 10 S. Summerfield, P.N. Butcher, J. Phys. C15 p.7003, 1982
- 11 A. Ganjoo, K. Shimakawa, Philo. Mag. Lett. Vol.70 p.287, 1994
- 12 A. Ganjoo, A. Yoshida, K. Shimakawa, J. Non-Cryst. Solids, Vol.198 p.313, 1996
- 13 H.Y. Lee, S.P. Cheon, Y.J. Lee, H.B. Chung, Trans. of KIEE, 44(7) p.901, 1995
- 14 B.S. Yi, H.Y. Lee, Y.J. Lee, H.B. Chung, J. of KIEEME, Vol.9(8) p.813, 1996
- 15 C.J. van der Poel, D.J. Gravestein, etc., J. Appl. Phys. Vol.59(6), 1986
- 16 V.D. Das, K.S. Raju, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.35 p.2234, 1996

저자소개



정홍배

1951년 1월 19일생. 1971년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1983년 미국 M.I.T. 객원교수. 1997년 현재 광운대학교 공대 전자재료공학과 교수, 신기술연구소 소장.



김홍석

1972년 11월 30일생. 1996년 광운대학교 공대 전자재료공학과 졸업. 1997년 현재 동 대학원 전자재료공학과 석사과정.