

비정질 As-Ge-Te 스위칭 소자의 전기적 및

마이크로파 주파수 특성

이병석[○], 천석표[●], 이현용^{*}, 이영중^{**}, 정홍배^{*}
^{*}광운대학교 전자재료공학과, ^{**}여주전문대학교 전자공학과

Electrical and Microwave Properties of Amorphous As-Ge-Te devices

Byeong-Seok Yi[○], Seok-Pyo Cheon[●], Hyun-Yong Lee^{*}, Young-Jong Lee^{**}, Hong-Bay Chung^{*}
^{*}Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon Univ., ^{**}Dept. of Electronic Eng., Yeosu Junior College

ABSTRACT

In this paper, we studied the electrical and the microwave properties of the amorphous $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ thin film. The electrical properties of a- $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ thin film were examined d.c. and a.c. bias with annealing condition. As the result of the electrical properties, we observed the physical characteristics of a- $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ thin film such as the density of defect states, characteristic relaxation time, localized density of states, and localized wave function by using CBH and QMT model. We also examined the microwave conduction properties before and after d.c. switching.

1. 서론

최근 마이크로파 소자들의 집적화에 따른 반도체 스위칭 소자 개발의 필요성이 대두되고 있다. 초기에 쓰이던 마이크로 주파수대의 스위칭 소자들은 스위칭 속도가 매우 느리고 높은 전력이 요구되며 손실이 큰 단점이 있다. 따라서 pin 다이오드 같은 반도체 소자를 마이크로파 영역에서 스위칭 소자로 사용하였으나, 불순물 농도의 제어, 절연층 두께의 제어와 캐리어 이동에 따른 지연시간등의 단점을 가지고 있다. 이런 문제점들을 해결하기 위해 비정질 칼코게나이드계 물질에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 본 연구에서는 As-Ge-Te 계 물질 중 비정질 형성이 용이한 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 조성비를 갖는 벌크를 제작하고 열증착을 이용하여 박막을 제조하여 박막의 물리적인 특성을 조사하였다. a.c. 바이어스를 인가하여 열처리 조건과 주파수에 따른 전도 특성을 관찰하였으며, 그 결과로부터 QMT(Quantum Mechanical Tunneling) 모델과 CBH(Correlated Barrier Hopping) 모델을 이용하여 여러가지 물리적 특성들을 조사하였다^[1]. 그리고 마이크로파 영역에서의 응용 가능성을 타진하기 위해 주파수에 따른 응답 특성을 관찰하였다.

2. 실험

2.1. 시편 제작

As-Ge-Te 계 비정질 물질을 얻기 위해 유리질 형성이 용이한 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 의 조성비를 선택하여 벌크를 제작하였으며, 제작된 벌크를 열증착기를 이용하여 2.5×10^{-4} Torr의 진공에서 증착하여 박막을 형성하였다. 증착된 박막의 크기는 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 이고, 두께는 $0.45\text{--}1.2\mu\text{m}$ 이었다. 박막의 열처리 온도와 시간에 대한 특성을 조사하기 위

해 진공오븐을 이용하여 $80\text{--}150^\circ\text{C}$ 범위에서 각각 1~5 시간 동안 열처리를 시행하였다.

2.2. 측정

비정질상으로서의 물리적 특성을 조사하기 위해 a.c. 전도도의 온도의존성을 측정하였으며, d.c., a.c. 전도도의 주파수 의존성을 실험하였다. 그 결과로부터 시편의 이동도값을 구하였으며, CBH 모델과 QMT 모델을 이용하여 a.c. 전도도에 영향을 끼치는 여러가지 물리적 특성들을 알아보았다. 또한 마이크로파 영역에서의 전도 특성을 알아보기 위해 시료의 유리질 천이온도^[1] 이하의 온도인 120°C 에서 2시간 동안 열처리한 박막에 $500\text{MHz}\text{--}1\text{GHz}$ 범위의 주파수를 갖는 programmable synthesizer (HAMEG HM8133)로 a.c.를 인가시켜 a.c.의 절대 데시벨(dB μ)을 spectrum analyzer (TAKEDA RIGEN TR4132N) 측정하여 스위칭 전 후 박막의 a.c. 전도도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

제작된 시편의 열처리온도에 따른 d.c. 전도도의 활성화에너지와 이동도값을 측정된 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 실온에서의 활성화에너지 및 이동도값

열처리조건 (온도/시간)	Activation Energy [eV]	Mobility Gap [eV]
Untreated	1.06	2.12
80 °C/20min.	0.89	1.78
100 °C/20min.	0.57	1.14

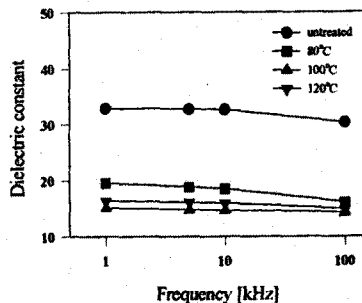


그림 1. 주파수에 따른 유전상수

그림 1은 여러가지 온도에서 열처리를 가한 후의 박막의 유전상수를 여러가지 주파수에 대하여 측정한 결과이다. 측정된 유전상수는 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 시편의 결합상태밀도와 특성이완시간을 구하는 CBH 모델에 적용된다.

박막의 결합상태밀도($N[cm^{-3}]$)와 특성이완시간($\tau_0[s]$)은 CBH 모델을 이용하여 구할 수 있으며, 이 때 a.c. 전도도는 온도변화에 대해 큰 변화가 없다. 이 경우의 전도 형식은 Fermi level 근처의 국제상태준위에서의 defect site 간의 전자 호핑에 의한 전도형식을 다르게 된다. CBH 모델에 의한 a.c. 전도도의 관계수식은 다음과 같다.

$$s = 1 - \frac{6kT}{B}$$

$$\sigma_{a.c.1} = \frac{\pi^2 N^2 \kappa}{24} \left[\frac{8e^2}{kB} \right]^6 \frac{\omega^s}{\tau_0^{s-1}} \exp \left[\frac{3k^2 T^2}{B^2} \ln^2(1/\omega\tau_0) \right] \quad (1)$$

$\sigma_{a.c.1}$: 온도 의존성이 적은 온도 범위에서의 a.c. 전도도, N : 결합상태밀도, τ_0 : 특성이완시간, κ : 유전상수, e : 전자 전하, B : 이동도값, T : 온도, ω : 각주파수, k : Boltzman 상수

위의 수식에 특성이완시간과 측정된 유전상수, 그리고 주어진 온도에서의 a.c. 전도도를 대입함으로써 결합상태밀도와 특성이완시간을 구할 수 있다.

그리고 a.c. 전도도의 온도변화에 대한 의존성이 큰 경우에는 QMT 모델에 의한 다음 식(2)를 이용하여 Fermi level로부터 캐리어의 평균 호핑 거리에 관계하는 국제파동함수(α^{-1})를 구할 수 있다.

$$\sigma_{a.c.2} = \frac{\pi^2}{12} \ln(2) N^2(E) \frac{\alpha^{-5}}{16} e^2 k T \omega \ln^4(1/\omega\tau_0) \exp(-E/kT) \quad (2)$$

$\sigma_{a.c.2}$: 온도 의존성이 큰 온도 범위에서의 a.c. 전도도, E : Fermi level로부터의 에너지 간격, $N(E)$: Fermi level로부터 에너지 E 만큼 떨어진 곳에서의 국제준위밀도, α^{-1} : 국제 파동함수

이 경우 특성이완시간(τ_0)을 phonon 주파수의 역수인 약 $10^{-13}[s]$ 로 가정하여 국제파동함수와 국제준위밀도를 구한다. 이 때 특성이완시간을 phonon 주파수의 역수로 취한 이유는 이동도단 부근에서 캐리어가 phonon을 흡수, 방출하며 호핑 전도를 하기 때문이다. 따라서 이 경우의 전도형식은 Fermi level에서 캐리어(전자)가 전도단 부근의 국제상태로 천이하여 이동도단 부근의 국제상태에서의 호핑에 의한 전도 형식을 따른 것이다.

그림 2는 주파수가 100kHz 일 때 CBH 모델과 QMT 모델을 이용하여 얻은 결과와 실험치를 비교한 것이다. 그리고 그 결과를 표 2에 나타내었다. 이동도단으로부터 약 0.18[eV] 떨어진 국제상태준위(E_2)에서 국제파동함수가 약 8400[Å]으로 계산되었는데, 이러한 국제파동함수는 캐리어의 평균호핑거리에 비례하여 평균호핑거리가 매우 큰 것을 알 수 있다. 또한 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 박막의 이동도단은 국제영역쪽으로 깊게 연장되어 있음을 예측할 수 있다. 즉, 주파수에 따른 a.c. 전도도의 온도존성 실험에 사용된 박막은 열처리를 가하지 않은 미처리 박막으로서 원자간의 결합각, 결합길이, 그리고 밀도와 조성의 불규칙성에 기인한 구조적인 단거리 질서에 의하여 구조적인 안정성이 낮아 이동도단에서의 국제상태영역이 크게 분포함을 예측할 수 있다.

표 3는 열처리 온도에 따른 결합상태밀도와 특성이완 시간을 나타낸 것이다. 표 2로부터 열처리 온도가 상승할수록 결합상태밀도와 특성이완시간이 작아짐을 알 수 있는데 이는 구조적인 안정성이 증대되어 a.c. 주파수에 의존하는 호핑 전도기구가 향상됨을 나타낸다.

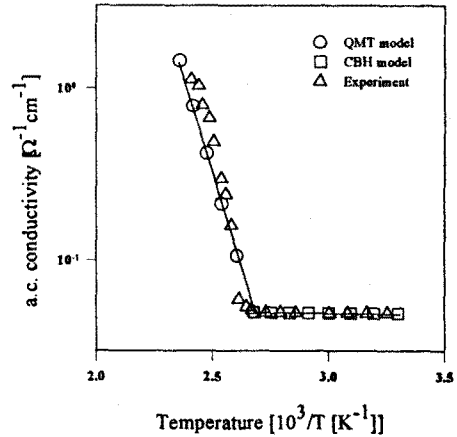


그림 2. 100kHz 주파수에서 온도에 따른 a.c. 전도도의 실험치와 이론치

표 2. 100kHz 주파수일 때 미처리 박막의 물리적 특성

$N [cm^{-3}]$	$\tau_0 [s]$	$\alpha^{-1} [Å]$	$E_2 [eV]$
1.328×10^{20}	6.792×10^{-7}	8400	0.18

표 3. 열처리 온도에 따른 결합상태밀도와 특성이완시간 (1kHz)

시편	$N [cm^{-3}]$	$\tau_0 [s]$
미처리	1.328×10^{20}	—
80 °C/20min.	2.972×10^{19}	6.840×10^{-8}
100 °C/20min.	1.110×10^{19}	1.542×10^{-12}

그림 3은 120 °C에서 2시간 동안 열처리를 가한 박막에 전극간 거리를 3mm로 하였을 때, 전극 양단에 d.c.를 인가하는 측정된 d.c. 전도도이다. 여기서 스위칭이 일어나는 임계전압은 약 9.5[V]임을 알 수 있다.

그림 4는 위의 시편에 d.c. 바이어스를 인가하기 전과 인가한 후의 각 주파수에 대한 a.c. 전도도를 측정한 결과와 이론치를 나타낸 것이다.

여기서 a.c. 전도 메커니즘은 Fermi 에너지 부근의 국제상태영역에서의 호핑에 의한 것으로서 이 때 국제파동함수는 약 10[Å]으로 평균호핑거리가 매우 짧다.

측정된 결과로부터 측정에 사용된 박막 상태의 시편은 고주파수 영역의 a.c. 전도도가 저주파수 영역의 a.c. 전도도에 비해 상대적으로 큰 값을 갖고 있다. 따라서 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 박막 시편을 마이크로파 영역의 주파수대에

서 메모리 스위칭 소자로서 응용이 가능하다고 생각된다.

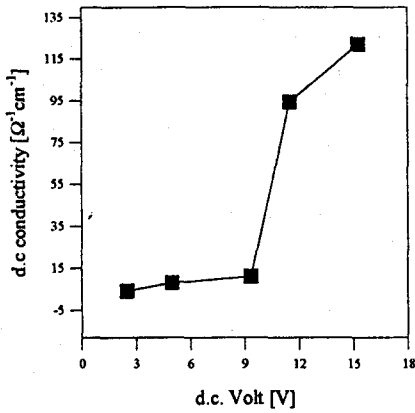


그림 3. 박막의 전극 양단에 인가한 d.c.에 대한 박막의 d.c. 전도도

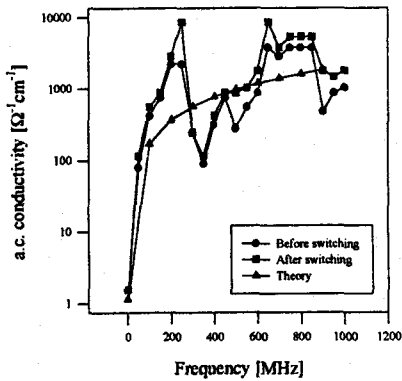


그림 4. 마이크로파 주파수 영역에서 스위칭 전과 스위칭 후의 a.c. 전도도

참고문헌

1. M.Pollak, Phil. Mag., Vol. 23, pp. 519, 1976.
2. H.K.Rockstad, J. non-cryst. solids. Vol. 2, pp. 224, 1970.
3. A.Hamada, M.Saito, and M.Kikuchi, "Energy Gap Discrepancy in Amorphous Semiconductors of As-Te-Ge System", Japan. J. Appl. Phys. Vol. 10, pp. 530-532, 1971.
4. T.Matsushita, T.Yamagami, and M.Okuda, "Switching Phenomena Observed on Ge-Se-In System", Japan, J. Appl. Phys. Vol. 11, pp. 422, 1972.
5. S.P.Cheon, et al., "The Physical Properties and Switching Characteristics of Amorphous As-Ge-Te Thin Film", KIEEM, to be published, July, 1995.