

비정질 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 박막의 전기적 및 메모리 스위칭 특성
(Electrical and Memory Switching Characteristics of
Amorphous $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ Thin-Film)

이병석*, 이현용, 정홍배
광운대학교 전자재료공학과, 광운대학교 신기술 연구소

Byeong-Seok Yi*, Hyun-Yong Lee, Hong-Bay Chung
Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon Univ.,
Institute of New-Technology, Kwangwoon Univ.

Abstract

The amorphous chalcogenide semiconductors are new material in semiconductor physics. Their properties, especially electronic and optical properties are main motives for device application. Amorphous $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ material has the stable ac conductivity at high frequency and the dc memory switching property. At higher frequency than 10MHz, ac conductivity of $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ thin film is much higher than below frequency and independent of temperature and frequency. If the dc voltages are applied between edges of thin film, one can see the dc memory switching phenomenon, in other words the dc conductivity increases quite a few of magnitude after the threshold voltage is applied. Using the stable ac conductivity at high frequency and the increase of conductivity after dc memory switching, $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ thin film is considered as new material for microwave switch device.

1. 서론

1968년 Ovshinsky¹⁾가 칼코게나이드계 물질에서 처음으로 스위칭 특성을 발견한 후로, 비정질 칼코게나이드계 반도체에 대한 관심이 집중되기 시작하였으며 전자산업에 하나의 혁신적인 발전을 기대하게 되었다.

비정질 칼코게나이드계 반도체의 전기적 특성에 대한 연구가 진행되면서 여러 가지 전도 메커니즘이 제안되어 왔으며 1977년 Elliott²⁾에 의해 비정질 반도체의 ac 전도 해석이 이루어진 후 현재는 RF 이상의 주파수 영역에서 안정된 ac 전도 특성을 보이는 칼코게나이드계 물

질에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 마이크로웨이브 영역의 주파수 범위에서 칼코게나이드계 물질의 ac 전도도는 온도와 주파수에 대해 거의 독립적인 특성을 지니고 있어 주변 환경이 미치는 영향이 적다³⁾.

또한 칼코게나이드계 반도체는 dc 전압의 인가에 따라 스위칭 특성을 나타내는 것으로 보고되었다. 칼코게나이드계 물질의 스위칭 특성은 광범위하게 연구되어 왔으며, 현재 응용 가능한 분야로는 광기억, 표시장치, 그리고 컴퓨터 메모리 어레이 소자 등이 주목을 받고 있다.

본 연구에서는 As-Ge-Te계 칼코게나이드계 물질 중 유리질 형성이 가능한 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 조성을 선택하여 박막을 형성하고 그 제반 특성을 살펴보고자 한다.

2. 실험

2.1. 시료의 제작

As-Ge-Te계의 조성도는 그림 1과 같다⁴⁾. 유리질의 형성이 가능한 조성의 영역은 I과 II로, 본 연구에서는 비교적 안정한 ac 전도 특성³⁾을 보이는 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 조성을 선택, 제작하였다.

벌크시료를 제조하기 위해 순도가 5N인 As, Ge, 그리고 Te을 이용하여 벌크를 제조하였고, 열증착법을 이용하여 박막을 형성하였다. 박막의 증착시 증착속도는 50 Å/sec 이상으로 빠르게 증착시켜 휘발성 물질인 As의

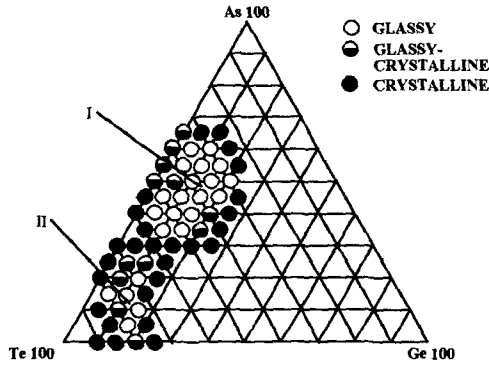


그림 1. As-Ge-Te 계의 조성도.

선택적인 증착에 의한 박막의 조성 변화를 피하였다⁵⁾. 또한 열처리를 통해 박막의 안정성을 높였다. 표 1은 실험에 사용한 박막 시편의 크기와 열처리 조건들을 정리한 것이다.

표 1. 박막 시편의 크기와 열처리 조건들.

Area of thin films	5×5mm ²
Thickness of thin films	500~1000Å, 0.45~1.2μm
Separations of electrodes	1mm, 2mm, 3mm, 4mm
Annealing temperatures	untreated, 353K, 373K, 393K, 413K
Annealing times	untreated, 20min, 40min, 1hr, 2hrs, 3hrs, 5hrs

2.2. 측정

비정질상으로서의 물리적 특성을 조사하기 위해 dc, ac 전도도의 온도 의존성과 주파수 의존성을 측정하였으며, 현재 칼코게나이드계 물질의 전도에 대한 모델 중 다양한 물질의 전도도 해석에 적합한 CBH (Correlated Barrier Hopping) 모델을 사용하여 여러 가지 물리적 상수들을 구하였다. dc 메모리 스위칭 특성을 실험하기 위해 박막 양단에 dc 전압을 인가하여 전도도가 급격히 증가하는 임계전압을 측정하였고, 박막의 여러 가지 조건들에 대한 임계전압의 변화를 살펴 보았다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 각각의 열처리 온도에 대한 온도 상승에 따른 dc 전도도를 측정된 결과이다.

약 373K ~ 393K의 온도 범위에서 dc 전도도들은 두 개의 직선으로 표현되는데, 비교적 낮은 영역에서의 dc 전도는 이동도 갭 내의 수 많은 결함들로부터 캐리어가 여기하여 에너지대 꼬리에서 일어나며, 고온 영역에서는 연장 에너지대로 여기하여 일어남을 의미하는 것이

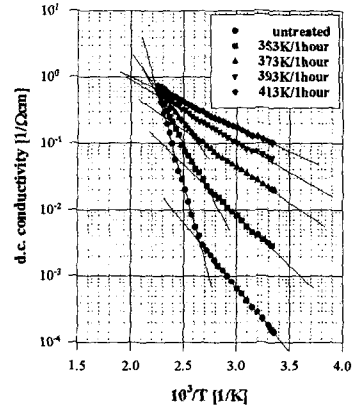


그림 2. 열처리에 따른 dc 전도도의 온도 의존성.

다. 고온 영역의 dc 전도도는 일반적인 진성 반도체의 전도와 같은 활성화형 전도 형식을 하므로 dc 전도도의 기울기로부터 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 박막의 활성화 에너지와 그에 상응하는 이동도갭을 표 2와 같이 구할 수 있다.

표 2. $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 박막의 열처리 온도에 따른 활성화 에너지와 이동도갭.

Sample	Activation Energy ($E_T - E_V$) [eV]	Mobility Gap ($E_C - E_V$) [eV]
Untreated	1.1121	2.2242
353K/1hour	0.7121	1.4242
373K/1hour	0.3825	0.7650
393K/1hour	0.2062	0.4004
413K/1hour	0.1486	0.2972

그림 3은 1kHz의 주파수에서 각각의 열처리에 따른 ac 전도도의 온도 의존성을 측정된 결과이다.

그림 3의 온도 의존성으로부터 Elliott²⁾에 의해 정리된 CBH 모델을 이용하여 여러 가지 박막의 물성 상수들을 구할 수 있고, 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3. 열처리에 따른 특성 이완시간과 절함상태밀도 (1 kHz).

Sample	Characteristic relaxation time τ_0 [s]	Spatial density of defect states N [cm ⁻³]
Untreated	6.990×10^{-4}	1.326×10^{18}
353K/1hour	1.143×10^{-7}	1.977×10^{18}
373K/1hour	1.603×10^{-7}	1.107×10^{17}
393K/1hour	2.424×10^{-7}	4.352×10^{17}
413K/1hour	4.588×10^{-7}	6.960×10^{16}

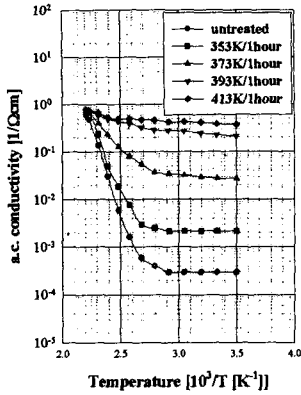


그림 3. 열처리에 따른 ac 전도도의 온도 의존성 (1 kHz).

그림 4는 ac 전도도의 주파수 의존성을 측정한 결과로, 모두 미처리 박막을 사용하였다.

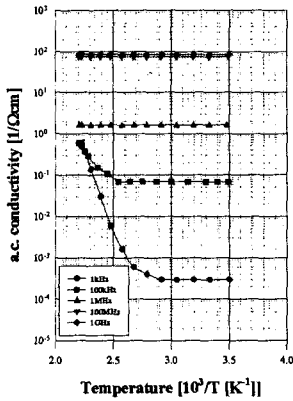


그림 4. 주파수에 대한 ac 전도도의 온도 의존성 (미처리 박막).

Rockstad⁹⁾가 수 MHz 이상의 주파수 영역에서 비정질 칼코게나이드계 물질의 ac 전도도는 온도에 따른 변화가 거의 없다고 보고한 바와 같이, 1MHz 이상의 주파수에서 ac 전도도의 온도 의존성이 거의 없이 안정된 특성을 보인다. 또한 그 이상의 주파수 범위에서 주파수에 대해서도 거의 일정한 ac 전도도를 보인다.

그림 5는 두께가 1μm, 열처리를 373K에서 1시간 동안 한 박막에 dc 전압을 인가하는 전극간 간격을 1mm로 하였을 때 나타나는 스위칭 현상을 나타낸 것이다.

박막을 흐르는 전류가 4.2V에서 급격히 증가함을 알 수 있으므로 위와 같은 조건의 박막이 갖는 스위칭 임계전압은 4.2V이다.

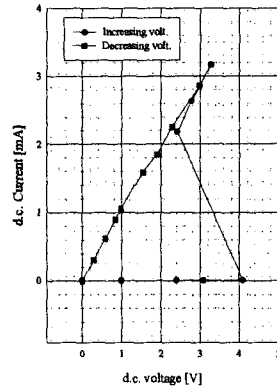


그림 5. dc 스위칭 I-V 특성 곡선.

그림 6은 그림 5 박막의 dc 전압 인가에 따른 dc 전도도의 변화를 나타낸 것이다.

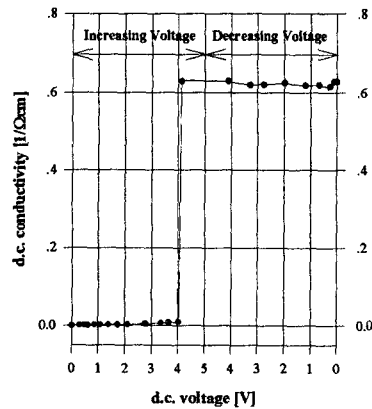


그림 6. 그림 5 박막의 dc 전도도 변화.

그림 7은 그림 5 박막의 스위칭 전과 후 ac 전도도의 주파수 의존성을 측정한 결과이다.

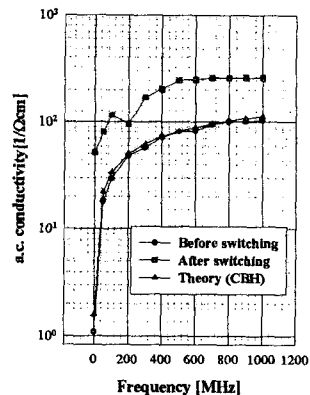


그림 7. 그림 5 박막의 스위칭 전과 후 ac 전도도의 주파수 의존성.

스위칭 현상이 일어나는 임계전압 이상에서 dc 전도도는 급격한 증가를 보이고, 스위칭이 일어난 후에는 높은 전도도를 유지한다. 스위칭이 일어난 후 ac 전도도는 dc 전도도와 마찬가지로 수 order가 증가를 하고 CBH 모델에 따라 높은 주파수로 갈수록 ac 전도도는 일정하게 포화되려는 경향을 갖는다.

4. 결 론

비정질 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 칼코게나이드 박막의 전도도는 열처리에 따라, 그리고 주변 온도에 따라 증가한다. 특히 ac 전도도는 1MHz 이상의 고주파수로 갈수록 온도나 주파수에 대해 독립적인 안정한 특성을 보인다. 그리고 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 박막의 양단에 dc 전압을 걸어주면 일정한 임계전압 이상에서 전도도의 급격한 증가를 보이는 메모리 스위칭 특성이 나타나고 일단 스위칭이 일어나면 높은 전도도를 계속 유지하게 된다.

따라서 고 주파수에서의 안정한 ac 전도 특성과 메모리 스위칭 후 급격한 전도도의 증가를 함께 고려해보면, 반도체 다이오드에 비해 제반 특성이 우수하고 또한 제작이 용이한 $As_{10}Ge_{15}Te_{75}$ 칼코게나이드 박막을 마이크로웨이브 영역에서의 스위칭 소자로서 이용이 가능하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] S.R.Ovshinsky, Phys. Rev. Lett. **21**, p.1450, 1968
- [2] S.R.Elliott, Phys. Mag. **36**, p.1291, 1977
- [3] A.Vohra and K.K.Srivastava, Phys. Stat. Sol. (a)**121**, p.341, 1990
- [4] A.Hamada, M.Saito and M.Kikuchi, Jpn. J. Appl. Phys. **35**, p.530, 1971
- [5] V.Damodara Das and K.S.Raju, Jpn. J. Appl. Phys. **35**, p.2234, 1996
- [6] H.K.Rockstad, J. Non-Cryst. Solids **2**, p.224, 1970