

구조에 따른 상변화 소자의 전자장 및 열 해석

임영진*, 장낙원*, 이성환**, 이동영**

* 한국해양대학교 전기전자공학부, ** 위덕대학교 에너지전기공학부

Electromagnetic and Thermal Analysis of Phase Change Device with Structure Change

Young Jin Lim*, Nakwon Jang*, Seong-Hwan Lee**, Dong-young Lee**

* Korea Maritime University, ** Uiduk University

Abstract - 본 연구에서는 상변화소자의 구조 변화에 따른 열전달 현상과 reset 전류에 대한 시뮬레이션을 실행하였다. 상변화소자의 상변화재료의 profile에 따른 주울열의 발생 및 reset 전류의 변화량을 시뮬레이션한 결과, 하부전극에서부터 도포되는 상변화재료 박막의 두께가 2000[Å]인 경우는 541(°)로 현저하게 발열온도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 저항체로 쓰이는 상변화재료의 저항 감소로 인해 발열량이 적게 되고, 상변화재료를 통해 전달된 열이 상부전극 텅스텐과 접촉하면서 외부로 쉽게 전달되면서 빠져나감에 따라 온도가 많이 올라가지 않는 것으로 생각된다.

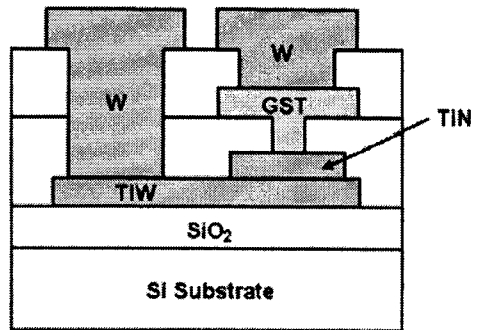


그림 1 상변화 소자의 단면도

1. 서 론

최근 IT시대의 도래와 함께 PDA, 휴대전화, MP3, 디지털 카메라 등 휴대형 저장매체 시장의 급속한 발전으로 배터리 없이도 데이터를 저장할 수 있는 초고속, 대용량, 저 전력 비휘발성의 새로운 메모리에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 그중에서 상변화 메모리 PRAM은 저항 변화에 따라 정보를 저장하는 비휘발성 메모리로, 제조공정이 단순하여 저가격화 달성이 용이하고, 셀 크기를 기존의 메모리에 비해 크게 줄일 수 있는 장점이 있어 최근 연구가 활발히 이루어지고 있다[1-6]. 그러나 현재 상변화재료의 전기적 성질에 따른 발열 현상, 상변화 소자의 구조에 따른 발열 특성 및 후속 집적 공정 진행에 따른 열화의 원인에 대한 전반적인 이해가 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 상변화소자의 상변화재료의 구조에 따른 주울열의 발생 및 열전달 현상을 3차원 유한 요소 해석 도구를 이용하여 해석함으로써 상변화 소자 개발을 위한 기본 구조 특성 및 재료 특성에 대해 알아보고자 한다.

2. 본 론

2.1 개요

본 연구에서는 상변화 cell의 주울열의 발생 및 상변화 재료에 있어서의 열전달을 해석하기 위해, 그림 1의 단면도와 같은 상변화소자를 제작하여 전자장 분포를 측정하고 이를 기본모델로 상변화소자에서의 전류 및 전력량을 3차원 전자장 시뮬레이션을 통해 얻었다. 발생된 주울열의 상변화소자에서의 열적 분포 특성을 해석하여 3D로 형태로 열적 분포를 제시하였고, 상변화 박막의 profile에 따른 열 발생 및 열 전달 현상을 해석하였다. Maxwell 방정식으로부터 유도되는 Laplace방정식과 경계 조건을 수치해석적인 방법을 이용하여 3D 구조로 시뮬레이션 수행하였다. 이때 사용한 유한 요소 해석 도구는 Magnet, Thermnet 이며, 시뮬레이션에 이용한 각 물질의 물질상수를 표 1에 나타내었다.

표1 물질 상수 (Material parameters)

Material	Electrical Conductivity (1/Ω.m)	Thermal Conductivity (J/cm.K.s)	Specific Heat C(J/kg.K)	Density (g/cm ³)
W	1.75x 10 ⁷	1.78	133.67	19.3
GST	2.4x 10 ⁵	0.018	193.55	2.698
TiW	1.43x10 ⁶	0.6	146.76	14.3
TiN	1.0x 10 ⁶	0.13	601.85	5.4
SiO ₂	1.0x 10 ⁻¹⁴	0.014	1330.47	2.33

2.2 상변화 소자 해석 모델

상변화소자의 전자장 및 열전달 해석을 위해 해석모델을 구성하였으며, 그림 2는 해석모델의 단면도 및 전자장 및 열전달 해석을 위해 Magnet-3D의 전처리기인 modeler를 사용하여 구성한 해석모델도이다.

시뮬레이션에 있어 중요한 변수인 각 layer의 두께와 크기는 다음과 같이 하여 시뮬레이션 하였다. GST 상변화 물질의 평면 박막의 크기와 두께는 3.0X3.0 [um], 3000 [Å]이다. 상변화재료 GST Hole의 크기와 두께는 지름 0.5 [um], 1000 [Å]이다. 또한 발열에 있어 중요한 역할을 하는 하부전극 TiN의 크기와 두께는 3.0X3.0 [um], 500 [Å]로 하였으며, TiW의 크기와 두께는 3.0X3.0 [um], 2000 [Å]로 하였다. 전류가 공급되는 상부전극 W의 두께는 3.0X3.0 [um], 1000 [Å]로 하였다.

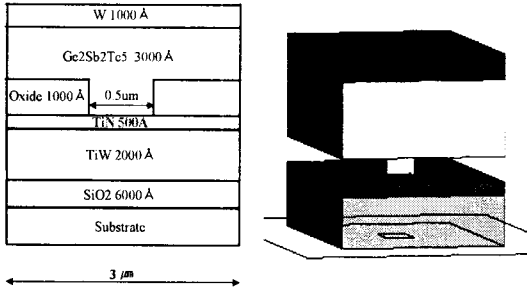


그림 2 상변화 소자의 해석 모델

2.3 상변화 소자의 전자장 및 발열 특성

상변화소자의 상부전극에서 GST막으로의 전류가 인가되었을 경우에 발생하는 주울열량을 알아보기 위해 시뮬레이션을 통해 상변화소자의 발열량을 조사하였다. 이때 상변화소자에 인가한 Reset current 의 값은 15mA, 100 ns이다.

그림 3은 상변화소자의 인가 전류에 따른 Ohmic loss 와 current flow 을 나타내었다. 상변화재료 GST Hole의 edge 쪽으로 전류가 집중적으로 흐르며 이곳에서 Ohmic loss가 크게 발생되는 것을 알 수 있다. 인가전류에 따른 발열량 분포를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 보듯이 RESET 전류 15mA, 100ns 에서 779(℃)의 발열량을 보이고 있다.

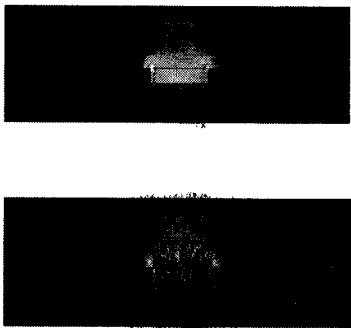


그림 3 상변화소자의 Ohmic loss 와 Current flow

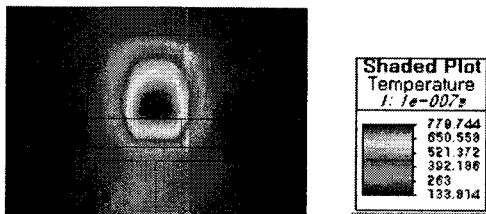


그림 4 상변화소자의 발열 온도 분포

2.4 상변화재료의 구조에 따른 전자장 및 발열 특성

반도체 공정을 거쳐 제작되는 상변화 소자의 경우, Schematic diagram은 그림 1과 같은 이상적인 구조를 나타내지만, 실제 공정을 진행하게 되면 공정 장비의 성능, 재료의 특성 및 공정 기술 능력에 따라 그 모양이 이

상적인 경우와 크게 차이가 나게 된다. 그림 1에서는 상변화 재료가 GST Hole을 모두 채우고 난 후 평탄하게 도포되는 것으로 그려져 있다. 그러나 실제 공정상에서 sputtering 방식으로 도포되는 GST 막은 GST Hole의 size가 작은 경우 Hole을 완전히 채우는 것이 불가능하며 GST 막을 평탄하게 제작하기 어렵다. 실제로 제작되는 상변화소자의 경우 그림 5와 같은 GST 막이 hole을 채운 후 평탄하지 않고 굴곡이 있는 모양을 갖게 된다. 따라서 실제 제작된 소자의 모형과 동일한 형태의 상변화 소자에 대한 동작을 시뮬레이션을 통해 확인하는 것이 필수적이라 하겠다.

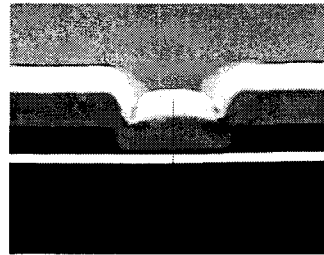
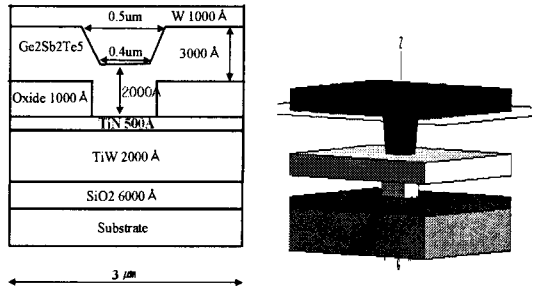


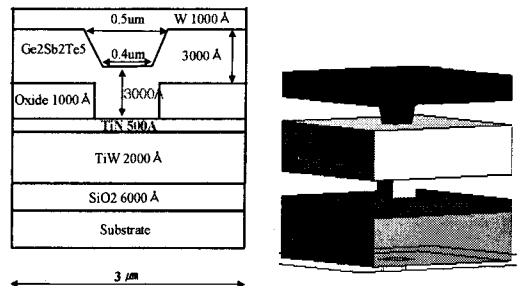
그림 5 실제 제작된 상변화 소자의 단면도

그림 6(a)는 하부전극에서부터 GST Hole에 도포되는 GST 박막의 두께가 2000(Å)인 GST profile을 갖는 상변화소자의 해석모델도 및 단면도이며, 그림 6(b)는 하부전극에서부터 GST Hole에 도포되는 GST 박막의 두께가 3000(Å)인 GST profile을 갖는 상변화 소자의 해석모델도 및 단면도이다.

또한 그림 7 은 각 상변화 소자의 인가 전류에 따른 Ohmic loss 와 current flow 을 나타내었다. 인가전류에 따른 발열량분포를 그림 8에 나타내었고 표2에 그 결과를 요약하였다.

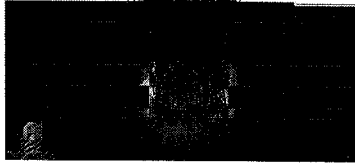
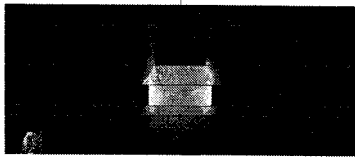


(a) 2000(Å)의 GST profile

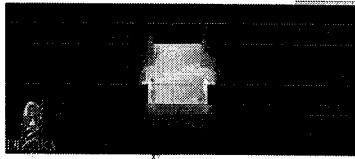


(b) 3000(Å)의 GST profile

그림 6 상변화 재료 구조에 따른 해석 모델

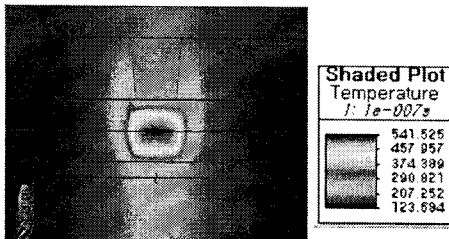


(a) 2000[Å]의 GST profile

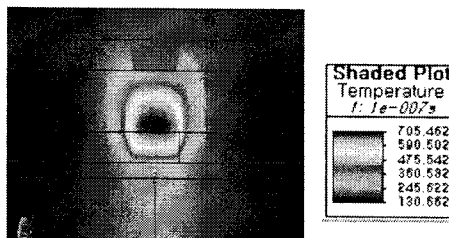


(b) 3000[Å]의 GST profile

그림 7 상변화 재료 구조에 따른 Ohmic loss 와 Current flow



(a) 2000[Å]인 GST profile



(b) 3000[Å]인 GST profile

그림 8 상변화 재료의 구조에 따른 발열 온도 분포

그림과 표에서 보듯이 하부전극에서부터 도포되는 GST 막의 두께에 따라 동일 RESET 전류를 인가하였을 때 상변화 Cell의 발열량이 크게 차이가 남을 알 수 있다. GST Hole에 도포되는 GST 막의 두께가 3000

[Å]인 경우는 705(℃)로 4000[Å]일 때와 크게 차이가 나지 않으나 GST 막의 두께가 2000[Å]인 경우는 541(℃)로 현저하게 발열온도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 상변화재료 GST막의 두께가 얇아 발생된 열이 전달되는 과정에서 GST막 통해 전달된 열이 상부전극 텅스텐과 접촉하면서 외부로 쉽게 전달되면서 빠져나감에 따라 온도가 많이 올라가지 않는 것으로 생각된다.

표 2 상변화 재료 구조에 따른 발열량

GST profile 두께	발열 온도
4000[Å]	779 (℃)
3000[Å]	705(℃)
2000[Å]	541(℃)

3. 결 론

본 연구에서는 상변화소자의 상변화재료 GST 막막의 구조에 따른 주열의 발생 및 열전달 현상을 3차원 유한 요소 해석 도구를 이용하여 해석하였다.

상변화소자의 GST 막막 profile이 하부전극에서부터 도포되는 GST 막의 두께가 2000[Å]인 경우 Reset 전류가 15mA 일때 발열온도가 541(℃)로, 3000[Å]인 경우의 769(℃), 4000[Å]인 경우의 779(℃)보다 크게 발열온도가 낮아졌다. 이는 상변화 막막에서 발생한 열이 상부전극 텅스텐과 접촉하면서 외부로 쉽게 빠져나감에 따른 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] S.Ovshinsky, "Reversible Electrical Switching Phenomena in Disordered Structures", Phys. Rev. Lett., Vol.21(20), pp.1450, 1968
- [2] S.Lai, T.Lowrey, "OUM - A 180 nm nonvolatile memory cell element technology for stand alone and embedded applications", IEEE IEDM Tech. Dig., pp803, 2001.
- [3] N. Akahira, N. Yamada, K. Kimura, M. Takao, "Recent Advances in Erasable Phase-Change Optical Disks", SPIE Vol.899 Optical Storage Technology and Applications, pp.188, 1988.
- [4] N.Yamada, E. Ohno, K.Nishiuchi, N.Akahira, M.Takao, "Rapid-Phase Transitions of GeTe-Sb2Te3 Pseudobinary Amorphous Thin Films for an Optical Disk Memory", J. Appl. Phys., Vol.69(5), pp.2849, 1991.
- [5] Y.H.Ha, J.H.Yi, H.Horii, J.H.Park, S.H.Joo, S.O.Park, U.I.Chung, J.T.Moon, "An Edge Contact Type Cell for Phase Change RAM Featuring Very Low Power Consumption" IEEE Symposium on VLSI Tech. Dig., pp.175, 2003.
- [6] S.H.Lee, Y.N.Hwang, S.Y.Lee, K.C.Ryoo, S.J.Ahn, H.C. Koo, W.C.Jeong, Y.T.Kim, G.H.Koh, G.T.Jeong, H.S.Jeong and Kinam Kim, "Full Integration and Cell Characteristics for 64Mb non-volatile P RAM", IEEE Symposium on VLSI Tech. Dig., pp.20, 2004.