

접촉 면적에 따른 상변화 메모리 소자의 특성 고찰

김재욱*, 강이구**, 성만영*
고려대학교*, 극동대학교**
02) 3290-3782

Characterization of Phase change Memory Cell for Contact Area

Jae Wook Kim, Ey Goo Kang*, Man Young Sung
Korea Univ., Far East Univ.*

Abstract

An ideal semiconductor memory technology would combine or unify the attractive features of these technologies without acquiring any of the unattractive features. Such a memory technology, Phase Change RAM is now being developed using the class of elements known as chalcogenides. It is expected that this technology will eventually allow chips that have SRAM speed, DRAM cost, and Flash power characteristics and non-volatility.

1. 서론

최근의 메모리 시장은 DRAM과 Flash 메모리의 양자구도로 발전하고 있다. 특히 셀룰러 폰이나 PDA, 디지털 카메라 등의 모바일 기기와 디지털 가전시장의 급속한 성장과 함께 Flash 메모리의 수요는 큰 폭으로 확대되고 있다. D-RAM의 높은 비트 당 가격 및 성능 우수에도 불구하고 휘발성에 의한 전력소모 때문에 비휘발성의 특성을 충족시키는 Flash 메모리의 수요가 증가하고 있는 것이다. 현재 Flash 애플리케이션의 대부분은 이동통신단말기 시장이다. 이동통신단말기의 프로그램 저장용 메모리로는 Flash 메모리의 다소 느린 동작 속도를

보완하기 위하여 SRAM과 패키징한 MPC (Multi Chip Packaging)가 이용되고 있다. 오늘날 사용되고 있는 메모리들은 각각이 일장일단을 가지고 있어 하나의 메모리만으로는 모든 역할을 해내기 어렵다. 따라서 SRAM과 같은 빠른 읽기-쓰기 속도와 DRAM과 같은 비트당 가격 우수성, Flash 메모리의 장점인 비휘발성과 낮은 전력 소모등과 같은 장점을 모두 지닌 이상적인 차세대 메모리의 필요성이 대두되고 있는 것이다.[1]

현재 연구되고 있는 차세대 메모리로는 FRAM(Ferroelectric RAM), MRAM(Magnetic RAM) 그리고 PRAM(Phase-change RAM) 등이 있다. 이중 FRAM과 MRAM은 제조공정이나 생산단가, 메모리의 성능에 대한 치명적인 문제로 인해서 차세대 메모리의 특성인 고속, 저전력, 고집적, 비휘발성, 낮은 공정단가 등의 특성을 만족시키지 못하고 있다.[2]

PRAM은 1968년에 R. Ovshinsky에 의해 발표된 칼코게나이드(Chalcogenide) 계열 물질의 상변화를 이용한 전기적 스위칭 특성을 메모리에 응용한 것으로 OUM(Ovonic Unified Memory) 또는 CRAM(Chalcogenide RAM)이라고도 불리운다. 상변화 물질에 전류가 흐르면서 가해지는 열에 의해서 물질의 상태가 결정질에서 비정질 또는 그 반대로 변화하는 성질을 정보를 기록하는데 사용한 것이다. 기존에

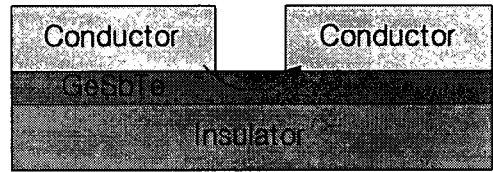
연구되어온 상변화 메모리 소자의 구조는 그림 1과 같다. 전극과 상변화 물질과의 접촉면의 크기는 포토리소그래피 기술과 에칭기술에 의해 결정되었다. 상변화 메모리 소자의 구조는 전류의 흐름 방향을 기준으로 수평 구조와 수직 구조의 두 종류로 나눌 수 있다. 수평 구조는 소자의 구조 자체가 간단하기 때문에 제작하기가 쉽고, 소자 내에서의 물리적 현상 변화를 알아내는데 적합하다. 하지만 전극과 전극 사이의 거리가 수 μm 에 이르기 때문에 실제 메모리 소자로의 적용에는 적합하지 않다. 이에 반해 수직 구조는 상변화 물질을 증착한 두께가 전극 사이의 거리이므로 실제 메모리 응용에 적합한 구조이기 때문에 현재 많이 연구되어지고 있다. 따라서 수직구조이면서 전극과 상변화 물질과의 접합 면적을 줄이는 것이 중요한 목표이다.[3]

저전력과 고속 동작을 위해서는 상변화 물질과 전극과의 접촉 면적을 최소화 하여야 한다. 또한 열전극과 상변화 물질 사이의 열전달 효과를 극대화시키면서 열발산을 최소화하기 위해 열보호층, 확산방지막 등의 배치가 적절히 하여야 한다. 기존의 수직 구조로 만들어 상변화가 일어나는 부피를 최소화하여 전력소모량을 줄이면서 상변화 물질과 전극과의 접촉 면적을 최소화하기 위해 고안한 구조를 그림 2에 나타내었다.

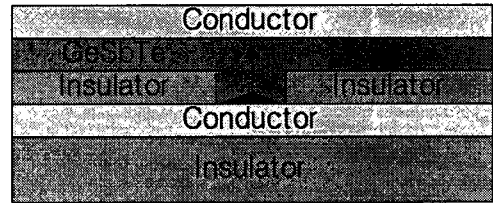
이 구조의 장점은 상변화 물질과 전극과의 접촉 면적을 하부 전극의 증착 두께로 조절할 수 있다는 점이다. 최소 접촉 면적은 50nm (하부 전극의 두께) $\times 5\mu\text{m}$ (상변화 물질의 선폭)으로 하부 전극의 증착된 두께와 상변화 물질의 넓이로 자유롭게 조절할 수 있다는 것과 상변화가 일어나는 부분의 주위를 절연체 물질로 감싸 열전극에서 발생한 열이 최대한 상변화 물질로 전달되도록 하는 장점이 있다. 또한 상변화 물질의 증착 두께를 자유로이 조절할 수 있으므로 두께의 변화에 따른 저항의 변화와 상변화에 필요한 전류의 양을 조절하는데 용이하다.

이 논문에서는 증착되는 하부전극의 두께와 상변화 물질의 선폭등을 조절함으로써 접촉 면

적의 넓이를 바꾸어가며 그에 따라 변화하는 필요한 상변화 전압을 측정하고 그 차이점에 대하여 고찰하였다.



(a)



(b)

그림 1 (a) 수평구조

(b) 수직구조

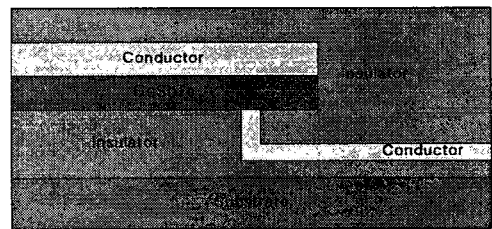


그림 2 고안한 상변화 메모리 소자 구조

2. 본론

먼저 실험을 위해 서로 다른 접촉 면적을 갖는 두 개의 시료를 제작하였다. 상변화 물질로는 현재까지 CD-RW나 DVD-RAM과 같은 광학 메모리 소자에서 레이저에 의해 상변화를 일으키는 물질로 널리 사용되고 연구되어진 GST($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$)를 사용하였다. 전극으로는 Ti를 sputtering 방법을 이용하여 증착하였고 접촉 부분에서 열의 방출을 막기 위한 열 보호층으로는 ZnS를 사용하였다. 첫 번째로 하부전극의 증착 두께를 100nm 로 하고 상변화 물질의 선폭을 $5\mu\text{m}$ 로 하였을 때의 전압에 따른 전류와 저항의 변화를 측정하였다. 이 시료의 전극과 상변화 물질과의 접촉 면적은 100nm

×5 μm 이다.

그림 3의 그래프에서 보는 바와 같이 I 영역은 상변화 물질인 GST가 증착된 직후에 비정질 상태로 존재하다가 입력저항이 8.5V까지 서서히 증가함에 따라 국부적으로 발생하는 열에 의해 저항이 서서히 감소하는 영역이다. 이는 비정질 상태이기는 하나 증착 직후의 원소들 간의 성분간 배열이 일정하지 않은 상태에서 국부적으로 발생한 열이 원소들 간의 이동을 일으켜 점차적으로 저항이 줄어드는 것이다. II 영역은 비정질 상태의 GST가 충분한 열을 공급받아 결정질 상태로 변화하는 영역이다. I 영역에서의 저항에 비해 약 10^8 정도의 저항 변화가 생겨나는 것을 알 수 있다. 이 현상은 외부에서 공급되는 전류의 양에 따라 발생하는 열에 의해 비정질 상태의 상변화 물질을 결정질로 순간적으로 변화하는 것임을 알 수 있다. 상변화 물질이 결정질로 있는 경우 최소 저항으로 존재하기 때문에 옴의 법칙에 따라 전류-전압 곡선이 일정한 기울기로 증가함을 보여주고 있다. 이때의 저항값은 $2.07 \times 10^3 \Omega$ 이다. 이에 앞서 결정질로 바로 넘어오기 전의 비정질 상태에서의 저항값은 $9.66 \times 10^6 \Omega$ 이다. III 영역은 결정질 상태의 GST에 더 많은 전류를 공급해 주어 녹는점 이상까지 열을 발생시켜 다시 비정질 상태로 변하는 현상을 나타내고 있다. 이때는 모든 상변화 물질이 비정질로 변화하기 때문에 I 영역에서와 같은 저항의 기울기가 생겨나지 않으면 또한 저항이 매우 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이처럼 저항이 매우 크게 나타나는 원인은 결정질에서 비정질로 상변화가 일어난 다음에 전류의 공급을 끊어주어 더 이상의 열이 발생하는 것을 방지하여 GST가 비정질 상태로 남아 있도록 해주어야 하는데 계속해서 고온의 열을 방생시켜 GST의 원소간의 결합이 파괴되어 거의 부도체와 같은 저항을 갖게 되는 것이다.

따라서 GST 물질이 결정질에서 비정질로 변화하는 녹는점에 대한 온도 및 전류값과 전압값을 정확하게 알아내는 것이 과전류에 의한 고온 발생을 방지하는 것이 된다. 또한 접촉 면적이 커지게 되면 상변화에 필요한 전류의 양이 기하급수적으로 늘어나기 때문에 저전력의 상변화 메모리 소자를 만들기 위해서는 최우선적으로 상변화 물질과 전극과의 접촉 면적을 최소화하는 것이 필요하다.

이에 따라 다음 시료는 상변화 물질과 전극과의 접촉 면적을 최소화하여 제작한 것으로 면적은 $50\text{nm} \times 2\mu\text{m}$ 이다. 역시 변화하는 구간을 I, II, III으로 나누어 그림 4에 나타내었다. 상변화하는 구간은 면적의 크기에 상관없이 일정함을 알 수 있다. 하지만 상변화가 일어나는 전압을 살펴보면 시료 1에서는 비정질에서 결정질로 변화하는 전압이 8.5V인데 비해 접촉 면적을 줄인 시료 2에서는 1.8V에서 결정화가 일어났다. 이는 면적이 줄어든 비율에 비례하여 결정화가 일어나는 전압값도 줄어든 것임을 알 수 있다. 또한 결정질에서 다시 비정질로 변화하는 전압도 시료 1에서는 12V인데 비해 시료 2에서는 4.2V로 급격히 감소하였음을 알 수 있다.

접촉 면적의 변화에 따른 상변화 전압의 변화를 도식화하여 그림 5에 나타내었다. 면적이 커짐에 따라 비정질에서 결정질로, 다시 결정질에서 비정질로 변화하는 전압도 커짐을 알 수 있다. 따라서 GST를 상변화 메모리 소자로 사용하기 위해서는 접촉 면적을 최소화 하는 것이 가장 중요한 것임을 알 수 있다.

3. 결론

최근의 여러 모바일 기기의 사용이 급증하면서 모바일 기기내의 메모리에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이중 상변화 메모리는 제조 공정이 간단하고 소자의 크기가 작아 집적하기 쉽고 비휘발성이라는 점 등의 장점을 많이 지니고 있어 활발히 연구 중이다. 상변화 메모리의 저전력, 고속 동작을 위해서는 상변화가 일어나는 부분인 접촉 부분의 면적을 줄이는 것이 필수적이다. 접촉 면적의 크기는 포토리소그래피 기술과 에칭기술의 한계로 이제까지 실현되기 어려웠으나 이 논문은 새로운 구조를 고안하여 쉽게 작은 크기의 접촉 면적을 얻어낼 수 있었고 그 효과에 대해서 접촉 면적이 큰 다른 구조와 비교하였다. 접촉 면적이 작은 구조에서는 큰 구조에 비해서 상변화 전압에서 매우 큰 차이가 나기 때문에 메모리 소자를 읽고 쓰는데 매우 큰 전력 절감효과를 볼 수 있다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 지원에 의하여 연구되었음(R01-1999-000-00230-0)

참고문헌

- [1] Jon Maimon, Ed Spall, Robert Quinn, Steven Schnur, "Chalcogenide-Based Non-Volatile Memory Technology", 2001 IEEE, 5-2289~5-2294, 2001
- [2] Karl F. Strauss, "Overview of Radiation Tolerant Unlimited Write Cycle Non-Volatile Memory", 2000 IEEE, 399~408, 2000
- [3] Scott Tyson, Guy Wicker, Tyler Lowrey, Stephen Hudgens, Ken Hunt, "Nonvolatile, High Density, High Performance Phase-Change Memory", 2000 IEEE, 385~390, 2000

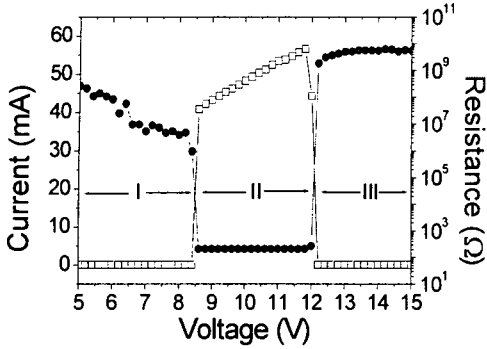


그림 3 접촉 면적 100nm×5μm의 시료 1

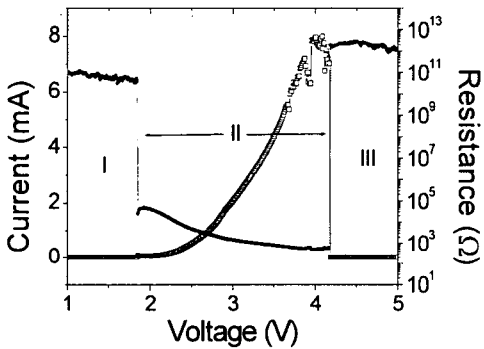


그림 4 접촉 면적 50nm×2μm의 시료 2

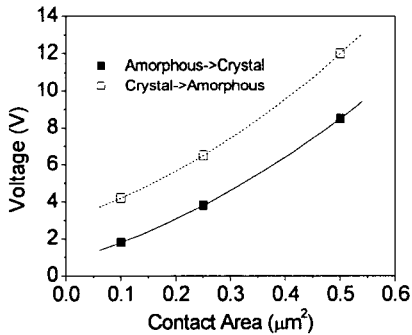


그림 5 접촉 면적의 크기에 따른 상변화 전압의 변화