

유기 메모리 소자

육경수 · 전순옥 · 이준엽

1. 서론

컴퓨터를 비롯한 전자기기의 소형화 및 대용량화에 힘입어 복잡한 전자회로 구조들의 작은 집적회로 칩 내에 고집적화가 가능해지고 있다. 그러나, 점점 늘어나는 방대한 자료에 반해 그 대표적 저장장치인 컴퓨터용 하드 디스크는 그 크기와 안정성 면에서 휴대용 기기에 사용하기에는 많은 문제점을 내포하고 있다. 따라서, 소형화, 경량화 및 최소한의 전력소비가 가능한 휴대용 저장장치에 대한 관심은 더욱 고조되어, 현재 스마트 디스크, 소형 플래시 메모리, NOR 및 NAND 플래시 메모리 장치, USB 메모리 등이 상용화되어 사용되고 있다. 하지만, 아직까지 이런 메모리들은 저장용량이 수 기가바이트 수준밖에 되지 않아 방대한 양의 데이터를 처리하기에는 기술발전이 시급한 실정이다. 또한, 위에 언급된 메모리들 중 스마트 디스크, 소형 플래시 메모리와 같은 무기 반도체를 기반으로 한 장치들은 적층이 어렵기 때문에 저장용량을 늘이는데 근본적인 한계가 있다. 따라서, 현 기술의 장벽인 용량 문제를 해결하기 위해 유기 메모리 연구에 대한 관심이 점점 증대되고 있다.

유기 메모리 소자는 유기물을 이용하여 on/off 상태를 표현하는 메모리 소자로서 기존의 무기 반도체 또는 금속 산화물을 이용하는 메모리 소자를 대체하기 위하여 개발되고 있다. 기존의 메모리 소자에 비하여 메모리 소자 제작 공정이 단순하고, 저가에 메모리 소자 제작이 가능하며, 프린팅 공정을 이용한 대형화에도 적합하고, 유기물의 유연성으로 인하여 flexible 소자의 제작이 가능하며, 경량으로 제작 가능하며, 고속으로 정보의 저장 및 삭제가 가능하고, 메모리 단위의 적층이 용이하여 메모리 집적도를 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.

메모리 소자는 메모리 소자의 특성에 따라 비휘발성 메모리(non-

volatile memory)와 휘발성 메모리(volatile memory) 소자로서 구분되어지며, 비휘발성 메모리의 경우 데이터를 기록하게 되면 전원이 제거되더라도 데이터를 그대로 기억하는 특성을 가지며, 휘발성 메모리의 경우에는 전원을 제거하는 데이터가 제거되는 특성을 갖는다. 유기 메모리 소자의 경우 유기 재료 및 소자 구조 제어를 통하여 휘발성 또는 비휘발성 메모리의 제작이 가능하며, 최근의 주된 연구는 전원을 제거하더라도 정보를 기억하고 있는 비휘발성 메모리 소자의 개발을 중심으로 이루어지고 있다. 본 내용에서는 주로 최근에 활발히 개발되고 있는 비휘발성 메모리의 개발 현황에 대하여 논하도록 하겠다.

2. 본론

유기 메모리 소자는 쌍안정성을 통하여 메모리 성능을 가지는 유기 소자로서 동일 전압에서 두 가지의 안정된 전도성(혹은 저항성), 즉, On("1")-Off("0")를 지나는 유기 소자이다. 비휘발성 메모리의 경우 전원을 제거하더라도 on-off 상태를 그대로 유지하는 것이 가능하며, 일반적으로 유기 메모리 소자는 두 개의 전극과 메모리 특성을 가지는



전순옥
2006 단국대학교 화학과(학사)
2008 단국대학교 화학과(석사)
2008~ 단국대학교 교분자시스템공학부(박사)
현재



육경수
2007 단국대학교 교분자공학과(학사)
2007~ 단국대학교 교분자시스템공학부(석사)
현재



이준엽
1993 서울대학교 공업화학(학사)
1995 서울대학교 공업화학(석사)
1998 서울대학교 공업화학(박사)
1998~ Rensselaer Polytechnic Institute
1999 (Post-doc)
1999~ 삼성 SDI 중앙연구소, 책임연구원
2005
2005~ 단국대학교 교분자시스템공학부, 조교수
현재

Organic Bistable Memory Devices

단국대학교 교분자시스템공학부(Kyoung Soo Yook, Soon Ok Jeon, and Jun Yeob Lee, Department of Polymer System Engineering, Dankook University, 126, Jukjeon-dong, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi 448-701, Korea) e-mail: lee17@dankook.ac.kr

유기물로 구성된다. 유기 메모리 소자의 on/off 특성은 유기물의 성능에 따라 주로 좌우되며, 유기물과 함께 소자를 구성하는 나노 입자 등에 의해서도 메모리 특성이 큰 영향을 받는다.

유기 메모리 소자를 비휘발성 메모리 소자로 사용하기 위해서는 소자의 잡음에 대한 방지와 정보의 원활한 검출을 위해 메모리 상태에 대한 큰 on/off 비율이 요구되며, 소자 동작에 있어서 읽기, 쓰기, 지우기의 나노초(ns) 수준의 고속 구동이 가능해야 하며, 높은 정보 저장 횟수(write/erase cycles) 및 고집적을 위해 소자의 크기가 작아짐에 따라 전자기파 및 방사선 입자 등의 외부 조건에 덜 민감하고, 소자의 낮은 상호 간섭(cross talk)과 작은 면적의 단위 소자로 구성될 것이 요구된다. 또한, 휴대용 및 이동장치에의 적용을 위해 낮은 소비전력이 요구되고 이를 위한 낮은 구동전압과 저에너지 손실의 소자 특성이 요구되고 있다.

일반적으로 유기 메모리 소자는 두 전극 사이에 유기물을 포함하는 층으로 구성되어 있으며, 쓰기 전압에 따라 두 전극 사이의 저항 또는 전도도 변화에 의하여 동일 전압에서 두 가지 서로 다른 전류 상태를 표현하게 된다. **그림 1**의 전류-전압 곡선에서 메모리 소자는 1 V에서 서로 다른 두 전류 상태를 보이고 있으며, 낮은 전류 상태(높은 저항)는 메모리 소자에 erasing 전압을 인가할 경우 구현되며, off 상태에 해당한다. 반면, 높은 전류 상태는 메모리 소자에 writing 전압에 해당하는 전압을 인가할 경우 구현할 수 있으며, 메모리 소자의 on 상태에 해당한다. 높은 전류 상태는 다시 erasing 전압을 가할 경우 낮은 전류 상태로 되돌아가며 이 모든 과정이 가역적으로 발생하고, 한번 기록된 전류값은 erasing 전압을 가할 때까지 전압을 제거하더라도 그대로 유지되어 비휘발성 메모리 소자의 특성을 갖게 된다.

유기 메모리 소자를 구현하는 방식으로는 다양한 방식이 알려져 있으며, 대표적인 메모리 소자 구현 방식으로는 전하이동 착물(charge transfer complex)을 이용하는 방법, 유기물과 나노입자를 이용하는 방법, 분자 구조의 변화를 이용하는 방법 및 순수 유기물을 이용하는 방법 등이 알려져 있다. 다양한 방식의 유기 메모리 소자 구현 방식을

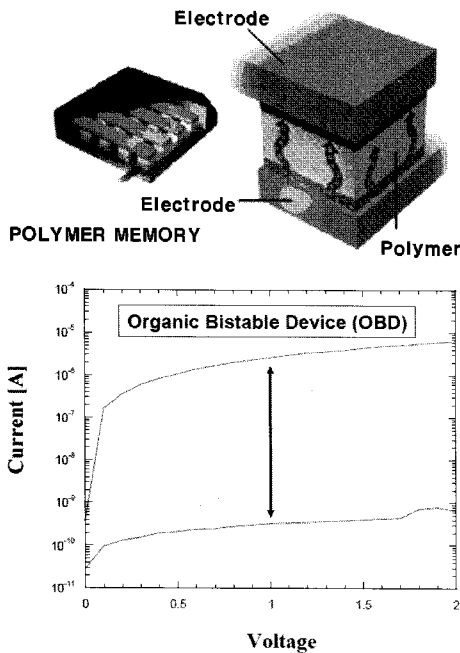


그림 1. 대표적인 유기 메모리 소자의 구조 및 전류-전압 특성.

표 1에 나타내었다.

2.1 전하 이동 착물을 이용하는 유기 메모리 소자(Organic Memory Using Charge Transfer Complex)

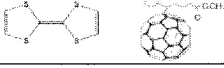
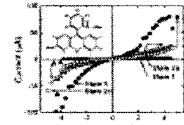
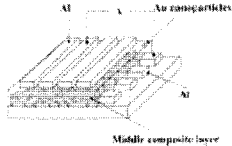
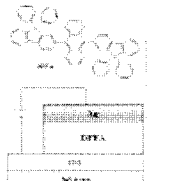
일반적으로 polymer matrix 내에 전자주개(electron donor), 전자받개(electron acceptor)를 각각 혼합하여 complex를 제조한 것으로, 그 용액을 spin-coating 방식으로 전극 위에 증착한다. 대표적인 예로, polystyrene에 전자주개인 tetrathiafulvalene(TTF)와 전자받개인 methanofullerene 6,6-phenyl C61-butiric acid methyl ester(PCBM)를 혼합하여 용액을 제조하고, 이를 전극에 코팅하여 측정할 것이 있다.¹ I-V 특성을 조사한 결과, 0-2.6 V까지는 낮은 전도도, 2.6 V 이상의 경우에는 높은 전도도를 갖는 쌍안정성(bistability)을 나타내어 유기 메모리 장치로의 가능성을 제시하였다. 다른 연구로는 전자주개 특성을 갖는 poly(N-vinylcarbazole)(PVK)에 전자받개 특성을 갖는 풀러렌(fullerene)을 측쇄(side chain)에 1 mole% 정도 도입하여 이를 ITO glass에 증착하고 I-V 특성을 측정한 결과 유기 메모리 소재로의 사용에 적합한 성능을 보여주었다. 또한, 금속인 Cu와 전자 받개인 tetracyanodiquinomethane(TCNQ)를 ITO 전극과 Al 사이에 적층하여 메모리 소자를 구현하는 연구도 보고되었다.²

그림 2에 Cu와 TCNQ로 구성된 메모리 소자의 전류-전압 특성을 나타내었다. 그러나, 전하 이동 착물을 이용하는 메모리 소자는 on/off 비율이 낮으며, 스위칭 속도 측면에서 다른 유기 메모리 소자에 비하여 저하되는 단점을 가지고 있기 때문에 연구 개발은 미미한 수준이다.

2.2 유기물과 나노입자를 이용하는 유기 메모리 소자(Organic/Nanocluster Composite Structure)

유기물과 나노입자를 이용하는 메모리 소자는 현재 가장 활발하게 연구되고 있는 분야로서 유기물 사이에 전자를 받을 수 있는 전자받

표 1. 다양한 방식의 유기 메모리 소자 구현 방식

메모리 소자 제조원리	메모리 소자 특징	연구 그룹
Charge Transfer Complex를 이용한 메모리 소자 	낮은 on/off 비율	Potember <i>et al.</i> , <i>Synth.Met.</i> , 1982
분자구조의 형태 변화 또는 산화/환원 메커니즘 	느린 반응 속도	Collier <i>et al.</i> , <i>Science</i> 2000
금속 나노입자를 이용한 메모리 소자 Al / Au nanoparticles / Al 	가장 우수한 특성 나노입자 분산의 재현성 부족	Yang <i>et al.</i> , <i>Nano Lett.</i> , 2005
유기 화합물을 이용한 메모리 소자 	낮은 on/off 비율 메모리 특성의 불안정성	Ma <i>et al.</i> , <i>Appl. Phys. Lett.</i> , 2006

개로서 나노입자를 포함하고 있는 구조로 이루어져 있다.²⁻¹³ 나노입자를 포함하는 유기 메모리 소자는 높은 on/off 비율, 우수한 반복 구동 안정성 및 ns 수준의 고속 응답성 등이 보고되고 있다. 나노입자로서는 다양한 입자들이 연구되고 있으며, 대표적인 나노입자로는 금속 나노입자, 양자점 및 금속 산화물 등이 있다.

금속 입자를 이용한 유기 메모리 소자는 Y. Yang 그룹에 의하여 최초로 보고되었으며, 유기물 내에 금속 나노입자를 도입하여 유기물로부터 금속 입자로의 전자 이동에 의한 전하 trapping 현상에 의하여 on/off 상태에서의 저항 차이에 의하여 메모리 특성이 구현되는 것으로 보고되었다. **그림 3**에 유기물인 tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq₃) 사이에 Al 나노입자를 포함하는 소자의 전류-전압 특성을 나타내었다. 메모리 소자는 초기 off 상태에서 전압이 증가함에 따라 전류가 서서히 증가하게 되며, threshold 전압(V_{th})에서 급격하게 전류가 증가하게 된다. V_{th} 에서 소자는 낮은 전류 상태에서 높은 전류 상태로 변화하게 되며, off 상태에서 on 상태로 전환된다. V_{th} 이후 추가적으로 전압이 상승하면 소자의 전류는 감소하는 경향을 나타내며 일정 전압(V_{max}) 이상에서는 전류가 다시 증가하게 된다. 이러한 현상은 나노입자를 포함하는 유기 메모리 소자에서 주로 관찰되고 있으며, negative differential resistance (NDR) 현상이라고 한다. 전압을 다시 감소시키게 되면 전류값은 V_{th} 보다 낮은 전압에서도 높은 전류값을 보이는 것을 알 수 있으며, on 상태를 보이게 된다. 따라서, 나

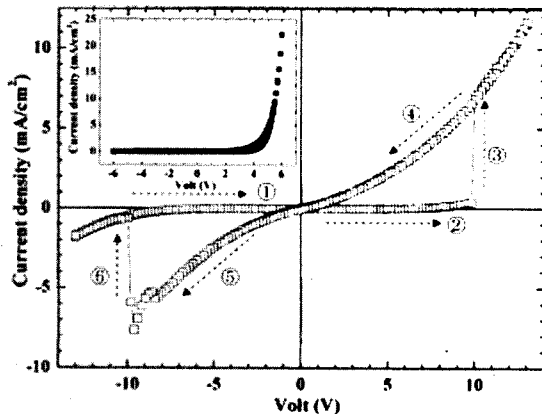


그림 2. 전하 이동 착물인 Cu-TCNQ를 이용하는 메모리 소자의 전류-전압 특성.²

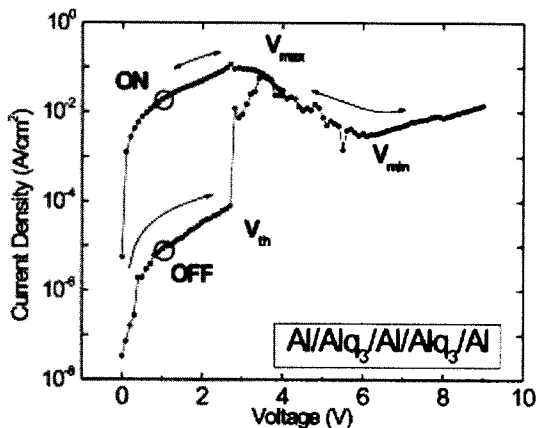


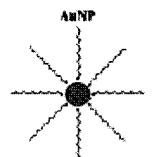

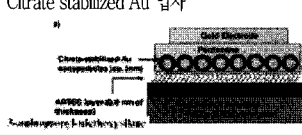

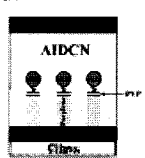
그림 3. 금속 나노입자를 포함하는 유기 메모리 소자의 전류-전압 특성.⁸

노입자를 포함하는 메모리 소자는 0 V와 3 V 사이에서 동일 전압에서 높은 전류 상태와 낮은 전류 상태를 보이는 것을 알 수 있으며, 두 전류 상태는 전원이 제거된 이후에도 안정적으로 유지된다. 본 소자의 writing 전압은 3 V와 4 V 사이이며, erasing 전압은 6 V에 해당한다.

Y. Yang 그룹의 연구 이후에 다양한 금속입자를 포함하는 유기 메모리 소자가 보고되었으며, 금속 입자가 도입될 경우에 소자에서의 메모리 특성이 우수한 것으로 보고되고 있다. 금속 나노입자를 유기 메모리 소자 내에 도입하는 방법은 금속과 유기물을 진공상에서 열증착하여 형성하는 방법과 금속 나노입자를 분산시킨 용액에서 유기물과 금속나노입자를 혼합하여 코팅하는 방법을 사용하고 있다. 그러나, 진공 증착에 의한 방식 및 용액상에서의 분산을 통하여 유기물 내에 나노입자를 균일하게 분산하는 방법들은 금속 나노입자 분산이 균일하지 않은 단점으로 인하여 소자의 특성이 저하되며 특성 재현성이 확보되지 못하는 문제점이 있다.

금속 입자를 통하여 구현하는 유기 메모리 소자의 특성 안정성을 향상시키기 위한 방법은 금속 입자의 표면을 증착 도중 산소를 이용하여 산화시켜 코어-셸 구조의 나노입자 형태로 유기물 내에 분산하는 방법이다. 금속 나노입자에 의한 쌍안정성은 금속 나노입자에 의한 charge trapping/detrapping 메커니즘으로 알려져 있으며, charge trapping을 효과적으로 하기 위해서는 금속 나노입자 코어에 전하를 가둘 수 있는 절연성을 갖는 물질을 표면에 코팅하여 코어-셸 구조를 구현해야 한다. 따라서, 금속 나노입자를 증착 공정 중 산화시켜 산화물을 표면

표 2 유기 메모리 소자의 나노입자 및 나노입자를 분산시킨 소자 관련 주요 연구

기술항목	기술내용	특성	연구그룹
금속 나노입자 용액 분산	Alkanethiol로 표면처리한 Au 입자 개발 	On/off 비율 10 ³	Y. Yang, <i>J. Appl. Phys.</i> , 2006
	TMV virus를 코팅한 Pt 입자 	On/off 비율 10 ³	Y. Yang <i>Nature Nanotech.</i> , 2006
소자 구조내 일정한 배열을 가진 금속 나노입자	Citrate stabilized Au 입자 	Freq. 0.5-1 MHz	Leong <i>Appl. Phys. Lett.</i> , 2007
	Nano patterned Au 분산 구조  Parylene pillar를 이용한 SAM controlled Au 분산 구조 	On/off 비율 10 ⁶ On/off 비율 10 ⁴	Tu <i>et al. Appl. Phys. Lett.</i> , 2006 Wang <i>et al. Appl. Phys. Lett.</i> , 2006

에 형성할 경우 코어-셸 구조의 나노입자 형성이 가능하여 안정적인 메모리 소자의 특성을 구현할 수 있다.¹⁴

진공 증착을 이용하여 유기 메모리 소자 내에 나노입자를 형성하는 공정은 공정제어가 어렵기 때문에 나노입자를 균일하게 분산하기 어려운 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 alkanethiol을 Au 표면에 monolayer로 처리하여 제작한 유기 메모리 소자가 보고되었으며, 안정적인 메모리 소자의 특성을 보이는 것으로 보고되었다. Au 금속 입자를 고르게 분산시키기 위한 방법으로서 citrate를 Au 표면에 처리하여 메모리 소자를 구현함으로써 메모리 소자의 특성을 향상시키는 연구가 있었으며, parylene pillar와 자기조립층을 이용하여 Au 나노입자를 분산하여 메모리 특성을 향상시키기도 하였다. 다양한 금속 분산 방법을 이용한 메모리 소자 연구결과를 **표 2**에 정리하였다. Y. Yang 그룹은 또한 polyaniline(PANI) 나노섬유와 금(Au) 나노입자로 구성된 복합재료를 제조하여 유기 메모리 소재료의 가능성을 제시하였다. 이는 두 가지 물질, 즉 금속 나노입자와 전도성 고분자 조합을 이용한 유기 메모리 신소재 개발에 새로운 가능성을 열어주었다. 이 시스템에서 금 나노입자는 전하 저장소로 작용함으로써 전류 흐름에 있어서 쌍안정성을 나타내게 하는 중요한 역할을 한다. 실제 실험에서 금 나노입자를 제외한 경우에 PANI 나노섬유만으로는 쌍안정성을 도출하는데 실패하였다. 실험에서 제조된 금속 나노입자는 전도성 고분자 나노섬유/금속 나노입자 복합재료에서 전하 저장소 역할을 하여 반응속도를 ns 수준으로 올리는 성과를 보여주었다. **그림 4**에서는 PANI 나노섬유에 금 나노입자를 넣어 제조한 복합재료의 투과전자현미경 사진 및 메모리 장치의 모식도를 나타내었다.

금속 나노입자 이외에 다양한 나노입자들이 메모리 소자 구현을 위하여 적용되었으며, 양자점 입자와 유기물의 복합체 구조가 메모리 소자 특성 구현에 매우 효과적이었다. 코어-셸 구조의 CdSe/ZnS 양자점을 C₆₀에 분산하여 쌍안정성을 확보하였으며, 양자점층을 이층 구조로 적용한 소자에서는 여러 단계의 전류 레벨을 구현할 수 있었다.¹⁵ 양자점 입자는 양자점 자체로서도 메모리 특성을 구현하는 것이 가능하였으며, 양자점 입자를 probe의 팁을 접촉하여 메모리 특성을 관찰하여 비휘발성 메모리 특성을 확인하였다. 이 외에도 양자점을 고분자 물질에 적용한 다양한 메모리 소자들이 보고되었다.

금속 산화물 입자를 이용한 메모리 소자도 보고되었으며, MoO₃를

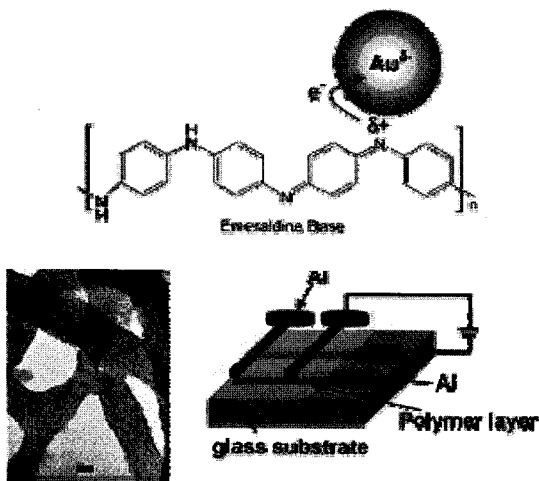


그림 4. PANI-Au 나노입자의 전자 전달 메커니즘, TEM 및 메모리 소자의 모식도.¹²

Alq₃ 사이에 나노입자 형태로 분산하여 비휘발성 메모리 소자의 특성이 구현됨을 확인하였다.^{16,17} **그림 5**에 금속산화물 입자를 포함하는 메모리 소자의 전류-전압 특성을 나타내었다. 1 V와 2.5 V 사이에서 on 상태와 off 상태를 보이는 것을 알 수 있으며, 금속 나노입자를 포함하는 메모리 소자와 유사하게 NDR 현상을 보이는 것을 알 수 있다. 산화물 나노입자는 유기물 사이에서 전하를 trapping하는 역할을 통하여 쌍안정성을 보이는 것으로 알려져 있다.

2.3 순수 유기물 메모리

금속 나노입자 없이 순수하게 유기물을 이용하는 방법으로 유기 메모리 소자를 개발하는 연구도 진행되고 있으며, 나노입자를 사용하는 구조에 비하여 간단한 구조로 메모리 특성을 구현할 수 있는 장점이 있다.¹⁸⁻²² 전하수송 특성을 보이는 유기물을 두 전극 사이에 적용할 경우 메모리 특성이 구현되는 것이 보고되었으며, charge trapping이 가능한 물질을 전하수송 물질 내에 도입할 경우 메모리 특성이 개선되는 것으로 보고되었다. 쌍안정성을 보이는 순수 유기물로서는 polyphenylenevinylene (PPV), polyfluorene (PFO), polyvinylcarbazole (PVK) 등이 알려져 있다. PPV 고분자 물질의 경우 두 전극 사이에서 여러 전류 단계를 구현하는 메모리 소자의 특성이 보고되어 있으며, Al 전극을 사용할 경우 높은 on/off 비율이 구현되는 것으로 알려져 있다. 그러나, Au 등의 전극을 사용할 경우에는 스위칭 특성이 저하되어 on/off 비율이 낮은 것으로 보고되었다. 따라서, PPV 고분자를 포함하는 유기 메모리 소자의 쌍안정성은 PPV 고분자 자체에 기인하는 것이 아니라 Al 전극과 PPV 고분자 계면에서의 Al₂O₃ 생성에 기인하는 것으로 보고되었다. Al의 증착 과정에서 진공 챔버내의 잔류 산소에 의하여 Al₂O₃가 생성되며, 생성된 Al₂O₃는 Al 나노입자의 표면에 형성되어 코어-셸 구조를 형성하고 이에 의하여 쌍안정성이 구현된다. PFO 고분자도 우수한 스위칭 특성을 보이며, PFO 계열의 고분자의 경우에는 PPV 계열의 고분자 메모리 소자에서 나타나는 계면 효과와 함께 PFO 고분자의 플로렌 단위체의 산화에 의하여 나타나는 플로레논 (fluorenone)에 의한 전하 trapping이 메모리 특성에 중요하였다. 플로레논 단위는 플로렌 단위에 비하여 좁은 밴드갭으로 인하여 전하를 trap하는 역할을 한다. 이 외에도 PVK 계열의 고분자, 안트라센 계열의 유기물 및 프탈로시아닌 계열의 유기 물질들이 순수 유기물로서 비휘발성 메모리 소자의 특성을 보이는 것으로 보고되었다. 순수 유기물을 이용하는 유기 메모리 소자는 밴드갭이 좁은 물질을 밴드갭이 넓은

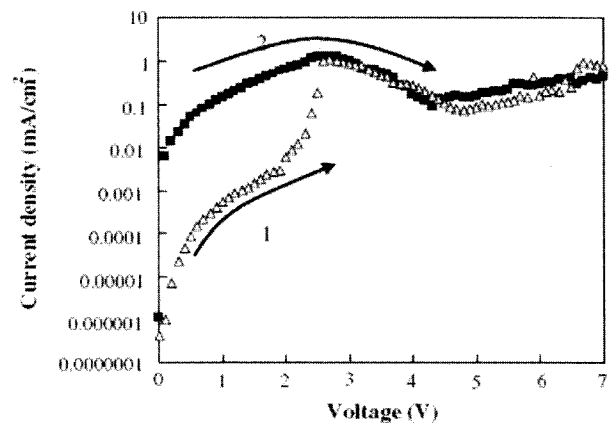


그림 5. ITO/Alq₃/MoO₃/Alq₃/Al 구조를 갖는 유기 메모리 소자의 전류-전압 특성.¹⁶

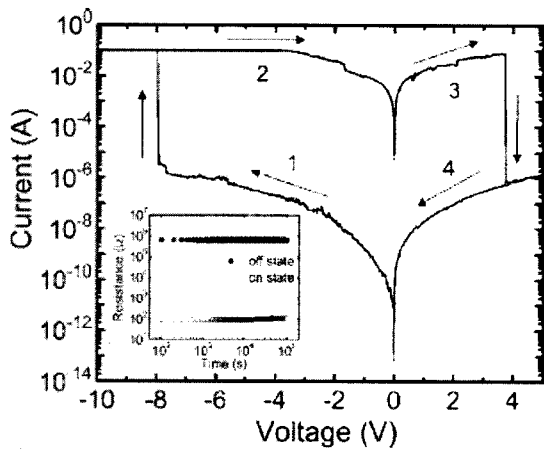


그림 6. Al/PVK/Al 구조를 갖는 유기 메모리 소자의 전류-전압 특성.²²

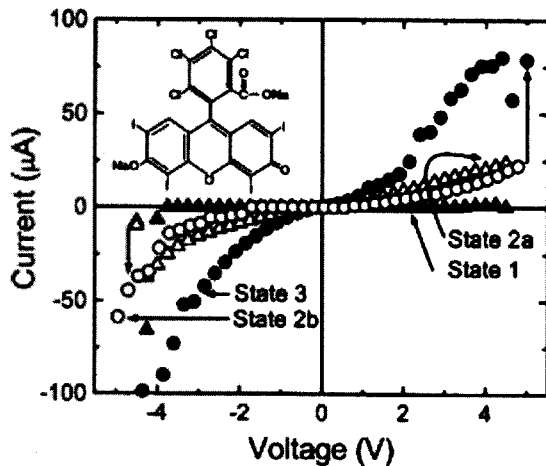


그림 7. Rose bengal을 이용하여 구현한 메모리 소자의 특성.²³

물질에 도핑하여 제작하는 것도 가능하며, 밴드갭이 좁은 물질이 전하 trapping 현상을 유도하고 이에 의하여 쌍안정성이 구현된다. 그림 6에 PVK를 두 전극 사이에 사용한 유기 메모리 소자의 전류-전압 특성을 나타내었다.

이러한 순수 유기물을 이용하는 메모리 소자의 메모리 특성 구현 메커니즘은 filament 메커니즘, 전하의 tapping/detrapping 및 계면에서의 산화물 생성 등이 알려져 있으나, 아직까지 정확한 메커니즘이 규명되지 않아 추가적인 연구가 요구되고 있다.

2.4 분자 구조의 형태 변화를 이용하는 유기 메모리

분자 구조의 형태 변화 또는 산화 환원 반응을 이용하여 메모리를 구현하는 방식도 보고되어 있으며, 대표적인 방법은 rose bengal을 이용하는 메모리 소자이다.²³ Rose bengal의 경우 전압에 따라서 형태가 변화하는 것으로 알려져 있으며, 이에 의하여 전압 스캔에 따라 hysteresis가 나타나는 것으로 추정되고 있다. 그러나, 메모리 특성 구현 메커니즘은 불명확하여 아직까지 정확한 메모리 소자 특성 구현 메커니즘에 대한 연구가 추가적으로 요구되고 있다. 그림 7에서와 같이 분자 구조의 형태에 따라서 서로 다른 전류 상태를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 분자 구조의 형태 변화 자체의 반응속도가 느리기 때문에 스위칭 타임의 문제가 있기 때문에 이와 관련된 연구는 활발하지 않은 편이다.

2.5 OFET(Organic Field Effect Transistor Memory Device)

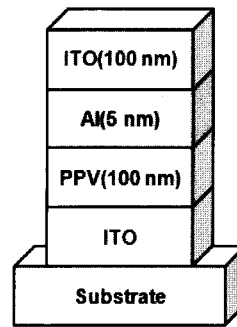


그림 8. 투명 유기 메모리 소자의 소자 구조 및 사진.²¹

두 전극 사이에 유기물을 기반으로 하는 유기막층 또는 유기복합층을 포함하는 유기 메모리 소자와 함께 트랜지스터 구조를 갖는 organic field effect transistor memory device (OFET)도 알려져 있다.^{24,25} OFET 구조를 비휘발성 메모리로 활용하기 위해서는 insulator로 사용하는 고분자가 gate에 전압을 가함에 따라 permanent polarization 특성을 나타내어야 한다. 전압에 따라 게이트 전극에 도입되는 유기 절연체의 permanent polarization이 변화하게 되고, 전압을 제거한 이후에도 유기 절연체의 permanent polarization은 그대로 유지되어 비휘발성 메모리의 특성을 갖게 된다. 따라서, 유기 절연체 물질은 큰 dielectric constant과 dipole을 가져야 하며, 주로 상자성 (ferroelectric) 물질을 절연체로 도입하여 비휘발성 메모리 특성을 구현한다. 대표적인 고분자 계열의 상자성 물질로서는 poly(vinylidene fluoride)의 유도체 및 공중합체 등이 사용되고 있다. 최근의 연구에서는 gate insulator 고분자로 poly(vinyl alcohol) (PVA)를, 유기 반도체로 methanofullerene 6,6-phenyl C61-butyl acid methyl ester (PCBM)을 사용하여 I-V 특성에서 쌍안정성을 확인하였다. 하지만, 현재까지 이런 OFET의 단점으로는 switching 전압이 매우 높다는 것과 메모리 보유시간이 짧다는 것이며, 이 두 가지 문제점을 해결해야 한다.

2.6 기타

유기 메모리 소자는 상기에서 서술하였듯이 다양한 방법으로 구현되고 있다. 최근에는 상기의 유기 메모리 소자의 활용도를 높이기 위하여 투명한 유기 메모리 소자도 개발되었으며, 투명 메모리 소자의 경우에는 투명도로 인하여 디스플레이와 접목하여 사용하거나 또는 투명한 메모리로서 사용이 가능하여 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 그림 8에는 PPV 고분자를 이용하여 구현한 투명한 유기 메모리 소자의 소자 구조와 사진을 나타내었다. 또한, 유기 메모리 소자는 플렉시블 기판 위에 적용하여 플렉시블 유기 메모리 소자를 구현하는 것도 가능하며, 플라스틱 기판 위에 메모리 소자를 구현하여 플렉시블 메모리 소자를 구현하는 연구도 보고되었다.²⁶

3. 결론

앞서 서술하였듯이 비휘발성 유기 메모리 소자는 높은 on/off 비율, 빠른 응답 속도, flexibility 및 단순한 소자구조 및 공정 등의 장점으로 인하여 향후 기존의 메모리 소자를 대체할 수 있는 신개념 메모리 소자로서 활발히 개발이 진행될 것으로 기대되고 있다. 특히 flexibility 및 프린팅 공정 적용 등은 기존의 메모리 소자로서는 구현할 수 없는

유기 메모리 소자만의 독특한 강점으로서 향후 지속적으로 개발될 것으로 예상되는 플렉시블 전자소자에 있어서 매우 중요한 것으로 예측되고 있다. 따라서, 이러한 유기 메모리 소자의 장점을 살리고, 현재 유기 메모리 소자의 가장 큰 단점인 특성 재현성 확보와 구동 회수에 따른 메모리 소자의 신뢰성 확보의 문제점을 해결한다면 향후 유기 메모리 소자는 기존의 메모리 소자에 비하여 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 유기 메모리 소자는 단순한 기억 소자로서의 역할뿐 아니라 다른 소자를 구동할 수 있는 구동 소자로서의 역할을 할 수 있기 때문에 그 활용 가능성이 매우 클 것으로 기대된다.

참고문헌

- R. S. Potember, T. O. Poehler, A. Rappa, D. O. Cowan, and A. N. Bloch, *Synth. Met.*, **4**, 371 (1982).
- T. Oyamada, H. Tanaka, K. Matsushige, H. Sasabe, and C. Adachi, *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 1252 (2008).
- Y. Yang, J. Ouyang, L. Ma, R. J. Tseng, and C. Chu, *Adv. Funct. Mater.*, **16**, 1001 (2006).
- L. P. Ma, Q. F. Xu, and Y. Yang, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 4908 (2004).
- L. P. Ma, J. Liu, S. M. Pyo, and Y. Yang, *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 362 (2002).
- L. P. Ma, J. Liu, and Y. Yang, *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 2997 (2002).
- L. P. Ma, S. M. Pyo, Q. F. Xu, and Y. Yang, *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 1419 (2003).
- L. D. Bozano, B. W. Kean, V. R. Deline, J. R. Salem, and J. C. Scott, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 607 (2004).
- H. P. Wang, S. Pigeon, R. Izquierdo, and R. Martel, *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 183502 (2006).
- J. Ouyang, C. Chu, D. Sieves, and Y. Yang, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 123507 (2005).
- W. L. Leong, P. S. Lee, S. G. Mhaisalkar, T. P. Chen, and A. Dodabalapur, *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 042906 (2007).
- L. D. Bozano, B. W. Kean, M. Beinhoff, K. R. Carter, and P. M. Rice, *J. C. Scott*, **15**, 1933 (2005).
- R. J. Tseng, J. Huang, J. Ouyang, R. B. Kaner, and Y. Yang, *Nano Lett.*, **5**, 1077 (2005).
- J. Park, W. Nam, S. Seo, Y. Kim, Y. Oh, G. Lee, and U. Paik, *Nano Lett.*, **9**, 1713 (2009).
- F. Li, D. Son, J. Ham, B. Kim, J. H. Jung, and T. W. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, **91**, 162109 (2005).
- K. S. Yook, S. O. Jeon, C. W. Joo, J. Y. Lee, S. H. Kim, and J. Jang, *Org. Electron.*, **10**, 48 (2009).
- S. H. Kim, K. S. Yook, J. Y. Lee, and J. Jang, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 053306 (2008).
- A. Kanwai and M. Chhowalla, *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 203103 (2006).
- J. Chen, L. Xu, J. Lin, Y. Geng, L. Wang, and D. Ma, *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 083514 (2006).
- J. Chen and D. Ma, *J. Appl. Phys.*, **100**, 034512 (2006).
- K. S. Yook, J. Y. Lee, S. H. Kim, and J. Jang, *Appl. Phys. Lett.*, **92**, 223305 (2008).
- Y. Lai, C. Tu, D. Kwong, and J. S. Chen, *Appl. Phys. Lett.*, **87**, 122101 (2005).
- A. Bandyopadhyay and A. J. Pal, *Appl. Phys. Lett.*, **84**, 999 (2004).
- R. Schroeder, L. A. Majewski, and M. Grell, *Adv. Mater.*, **16**, 633 (2004).
- K. Baek, Y. Noh, J. Ghim, S. Kang, H. Lee, and D. Kim, *Adv. Mater.*, **18**, 3179 (2006).
- L. Li, Q. Ling, S. Lim, Y. Tan, C. Zhu, D. S. H. Chan, E. Kang, and K. Neoh, *Org. Electron.*, **8**, 401 (2007).