



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월12일  
(11) 등록번호 10-1818019  
(24) 등록일자 2018년01월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 27/06 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)  
H01L 21/28 (2006.01) H01L 29/792 (2006.01)  
H01L 49/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
H01L 27/0629 (2013.01)  
H01L 21/02472 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0012470

(22) 출원일자 2016년02월01일

심사청구일자 2016년02월01일

(65) 공개번호 10-2017-0091444

(43) 공개일자 2017년08월09일

(56) 선행기술조사문헌

Analog Memristive and Memcapacitive Characteristics of Pt-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Core-Shell nanoparticles Assembly on p<sup>+</sup>-Si Substrate(Young Jun Noh와 6명, IEEE transactions on nanotechnology, VOL.14, No.5, 2015.06. 16공개)  
Metal-Oxide RRAM(저자:Wong, H-S P.외 8명, Proceedings of the IEEE, VOL.100, No.6, 2012.05.02. 공개)

(73) 특허권자

명지대학교 산학협력단

경기도 용인시 처인구 명지로 116 (남동, 명지대학교)

(72) 발명자

윤태식

경기도 성남시 분당구 미금일로 58 까치마을1단지 롯데아파트 416-704

양바울

경기도 고양시 덕양구 중앙로557번길 8-9 501호, 502호 에바다교회

(74) 대리인

특허법인다울

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 광혁용

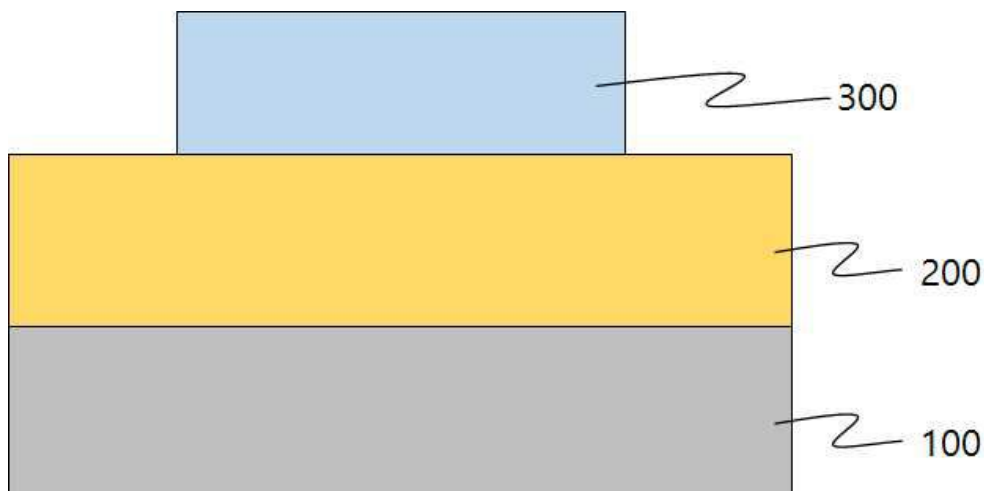
(54) 발명의 명칭 산소 활성 전극을 구비한 MOS 구조 메모캐패시터 소자 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 새로운 형태의 메모캐패시터 소자에 관한 것으로, 반도체 기판; 상기 반도체 기판 위에 형성된 산화물층; 및 상기 산화물층 위에 형성된 산소 활성 전극으로 구성되며, 상기 산소 활성 전극에 전압이 인가되면, 상기 산화물층의 산소 이온이 상기 산소 활성 전극 쪽으로 이동함으로써 전기용량이 변하는 것을 특징

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



으로 한다.

본 발명은, 산소 활성 전극을 구비함으로써 산화물층 내에 위치하는 산소 이온의 이동을 유발하여 유전율을 변화시키고 최종적으로 전기용량이 변화하는 새로운 형태의 메모리 소자를 제공할 수 있는 효과가 있다.

또한, 본 발명의 메모리 소자의 메모리 특성을 메모리 소자나 논리 소자 또는 신경소자에 적용할 수 있는 효과가 있다.

나아가 본 발명의 메모리 소자를 적용한 메모리 소자나 논리 소자 또는 신경소자의 경우에, 종래의 전하 저장 방식에 발생하던 정보 손실 문제와 방사선에 의해 파괴되는 문제가 해결된 뛰어난 특성을 나타낸다.

(52) CPC특허분류

*H01L 21/02554* (2013.01)

*H01L 21/28273* (2013.01)

*H01L 21/28282* (2013.01)

*H01L 28/40* (2013.01)

*H01L 29/792* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2013R1A1A1A05005442

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업\_신진연구(후속연구지원)

연구과제명 나노입자를 이용한 메모리 소자 기반 스위치 및 비휘발성 메모리 소자

기여율 1/2

주관기관 명지대학교

연구기간 2013.06.01 ~ 2016.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2011-0030228

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 원천기술개발사업, 나노소재기술개발사업

연구과제명 저차원 메모리 소자 기반 기억/연산 통합형 나노신경소자 및 시스템

기여율 1/2

주관기관 명지대학교

연구기간 2011.09.01 ~ 2018.08.31

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

반도체 기관;

상기 반도체 기관 위에 형성된 산화물층; 및

상기 산화물층 위에 형성된 산소 활성 전극으로 구성되며,

상기 산소 활성 전극은, 산소와 반응하는 금속 또는 산소를 고용할 수 있는 금속이고,

상기 산소 활성 전극에 전압이 인가되면, 상기 산화물층의 산소 이온이 상기 산소 활성 전극 쪽으로 이동함으로써 상기 산화물층의 유전율이 변화하거나 상기 산화물층과 상기 산소 활성 전극 사이의 유효면적이 변화하여 전기용량이 변하는 것을 특징으로 하는 메모패시터 소자.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 산소 활성 전극은 Mo, Al, Ti, TiN, Ta, TaN, Ce 및 Ni 중에서 선택된 하나의 재질인 것을 특징으로 하는 메모패시터 소자.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 전기용량이 아날로그적으로 변하는 것을 특징으로 하는 메모패시터 소자.

#### 청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 전기용량의 변화가 비휘발성인 것을 특징으로 하는 메모패시터 소자.

#### 청구항 8

반도체 기관을 준비하는 단계;

상기 반도체 기관에 산화물층을 형성하는 단계;

상기 산화물층에 산소 활성 전극을 형성하는 단계를 포함하여 구성되며, 상기 산소 활성 전극이 산소와 반응하

는 금속 또는 산소를 고용할 수 있는 금속이고,

상기 산소 활성 전극에 전압이 인가되면, 상기 산화물층의 산소 이온이 상기 산소 활성 전극 쪽으로 이동함으로써 상기 산화물층의 유전율이 변화하거나 상기 산화물층과 상기 산소 활성 전극 사이의 유효면적이 변화하여 전 기용량이 변하는 메모리 소자가 제조되는 것을 특징으로 하는 메모리 소자의 제조방법.

**청구항 9**

청구항 8에 있어서,

상기 산소 활성 전극이 Mo, Al, Ti, TiN, Ta, TaN, Ce 및 Ni 중에서 선택된 하나의 재질인 것을 특징으로 하는 메모리 소자의 제조방법.

**청구항 10**

데이터 저장을 위한 메모리 소자로서, 청구항 1 및 청구항 5 내지 청구항 7 중 하나의 소자를 메모리 소자로서 사용한 것을 특징으로 하는 메모리 소자.

**청구항 11**

논리회로를 구성하기 위한 논리 소자로서, 청구항 1 및 청구항 5 내지 청구항 7 중 하나의 소자를 메모리 소자로서 사용한 것을 특징으로 하는 논리 소자.

**청구항 12**

신경망을 모사하기 위한 신경모사 소자로서, 청구항 1 및 청구항 5 내지 청구항 7 중 하나의 소자를 메모리 소자로서 사용한 것을 특징으로 하는 신경모사 소자.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 메모리 소자에 관한 것으로, 더욱 자세하게는 MOS 구조를 기반으로 한 새로운 메모리 소자에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근 전통적인 회로의 구성요소로서 알려진 R(저항), L(코일), C(콘덴서)에 대하여, 새로운 특성을 가진 회로 구성요소가 등장하고 있다.

[0003] 새로운 회로 구성요소로서 가장 대표적인 것은 멤리스터(memristor)이다. 멤리스터는 메모리(memory)와 레지스터(resistor)의 합성어로서, 이론가 Leon Chua에 의해 1971년도에 만들어진 용어이며, 전하와 자속과의 결합에 관련된 비선형 수동 두 단자 전기 구성요소이다. 이전의 수동소자인 R, L, C에 대하여 4번째 수동소자로 알려져 있고, 전원공급이 끊어졌을 때도 직전에 통과한 전류의 방향과 양을 기억하기 때문에 다시 전원이 공급되면 기존의 상태가 그대로 복원되는 것을 특징으로 한다. 멤리스터에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔지만, 디지털 형태의 저항 변화를 나타내고 구조와 제조 방법이 복잡한 단점이 있다.(대한민국 공개특허 10-2012-0107304)

[0004] 최근 이러한 멤리스터와 유사하게 캐패시터(콘덴서)와 인덕터(코일)에 대해서도 메모리적 요소가 도입된 메모리 캐패시터(memcapacitor)나 멤인덕터(meminductor)에 대한 연구도 진행되고 있다.

[0005] 메모리 캐패시터는 인가된 전압에 의해서 비휘발적으로 용량(capacitance)이 변화하는 캐패시터 소자이며, 트랜지스터 구조에서 게이트 절연막 부근의 이온분포 변화를 통해서 용량의 변화를 얻는 기술(미국등록 8,437,174) 등이

개발되고 있으나, 속도와 안정성 및 용량 변화폭 등이 더 우수한 소자에 대한 요구가 계속되고 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0006] (특허문헌 0001) 미국등록 8,437,174

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 산화물층의 산소 이온 이동을 통해서 캐패시턴스가 변화하는 새로운 형태의 메모리 소자를 제공하는데 그 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 산소 활성 전극을 구비한 MOS 구조 메모리 소자는, 반도체 기판; 상기 반도체 기판 위에 형성된 산화물층; 및 상기 산화물층 위에 형성된 산소 활성 전극으로 구성되며, 상기 산소 활성 전극에 전압이 인가되면, 상기 산화물층의 산소 이온이 상기 산소 활성 전극 쪽으로 이동함으로써 전기용량이 변하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 종래에 금속전극/산화물층/실리콘반도체로 구성된 MOS 트랜지스터 구조에서 게이트 절연막 내부에 전하가 저장됨에 따라서 임계전압이 변화하는 특성을 이용하여 메모리 소자나 논리 소자 및 신경 소자에 적용되고 있으나, 본 발명은 산소 이온의 이동에 의해서 전기용량이 변화하는 새로운 형태의 메모리 소자를 제공하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 이때, 산화물층의 산소 이온이 산소 활성 전극 쪽으로 이동함으로써 산화물층의 유전율이 변화하여 전기용량이 변하는 것일 수 있다.

[0011] 또한, 산화물층의 산소 이온이 산소 활성 전극 쪽으로 이동함으로써 산화물층과 산소 활성 전극 사이의 유효면적이 변화하여 전기용량이 변하는 것일 수 있다.

[0012] 본 발명은 금속전극/산화물층/실리콘반도체로 구성된 MOS 구조에서 금속전극에 산소와 반응하는 금속 또는 산소의 고용 등이 가능한 금속을 사용한 산소 활성 전극(oxygen-reactive electrode)을 적용함으로써, 산화물층의 포함된 산소 이온의 이동을 통해서 전기용량이 변화하는 새로운 형태의 메모리 소자를 제공한다.

[0013] 이러한 산소 활성 전극은 Mo, Al, Ti, TiN, Ta, TaN, Ce, Ni 등에서 선택된 하나의 재질일 수 있다.

[0014] 산소 이온의 이동에 따른 전기용량의 변화는 아날로그적으로 변하는 것을 특징으로 하며, 변화된 용량이 전원의 제거에 의해서 바로 사라지지 않고 잔류하는 비휘발성을 나타낸다.

[0015] 본 발명의 다른 형태에 의한 메모리 소자의 제조방법은, 반도체 기판을 준비하는 단계; 상기 반도체 기판에 산화물층을 형성하는 단계; 상기 산화물층에 산소 활성 전극을 형성하는 단계를 포함하여 구성된다.

[0016] 본 발명의 또 다른 형태에 의한 메모리 소자와 논리 소자 및 신경모사 소자는 상기한 본 발명의 소자를 메모리 소자로서 사용한 것을 특징으로 한다. 이러한 메모리 소자와 논리 소자 및 신경모사 소자는, 상기한 것과 같은 본 발명의 소자를 메모리 소자로서 적용하는 것을 제외하고는 기존의 기술을 모두 적용할 수 있으므로, 구체적인 설명은 생략한다.

**발명의 효과**

[0017] 상술한 바와 같이 구성된 본 발명은, 산소 활성 전극을 구비함으로써 산화물층 내에 위치하는 산소 이온의 이동을 유발하여 유전율을 변화시키고 최종적으로 전기용량이 변화하는 새로운 형태의 메모리 소자를 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 메모리 소자의 메모리 소자 특성을 메모리 소자나 논리 소자 또는 신경소자에 적용할 수 있는 효과가 있다.

[0019] 나아가 본 발명의 메모리 소자를 적용한 메모리 소자나 논리 소자 또는 신경소자의 경우에, 종래의 전하 저장방식에 발생하던 정보 손실 문제와 방사선에 의해 파괴되는 문제가 해결된 뛰어난 특성을 나타낸다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 메모리 소자의 구조를 나타낸 모식도이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 전압 스위핑한 경우에 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 3은 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 전압변화를 반복하면서 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 -전압과 +전압 및 -전압을 인가한 경우에 시간에 따라 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 5는 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 리텐션 특성을 측정한 결과이다.
- 도 6은 본 발명에 따른 두 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 전압 스위핑한 경우에 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 7은 본 발명에 따른 두 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 -전압과 +전압 및 -전압을 인가한 경우에 시간에 따라 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 8은 비교예의 MOS 소자에 대하여 전압 스위핑한 경우에 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 9는 비교예의 MOS 소자에 대하여 -전압과 +전압 및 -전압을 인가한 경우에 시간에 따라 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 10은 본 발명의 첫 번째 실시예에 따른 메모리 소자의 I-V 곡선이다.
- 도 11은 본 발명의 첫 번째 실시예에 따른 메모리 소자의 Mo 전극 표면을 촬영한 사진이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예를 상세히 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 메모리 소자의 구조를 나타낸 모식도이다.
- [0023] 먼저, 반도체 기판(100)으로서 n-형 실리콘 기판을 준비하고, 그 위에 산화물층(200)으로서 HfO<sub>x</sub> 박막을 형성한다. HfO<sub>x</sub> 박막을 형성하는 공정은 Ar 가스 분위기에서 HfO<sub>2</sub> 타겟을 사용한 RF 마그네트론 스퍼터링 공정으로 수행되었으며, 두께는 약 80nm이다. AES(Auger electron spectroscopy)에 의한 성분 분석결과 HfO<sub>x</sub> 박막에 포함된 O과 Hf의 원자비율(O/Hf)은 약 1.5로 측정되었다.
- [0024] 산화물층(200)의 표면에 산소 활성 전극(oxygen-reactive electrode)(300)으로서 Mo 전극을 형성한다. Mo 전극은 스퍼터링에 의해서 형성되었으며, 세도우 마스크를 사용하여 직경 100 $\mu$ m으로 형성하였다.
- [0025] 산소 활성 전극의 두 번째 실시예로서 Al 전극을 형성하였으며, Al 전극은 열증착 공정으로 형성하였다.
- [0026] 그리고 비교예로서 산소 활성화 특성(oxygen-reactivity)이 없는 불활성 재질의 Pt 전극을 산소 활성 전극의 자리에 형성한 MOS 소자를 제조하였다.
- [0027] 도 2는 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 전압 스위핑한 경우에 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- [0028] Mo 전극에 전압을 인가하고, n-형 실리콘 기판은 접지하였다. 게이트 전극인 Mo 전극에 인가된 전압을 변경한 경우의 전기용량의 변화를 측정하였으며, 스위핑 전압을  $\pm 5V$ ,  $\pm 7V$ ,  $\pm 9V$  및  $\pm 11V$ 로 하여  $-V \rightarrow +V \rightarrow -V$  순서로 스위핑하였다.
- [0029] 도시된 것과 같이, 전압이 스위핑되는 동안 계면 또는 산화물 내부에 전기 충전이 이루어지기 때문에, 플랫 밴드 전압 시프트에 의해서 C-V 곡선이 히스테리시스를 나타낸다. 또한, 전압 스위핑의 반복에 따라서 +V에서의 포화 전기용량과 -V에서의 공핍 전기용량은 점차적이며 순차적으로 감소한다.

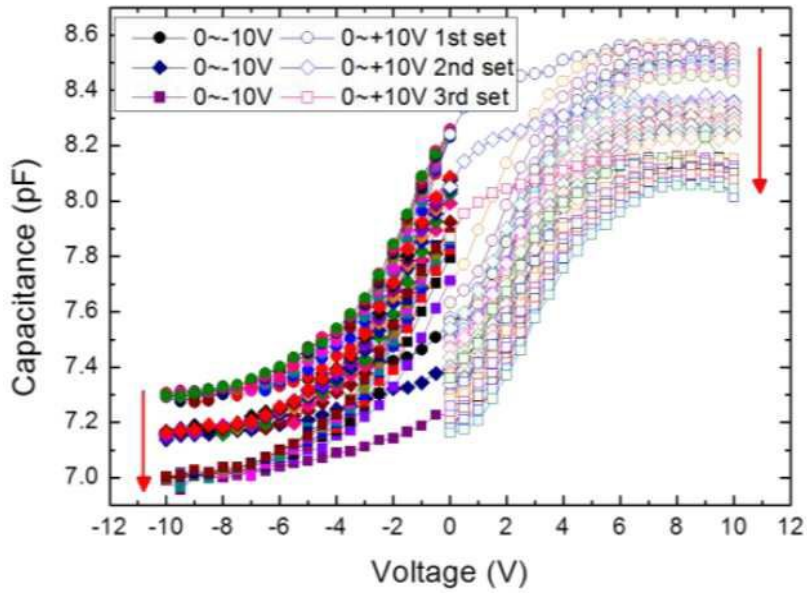
- [0030] 도 3은 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 전압변화를 반복하면서 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- [0031] 0에서 -10V로의 변화를 10회 반복하고, 0에서 +10V로의 변화를 10회 반복하는 것을 하나의 세트로 하여 3세트를 수행하였다.
- [0032] 1세트에서 0에서 -10V로 변화시키는 과정에서, -V에서의 공핍 전기용량은 -10V에서는 거의 변경되지 않았으나, 0V 부근에서는 플랫폼 밴드 전압의 음의 쉬프트에 의해서 증가하였다. 또한 1세트에서 0에서 +10V로 변화시키는 과정에서, +V에서의 포화 전기용량은 +10V에서 점차 감소하였다. 그리고 이러한 1세트의 경향은 2세트와 3세트에서도 유지되었다.
- [0033] 다만, 다음 세트로 진행되는 경우에는 도 2에서와 마찬가지로 -10V에서의 전기용량과 +10V에서의 전기용량이 이전 세트에 비하여 감소하였다.
- [0034] 도 4는 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 -전압과 +전압 및 -전압을 인가한 경우에 시간에 따라 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- [0035] 먼저 -10V를 인가한 상태에서 10분간 유지하고, 두 번째로 +10V를 10분간 인가하였으며, 마지막으로 다시 -10V를 10분간 인가하였다.
- [0036] 첫 번째로 -10V를 인가한 경우에는 10분 동안 약 7.2pF의 전기용량을 유지하였으나, 두 번째로 +10V를 인가한 경우에는 8.3pF에서 7.0pF까지 점진적으로 전기용량이 감소하였다. 세 번째로 다시 -10V를 인가한 경우에는 전기용량이 유지되었으나, 그 수치가 약 6.1pF로 첫 번째에 비하여 상당히 감소한 값을 나타내었다.
- [0037] 도 5는 본 발명에 따른 첫 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 리텐션 특성을 측정하는 결과이다.
- [0038] 메모리 소자의 특성이 유지되는 비휘발성 특성의 지속성을 나타내는 리텐션 특성을 측정하기 위하여, 0에서 +10V로의 전압 스위칭을 10회 실시한 뒤에 10분마다 전기용량을 측정하였다.
- [0039] 10회의 전압 스위칭에 의해서 +10V에서의 전기용량은 9.12pF에서 8.87pF까지 감소하였다. 이후에 10분 간격으로 90분간 전기용량을 측정하는 결과 전기용량이 회복되지 않았으며, 읽기 동작을 위해 인가된 +V 전압에 의해서 전기용량이 조금 감소하였다. 이로부터 본 발명의 첫 번째 실시예에 따른 메모리 소자는 비휘발성의 메모리 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0040] 도 6은 본 발명에 따른 두 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 전압 스위핑한 경우에 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- [0041] A1 전극에 전압을 인가하고, n-형 실리콘 기판은 접지하였다. 게이트 전극인 A1 전극에 인가된 전압을 변경한 경우 경우의 전기용량의 변화를 측정하였으며, 스위핑 전압을  $\pm 5V$ ,  $\pm 7V$ ,  $\pm 9V$  및  $\pm 11V$ 로 하여 -V→+V→-V 순서로 스위핑하였다.
- [0042] Mo 전극 적용한 첫 번째 실시예와 동일하게, 전압 스위칭의 반복에 따라서 +V에서의 포화 전기용량이 점차적이며 순차적으로 감소하였다. 반면에, -10V에서의 전기용량은 거의 변화하지 않았다.
- [0043] 도 7은 본 발명에 따른 두 번째 실시예의 메모리 소자에 대하여 -전압과 +전압 및 -전압을 인가한 경우에 시간에 따라 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- [0044] 먼저 -10V를 인가한 상태에서 10분간 유지하고, 두 번째로 +10V를 10분간 인가하였으며, 마지막으로 다시 -10V를 10분간 인가하였다.
- [0045] 이 경우도, 첫 번째와 세 번째로 -10V를 인가한 경우에는 시간이 지나도 전기용량이 변하지 않았으나, +10V를 인가한 경우에는 시간에 따라서 전기용량이 감소하였다. 또한, 첫 번째 -10V를 인가한 경우에 비하여, +10V를 인가한 뒤에 수행된 세 번째 -10V 인가 단계에서는 상대적으로 낮은 전기용량을 나타내었다.
- [0046] 도 8은 비교예의 MOS 소자에 대하여 전압 스위핑한 경우에 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- [0047] Pt 전극에 전압을 인가하고, n-형 실리콘 기판은 접지하였다. 게이트 전극인 Pt 전극에 인가된 전압을 변경한 경우의 전기용량의 변화를 측정하였으며, 스위핑 전압을  $\pm 5V$ ,  $\pm 7V$ ,  $\pm 9V$  및  $\pm 11V$ 로 하여 -V→+V→-V 순서로 스위핑하였다.
- [0048] 본 발명의 실시예에 따른 메모리 소자와 달리, 비교예의 MOS 소자는 전압 스위핑에도 불구하고, -10V 및 +10V

에서의 전기용량에 변화가 없는 것을 알 수 있다.

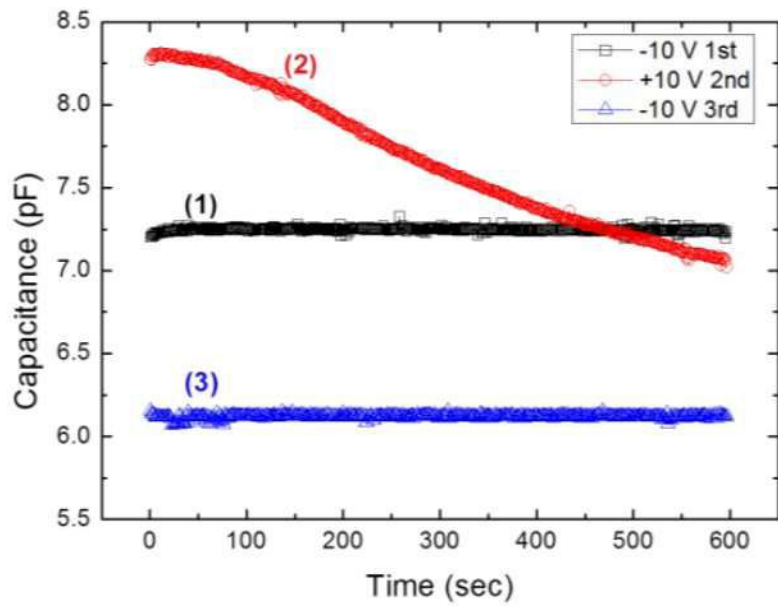
- [0049] 도 9는 비교예의 MOS 소자에 대하여 -전압과 +전압 및 -전압을 인가한 경우에 시간에 따라 측정된 전기용량의 변화를 나타낸 결과이다.
- [0050] 먼저 -10V를 인가한 상태에서 10분간 유지하고, 두 번째로 +10V를 10분간 인가하였으며, 마지막으로 다시 -10V를 10분간 인가하였다.
- [0051] 본 발명의 실시예에 따른 메모캐패시터 소자와 달리, 비교예의 MOS 소자는 첫 번째와 세 번째로 -10V를 인가한 경우에 시간이 지나도 전기용량이 변하지 않았을 뿐만 아니라, +10V를 인가한 경우에도 전기용량이 일정하게 유지되었다. 또한, 첫 번째 -10V를 인가한 경우와 +10V를 인가한 뒤에 수행된 세 번째 -10V 인가한 경우에서 전기용량의 거의 일치하였다.
- [0052] 본 발명의 첫 번째 실시예와 두 번째 실시예의 소자는 모두 비휘발성의 메모캐패시터의 특성을 나타내는 메모캐패시터 소자인 것을 확인할 수 있으며, 비교예의 경우는 일반적인 MOS 소자의 특성만을 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0053] 본 발명의 실시예들에서 전기용량이 변화하는 이유로서 n형 실리콘과 HfO<sub>x</sub> 산화물층의 계면에서 SiO<sub>2</sub> 또는 HfSiO<sub>2</sub>가 형성되어 포화용량이 저하된 것을 생각해볼 수 있다. 이러한 SiO<sub>2</sub>와 HfSiO<sub>2</sub>는 가열에 의한 어닐링에 의해서 형성될 수 있는 물질들이지만, 상기한 실험은 가열을 수행하지 않고 수행되었기 때문에 SiO<sub>2</sub> 또는 HfSiO<sub>2</sub>가 형성된 것은 아니다.
- [0054] 전기용량 변화의 또 다른 이유로서, 누설 전기용량(leak capacitance)을 고려해볼 수 있다. 누설 전류에 의해서 전기용량이 변화하는 것이라면 I-V 스위프를 반복하는 경우에 누설 전류가 높아져야 하지만, 도 10에 나타난 본 발명의 첫 번째 실시예에 따른 메모캐패시터 소자의 I-V 곡선에서 나타난 것처럼, 전압 스위프 반복에 따라서 양쪽 극에서의 전류가 감소하였다. 따라서 메모캐패시터 특성이 MOS 구조의 누설 전류에 의해서 나타나는 것이 아님을 알 수 있다.
- [0055] 본 발명의 발명자들은 본 실시예의 메모캐패시터 소자들이 산소이온의 이동에 따른 HfO<sub>x</sub> 산화물층의 유전율 변화에 의한 것임을 확인하였으며, 이는 전극의 재질에 따라 메모캐패시터 특성을 나타내지 않는 비교예에 대한 설명에도 적합하다.
- [0056] 구체적으로 본 발명의 실시예에서 사용된 Mo 전극과 Al 전극이 HfO<sub>x</sub> 산화물층에 포함된 산소 이온을 끌어당기고, 그 결과 HfO<sub>x</sub> 산화물층의 산소 자리에 빈격자점(vacancy)이 생성되어 유전율이 변경된다. 반대로, 비교예의 Pt 전극과 같이 산소 활성이 없는 전극 사용한 경우에는 산소 이온의 이동을 발생시키지 못하기 때문에 유전율도 변경되지 않고 전기용량의 변화도 일어나지 않는다.
- [0057] 산소 이온 이동에 따른 전기용량 변화를 확인하기 위하여, 첫 번째 실시예의 Mo 전극의 표면을 촬영하여 도 11에 나타내었다.
- [0058] 도 11(a)는 전압 스위프 평가를 수행하기 전의 Mo 전극을 촬영한 사진이고, 도 11(b)는 0에서 +10V로의 전압 스위프를 10회 수행한 이후의 Mo 전극을 촬영한 사진이며, 도 11(c)는 +10V의 전압을 10분간 인가한 경우의 Mo 전극을 촬영한 사진이다.
- [0059] 증착된 Mo 전극의 표면(a)은 도식된 것과 같이 매끄럽지만, 전압 스위프에 따른 C-V 곡선을 측정하기 위하여 +10V로의 전압 스위프를 10회 수행한 경우(b)에는 표면에 돌기(hump)와 함몰(pit)이 발견된다. 또한 전압 인가 시간에 따른 전기용량의 변화를 측정하기 위하여 10분간 +10V의 전압을 인가한 경우(c)에는 돌기와 함몰이 증가한 것을 확인할 수 있다. 돌기는 산소이온이 이동하여 생성된 산소 기포에 의한 것이고, 함몰은 기포가 무너져서 생긴 것이다.
- [0060] 결국, 본 발명의 메모캐패시터 소자는 산화물층에 위치한 산소 이온의 이동에 의해서 산화물층의 유전율에 변동이 생겨 전기용량에 변화가 생기며, 나아가 산소이온이 산소 활성 전극까지 이동하여 캐패시터의 유효면적을 감소 시킴으로써 추가적인 전기용량의 변화가 발생한다. 이러한 거동을 나타내는 모식도를 도 10(c)에 삽입하였다.
- [0061] 본 발명의 메모캐패시터 소자는, 산소 활성 전극을 구비함으로써 산화물층 내에 위치하는 산소 이온의 이동을 유 발하여 유전율을 변화시키고 최종적으로 전기용량이 변화하는 메모캐패시터의 특성을 나타낸다.



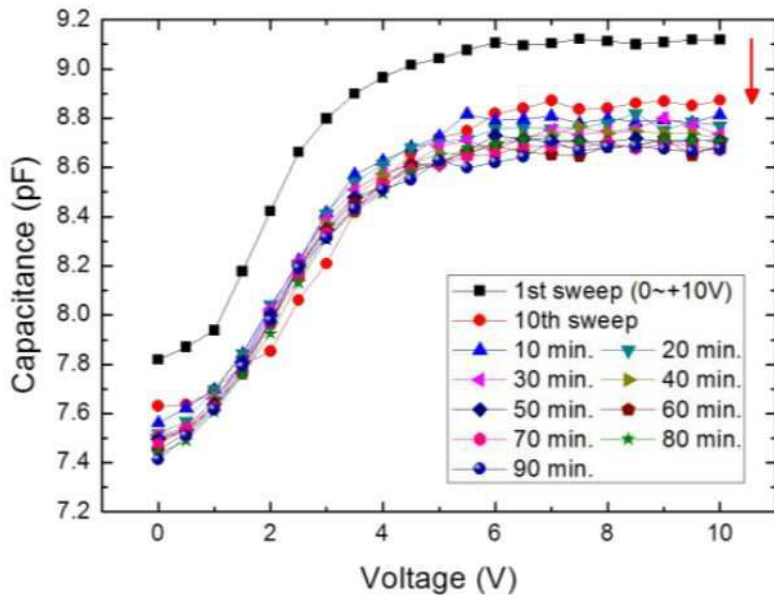
도면3



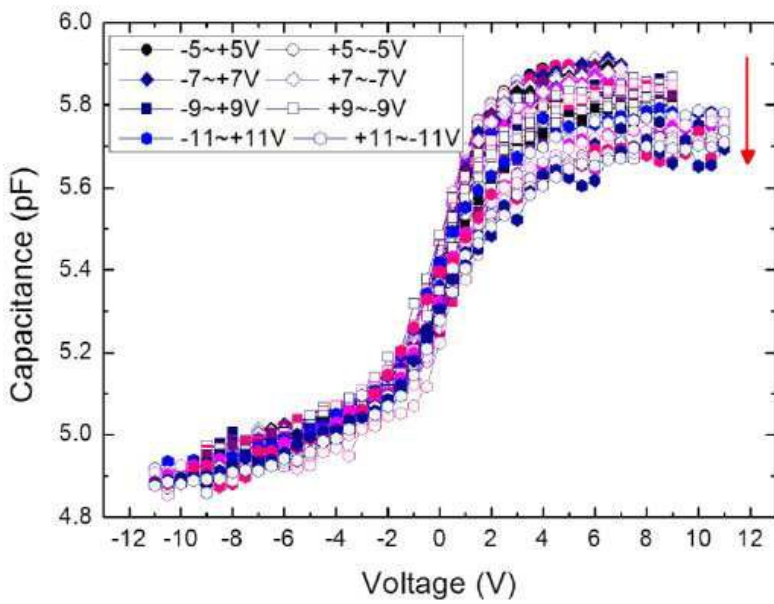
도면4



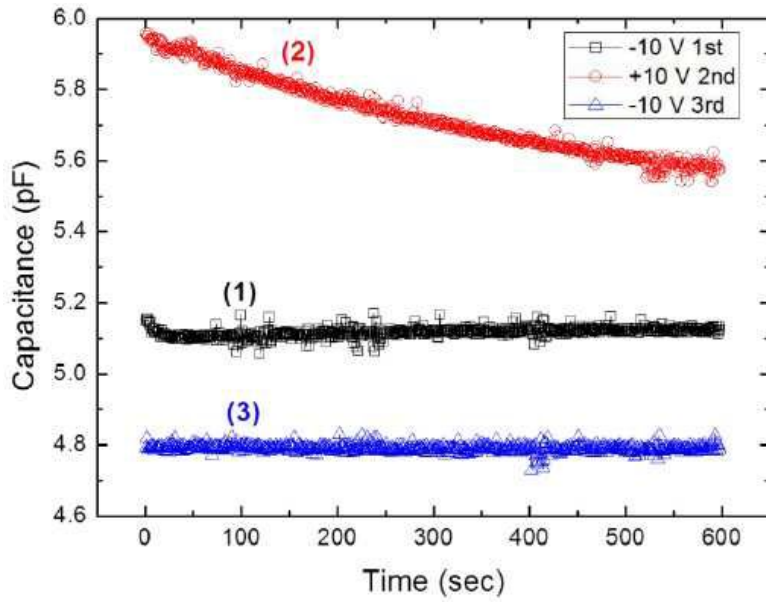
도면5



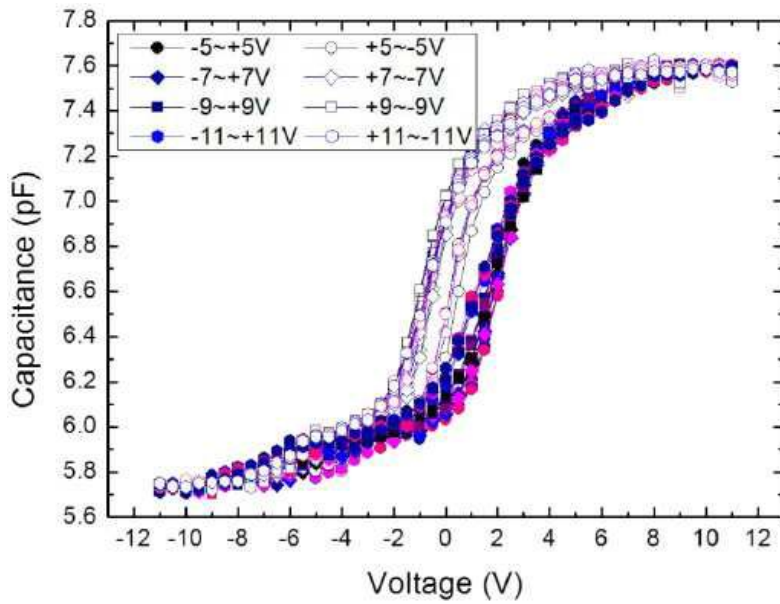
도면6



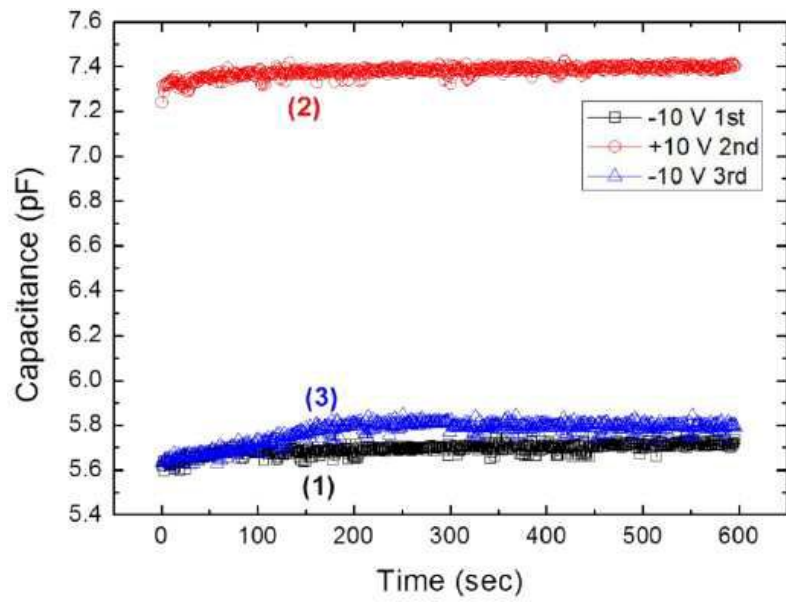
도면7



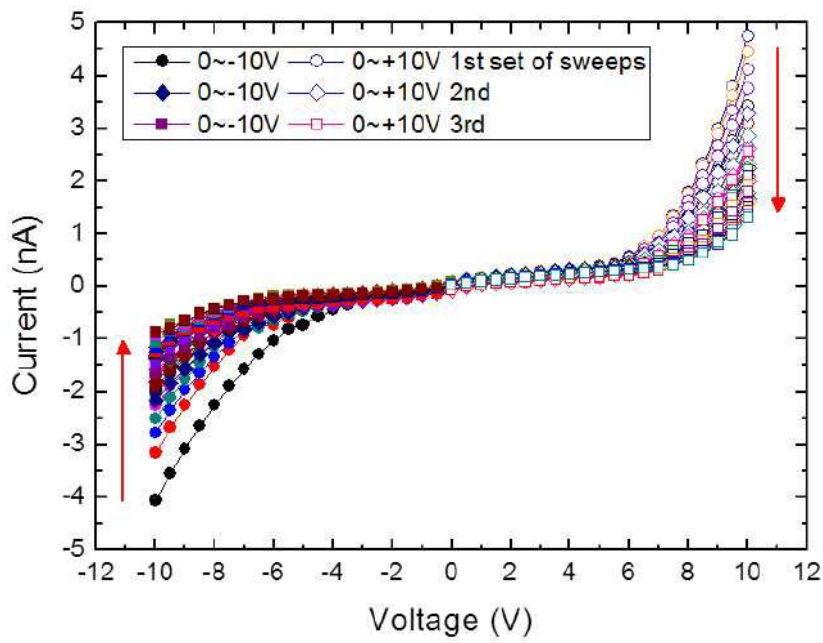
도면8



도면9



도면10



도면11

