



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0126924
(43) 공개일자 2020년11월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 45/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 45/06 (2013.01)

H01L 45/1253 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0051824

(22) 출원일자 2020년04월28일

심사청구일자 없음

(30) 우선권주장

1020190050723 2019년04월30일 대한민국(KR)

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

이은성

경기도 화성시 동탄대로시범길 236, 926동 1601호
(청계동, 동탄역 시범 리슈빌 아파트)

김도향

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 219호
(신촌동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 21 항

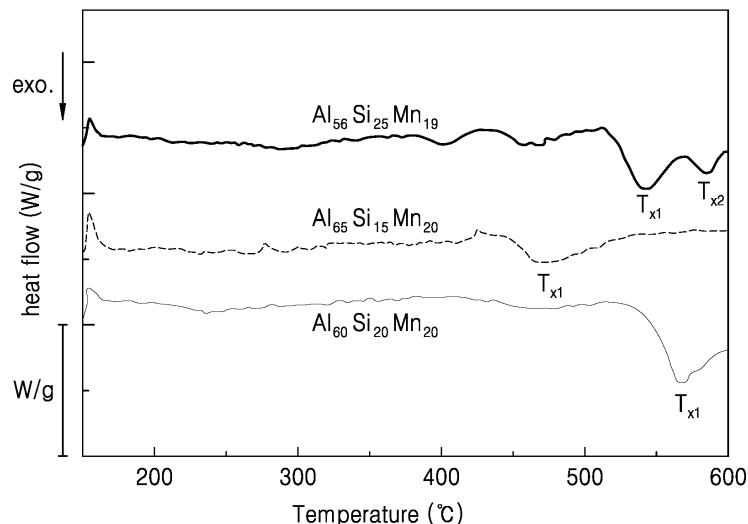
(54) 발명의 명칭 준결정 물질 및 이를 적용한 반도체 소자

(57) 요약

준결정 물질 및 이를 적용한 반도체 소자가 개시된다.

준결정 물질은 2배, 3배, 5배 또는 그 이상의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하며, 준-주기적으로 배열된 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상 사이의 상변화가 가능하다. 이러한 상변화 물질로 사용 가능한 준결정 물질을 반도체 소자의 상변화층에 적용할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 45/14 (2013.01)

(72) 발명자

윤두섭

경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 311동 502호
(서현동, 한양아파트)

유정은

경기도 성남시 분당구 성남대로171번길 8, 101동
1304호 (금곡동, 청솔마을)

명세서

청구범위

청구항 1

2배, 3배, 5배 또는 그 이상의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하며, 상기 그 이상의 회전 축 대칭은 5배 회전 축 대칭 이상이며, 상기 다면체는 5면체, 8면체, 10면체, 12면체, 20면체, 30면체 다면체이고,

준-주기적으로 배열된 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상 사이의 상변화가 가능하여 상변화 물질로 사용 가능한 준결정 물질.

청구항 2

제1항에 있어서, 다면체 클러스터를 포함하며, 상기 다면체 클러스터의 불규칙적 배열 구조를 포함하는 준결정 물질.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 준결정상과 상기 근접 결정상 사이의 저항 차이가 2배 이상인 준결정 물질.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 준결정 물질은 V, Cr 및 Mn 중 어느 하나를 포함하는 Al을 기반으로 한 합금을 포함하며, 상기 Al을 기반으로 한 합금은 20면체 준결정(icosahedral quasicrystal), 10면체 준결정(decagonal quasicrystal), 또는 8면체 준결정(octagonal quasicrystal)을 포함하는 준결정 물질.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 준결정 물질은 상기 Al을 기반으로 한 합금으로 AlSiMn을 포함하는 준결정 물질.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 준결정 물질은, V-Ni-Si, Cr-Ni-Si, Mn-Si, Mn-Si-Al, Mn-Fe-Si, Al-TM' (여기서, TM'=Ir, Pd, Pt, Os, Ru, Rh, Mn, Fe, Co, Ni, Cr), Al-Fe-Mn, Al-Ni-Co, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Fe, Al-Cu-Ni, Al-Cu-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Mn-Pd, Cr-Ni, V-Ni, V-Ni-Si, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-(Cu, Mg), Al-Re-Si, Al-Pd-TM (여기서 TM은 Fe, Ru, Os), Al-Cu-Ru, Al-Mg-(Ag, Cu, Zn), Ga-Mg-Zn, Cr-Ni, V-Ni, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-Cu, Al-Pd-Mn, Al-Mg-Zn, Zn-Mg-RE (여기서, RE=La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Y), Ti-Zr-Ni, Ti-TM" (여기서, TM"=Fe, Mn, Co, Ni), Nb-Fe, Pd-U-Si, Cd-Yb 중에서 선택된 적어도 어느 하나를 포함하는 준결정 물질.

청구항 7

제1전극;

상기 제1전극과 이격된 제2전극; 및

상기 제1 및 제2전극 사이에 위치한 상변화층;을 포함하며,

상기 상 변화 층은 2배, 3배, 5배 또는 그 이상의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하며, 상기 그 이상의 회전 축 대칭이 5배 회전 축 대칭 이상이며, 상기 다면체가 5면체, 8면체, 10면체, 12면체, 20면체, 30면체 다면체이고, 준-주기적으로 배열된 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상 사이의 상변화가 가능한 준결정 물질을 포함하며,

상기 제1 및 제2전극을 통해 상기 상변화층에 인가되는 전기적 신호에 의해 상기 상변화층의 상이 상기 준결정상과 상기 근접 결정상 사이에서 변화되는 반도체 소자.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 상변화층은 다면체 클러스터를 포함하며, 상기 다면체 클러스터는 불규칙적 배열 구조를 포함하는 반도체 소자.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 상변화층의 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상 사이의 저항 차이가 2배 이상인 반도체 소자.

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 상변화층은 V, Cr, 또는 Mn을 포함하는 Al을 기반으로 한 합금을 포함하며,

상기 Al을 기반으로 한 합금은 20면체 준결정(icosahedral quasicrystal), 10면체 준결정(decagonal quasicrystal), 또는 8면체 준결정(octagonal quasicrystal)을 포함하는 반도체 소자.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 상변화층은 AlSiMn을 포함하는 반도체 소자.

청구항 12

제7항에 있어서, 상기 상변화층은, V-Ni-Si, Cr-Ni-Si, Mn-Si, Mn-Si-Al, Mn-Fe-Si, Al-TM' (여기서, TM'=Ir, Pd, Pt, Os, Ru, Rh, Mn, Fe, Co, Ni, Cr), Al-Fe-Mn, Al-Ni-Co, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Fe, Al-Cu-Ni, Al-Cu-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Mn-Pd, Cr-Ni, V-Ni, V-Ni-Si, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-(Cu, Mg), Al-Re-Si, Al-Pd-TM (여기서 TM은 Fe, Ru, Os), Al-Cu-Ru, Al-Mg-(Ag, Cu, Zn), Ga-Mg-Zn, Cr-Ni, V-Ni, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-Cu, Al-Pd-Mn, Al-Mg-Zn, Zn-Mg-RE (여기서, RE=La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Y), Ti-Zr-Ni, Ti-TM" (여기서, TM"=Fe, Mn, Co, Ni), Nb-Fe, Pd-U-Si, Cd-Yb 중에서 선택된 적어도 어느 하나의 준결정 물질을 포함하는 반도체 소자.

청구항 13

제7항에 있어서, 상기 반도체 소자는 상변화 메모리 소자를 포함하며,

상기 상변화 메모리소자는 상기 상변화층을 포함하는 반도체 소자.

청구항 14

제7항에 있어서, 상기 반도체 소자는 뉴로모픽 소자를 포함하는 반도체 소자.

청구항 15

준결정 상과 근접 결정상(Approximant crystalline) 사이의 상변화가 가능한 다면체 준결정 요소를 포함하며,

상기 근접 결정상은 상기 준결정 상의 원자 배열보다 더 규칙적인 원자 배열을 가지며,

상기 준결정상의 원자 배열은 준-주기적으로 배열된 준결정 물질.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 준결정 물질은 열처리후에 급속 냉각시 비정질상의 형성 없이 상기 준결정상을 형성하는 준결정 물질.

청구항 17

제15항에 있어서, 상기 준결정 물질은 Al에 기반을 둔 합금을 포함하는 준결정 물질.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 Al에 기반을 둔 합금은 화학식 1에 의해 표현되는 준결정 물질.

<화학식 1>

$\text{Al}_a\text{Si}_b\text{Mn}_c$

여기서, a는 약 53 at. % 내지 약 68 at. % 범위이며, b는 약 11 at. % 내지 약 27 at. % 범위이며, c는 약 16 at. % 내지 약 23 at. % 범위이다.

청구항 19

제1전극;

상기 제1전극으로부터 이격된 제2전극; 및

상기 제1전극과 상기 제2전극 사이의 상변화층;을 포함하며,

상기 상변화층은 청구항 15항 내지 18항 중 어느 한 항의 준결정 물질을 포함하는 반도체 소자.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 반도체 소자는 상변화 메모리 소자를 포함하며,

상기 상변화 메모리소자는 상기 상변화층을 포함하는 반도체 소자.

청구항 21

제19항에 있어서, 상기 반도체 소자는 뉴로모픽 소자를 포함하는 반도체 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 준결정 물질 및 이를 적용한 반도체 소자를 제공한다.

배경 기술

[0002] 반도체 장치 중 상변화 메모리 장치는 상변화 물질층을 구성하는 소재의 화합물의 상전이에 따른 비정질 상태와 결정 상태 사이의 저항의 차이를 이용하여 데이터를 저장한다. 예를 들면, 저항이 큰 비정질 상태로의 전환에 요구되는 리셋 전류(reset current)와 저항이 작은 결정 상태로 바꾸는 셋 전류(set current)는 기판 상에 형성된 트랜지스터 혹은 다이오드로부터 하부 전극을 거쳐 상변화 물질층으로 전달되어 상변화 물질층의 상변화를 유발한다. 비정질 상태에서는 높은 저항을, 결정질 상태에서는 낮은 저항을 갖는 상변화 물질의 상변화에 의해 정보를 저장한다. 대표적인 상변화 물질로 칼코제나이드(Chalcogenide) 계열(예, $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST))의 소재가 있다. 하지만, 이러한 칼코제나이드 계열 소재를 상변화 물질로 이용한 상변화 메모리는 리셋 에너지 저감 등의 개선점이 많이 있다.

[0003] 즉, 상변화 소재로 칼코제나이드 계열의 소재가 지난 반세기 동안 연구되고 사용되어 왔는데, 리셋 에너지(전류 밀도), 주기 내구성(cycle endurance), 전환 시간(switching time), 열적 안정성(Thermal stability) 등의 소자 성능이 GST 상변화 물질의 물성 한계로 인하여 정체되어 있다. 이를 극복하는 새로운 소재가 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 준결정 소재를 기반으로 하며 상변화가 가능한 다면체 준결정 물질 및 이를 적용한 반도체 소자를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 준결정(Quasicrystal(QC))은 긴 범위 변환 순서(long-range translational order)를 가지지만, 주기적인 시스템에 대해 개별 점-그룹 대칭이 허용되지 않는 물질이다. 보통 그 모양이 준결정의 전체 회전 대칭과 관련된 다면체 클러스터로 이루어진다.

[0006] 실시예에 따른 준결정 물질은, 2배, 3배, 5배 또는 그 이상의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하며, 준-주기적으로(quasiperiodically) 배열된 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline) 사이의 상변화가 가능하여 상변화 물질로 사용 가능할 수 있다. 상기 다면체

는 오면체, 팔면체, 십면체, 십이면체, 이십면체, 삼십면체 다면체일 수 있다.

- [0007] 준결정 물질은, 다면체 클러스터를 포함하며, 상기 다면체 클러스터는 불규칙적 배열 구조를 포함할 수 있다.
- [0008] 준결정 물질은, 상기 준결정상과 상기 근접 결정상 사이의 저항 차이가 2배 이상일 수 있다.
- [0009] 준결정 물질은, 바나듐(V), 크롬(Cr), 또는 망간(Mn)을 포함하는 Al을 기반으로 한 합금일 수 있다. 상기 Al을 기반으로 한 합금은 20면체 준결정(icosahedral quasicrystal), 10면체 준결정(decagonal quasicrystal), 또는 8면체 준결정(octagonal quasicrystal)을 포함할 수 있다.
- [0010] 준결정 물질은, Al을 기반으로 한 합금으로 AlSiMn을 포함할 수 있다.
- [0011] 준결정 물질은, V-Ni-Si, Cr-Ni-Si, Mn-Si, Mn-Si-Al, Mn-Fe-Si, Al-TM' (여기서, TM'=Ir, Pd, Pt, Os, Ru, Rh, Mn, Fe, Co, Ni, Cr), Al-Fe-Mn, Al-Ni-Co, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Fe, Al-Cu-Ni, Al-Cu-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Mn-Pd, Cr-Ni, V-Ni, V-Ni-Si, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-(Cu, Mg), Al-Re-Si, Al-Pd-TM (여기서 TM은 Fe, Ru, Os), Al-Cu-Ru, Al-Mg-(Ag, Cu, Zn), Ga-Mg-Zn, Cr-Ni, V-Ni, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-Cu, Al-Pd-Mn, Al-Mg-Zn, Zn-Mg-RE (여기서, RE=La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Y), Ti-Zr-Ni, Ti-TM" (여기서, TM"=Fe, Mn, Co, Ni), Nb-Fe, Pd-U-Si, Cd-Yb 중에서 선택된 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0012] 실시예에 따른 반도체 소자는, 제1전극; 상기 제1전극과 이격된 제2전극; 및 상기 제1 및 제2전극 사이에 위치된 상변화층;을 포함하며, 상기 상변화층은 상기한 특징을 갖는 준결정 물질을 포함하여, 상기 제1 및 제2전극을 통해 상기 상변화층에 인가되는 전기적 신호에 의해 상기 상변화층의 상은 준-주기적으로 배열된 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline) 사이의 상변화가 가능할 수 있다.
- [0013] 상기 반도체 소자는 상변화 메모리 소자를 포함할 수 있으며, 상기 상변화 메모리소자는 상기 상변화층을 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 반도체 소자는 뉴로모픽 소자를 포함할 수 있다.
- [0015] 실시예에 따른 준결정 물질은 준결정 상과 근접 결정상(Approximant crystalline) 사이의 상변화가 가능한 다면체 준결정 요소를 포함할 수 있다. 근접 결정상은 준결정 상의 원자 배열보다 더 규칙적인 원자 배열을 가질 수 있으며, 준결정상의 원자 배열은 준-주기적으로 배열될 수 있다.
- [0016] 실시예들에 있어서, 상기 준결정 물질은 플리즈마 처리후에 급속 냉각시 비정질상의 형성 없이 준결정상을 형성할 수 있다.
- [0017] 실시예들에 있어서, 상기 준결정 물질은 Al에 기반을 둔 합금을 포함할 수 있다.
- [0018] 실시예들에 있어서, 상기 Al에 기반을 둔 합금은 화학식 1에 의해 표현될 수 있다.
- [0019] <화학식 1>
- [0020] $Al_aSi_bMn_c$
- [0021] 화학식 1에서, a는 약 53 at. % 내지 약 68 at. % 범위일 수 있으며, b는 약 11 at. % 내지 약 27 at. % 범위일 수 있으며, c는 약 16 at. % 내지 약 23 at. % 범위일 수 있다.
- [0022] 실시예들에 있어서, 반도체 소자는 제1전극, 상기 제1전극으로부터 이격된 제2전극, 상기 제1전극과 상기 제2전극 사이의 상변화층을 포함할 수 있다. 상기 상변화층은 상기한 준결정 물질일 수 있다.

발명의 효과

- [0023] 실시예에 따른 준결정 물질은 준결정 상태와 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정 상태의 상변화가 가능하다. 따라서, 이러한 준결정 물질은 반도체 소자의 상변화층에 적용하면, 준결정 상태와 결정 상태의 상변화가 가능하며, 준결정에서 결정으로의 전이 과정에서 에너지 변화가 크지 않아 빠른 상전이 속도를 기대할 수 있어, 상변화 메모리소자나 뉴로모픽 소자와 같은 반도체 메모리 소자를 구현할 수 있으며, 이러한 소자로 구현시 요구되는 상전이 속도를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 AlSiMn 합금을 급냉(rapid solidifying)하였을 때 얻을 수 있는 상(phase)에 대한 AlSiMn 합금의 다양한 조성 범위를 보여준다.
- 도 2는 AlSiMn 합금이 표 1의 예시 샘플 Al56, AlSi20, Al65의 조성을 가져 1단계로 상전이하는 경우, 예시 샘플에 가해지는 온도 변화에 따른 DSC(differential thermal analysis) 커브(curve)를 보여준다.
- 도 3은 AlSiMn 합금이 표 1의 비교 샘플 Al50, Al60, Al63의 조성을 가져 2단계로 상전이가 하는 경우, 비교 샘플에 가해지는 온도 변화에 따른 DSC 커브(curve)를 보여준다.
- 도 4는 샘플 $Al_{65}Si_{15}Mn_{20}$ 에서 상전이 현상을 측정된 XRD 패턴을 보여준다.
- 도 5는 비교 샘플 $Al_{50}Si_{35}Mn_{15}$ 에서 상전이 현상을 측정된 XRD 패턴을 보여준다.
- 도 6은 표 1 및 표 2의 예시 샘플 Al56, AlSi20, Al65를 급속 냉각 했을 때, 준결정상(Quasicrystalline phase)이 나타나는 것을 보여주는 XRD 패턴을 보여준다.
- 도 7은 표 1 및 표 2의 비교 샘플 Al50, Al60, Al63을 급속 냉각 했을 때, 비정질(amorphous) 상태를 나타내는 것을 보여주는 XRD 패턴을 보여준다.
- 도 8은 Al-Si-Mn계 iQC(icosahedral quasicrystal)인 비교 샘플 Al50, Al63과 예시 샘플 Al65의 비저항을 각각 phase 단계에서 4-point probe로 측정된 결과를 보여준다.
- 도 9 및 도 10은 AlSiMn 샘플에 대해 캐핑(capping)없이 R-T 테스트한 결과를 보여주는 그래프이다.
- 도 11은 실시예에 따른 준결정 물질을 상변화층에 적용한 반도체 소자를 예시적으로 개략적으로 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 예시적인 실시예들에 대해 상세히 설명한다. 이하의 도면들에서 동일한 참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되어 있을 수 있다. 이하에서 설명되는 실시예들은 단지 예시적인 것으로, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다.
- [0026] 이하에서, "상부" 나 "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위에 있는 것도 포함할 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. "상기"의 용어 및 이와 유사한 지시 용어의 사용은 단수 및 복수 모두에 해당하는 것일 수 있다.
- [0027] 준결정(Quasicrystal(QC))은 긴 범위 변환 순서(long-range translational order)를 가지지만, 주기적인 시스템에 대해 개별 점-그룹 대칭이 허용되지 않는 물질이다. 보통 그 모양이 준결정의 전체 회전 대칭과 관련된 다면체 클러스터로 이루어진다. 실시예에 따른 준결정 물질은, 2배, 3배, 5배 또는 그 이상 (예컨대, 8배, 10배, 12배)의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하는 다양한 다면체의 불규칙적 배열 구조를 가질 수 있다. 여기서, 다면체는 예를 들어, 5면체 (pentagonal polyhedron), 8면체 (octagonal polyhedron), 10면체 (decagonal polyhedron), 12면체 (dodecagonal polyhedron), 20면체 (icosahedral polyhedron), 30면체 (triacontahedral polyhedron)일 수 있다.
- [0028] 예를 들어, 실시예에 따른 준결정 물질은, 8배 회전 축 대칭(8-fold symmetry)을 갖는 8면체 준결정(octagonal quasicrystals) 물질, 10배 회전 축 대칭(10-fold symmetry)을 갖는 10면체 준결정(decagonal quasicrystals) 물질, 12배 회전 축 대칭(12-fold symmetry)을 가지는 12면체 준결정(dodecagonal quasicrystals) 물질, 20면체 준결정(icosahedral quasicrystals) 물질, broken icosahedral symmetry를 가지는 stable binary quasicrystal 물질 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0029] 이와 같이, 실시예에 따른 준결정 물질은, 2배, 3배, 5배 또는 그 이상의 접합 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하며, 준-주기적으로 배열된 준결정상(quasicrystal)과 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline) 사이의 상변화가 가능하여 상변화 물질로 사용 가능할 수 있다. 여기서, 근접 결정상(Approximant crystalline)은 결정상을 포함할 수 있다.
- [0030] 또한, 실시예에 따른 준결정 물질은, long range order 구조를 갖는 다면체 클러스터를 포함하며, 상기 다면체 클러스터의 불규칙적 배열 구조를 포함할 수 있으며, 준결정상(quasicrystal)과 이보다 더 규칙적인 원자 배열

을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline)에 대한 작은 상전이 에너지 변화 및 큰 비저항 차이로 고속 상변화가 가능하도록 마련될 수 있다.

- [0031] 예를 들어, 실시예에 따른 준결정 물질은, 준-주기적으로 배열된 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상 사이의 저항 차이가 2배 이상 예컨대, 대략 4배 또는 그 이상 이도록 형성될 수 있다.
- [0032] 실시예에 따른 준결정 물질은, Al을 기반으로 한 20면체 준결정(icosahedral quasicrystal) 합금 예를 들어, AlSiMn을 포함할 수 있다. 예를 들어, 실시예에 따른 준결정 물질은 8면체 준결정(octagonal quasicrystals) 물질 예컨대, V-Ni-Si, Cr-Ni-Si, Mn-Si, Mn-Si-Al, Mn-Fe-Si 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 예를 들어, 실시예에 따른 준결정 물질은 10면체 준결정(decagonal quasicrystals) 물질 예컨대, Al-TM' (여기서, TM'= Ir, Pd, Pt, Os, Ru, Rh, Mn, Fe, Co, Ni, Cr), Al-Fe-Mn, Al-Ni-Co, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Fe, Al-Cu-Ni, Al-Cu-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Mn-Pd, V-Ni-Si, Cr-Ni 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 예를 들어, 실시예에 따른 준결정 물질은 12면체 준결정(dodecagonal quasicrystals) 물질 예컨대, Cr-Ni, V-Ni, V-Ni-Si 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 예를 들어, 실시예에 따른 준결정 물질은 20면체 준결정(icosahedral quasicrystals) 물질 예컨대, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-Cu, Al-Pd-Mn, Al-Cu-Fe, Al-Mg-Zn, Zn-Mg-RE (여기서, RE=La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Y), Ti-Zr-Ni, Ti-TM'' (여기서, TM''=Fe, Mn, Co, Ni), Nb-Fe, V-Ni-Si, Pd-U-Si 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 또한, 예를 들어, 실시예에 따른 준결정 물질은 broken icosahedral symmetry를 가지는 stable binary quasicrystal 물질 예컨대, Cd-Yb를 포함할 수 있다.
- [0033] 여기서, Al-Ni-Co, Al-Cu-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Mn-Pd, Al-Li-Cu, Zn-Mg-RE, Cd-Yb는 안정된 상들이 존재하는 물질일 수 있다.
- [0034] 실시예에 따르면, 준결정 물질은 Al에 기반을 둔 합금을 포함할 수 있다. 예를 들어, 준결정 물질은 $Al_aSi_bMn_c$ 에 의해 표현되는 Al에 기반을 둔 합금일 수 있다.
- [0035] $Al_aSi_bMn_c$ 에서, a는 약 53 at. % 내지 약 68 at. % 범위 (예를 들어, 약 55 at. % 내지 약 66 at. %)일 수 있으며, b는 약 11 at. % 내지 약 27 at. % 범위 (예를 들어, 약 14 at. % 내지 약 25 at. %)일 수 있으며, c는 약 16 at. % 내지 약 23 at. % 범위 (예를 들어, 약 19 at. % 내지 약 21 at. %)일 수 있다.
- [0036] 이상에서와 같은, 준결정 소재를 기반으로 하며, 준결정 상태와 결정 상태의 상변화가 가능하도록 마련된 다양한 실시예에 따른 준결정 물질은 반도체 소자의 상변화층에 적용할 수 있다. 여기서, 결정 상태는 준결정 상태보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정 상태를 포함할 수 있다. 이러한 준결정 물질을 상변화층에 적용한 반도체 소자는, 준결정 상태와 결정 상태의 상변화가 가능하며, 준결정에서 결정으로의 전이 과정에서 에너지 변화가 크지 않아 빠른 상전이 속도를 기대할 수 있어, 상변화 메모리소자나 뉴로모픽 소자와 같은 반도체 메모리 소자를 구현할 수 있으며, 이러한 소자로 구현시 요구되는 상전이 속도를 얻을 수 있다.
- [0037] 이하에서는, 실시예에 따른 준결정 물질의 예시로서, Al을 기반으로 한 20면체 준결정(icosahedral quasicrystal) 합금 예를 들어, AlSiMn 20면체 준결정(icosahedral quasicrystal)의 상전이를 설명한다.
- [0038] 도 1은 AlSiMn 합금을 급냉(rapid solidifying)하였을 때 얻을 수 있는 상(phase)에 대한 AlSiMn 합금의 다양한 조성 범위를 보여준다.
- [0039] 도 1을 참조하면, AlSiMn 합금을 급속 냉각시, 비정질(amorphous) 상에서부터 출발하여 준결정(quasicrystalline)상으로 다시 결정상(Crystalline Phase)로의 2단계 상전이하는 조성과 준결정(quasicrystalline)상이 생성되고 열처리시 이보다 더 규칙적인 원자의 배열을 갖는 근접 결정상으로 1단계 상전이가 하는 조성 범위가 존재함을 알 수 있다.
- [0040] 도 1에서, QC는 준결정상, AC는 준결정상보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline)을 나타내며, Amorp.는 비정질상, Cryst.는 결정상을 나타낸다. QC + AC는 준결정상과 근접 결정상이 존재하는 상태, Amorp. + Cryst.는 비정질상과 결정상이 존재하는 상태를 나타낸다.
- [0041] 표 1은 실시예로서 AlSiMn 합금의 1단계 상전이 특성을 나타내는 조성과 비교예로서 2단계 상전이 특성을 나타내는 조성을 예시적으로 보여준다.

표 1

No.	Phase transition steps	Compositions (at. %)	ICP compositions (at.%)		
			Al	Si	Mn

Al50	2: Amorp. → Quasi- → Crystalline phase	$Al_{50}Si_{35}Mn_{15}$	50	34.8	15.2
Al60		$Al_{60}Si_{25}Mn_{15}$	59.6	25.3	15.1
Al63		$Al_{63}Si_{22}Mn_{15}$	62.6	22.3	15.1
Al56	1: Quasi- → Crystalline	$Al_{56}Si_{25}Mn_{19}$	55.6	24.9	19.5
AlSi20		$Al_{60}Si_{20}Mn_{20}$	59.7	20.0	20.3
Al65		$Al_{65}Si_{15}Mn_{20}$	65.2	14.8	20.0

[0043] 표 1에서 예시 샘플 Al56, AlSi20, Al65의 조성을 가지는 AlSiMn 합금은 1단계 상전이 특성을 나타내며, 비교 샘플 Al50, Al60, Al63의 조성을 가지는 AlSiMn 합금은 2단계 상전이 특성을 나타낸다. 표 1에 보여진 샘플들의 AlSiMn 합금의 조성은, 조성을 달리한 AlSiMn 리본(ribbon)을 제조하고 이를 ICP(inductive coupled plasma)로 측정된 결과를 나타낸다. 여기서, AlSiMn 리본은 약 20 μ m 두께, 약 2mm의 폭으로 제작 되었다.

[0044] 표 1에서 1단계 상전이(Quasi → Crystalline)는 예시 샘플 Al56, AlSi20, Al65의 AlSiMn 합금을 급속 냉각시 준결정(quasicrystalline)상으로 되고, 준결정(quasicrystalline)상에서 출발하여 열처리시 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline)으로 상전이 하는 것을 나타낸다. 2단계 상전이(Amorp. → Quasi → Crystalline phase)는 비교 샘플 Al50, Al60, Al63의 AlSiMn 합금을 급속 냉각시, 비정질(amorphous) 상에서부터 출발하여 준결정(quasicrystalline)상으로 다시 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant Crystalline)으로 상전이 하는 것을 나타낸다.

[0045] 여기서는, 표 1에 보여진 샘플들의 AlSiMn 합금을 AlSiMn 리본으로 제조한 경우를 예시적으로 설명하지만, AlSiMn 합금은 다른 제조 방법 예를 들어, 스퍼터링 등의 박막 증착 방법을 적용하여 제조될 수도 있다. 예를 들어, 순도 99.99 at.% 이상인 고순도 금속을 유도 용융하여 Al-Si-Mn의 화학 조성을 갖는 합금 잉곳을 준비하고, melt-spinning 방법을 이용하여 급속 냉각 시킴으로써 AlSiMn 리본 샘플을 제조할 수 있다. 이때, 급속 냉각에 의해 얻어지는 AlSiMn 리본 샘플은 예를 들어, 대략 ~20 μ m 두께, 약 ~2mm의 폭으로 제작될 수 있다. 다른 예로서, AlSiMn 합금은 박막 증착 방법으로 제조될 수 있다. AlSiMn 박막 샘플은 예를 들어, 실온에서 SiO₂/Si(100) 웨이퍼 기판 상에 고순도(예컨대, 99.999%) Al, Si, 및 Mn 타겟의 DC & RF co-sputtering에 의해 증착함으로써 제조될 수 있다. 이때, 챔버 내부의 압력은 예를 들어, 2.0 x 10⁻⁷ Torr 이하이고, AlSiMn 박막 형성을 위한 모든 증착 공정은 약 3 x 10⁻³ Torr 압력으로 Ar 분위기에서 수행될 수 있다. 여기서, AlSiMn 리본 샘플을 제조하기 위한 조건, 박막 증착 방식으로 AlSiMn 박막 샘플을 제조하기 위한 조건은 예시로서 보인 것으로, 실시예가 이에 한정되는 것은 아니다.

[0046] 표 2는 표 1의 AlSiMn 합금 샘플들이 1단계 또는 2단계로 상전이 하는 경우, 상전이 온도(phase transition temperature) 및 상전이 시 발생하는 열량(ΔH)을 예시적으로 보여준다. 도 2는 AlSiMn 합금이 표 1의 예시 샘플 Al56, AlSi20, Al65의 조성을 가져 1단계로 상전이 하는 경우, 예시 샘플에 가해지는 온도 변화에 따른 DSC(differential thermal analysis) 커브(curve)를 보여준다. 도 3은 AlSiMn 합금이 표 1의 비교 샘플 Al50, Al60, Al63의 조성을 가져 2단계로 상전이 하는 경우, 비교 샘플에 가해지는 온도 변화에 따른 DSC 커브(curve)를 보여준다.

표 2

Phase transition steps	Compositions (at. %)	Phase transition temperature (° C)		H (J/g)	
		T _{x1}	T _{x2}	H ₁	H ₁
2 Step Amorp. → Quasi- → Crystalline	$Al_{50}Si_{35}Mn_{15}$	343	381	-122	-20
	$Al_{60}Si_{25}Mn_{15}$	356.1	476.5	-172.9	-57.2
	$Al_{63}Si_{22}Mn_{15}$	344.1	490.1	-179.5	-32.8

1 Step Quasi- → Crystalline	Al ₅₆ Si ₂₅ Mn ₁₉	543.8	586.8	3.04	0.85
	Al ₆₀ Si ₂₀ Mn ₂₀	568.7	N/A	TBD	N/A
	Al ₆₅ Si ₁₅ Mn ₂₀	470.9	N/A	3.65	N/A

- [0048] 표 2 및 도 2의 그래프를 참조하면, 예시 샘플 AlSi20, Al65와 같이, DSC 커브로부터 한 개의 발열 피크(exthothermic peak)를 나타내는 조성과 예시 샘플 Al56와 같이, DSC 커브로부터 근접한 한쌍의 발열 피크(exthothermic peaks)를 나타내는 조성은 급속 냉각시 비정질상 형성 없이 준결정이 생성되는 조성 영역을 나타내며, 한 단계의 상전이(quasicrystal → crystal)가 이루어짐을 보여준다. 샘플들은 담금질 공정(quenching process)을 사용하여 급속 냉각될 수 있지만, 실시예가 여기에 한정되는 것은 아니다.
- [0049] 표 2 및 도 3의 그래프를 참조하면, 비교 샘플 Al50, Al60, Al63와 같이, DSC 커브로부터 두개의 발열 피크(exthothermic peaks)를 나타내는 조성은 급속 냉각시 비정질 상이 생성되는 조성으로, 두 단계의 상전이(amorphous → quasicrystal → Crystal)가 이루어짐을 보여준다.
- [0050] 표 2에서 예시 샘플 AlSi20에 대한 상전이 시 발생하는 열량(ΔH)의 측정 결과는 계산되지 않았는데, 이는 샘플에 가하는 온도를 600도로 한정하였기 때문이다. 도 2의 그래프를 보면, 예시 샘플 AlSi20의 경우, 한 개의 발열 피크를 보여, 한 단계의 상전이(quasicrystal → crystal)를 특성을 나타냄을 알 수 있다. 예시 샘플 Al56의 경우, 두 곳(Tx1, Tx2)에서 상전이가 이루어지는데, 이는 Al56 샘플의 조성의 경우, 서로 다른 종류의 근접 결정상이 생성되는 것을 보여준다.
- [0051] 표 2를 다시 참조하면, 두 단계의 상전이가 이루어지는 비교 샘플 Al50, Al60, Al63의 경우, 두 번째 상전이 온도(Tx2)에서의 발열량(ΔH2)이 첫 번째 상전이 온도(Tx1)에서의 발열량(ΔH1)보다 크게 작음을 알 수 있다.
- [0052] 더욱이, 한 단계의 상전이가 이루어지는 예시 샘플 Al56, AlSi20, Al65의 경우, 첫 번째 상전이 온도(Tx1)에서의 발열량(ΔH1) 자체가 매우 작음을 알 수 있다. 이는 준결정에서 결정으로의 상전이 과정에서 에너지 변화가 크지 않음을 의미한다. 이와 같이 에너지 변화가 크지 않으므로, 준결정에서 결정으로의 1단계 상전이가 일어나는 준결정 물질을 상변화 물질로 적용하는 경우 빠른 상전이 속도를 달성할 수 있다. 또한, 준결정 물질의 조성을 적절히 선택하는 경우, 녹는 점(melting point)이 벌크(bulk) 기준으로 약 600도 이하이므로, 이를 적용하는 경우 낮은 파워로 동작하는 반도체 소자를 구현할 수 있다.
- [0053] 이와 같이, 실시예에 따른 준결정 물질에 따르면, 한 단계의 상전이가 이루어지도록 되어 있으며, 준결정에서 결정으로의 상전이 과정에서 에너지 변화가 크지 않아 빠른 상전이 속도를 기대할 수 있으며, 낮은 파워로도 동작할 수 있다.
- [0054] 도 4 및 도 5는 각각 샘플 Al₆₅Si₁₅Mn₂₀와 비교 샘플 Al₅₀Si₃₅Mn₁₅에서 상전이 현상을 측정한 XRD 패턴을 보여준다.
- [0055] 도 4를 참조하면, 샘플 Al₆₅Si₁₅Mn₂₀은 한 단계의 상전이(Quasicrystal→Approximant Crystal) 특성을 보여준다. 도 5를 참조하면, 비교 샘플 Al₅₀Si₃₅Mn₁₅은 두 단계의 상전이(Amorphous→ Quasicrystal→Approximant Crystal) 특성을 보여준다.
- [0056] 도 6은 표 1 및 표 2의 예시 샘플 Al56, AlSi20, Al65을 급속 냉각 했을 때, 준결정상(Quasicrystalline phase)이 나타나는 것을 보여주는 XRD 패턴을 보여준다. 도 7은 표 1 및 표 2의 비교 샘플 Al50, Al60, Al63을 급속 냉각 했을 때, 비정질(amorphous) 상태를 나타내는 것을 보여주는 XRD 패턴을 보여준다.
- [0057] 도 6에서와 같이, 급속 냉각시 준결정상을 보이는 경우, 1단계 상전이(Quasicrystal → Approximant Crystal)가 이루어질 수 있다. 도 7에서와 같이 급속 냉각시 비정질상을 보이는 경우, 상전이는 2단계에 걸쳐(Amorphous → Quasicrystal → Approximant Crystal) 이루어질 수 있다.
- [0058] 표 3 및 도 8은 Al-Si-Mn계 iQC(icosahedral quasicrystal)인 비교 샘플 Al50, Al63과 예시 샘플 Al65의 비저항을 각각 phase 단계에서 4-point probe로 측정한 결과를 보여준다. 표 3 및 도 8에서 Amor-, Am은 비정질(amorphous) 상을 나타내며, QC, iQC는 준결정(quasicrystal) 상을 나타내며, Crys, X'tal은 결정(crystal) 상 또는 근접 결정상(Approximant Crystal)을 나타낸다.

표 3

No.	annealing temperature (°C)	surface resistance (Ω/\square)			thickness	average resistivity value($m\Omega \cdot cm$)	phase
AI50	As-spun RT	1.968	1.747	1.814	20	3.686	Amor-
	350	3.537	3.805	-	20	7.738	QC
	420	0.588	0.591	0.576	20	1.17	X'tal
AI63	As-spun RT	1.367	1.365	1.407	20	2.765	Amor-
	400	5.117	-	-	20	10.234	QC
	550	1.257	1.207	1.120	25	2.987	X'tal
AI65	As-spun-RT	6.140	5.703	4.712	18	9.933	QC
	600	1.362	1.622	1.152	18	2.482	X'tal

표 3 및 도 8을 참조하면, 비정질상, 준결정상, 결정상 세 가지 phase 중 준결정상의 비저항이 제일 크고, 다음으로 비정질상 또는 결정상의 비저항이 준결정상의 비저항보다 작은 것을 알 수 있다.

또한, 예시 샘플 AI65의 경우, 급속 냉각시 준결정상을 보이며, 준결정(Quasicrystal), 근접 결정(Approximant Crystal) 두 가지 phase 중 quasicrystal → Approximant Crystal 순으로 비저항 크기를 나타내며, 준결정상과 근접 결정상 사이의 비저항 크기 차이가 2배 이상 예를 들어, 대략 4배 또는 그 이상인 것을 알 수 있다.

도 9 및 도 10은 AlSiMn 샘플에 대해 캐핑(capping)없이 R-T 테스트한 결과를 보여주는 그래프이다.

도 9 및 도 10을 참조하면, 점선(①→②→③ 경로)은 상온에서 준결정의 저항을 확인하기 위하여, R-T 실험을 30도 /min으로 약 250-280도 까지 승온하고, 상온으로 온도를 내리면서 저항을 추적한 경우를 보여준다. 굵은 실선 경로(예를 들어, 도 9에서 ③→④→⑤ 및 도 10에서 ③→④→⑤→⑥→⑦)은 샘플을 다시 450도 까지 승온하면서 R-T 테스트한 결과를 보여준다. 도 9 및 도 10의 샘플 모두 약 400도 이상에서 저항이 급감하는 영역이 존재하는데, 이는 준결정에서 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상으로의 상전이(Quasicrystal → Approximant Crystal phase transition)가 이루어짐을 보여준다.

도 9 및 도 10에서 얇은 실선의 경로는 샘플을 상온에서부터 준결정상에서 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상으로의 상전이가 이루어지는 온도까지 승온시키고, 그 후 샘플을 냉각시켰을 때 R-T 순환 곡선을 개략적으로 보여준다.

도 9 및 도 10의 R-T 실험 결과로 알 수 있는 바와 같이, 약 400 이상에서 저항이 급감하는 영역이 존재하여, AlSiMn 샘플은 준결정에서 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상으로의 상전이(Quasicrystal → Approximant Crystal phase transition)가 이루어짐을 알 수 있다.

이상에서 설명한 바와 같은 실시예에 따른 준결정 물질은, 2배, 3배, 5배 또는 그 이상의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하며, 준결정상(quasicrystal)과 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline) 사이의 상변화가 가능하여 상변화 물질로 사용 할 수 있다.

또한, 실시예에 따른 준결정 물질에 따르면, 한 단계의 상전이가 이루어지도록 되어 있으며, 준결정에서 결정으로의 상전이 과정에서 에너지 변화가 크지 않아 빠른 상전이 속도를 기대할 수 있으며, 낮은 파워로도 동작할 수 있다.

따라서, 실시예에 따른 준결정 물질을 반도체 소자의 상변화층에 적용하면, 빠른 상전이 속도 및 낮은 파워로 동작 가능한 반도체 소자 예컨대, 상변화 메모리 소자 또는 뉴로모픽 소자를 구현할 수 있다.

도 11은 실시예에 따른 준결정 물질을 상변화층에 적용한 반도체 소자를 예시적으로 개략적으로 보여준다. 도 11은 반도체 소자로서 상변화 메모리 소자를 예시적으로 보여주는데, 실시예에 따른 준결정 물질을 상변화층에 적용한 반도체 소자는 다양한 구성을 가질 수 있다.

도 11을 참조하면, 실시예에 따른 반도체 소자는, 서로 이격된 제1 및 제2전극(20)(70), 이들 사이에 위치한 상변화층(50)을 포함할 수 있다.

제1전극(20)은 하부전극일 수 있다. 예컨대, 제1전극(20)은 플러그형 전극일 수 있다. 이 경우, 제1전극(20)은 예컨대, 층간 절연층(30)의 콘택홀 내에 구비될 수 있다. 층간 절연층(30) 하면에 제1전극(20)과 접촉된 패드형 전극(10)이 더 구비될 수 있다. 제2전극(70)은 상부전극일 수 있다. 플러그형 전극으로 된 제1전극(20)은 상변

화층(50)보다 작은 폭을 갖도록 형성될 수 있다. 제1전극(20)은 하부전극으로서, 히팅 전극(heating electrode) 또는 저항성 전극(resistive electrode)일 수 있다. 제1전극(20) 및 제2전극(70)은 일반적인 상변화 램이나 저항변화 램과 같이 상변화층을 구비하는 메모리소자 분야에서 사용되는 전극 물질을 포함할 수 있다.

[0072] 제1전극(20)은 예를 들어, TiN(titanium nitride), TaN(tantalum nitride), TiAlN, TaSiN, WN(tungsten nitride), WNC(tungsten nitride carbide), 도핑된 실리콘(doped-Si) 등의 다양한 도전 물질 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0073] 제2전극(70)은 예를 들어, Al, Au, Cu, Ir, Ru, Pt, Ti, TiN, Ta, TaN 등의 다양한 도전 물질 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0074] 또한, 제1전극(20)과 접촉된 패드형 전극(10)은 예를 들어, Al, Au, Cu, Ir, Ru, Pt, Ti, TiN, Ta, TaN 등의 다양한 도전 물질 중 적어도 하나를 포함할 수 있으며, 단층 또는 복층 구조로 형성될 수 있다. 예를 들어, 패드형 전극(10)은 예를 들어, Al/Ti의 이중층 구조로 형성될 수 있다. 패드형 전극(10)은 제2전극(70)과 동일 도전 물질로 형성되거나, 다른 도전 물질로 형성될 수 있다. 도 8에서는 상변화 메모리소자가 패드형 전극(10)을 구비하는 경우를 예를 들어 보여주는데, 패드형 전극(10)이 생략된 구조도 가능하다.

[0075] 상변화층(50)은, 제1 및 제2전극(20)(70)을 통해 인가되는 전기적 신호에 의해 상변화를 통한 저항 차이로 정보를 저장하도록 마련될 수 있다.

[0076] 상변화층(50)은 2배, 3배, 5배 또는 그 이상의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하며, 준주기적으로 배열된 준결정상(quasicrystal)과 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline) 사이의 상변화가 가능한 전술한 다양한 실시예의 준결정 물질을 적용할 수 있다. 이러한 상변화층(50)은 준결정 물질의 준결정 상과 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정 상 사이의 상변화가 가능하다.

[0077] 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은, 2배, 3배, 5배 또는 그 이상 (예컨대, 8배, 10배, 12배 등)의 회전 축 대칭을 갖는 다면체 준결정 소재를 기반으로 하는 다양한 다면체의 불규칙적 배열 구조를 가질 수 있다. 예를 들어, 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은, 8배 회전 축 대칭(8-fold symmetry)을 갖는 8면체 준결정(octagonal quasicrystals) 물질, 10배 회전 축 대칭(10-fold symmetry)을 갖는 10면체 준결정(decagonal quasicrystals) 물질, 12배 회전 축 대칭(12-fold symmetry)을 가지는 12면체 준결정(dodecagonal quasicrystals) 물질, 20면체 준결정(icosahedral quasicrystals) 물질, broken icosahedral symmetry를 가지는 stable binary quasicrystal 물질 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0078] 이때, 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은, long range order 구조를 갖는 다면체 클러스터를 포함하며, 상기 다면체 클러스터의 불규칙적 배열 구조를 포함할 수 있으며, 준결정상(quasicrystal)과 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상(Approximant crystalline)에 대한 작은 상전이 에너지 변화 및 큰 비저항 차이로 고속 상변화가 가능하다. 예를 들어, 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은, 준결정상과 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상 사이의 저항 차이가 대략 2배 이상 예컨대, 대략 4배 또는 그 이상 이도록 형성될 수 있다.

[0079] 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은, Al을 기반으로 한 20면체 준결정(icosahedral quasicrystal) 합금 예를 들어, AlSiMn을 포함할 수 있다. 또한, 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은 8면체 준결정(octagonal quasicrystals) 물질 예컨대, V-Ni-Si, Cr-Ni-Si, Mn-Si, Mn-Si-Al, Mn-Fe-Si 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은 10면체 준결정(decagonal quasicrystals) 물질 예컨대, Al-TM (여기서, TM= Ir, Pd, Pt, Os, Ru, Rh, Mn, Fe, Co, Ni, Cr), Al-Ni-Co, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Fe, Al-Cu-Ni, Al-Cu-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Mn-Pd, V-Ni-Si, Cr-Ni 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은 12면체 준결정(dodecagonal quasicrystals) 물질 예컨대, Cr-Ni, V-Ni, V-Ni-Si 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0080] 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은 20면체 준결정(icosahedral quasicrystals) 물질 예컨대, Al-Fe-Mn, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Li-Cu, Al-Pd-Mn, Al-Cu-Fe, Al-Mg-Zn, Zn-Mg-RE (여기서, RE=La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Y), T-Zr-Ni, Ti-TM (여기서, TM=Fe, Mn, Co, Ni), Nb-Fe, V-Ni-Si, Pd-U-Si 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 또한, 상변화층(50)에 상변화 물질로 적용되는 준결정 물질은 broken icosahedral symmetry를 가지는 stable binary quasicrystal 물질 예컨대, Cd-Yb를 포함할 수 있다.

[0081] 여기서, Al-Ni-Co, Al-Cu-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Mn-Pd, Al-Li-Cu, Zn-Mg-RE, Cd-Yb는 안정된 상들이 존재하는

물질일 수 있다.

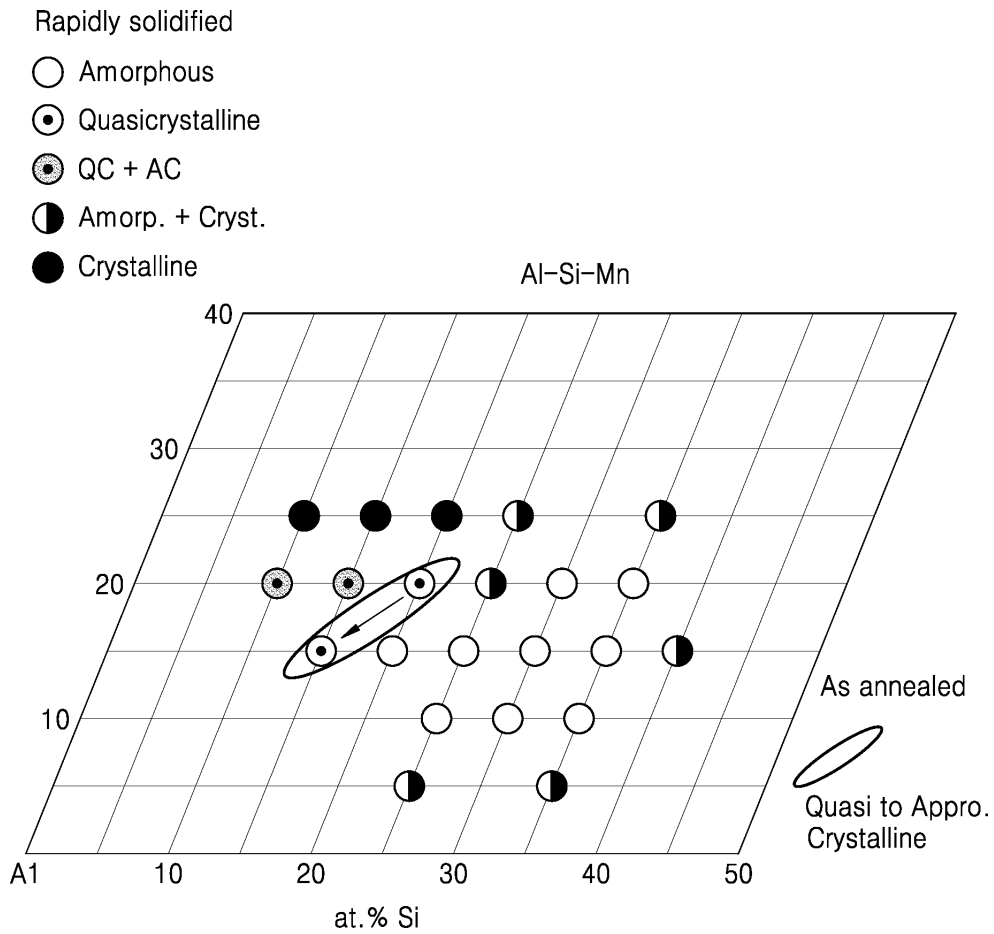
- [0082] 이와 같은 준결정 소재를 기반으로 하며, 준결정 상태와 근접 결정 상태의 상변화가 가능하도록 마련된 준결정 물질을 상변화층(50)에 적용함으로써, 반도체 소자는, 준결정 상태와 근접 결정 상태의 상변화가 가능하며, 준결정에서 근접 결정으로의 상전이 과정에서 에너지 변화가 크지 않아 빠른 상전이 속도를 기대할 수 있어, 고속 상변화 메모리소자나 뉴로모픽 소자 등을 구현할 수 있으며, 이러한 소자로 구현시 요구되는 고속 상전이가 속도를 얻을 수 있다.
- [0083] 실시예에 따른 반도체 소자의 적층 구조는, 표면에 절연층(5)을 가지는 기판(1) 상에 형성될 수 있다. 절연층(5)은 예컨대, SiO₂로 형성될 수 있으며, 이외에도 다양한 절연 물질이 사용될 수 있다. 기판(1)으로는 예를 들어 실리콘 기판(Si)을 사용할 수 있으며, 이외에도 다양한 종류의 기판이 사용될 수 있다. 예를 들어, SOI 기판 상에 실시예에 따른 반도체 소자를 적층할 수 있다.
- [0084] 이러한 반도체 소자에 따르면, 제1전극(20)과 제2전극(70)을 통해 상변화층(50)에 인가되는 전기적 신호에 의해 상변화층(50)의 상(phase)이 변화될 수 있다. 상변화층(50)은 준결정 상태를 가질 수 있으며, 전기적 신호의 인가에 의해 상변화층(50)의 적어도 일부 영역의 상이 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정 상태로 변화될 수 있다.
- [0085] 제1전극(20)과 제2전극(70)을 통해서 상변화층(50)에 소정의 전기적 신호(전기적 에너지)를 인가하면, 상변화층(50)의 적어도 일부 영역에서 상변화 물질의 상이 예를 들어, 준-주기적으로 배열된 준결정상에서 이보다 더 규칙적인 원자 배열을 갖는 근접 결정상으로 변화될 수 있다. 상변화층(50)에서 상변화 영역을 제외한 나머지 영역의 상은 준결정상일 수 있다. 상변화층(50)에 상변화 영역을 형성하는 동작을 세트(set) 동작이라고 할 수 있다. 세트 동작에 의해 상변화층(50)의 저항(전기 저항)은 낮아질 수 있다.
- [0086] 근접 결정상으로 된 상변화 영역이 형성된 상태에서, 상변화층(50)에 세트 동작시의 전기적 신호와 다른 전기적 신호를 인가하면, 상변화 영역의 상이 다시 변화될 수 있다. 즉, 상변화 영역의 상이 근접 결정상에서 준결정상으로 변화될 수 있다. 결과적으로, 상변화층(50)은 전체적으로 준결정상을 가질 수 있다. 상변화 영역의 상을 다시 준결정상으로 변화시키는 동작을 리세트(reset) 동작이라고 할 수 있다. 이러한 리세트 동작에 의해 상변화층(50)의 저항(전기 저항)은 높아질 수 있다.
- [0087] 여기서, 상변화층(50)은 전체적으로 준결정상을 갖는 대신에, 근접 결정상을 가질 수 있으며, 상변화층에 전기적 신호 인가에 따라 상변화 영역의 상이 준결정상으로 변화되도록 구현될 수도 있다.
- [0088] 한편, 도 11에서는 제1전극(20)을 플러그형 전극으로 형성하여, 상변화층(20)의 제1전극(20)에 인접한 일부 영역이 상변화 영역에 해당하는 경우를 예시적으로 보여주고 있는데, 실시예가 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 제1전극(20)을 플러그형 전극으로 형성하는 대신에, 상변화층(50)의 일부를 플러그형으로 형성하고, 상변화층(50)의 플러그 부분의 일부 영역에서만 제1 및 제2전극(20)(70) 사이에 인가되는 전기적인 신호에 따라 상변화가 이루어지도록 마련될 수도 있다.
- [0089] 실시예에 따른 반도체 소자는, 예를 들어, 기판(1)으로 Si 기판, 절연층(5)으로 약 300nm 두께의 SiO₂를 적용하며, 절연층(5) 상에 패드형 전극(10)을 Al/Ti 복수층 구조로 형성하고, 제1전극(20)을 TiN 플러그형 전극으로 SiO₂로 이루어진 층간 절연층(30)의 콘택홀 내에 구비할 수 있다. 패드형 전극(10)과 TiN 플러그형 전극으로 이루어진 제1전극(20)의 두께는 약 700nm로 형성될 수 있다. 제1전극(20) 및 층간 절연층(30) 상에 상변화층(50)을 AlSiMn 물질로 약 30nm 두께로 형성하고, 상변화층(50) 상에 제2전극을 TiN으로 약 50nm 두께로 형성할 수 있다.

부호의 설명

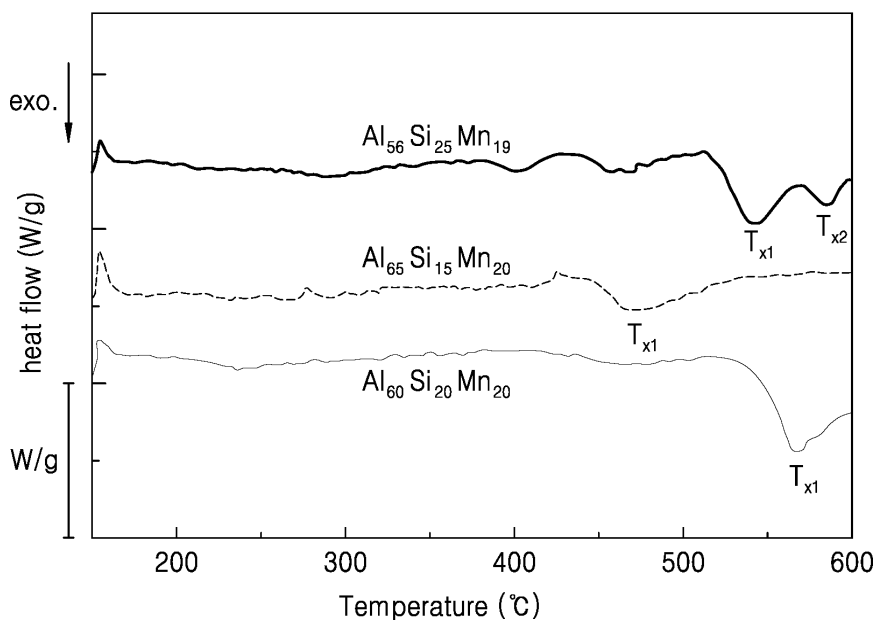
- [0090]
- | | |
|-------------|-----------|
| 1...기판 | 5...절연층 |
| 10...패드형 전극 | 20...제1전극 |
| 30...층간 절연층 | 50...상변화층 |
| 70...제2전극 | |

도면

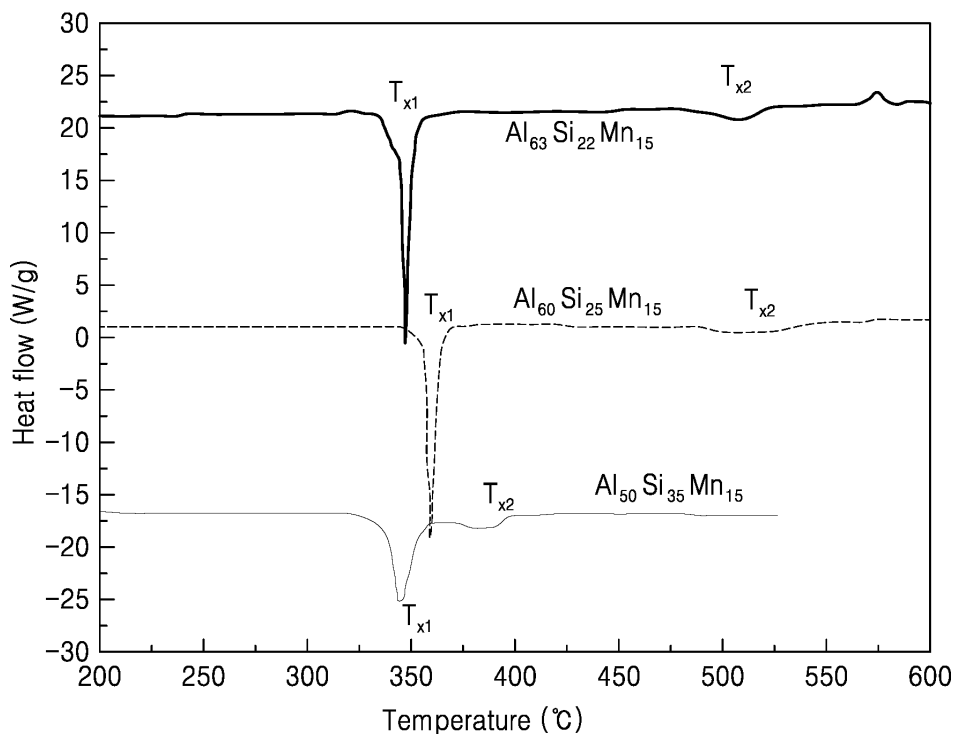
도면1



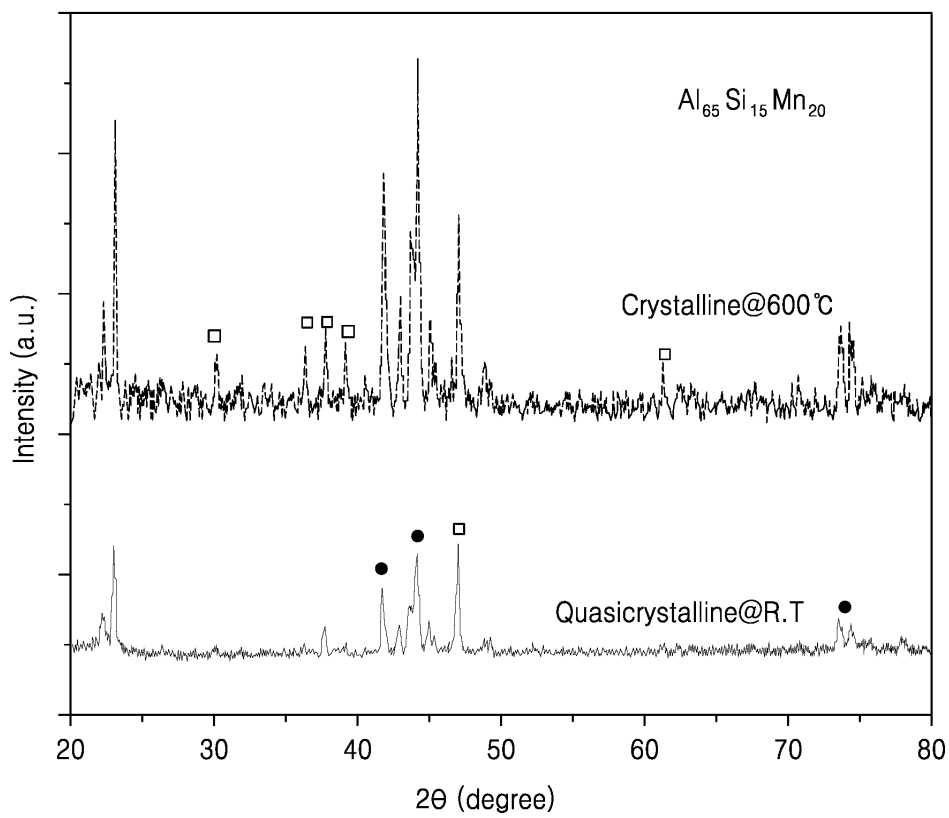
도면2



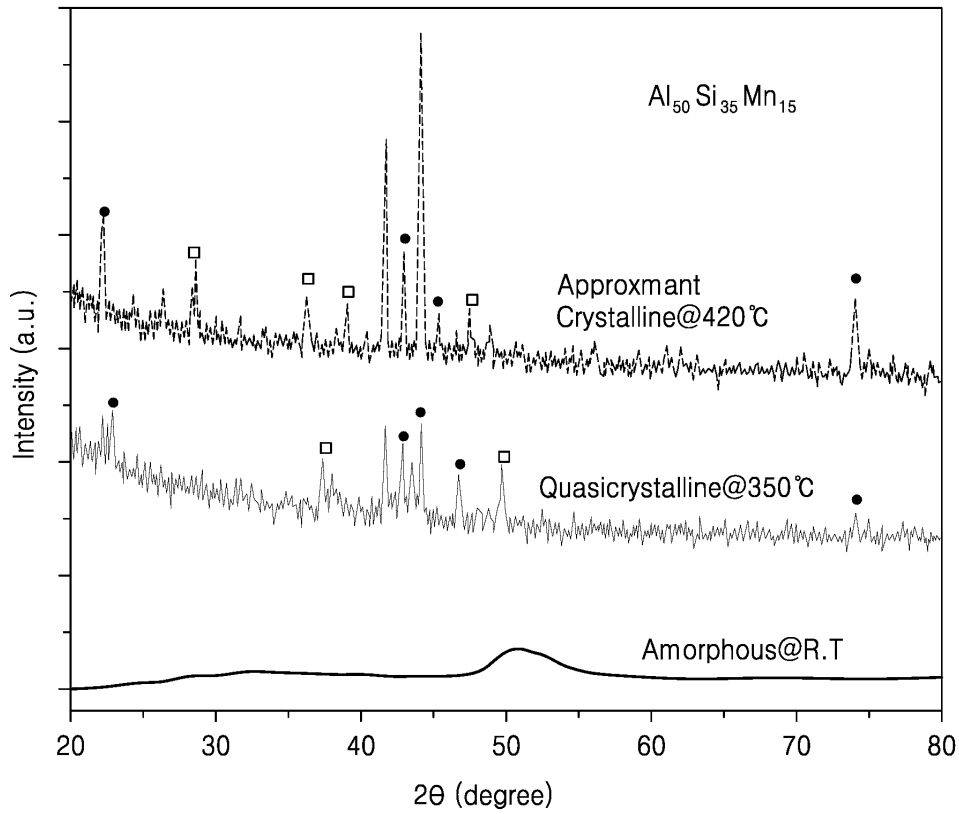
도면3



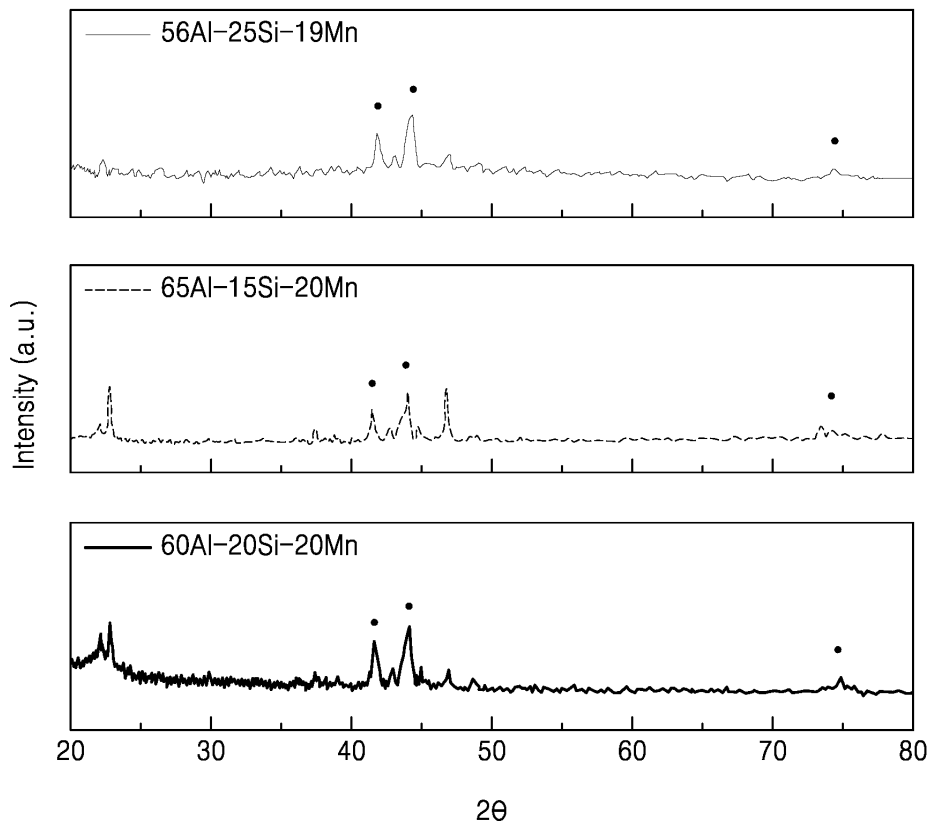
도면4



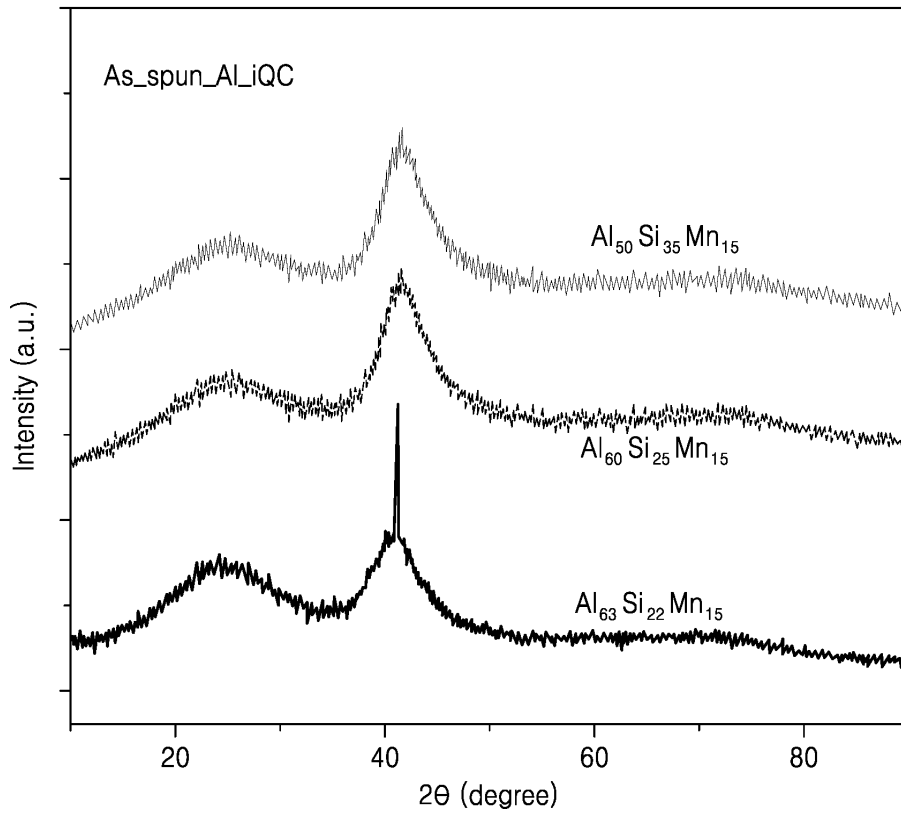
도면5



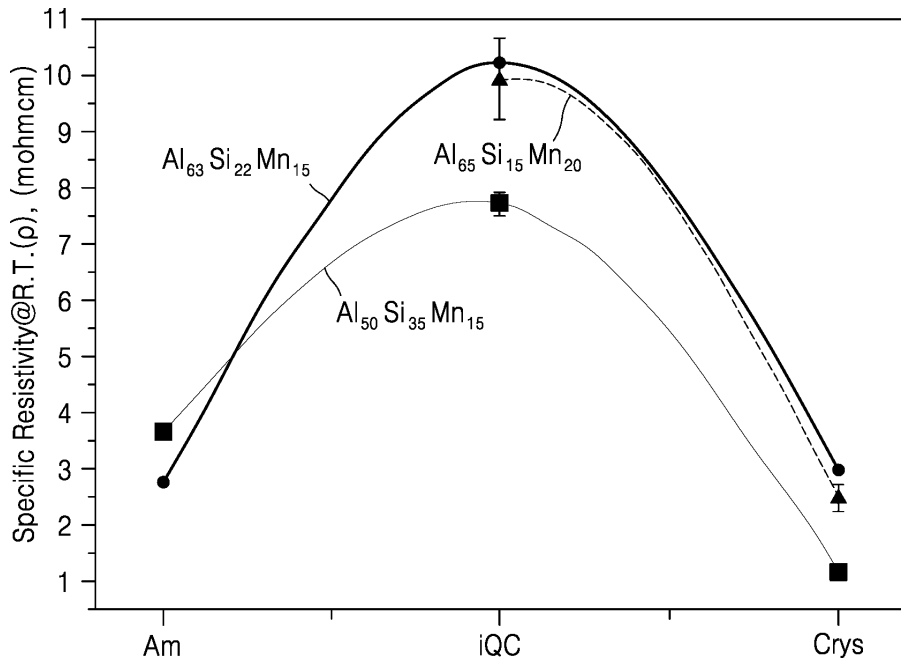
도면6



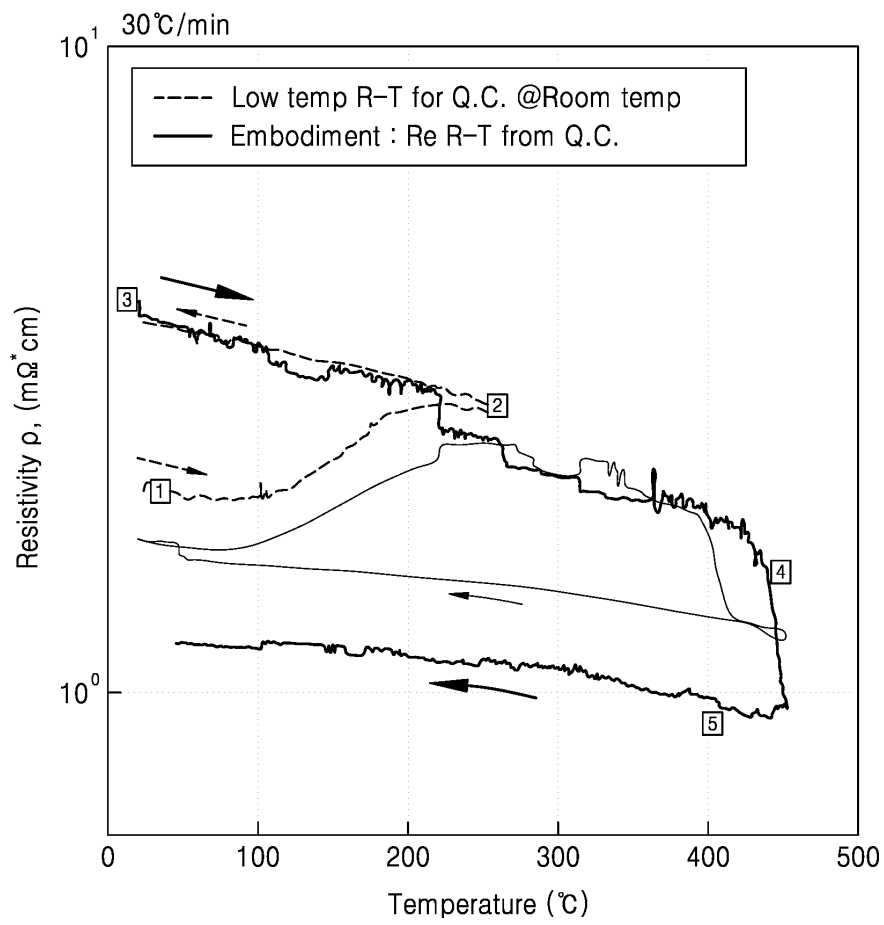
도면7



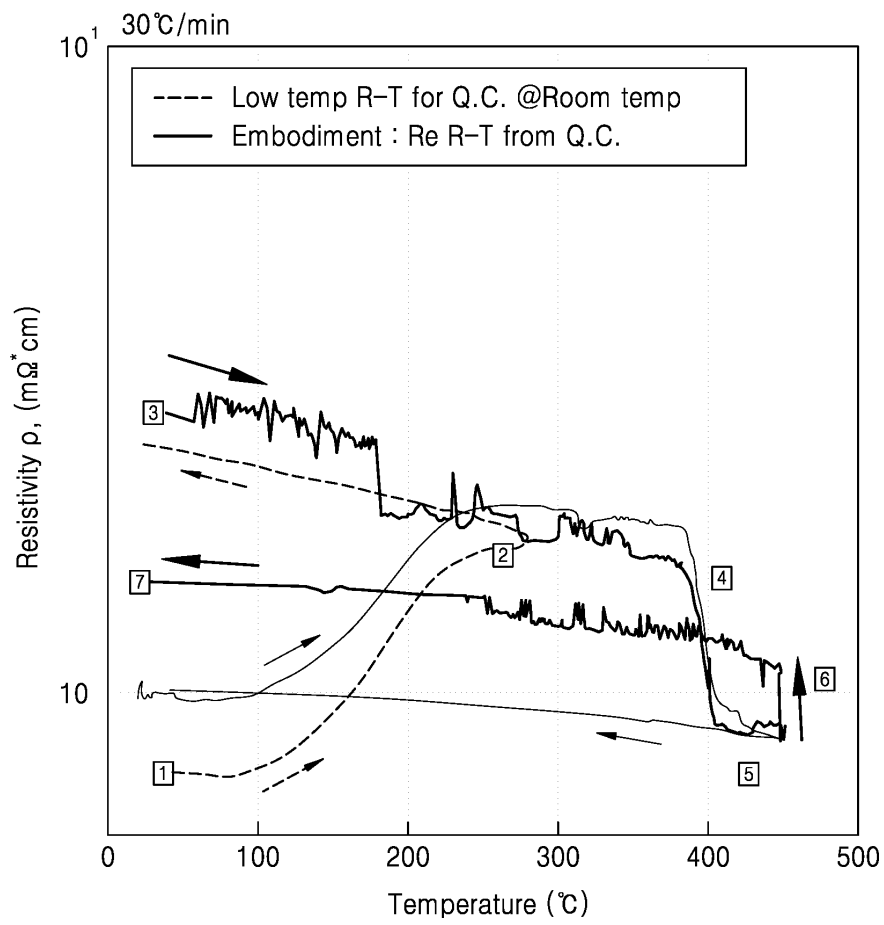
도면8



도면9



도면10



도면11

