



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년06월24일

(11) 등록번호 10-2269184

(24) 등록일자 2021년06월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 45/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 45/144 (2013.01)

H01L 45/1608 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0178320

(22) 출원일자 2019년12월30일

심사청구일자 2019년12월30일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020080059454 A

KR1020080085597 A

KR1020130079773 A

JP2008226427 A

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

조만호

서울특별시 강남구 선릉로 8, 211동 1101호(개포동, 래미안블레스티지)

김다솔

서울특별시 서대문구 연희로10길 69, 405호 (연희동)

(74) 대리인

특허법인다나

전체 청구항 수 : 총 10 항

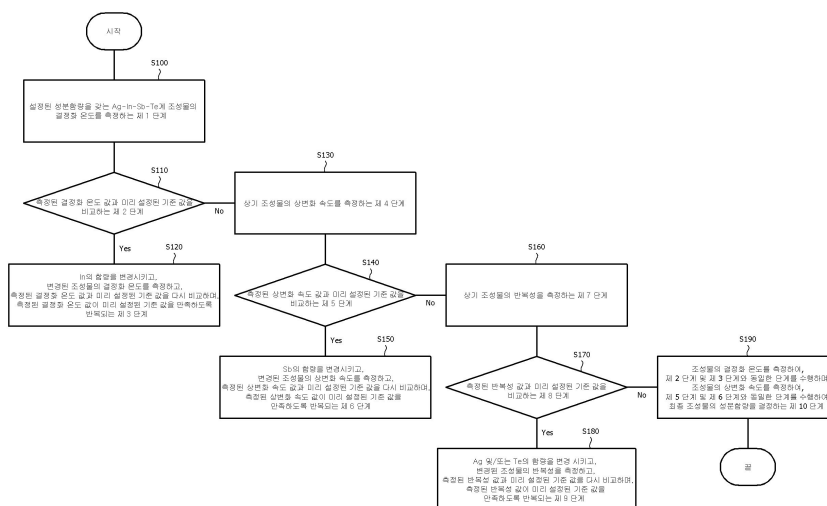
심사관 : 임창연

(54) 발명의 명칭 Ag-In-Sb-Te계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법

(57) 요약

본 출원은 Ag-In-Sb-Te계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 각 성분의 역할을 규명하여, 상변화 조성물의 특성을 측정한 후 이를 기반으로 목적하는 Ag-In-Sb-Te계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법에 관한 것이다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법으로서,

설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 측정하는 제 1 단계;

측정된 결정화 온도 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하는 제 2 단계;

측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, In의 함량을 변경시키고, In의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 측정하고, 측정된 결정화 온도 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교하며, 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 반복되는 제 3 단계;

측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 상기 조성물의 상변화 속도를 측정하는 제 4 단계;

측정된 상변화 속도 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하는 제 5 단계;

측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, Sb의 함량을 변경시키고, Sb의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 상변화 속도를 측정하고, 측정된 상변화 속도 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교하며, 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 반복되는 제 6 단계;

측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 상기 조성물의 반복성을 측정하는 제 7 단계;

측정된 반복성 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하는 제 8 단계;

측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, Ag 및/또는 Te의 함량을 변경시키고, Ag 및/또는 Te의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 반복성을 측정하고, 측정된 반복성 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교하며, 측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 반복되는 제 9 단계;

측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 조성물의 결정화 온도를 측정하여, 제 2 단계 및 제 3 단계와 동일한 단계를 수행하며, 조성물의 상변화 속도를 측정하여, 제 5 단계 및 제 6 단계와 동일한 단계를 수행하여, 최종 조성물의 성분함량을 결정하는 제 10 단계를 포함하는 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

측정된 결정화 온도 값, 측정된 상변화 속도 값 및 측정된 반복성 값 중 적어도 하나는 외부 저장 장치에 저장되는 방법.

청구항 3

다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법으로서,

상기 조성물의 결정화 온도, 상변화 속도 및 반복성의 적정성을 미리 설정된 일련의 시간적 순서에 의하여 판단하고,

상기 조성물의 결정화 온도에 대한 적정성의 판단은:

상기 조성물의 결정화 온도를 측정하는 단계;

미리 설정된 기준 값과 측정 값을 비교하는 단계; 및

상기 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하는 단계를 포함하고,

상기 조성물의 상변화 속도에 대한 적정성의 판단은:

상기 조성물의 상변화 속도를 측정하는 단계;

미리 설정된 기준 값과 측정 값을 비교하는 단계; 및

상기 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하는 단계를 포함하며,

상기 조성물의 반복성의 적정성에 대한 판단은:

상기 조성물의 반복성을 측정하는 단계;

미리 설정된 기준 값과 측정 값을 비교하는 단계; 및

상기 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하는 단계를 포함하고,

결정화 온도, 상변화 속도 및 반복성 모두 적정한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 최종 성분함량으로 결정하는 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제 3 항에 있어서,

측정된 결정화 온도 값은 외부 저장 장치에 저장되는 방법.

청구항 7

삭제

청구항 8

제 3 항에 있어서,

측정된 상변화 속도 값은 외부 저장 장치에 저장되는 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

제 3 항에 있어서,

측정된 반복성 값은 외부 저장 장치에 저장되는 방법.

청구항 11

제 3 항에 있어서,

다원계 상변화 조성물은 Ag-In-Sb-Te계 조성물인 방법.

청구항 12

다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 시스템으로서,

상기 조성물의 결정화 온도를 측정하는 결정화 온도 측정 장치;

상기 조성물의 상변화 속도를 측정하는 상변화 속도 측정 장치;

상기 조성물의 반복성을 측정하는 반복성 측정 장치; 및

상기 결정화 온도 측정 장치, 상변화 속도 측정 장치 및 반복성 측정 장치로부터 각각 측정된 값을 수신 받고, 미리 설정된 기준 값과 비교하여, 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하며, 기준 값을 만족하는 경우 최종 조성물의 성분함량을 결정하는 중앙처리장치를 포함하는 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 중앙처리장치는 각각 측정된 값을 저장하는 저장 장치를 포함하는 시스템.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

각각의 장치는 통신모듈에 의하여 측정된 값에 대한 정보를 전송하는 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 Ag-In-Sb-Te계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 각 성분의 역할을 규명하여, 상변화 조성물의 특성을 측정한 후 이를 기반으로 목적하는 Ag-In-Sb-Te계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] Se, S, Te 원자 같은 6족 물질을 포함하는 칼코지나이드 물질은 상변화 메모리 소자(Phase Change Random Access Memory: PCRAM)에의 응용을 위해 널리 연구되고 있다. 이러한 6족 물질들은 비정질상과 높은 저항과 낮은 반사율을, 결정상에서 낮은 저항과 높은 반사율을 가지며, 이러한 물성적인 차이를 이용하여 0과 1의 메모리 비트를 구현하는 방식으로 응용된다. 특히 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST225) 물질이 안정적이고 빠른 상변화 동작 특성을 보여 이러한 물리적인 메커니즘에 대한 연구가 다각도로 진행되었다.

[0003] 상변화 물질은 Te 또는 Sb 기반의 상변화 물질로 분류된다. 현재 전기적 메모리로 상용화된 상변화 물질은 Te 조성이 50%가 넘는 Te 기반의 칼코겐화 상변화 물질이었다. 상변화 과정에서 Te은 국소 구조가 변하지 않는 척추 역할을 하고 있다. 상변화 과정에서 국소 구조의 변화가 있는 Ge, Sb, Ti, Sc 등의 원소들을 통해 상변화 물질의 상변화 특성을 조절한다. Te 기반의 상변화 물질에 비해서, Sb 기반의 상변화 물질은 결정화를 위해 원자들이 움직여야 하는 거리가 작기 때문에 결정화 속도가 빠르고 상변화 에너지가 적게 필요하다. 대표적인 Sb 기반의 상변화 물질인 $\text{Ag}_4\text{In}_4\text{Sb}_{75}\text{Te}_{18}$ 는 우수한 상변화 특성을 가지고 있지만, 원소 별 역할이 밝혀져 있지 않기 때

문에 원하는 상변화 특성을 갖는 신물질 개발이 잘 이루어지지 않았다.

[0004] 이러한 상변화 특성을 갖는 신물질 개발을 용이하도록 각 원소별 역할을 연구하고, 이를 적절히 응용하여, 원하는 신물질을 개발하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 출원의 일 실시예에 따르면, 조성 조절을 통한 상변화 물질의 특성 디자인에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 Ag-In-Sb-Te system에서 구조적 유연성을 확보하는 Ag, 구조적 안정성을 확보하는 In, 구조 변화 속도를 확보하는 Sb, 구조적 유연성 및 재연성을 확보하는 Te의 조성을 조절해, 원하는 상변화 특성을 디자인하는 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 출원의 일 측면은 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법으로서, 설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 측정하는 제 1 단계; 측정된 결정화 온도 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하는 제 2 단계; 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, In의 함량을 변경시키고, In의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 측정하고, 측정된 결정화 온도 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교하며, 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 반복되는 제 3 단계; 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 상기 조성물의 상변화 속도를 측정하는 제 4 단계; 측정된 상변화 속도 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하는 제 5 단계; 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, Sb의 함량을 변경시키고, Sb의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 상변화 속도를 측정하고, 측정된 상변화 속도 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교하며, 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 반복되는 제 6 단계; 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 상기 조성물의 반복성을 측정하는 제 7 단계; 측정된 반복성 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하는 제 8 단계; 측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, Ag 및/또는 Te의 함량을 변경시키고, Ag 및/또는 Te의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 반복성을 측정하고, 측정된 반복성 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교하며, 측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 반복되는 제 9 단계; 측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 조성물의 결정화 온도를 측정하여, 제 2 단계 및 제 3 단계를 수행하며, 조성물의 상변화 속도를 측정하여, 제 5 단계 및 제 6 단계를 수행하여, 최종 조성물의 성분함량을 결정하는 제 10 단계를 포함한다.

[0007] 본 출원의 다른 측면은 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법으로서, 상기 조성물의 결정화 온도, 상변화 속도 및 반복성의 적정성을 판단하고, 적정하지 못한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 조절하고, 적정한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 최종 성분함량으로 결정하는 방법이다.

[0008] 본 출원의 또 다른 측면은 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 시스템으로서, 상기 조성물의 결정화 온도를 측정하는 결정화 온도 측정 장치; 상기 조성물의 상변화 속도를 측정하는 상변화 속도 측정 장치; 상기 조성물의 반복성을 측정하는 반복성 측정 장치; 및 상기 결정화 온도 측정 장치, 상변화 속도 측정 장치 및 반복성 측정 장치로부터 각각 측정된 값을 수신 받고, 미리 설정된 기준 값과 비교하여, 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하며, 기준 값을 만족하는 경우 최종 조성물의 성분함량을 결정하는 중앙처리장치를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 본 출원의 일 실시예에 따르면, Sb 기반의 상변화 물질에서 결정화 온도, 상변화 속도, 반복성 등 주요한 상변화 특성을 개선하는 신물질을 디자인하는 방법을 제공할 수 있다.

[0010] 본 출원의 일 실시예에 따르면, 3D Xpoint 메모리/스토리지 모듈의 제작 조건은 유지한 채, 상변화 물질의 조성만을 바꿔서 모듈의 신뢰 구간을 설정할 수 있다. 이를 통하여, 제작 단가 인하 및 수율 향상에 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본 출원의 일 실시예인 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정구조의 모식도이다.
- 도 2는 본 출원의 일 실시예인 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법을 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- 도 3은 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법을 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- 도 4는 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법 중 결정화 온도에 대한 지표를 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- 도 5는 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법 중 상변화 속도에 대한 지표를 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- 도 6은 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법 중 반복성에 대한 지표를 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- 도 7은 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 시스템의 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 구성요소 등이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 구성요소 등이 존재하지 않거나 부가될 수 없음을 의미하는 것은 아니다.
- [0013] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0014] 본 출원에서 "제 1" 및 "제 2" 등의 용어는 반드시 순서를 지칭하기 위하여 사용되는 것은 아니며, 각각의 조성물 또는 단계 등을 구분하기 위한 목적으로 사용되는 것이다.
- [0015] 3D Xpoint 기술은 동작 속도가 빠르고 비휘발성인 상변화 물질에 기초한다. 이 기술의 단기 목표는 DRAM과 NAND Flash 사이의 속도 병목을 해소하는 새로운 형태의 메모리/스토리지 모듈로 활용되는 것이고, 장기 목표는 DRAM과 NAND Flash 모듈을 대체하는 스토리지 클래스 메모리로 활용되는 것이다. 상변화 물질의 특성에 따라서, 3D Xpoint 메모리/스토리지 모듈의 신뢰 범위를 조정할 수 있다. 예를 들어, 기존에 상용화된 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 조성의 물질에 Carbon 원소를 도핑해서 자동차 업계에서 요구하는 높은 열적 안정성을 확보할 수 있다. 이를 통해 가혹한 조건에서 정상 동작하는 상변화 물질을 디자인할 수 있다. 읽기/쓰기가 반복적으로 필요한 클라우드 또는 서버 업계에서는 반복성이 우수한 상변화 물질에 대한 수요가 높고, DRAM에서 처리하던 연산을 on-memory 연산하려는 업계에서는 상변화 속도가 빠른 상변화 물질에 대한 수요가 높다. 또한, 자동차, 발전소 등의 고온에서 정상 작동하는 스토리지 모듈이 필요한 업계에서는 결정화 온도가 높은 상변화 물질에 대한 수요가 높다.
- [0016] 원하는 상변화 물질의 디자인을 위해서는 상변화 과정에서 각 원소의 역할이 무엇인지 이해하는 것이 필요하다. 예를 들어, $\text{Ag}_4\text{In}_4\text{Sb}_{75}\text{Te}_{18}$ (AIST)로 대표되는 Sb 기반의 상변화 물질들에서는 Sb의 역할(Sb의 역할은 높은 상변화 속도 확보) 외에는 밝혀져 있지 않다. Sb 기반의 상변화 물질은 Te 기반의 상변화 물질들에 비해서, 결정화 과정에서 원자들의 이동거리가 적기 때문에 저에너지로 동작하는 상변화 물질 수요에 잘 부합하고 이를 통해 3D Xpoint의 높은 집적도를 구현할 수 있다.
- [0017] 이에 본 출원인은 X-ray photoelectron spectroscopy, infrared spectroscopic ellipsometry, density functional theory를 통해 비결정과 결정 상태의 상변화 물질의 국소 구조를 분석하고(도 1 참조), 각 원소의 역할을 규명한다. $\text{Ag}_4\text{In}_4\text{Sb}_{75}\text{Te}_{18}$ 의 상변화 과정에서 Ag는 구조적 유연성을 확보하고 In은 구조적 안정성을 확보하며, Te은 구조적 유연성 및 재연성을 확보하는 역할을 한다. 이를 기반으로 원하는 상변화 특성 디자인을 위해 Ag-In-Sb-Te 조성비를 어떻게 제어하고, 더 나아가서 새로운 이중 원소 도핑을 하는 방법을 제공하고자 한다.

- [0018] 도 1은 본 출원의 일 실시예인 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정구조의 모식도이다.
- [0019] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 출원의 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법을 상세히 설명한다. 다만, 첨부된 도면은 예시적인 것으로, 본 출원의 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법의 범위가 첨부된 도면에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0020] 상기 방법은 1) 결정화 온도, 2) 상변화 속도 및 3) 반복성을 측정하여, 이들을 평가 지표로 삼고, 각각 미리 정해진 기준 값과 비교하고, 이를 모두 만족하는 경우에 최적화된 조성물을 결정할 수 있다.
- [0021] 이하, 본 출원의 일측면인 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법을 각 단계별로 설명한다. 도 2는 본 출원의 일 실시예인 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분함량을 결정하는 방법을 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- [0023] **결정화 온도 평가**
- [0024] 설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 측정한다(S100).
- [0025] 최초로 설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 측정한다.
- [0026] 본 출원에서 용어 "결정화 온도"는 비결정 상태의 상변화 물질을 높은 온도로 (보통 약 150 ℃) 가열하면, 불규칙한 원자 배열이 규칙적으로 재배열하는데, 이 때의 온도를 결정화 온도로 정의한다. 상변화 물질은 원자의 배열에 따라 전기적 저항 및 광학적 반사율이 급변한다. 이에 실용적으로 결정화 온도를 측정하기 어려운 원자의 배열 보다는 전기적 저항이 급변하는 온도로 정의하는 경우가 많다.
- [0027] 결정화 온도를 평가 지표로 정한 이유는 결정화 온도가 높은 물질을 사용한 메모리는 고온에서도 신뢰성있게 동작하므로, 결정화 온도는 신뢰성을 평가하는 지표로 사용될 수 있다.
- [0028] 결정화 온도를 측정하는 하나의 예시로서, 온도를 올리면서 샘플의 온도와 저항을 측정한다. 온도를 올리는 방식은 샘플 아래에 hot chuck을 통해 전류를 인가하는 방식이다. 온도를 측정하는 방식은 Thermocouple을 측정하고자 하는 샘플의 쌍둥이 샘플위에 Thermocouple을 올려 놓고 측정한다. 저항을 측정하는 방식은 'Constant Current'를 (보통 20mA) 인가해서, 전압을 측정한다 (저항=전압/전류) (Keithley 2400 사용함.). 그리고, 승온 속도를 달리하며 실험을 반복한다(0.5 내지 40 ℃/분). 또한, 승온 속도에 따라서 결정화 온도가 다르게 측정된다. 승온 속도가 느릴 수록 결정화 온도가 낮는데, 에너지를 더 오랜 시간 받았기 때문이다. 저항은 온도로 미분해서, (dR/dT)이 최솟값이 되는 지점을 결정화 온도로 정의한다. 저항이 급감하는 온도가 '저항이 높은 비결정'이 '저항이 낮은 결정'으로 변하는 온도로 추정하기 때문이다. 이러한 일련의 단계를 통하여, 조성물의 결정화 온도를 측정할 수 있다.
- [0029] 그리고, 측정된 결정화 온도 값과 미리 설정된 기준 값을 비교한다(S110).
- [0030] 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, In의 함량을 변경시킨다.
- [0031] 예를 들어, 기준 조성은 $Ag_4-In_4-Sb_{75}-Te_{18}$ 이고, 결정화 온도는 150 ℃이다. In은 구조적 안정성을 확보하는 역할을 한다. 여기서, 결정화 온도를 높여야 하는 경우, In의 함량을 증가시키고, 결정화 온도를 낮춰야 하는 경우, In의 함량을 감소시킨다.
- [0032] 일 예시로서, 결정화 온도가 200 ℃인 물질을 디자인하기 위해서는 In의 양을 12% 등으로 늘려야 한다. 반대로, 결정화 온도가 150 ℃ 보다 낮은 물질을 디자인하기 위해서는 In의 양을 줄여야 한다. 다만, 결정화 온도를 낮출 수 있는 하한선이 존재하는 경우도 있다. In이 0%인 $Sb_{70}-Te_{30}$ 화합물의 결정화 온도는 130 ℃이다.
- [0033] 다만, 후술하는 바와 같이 상변화 온도는 높을수록 좋기에 상변화 온도를 낮추는 물질을 설계할 필요는 없다. 상변화 속도를 높이고, 반복성을 더 확보하기 위해서, 어쩔 수 없이 상변화 온도를 희생하는 경우는 있다.
- [0034] 그리고, In의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 다시 측정하고, 측정된 결정화 온도 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교한다. 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, In의 함량을 다시 변경시킨다. 즉, 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 이러한 공정이 반복된다(S120).
- [0036] **상변화 속도 측정**
- [0037] 반면에, 측정된 결정화 온도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 상기 조성물의 상변화 속도를 측정한다(S130).

- [0038] 최초로 설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물이 결정화 온도를 만족한 경우에는 최초로 설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 상변화 속도를 측정한다. 그러나, 결정화 온도를 만족하지 못하여서 최초로 설정된 성분함량이 변경된 경우 변경된 성분함량의 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 상변화 속도를 측정한다.
- [0039] 본 출원에서 용어 "상변화 속도"는 전기적 펄스의 지속 시간으로 정의한다. 상변화 물질의 상변화 과정은 전류에 의한 열을 제어해서 이루어진다
- [0040] 상변화 속도를 평가 지표로 정한 이유는 메모리 소자의 동작 속도는 상변화 속도로 결정되기 때문이다. 상변화 속도 중에서도 특히 결정화 속도로 결정되는데 이는 결정화 속도가 비결정화 속도보다 반드시 느리기 때문이다. 현재 1ns 수준의 상변화 속도는 1GHz clock의 속도로 정보를 처리할 수 있음을 의미한다.
- [0041] 상변화 속도를 측정하는 하나의 예시로서, 상기 조성물의 위아래로 metal 전극을 컨택시키며, 이때, 국소적으로 상변화 물질이 스위칭해도 전기 저항 차이가 크게 나므로, 아래 전극(BEC)를 300nm 이하로 작게 만든다. electrical pulse를 넣을 tip을 ground, 해당 TEC 위에 컨택한다. 그리고, Electrical pulse를 인가한다. electrical pulse duration을 상변화 속도로 정의한다.
- [0042] 그리고, 측정된 상변화 속도 값과 미리 설정된 기준 값을 비교한다(S140).
- [0043] 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, Sb의 함량을 변경시킨다.
- [0044] 예를 들어, 기준 조성은 $Ag_4-In_4-Sb_{75}-Te_{18}$ 이고 상변화 속도는 0.95ns이다. Sb는 구조 변화 속도를 확보하는 역할을 한다. 이때, 상변화 속도를 증가시켜야 한다면, Sb의 함량을 증가시키고, 상변화 속도를 낮춰야 한다면 Sb의 함량을 감소시켜야 한다.
- [0045] 예를 들어, 기준이 되는 상변화 속도가 0.95일때, 상변화 속도가 0.5인 경우와 3인 경우 Sb의 함량은 하기와 같이 변경될 수 있다. 상변화 속도가 0.5ns인 물질을 디자인하기 위해서는 In의 양을 90% 등으로 늘려야 한다. 상변화 속도가 3ns 인 물질을 디자인하기 위해서는 Sb의 양을 60% 등으로 줄여야 한다. 다만, 상변화 속도는 빠를수록 좋기에 상변화 속도를 늦추는 물질을 개발할 필요는 없다. 다만, 불가피하게 상변화 온도를 높이고, 반복성을 더 확보하기 위해서, 어쩔 수 없이 상변화 속도를 희생하는 경우는 있다.
- [0046] 그리고, Sb의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 결정화 온도를 다시 측정하고, 측정된 상변화 속도 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교한다. 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, Sb의 함량을 다시 변경시킨다. 즉, 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 이러한 공정이 반복된다(S150).
- [0048] **반복성 측정**
- [0049] 반면에, 측정된 상변화 속도 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 상기 조성물의 반복성을 측정한다(S160).
- [0050] 최초로 설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물이 결정화 온도 및 상변화 속도를 모두 만족한 경우에는 최초로 설정된 성분함량을 갖는 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 반복성을 측정한다. 그러나, 결정화 온도 및/또는 상변화 속도를 만족하지 못하여서, 최초로 설정된 성분함량이 변경된 경우 변경된 성분함량의 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 반복성을 측정한다.
- [0051] 본 출원에서 용어 "반복성"은 상변화 물질의 반복되는 상변화는 phase-separation을 유발하고 이는 기존과 다른 상변화 특성으로 이어진다. 기존 상변화 특성을 유지할 수 있는 phase-separation이 일어나기 직전까지의 반복 가능 회수를 반복성으로 정의한다.
- [0052] 반복성을 평가 지표로 정한 이유는 전기적 저항 스위칭을 몇번 반복할 수 있는가를 측정하는데, 정보를 저장하는 비휘발성 메모리로 읽기/쓰기를 몇번 반복할 수 있는가에 따라서 메모리의 신뢰성이 결정되기 때문이다. 예를 들어, NAND Flash 소자는 3×10^5 번 반복할 수 있다.
- [0053] 반복성을 측정하는 하나의 예시로서, 상변화 속도를 측정하는 방법을 포함하고, 구체적인 반복성은 고저항/저저항 상태의 반복을 의미한다.
- [0054] 측정된 반복성 값과 미리 설정된 기준 값을 비교한다(S170).
- [0055] 측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하지 못하는 경우, Ag 및/또는 Te의 함량을 변경시킨다.

- [0056] Ag는 구조적 유연성을 확보하는 역할을 한다. 구체적으로 Ag는 In의 local structure를 structural deformation 없이 작동할 수 있게끔 두번째로 안정한 구조의 에너지를 안정화하는 역할을 한다.
- [0057] Te는 구조적 유연성 및 재연성을 확보하는 역할을 한다. 구체적으로, Te는 상변화 과정에서 Ag, In, Sb 원소들과 결합을 형성/제거하면서 각각의 원소별 역할을 structural deformation 없이 작동할 수 있도록 한다.
- [0058] 예를 들어, 기준 조성은 $Ag_4-In_4-Sb_{75}-Te_{18}$ 이고 반복성은 10^5 일 수 있다. 이때, 반복성을 증가시켜야 하는 경우, Ag 또는 Te의 함량을 증가시키고, 반복성을 감소시켜야 하는 경우 Ag 또는 Te의 함량을 감소시킨다.
- [0059] 예를 들어, 반복성이 10^6 인 물질을 디자인하기 위해서는 Ag, Te의 양을 4%, 18% 이상으로 증가시켜야 한다. 반복성이 10^4 인 물질을 디자인하기 위해서는 Ag, Te의 양을 4%, 18% 이하로 감소시켜야 한다.
- [0060] 다만, 반복성은 높을수록 좋기에 반복성을 낮추는 물질을 개발할 필요는 없다. 불가피하게 상변화 온도 및 속도를 높이기 위해서, 어쩔 수 없이 반복성을 희생하는 경우는 있다.
- [0061] Ag 및/또는 Te의 함량이 변경된 Ag-In-Sb-Te계 조성물의 반복성을 측정하고, 측정된 반복성 값과 미리 설정된 기준 값을 다시 비교하며, 측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하도록 반복되도록 이러한 공정이 반복된다(S180).
- [0062] 측정된 반복성 값이 미리 설정된 기준 값을 만족하는 경우, 변경된 조성물에 대해 결정화 온도 및 상변화 속도를 다시 한 번 확인하여야 한다. 따라서, 조성물의 결정화 온도를 측정하여, 전술한 비교 및 변경 단계를 수행하며, 조성물의 상변화 속도를 측정하여, 전술한 비교 및 변경 단계를 수행하여, 최종 조성물의 성분함량을 결정한다(S190).
- [0063] 일 예시에서, 측정된 결정화 온도 값, 측정된 상변화 속도 값 및 측정된 반복성 값 중 적어도 하나는 외부 저장장치에 저장될 수 있다. 저장된 데이터는 추후 다시 사용될 수 있다.
- [0064] 이러한 일련의 단계를 통하여, 사용자의 의도에 따라 최적의 성분함량을 만족하는 상변화 물질, 예를 들어, Ag-In-Sb-Te계 조성물의 성분 함량을 결정할 수 있다.
- [0066] 본 출원의 다른 측면은 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법이다. 여기서, 다원계 상변화 조성물의 예시는 Ag-In-Sb-Te계 조성물일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0067] 도 3은 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법을 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- [0068] 도 3에 도시한 바와 같이 이러한 방법은 상기 조성물의 결정화 온도, 상변화 속도 및 반복성의 적정성을 판단하고(S200), 적정하지 못한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 조절하고(S210), 적정한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 최종 성분함량으로 결정(S220)하는 방법이다. 상기 조성물의 결정화 온도의 적정성을 판단하는 단계; 상기 조성물의 상변화 속도의 적정성을 판단하는 단계; 및 상기 조성물의 반복성의 적정성을 판단하는 단계는 미리 설정된 일련의 시간적 순서에 의하여 수행될 수 있다.
- [0069] 평가 지표로서 상기 조성물의 결정화 온도, 상변화 속도 및 반복성의 적정성을 판단한다. 여기서, 결정화 온도, 상변화 속도 및 반복성의 적정성을 판단하는 순서는 특별히 한정되는 것은 아니지만, 결정화 온도, 상변화 속도 및 반복성의 순서나, 상변화 속도, 결정화 온도 및 반복성의 순서로 판단할 수 있다.
- [0070] 본 출원에서 용어 "적정성"은 측정된 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하여, 기준 값과 측정된 값이 일치하는 경우에는 적정하다고 판단하는 것이고, 기준 값과 측정된 값이 불일치하는 경우에는 부적정하다고 판단하는 것이다.
- [0071] 이하, 본 출원의 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법을 단계별로 상세히 설명한다.
- [0072] 이에 따라, 평가 지표로서 결정화 온도의 측정된 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하여, 기준 값과 측정된 값이 불일치하는 경우, 즉 적정하지 못한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 조절한다.
- [0073] 본 명세서에서 "조절"은 전술한 "변경"과 상호 교환적으로 사용가능하며, 성분함량을 증가시키거나 감소시키는 것을 포함할 수 있다.
- [0074] 반면에, 평가 지표로서 결정화 온도의 측정된 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하여, 기준 값과 측정된 값이 일

치하는 경우, 즉 적정한 경우, 다른 평가 지표의 적정성을 평가한다.

- [0075] 도 4는 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법 중 결정화 온도에 대한 지표를 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- [0076] 도 4에 도시한 바와 같이, 일 예시에서, 상기 조성물의 결정화 온도에 대한 적정성의 판단은: 상기 조성물의 결정화 온도를 측정하는 단계(S300); 미리 설정된 기준 값과 측정 값을 비교하는 단계(S310); 및 상기 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하는 단계(S320)를 포함할 수 있다. 또한, 측정된 결정화 온도 값은 외부 저장 장치에 저장되어, 추후 이를 다시 사용할 수 있다.
- [0077] 평가 지표로서 상변화 속도의 측정된 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하여, 기준 값과 측정된 값이 불일치하는 경우, 즉 적정하지 못한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 조절한다.
- [0078] 반면에, 평가 지표로서 상변화 속도의 측정된 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하여, 기준 값과 측정된 값이 일치하는 경우, 즉 적정한 경우, 다른 평가 지표의 적정성을 평가한다.
- [0079] 도 5는 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법 중 상변화 속도에 대한 지표를 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- [0080] 도 5에 도시한 바와 같이, 상기 조성물의 상변화 속도에 대한 적정성의 판단은 상기 조성물의 상변화 속도를 측정하는 단계(S400); 미리 설정된 기준 값과 측정 값을 비교하는 단계(S410); 및 상기 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하는 단계(S420)를 포함할 수 있다. 또한, 측정된 상변화 속도 값은 외부 저장 장치에 저장되어, 추후 이를 다시 사용할 수 있다.
- [0081] 평가 지표로서 반복성의 측정된 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하여, 기준 값과 측정된 값이 불일치하는 경우, 즉 적정하지 못한 경우, 상기 조성물의 성분함량을 조절한다.
- [0082] 반면에, 평가 지표로서 반복성의 측정된 값과 미리 설정된 기준 값을 비교하여, 기준 값과 측정된 값이 일치하는 경우, 즉 적정한 경우, 다른 평가 지표의 적정성을 평가한다.
- [0083] 도 6은 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 방법 중 반복성에 대한 지표를 설명하기 위한 플로우 차트이다.
- [0084] 도 6에 도시한 바와 같이, 상기 조성물의 반복성의 적정성에 대한 판단은 상기 조성물의 반복성을 측정하는 단계(S500); 미리 설정된 기준 값과 측정 값을 비교하는 단계(S510); 및 상기 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하는 단계(S520)를 포함할 수 있다. 또한, 측정된 반복성 값은 외부 저장 장치에 저장되어, 추후 이를 다시 사용할 수 있다.
- [0085] 만약, 평가 지표 모두의 적정성이 만족되는 경우에는 상기 조성물의 성분함량을 최종 성분함량으로 결정할 수 있다.
- [0086] 이러한 일련의 단계를 통하여, 다원계 상변화 조성물의 최적 성분함량을 제어할 수 있다.
- [0088] 본 출원의 다른 측면은 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 시스템이다.
- [0089] 도 7은 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 시스템의 모식도이다.
- [0090] 도 7에 도시한 바와 같이, 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 시스템(1)은 상기 조성물의 결정화 온도를 측정하는 결정화 온도 측정 장치(10); 상기 조성물의 상변화 속도를 측정하는 상변화 속도 측정 장치(20); 상기 조성물의 반복성을 측정하는 반복성 측정 장치(30); 및 상기 결정화 온도 측정 장치, 상변화 속도 측정 장치 및 반복성 측정 장치로부터 각각 측정된 값을 수신 받고, 미리 설정된 기준 값과 비교하여, 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하며, 기준 값을 만족하는 경우 최종 조성물의 성분함량을 결정하는 중앙처리장치(40)를 포함한다.
- [0091] 이하, 본 출원의 일 실시예인 다원계 상변화 조성물의 성분함량을 결정하는 시스템을 구성요소별로 설명한다.
- [0092] 결정화 온도 측정 장치(10)는 다원계 상변화 조성물의 결정화 온도를 측정하는 기기로서, 본 출원이 속한 기술 분야에서 결정화 온도를 측정할 수 있는 기기이면 어떠한 기기도 적용될 수 있다.
- [0093] 샘플은 10nm 이상 두께의 상변화 물질에서 측정을 진행하는 것이 바람직하다. 두께가 얇으면, 기판, 대기와 proximity effect로 인해서 결정화 온도의 측정 편차가 커진다. 또한, 상변화 물질의 결정화 과정은 Arrhenius

model 로 설명가능한 것이 잘 알려져 있으므로, 승온 속도에 따라서 결정화 온도를 측정하면, 이를 통해 결정화 온도를 잘 측정했는지 다시 확인할 수 있다

- [0094] 결정화 온도를 측정하는 하나의 예시로서, 온도를 올리면서 샘플의 온도와 저항을 측정한다. 온도를 올리는 방식은 샘플 아래에 hot chuck을 통해 전류를 인가하는 방식이다. 온도를 측정하는 방식은 Thermocouple을 측정하고자 하는 샘플의 쌍둥이 샘플위에 Thermocouple을 올려 놓고 측정한다. 저항을 측정하는 방식은 'Constant Current'를 (보통 20mA) 인가해서, 전압을 측정한다 (저항=전압/전류) (Keithley 2400 사용함.). 그리고, 승온 속도를 달리하며 실험을 반복한다(0.5 내지 40 °C/분). 또한, 승온 속도에 따라서 결정화 온도가 다르게 측정된다. 승온 속도가 느릴 수록 결정화 온도가 낮는데, 에너지를 더 오랜 시간 받았기 때문이다. 저항은 온도로 미분해서, (dR/dT)이 최솟값이 되는 지점을 결정화 온도로 정의한다. 저항이 급감하는 온도가 '저항이 높은 비결정'이 '저항이 낮은 결정'으로 변하는 온도로 추정하기 때문이다. 이러한 일련의 단계를 통하여, 조성물의 결정화 온도를 측정할 수 있다.
- [0095] 측정된 결정화 온도에 대한 정보를 중앙처리장치로 전송한다. 또한, 중앙처리장치로부터 재측정 명령을 수신하여, 변경된 성분계를 갖는 조성물의 결정화 온도를 다시 측정할 수 있다. 이 때 재측정된 결정화 온도에 대한 정보는 다시 중앙처리장치로 전송한다.
- [0096] 상변화 속도 측정 장치(20)는 다원계 상변화 조성물의 상변화 속도를 측정하는 기기로서, 본 출원이 속한 기술분야에서 상변화 속도를 측정할 수 있는 기기이면 어떠한 기기도 적용될 수 있다.
- [0097] 다만, 상변화 물질에 연결된 금속은 TiN, W 등으로 선정하는 것이 유리하다. Ag, Au, Pt 등의 금속은 상변화 물질에 diffusion 되거나 oxygen transparent 한 문제가 있고, 상변화 소자 특성이 정확하게 측정되지 않는다.
- [0098] 상변화 속도를 측정하는 하나의 예시로서, 상기 조성물의 위아래로 metal 전극을 콘택시키며, 이때, 국소적으로 상변화 물질이 스위칭해도 전기 저항 차이가 크게 나므로, 아래 전극(BEC)를 300nm 이하로 작게 만든다. electrical pulse를 넣을 tip을 ground, 해당 TEC 위에 콘택한다. 그리고, Electrical pulse를 인가한다. electrical pulse duration을 상변화 속도로 정의한다.
- [0099] 측정된 상변화 속도에 대한 정보를 중앙처리장치로 전송한다. 또한, 중앙처리장치로부터 재측정 명령을 수신하여, 변경된 성분계를 갖는 조성물의 상변화 속도를 다시 측정할 수 있다. 이 때 재측정된 상변화 속도에 대한 정보는 다시 중앙처리장치로 전송한다.
- [0100] 반복성 측정 장치(30)는 다원계 상변화 조성물의 반복성을 측정하는 기기로서, 본 출원이 속한 기술분야에서 반복성을 측정할 수 있는 기기이면 어떠한 기기도 적용될 수 있다
- [0101] 측정된 반복성에 대한 정보를 중앙처리장치로 전송한다. 또한, 중앙처리장치로부터 재측정 명령을 수신하여, 변경된 성분계를 갖는 조성물의 반복성을 다시 측정할 수 있다. 이 때 재측정된 반복성에 대한 정보는 다시 중앙처리장치로 전송한다.
- [0102] 중앙처리장치(40)는 상기 결정화 온도 측정 장치(10), 상변화 속도 측정 장치(20) 및 반복성 측정 장치(30)로부터 각각 측정된 값에 대한 정보를 수신 받고, 미리 설정된 기준 값과 비교한다.
- [0103] 기준 값을 만족하지 못한 경우, 상기 기준 값을 만족하도록 상기 조성물의 성분함량을 조절하며, 기준 값을 만족하지 못한 평가 지표에 대한 재측정 명령어를 결정화 온도 측정 장치(10), 상변화 속도 측정 장치(20) 및 반복성 측정 장치(30) 중 적어도 하나에 다시 전송한다. 반복적으로 이러한 공정을 수행할 수 있다.
- [0104] 모든 평가 지표에서 기준 값을 모두 만족하는 경우 최종 조성물의 성분함량을 결정한다.
- [0105] 중앙처리장치(40)는 적어도 하나의 컴퓨터 또는 서버로 구현될 수 있지만, 이에 한정되지는 않는다. 즉, 중앙처리장치(40)는 물리적인 컴퓨터 또는 서버를 제어하는 소프트웨어 등으로 구현될 수도 있고, 하드웨어와 소프트웨어가 결합된 형태로 구현될 수도 있다.
- [0106] 상기 중앙처리장치는 각각 측정된 값을 저장하는 저장 장치를 포함할 수 있다.
- [0107] 또한, 각각의 장치는 통신모듈에 의하여 측정된 값에 대한 정보를 전송하고 수신할 수 있다. 즉, 중앙처리장치(40)와 결정화 온도 측정 장치(10), 상변화 속도 측정 장치(20) 및 반복성 측정 장치(30)는 통신 모듈(도면 미도시)을 통해 연결될 수 있다.
- [0108] 여기서, 통신 모듈은 다양한 방식의 유선 및 무선 통신을 수행할 수 있다. 예를 들어, 통신 모듈은

CAN(Controller Area Network)을 통한 신호의 송수신을 수행할 수 있다. 또한, 통신 모듈(40)은 유선 케이블 또는 유선랜케이블을 통한 유선 통신, 무선랜, 블루투스(Bluetooth), NFC, 지그비(ZigBee) 등 의 근거리 무선 통신 또는 기타 데이터 통신(ex. LTE 등)을 수행할 수도 있다. 중앙처리장치(40)와 결정화 온도 측정 장치(10), 상변화 속도 측정 장치(20) 및 반복성 측정 장치(30)를 연결하는 통신 모듈의 통신 방식은 상기의 내용에 한정 되지 않으며, 다른 형태로 구현될 수도 있다.

[0109] 예를 들어 요약하면, 본 출원에 따르면 원하는 상변화 특성을 가진 새로운 조성비의 Ag-In-Sb-Te의 조성을 선정 하는 방법은 다음과 같다. 결정화 온도, 결정화 속도, 반복성을 평가 지표로 삼고 Ag : In : Sb : Te = 4 : 4 : 75 : 18 조성을 원형으로 삼아서 농도를 조절하면서 원하는 특성이 모두 만족할 때까지 조성을 찾는다. 결정화 온도 150 ℃, 결정화 속도 0.95ns, 반복성 105으로 광디스크로 활용된 바가 있는 위 조성은 개인용 컴퓨터에서 사용하기 용이한 조성이다. 또한, 차/발전소 등에서 요구되는 결정화 온도가 높은 상변화 물질의 개발을 위해서는 In 조성의 추가가 필요하다. 하지만, In 원소의 증가는 상변화 물질의 결정화 온도를 올리지만 결정화 속도는 느려지게끔 하고, 이는 상용화의 큰 걸림돌이다. 따라서, 적당량의 In 조성 증가가 필요하고, 위 알고리즘으로 재료 개발을 효율적으로 할 수 있다.

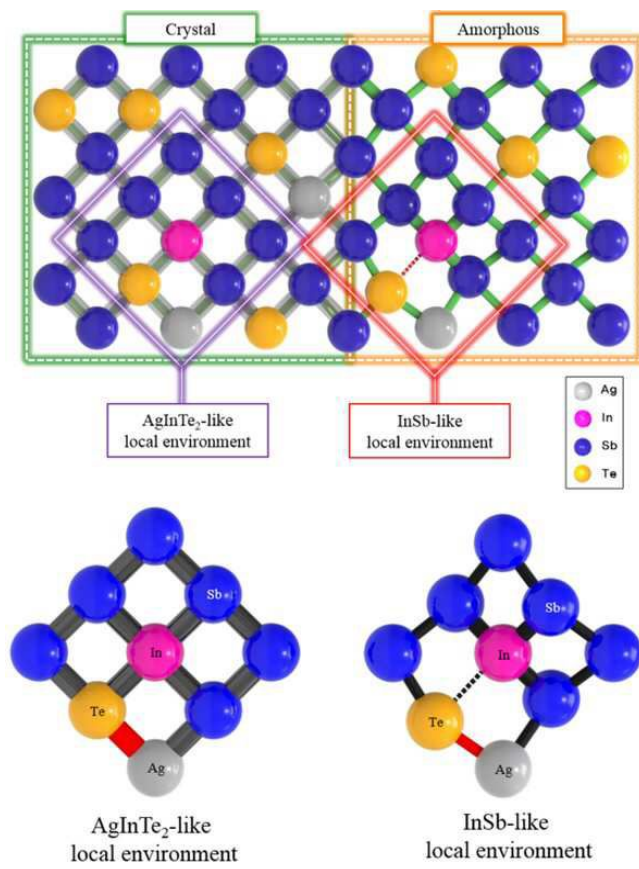
[0110] 상기에서는 본 출원의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 출원을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

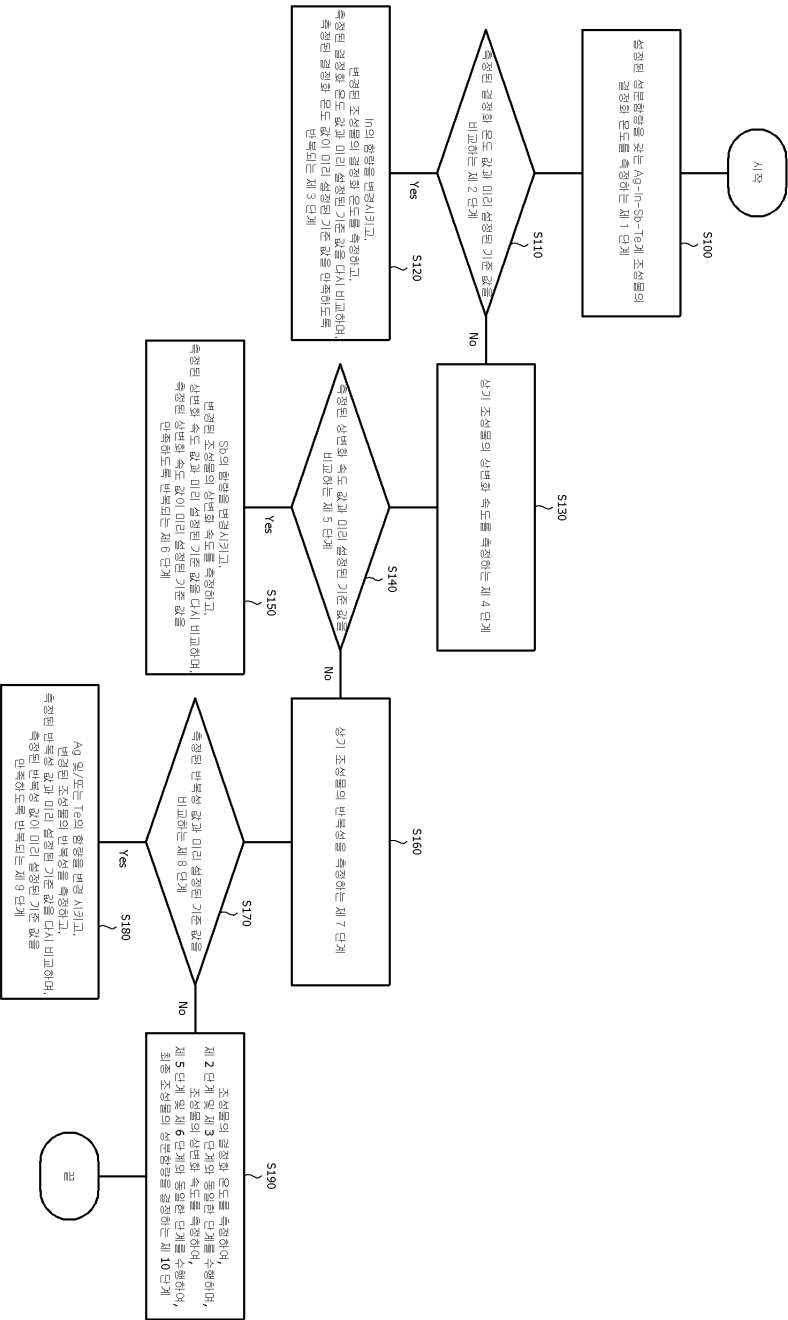
- [0111]
- 1: 시스템
 - 10: 결정화 온도 측정 장치
 - 20: 상변화 속도 측정 장치
 - 30: 반복성 측정 장치
 - 40: 중앙처리 장치

도면

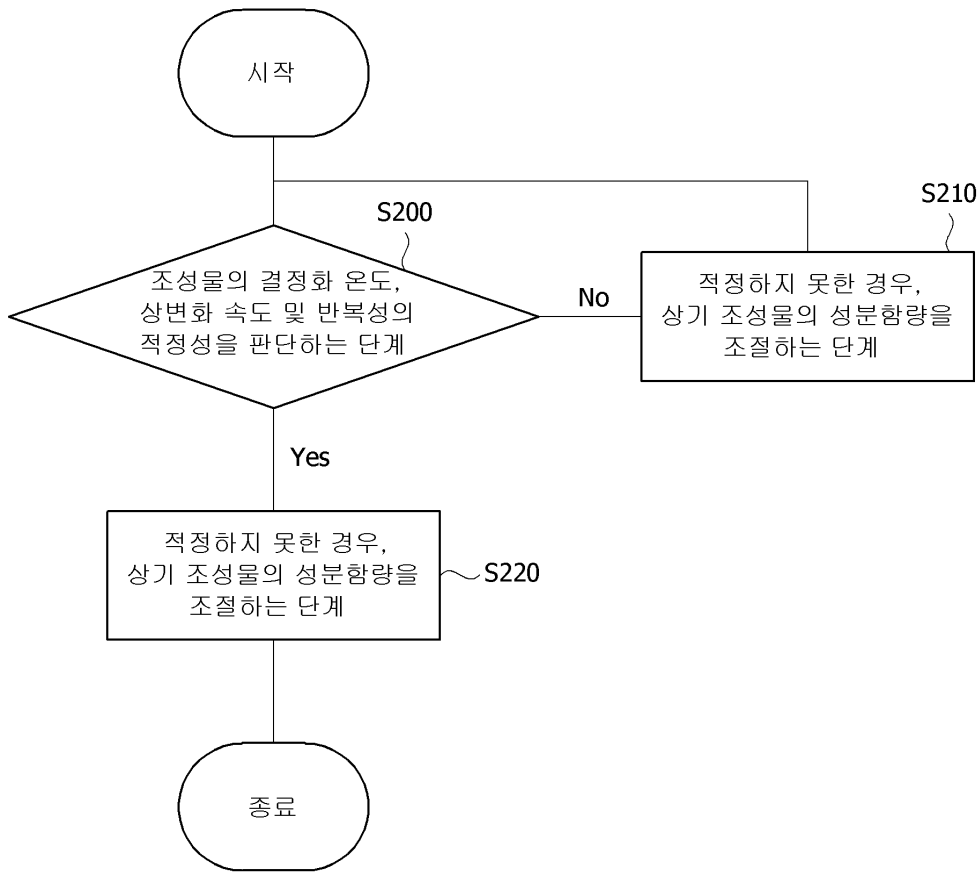
도면1



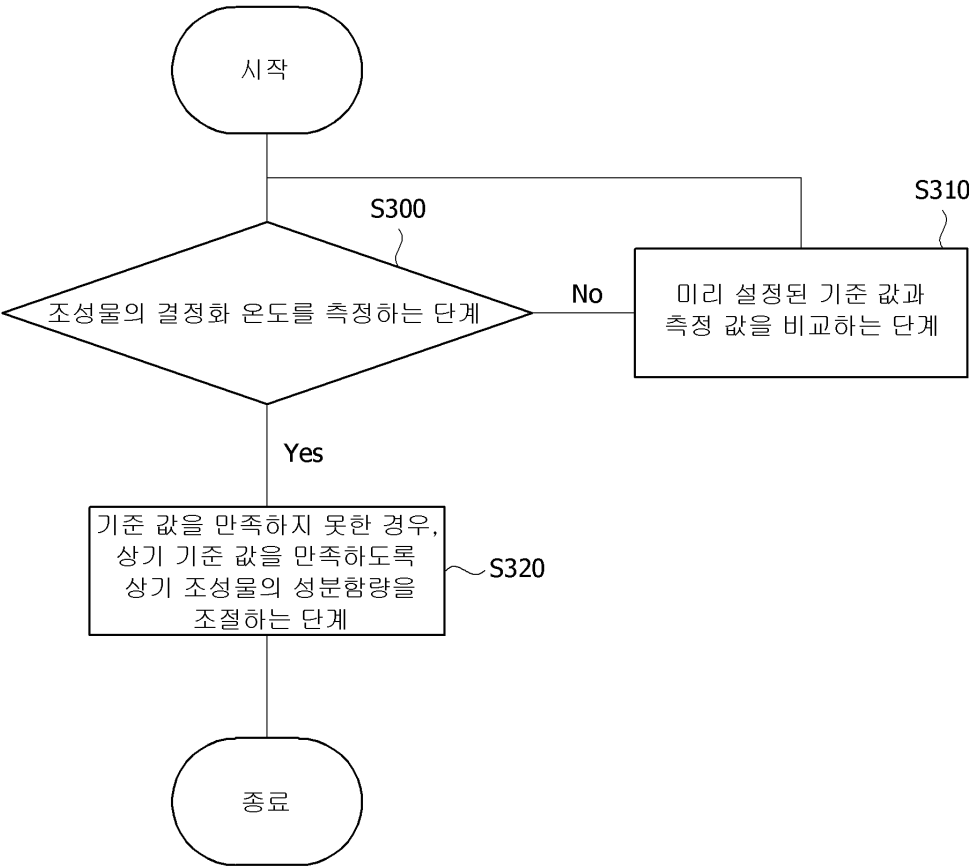
도면2



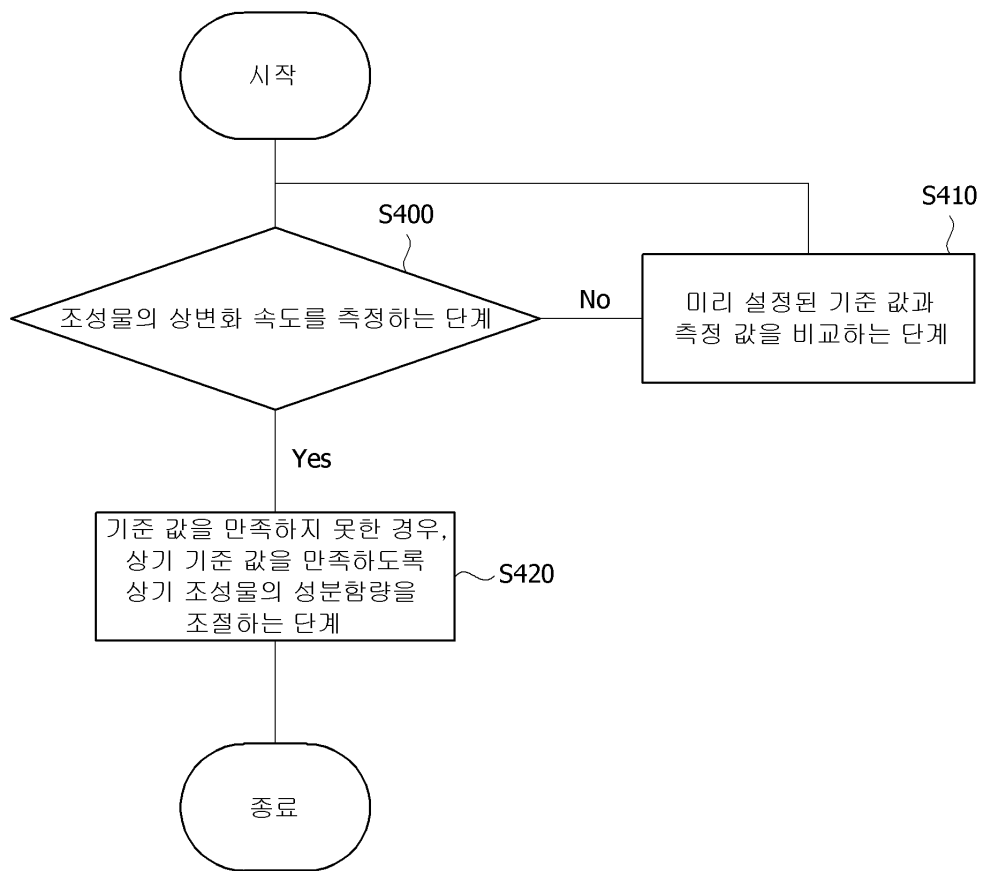
도면3



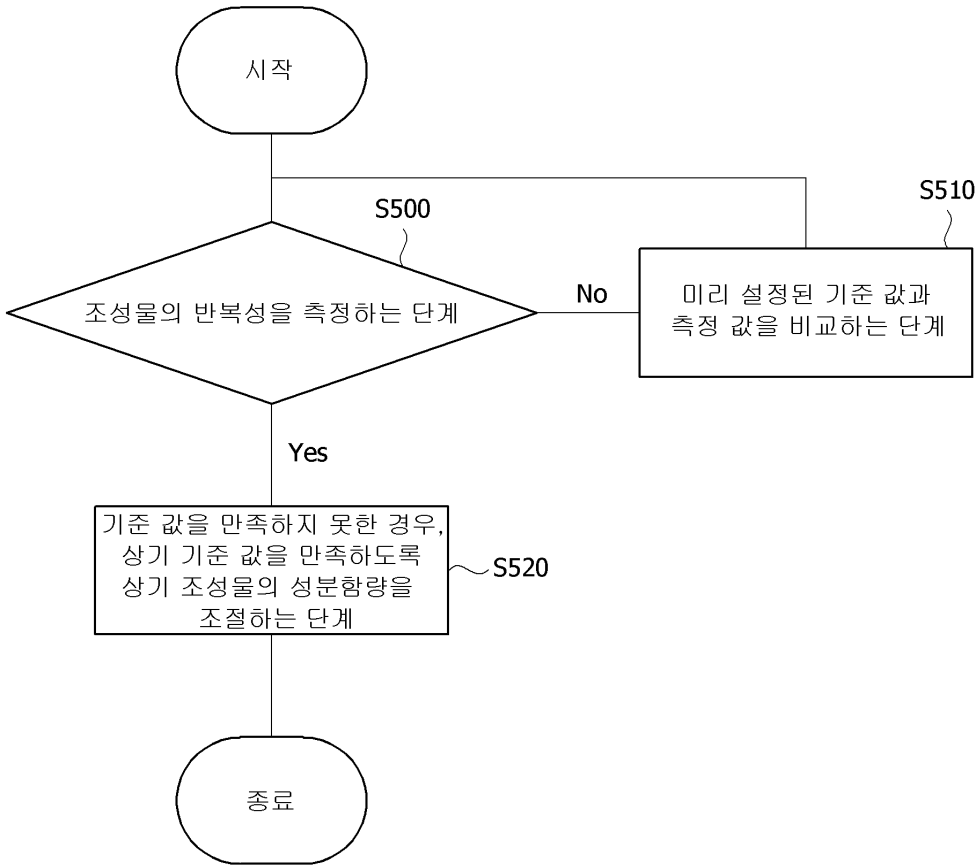
도면4



도면5



도면6



도면7

