



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0170694
(43) 공개일자 2024년12월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 45/00 (2023.01) B21F 27/00 (2006.01)
C22C 47/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 45/00 (2023.01)
B21F 27/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0068352
(22) 출원일자 2023년05월26일
심사청구일자 2023년05월26일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
김기범
서울특별시 강남구 언주로130길 30, 102동 1102호
(논현동, 동양파라곤)
홍성환
경기도 하남시 검단산로 108, 302호
박혜진
경기도 남양주시 경춘로 377, 101동 3203호 (다산동, 다산 효성해링턴 타워)
(74) 대리인
김진동

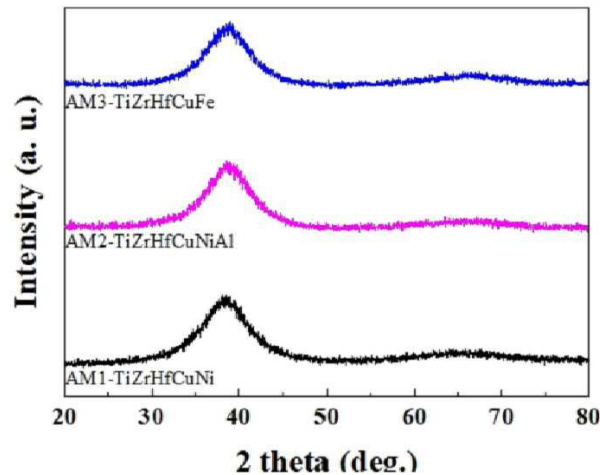
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 폴딩 플레이트용 금속 와이어 및 이로 제조된 전자기기용 폴딩 플레이트

(57) 요약

본 개시는 폴더블 디스플레이의 지지 기능을 가지며, 굴곡성 및 내구성이 우수한 폴딩 플레이트를 제조할 수 있는 금속 와이어를 제공하는 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C22C 47/066 (2013.01)

C22C 2200/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711185343
과제번호	2021R1C1C1006279
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	우수신진연구사업
연구과제명	복합 탄성변형기구 기반 탄성변형 한계 7 %급 초고탄성 유연합금 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

비정질 합금 또는 초탄성 합금으로 구성된, 폴딩 플레이트용 금속 와이어.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 비정질 합금은 Ti, Cu, Ni, Zr, Hf, Fe 및 Al 원소로 이루어진 군에서 선택된 3종 이상의 원소로 구성되는 것인, 폴딩 플레이트용 금속 와이어.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 초탄성 합금은 Ni, Ti, Nb, Ta, Cu 및 Zr 원소로 이루어진 군에 선택된 3종 이상의 원소로 구성되는 것인, 폴딩 플레이트용 금속 와이어.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 비정질 합금에서, Ti의 함량은 16.66~38.00 원자%, Cu의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하, Ni의 함량은 0 원자% 초과 50.00 원자% 이하, Zr의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하, Hf의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하, Fe의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하, Al의 함량은 0 원자% 초과 16.66 원자% 이하인 것인, 폴딩 플레이트용 금속 와이어.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 초탄성 합금에서, Ni의 함량은 35.00~45.00 원자%, Ti의 함량은 30.00~45.00 원자%, Nb의 함량은 10.00~20.00 원자%, Ta의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하, Cu의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하, Zr의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하인 것인, 폴딩 플레이트용 금속 와이어.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 금속 와이어의 직경은 20~120 μm 인 것인, 폴딩 플레이트용 금속 와이어.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 금속 와이어의 인장강도는 1900~2300 MPa이고, 탄성률(modulus)은 30~130 GPa이고, 탄성변형률은 1.0~10%인 것인, 폴딩 플레이트용 금속 와이어.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항의 금속 와이어로 형성된 전자기기용 폴딩 플레이트.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 폴딩 플레이트는 금속 와이어가 직조되어 형성된 것인 전자기기용 폴딩 플레이트.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 폴딩 플레이트용 금속 와이어 및 이로 제조된 전자기기용 폴딩 플레이트에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 폴더블 전자기기는 플렉서블 OLED 디스플레이를 사용하여 화면을 접을 수 있도록 만든 것으로, 일례로 폴더블폰(Foldable Phone)이 있다. 폴더블폰은 접는 과정을 통해 휴대성을 향상시킬 수 있고, 펼치면 넓은 화면으로 사용할 수 있는 이점이 있다.

[0003] 폴더블폰은 힌지를 사용하여 화면을 접거나 펼칠 수 있으며, 디스플레이의 후면에 폴딩 플레이트를 배치하여 접었을 때 폴딩 부분이 완벽히 접히고 펼쳤을 때 접혔던 경계 흔적이 없이 평평한 넓은 화면을 보여줄 수 있도록 한다.

[0004] 이러한 폴딩 플레이트는 수만 번을 접고 펼 수 있는 내구성을 갖추어야 하고, 접힘 시 발생할 수 있는 기계적 응력으로부터 디스플레이 부분을 지지하여 보호할 수 있는 기계적 내구성을 가져야 하며 얇은 두께를 가지는 것이 중요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 개시가 해결하고자 하는 과제는 폴더블 디스플레이의 지지 기능을 가지며, 굴곡성 및 내구성이 우수한 폴딩 플레이트를 제조할 수 있는 폴딩 플레이트용 금속 와이어를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 개시의 일 양태는 비정질 합금 또는 초탄성 합금으로 구성된, 폴딩 플레이트용 금속 와이어에 관한 것이다.

[0007] 본 개시에서, 비정질 합금은 Ti, Cu, Ni, Zr, Hf, Fe 및 Al 원소로 이루어진 군에서 선택된 3종 이상의 원소로 구성될 수 있다.

[0008] 본 개시에서 초탄성 합금은 Ni, Ti, Nb, Ta, Cu 및 Zr 원소 이루어진 군에 선택된 3종 이상의 원소로 구성될 수 있다.

[0009] 본 개시에서, 비정질 합금에서 Ti의 함량은 16.66~38.00 원자% 이하일 수 있고, Cu의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수 있고, Ni의 함량은 0 원자% 초과 50.00 원자% 이하일 수 있고, Zr의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수 있고, Hf의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수 있고, Fe의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수 있고, Al의 함량은 0 원자% 초과 16.66 원자% 이하일 수 있다

[0010] 본 개시에서, 초탄성 합금에서, Ni의 함량은 35.00~45.00 원자%일 수 있고, Ti의 함량은 30.00~45.00 원자%일 수 있고, Nb의 함량은 10.00~20.00 원자%일 수 있고, Ta의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하일 수 있고, Cu의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하일 수 있고, Zr의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하일 수 있다.

[0011] 본 개시에서, 금속 와이어의 직경은 20~120 μm 일 수 있다.

[0012] 본 개시에서, 금속 와이어의 인장강도는 1900~2300 MPa이고, 탄성률(modulus)은 30~130 GPa이고, 탄성변형률은 1.0~10 %일 수 있다.

[0013] 본 개시의 다른 양태는 금속 와이어로 형성된 전자기기용 폴딩 플레이트이다.

[0014] 본 개시에서, 폴딩 플레이트는 금속 와이어가 직조되어 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 개시는 강도가 우수하고, 탄성변형률이 높은 금속 와이어를 제공할 수 있다.

[0016] 또한, 본 개시는 탄성률(modulus)이 우수하고, 굴곡성이 향상된 전자기기용 폴딩 플레이트를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 실시예 1 내지 3에서 제조된 와이어의 X선 회절분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 2는 비교예 1 내지 3에서 제조된 와이어의 X선 회절분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 3은 실시예 1 내지 3에서 제조된 와이어의 시차주사열량분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 실시예 4 및 5에서 제조된 와이어의 X선 회절분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 5는 비교예 4 내지 6에서 제조된 와이어의 X선 회절분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 실시예 4 및 5에서 제조된 와이어의 시차주사열량분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 실시예 5에서 제조된 와이어를 주사전자현미경으로 촬영한 사진이다.
- 도 8은 비교예 4 내지 6에서 제조된 와이어를 주사전자현미경으로 촬영한 사진이다.
- 도 9는 실시예 5에서 제조된 와이어의 응력-변형률 선도를 나타낸 그래프이다.
- 도 10은 비교예 4에서 제조된 와이어의 응력-변형률 선도를 나타낸 그래프이다.
- 도 11은 실시예 6 내지 9에서 제조된 초탄성 합금의 X선 회절분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 12는 비교예 7 및 8에서 제조된 초탄성 합금의 X선 회절분석 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 13은 실시예 7 및 9에서 제조된 초탄성 합금을 주사전자현미경으로 촬영한 사진이다.
- 도 14은 실시예 7 및 9에서 제조된 초탄성 합금을 투과전자현미경으로 촬영한 사진이다.
- 도 15는 비교예 8에서 제조된 초탄성 합금을 주사전자현미경으로 촬영한 사진이다.
- 도 16은 실시예 6 내지 9에서 제조된 초탄성 합금의 응력-변형률 선도를 나타낸 그래프이다.
- 도 17은 비교예 7 및 8에서 제조된 초탄성 합금의 응력-변형률 선도를 나타낸 그래프이다.
- 도 18은 본 개시에 따른 폴딩 플레이트용 메쉬를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하, 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 개시의 실시예에 대하여 첨부한 도면을 참고로 상세히 설명한다. 그러나 본 개시는 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0019] 또한, 본 개시에서 수치와 관련하여 용어 "약(about)", "대략(approximately)" 또는, 적어도(at least)와 같은 유사한 표현이 사용되는 경우, 해당 수치를 기준으로 $\pm 10\%$, $\pm 7\%$, $\pm 5\%$, $\pm 3\%$, $\pm 2\%$, 또는 $\pm 1\%$ 의 이론적, 실험적, 통계적, 또는 경험칙상의 오차가 허용되는 것으로 의도된다.
- [0021] 본 개시의 일 양태는 비정질 합금 또는 초탄성 합금으로 구성된, 폴딩 플레이트용 금속 와이어이다. 구체적으로는 플렉서블 전자기기, 예컨대 디스플레이가 접히는 폴딩 형태의 모바일 단말기인 폴더블폰에 적용될 수 있는 폴딩 플레이트를 제조할 수 있는 금속 와이어이다.
- [0022] 본 개시에서, 금속 와이어는 당업계에서 일반적으로 사용되는 방법으로 제조될 수 있으며, 예컨대 용융 방사(Melt spinning)와 같이, 금속을 용융하여 고속 회전하는 디스크 상에서 응고시켜 금속 와이어를 생산하는 방법, 유리튜브(Glass tube)에 용융 금속을 넣고 열을 가해 두께를 감소시켜 유리로 코팅된 금속 와이어를 생산하는 테일러-와이어(Taylor-wire)법 등이 이용될 수 있다.
- [0023] 본 개시에서, 비정질 합금은 Ti, Cu, Ni, Zr, Hf, Fe 및 Al 원소로 이루어진 군에서 선택된 3종 이상의 원소로 구성될 수 있다. 바람직하게는 비정질 합금은 Ni, Ti 및 Hf로 이루어진 3원계 비정질 합금, Ti, Zr, Hf, Cu 및 Fe로 이루어진 5원계 합금, Ti, Zr, Hf, Cu 및 Ni로 이루어진 5원계 합금 또는 Ti, Zr, Hf, Cu, Fe 및 Al로 이루어진 6원계 합금일 수 있다.
- [0024] 비정질 합금에서 Ti의 함량은 16.66~38.00 원자%일 수 있고, Cu의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수

있고, Ni의 함량은 0 원자% 초과 50.00 원자% 이하일 수 있고, Zr의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수 있고, Hf의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수 있고, Fe의 함량은 0 원자% 초과 20.00 원자% 이하일 수 있고, Al의 함량은 0 원자% 초과 16.66 원자% 이하일 수 있다.

[0025] 바람직하게 Ti, Zr, Hf, Cu 및 Fe로 이루어진 5원계 합금, Ti, Zr, Hf, Cu 및 Ni로 이루어진 5원계 합금 또는 Ti, Zr, Hf, Cu, Fe 및 Al로 이루어진 6원계 합금은 함량이 동일한 고엔트로피 합금일 수 있다.

[0026] 또한, Ni, Ti 및 Hf로 이루어진 3원계 비정질 합금은 $Ni_{50}Ti_{32}Hf_{18}$ 또는 $Ni_{45}Ti_{38}Hf_{17}$ 인 비정질 합금일 수 있다.

[0027] 초탄성 합금은 Ni, Ti, Nb, Ta, Cu 및 Zr 원로 이루어진 군에 선택된 3종 이상의 원소로 구성될 수 있고, 바람직하게 초탄성 합금은 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Cu 로 이루어진 5원계 합금 또는 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Zr 로 이루어진 5원계 합금일 수 있다.

[0028] 초탄성 합금에서, Ni의 함량은 35.00~45.00 원자%일 수 있고, Ti의 함량은 30.00~45.00 원자%일 수 있고, Nb의 함량은 10.00~20.00 원자%일 수 있고, Ta의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하일 수 있고, Cu의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하일 수 있고, Zr의 함량은 0 원자% 초과 10.00 원자% 이하일 수 있다. 바람직하게 Ni의 함량은 37.00~40.00 원자%일 수 있고, Ti의 함량은 35.00~40.00 원자%일 수 있고, Nb의 함량은 12.00~18.00 원자%일 수 있고, Ta의 함량은 3~7 원자% 이하일 수 있고, Cu의 함량은 1~5 원자% 이하일 수 있고, Zr의 함량은 1~5 원자%일 수 있다. 또한, 더 바람직하게 초탄성 합금은 $Ni_{40}Ti_{35}Nb_{15}Ta_5Zr_5$, $Ni_{40}Ti_{37}Nb_{15}Ta_5Zr_3$, $Ni_{35}Ti_{40}Nb_{15}Ta_5Cu_5$ 또는 $Ni_{37}Ti_{40}Nb_{15}Ta_5Cu_3$ 일 수 있다.

[0029] 본 개시에서, 비정질 합금 또는 초탄성 합금을 구성하는 원소의 원자%가 전술한 범위를 벗어나면, 금속 와이어의 인장강도, 탄성률 저하되고, 이에 따라 제조되는 폴딩 플레이트의 굴곡성 등이 저하되어 벤딩이 용이하지 않거나, 벤딩 시 깨질 수 있어, 상기 범위가 바람직하다.

[0030] 본 개시에서, 금속 와이어의 직경은 20~120 μm 일 수 있고, 바람직하게는 30~100 μm 일 수 있다. 금속 와이어의 직경이 전술한 범위 미만이면, 제조되는 폴딩 플레이트의 내구성이 저하될 수 있고, 전술한 범위를 초과하면, 제조되는 폴딩 플레이트의 두께가 두꺼워져 벤딩이 용이하지 않을 수 있다.

[0031] 또한, 본 개시에서 금속 와이어의 인장강도는 1900~2300 MPa일 수 있고, 바람직하게는 2000~2200 MPa일 수 있다. 금속 와이어의 인장강도가 전술한 범위 미만이면 내구성이 저하될 수 있고, 전술한 범위를 초과하면 소성 변형의 발생으로 인해 영구적인 변형 또는 파괴가 발생할 수 있어, 상기 범위가 바람직하다.

[0032] 또한, 본 개시에서 금속 와이어의 탄성률(modulus)은 30~130 GPa일 수 있고, 바람직하게는 금속 와이어가 비정질 합금일 때 40~60 GPa일 수 있고, 초탄성 합금일 때 100~120 GPa일 수 있다. 금속 와이어의 탄성률(modulus)이 전술한 범위 미만이면 낮은 항복 강도로 인해 쉽게 소성변형이 일어날 수 있고, 탄성변형 전술한 범위를 초과하면 낮은 탄성변형을 한계로 인해 쉽게 소성변형이 일어날 수 있어, 상기 범위가 바람직하다.

[0033] 또한, 본 개시에서 금속 와이어의 탄성변형률은 1.0~10 %일 수 있고, 바람직하게는 비정질 합금일 때 1.5~2.0 %일 수 있고, 초탄성 합금일 때 7.0~7.6 %일 수 있다. 금속 와이어의 탄성변형률 한계가 전술한 범위 미만이면 제조되는 폴딩 플레이트의 폴딩 부분이 완벽히 접히고 펼쳤을 때 소성변형 또는 파괴가 발생할 수 있어, 상기 범위가 바람직하다.

[0034] 본 개시의 다른 양태는 금속 와이어로 형성된 전자기기용 메쉬, 더 구체적으로는 폴딩 플레이트용 메쉬이다. 폴딩 플레이트용 메쉬는 금속 와이어가 직조되어 형성된 것일 수 있으며, 구체적으로는 메쉬 형태로서, 금속 와이어가 서로 엇갈려 교차되는 형태를 나타낸다. 본 명세서에서, 전자기기용 메쉬와 폴딩 플레이트는 때때로 동일한 것을 지칭할 수 있다.

[0035] 본 개시에 따른 폴딩 플레이트용 메쉬는 수만 번을 접고 펼 수 있는 내구성을 갖추어야 하므로 와이어가 서로 엇갈려 교차되는 형태인 메쉬 형태를 가짐으로써 내구성을 높일 수 있다.

[0036] 메쉬 형태는 당업계에서 일반적으로 사용되는 직조, 예칭, 프레스 방법으로 형성될 수 있으며, 바람직하게는 직조 방법으로 형성될 수 있다.

[0037] 직조는 금속 와이어를 직조 기계에 투입하여 진행될 수 있으며, 직조를 통해 형성된 메쉬 패턴을 갖는 폴딩 플레이트는 도 18과 같은 형상일 수 있다.

[0038] 메쉬의 패턴은 와이어 자체의 폭이 20~120 μm , 바람직하게는 30~100 μm 이고, 메쉬의 두께는 20~120 μm , 바람직

하계는 30~100 μm 일 수 있으며, 와이어와 와이어 사이의 간격이 20~350 μm 일 수 있다. 일 실시형태에서, 메쉬 패턴은 와이어 자체의 폭이 100 μm 이고, 두께가 100 μm 이고, 와이어와 와이어 사이의 간격이 200 μm 일 수 있다.

[0039] 폴딩 플레이트의 두께가 전술한 범위 미만이면, 폴딩 플레이트의 내구성이 저하될 수 있으며, 전술한 범위를 초과하면 굴곡성이 저하되어 벤딩이 용이하지 않을 수 있다.

[0040] 또한, 전자기기는 플렉서블 전자기기일 수 있으며, 본 개시의 메쉬가 적용된 폴딩 플레이트는 폴더블폰의 디스플레이의 후면에 부착되어 디스플레이의 지지 기능을 수행할 수 있다.

[0041] 폴더블폰은 디스플레이의 후면에 폴딩 플레이트를 배치하여 접었을 때 폴딩 부분이 완벽히 접히고 펼쳤을 때 디스플레이 화면이 주름지지 않도록 지지하여 사용 중에 평탄도를 유지할 수 있도록 한다.

[0043] 이하, 본 발명에 따른 구체적인 실시예를 들어 설명한다.

[0045] 실시예 1

[0046] 순도 99.9% 이상의 Ti, Zr, Hf, Cu 및 Fe 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 동일한 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 30~100 μm 인 TiZrHfCuFe 고엔트로피 비정질 합금 와이어를 제조하였다.

[0048] 실시예 2

[0049] 순도 99.9% 이상의 Ti, Zr, Hf, Cu, Fe 및 Al 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 동일한 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 30~100 μm 인 TiZrHfCuFeAl 고엔트로피 비정질 합금 와이어를 제조하였다.

[0051] 실시예 3

[0052] 순도 99.9% 이상의 Ti, Zr, Hf, Cu, 및 Ni 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 동일한 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 30~100 μm 인 TiZrHfCuNi 고엔트로피 비정질 합금 와이어를 제조하였다.

[0054] 실시예 4

[0055] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti 및 Hf 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 약 30 μm 인 $\text{Ni}_{50}\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}$ 비정질 합금 와이어를 제조하였다.

[0057] 실시예 5

[0058] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti 및 Hf 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 약 30 μm 인 $\text{Ni}_{45}\text{Ti}_{38}\text{Hf}_{17}$ 비정질 합금 와이어를 제조하였다.

[0060] **실시예 6**

[0061] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Zr 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 arc suction casting을 이용하여 급속응고시켜, $\text{Ni}_{40}\text{Ti}_{35}\text{Nb}_{15}\text{Ta}_5\text{Zr}_5$ 초탄성 합금 시편을 제조하였다.

[0063] **실시예 7**

[0064] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Zr 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 arc suction casting을 이용하여 급속응고시켜, $\text{Ni}_{40}\text{Ti}_{37}\text{Nb}_{15}\text{Ta}_5\text{Zr}_3$ 초탄성 합금 시편을 제조하였다.

[0066] **실시예 8**

[0067] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Cu 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 arc suction casting을 이용하여 급속응고시켜, $\text{Ni}_{35}\text{Ti}_{40}\text{Nb}_{15}\text{Ta}_5\text{Cu}_5$ 초탄성 합금 시편을 제조하였다.

[0069] **실시예 9**

[0070] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Cu 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 arc suction casting을 이용하여 급속응고시켜, $\text{Ni}_{37}\text{Ti}_{40}\text{Nb}_{15}\text{Ta}_5\text{Cu}_3$ 초탄성 합금 시편을 제조하였다.

[0072] **비교예 1**

[0073] 순도 99.9% 이상의 Ti, Zr, Hf, Cu 및 Fe 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 동일한 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해한 후 응고시켜, TiZrHfCuFe 고엔트로피 결정질 합금을 제조하였다.

[0075] **비교예 2**

[0076] 순도 99.9% 이상의 Ti, Zr, Hf, Cu, Fe 및 Al 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 동일한 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해한 후 응고시켜, TiZrHfCuFeAl 고엔트로피 결정질 합금을 제조하였다.

[0078] **비교예 3**

[0079] 순도 99.9% 이상의 Ti, Zr, Hf, Cu, 및 Ni 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 동일한 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해한 후 응고시켜, TiZrHfCuNi 고엔트로피 결정질 합금을 제조하였다.

[0081] **비교예 4**

[0082] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti 및 Hf 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 약 30 μm 인 $\text{Ni}_{50}\text{Ti}_{38}\text{Hf}_{12}$ 비정질-결정질 복합조직 합금 와이어를 제조하였다.

[0084] **비교예 5**

[0085] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti 및 Hf 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 약 30 μm 인 $\text{Ni}_{50}\text{Ti}_{35}\text{Hf}_{15}$ 비정질-결정질 복합조직 합금 와이어를 제조하였다.

[0087] **비교예 6**

[0088] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti 및 Hf 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 고주파 유도를 통해 용해한 후 melt-spinning을 이용하여 급속응고시켜, 직경 약 30 μm 인 $\text{Ni}_{50}\text{Ti}_{30}\text{Hf}_{20}$ 비정질-결정질 복합조직 합금 와이어를 제조하였다.

[0090] **비교예 7**

[0091] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Mo 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 arc suction casting을 이용하여 급속응고시켜, $\text{Ni}_{40}\text{Ti}_{40}\text{Nb}_{15}\text{Ta}_5\text{Mo}_5$ 초탄성 합금 시편을 제조하였다.

[0093] **비교예 8**

[0094] 순도 99.9% 이상의 Ni, Ti, Nb, Ta 및 Mo 원소 금속을 준비한다. 각 원소별로 웨이징(weighing)을 한 후, 합금 조성에 따른 함량으로 arc melting법을 이용하여 아르곤 가스 분위기에서 합금을 용해하여 모합금을 제조하였다. 이후 제조된 모합금을 아르곤 가스 분위기에서 arc suction casting을 이용하여 급속응고시켜, $\text{Ni}_{40}\text{Ti}_{40}\text{Nb}_{12}\text{Ta}_5\text{Mo}_3$ 초탄성 합금 시편을 제조하였다.

[0096] **실험예 1**

[0097] 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 내지 3에서 제조된 와이어의 상 분석을 위해 X-선 회절분석(XRD)을 진행하였고, 이에 대한 결과를 도 1 및 도 2에 나타내었다. 또한, 실시예 1 내지 3에서 제조된 와이어의 시차주사열량분석(DSC)을 진행하였고, 이에 대한 결과를 도 3에 나타내었다.

[0099] 도 1 및 도 3을 참조하면, 고엔트로피 비정질 합금의 XRD도형 분석에서 broad diffraction pattern을 통해 비정질 상의 형성을 확인할 수 있고, DSC 분석 결과를 통해서도 비정질 상의 결정화에 따른 발열 반응을 통해 제조된 합금은 비정질 합금임을 확인할 수 있다. 반면, 도 2를 참조하면, 동일 조성의 고엔트로피 조성을 상대적으로 낮은 응고 속도 조건에서 제조 시에는 B2상, C14- 또는 C15-Laves 상으로 이루어진 결정질 합금이 형성되어, 비정질 합금을 제조할 수 없음을 확인할 수 있다.

[0101] **실험예 2**

[0102] 실시예 4, 5 및 비교예 4 내지 6에서 제조된 와이어의 상 분석을 위해 X-선 회절분석(XRD)을 진행하였고, 이에 대한 결과를 도 4 및 도 5에 나타내었다. 또한, 실시예 4 및 5에서 제조된 와이어의 시차주사열량분석(DSC)을 진행하였고, 이에 대한 결과를 도 6에 나타내었다. 또한, 실시예 5 및 비교예 4 내지 6에서 제조된 와이어의 주사전자현미경(SEM) 사진을 도 7 및 8에 나타내었다.

[0104] 도 4, 6 및 7을 참조하면, 제조된 Ni-Ti-Hf 비정질 합금의 XRD도형 분석에서 broad diffraction pattern을 통해 비정질 상의 형성을 확인할 수 있고, DSC 분석 결과를 통해서도 비정질 상의 결정화에 따른 발열 반응을 통해 제조된 합금은 비정질 합금임을 확인할 수 있다.

[0105] 반면, 도 5 및 8을 참조하면, 비정질 기지 내에 결정상이 형성된 것을 확인할 수 있다.

[0107] 실험예 3

[0108] 실시예 5 및 비교예 4에서 제조된 와이어의 인장시험을 진행하였으며, 이에 대한 결과를 하기 표 1, 도 9 및 도 10에 나타내었다. 제조된 와이어의 인장시험은 변형률 제어 조건에서 변형률 속도 $1 \times 10^{-3}/s$ 조건으로 실시하였다.

표 1

Alloy No.	σ_y (MPa)	UTS (MPa)	E (GPa)	ϵ_E (%)	ϵ_p (%)
실시예 5	2038	2038	119.88	1.70	0
비교예 4	1324	1544	126.09	1.05	1.65

[0111] * σ_y : 항복 강도, UTS: 최대 인장강도, E: 탄성계수, ϵ_E : 탄성 변형률, ϵ_p : 소성 변형률

[0113] 도 9 및 10과, 상기 표 1을 참조하면, 실시예 4에서 제조된 와이어의 탄성 변형률이 비교예 4에서 제조된 와이어의 탄성 변형률보다 우수한 것을 확인할 수 있다.

[0115] 실험예 4

[0116] 실시예 6 내지 9, 비교예 7 및 8에서 제조된 초탄성 합금의 상 분석을 위해 X-선 회절분석(XRD)을 진행하였고, 이에 대한 결과를 각각 도 11 및 도 12에 나타내었다. 또한, 실시예 7 및 9에서 제조된 초탄성 합금의 주사전자현미경(SEM) 사진을 도 13에 나타내었고, 투과전자현미경(TEM) 사진을 도 14에 나타내었고, 비교예 8에서 제조된 초탄성 합금의 주사전자현미경(SEM) 사진을 도 15에 나타내었다.

[0118] 도 11, 13 및 14를 참조하면, 실시예 6 내지 9에서 제조된 초탄성 합금은 수십 나노 두께의 극미세 층상 공정조직에 기인한 높은 강도 및 넓은 초탄성 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0119] 반면, 도 12 및 15를 참조하면, Mo가 첨가된 비교예 7 및 8은 실시예 6 내지 9에서 제조된 초탄성 합금과 상이한 달리 미세조직을 형성시키는 것을 확인할 수 있으며, Microscale의 어두운 BCC상이 합금 전체에 높은 상분율로 형성되어 있어, 초탄성 특성을 저하시키는 것을 확인할 수 있다.

[0121] 실험예 5

[0122] 실시예 6 내지 9, 비교예 7 및 8에서 제조된 초탄성 합금의 압축시험을 진행하였으며, 이에 대한 결과를 하기 표 2, 도 16 및 도 17에 나타내었다. 제조된 합금의 압축시험은 변형률 제어 조건에서 변형률 속도 $1 \times 10^{-3}/s$

조건으로 실시하였다.

표 2

[0124]

구분	σ_y (MPa)	σ_{Max} (MPa)	E (GPa)	ε_E (%)
실시예 6	2259	2259	48.43	7.62
실시예 7	1807	1976	51.09	7.30
실시예 8	2112	2142	48.89	7.27
실시예 9	1825	2049	45.33	7.30
비교예 7	681	2248	47.36	1.72
비교예 8	486	1649	54.96	1.24

[0125]

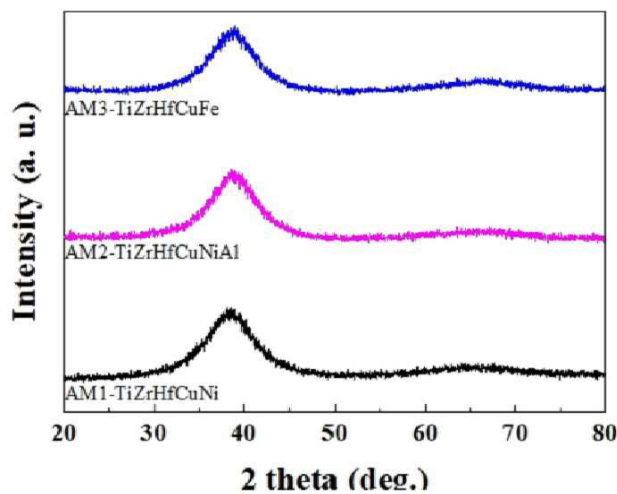
* σ_y : 항복 강도, σ_{max} : 최대 압축강도, E: 탄성계수, ε_E : 탄성 변형률

[0127]

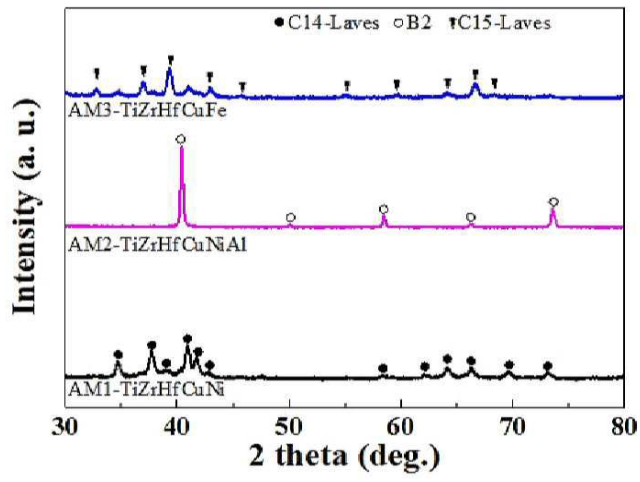
도 16 및 17과, 상기 표 2를 참조하면, 실시예 6 내지 9에서 제조된 초탄성 합금 탄성 변형률이 비교예 7 및 8에서 제조된 초탄성 합금의 탄성 변형률보다 매우 우수한 것을 확인할 수 있다.

도면

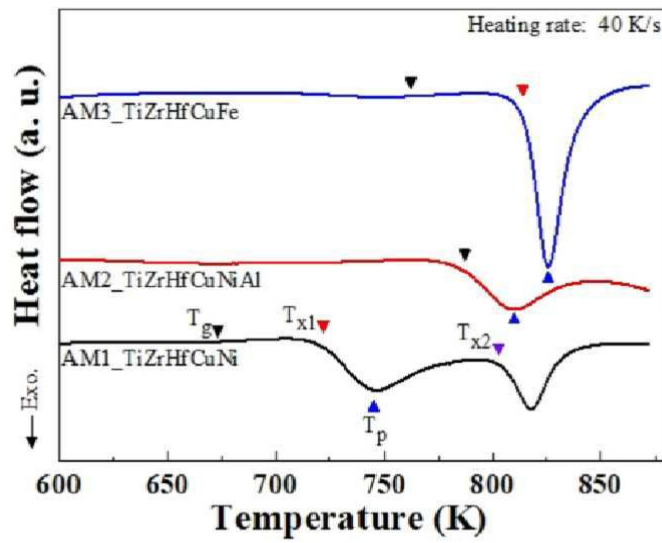
도면1



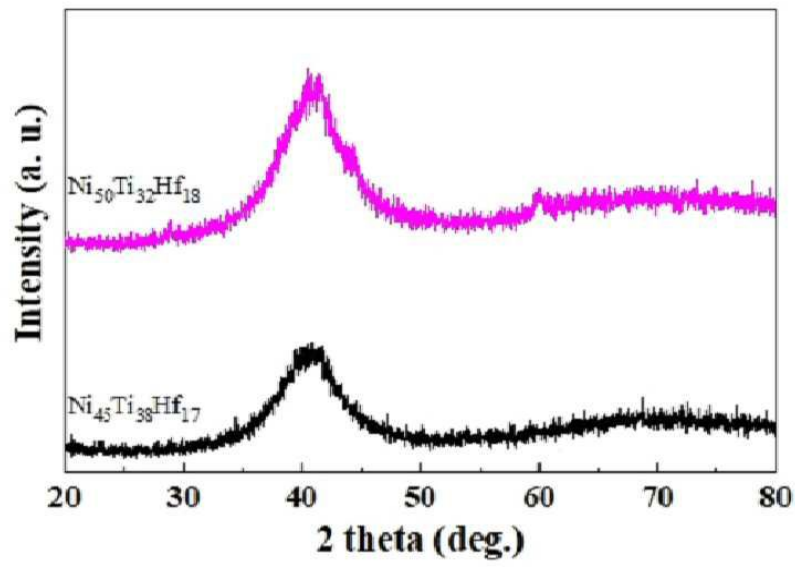
도면2



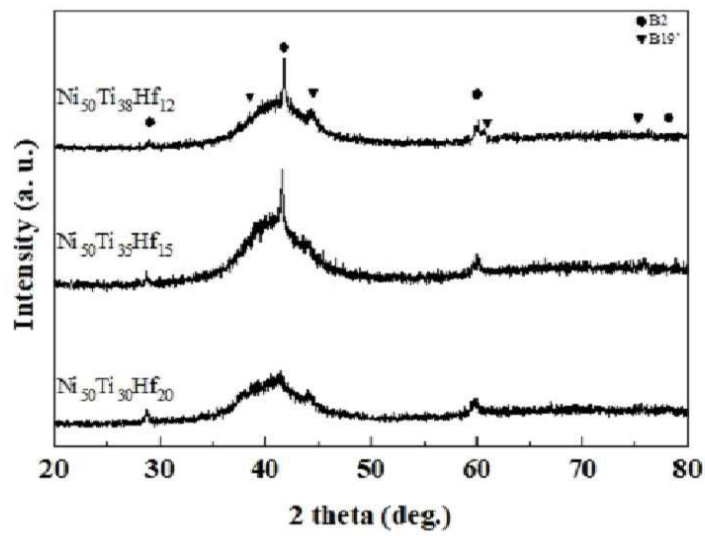
도면3



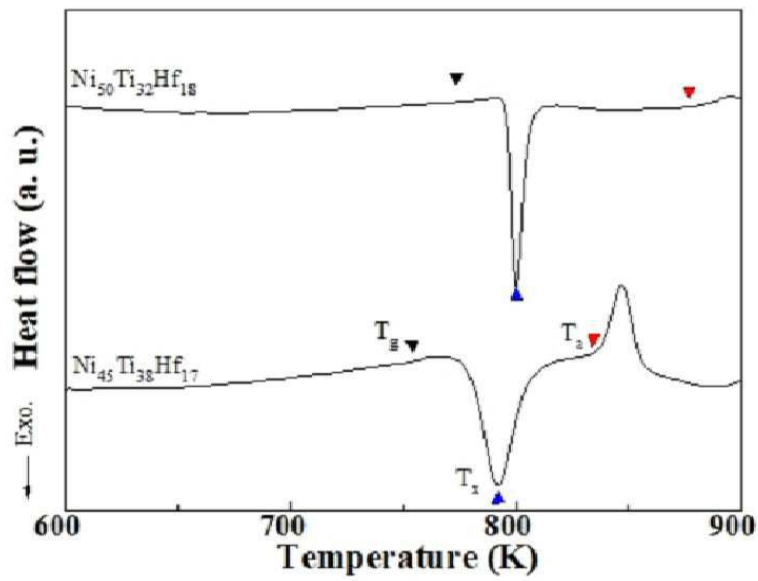
도면4



도면5

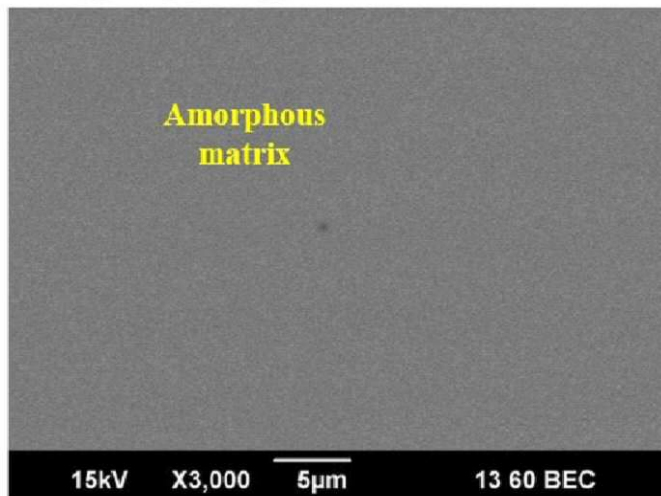


도면6

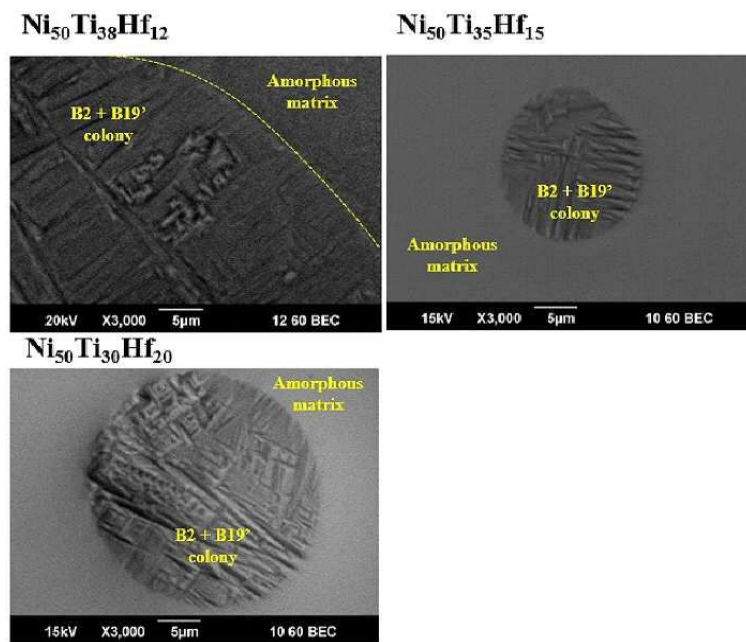


도면7

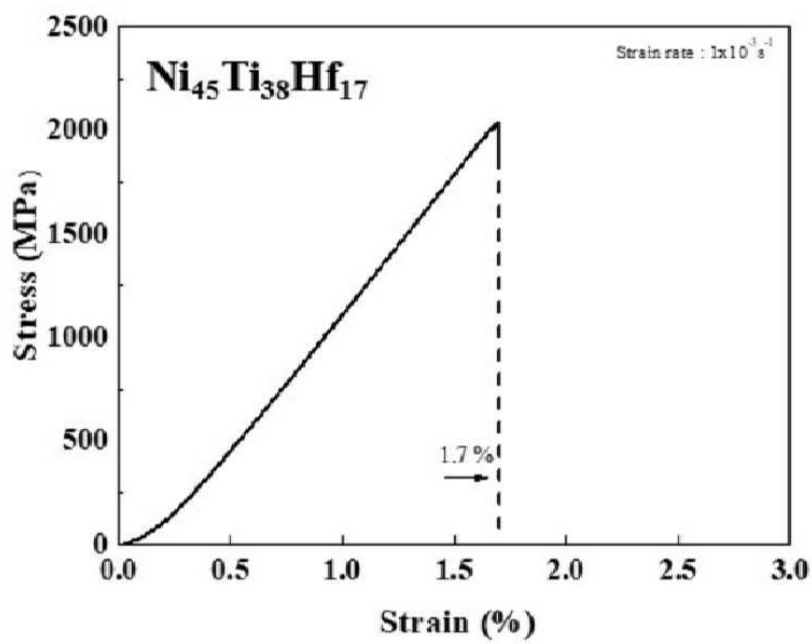
$\text{Ni}_{45}\text{Ti}_{38}\text{Hf}_{17}$



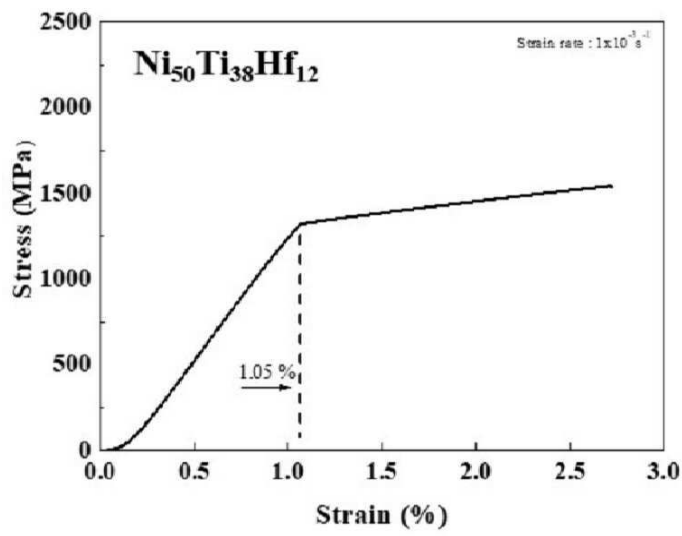
도면8



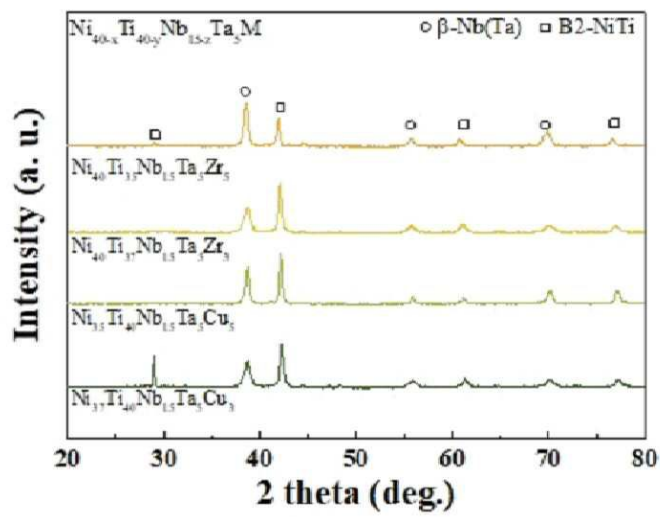
도면9



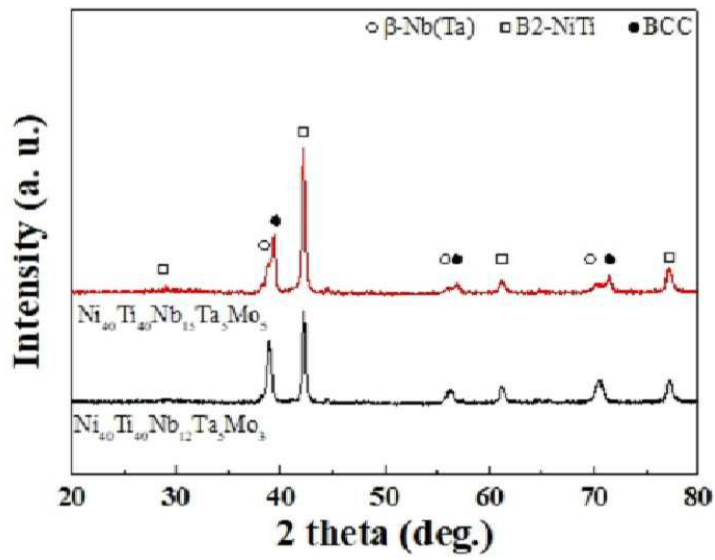
도면10



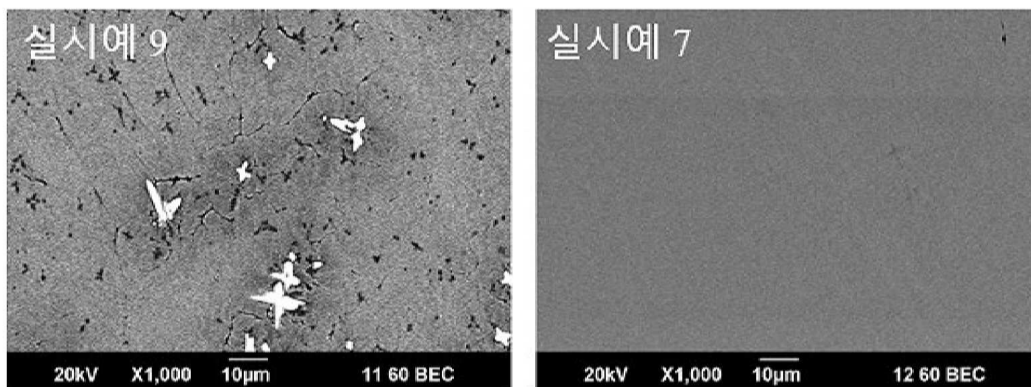
도면11



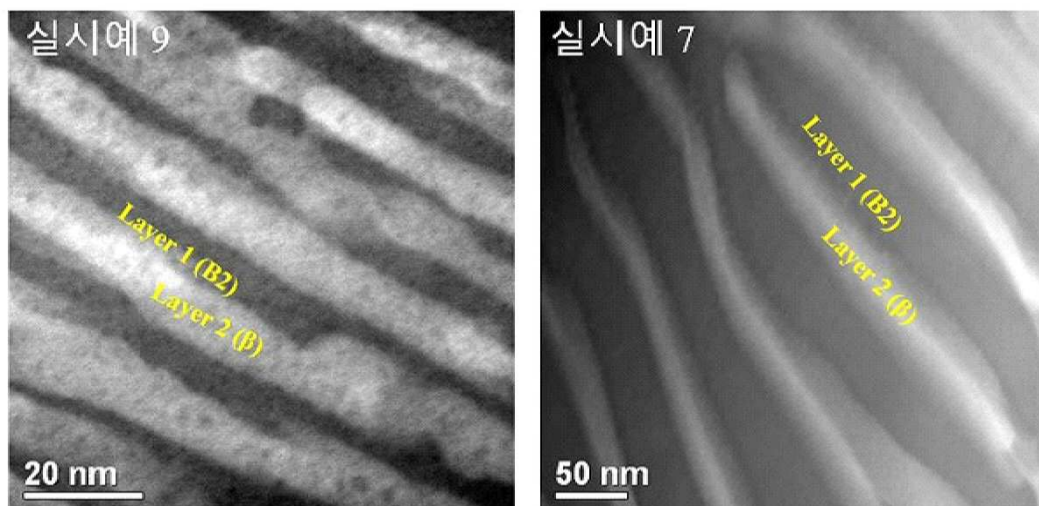
도면12



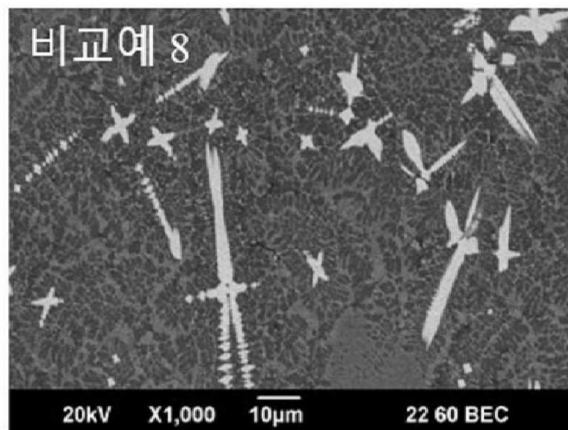
도면13



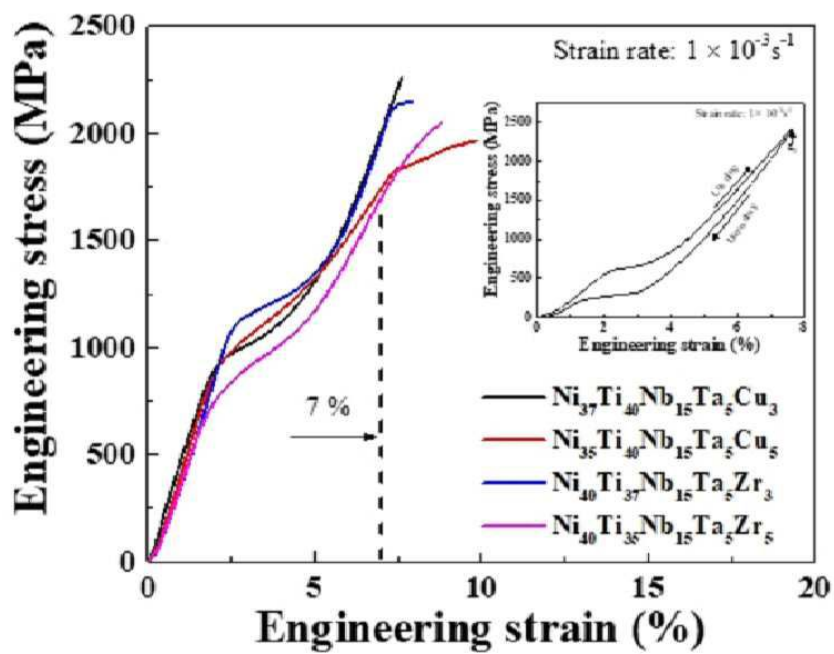
도면14



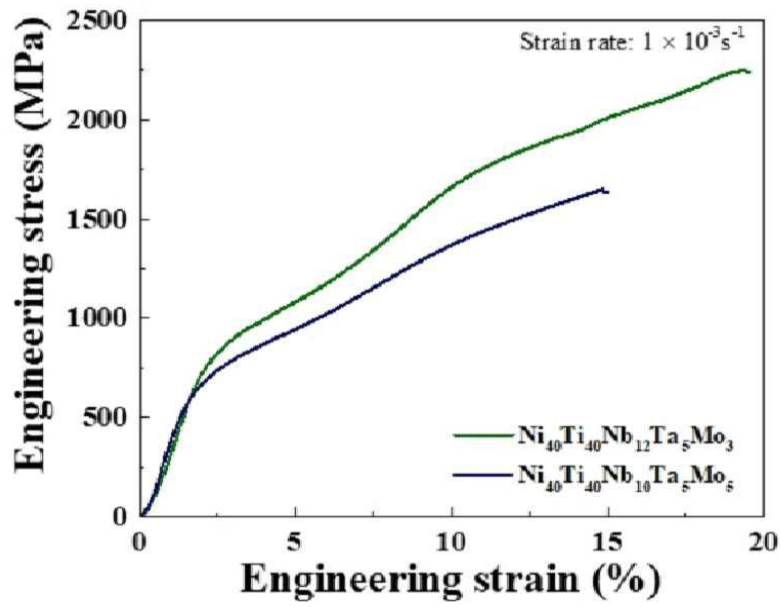
도면15



도면16



도면17



도면18

