



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년05월04일
(11) 등록번호 10-2393781
(24) 등록일자 2022년04월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G09F 9/30 (2006.01) G06F 1/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G09F 9/301 (2013.01)
G06F 1/1652 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0083410
(22) 출원일자 2020년07월07일
심사청구일자 2020년07월07일
(65) 공개번호 10-2022-0005800
(43) 공개일자 2022년01월14일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150003308 A*
KR1020150020895 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
주영창
서울특별시 강남구 선릉로 120, 15동 505호
이종성
서울특별시 관악구 관악로 1, 905동 212호
이재찬
서울특별시 관악구 관악로 1, 30동 503호
(74) 대리인
이인행, 김한, 김남식

전체 청구항 수 : 총 16 항

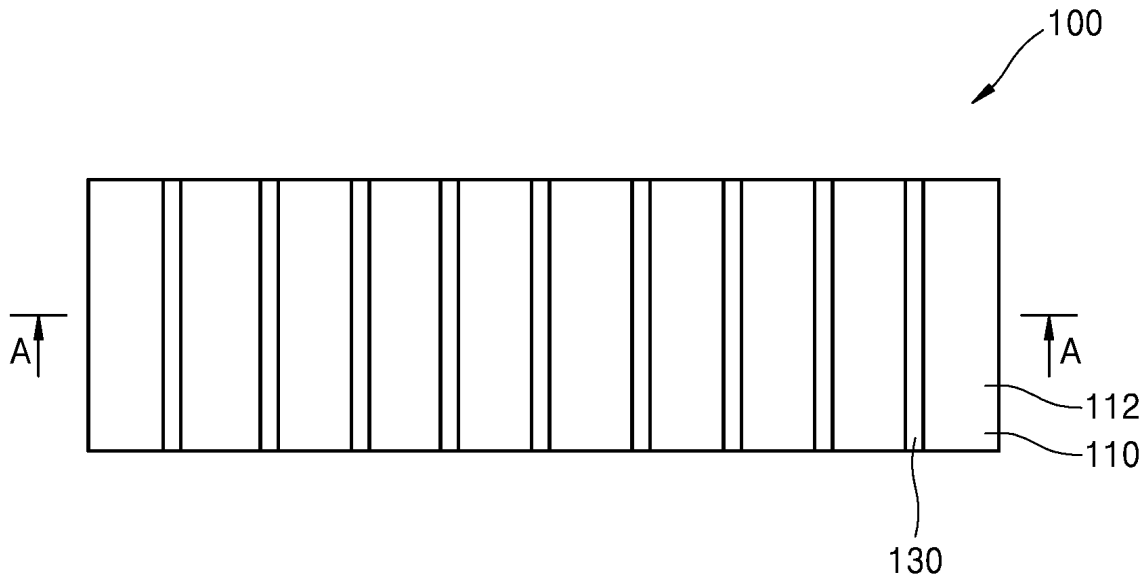
심사관 : 김우영

(54) 발명의 명칭 유연 소자

(57) 요약

본 발명은, 플렉시블 표시 장치에 적용되는 유연 소자를 제공한다. 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 유연 소자는, 제1 면과 상기 제1 면에 대향하는 제2 면을 포함하고, 상기 제1 면에 복수의 홈들이 구비된 기관; 및 상기 기관의 상기 제2 면 상에 위치하는 금속층;을 포함한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115708
과제번호	10051601
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	전자정보디바이스산업원천기술개발
연구과제명	내산화성 금속/탄소 하이브리드 나노섬유를 활용한 고신뢰성 유연 투명전극 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서울대학교산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

제1 면과 상기 제1 면에 대향하는 제2 면을 포함하고, 상기 제1 면에 복수의 홈들이 구비된 기관; 및
상기 기관의 상기 제2 면 상에 위치하는 금속층;을 포함하되,
상기 복수의 홈들은 0.1 mm 내지 2 mm 범위의 간격으로 이격되고,
상기 복수의 홈들 사이의 간격은 상기 기관의 두께의 1/10 배 내지 5 배 범위이고,
상기 복수의 홈들은 상기 기관의 두께의 50% 내지 80%의 범위의 깊이를 가지는,
유연 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 복수의 홈들은 상기 유연 소자의 굽힘 방향에 대하여 소정의 각도를 가지고 연장된,
유연 소자.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 복수의 홈들은 상기 기관의 두께 방향에 대하여 수직으로 연장된,
유연 소자.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 복수의 홈들은 반복되는 패턴을 가지는,
유연 소자.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 복수의 홈들은 동일한 간격으로 이격되는,
유연 소자.

청구항 6

삭제

청구항 7

제 1 항에 있어서,
상기 복수의 홈들은 동일한 깊이를 가지는,
유연 소자.

청구항 8

삭제

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 홈들은 동일한 폭을 가지는,

유연 소자.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 홈들은 10 μm 내지 80 μm 범위의 폭을 가지는,

유연 소자.

청구항 11

삭제

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 기판의 변형율은 하기의 관계식 1을 만족하는,

유연 소자.

<관계식 1>

$$\varepsilon \propto g \times \left(1 - \frac{d}{h}\right) \times \frac{1}{w}$$

(여기에서, ε 는 변형률, g는 홈 사이의 간격, d는 홈의 깊이, h는 기판의 두께, 및 w는 홈의 폭임)

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 폴리이미드(Polyimide), PET(polyethylene terephthalate), 폴리우레탄(polyurethane), PDMS(Polydimethylsiloxane), PEBA(polyether block amides), EVA(ethylene-vinyl acetate), Ecoflex, Dragon skin, 실리콘 고무(silicon rubber), 또는 마이크로 두께의 박형 실리콘 웨이퍼를 포함하는,

유연 소자.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 10 μm 내지 1000 μm 범위의 두께를 가지는,

유연 소자.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 금속층은 구리(Cu), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 몰리브덴(Mo), 티타늄(Ti), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt) 또는 이들의 합금을 포함하는,

유연 소자.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 금속층은 금속 나노 와이어, 금속-탄소 나노 섬유, 금속-탄소 나노 구조체, 및 그래핀 중 적어도 어느 하나를 포함하는,

유연 소자.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

상기 금속층은 10 nm 내지 1000 nm 범위의 두께를 가지는,

유연 소자.

청구항 18

제1 면과 상기 제1 면에 대향하는 제2 면을 포함하고, 상기 제1 면에 복수의 홈들이 구비된 기판; 및

상기 기판의 상기 제2 면 상에 위치하는 금속층;을 포함하고,

상기 금속층은 탄소나노물질을 모재로 하여, 상기 탄소나노물질의 표면에 금속 물질이 코팅되고,

상기 복수의 홈들은 0.1 mm 내지 2 mm 범위의 간격으로 이격되고,

상기 복수의 홈들 사이의 간격은 상기 기판의 두께의 1/10 배 내지 5 배 범위이고,

상기 복수의 홈들은 상기 기판의 두께의 50% 내지 80%의 범위의 깊이를 가지는,

유연 소자.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 탄소나노물질은 탄소나노섬유를 포함하고,

상기 금속 물질은 구리를 포함하는,

유연 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 전자 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 플렉시블 표시 장치에 적용되는 유연 소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 폴더블 휴대장치 또는 롤러블 표시장치 등과 같이 크기의 변형을 통해 수납의 용이성을 향상시키거나, 기기의 모양의 자유도를 높이기 위해 기계적 가동성에 대한 요구가 크게 증가하고 있다. 이러한 장치들에 사용되는 플렉서블 표시장치는 약 20만회의 피로수명을 확보할 것을 요구하고 있다. 그러나, 현재 굽힘부에서 기계적 신뢰성 문제가 발생하여 충분한 수명이 확보되기 어려운 상태이다.

[0003] 전자장치에 기계적 가동성을 부여하기 위하여 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 이러한 발전의 흐름에 따라 전자 기기에는 더욱 큰 기계적 응력을 수용할 수 있어야 한다. 이에 따라 유연 전자 소자에서 기계적 신뢰성을 확보할 수 있는 핵심 기술 개발이 필요하다. 기존의 전자기기에서는 높은 온도, 전류 밀도, 전압 등이 열 응력, 금속이온이동(electromigration), 유전체 파괴 등의 신뢰성 문제를 유발하는 주된 요인이었다. 하지만, 플렉시블 전자기기의 경우, 굽힘, 말림, 비틀림 등의 기계적 변형이 반복적으로 가해지게 되므로 제품 내부에서 넓은 면적을 차지하는 금속 배선 부분에서 특히 박리, 파괴, 피로 등의 기계적 신뢰성 문제가 발생하게 된다. 이러한

신뢰성 문제를 해결하기 위해서는 20만 번 이상의 장기 수명 평가가 필요하다.

[0004] 대표적으로 산업화된 기술은, 변형에 취약한 소자를 변형시키는 것이 아닌, 배선이나 기관과 같이 전기적 성능에 미치는 영향이 적은 부분을 변형성이 있는 재료로 대체하여 기계적 가동성을 부여하는 형태로 연구가 진행되었다. 그 중 하나로, 기존 유연 소자에 사용되는 적용된 기술의 경우, 홀스슈(horse shoe) 형태의 접혀있는 구조의 패턴을 통하여 금속 배선에 변형성을 부여하고, 그 위의 딱딱한 소자를 섬처럼 위치시켜 기계적 변형의 영향을 받지 않도록 한다. 이는 다음과 같은 문제점을 야기한다. 기관 위에 변형이 가능한 배선의 패턴을 위치시킬 수 있는 공간이 소자 주위에 필요하므로 필연적으로 집적도가 감소하며, 패터닝된 배선에 발생하는 변형이 여전히 존재하므로 배선에서 발생하는 피로가 성능의 저하를 발생시킨다는 점이다.

[0005] 본 연구진은 굽힘 변형에 대한 다양한 요인에 대해 연구해왔으며, 반복적인 굽힘 변형이 발생할 경우 재료에 발생하는 다양한 피로 현상에 대한 노하우를 보유하고 있다. 위의 연구를 바탕으로 하였을 때, 굽힘 변형이 발생시, 두께 방향으로 발생하는 응력 변화가 표면에 위치한 소자의 변형에 가장 큰 영향을 미치며, 이를 해소하거나 완화하는 방식을 통해 소자가 위치한 표면의 변형을 억제하고, 신뢰성을 개선할 수 있을 것이라 예측하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국특허출원번호 제20130097979호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 기계적 변형에 의한 우수한 피로 저항력을 가지는 유연 소자를 제공하는 것이다.

[0008] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 관점에 의하면, 기계적 변형에 의한 우수한 피로 저항력을 가지는 유연 소자가 제공된다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 유연 소자는, 제1 면과 상기 제1 면에 대향하는 제2 면을 포함하고, 상기 제1 면에 복수의 홈들이 구비된 기관; 및 상기 기관의 상기 제2 면 상에 위치하는 금속층;을 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 상기 유연 소자의 굽힘 방향에 대하여 소정의 각도를 가지고 연장될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 상기 기관의 두께 방향에 대하여 수직으로 연장될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 반복되는 패턴을 가질 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 동일한 간격으로 이격될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 0.1 mm 내지 2 mm 범위의 간격으로 이격될 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 동일한 깊이를 가질 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 상기 기관의 두께의 50% 내지 80%의 범위의 깊이를 가질 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 동일한 폭을 가질 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들은 10 μ m 내지 80 μ m 범위의 폭을 가질 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수의 홈들 사이의 간격은 상기 기관의 두께의 1/10 배 내지 5 배 범위일 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 기관의 변형율은 하기의 관계식 1을 만족할 수 있다.

[0022] <관계식 1>

$$\varepsilon \propto g \times \left(1 - \frac{d}{h}\right) \times \frac{1}{w}$$

[0023]

[0024] (여기에서, ε 는 변형률, g 는 홈 사이의 간격, d 는 홈의 깊이, h 는 기관의 두께, 및 w 는 홈의 폭임)

[0025] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 기관은 폴리아미드(Polyimide), PET(polyethylene terephthalate), 폴리우레탄(polyurethane), PDMS(Polydimethylsiloxane), PEBA(polyether block amides), EVA(ethylene-vinyl acetate), Ecoflex, Dragon skin, 실리콘 고무(silicon rubber) 또는 마이크로 두께의 박형 실리콘 웨이퍼를 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 기관은 10 μm 내지 1000 μm 범위의 두께를 가질 수 있다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 금속층은 구리(Cu), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 몰리브덴(Mo), 티타늄(Ti), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt) 또는 이들의 합금을 포함할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 금속층은 금속 나노 와이어, 금속-탄소 나노 섬유, 금속-탄소 나노 구조체, 및 그래핀 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 금속층은 10 nm 내지 1000 nm 범위의 두께를 가질 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 유연 소자는, 제1 면과 상기 제1 면에 대향하는 제2 면을 포함하고, 상기 제1 면에 복수의 홈들이 구비된 기관; 및 상기 기관의 상기 제2 면 상에 위치하는 금속층;을 포함하고, 상기 금속층은 탄소나노물질을 모재로 하여, 상기 탄소나노물질의 표면에 금속 물질이 코팅될 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 탄소나노물질은 탄소나노섬유를 포함할 수 있고, 상기 금속 물질은 구리를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명의 기술적 사상에 의할 경우, 상기 유연 소자는 기존 소자의 전기적 성능을 그대로 유지한 상태에서, 재료적인 변형 한계를 극복하기 위해 소자가 배치된 기관의 배면을 복수의 홈들을 가지도록 가공함으로써 기계적 변형 한계를 극복하고 신뢰성을 개선할 수 있다.

[0033] 상기 유연 소자는, 기관의 배면에 굽힘 방향에 수직한 방향으로 연장된 복수의 홈들을 형성하여, 전자 소자 또는 배선이 형성된 기관을 안쪽으로 굽히는 변형에 대해 표면 응력을 해소하고, 신뢰성을 유지할 수 있다. 상기 기관의 배면에 형성된 홈들은 일정 간격으로 배열된 직선 형태가 가능할 수 있다. 그러나, 이는 예시적이며 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다. 따라서, 표면에 발생하는 응력을 크게 낮춰 신뢰성을 크게 개선할 수 있으며, 표면의 소자 집적도에 영향을 미치지 않는다는 장점이 있다. 이를 위한 별도의 복잡한 공정이나 장치를 요구하지 않는 장점이 있다.

[0034] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 소자를 도시하는 배면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 1의 유연 소자를 A-A 선에 따라 절단한 단면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 소자에 구비된 홈들의 치수와 변형률 관계를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 거동 해석을 위한 시뮬레이션 모델을 도시한다.

도 5은 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 거동 해석을 위한 시뮬레이션 모델에 적용된 다양한 치수의 홈들의 형성을 도시한다.

도 6 내지 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 거동 해석을 위한 시뮬레이션 결과를 나타

낸다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자의 실물 사진이다.

도 15 내지 도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 사이클에 대한 저항 변화를 나타내는 그래프들이다.

도 18는 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자에서 금속층으로서 구리/탄소나노섬유를 적용한 경우를 도시하는 개략도이다.

도 19는 본 발명의 일실시예에 따른 도 18의 유연 소자의 굽힘변형 사이클에 대한 저항 변화를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자(100)를 도시하는 배면도이다.
- [0038] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 도 1의 유연 소자(100)를 A-A 선에 따라 절단한 단면도이다.
- [0039] 도 1 및 도 2를 참조하면, 유연 소자(100)는 기관(110) 및 금속층(120)을 포함한다. 기관(110)은 제1 면(112)과 제1 면(112)에 대향하는 제2 면(114)을 포함한다. 기관(110)의 제1 면(112)에 복수의 홈들(130)이 구비될 수 있다. 금속층(120)은 기관(110)의 제2 면(114) 상에 위치할 수 있다.
- [0040] 기관(110)은 다양한 절연성 물질을 포함할 수 있다. 또한, 기관(110)은 다양한 플렉서블 특징을 가지는 물질을 포함할 수 있다. 기관(110)은, 예를 들어 폴리이미드(Polyimide), PET(polyethylene terephthalate), 폴리우레탄(polyurethane), PDMS(Polydimethylsiloxane), PEBA(polyether block amides), EVA(ethylene-vinyl acetate), Ecoflex, Dragon skin, 실리콘 고무(silicon rubber), 또는 마이크로 두께의 박형 실리콘 웨이퍼를 포함할 수 있다. 기관(110)은 10 μ m 내지 1000 μ m 범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0041] 금속층(120)은 다양한 전도성 물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 금속을 포함할 수 있고, 예를 들어 구리(Cu), 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 몰리브덴(Mo), 티타늄(Ti), 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt) 또는 이들의 합금을 포함할 수 있다. 금속층(120)은 금속 나노 와이어, 금속-탄소 나노 섬유, 금속-탄소 나노 구조체, 및 그래핀 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 금속층(120)은 10 nm 내지 1000 nm 범위의 두께를 가질 수 있다. 금속층(120)은 배선이 배치되거나 또는 전자소자가 배치될 수 있다.
- [0042] 유연 소자(100)는 기관(110)의 두께 방향인 하측 방향(또는 상측 방향)으로 구부러질 수 있다. 복수의 홈들(130)은 유연 소자(100)가 구부러지는 방향에 대하여, 즉 유연 소자(100)의 굽힘 방향에 대하여, 소정의 각도를 가지고 연장될 수 있다. 예를 들어, 복수의 홈들(130)은 기관(110)의 두께 방향에 대하여 수직으로 연장될 수 있다.
- [0043] 복수의 홈들(130)은 반복되는 패턴을 가질 수 있다. 복수의 홈들(130)은 동일한 간격으로 이격될 수 있다. 복수의 홈들(130)은 동일한 깊이를 가질 수 있다. 복수의 홈들(130)은 동일한 폭을 가질 수 있다. 그러나, 이는 예시적이며, 복수의 홈들(130)이 다른 깊이를 가지거나, 다른 폭을 가지거나, 또는 복수의 홈(130)이 서로 다른 간격으로 이격되는 경우들도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다.
- [0044] 복수의 홈들(130)은, 예를 들어 0.1 mm 내지 2 mm 범위의 간격으로 이격될 수 있다. 복수의 홈들(130)은, 예를 들어 기관(110)의 두께의 50% 내지 80%의 범위의 깊이를 가질 수 있다. 예를 들어, 기관(110)이 125 μ m의 두께를 가지는 경우에는, 복수의 홈들(130)은 62.5 μ m 내지 100 μ m 범위의 깊이를 가질 수 있다. 복수의 홈들(130)은, 예를 들어 10 μ m 내지 80 μ m 범위의 폭을 가질 수 있다. 상기 복수의 홈들(130) 사이의 간격은 상기 기관의 두께의 1/10 배 내지 5 배 범위일 수 있다.

[0045] 복수의 홈들(130)은 기관(110)의 일부 영역을 제거하여 형성되므로, 상기 복수의 홈들(130)을 형성하는 방법은, 블레이드 등을 이용한 물리적 방식, 식각과 같은 화학적 방식, 레이저 등을 이용한 광원 방식 등 다양한 방법을 이용하여 수행될 수 있다. 또한, 복수의 홈들(130)은 도시된 바와 같은 직선 뿐만 아니라 다양한 패턴 형태로도 형성할 수 있고, 이러한 경우에는 특정 방향의 변형성을 개선하는 추가적인 효과를 제공할 수 있다.

[0046] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자에 구비된 홈들의 치수와 변형률 관계를 나타내는 도면이다.

[0047] 도 3을 참조하면, (a)는 기관에 홈이 형성되지 않은 경우로서, 기관의 변형률(ε)은 기관의 두께(h)에 비례하고, 곡률반경(r_0)에 반비례하는 관계를 나타낸다. 반면, (b)는 기관에 홈이 형성된 경우로서, 기관의 변형률(ε)은 홈 사이의 간격(g), 홈의 깊이(d), 기관의 두께(h), 및 홈의 폭(w)과 관련됨을 알 수 있고 하기의 관계식 1로 나타낼 수 있다.

[0048] <관계식 1>

$$\varepsilon \propto g \times \left(1 - \frac{d}{h}\right) \times \frac{1}{w}$$

[0049] (여기에서, ε 는 변형률, g는 홈 사이의 간격, d는 홈의 깊이, h는 기관의 두께, 및 w는 홈의 폭임)

[0051] 따라서, 기관에 홈이 형성된 경우에는, 굽힘 변형의 변형률이 두께에 비례하여 증가하며, 홈에 의하여 국부적인 두께 감소효과를 발생시키게 된다. 기관 표면에 발생하는 변형률은 홈의 간격이 멀어질수록 증가하며, 홈의 깊이 및 폭이 커질수록 감소하게 된다.

[0052] 이하에서는, 상기 유연 소자의 굽힘변형 거동 해석을 위한 시뮬레이션 결과를 설명하기로 한다.

[0053] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 거동 해석을 위한 시뮬레이션 모델을 도시한다.

[0054] 도 4를 참조하면, 상기 유연 소자의 굽힘변형 거동을 해석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 상기 시뮬레이션 조건으로서, 탄성 모델을 산정하였고, 영률은 3.7 GPa, 포아송비는 0.43 로 PET, PI 등과 같은 유연기관을 대표할 수 있는 수치를 선택하였다. 유연 소자의 길이는 20 mm, 폭 1 mm, 두께 100 μ m 로 설정하였다. 굽힘변형 거동은 U자 굽힘변형 모델을 모사하였다. 굽힘 반경은 2.5 mm이었고, 2% 변형률(strain) 조건을 선택하였다.

[0055] 도 5은 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 거동 해석을 위한 시뮬레이션 모델에 적용된 다양한 치수의 홈들의 형성을 도시한다.

[0056] 도 5를 참조하면, 상기 홈의 깊이가 기관의 전체 두께에 대하여 20%, 50% 및 80% 인 경우가 도시되어 있다. 또한, 상기 홈의 폭이 10 μ m, 20 μ m 및 80 μ m 인 경우가 도시되어 있다. 또한, 상기 홈들 사이의 간격이 0.1 mm, 0.5 mm 및 2.0 mm 인 경우가 도시되어 있다.

[0057] 도 6 내지 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 거동 해석을 위한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[0058] 도 6의 (a)를 참조하면, 상기 기관에서 홈이 형성된 영역은 도시된 바와 같은 굽힘력이 인가되어 기관이 구부러지면, 인장 변형이 야기되며, 상기 기관의 파괴에 영향을 미치는 변형이 된다. 상기 영역의 변형률을 외측 변형률로 지칭하기로 한다. 반면, 상기 기관에서 반대측인 홈이 형성되지 않은 영역은 압축 변형이 야기되며, 전자 소자에 발생하는 변형이 된다. 상기 영역의 변형률을 내측 변형률로 지칭하기로 한다.

[0059] 도 6의 (b)를 참조하면, 기관 두께에 대한 홈의 깊이에 따른 변형률에 대하여 분석한 결과, 상기 내측 변형률은 기관 두께에 대한 홈의 깊이가 증가될수록 증가되었다. 상기 내측 변형률의 선형회기(linear regression) 기울기는 약 0.019로 나타났다. 반면, 상기 외측 변형률은 기관 두께에 대한 홈의 깊이가 증가되는 초기에는 변형률이 증가하다가 이후 감소하였다. 상기 외측 변형률의 선형회기 기울기는 약 -0.047로 나타났다. 상기 기관의 파괴 변형률 이하의 외측 변형률을 가지는 경우에서, 최소의 내측 변형률을 확보할 수 있는 조건을 파악할 수 있다.

[0060] 도 7을 참조하면, 굽힘 반경이 2.5 mm 이고, 상기 홈들의 폭이 20 μ m 이고, 상기 홈들 사이의 간격이 0.1 mm 인 경우의 시뮬레이션 결과가 변형률에 대하여 다른 색상으로 나타나 있다. 홈이 없는 경우에는 중앙부분이 짙은 색상으로 표시되어 있고, 이는 응력집중에 의하여 변형이 크게 발생하고 이에 따라 변형률이 크게 나타났다. 반면, 중앙에서 멀어질수록 흐린 색상으로 변화하는 바, 변형률이 감소되는 것으로 분석된다. 반면, 홈이 형성

된 경우에는, 홈의 깊이가 증가될수록 전체적으로 짙은 색상에서 흐린 색상으로 변화되는 결과를 얻을 수 있다. 이는 변형이 전체적으로 감소하는 것으로 분석되고, 또한 중앙부와 외측의 변형률의 차이가 감소됨을 알 수 있다. 예를 들어, 홈의 깊이가 기관의 두께의 80%인 경우에는, 전체적으로 변형률이 전체적으로 거의 균일하게 되는 것으로 분석된다. 따라서, 기관 표면에 발생하는 내측 변형률은 홈의 깊이가 증가될수록 감소되며, 예를 들어 선형적으로 감소될 수 있다.

[0061] 도 8 내지 도 13에서, (a)는 시뮬레이션 결과로서 홈의 깊이가 50%인 경우에서의 변형률이 색상으로 나타나 있고, (b)는 기관 두께에 대한 홈의 깊이에 따른 변형률을 나타내는 그래프이다.

[0062] 도 8을 참조하면, 굽힘 반경이 2.5 mm 이고, 상기 홈들의 폭이 20 μm 이고, 상기 홈들 사이의 간격이 0.1 mm 인 경우의 시뮬레이션 결과가 나타나 있다. 상기 홈들의 깊이가 50%에서 최대 외측 변형률은 3.90% 이었고, 내측 변형률은 -1.83% 이었다. 색상을 이용하여 분석한 굽힘변형 거동에서는, 홈이 형성된 영역에 대응하여 변형률이 약간 높게 나타났다. 상기 내측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 점진적으로 증가되었다. 상기 내측 변형률의 선형회기 기울기는 약 0.019로 나타났다. 반면, 상기 외측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가되는 초기에는 변형률이 증가하다가 이후 감소하였다. 상기 외측 변형률의 선형회기 기울기는 약 -0.047로 나타났다.

[0063] 도 9를 참조하면, 굽힘 반경이 2.5 mm 이고, 상기 홈들의 폭이 20 μm 이고, 상기 홈들 사이의 간격이 0.5 mm 인 경우의 시뮬레이션 결과가 나타나 있다. 상기 홈들의 깊이가 50%에서 최대 외측 변형률은 8.37% 이었고, 내측 변형률은 -4.10% 이었다. 색상을 이용하여 분석한 변형 거동에서는, 도 8의 경우와 비교하여, 상기 홈들이 형성된 영역에 대응하여 변형률이 더 높게 나타났다. 상기 내측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 감소되는 경향을 나타내었고, 70% 이상에서는 다시 증가되었다. 상기 내측 변형률의 선형회기 기울기는 약 -0.018로 나타났다. 반면, 상기 외측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 홈들의 깊이가 증가되는 초기에는 변형률이 증가하다가 60%에서 최고값을 나타낸후 다시 감소하였다. 상기 외측 변형률의 선형회기 기울기는 약 0.015로 나타났다. 도 8과 비교하면, 도 9의 결과는 상기 홈들 사이의 간격이 증가된 경우로서 다른 양상을 보이고 있다. 구체적으로, 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 약 50% 내지 80% 범위에서, 외측 변형률이 최대이고 내측 변형률이 최소값을 나타내었다.

[0064] 도 10을 참조하면, 굽힘 반경이 2.5 mm 이고, 상기 홈들의 폭이 20 μm 이고, 상기 홈들 사이의 간격이 2.0 mm 인 경우의 시뮬레이션 결과가 나타나 있다. 상기 홈들의 깊이가 50%에서 최대 외측 변형률은 11.57% 이었고, 내측 변형률은 -5.86% 이었다. 색상을 이용하여 분석한 변형 거동에서는, 도 8 및 도 9의 경우와 비교하여, 상기 홈들이 형성된 영역에 대응하여 변형률이 더 높게 나타났다. 상기 내측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 상대적으로 급격하게 감소되었다. 상기 내측 변형률의 선형회기 기울기는 약 -0.102로 나타났다. 반면, 상기 외측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 홈들의 깊이가 증가될수록 상대적으로 급격하게 증가하였다. 상기 외측 변형률의 선형회기 기울기는 약 0.177로 나타났다.

[0065] 도 8 내지 도 10의 결과로부터, 상기 홈들 사이의 간격이 일정 수준 이상으로 커지면, 응력 집중부가 발생하고, 이에 따라 상기 홈들의 깊이에 대한 변형률의 변화가 커지므로 일정 간격 이하로 상기 홈들을 형성하는 것이 바람직하다. 상기 홈들 사이의 간격이 0.1 mm인 경우와 비교하면, 상기 홈들 사이의 간격이 2 mm에서는 응력집중이 크게 발생하고, 이에 따라 변형률의 변화가 커짐을 알 수 있다. 상기 홈들 사이의 간격은 기관의 두께의 5 배 이하로 홈의 간격을 제어하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 상기 복수의 홈들 사이의 간격은 상기 기관의 두께의 1/10 배 내지 5 배 범위일 수 있다.

[0066] 또한, 홈의 깊이와 변형률 완화는 비례적인 관계로서, 홈의 깊이가 깊어질수록 표면 변형이 완화될 수 있다. 그러나, 홈의 깊이가 매우 커서, 예를 들어 기관 두께의 80%를 초과하는 경우에는 오히려 기관이 파괴될 수 있다. 상기 기관의 두께에 대한 홈의 깊이는, 예를 들어 50% 내지 80%의 범위일 수 있다. 바람직하게는, 약 60%일 수 있다.

[0067] 상술한 시뮬레이션 결과에서는 홈의 간격이 작을수록 낮은 변형률을 나타내고 따라서 신뢰성을 개선할 수 있다. 그러나, 실제로는 상기 홈의 간격이 일정 수준 이상이 되어야 목표하는 신뢰성을 이룰 것으로 분석된다. 그 이유는 홈들에 응력집중이 야기되어 신뢰성 저하가 발생하므로, 홈의 간격이 작을수록 이러한 응력 집중부의 영역이 넓어지게 되고, 이에 따라 변형 영역이 커지게 되어, 결과적으로 신뢰성이 저하될 수 있다. 그러나, 상기 홈의 간격이 일정 수준을 초과하는 경우, 예를 들어 2 mm 를 초과하는 경우에는 기관의 파괴가 발생할 수 있다. 따라서, 상기 복수의 홈들은 0.1 mm 내지 2 mm 범위의 간격으로 이격될 수 있다. 바람직하게는 0.5 mm 간격일 수 있다.

- [0068] 도 11을 참조하면, 굽힘 반경이 2.5 mm 이고, 상기 홈들 사이의 간격이 0.1 mm 이고, 상기 홈들의 폭이 10 μ m 인 경우의 시뮬레이션 결과가 나타나 있다. 상기 홈들의 깊이가 50%에서 최대 외측 변형률은 4.26% 이었고, 내측 변형률은 -1.66% 이었다. 색상을 이용하여 분석한 굽힘변형 거동에서는, 홈이 형성된 영역에 대응하여 변형률이 약간 높게 나타났다. 상기 내측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 증가되었다. 상기 내측 변형률의 선형회기 기울기는 약 0.021로 나타났다. 반면, 상기 외측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 상대적으로 급격하게 감소하였다. 상기 내측 변형률의 선형회기 기울기는 약 -0.058로 나타났다.
- [0069] 도 12를 참조하면, 굽힘 반경이 2.5 mm 이고, 상기 홈들 사이의 간격이 0.1 mm 이고, 상기 홈들의 폭이 20 μ m 인 경우의 시뮬레이션 결과가 나타나 있다. 상기 홈들의 깊이가 50%에서 최대 외측 변형률은 3.56% 이었고, 내측 변형률은 -1.64% 이었다. 색상을 이용하여 분석한 굽힘변형 거동에서는, 홈이 형성된 영역에 대응하여 변형률이 약간 높게 나타났으나, 도 11에 비하여 그 영향력이 작게 나타났다. 상기 내측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 점진적으로 증가되었다. 상기 내측 변형률의 선형회기 기울기는 약 0.019로 나타났다. 반면, 상기 외측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가되는 초기에는 변형률이 증가하다가 이후 감소하였다. 상기 외측 변형률의 선형회기 기울기는 약 -0.047로 나타났다. 참고로, 도 11의 결과는 상기 도 8의 결과와 동일함에 유의한다.
- [0070] 도 13을 참조하면, 굽힘 반경이 2.5 mm 이고, 상기 홈들 사이의 간격이 0.1 mm 이고, 상기 홈들의 폭이 80 μ m 인 경우의 시뮬레이션 결과가 나타나 있다. 상기 홈들의 깊이가 50%에서 최대 외측 변형률은 2.11% 이었고, 내측 변형률은 -1.47% 이었다. 색상을 이용하여 분석한 굽힘변형 거동에서는, 상기 홈들이 형성된 영역의 영향이 거의 나타나지 않았다. 상기 내측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 증가되었다. 상기 내측 변형률의 선형회기 기울기는 약 0.022로 나타났다. 반면, 상기 외측 변형률은 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 증가될수록 증가되었다. 상기 외측 변형률의 선형회기 기울기는 약 -0.030로 나타났다.
- [0071] 도 11 내지 도 13의 결과로부터, 상기 홈들의 폭이 커질수록 변형률은 전체적으로 감소하며, 특히 상기 홈들이 배치된 영역의 변형률이 절반가량 크게 감소함을 알 수 있다.
- [0072] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자의 실물 사진이다.
- [0073] 도 14를 참조하면, 폴리이미드로 구성된 투명한 기관과 상기 기관 상에 위치하는 구리로 구성된 금속층이 나타나 있다. 상기 금속층이 하측에 배치되고, 상기 기관이 상측에 배치된 상태의 사진이다. 나타난 주름 형상은 상기 기관에 형성된 홈들에 형성된 것으로서, 상기 금속층의 형상이 아니다.
- [0074] 도 15 내지 도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자의 굽힘변형 사이클에 대한 저항 변화를 나타내는 그래프들이다.
- [0075] 도 15 내지 도 17에서, 상기 유연 소자는, 125 μ m의 두께의 폴리이미드 기관 상에 100 nm 두께의 구리 박막이 증착되어 있다. 상기 기관에 형성된 홈들의 간격은 간격 0.2 mm 이었다. 굽힘 반경은 4.16 mm (2% 변형률 조건임)이었고, 슬라이딩 굽힘 변형을 200,000 회 사이클까지 진행하였다. 저항 변화는 상기 구리 박막의 저항 변화를 나타낸다.
- [0076] 도 15를 참조하면, 상기 기관의 두께에 대한 다양한 홈들의 깊이에 대하여 저항 변화가 나타나 있다. 상기 홈들의 깊이는 홈이 없는 경우(0%), 5%, 24%, 47%, 62%, 및 80% 이었다. 홈이 없는 경우를 기준으로, 5%, 24%, 및 47%의 경우에는 굽힘변형 사이클 횟수의 증가에 따른 저항의 증가가 더 크게 나타났다. 반면, 62%, 및 80%에서는 굽힘변형 사이클 횟수의 증가에 따른 저항의 증가가 더 작게 나타났다. 저항이 더 크게 증가한다는 것은 배선을 형성할 수 있는 구리층에 손상이 인가됨을 의미하므로, 저항의 증가가 작을수록 신뢰성이 높음을 알 수 있다. 따라서, 상기 기관의 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 50% 이상인 것이 바람직하다.
- [0077] 도 16을 참조하면, 상기 기관 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 80%인 경우에 대한 실험 결과이다. 총 5개의 샘플 중에 3개는 약 100,000회의 굽힘변형 사이클 횟수에서 파괴되었고, 나머지 2 개는 200,000회의 굽힘변형 사이클 횟수까지 파괴되지 않았다. 아래의 사진에서 적색 원은, 굽힘변형 사이클에 따라 파괴된 유연 소자를 나타낸다. 따라서, 상기 기관의 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 적어도 80% 이하인 것이 바람직하다. 특히, 신뢰성 개선을 위하여는, 상기 기관의 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 약 60% 인 것이 바람직하다.
- [0078] 도 17을 참조하면, 상기 기관의 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 62%이었다. 상기 홈들 사이의 간격은 0.2 mm, 0.5 mm, 및 2 mm 로 변화시켰다. 상기 홈들 사이의 간격이 0.2 mm 경우에는, 홈이 없는 경우에 비하여 굽힘변형

사이클 횟수의 증가에 따른 저항 증가가 작게 나타났으나, 0.5 mm 및 2 mm 에 비하면 큰 저항 증가를 나타내었다. 이는 0.2 mm의 간격의 경우에는 홈에 의한 응력 집중이 중첩되므로, 신뢰성 개선의 효과가 감소되는 것으로 분석된다. 반면, 2 mm 의 경우에는 약 100,000회의 굽힘변형 사이클 횟수에서 파괴되었다. 따라서, 상기 홈들 사이의 간격은 0.1 mm 내지 2 mm 범위일 수 있고, 특히 0.5 mm 간격이 신뢰성 개선 효과가 가장 크게 나타났다.

[0079] 도 18는 본 발명의 일실시예에 따른 유연 소자에서 금속층으로서 구리/탄소나노섬유를 적용한 경우를 도시하는 개략도이다.

[0080] 도 18을 참조하면, PET로 구성된 기판 상에 금속층(120a)으로서 구리/탄소나노섬유(Cu/CNF)를 적용한 경우이다. 상기 구리/탄소나노섬유는 탄소나노섬유(carbon nano fiber, CNF)의 표면에 구리(Cu)가 코팅된 형태이다. 상기 탄소나노섬유의 전체 표면을 상기 구리가 덮을 수 있다. 또한, 상기 탄소나노섬유의 표면에 상기 구리가 복수의 입자로서 삽입될 수 있다.

[0081] 상기 구리/탄소나노섬유는, 예를 들어 약 400℃ 내지 약 600℃ 범위의 온도에서, 예를 들어 약 500℃의 온도에서, 또한 예를 들어 약 10 mTorr 내지 약 100 mTorr 범위의 압력에서, 예를 들어 약 50 mTorr 범위의 압력에서 형성할 수 있다. 우측 하단에는 상기 유연 소자의 실물이 나타나있다.

[0082] 상기 구리/탄소나노섬유는 예시적이며, 구리를 대신하여 다양한 금속 물질이 적용되는 경우와 탄소나노섬유를 대신하여 다양한 탄소나노물질이 적용되는 경우가 본 발명의 기술적 사상에 포함된다. 즉, 상기 금속층은 탄소나노물질을 모재로 하여, 상기 탄소나노물질의 표면에 금속 물질이 코팅될 수 있다.

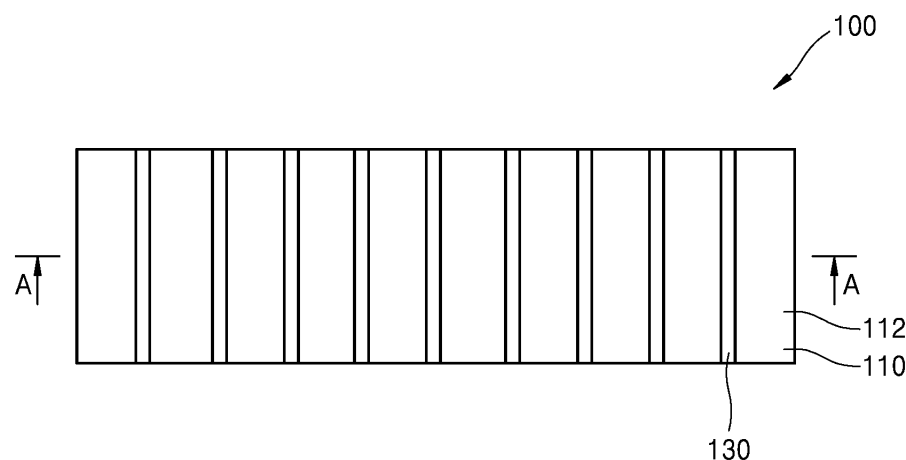
[0083] 도 19는 본 발명의 일실시예에 따른 도 18의 유연 소자의 굽힘변형 사이클에 대한 저항 변화를 나타내는 그래프이다.

[0084] 도 19를 참조하면, 유연소자는 구리/탄소나노섬유가 금속층으로 구성되어 있다. 또한, 상기 유연 소자에서, 상기 기판의 두께에 대한 상기 홈들의 깊이가 50%이었고, 상기 홈의 폭은 20 μm 이었고, 상기 홈들 사이의 간격은 2 mm 이었다. 상기 유연 소자가 홈이 없는 경우에는, 굽힘변형 사이클 횟수가 증가됨에 따라 저항이 지속적으로 증가되었다. 반면, 상기 유연 소자가 홈이 있는 경우에는, 500,000회의 굽힘변형 사이클 횟수까지도 저항변화가 거의 나타나지 않았다. 이러한 결과는 상술한 바와 같이, 홈을 구비함에 따른 한 신뢰성 증가와 함께, 탄소나노섬유가 굽힘변형을 일정 수준으로 흡수할 수 있어, 결과적으로 상기 유연 소자가 굽힘변형에 대하여 강화 효과를 가지는 것으로 분석된다.

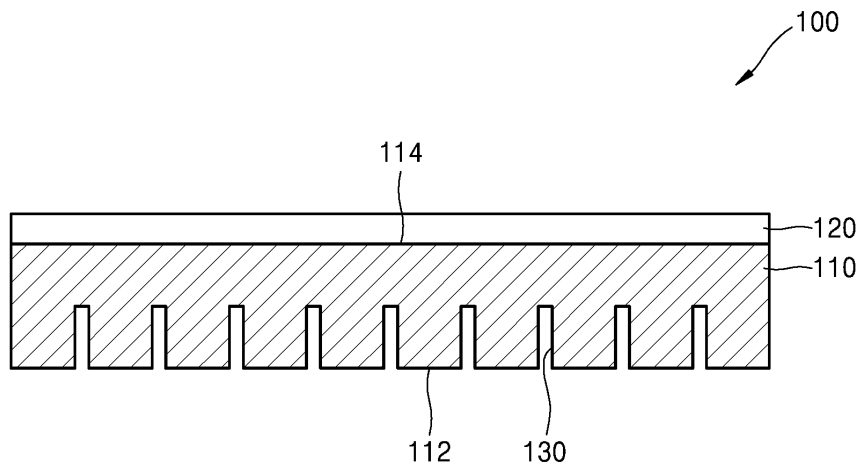
[0085] 이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

도면

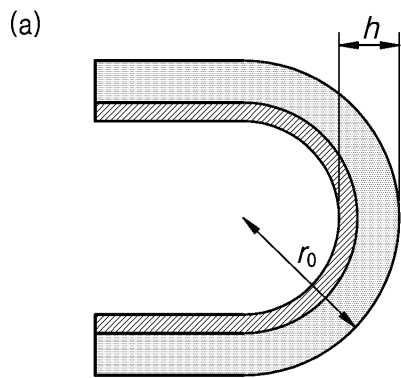
도면1



도면2

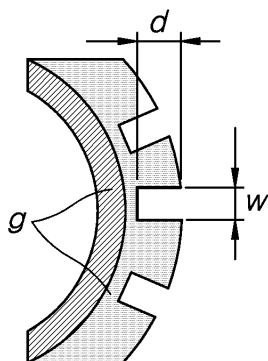


도면3



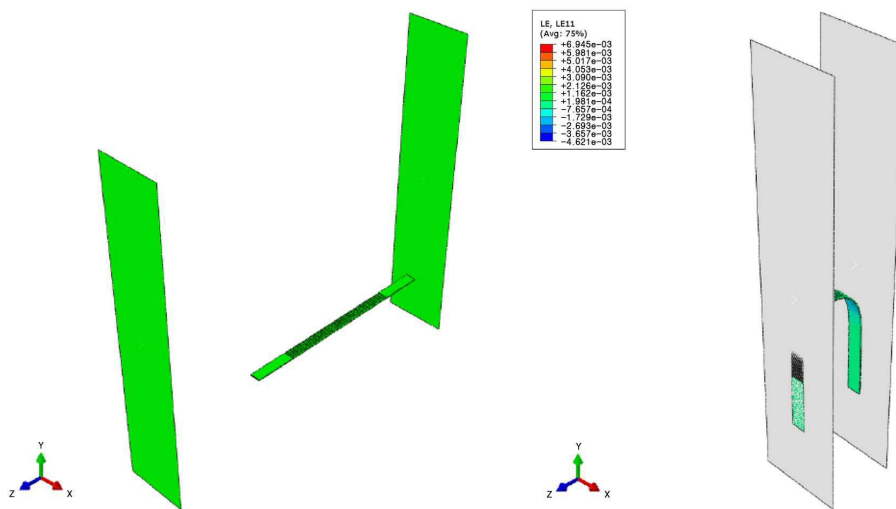
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\pi r - \pi r_0}{\pi r_0} = \frac{h}{2r_0}$$

(b)



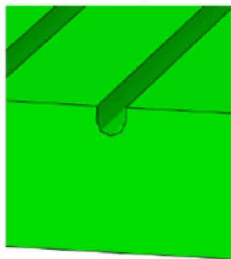
$$\begin{aligned} \varepsilon &\propto h \\ &\propto g \times \left(1 - \frac{d}{h}\right) \times \frac{1}{w} \end{aligned}$$

도면4

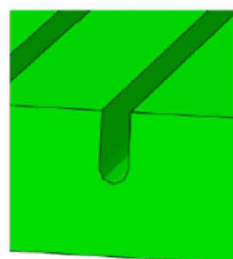


도면5

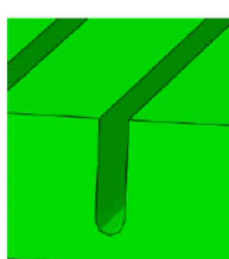
홈의 깊이



20%

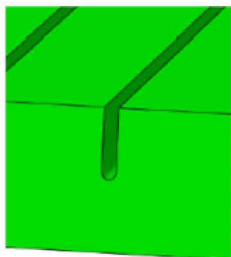


50%

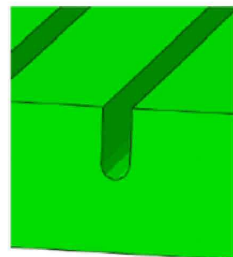


80%

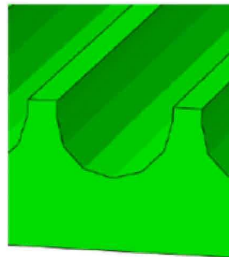
홈의 폭



10 μm

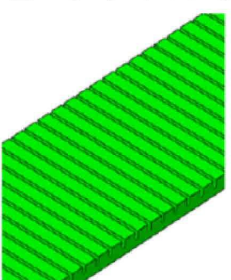


20 μm

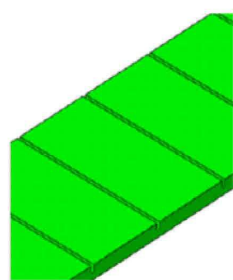


80 μm

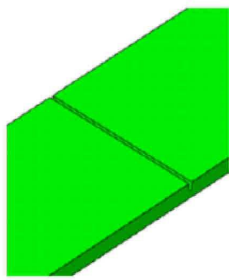
홈 사이의 간격



0.1 mm

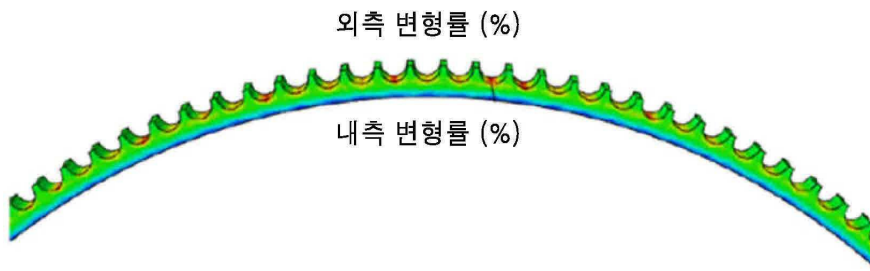


0.5 mm

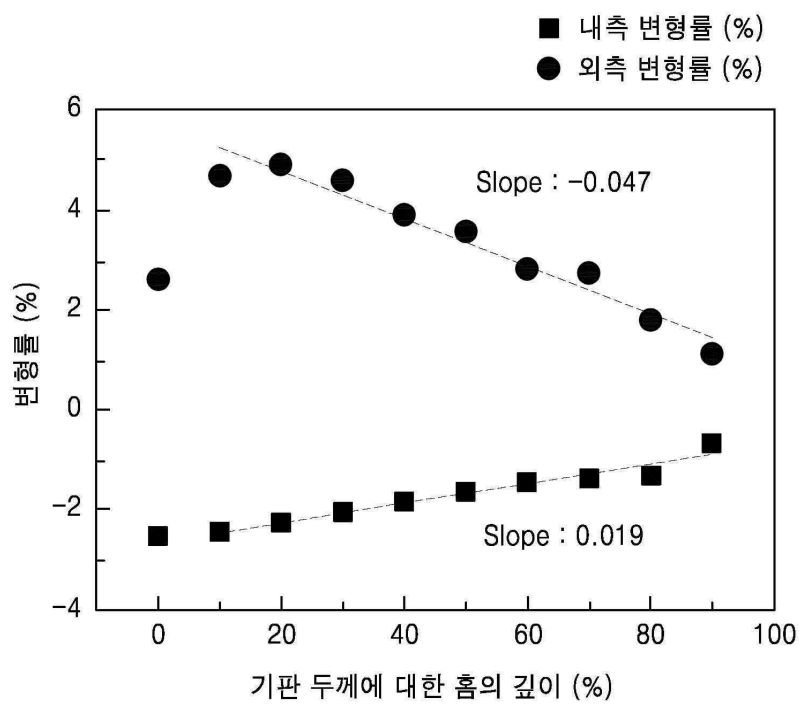


2.0 mm

도면6

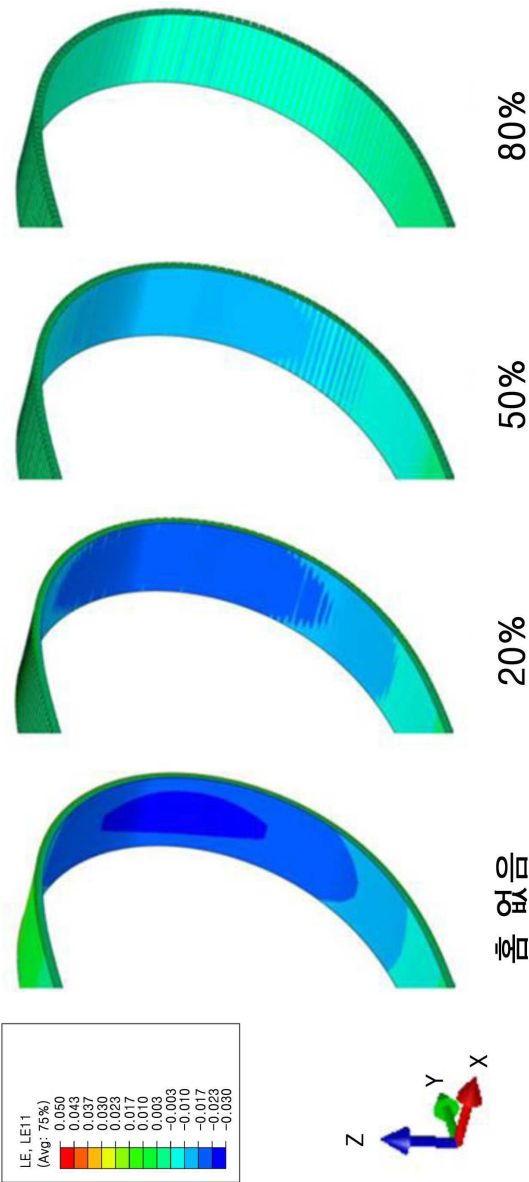


(a)

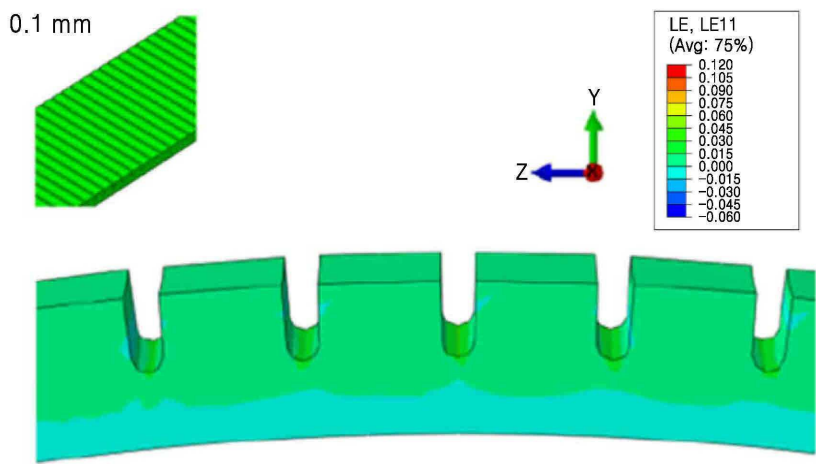


(b)

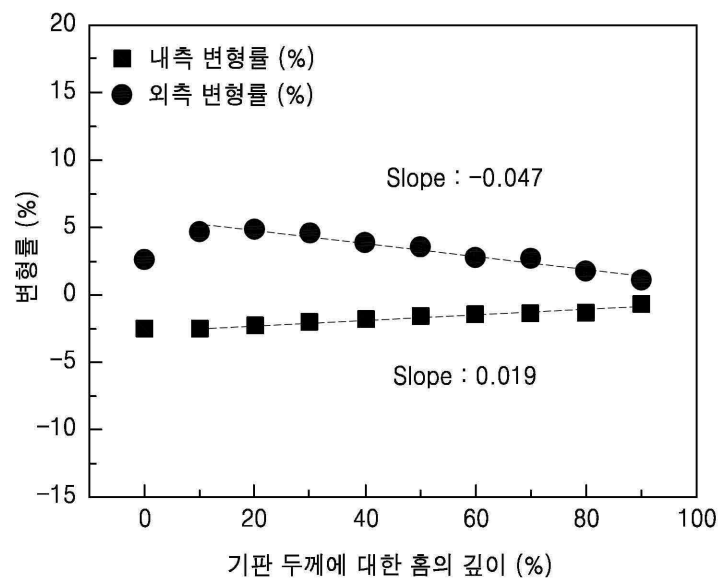
도면7



도면8

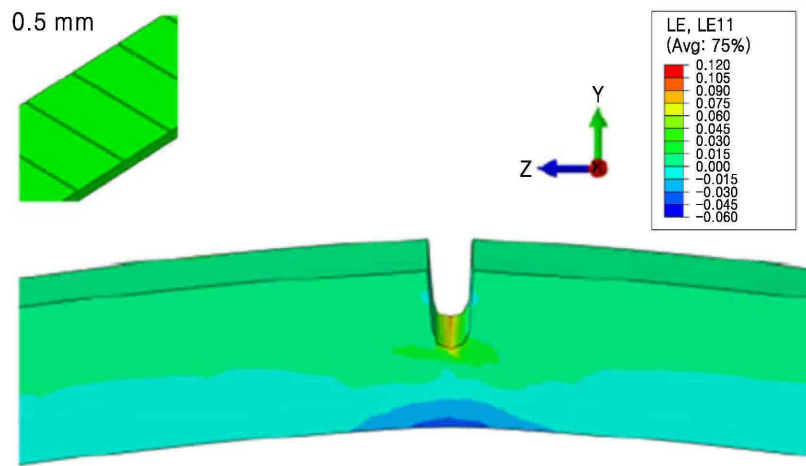


(a)

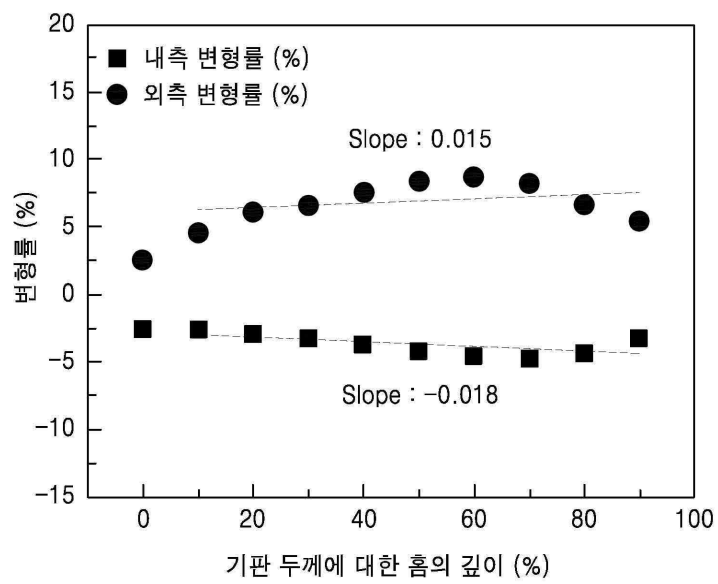


(b)

도면9

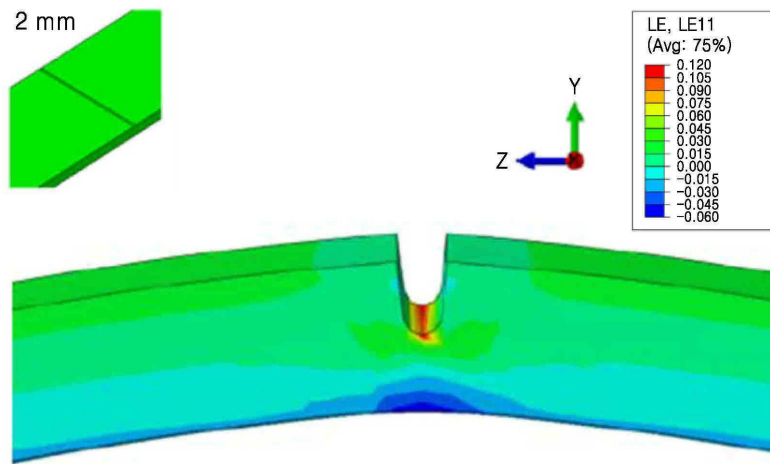


(a)

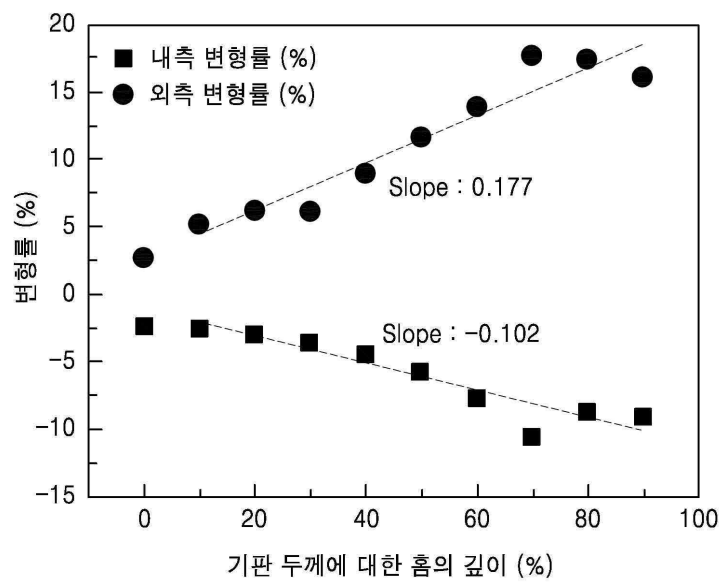


(b)

도면10

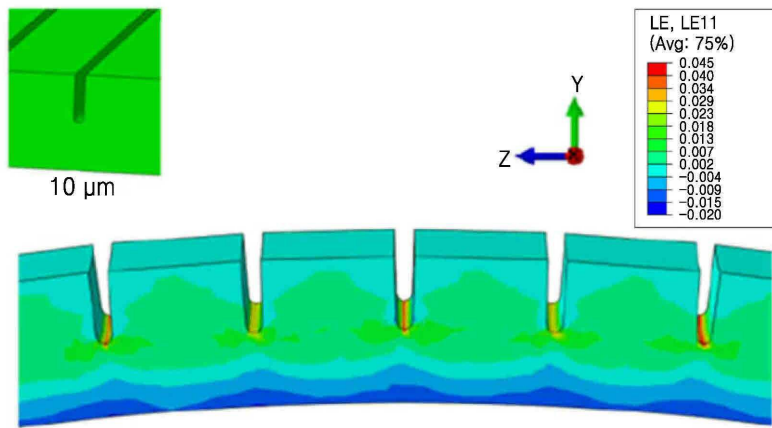


(a)

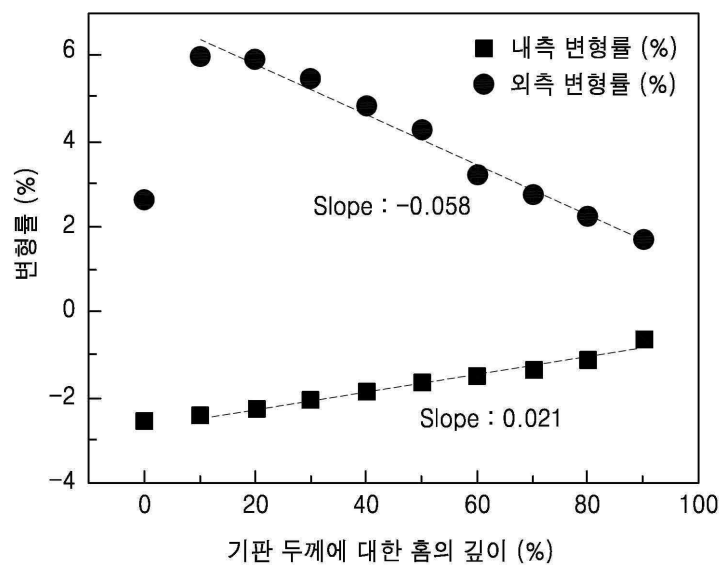


(b)

도면11

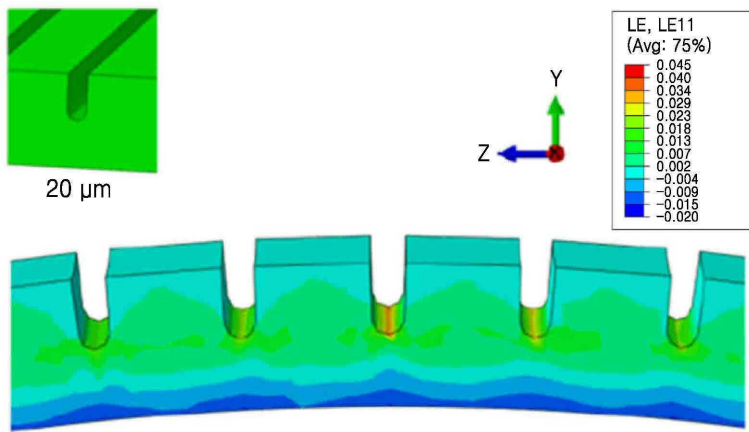


(a)

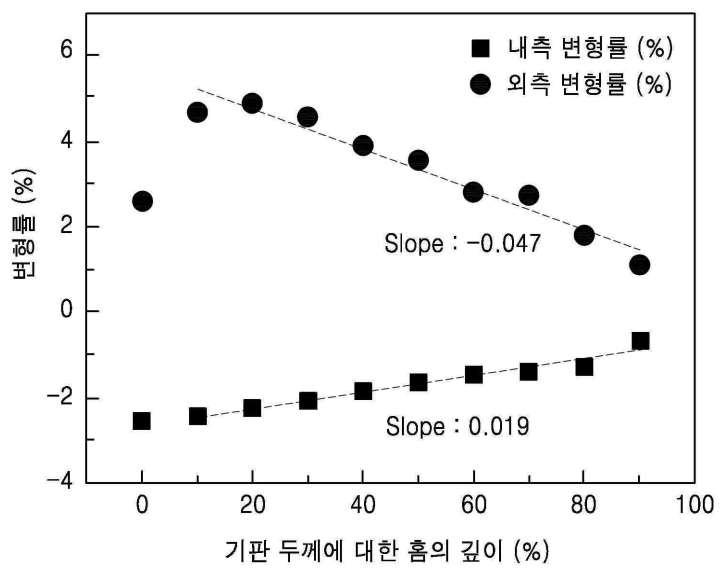


(b)

도면12

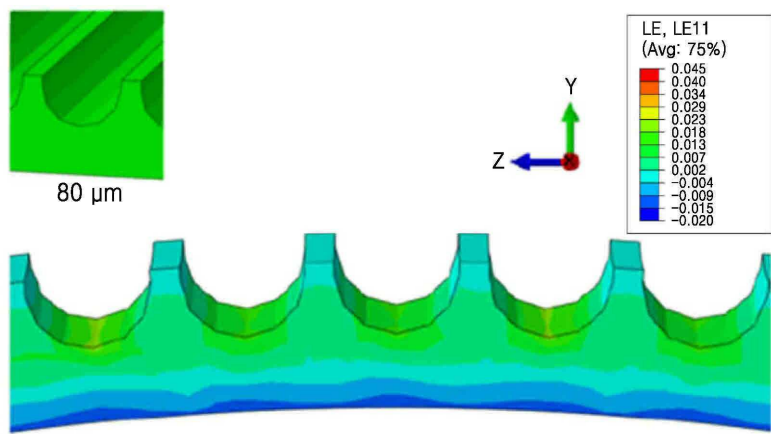


(a)

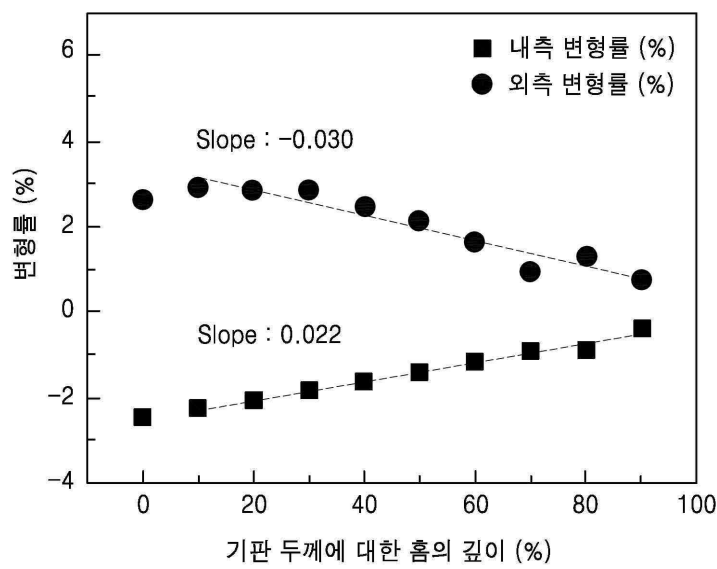


(b)

도면13



(a)

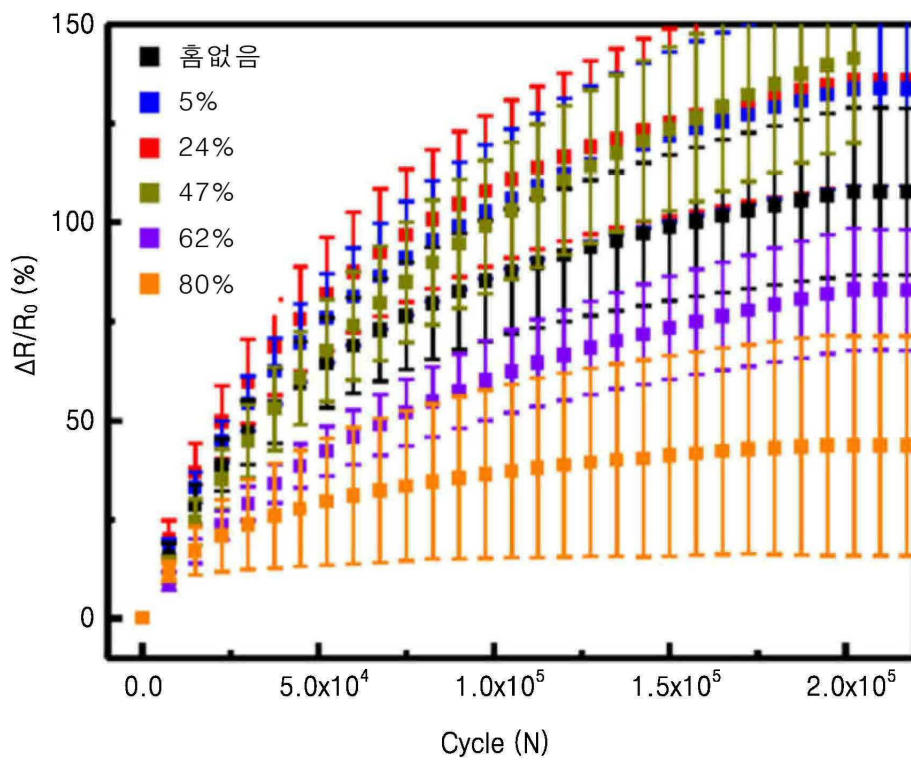


(b)

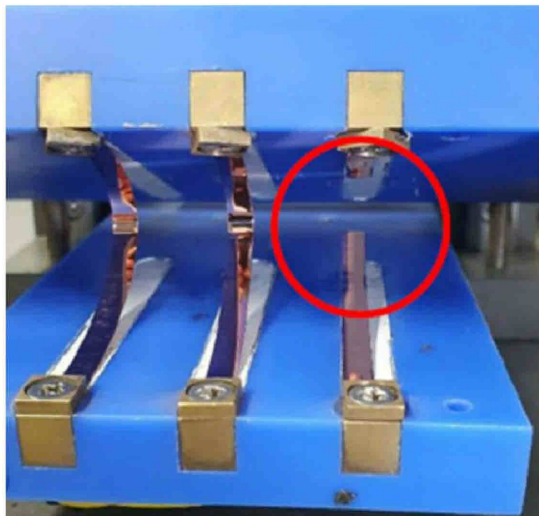
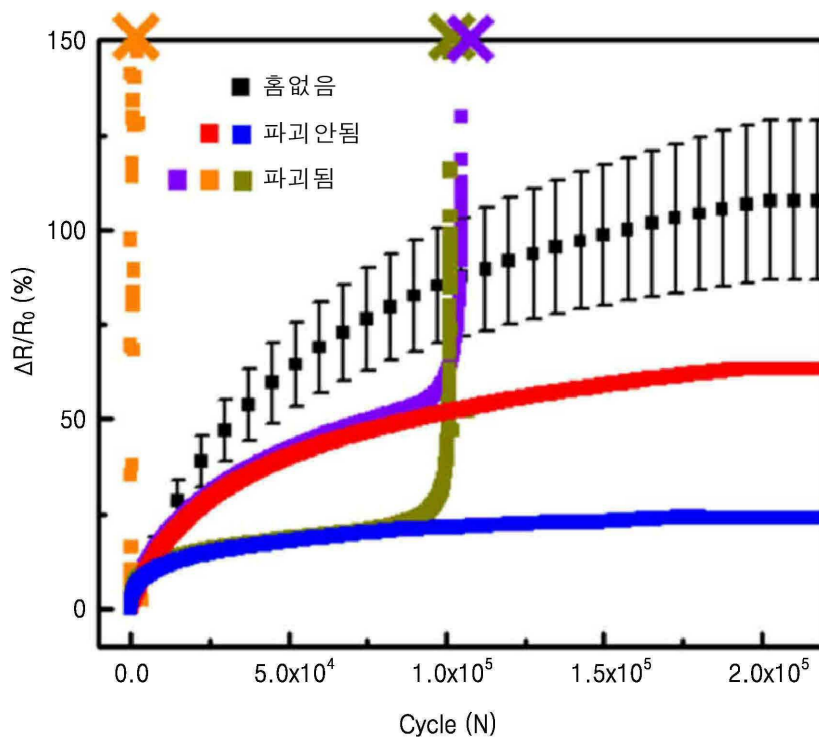
도면14



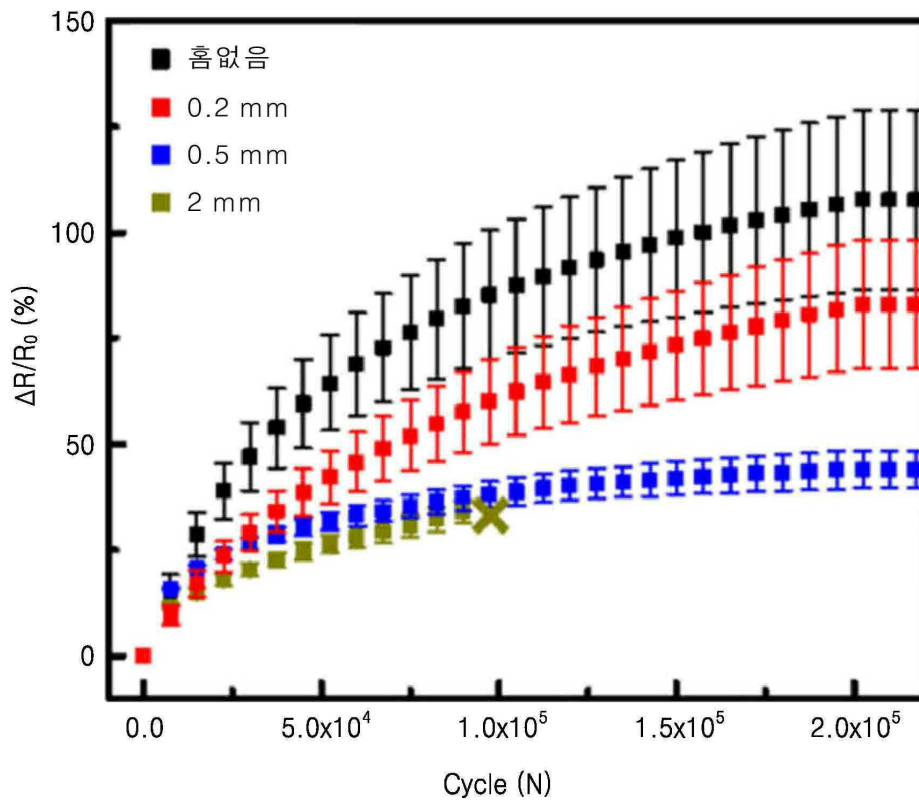
도면15



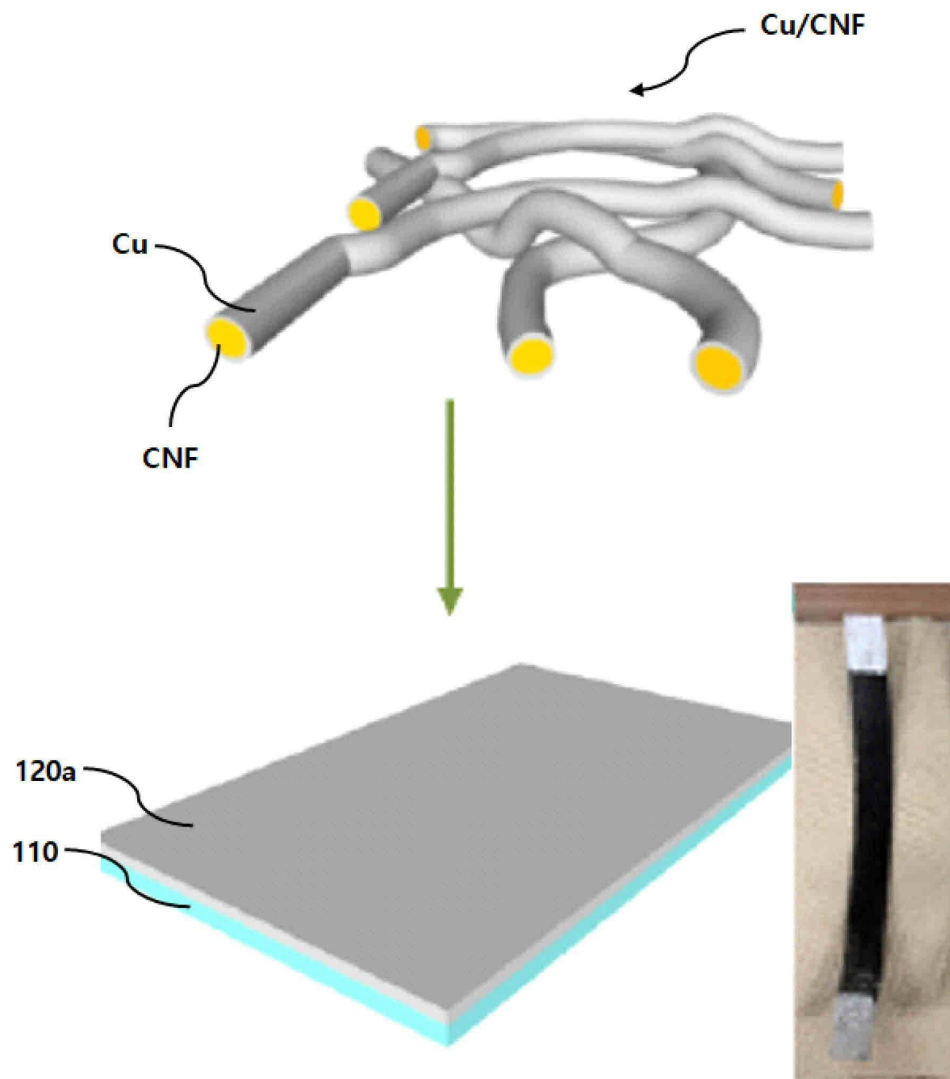
도면16



도면17



도면18



도면19

