(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0057288
(43) 공개일자 2016년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/00 (2006.01) *G01R 19/165* (2006.01)
G01R 31/26 (2014.01) *H01L 23/34* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 31/00 (2013.01)
G01R 19/165 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0060813
(22) 출원일자 2015년04월29일
심사청구일자 2015년04월29일
(30) 우선권주장
1020140157982 2014년11월13일 대한민국(KR)

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
(72) 발명자
김덕기
서울특별시 성동구 동일로 237, 104동 1503호 (송정동, 서울숲아이파크)
류호준
서울특별시 노원구 중계로8길 20, 101동 602호 (중계동, 현대6차아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

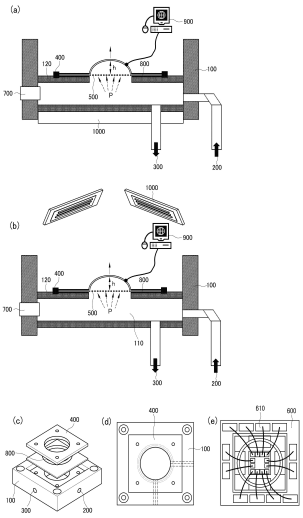
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **유연소자의 테스트 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명에 따른 유연소자의 테스트 방법은 측정하고자 하는 유연소자를 본체부에 고정시키는 단계, 본체부에 포함된 지지면의 둘레를 따라 배치된 하나 이상의 전극 패드를 포함하는 전기적 접속부와 유연소자를 전기적으로 접촉하는 단계, 본체부에 포함된 챔버에 매개체를 입력 또는 출력하여 챔버의 압력을 조절하는 단계, 및 챔버의 압력에 의하여 유도된 응력에 의해 변형된 유연소자를 테스트하는 단계 및 테스트를 위한 장치를 포함한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
G01R 31/2601 (2013.01)
H01L 23/345 (2013.01)
(72) 발명자
현승민
대전광역시 서구 둔산북로 160, 102동 1204호 (둔산동, 한마루아파트)
장봉균
서울특별시 영등포구 당산로42길 7, 203동 703호 (당산동5가, 당산2차 효성타운)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20140430
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 기술료지원사업
연구과제명 유연반도체 소자 표준화 기반구축
기 여 율 4/5
주관기관 한국전자통신연구원
연구기간 2014.05.01 ~ 2015.04.30이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20140560
부처명 중소기업청
연구관리전문기관 중소기업청
연구사업명 산학연 도약기술개발사업
연구과제명 반도체 인쇄공정용 p-type 구리산화물 나노잉크 개발
기 여 율 1/5
주관기관 세종대학교
연구기간 2014.08.01 ~ 2015.07.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

유연소자의 테스트 방법에 있어서,

측정하고자 하는 유연소자를 본체부에 고정시키는 단계;

상기 본체부에 포함된 지지면의 둘레를 따라 배치된 하나 이상의 전극 패드를 포함하는 전기적 접속부와 상기 유연소자를 전기적으로 접촉하는 단계;

상기 본체부에 포함된 챔버에 매개체를 입력 또는 출력하여 상기 챔버의 압력을 조절하는 단계; 및

상기 챔버의 압력에 의하여 유도된 응력에 의해 변형된 상기 유연소자를 테스트하는 단계를 포함하는 유연소자의 테스트 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 유연소자를 테스트하는 단계는

상기 유연소자의 전기적 특성을 측정하는 것을 포함하는 유연소자의 테스트 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 유연소자를 테스트하는 단계는

상기 유연소자의 기계적 특성을 측정하는 것을 포함하는 유연소자의 테스트 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 유연소자를 전기적으로 접촉하는 단계는

상기 유연소자에 대하여 전기적 특성을 검출하기 위해 전압 또는 전류 신호를 출력할 수 있도록 상기 전기적 접속부와 와이어 본딩으로 접촉하는 것인 유연소자의 테스트 방법.

청구항 5

유연소자의 테스트 장치에 있어서,

챔버 및 상기 유연소자가 거치될 지지면을 포함하는 본체부;

상기 본체부에 형성되며, 상기 챔버의 압력 조절을 위한 매개체가 입력되는 입력부;

상기 본체부에 형성되며, 상기 매개체가 출력되는 출력부;

상기 유연소자를 상기 지지면에 고정시키는 클램핑부;

상기 클램핑부에 형성되며, 상기 유연소자의 일부 영역을 노출시키는 윈도우부;

상기 지지면의 둘레를 따라 배치되며, 상기 유연소자와의 전기적 접촉을 위한 하나 이상의 전극 패드를 포함하는 전기적 접속부; 및

상기 입력부와 출력부의 제어를 통해 상기 챔버의 압력을 조절하는 제어부를 포함하되,

상기 챔버의 압력에 따라 상기 유연소자에 응력을 제공하는 유연소자 테스트 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 유연소자의 전기적 특성을 측정하는 전기특성 측정기기를 더 포함하되,

상기 전기특성 측정기기는 상기 전기적 접속부와 와이어 본딩을 통해 접속된 상기 유연소자에 대하여 전기적 특성 검출을 위한 전압 또는 전류 신호를 출력하고,

상기 유연소자의 전극으로부터 검출된 전압 또는 전류 신호에 기초하여 전기적 특성을 산출하는 유연소자의 테스트 장치.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 챔버는 상기 본체부의 하부면에 위치하고, 상기 지지면은 상기 챔버의 상부단면의 둘레를 따라 위치하는 것인 유연소자의 테스트 장치.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 윈도우부는

원형, 직사각형, 정사각형, 및 타원형 중 어느 하나인 유연소자의 테스트 장치.

청구항 9

제 5 항에 있어서,

상기 챔버의 상부단면의 둘레를 따라 배치되며, 상기 유연소자, 상기 클램핑부 및 상기 챔버의 상부단면 사이의 접촉상태를 강화하는 오링부재를 더 포함하는 유연소자의 테스트 장치.

청구항 10

제 5 항에 있어서,

상기 제어부는

상기 챔버 내의 압력을 조절할 수 있는 것인 유연소자의 테스트 장치.

청구항 11

제 5 항에 있어서,

상기 소자의 팽창, 팽출 또는 수축에 따른 기계적 특성을 측정하는 기계특성 측정기기를 더 포함하는 유연소자의 테스트 장치.

청구항 12

제 5 항에 있어서,

또한 온도를 조절할 수 있는 가열장치를 더 포함하는 유연소자의 테스트 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 팽창(bulge), 팽출 또는 수축상태에서 유연소자의 전기적 특성 및 기계적 특성을 평가하는 테스트 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 유연소자는 딱딱한 기판에 형성된 소자와는 달리 반복적인 스트레스가 가해져도 소자의 특성을 유지하며, 쉽게 구부러지는 특성을 가지고 있어서, 플렉서블 디스플레이, 터치 스크린 등의 구부러지는 전자부품, 또는 자유 곡면 위에 부착 가능한 센서 등에 사용될 수 있다.

[0003] 종래기술에 의하면, 이러한 유연소자는 일반적으로 세라믹/금속 소재 등을 유연한 고분자 소재와 혼합하여 유연한 필름 형태로 제조한 후, 전극 증착 등의 후속 공정을 통하여 만들어진다. 또는, 딱딱한 기판 혹은 특수하게 설계된 웨이퍼 등으로 구성된 반도체용 웨이퍼 위에 반도체 공정을 사용하여 소자를 구현하고, 이를 식각 공정과 전사 공정을 통해 유연기판에 소자를 구현하기도 한다.

[0004] 근래에는 가볍고 충격에 강할 뿐만 아니라 구부림이 가능한 플라스틱(plastic) 기판을 이용하는 기술이 개발되고 있다. 이와 관련하여, 한국 공개특허공보 제 10-2009-0083087호(발명의 명칭: 박막 트랜지스터, 그의 제조방법 및 박막 트랜지스터를구비하는 플렉서블 표시 장치)는 제조 공정을 간소화한 플렉서블 기판이 포함된 박막 트랜지스터를 개시하고 있다.

[0005] 일반적으로 박막 트랜지스터는 기판상에 형성된 게이트 전극, 게이트 절연막에 의해 게이트 전극과 절연되며 채널 영역, 소스영역 및 드레인 영역을 포함하는 반도체층 그리고 소스 영역 및 드레인 영역과 접촉되는 소스 전극 및 드레인 전극을 포함한다.

[0006] 한편, 도 1은 종래의 플렉서블 기판이 포함된 박막 트랜지스터의 기계적 및 전기적 특성을 측정한 결과이다. 종래 기술을 살펴보면, 플랙서블 기판상에 변형을 유도하여 영구적으로 변형된 기판의 기계적 및 전기적 특성을 측정하였다.

[0007] 보다 자세하게는, 도 1의 (a)는 플렉서블한 기판위에 탄소나노튜브로 형성된 박막트랜지스터를 나타내고 있고, (d)는 플렉서블 기판의 광학적 투과도와 플렉서블 기판위의 탄소나노튜브 박막트랜지스터가 형성된 상태의 광학적투과도를 나타내고 있다. 또한, (b)는 박막 트랜지스터의 탑-게이트의 I_D-V_{GS}전달특성을 나타내고 있다. 이때의 I_D-V_{GS}전달특성은 드레인 전류(I_D)와 게이트-소스간의 전압(V_{GS})의 관계를 의미한다.

[0008] 또한, (e)는 박막 트랜지스터 상의 I_D-V_{DS}출력특성을 나타내고 있고, 이때의 I_D-V_{DS}는 드레인 전류(I_D)와 드레인-소스간의 전압(V_{DS})의 관계를 의미한다. (c)는 기판의 구부러진 정도에 따른 변형율을 나타내고 있고, (f)는 기판의 변형율에 따른 온/오프 전류를 나타내고 있다. 특히, 도 1의 (c)를 참조하면, 기판의 변형율은 기판의 구부러진 각도(dΘ)와, 곡률의 반경(D), 기판의 두께(d)를 통해서 유도될 수 있다.

[0009] 이와 같이, 종래의 기술은 변형이 완전히 일어난 플렉서블 기판의 기계적 특성 및 전기적 특성을 측정하는 방법을 개시하고 있다. 이로 인해, 사용자가 원하는 기계적 및 전기적 특성의 유연소자를 생산하기 위해서, 여러 종류의 영구히 변형(plastic deformation, 소성 변형)된 기판을 제조하여야 하며 탄성 변형(elastic deformation)된 기판의 경우에는 측정이 불가하다는 문제가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 일부 실시예는 팽창, 팽출 또는 수축상태에서 단계적으로 유연소자를 변형시키고, 이로 인한 유연소자의 전기적 특성 및 기계적 특성을 평가하는 테스트 방법 및 장치를 제안하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 제 1 측면에 따른 유연소자의 테스트 방법은 측정하고자 하는 유연소자를 본체부에 고정시키는 단계, 본체부에 포함된 지지면의 둘레를 따라 배치된 하나 이상의 전극 패드를 포함하는 전기적 접속부와 유연소자를 전기적으로 접촉하는 단계, 본체부에 포함된 챔버에 매개체를 입력 또는 출력하여 챔버의 압력을 조절하는 단계, 및 챔버의 압력에 의하여 유도된 응력에 의해 변형된 유연소자를 테스트하는 단계를 포함한다.

[0012] 본 발명의 제 2 측면에 따른 유연소자 테스트 장치는 챔버 및 유연소자가 거치될 지지면을 포함하는 본체부, 본체부에 형성되며, 챔버의 압력 조절을 위한 매개체가 입력되는 입력부, 본체부에 형성되며, 매개체가 출력되는 출력부, 유연소자를 지지면에 고정시키는 클램핑부, 클램핑부에 형성되며, 유연소자의 일부 영역을 노출시키는 윈도우부, 지지면의 둘레를 따라 배치되며, 유연소자와의 전기적 접촉을 위한 하나 이상의 전극 패드를 포함하

는 전기적 접속부, 및 입력부와 출력부의 제어를 통해 챔버의 압력을 조절하는 제어부를 포함한다. 이때, 챔버의 압력에 따라 유연소자에 응력을 제공한다.

발명의 효과

[0013] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 유연소자의 팽창, 팽출 또는 수축상태에서 기계적, 및 전기적 테스트 장치를 통해 유연소자의 기계적, 전기적 특성을 파악할 수 있다. 또한, 팽창, 팽출 또는 수축에 의한 유연소자의 변형을 단계적으로 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 종래의 플렉서블 기판이 포함된 박막 트랜지스터의 기계적 및 전기적 특성을 측정한 결과이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자의 테스트 장치를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 유연소자의 테스트 장치를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자의 테스트 방법을 나타낸 순서도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자 테스트 장치를 이용한 소자의 전기적 특성의 예상 결과이다.

도 6은 발명의 일 실시예에 따른 유연소자 테스트 장치를 이용한 소자의 기계적 특성의 예상 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0016] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 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.

[0017] 참고로, 본 명세서의 전반에 걸쳐 기술되는 유연소자는 절연성이 좋은 기판상에 증착 혹은 스퍼터링 등의 방법으로 박막을 형성시켜서 만든 수동 소자 및 박막 트랜지스터에 이용될 수 있는 능동소자를 포함할 수 있다.

[0018] 예를 들어, 유연소자가 박막 트랜지스터에 이용되는 경우, 박막 트랜지스터는 기판의 역할을 하는 유연소자상에 형성된 게이트 전극, 게이트 절연막에 의해 게이트 전극과 절연되며 채널 영역, 소스영역 및 드레인 영역을 포함하는 반도체층 그리고 소스 영역 및 드레인 영역과 접촉되는 소스 전극 및 드레인 전극을 포함한다.

[0019] 또한, 이때 사용되는 유연소자는 폴리머 필름으로, 폴리에스테르(polyester), 폴리비닐(polyvinyl), 폴리카보네이트(polycarbonate), 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리아세테이트(polyacetate), 폴리이미드(polyimide), 폴리에테르술폰(polyethersulphone; PES), 폴리아크릴레이트(polyacrylate; PAR), 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthelate; PEN), 폴리에틸렌에테르프탈레이트(polyethyleneterephehalate; PET), 엘라스토머(elastomer), PDMS(Polydimethylsiloxane) 등으로 이루어진 군에서 선택된 물질로 이루어질 수 있다.

[0020] 일반적으로 박막 트랜지스터에서, 게이트 전극은 도전성의 금속, 카본 나노 튜브(carbon nano tube; CNT), 그래핀(graphene) 등으로 형성되고, 반도체층은 무기물 반도체, 유기물 반도체 또는 산화물 반도체로 형성될 수 있으며, 소스 전극 및 드레인 전극은 금속, 카본 나노 튜브(carbon nano tube; CNT), 그래핀 (graphene) 등으로 형성될 수 있다.

[0021] 또한, 게이트 절연막은 저온(예를 들어, 200℃ 이하)에서 공정이 가능한 HfOx, TiOx, SiOx, SiNx, AlOx 등의 무기물이나, PVA, PVP, PMMA 등의 유기물을 코팅 방법으로 도포하여 형성할 수 있다.

[0022] 반도체층은 유연소자의 용융 온도보다 낮은 온도에서 형성해야 하므로 200℃ 이하의 온도에서 공정이 가능한 화학기상증착(CVD)이나 물리기상증착(PVD) 방법을 이용할 수 있으며, 실리콘(Si) 등의 무기물 반도체, 폴리아세틸렌(polyacetylene), 폴리티오펜(polythiophene), 폴리피롤(polypirrole), 폴리아닐린(polyaniline) 등의 유기물 반도체, 또는 산화아연(ZnO), 산화 구리 (CuOx) 등을 주성분으로 하는 산화물 반도체로 형성할 수 있다.

[0023] 또한, 소스 전극 및 드레인 전극은 금속으로 형성되는데, 예를 들어, 유기 용매에 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt) 등의 금속을 섞어 잉크젯 방법으로 인쇄한 후 경화시킬 수도 있다. 유연소자를 이용하면, 유연소자가 잘 휘어지기 때문에 소스 전극 및 드레인 전극을 제작 시, 잉크젯 방법으로 금속을 인쇄할 수 있다. 이와 같은, 잉크젯 방법은 마스크를 사용하지 않아도 되므로 마스크 절감 효과를 얻을 수 있다.

[0024] 이와 같이, 유연소자는 박막 트랜지스터에 이용될 수 있고, 유연소자의 유연성으로 인해 기판을 움직여야 하거나 또는 부품소자를 삽입하기 위하여 기판을 굴곡지게 하는 경우에 유연하게 대응할 수 있다.

[0025] 또한, 유연소자로 구성된 기판의 일면에는 여러 기능을 위한 박막이 형성될 수 있으며, 더 나아가 전자 소자로서 반도체 칩 뿐아니라 콘덴서, 태양전지, 열전소자, 배터리 등과 같은 소자가 다수 탑재될 수도 있다. 이러한 유연소자를 개발하고 적용하기 위해서, 유연소자의 특성을 평가하는 장치 및 방법이 필요하다.

[0026] 참고로, 명세서 전반에 걸쳐 유연소자의 변형된 상태를 나타내는 용어 중 '팽창' 은 부풀어서 부피가 커진 상태를 의미하고, '팽출' 은 부풀어서 돌출되는 상태를 의미하고, '수축' 은 팽창 및 팽출되었던 상태에서 원래대로 되돌아가는 상태, 또는 유연소자의 탄성한계범위 내에서 부피나 규모가 줄어들어 오그라든 상태를 의미한다.

[0027] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자의 테스트 장치 및 방법에 대해 설명하도록 한다.

[0028] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자의 테스트 장치를 나타낸 도면이다.

[0029] 도 2의 (a)를 참조하면, 유연소자의 테스트 장치(10)는 본체부(100), 입력부(200), 출력부(300), 클램핑부(400), 윈도우부(500), 전기적 접속부(600), 제어부(700), 및 오링부재(800)를 포함한다.

[0030] 또한, 경우에 따라, 유연소자의 테스트 장치(10)는 유연소자의 전기적 특성을 측정하는 전기특성 측정기기(900), 기계적 특성을 측정하는 기계특성 측정기기(미도시됨), 및 가열장치(1000)를 더 포함할 수 있다. 여기에서 기계특성 측정기기는 유연소자가 팽창, 팽출 또는 수축되어, 솟아오르거나 수축된 만큼의 높이를 측정할 수 있는 기기이면 어떤 것이든 가능하다.

[0031] 유연소자의 테스트 장치(10)를 보다 자세히 설명하면, 먼저, 본체부(100)는 챔버(110) 및 유연소자가 거치될 지지면(120)을 포함할 수 있다. 챔버(110)는 본체부(100)의 하부면에 위치하고, 지지면(120)은 챔버(110)의 상부 단면의 둘레를 따라 위치할 수 있다.

[0032] 이때, 챔버(110)는 매개체를 수용하여, 챔버(110) 내 압력을 조절 받을 수 있다. 여기에서 매개체는 오일(oil), 가스(gas), 및 정제된 물(distilled water) 등을 포함할 수 있으며, 이에 한정된 것은 아니다.

[0033] 특히, 본체부(100)에 형성되어 있는 입력부(200), 및 출력부(300)는 매개체를 입력 또는 출력 할 수 있다. 입력부(200), 및 출력부(300)는 본체부(100)의 어느 곳에나 위치할 수 있으나, 매개체를 입력 및 출력함에 있어서 용이한 곳이 바람직하다.

[0034] 본체부(100)의 지지면(120)은 유연소자를 거치할 수 있다. 이때, 지지면(120)에 유연소자가 고정되도록 클램핑부(400)를 사용할 수 있다. 또한, 윈도우부(500)는 클램핑부(400)에 형성되어 유연소자의 일부 영역을 노출시킬 수 있다.

[0035] 도 2의 (c)를 살펴보면 클램핑부(400)에 천공된 홀의 영역이 윈도우부(500)이다. 따라서, 유연소자가 지지면(120)상에 클램핑부(400)에 의해 고정될 때, 윈도우부(500)를 통해 유연소자의 한쪽 면은 챔버(110)를 향해 노출되어, 챔버(110)에 저장된 매개체와 접촉할 수 있다. 챔버(110)안의 매개체의 입력 또는 출력에 의해, 챔버(110) 내의 압력이 조절되면, 유연소자는 팽창, 팽출 또는 수축되어 챔버(110)의 내부 또는 외부를 향하여 휘어질 수 있다. 참고로, 윈도우부(500)는 원형, 직사각형, 정사각형, 및 타원형 중 어느 하나의 형태일 수 있다.

[0036] 도 2의 (d)의 경우는 윈도우부(500)가 원형의 경우인 모습이다. 윈도우부(500)의 형태에 따라서, 유연소자의 면적에 가해지는 응력 상태가 달라질 수 있다. 윈도우부(500)가 정사각형 또는 원형인 경우 유연소자에 가해지는 스트레스 상태는 쌍축응력 상태가 된다. 또한, 윈도우부(500)가 직사각형 또는 타원형인 경우 유연소자에 가해지는 스트레스 상태는 일축응력 상태가 될 수 있다.

[0037] 윈도우부(500)가 원형인 경우에는 유연소자의 전체면적에 쌍축응력이 가해 지며 정사각형이나 직사각형의 경우와 같은 응력이 집중되어 사용자가 원하지 않는 부분으로 압력이 가해지는 경우를 최소화 시킬 수 있는 장점이 있다.

[0038] 다음으로, 오링부재(800)는 챔버(110)의 상부단면의 둘레를 따라 배치된다. 오링부재(800)는 유연소자를 챔버(110)의 상부단면에 위치된 지지면(120)에 거치시킬 때(도 2의 (c)), 유연소자, 클램핑부(400), 및 챔버(110)의 상부단면 사이에 접촉상태를 강화시킬 수 있다. 특히, 오링부재(800)는 챔버(110)의 상부단면과 유연소자 사이에 위치하는 것이 바람직하다.

[0039] 한편, 유연소자를 지지면(120)에 거치시킨 후, 지지면(120)의 둘레를 따라 배치된 하나이상의 전극 패드(610)를 포함하는 전기적 접속부(600)와 접속시킬 수 있다(도 2의 (e)). 전기적 접속부(600)는 유연소자가 팽창, 팽출 또는 수축에 의해 점진적으로 변화함에 따라 바뀌는 전기적 신호를 실시간으로 측정할 수 있다.

[0040] 전기적 접속부(600)는 전기특성 측정기기(900)와 연결되어 있고, 유연소자와 와이어 본딩(wire bonding)을 통해 접속될 수 있다. 전기특성 측정기기(900)는 접속된 유연소자에 대하여 전기적 특성 검출을 위한 전압 또는 전류 신호를 출력하고, 유연소자의 전극으로부터 검출된 전압 또는 전류 신호에 기초하여 전기적 특성을 산출할 수 있다.

[0041] 보다 자세히 설명하면, 전기특성 측정기기(900)는 유연소자의 탑-게이트의 드레인 전류(I_D)와 게이트-소스간의 전압(V_{GS})의 관계를 나타내는 I_D-V_{GS}전달특성을 측정할 수 있고, 드레인 전류(I_D)와 드레인-소스간의 전압(V_{DS})의 관계를 나타내는 I_D-V_{DS}출력특성을 측정할 수 있다. 또한, 박막 트랜지스터의 온/오프 전류를 측정할 수 있다. 측정된 전기적 특성으로 유동성(mobility), 문턱전압(threshold voltage), 서브 문턱 전압의 기울기 등을 산출해 낼 수 있다.

[0042] 다음으로, 제어부(700)는 입력부(200), 및 출력부(300)의 매개체 출입을 제어할 수 있다. 이로 인해, 챔버(110) 내의 압력을 조절할 수 있다. 또한, 제어부(700)는 압력센서, 압력컨트롤러를 포함할 수 있고, 이때의 정확도는 오차범위 1%이내인 것이 바람직하다.

[0043] 예를 들어, 제어부(700)에서 출력부(300)를 닫고 입력부(200)에 매개체를 입력하도록 조절하는 경우, 챔버(110) 내의 압력은 외부 환경의 압력보다 높아지고, 이로 인하여 챔버(110)와 연결된 유연소자는 챔버(110) 내부에서 챔버(110)외부의 방향으로 압력을 받게 된다.

[0044] 반대로, 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 유연소자의 테스트 장치를 나타낸 도면이다. 도 3을 참조하면, 유연소자가 챔버(110)의 내부의 방향으로 휘어진 것을 확인할 수 있다. 이는, 제어부(700)에서 입력부(200)를 닫고 출력부(300)에서 매개체를 출력하도록 조절하는 경우로, 챔버(110) 내의 압력이 외부 환경의 압력보다 낮아지게 되어, 챔버(110)와 연결된 유연소자는 챔버(110) 외부에서 챔버(110) 내부의 방향으로 압력을 받게 되어 휘어질 수 있다.

[0045] 이처럼, 제어부(700)에서 챔버(110) 내의 압력을 조절하게 되면, 챔버(110)의 지지면(120)에 고정시킨 유연소자는 변형될 수 있다. 이때의 변형된 정도는 기계특성 측정기기를 통해 측정될 수 있고, 변형에 의한 전기적 특성의 변화는 전기특성 측정기기(900)를 통해 측정될 수 있다.

[0046] 이때 외부에서 할로겐 램프 또는 히터와 같은 가열장치(1000)를 사용하여 열을 가한 상태에서 변형을 유도할 수 있다.

[0047] 기계특성 측정기기로 측정할 수 있는 유연소자의 기계적 특성으로는 팽창, 팽출 또는 수축으로 인한 높이 및 변위, 잔류응력(residual stress), 탄성계수 (Young's modulus), 항복강도 (yield strength), 인장강도 (tensile strength), 가로변형과 세로변형과의 비(poisson ratio), 열팽창계수(coefficient of thermal expansion, CTE), 크리프특성 (creep properties), 및 S-N 곡선 (stress-life curves) 등이 있다.

[0048] 일반적으로 기계적인 특성을 측정하는 방법은 나노압입시험법, 팽창 또는 팽출시험법(bulge test), 굽힘시험법(bending test), 마이크로 인장시험법 등이 있다.

[0049] 나노압입시험법은 일정 주파수와 진폭으로 시험기를 가진시키면서 압입시험을 수행하고 시험편의 동적 응답특성을 이용하여 박막의 기계적 특성을 평가하는 방법이다. 즉, 압자를 소재에 압입하면서 발생하는 하중과 변위를 연속적으로 측정하고, 측정된 변위와 하중으로부터 압흔의 면적을 유추할 수 있는데, 이로 인해, 잔류응력, 점탄성 물성, 유동곡선 등을 측정할 수 있다.

[0050] 한편, 팽창 또는 팽출시험법은 유연소자가 가스나 액체에 의해 변형되고, 이러한 변형을 측정함으로 박막의 응력과 변형간의 관계를 산출할 수 있다. 보통, 변형은 간섭계법(inerferometry)나 용량형게이지 등의 방법으로 측정한다. 팽창 또는 팽출시험법으로 변형된 유연소자의 박막의 높이를 측정하여 재료의 탄성과 소성거동을 구

할 수 있다. 특히, 레이저를 사용한 간섭계법으로 비교군과 대조군의 굴절률 차이를 측정하여, 비교군의 변형 정도를 알 수 있다.

[0051] 굽힘시험법은 모터 등을 사용하여 고정된 지그(jig) 대비 이동형 지그(jig)를 움직여 굽힘 상태를 가하여 유연소자의 기계적 특성을 측정한다..

[0052] 다음으로, 인장시험법은 유연소자를 고정시킨 후에 하중을 가하여 유연소자의 늘어난 정도를 측정할 수 있다. 예를 들어, 시험편(試驗片)의 양끝을 시험기에 고정하고, 시험편 축의 양쪽 방향으로 인장력(끌어당기는 힘)을 작용시키고 변위는 간섭계법으로 비교군과 대조군의 굴절률 차이를 측정하여, 비교군의 변형 정도를 알 수 있다.

[0053] 한편, 전기특성 측정기기(900)는 와이어 본딩을 통해 접속된 유연소자에 대하여 전기적 특성 검출을 위한 전압 또는 전류 신호를 출력하고, 유연소자의 전극으로부터 검출된 전압 또는 전류 신호에 기초하여 전기적 특성을 산출할 수 있다.

[0054] 특히, 유연소자의 직류 특성을 측정하기 위해서, 전자기기테스트 시스템을 함께 사용하는 것이 바람직하고, 정확도는 적어도 오차범위 ±0.1%이내가 좋다. 예를 들어, 가장 작은 전류가 통과할 때 종종 게이트 누설전류일 수 있다. 게이트 누설전류가 1pA일 때, 장비의 해상도는 1fA거나 더 작아야 한다.

[0055] 또한, 유연소자는 주변의 습도와 온도에 영향을 받기 때문에 같은 조건으로 유지시키는 것이 중요하다. 온도의 변화는 2도 미만인 것이 바람직하다.

[0056] 온도조건을 유지하기 위해서 사용되거나, 또는 유연소자 자체에 열을 가하기 위해서 사용되는 가열장치(1000)는 히터 또는 할로겐 램프 등으로 구현될 수 있는데, 히터의 형태로 구현될 때는 전술한 도 2의 (a)와 같이, 챔버(110)의 하단에 위치하여 챔버(110)로 열에너지를 전달하게 되어, 챔버(110) 내부에 있는 매개체가 활발히 운동하게 되고, 유연소자로 열 에너지를 전달할 수 있게 된다. 반면, 가열장치(1000)가 할로겐 램프의 형태로 구현될 때는 도 2의 (b)와 같이, 유연소자의 상단에 일정 간격을 두고 위치될 수 있다. 이와 같이, 가열장치(1000)는 히터, 할로겐 램프 등의 유연 소자에 열에너지를 가할 수 있는 기기이면 어떤 것이든 가능하다.

[0057] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자의 테스트 방법을 나타낸 순서도이다.

[0058] 참고로, 유연소자의 테스트 실시에 앞서서, 팽창, 팽출 또는 수축으로 인해 변형된 유연소자의 기계적, 전기적 특성값과 비교할 수 있는 변형되지 않은 유연소자에 대한 기계적, 전기적 특성값을 미리 확보해야 한다.

[0059] 또한, 몇 가지 조건을 유지시켜야 하는데, 먼저, 유연소자로 이루어진 트랜지스터의 공정과정을 동일하게 유지해야 한다. 특히, 공정과정 동안 유연소자가 얇은 층으로 박리되거나, 결함이 생기지 않도록 유지하는 것이 바람직하다.

[0060] 다음으로, 테스트 하는 유연소자의 사이즈는 윈도우부(500)보다 큰 것이 바람직하다. 예를 들어, 윈도우부(500)보다 유연소자의 크기가 작을 경우에는 클램핑부(400)로 지지하기가 어렵고, 윈도우부(500)와 유연소자의 크기가 비슷할 경우 팽창, 팽출또는 수축을 가하게 되면, 유연소자는 변형이 생기므로 구부러져서 윈도우부(500)보다 작아질 수 있다. 이렇게 되면 윈도우부(500)가 유연소자로 밀봉되지 않기 때문에 챔버(110) 내부가 공기중으로 노출되어, 챔버(110)의 압력을 유지시키기가 어려울 수 있다.

[0061] 다음으로, 정확한 탄성과 소성거동을 구하기 위하여, 유연소자 및 유연 기판의 두께(thickness) 및 크기(dimension)를 정확히 측정하는 것이 좋다.

[0062] 또한, 제조된 유연소자는 산화되지 않도록 잘 보관해야 한다. 유연소자를 이용하여 트랜지스터를 제작한 경우 보관 환경에 의해 전기 화학적 물성치가 변화하여 측정이 제대로 이루어지지 않을 수 있다.

[0063] 또한, 챔버(110)에 액체 매개체를 채울 경우, 공기방울로 인한 물성치의 변화를 야기시키지 않도록 공기방울이 생기지 않도록 하는 것이 바람직하다.

[0064] 다시, 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자의 테스트 방법은 측정하고자 하는 유연소자를 본체부(100)에 고정시키는 단계(S410), 본체부(100)에 포함된 지지면(120)의 둘레를 따라 배치된 하나 이상의 전극 패드(610)를 포함하는 전기적 접속부(600)와 유연소자를 전기적으로 접촉하는 단계(S420), 본체부(100)에 포함된 챔버(110)에 매개체를 입력 또는 출력하여 챔버(110)의 압력을 조절하는 단계(S430), 및 챔버(110)의 압력에 의하여 유도된 쌍축응력에 의해 변형된 유연소자를 테스트하는 단계(S440)를 포함한다.

[0065] 특히, 이때의 유연소자를 테스트하는 단계(S440)는 기계적 특성과 전기적 특성을 측정할 수 있다.

[0066] 유연소자의 테스트 방법은 먼저, 측정하고자 하는 유연소자를 본체부(100)에 고정한다(S410).

[0067] 이때, 유연소자는 윈도우부(500)를 덮으면서 지지면(120)의 둘레를 따라 고정될 수 있다. 이때, 클램핑부(400)를 이용하여 기계적으로 고정시킬 수 있다. 또한, 에폭시 칠(epoxy gluing)을 통해 완전히 밀봉을 할 수 있다. 이때, 원치 않는 구겨짐, 구브림, 현호 긴장(sheer stress) 등이 생기지 않도록 하는 것이 바람직하다.

[0068] 또한, 사용자가 원치 않는 누설(leakage)를 방지하기 위하여, 오링부재(800)를 유연소자, 클램핑부(400), 및 챔버(110)의 상부단면 사이에 배치하여 접촉상태를 강화시킬 수 있다.

[0069] 다음으로, 앞선단계(S410)에서 유연소자가 본체부(100)에 고정되면, 본체부(100)의 포함된 지지면(120)의 둘레를 따라 배치된 하나 이상의 전극 패드(610)를 포함하는 전기적 접속부(600)와 유연소자를 전기적으로 접촉한다(S420).

[0070] 이때, 유연소자와 전기적 접속부(600)를 와이어 본딩하여 전기적으로 접촉하게 할 수 있다.

[0071] 다음으로, 앞선단계(S420)에서 유연소자를 측정하기 위한 준비가 끝나면, 본체부(100)에 포함된 챔버(110)에 매개체를 입력 또는 출력하여 챔버(110)의 압력을 조절한다(S430).

[0072] 유연소자로부터 준정적(quasi-static) 변형을 얻기 위해서, 압력은 순차적으로 증가 혹은 감소하는 것이 좋다. 압력의 범위는 10^{-9}/s부터 10^{-4}/s가 바람직하다.

[0073] 다음으로, 앞선단계(S430)에서 조절된 챔버(110)의 압력에 의하여 유도된 팽창, 팽출 또는 수축에 의해 변형된 유연소자를 테스트한다(S440).

[0074] 이때, 유연소자의 기계적, 전기적 특성을 테스트 할 수 있다. 여기에서는, 탑-게이트의 드레인 전류(I_D)와 게이트-소스간의 전압(V_{GS})의 관계를 나타내는 I_D-V_{GS}전달특성을 측정할 수 있고, 드레인 전류(I_D)와 드레인-소스간의 전압(V_{DS})의 관계를 나타내는 I_D-V_{DS}출력특성을 측정할 수 있다. 측정된 전달 곡선(transfer curve)으로 부터 $V_{th}(ci)$, $V_{th}(ext)$, $I_d(sat)$, $I_d(lin)$, $I_d(leak)$, $G_m(max)$, $\mu(lin)$, $\mu(sat)$, 및 SS등의 파라미터를 추출할 수 있다. 다음으로, 각각의 파라미터들을 보다 자세히 설명하도록 한다.

[0075] 먼저, $V_{th}(ci)$는 일정 전류문턱전압(constant current threshold voltage)를 의미하고, 다음의 수식으로 정의할 수 있다.

[0076] [수학식 1]

$$V_{th}(ci) = V_{gs}(@I_d = 0.1\mu A \times W)$$

[0077]

[0078] 위 수학식은 선형적인 범위(V_{ds}=0.05~0.1V)에 대한 것이며, $V_{th}(ci)$는 I_d 가 0.1μA X 게이트 폭(width)의 값을 가질때의 게이트 전압이다.

[0079] 다음으로, $V_{th}(ext)$는 외삽문턱전압(extrapolated threshold voltage)을 의미하고, 다음의 수식으로 정의할 수 있다.

[0080] [수학식 2]

$$V_{th}(ext) = V_{gs}(gm_{(max)}) - \frac{I_d(gm_{(max)})}{gm_{(max)}}$$

[0081]

[0082] 위 수학식은 선형적인 범위(V_{ds}=0.05~0.1V)에 대한 것이다. $V_{th}(ext)$는 I_d-V_{gs} 의 기울기가 최대가 되었을 때의 게이트 전압이다. $V_{gs}(gm_{(max)})$는 gm이 최대가 되었을 때의 게이트 전압이고, $I_d(gm_{(max)})$는 V_{gs}값이 $V_{gs}(gm_{(max)})$가

되었을 때의 드레인 전류를 의미한다. $gm_{(max)}$는 직류 전도도가 최대일 때의 값이다.

[0083] 다음으로, I_d(sat)는 포화 드레인 전압(saturated drain current)을 의미하고, V_{ds}와 V_{gs}값이 구동 조건에서의 전형적인 공급전압의 값일 때의 드레인 전류이다.

[0084] 다음으로, I_d(lin)는 선형 드레인 전류(linear drain current)를 의미하고, V_{ds}가 0.05V에서 0.1V 사이 값을 가지고 V_{gs}는 구동 조건에서의 전형적인 공급전압을 가질 때의 드레인 전류를 의미한다.

[0085] 다음으로, I_d(leak)는 드레인 누설 전류(drain leakage current)를 의미하고, V_{ds}는 구동 조건에서의 전형적인 공급전압이고, V_{gs}가 제로일 때의 드레인 전류를 의미한다.

[0086] 다음으로, Gm(max)은 최대 상호컨덕턴스(maximum trans-conductance)를 의미한다. Gm은 I_d-V_{gs}의 기울기를 의미하고, Gm(max)은 V_{gs}가 V_{th}(ext)와 같을 때 측정된 상호컨덕턴스 값이다. 여기에서 V_{ds}값은 선형영역으로 유지하는 것이 바람직하다.

[0087] 다음으로, μ(lin)는 선형유동성(linear mobility)을 의미하고, I_d-V_{gs}의 기울기로부터 산출해 낼 수 있으며, 다음의 수학식을 따른다.

[0088] [수학식 3]

$$\mu_{lin} = \frac{L}{C_g W V_{ds}} \left(\frac{\partial I_{d(lin)}}{\partial V_{gs}} \right)$$

[0089]

[0090] 위 수학식은 선형적인 범위(V_{ds}=0.05~0.1V)에 해당하며, C_g는 주어진 게이트 산화막의 정전용량을 의미하고, W는 게이트 폭, 그리고 L은 게이트 길이를 의미한다.

[0091] 다음으로, μ(sat)는 포화 유동성(saturated mobility)을 의미하며, I_d-V_{gs}에서 다음과 같은 수학식을 이용하여 산출해 낼 수 있다.

[0092] [수학식 4]

$$\mu_{sat} = \frac{2L}{C_g W} \left(\frac{\partial^2 I_{d(sat)}}{\partial V_{gs}{}^2} \right) = \frac{2L}{C_g W} \left(\frac{\partial \sqrt{I_{d(sat)}}}{\partial V_{gs}} \right)^2$$

[0093]

[0094] 포화 범위는 ($V_{ds} \geq V_{gs}$-V_{th})이고, C_g는 주어진 게이트 산화막의 정전용량을 의미하고, W는 게이트 폭, 그리고 L은 게이트 길이를 의미한다.

[0095] 다음으로, SS는 서브 문턱 기울기(sub-threshold slope)를 의미하며, 이로 인해, 얼마나 효율적으로 컨덕티브 채널이 디바이스 안에 형성되었는지 측정할 수 있고, 다음의 수학식을 이용하여 산출해 낼 수 있다.

[0096] [수학식 5]

$$SS = \frac{\partial V_{gs}}{\partial (log_{10} I_d)}$$

[0097]

[0098] SS는 V_{gs}-log10(I_d) 곡선의 기울기이고, V_{ds}가 고정된 상태에서 Log10 (I_d)와 V_{gs} 그래프는 박막 트랜지스터의 구

동영역에서의 대략적인 로그 선형 거동을 보여준다.

[0099] 다음으로, 기계특성 측정기기로부터 유연소자의 팽창, 팽출 또는 수축정도, 변위 등의 기계적 특성을 얻을 수 있다. 여기에서는 주로 팽창, 팽출 또는 수축 시험법이 사용되었다. 기계특성 측정기기로부터 변형된 높이를 측정하여 유연소자의 스트레스 - 스트레인 (변형율) 등의 기계적 특성을 추출할 수 있다.

[0100] 한편, 기계특성 측정기기의 대표적인 장치로 마이컬슨 간섭법(Michelson interferometry)과 같은 레이저 간섭법을 이용한 측정장비는 팽창 또는 팽출된 상태의 높이를 측정할 수 있다. 측정의 원리를 살펴보면, 먼저, 소스빔이 광학적 배열을 통하여 두개의 개별 빔으로 분리될 수 있다. 그 중 하나의 빔은 팽창된 표면으로부터 반사되어 측정장비로 되돌아 온다. 이것은 레퍼런스 미러에서 반사되어 나온 다른 하나의 빔과 다시 결합할 수 있다. 두 빔의 경로 길이의 차이는 띠모양의 패턴을 발생시킬 수 있고, 띠모양의 패턴은 검은띠와 밝은띠로 구성될 수 있다. 따라서, 유연소자의 팽창, 또는 팽출 정도는 굴절되어 돌아온 빔에 의해 형성된 띠의 개수를 측정하여 확인할 수 있다.

[0101] 포토 디텍터(photo detector)와 스팟 적외선 레이저(spot infrared laser) 빛 소스는 팽창 또는 팽출된 유연소자의 최대 굴절을 측정할 수 있다. 일반적으로, 최대 높이로 팽창된 정도이거나, 또는 최대로 굴절된 정도는 유연소자의 가운데 부분에서 측정할 수 있다. 이런 경우, 레이저가 유연소자의 가운데 부분을 수직하게 비추도록 위치되어야 할 것이다.

[0102] 또한, 전술한 방법으로 유연소자의 변형에 따른 기계적인 특성을 측정하면서, 캐패시턴스의 변화도 함께 측정하면, 유연소자의 두께, 캐패시턴스의 변화, 압력에 의해 유연소자에 가해진 스트레스를 측정할 수 있다. 이때, 높이와 캐패시턴스의 변화는 기존에 통용되는 수학적 계산으로부터 얻어낼 수 있다.

[0103] 한편, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연소자 테스트 장치를 이용한 소자의 전기적 특성의 예상 결과이다.

[0104] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예를 통해 유연소자를 이용한 박막 트랜지스터의 I_D와 V_{GS} 곡선으로 부터V_{th}, SS, 유동성(mobility)등의 전기적 특성을 추출할 수 있다.

[0105] 선형적인 영역에서의 유동성은 I_D와 $V_{GS}(=V_G)$ 그래프의 선형 영역의 기울기로부터 추출 가능하며 선형영역의 외삽된 직선이 X축과 만나는 점이 선형영역의 $V_{th}(=V_T$,문턱전압)값에 해당한다(도 5의 (a)). 여기에서 V_D는 V_{ds}와 같다. 또한 μn은 μ와 μ_bar와 같다.

[0106] 포화 영역에서의 유동성은 $(I_D(sat))^{1/2}$ 와 V_{GS} 그래프의 기울기로부터 추출 가능하며 외삽된 직선이 X축과 만나는 점이 포화영역의 $V_{th}(=V_T$, 문턱전압)값에 해당한다(도 5의 (b)).

[0107] SS(=S)는 I_D (log scale)와 V_{GS} (linear scale)의 그래프로부터 추출 가능하다(도 5의 (c)). 단결정 Si 트랜지스터의 SS값은 보통 70 mV/decade이며 SS 값이 작으면 트랜지스터가 off 상태에서 on 상태로 빠르게 켜지는 것을 의미한다.

[0108] 또한 기계적 특성 평가 결과의 예시는 도 6을 통해 확인할 수 있다. 도 6은 발명의 일 실시예에 따른 유연소자 테스트 장치를 이용한 소자의 기계적 특성의 예상 결과이다.

[0109] 특히, 도 6은 Ag-Pd/SiNx에 대한 압력과 팽창 또는 팽출된 높이의 관계를 보여주는 결과이다. 잔류응력과 탄성계수 등의 기계적 특성이 p/h 와 h2 그래프의 기울기와 절편으로부터 추출될 수 있다.

[0110] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0111] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0112] 10: 유연소자 테스트 장치

100: 본체부

110: 챔버

120: 지지면

200: 입력부

300: 출력부

400: 클램핑부

500: 윈도우부

600: 전기적 접속부

700: 제어부

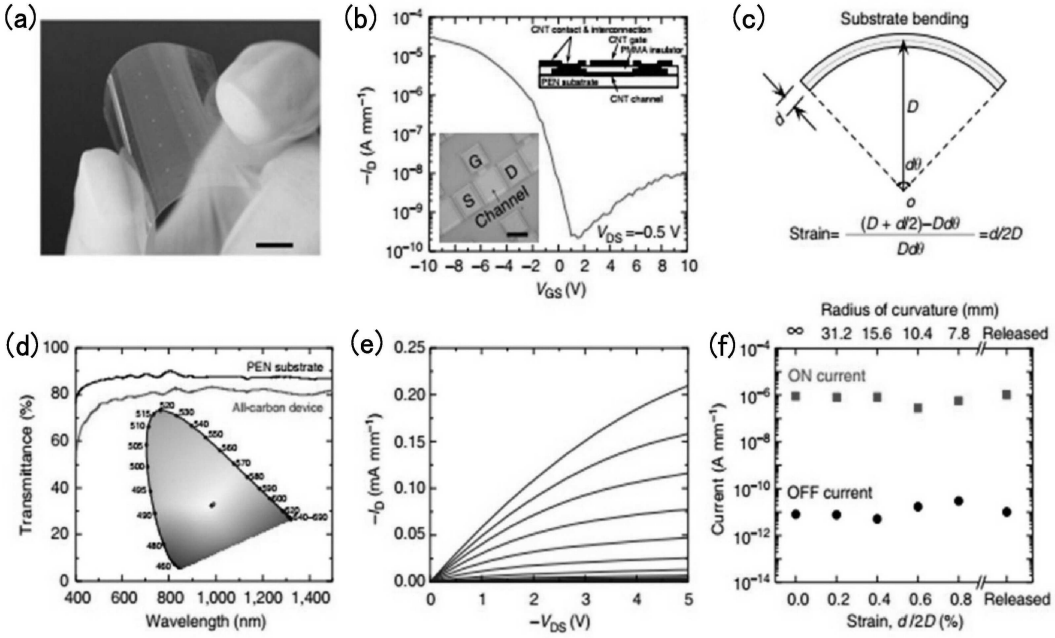
800: 오링부재

900: 전기특성 측정장치

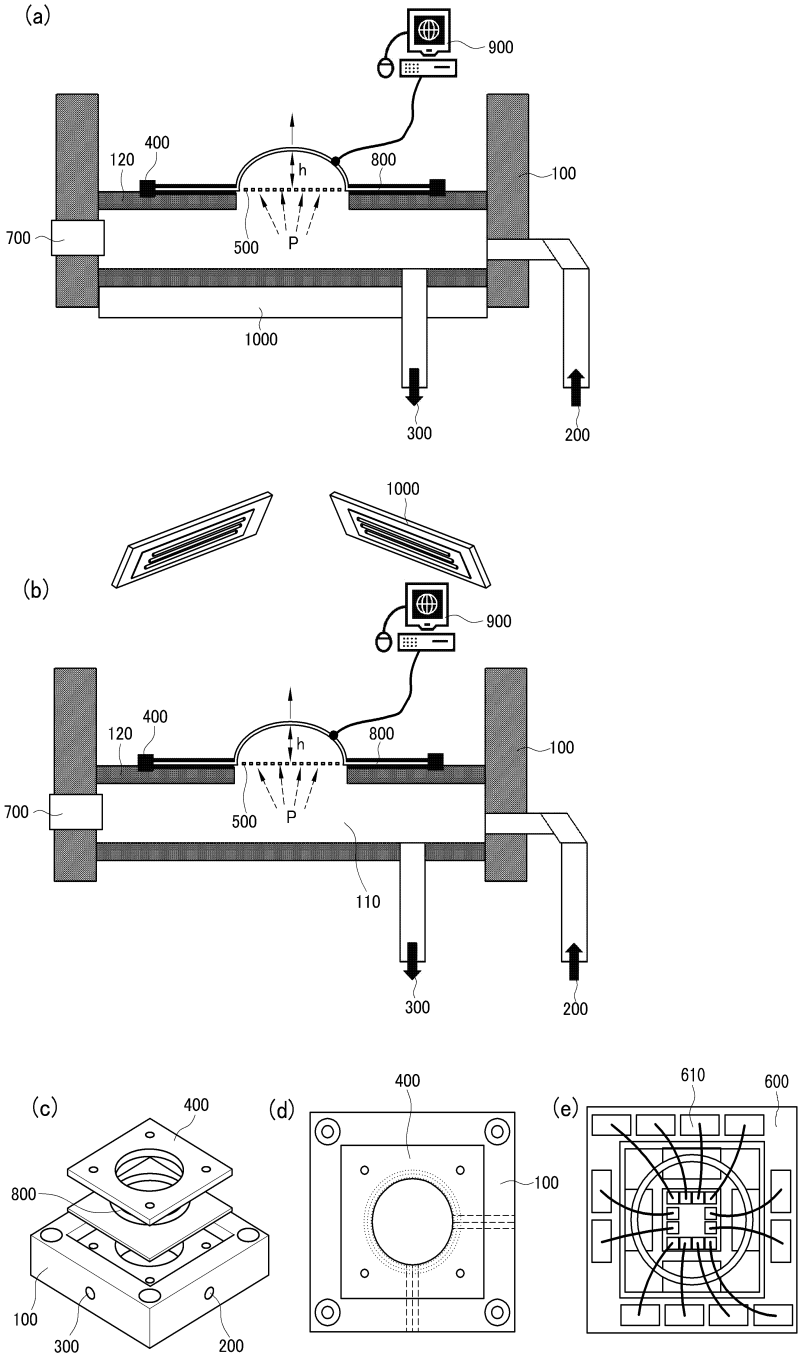
1000: 가열장치

도면

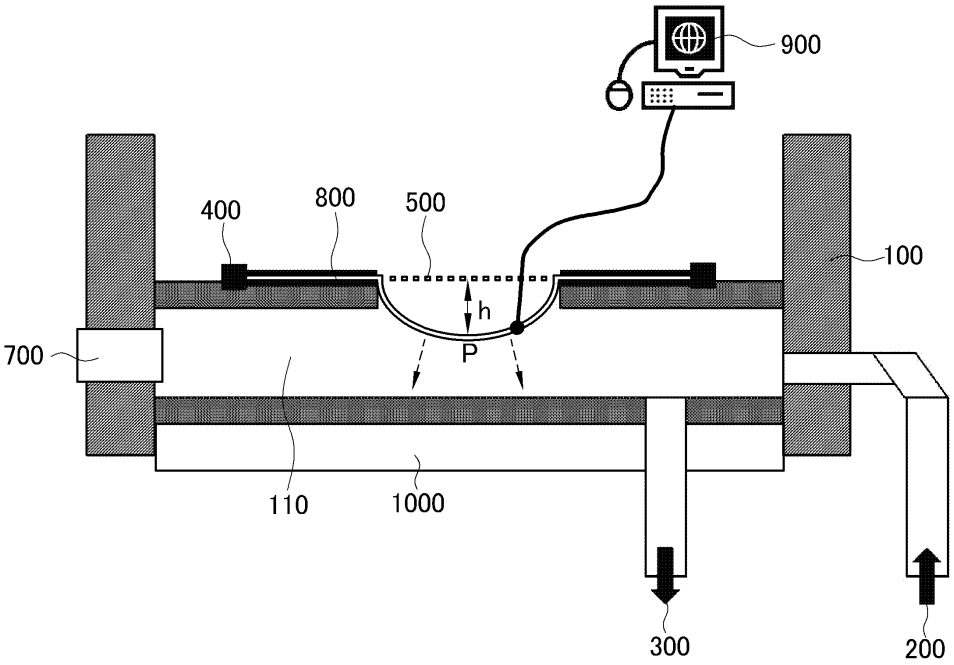
도면1



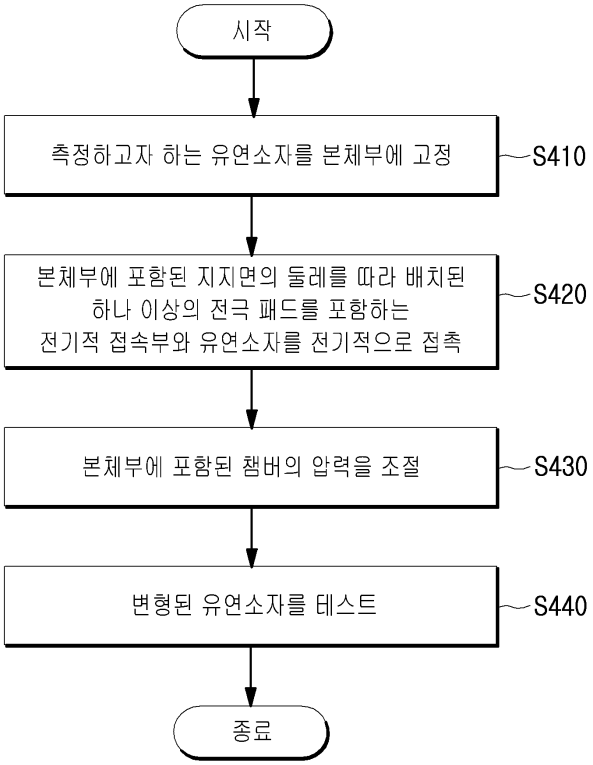
도면2


(a)
900
400
120
h
800
100
700
500
P
1000
300
200
(b)
1000
900
400
120
h
800
100
700
500
P
110
300
200
(c)
400
800
100
300
200
(d)
400
100
(e)
610
600

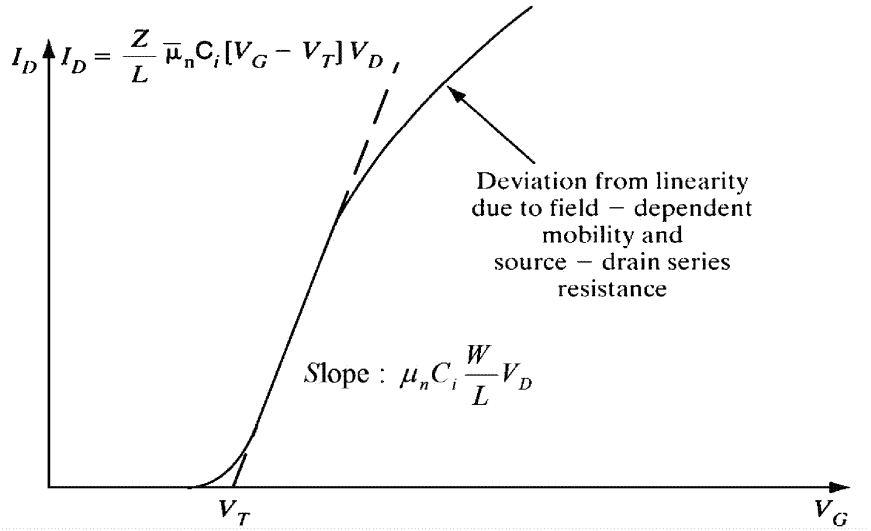
도면3


900
400
800
500
100
h
P
700
110
1000
300
200

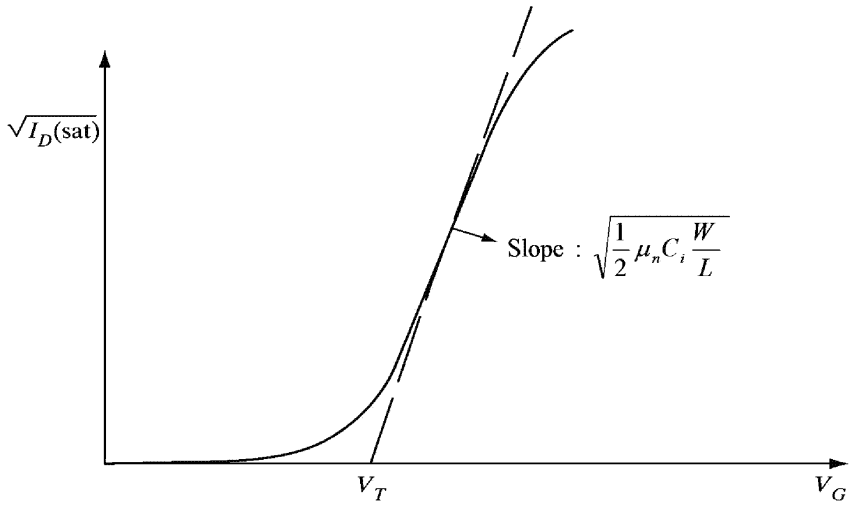
도면4


시작
측정하고자 하는 유연소자를 본체부에 고정
S410
본체부에 포함된 지지면의 둘레를 따라 배치된
하나 이상의 전극 패드를 포함하는
전기적 접속부와 유연소자를 전기적으로 접촉
S420
본체부에 포함된 챔버의 압력을 조절
S430
변형된 유연소자를 테스트
S440
종료

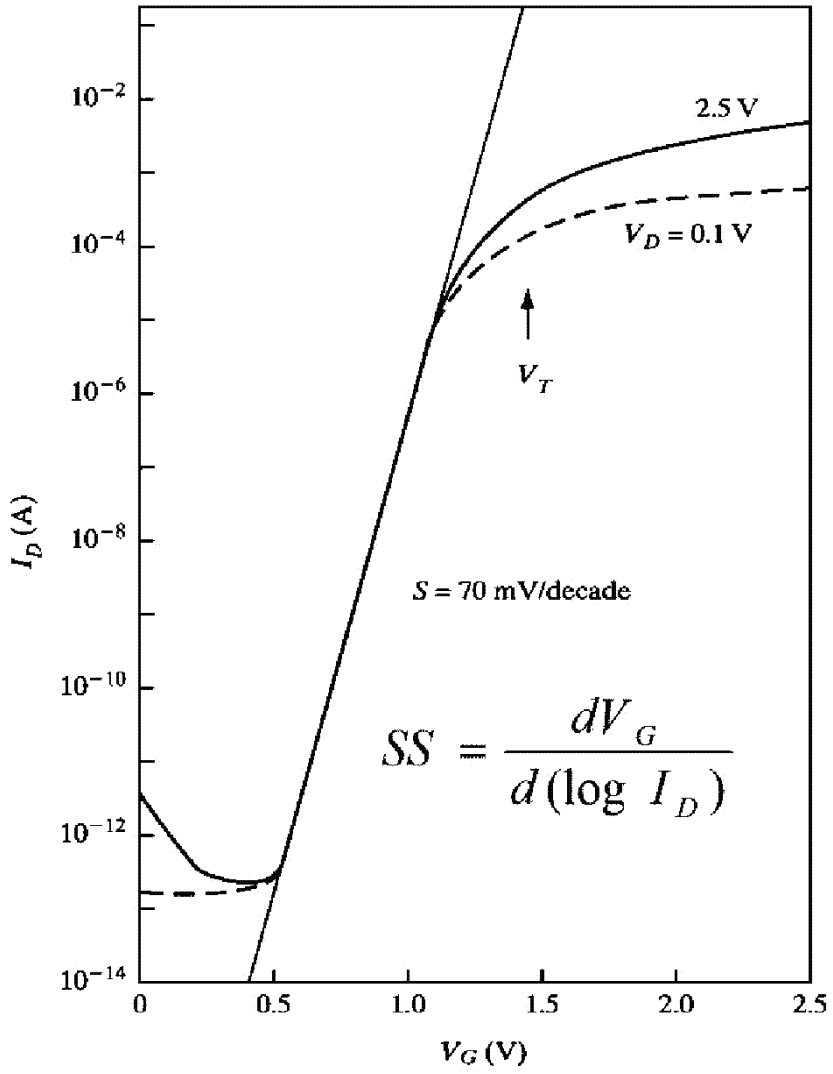
도면5a


I_D
$I_D = \frac{Z}{L}\mu_n C_i [V_G - V_T] V_D$
Deviation from linearity due to field − dependent mobility and source − drain series resistance
Slope : $\mu_n C_i \frac{W}{L} V_D$
V_T
V_G

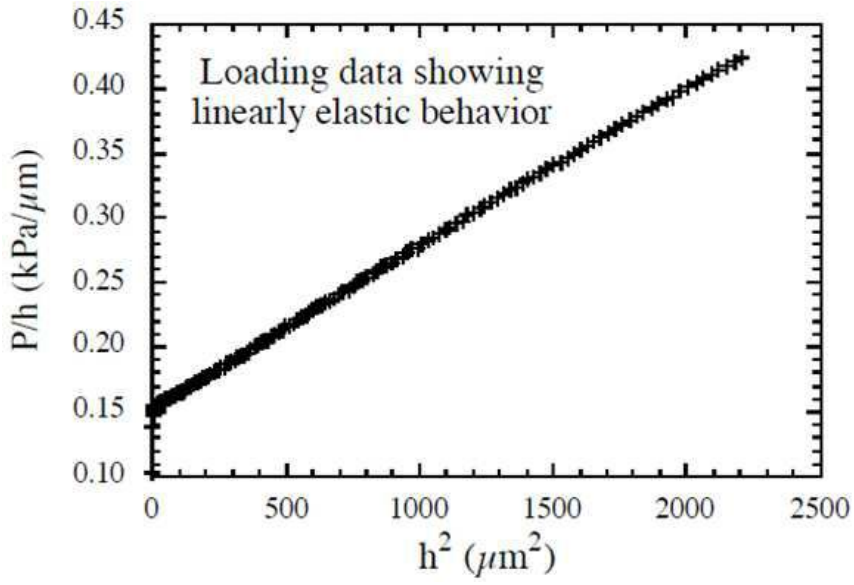
도면5b


$\sqrt{I_D(\text{sat})}$
Slope : $\sqrt{\frac{1}{2}\mu_n C_i \frac{W}{L}}$
V_T
V_G

도면5c


2.5 V
V_D = 0.1 V
V_T
S = 70 mV/decade
$SS = \frac{dV_G}{d(\log I_D)}$
I_D (A)
V_G (V)

도면6


Loading data showing
linearly elastic behavior
P/h (kPa/μm)
h² (μm²)