



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2025년03월19일  
 (11) 등록번호 10-2782191  
 (24) 등록일자 2025년03월11일

- |  |  |
|--|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br><i>H10K 50/80</i> (2023.01) <i>C08L 43/04</i> (2006.01)<br><i>C08L 83/04</i> (2006.01) <i>H10K 30/80</i> (2023.01)<br>(52) CPC특허분류<br><i>H10K 50/844</i> (2023.02)<br><i>C08L 43/04</i> (2013.01)<br>(21) 출원번호 10-2022-0014818<br>(22) 출원일자 2022년02월04일<br>심사청구일자 2022년02월04일<br>(65) 공개번호 10-2023-0118348<br>(43) 공개일자 2023년08월11일<br>(56) 선행기술조사문헌<br>JP2018063383 A*<br>KR1020190026229 A*<br>KR1020210017217 A*<br>*는 심사관에 의하여 인용된 문헌 | (73) 특허권자<br>한국과학기술원<br>대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)<br>(72) 발명자<br>최경철<br>대전광역시 유성구 대학로 291<br>임성갑<br>대전광역시 유성구 대학로 291<br>정소영<br>대전광역시 유성구 대학로 291<br>(74) 대리인<br>김한, 이인행, 김남식 |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 8 항

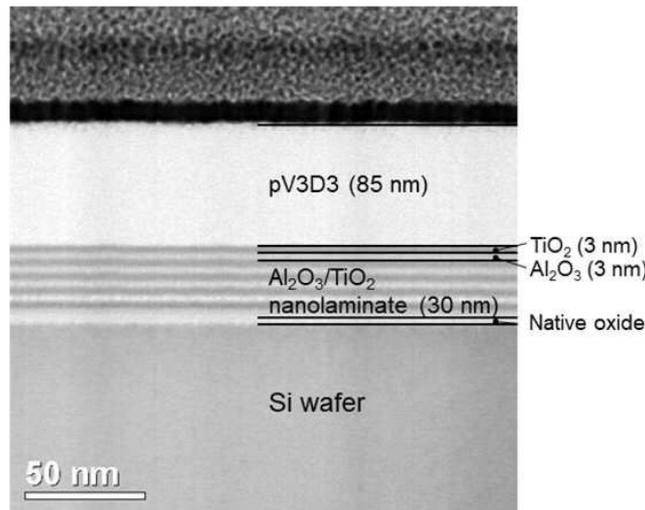
심사관 : 전태종

(54) 발명의 명칭 **유연 봉지 구조체 및 이를 포함하는 전자 장치**

**(57) 요약**

본 발명은 무기막; 및 무기막과 직접 접촉하여 배치되며 Si-O-Si 결합을 구비하는 실록산 고분자막; 을 포함하는 유연 봉지 구조체를 제공한다.

**대표도** - 도2



(52) CPC특허분류

*C08L 83/04* (2013.01)

*H10K 30/88* (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711145933                         |
| 과제번호        | 2019R1A2C301001213                 |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                          |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                             |
| 연구사업명       | 중견 연구자 지원사업                        |
| 연구과제명       | 다방향성 구김이 가능한 의류 유기디스플레이 연구 및 응용 기술 |
| 기 여 율       | 1/1                                |
| 과제수행기관명     | 한국과학기술원                            |
| 연구기간        | 2021.03.01 ~ 2022.02.28            |
| 공지예외적용      | : 있음                               |

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

무기막; 및

무기막과 직접 접촉하여 배치되되 Si-O-Si 결합을 구비하는 실록산 고분자막; 을 포함하는,

무기막과 실록산 고분자막은 유연 봉지 구조체의 내부 잔류 응력을 조절하기 위하여 서로 반하는 응력을 가지며,

실록산 고분자막은 개시제를 이용한 화학기상증착(iCVD)을 이용하여 형성된 것을 특징으로 하는,

유연 봉지 구조체.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

무기막은 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ), 알루미늄 질화물( $AlN$ ), 실리콘 산화물( $SiO_2$ ), 실리콘 질화물( $SiN_x$ ), 실리콘 산화질화물( $SiON_x$ ), 마그네슘 산화물( $MgO$ ), 마그네슘 질화물( $MgN_x$ ), 마그네슘 불화물( $MgF_2$ ), 티타늄 산화물( $TiO_2$ ), 티타늄 질화물( $TiN_x$ ), 하프늄 산화물( $HfO_2$ ), 하프늄 질화물( $HfN_x$ ), 지르코늄 산화물( $ZrO_2$ ), 지르코늄 질화물( $ZrN_x$ ), 지르코늄 황화물( $ZrS$ ), 아연 산화물( $ZnO$ ), 아연 황화물( $ZnS$ ), 아연 질화물( $ZnN_x$ ), 텅스텐 산화물( $WO_3$ ) 및 이트륨 산화물( $Y_2O_3$ ) 중 적어도 어느 하나를 포함하는,

유연 봉지 구조체.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

실록산 고분자막은 pV3D3(poly(1,3,5-trivinyl-1,3,5-trimethyl cyclotrisiloxane)), PVS(폴리비닐실록산; polyvinyl siloxane), 폴리실록산(poly siloxane), PDMS(poly(dimethylsiloxane)), PMTFPS(Polymethyl (3,3,3-trifluoropropyl) siloxane) 및 PAPMS(poly(3-aminopropyl)methylsiloxane), POS(Polyorganosiloxane) 중 적어도 어느 하나를 포함하는,

유연 봉지 구조체.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

무기막은 20nm 내지 50nm의 두께를 가지는,

유연 봉지 구조체.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

무기막은 원자층 증착(ALD), 화학기상증착(CVD), 물리기상증착(PVD), 스퍼터 증착(sputter), 전자선 증착(E-beam) 및 진공 증착(vacuum plating) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성한,

유연 봉지 구조체.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

기관;

상기 기관 상에 배치되되 제 1 항, 제 3 항, 제 4 항, 제 5 항 및 제 6 항 중에서 선택된 어느 하나의 유연 봉지 구조체; 및

상기 기관 상에 배치된 유기 전자 소자; 를 포함하는,  
전자 장치.

**청구항 9**

제 8 항에 있어서,

기관과 유연 봉지 구조체는 광을 투과시킬 수 있는 물질을 포함하는,  
전자 장치.

**청구항 10**

제 8 항에 있어서,

상기 유기 전자 소자는 전계발광(electro-luminescence, EL) 소자, 폴리머 태양전지(PSC) 소자, 유기 발광 다이오드(OLED) 소자, QD(quantum dot) 소자 또는 페로브스카이트(perovskite) 소자를 포함하는,

전자 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 봉지 구조체 및 이를 포함하는 전자 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 유연 봉지 구조체 및 이를 포함하는 전자 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 수분과 산소에 취약한 재료로 구성되어 있는 유기 전자 소자의 경우, 외부 환경에 노출될 때 대기 중의 수분, 산소가 일으키는 급격한 산화로 인해 빠르게 열화된다. 따라서 유기 전자 소자의 안정적인 동작을 위한 봉지막 기술은 필수불가결한 선택이다. 기존의 봉지막들은 전자 소자를 수분 및 산소와 같은 외부 환경으로부터 보호하기 위해 조밀한 구조를 만드는 것에 집중을 하였다. 이러한 방식은 낮은 투습율을 가지는 봉지막을 얻을 수는 있지만 취성이 높은 무기재료를 사용하기 때문에 유연성이 부족하여 유연 전자 소자에 적용은 어려움을 가진다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0003] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 투습율이 낮은 봉지막의 내부 잔류 응력을 조절하여 외부 응력에 내성이 강하도록 제작된 유연 봉지막 구조체와 그 제조 방법, 그리고 이를 포함하여 신뢰성이 높은 유연한 전자 장치를 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0004] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 봉지 구조체는 무기막; 및 무기막과 직접 접촉하여 배치되되 Si-O-Si 결합을 구비하는 실록산 고분자막; 을 포함한다.

- [0005] 본 발명의 일 실시예에서, 무기막과 실록산 고분자막은 유연 봉지 구조체의 내부 잔류 응력을 조절하기 위하여 서로 반하는 응력을 가질 수 있다.
- [0006] 본 발명의 일 실시예에서, 무기막은 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ), 알루미늄 질화물( $AlN$ ), 실리콘 산화물( $SiO_2$ ), 실리콘 질화물( $SiN_x$ ), 실리콘 산화질화물( $SiON_x$ ), 마그네슘 산화물( $MgO$ ), 마그네슘 질화물( $MgN_x$ ), 마그네슘 불화물( $MgF_2$ ), 티타늄 산화물( $TiO_2$ ), 티타늄 질화물( $TiN_x$ ), 하프늄 산화물( $HfO_2$ ), 하프늄 질화물( $HfN_x$ ), 지르코늄 산화물( $ZrO_2$ ), 지르코늄 질화물( $ZrN_x$ ), 지르코늄 황화물( $ZrS$ ), 아연 산화물( $ZnO$ ), 아연 황화물( $ZnS$ ), 아연 질화물( $ZnN_x$ ), 텅스텐 산화물( $WO_3$ ) 및 이트륨 산화물( $Y_2O_3$ ) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0007] 본 발명의 일 실시예에서, 실록산 고분자막은 pV3D3(poly(1,3,5-trivinyl-1,3,5-trimethyl cyclotrisiloxane)), PVS(폴리비닐실록산; polyvinyl siloxane), 폴리실록산(poly siloxane), PDMS( poly (dimethylsiloxane)), PMTFPS(Polymethyl (3,3,3- trifluoropropyl) siloxane) 및 PAPMS(poly(3-aminopropyl)methylsiloxane), POS(Polyorganosiloxane) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0008] 본 발명의 일 실시예에서, 무기막은 20nm 내지 50nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0009] 본 발명의 일 실시예에서, 무기막은 원자층 증착(ALD), 화학기상증착(CVD), 물리기상증착(PVD), 스퍼터 증착(sputter), 전자선 증착(E-beam) 및 진공 증착(vacuum plating) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0010] 본 발명의 일 실시예에서, 실록산 고분자막은 개시제를 이용한 화학기상증착(iCVD), 스핀 증착(Spin coating), 딥 증착(Dip coating), 바 증착(Bar coating), 잉크젯 증착(Inkjet), 화학기상증착(CVD), 물리기상증착(PVD), 스퍼터 증착(sputter) 및 전자선 증착(E-beam) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 전자 장치는 기판; 상기 기판 상에 배치되되 상술한 어느 하나의 유연 봉지 구조체; 및 상기 기판 상에 배치된 유기 전자 소자; 를 포함한다.
- [0012] 본 발명의 다른 실시예에서, 기판과 유연 봉지 구조체는 광을 투과시킬 수 있는 물질을 포함할 수 있다.
- [0013] 본 발명의 다른 실시예에서, 상기 유기 전자 소자는 외부 대기 환경에 민감한 전계발광(electro-luminescence, EL) 소자, 폴리머 태양전지(PSC) 소자, 유기 발광 다이오드(OLED) 소자, QD(quantum dot) 소자 또는 페로브스카이트(perovskite) 소자를 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0014] 본 발명의 실시예에 따르면, 투습율이 낮은 봉지막의 내부 잔류 응력을 조절하여 외부 응력에 내성이 강하도록 제작된 유연 봉지막 구조체와 그 제조 방법, 그리고 이를 포함하여 신뢰성이 높은 유연한 전자 장치를 구현할 수 있다.
- [0015] 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

**도면의 간단한 설명**

- [0016] 도 1은 본 발명에서 제안하는 유연 이중층 봉지 구조체와 해당 봉지 구조체가 탑재 된 유기발광 다이오드 장치를 도시하는 개략도이다.
  - 도 2는 본 발명에서 제안하는 이중층 봉지 구조체의 투과전자현미경 사진이다.
  - 도 3은 본 발명에서 제안하는 박막의 내부 잔류 응력 조절법을 이해하기 위한 그림과 이론 식이다.
  - 도 4는 하부 무기박막과 이중층 봉지 구조체의 광 파장에 따른 광투과율을 나타내는 그래프이다.
  - 도 5는 하부 무기박막과 이중층 봉지 구조체로 보호된 칼슘박막의 시간에 따른 정규화된 전기전도도를 나타내는 그래프이다.
  - 도 6은 하부 무기박막, 상부 유기박막, 이중층 봉지 구조체의 내부 잔류 응력을 나타내는 그래프이다.
  - 도 7은 여러 굽힘 반경으로 굽힘 실험을 수행하기 전과 후의 하부 무기박막과 이중층 봉지 구조체로 보호된 칼슘박막의 시간에 따른 정규화된 전기전도도를 나타내는 그래프이다.

도 8은 여러 굽힘 반경으로 굽힘 실험을 수행하기 전과 후의 하부 무기박막과 이중층 봉지막 구조체의 수분 투과율을 나타내는 그래프와 표이다.

도 9는 이중층 봉지 구조체가 탑재되기 전과 후의 유기 발광 다이오드 장치의 전압에 대한 전류 밀도, 전압에 대한 휘도 특성을 나타내는 그래프이다.

도 10은 이중층 봉지 구조체가 탑재 되고 굽힘 실험 전과 후의 유기 발광 다이오드 장치의 전압에 대한 전류 밀도, 전압에 대한 휘도 특성을 나타내는 그래프이다.

도 11은 이중층 봉지 구조체가 탑재되기 전, 이중층 봉지 구조체가 탑재 된 후, 이중층 봉지 구조체가 탑재 되고 굽힘 실험 후의 유기 발광 다이오드 장치의 셀 사진이다.

도 12는 이중층 봉지 구조체가 탑재되기 전, 이중층 봉지 구조체가 탑재 된 후, 이중층 봉지 구조체가 탑재되고 굽힘 후의 유기 발광 다이오드 장치의 구동 수명을 나타내는 그래프이다.

도 13은 실록산 고분자막인 pV3D3의 화학 구조를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0017] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있는 것으로, 이하의 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

[0018] 외부 변형에 자유로운 유연 전자 장치, 예를 들어, 유기 발광 다이오드(OLED)를 구비하는 유연 전자 장치에 대한 큰 관심과 요구가 집중되고 있다. 유기 발광 다이오드를 이용하는 전자 장치는 수분과 산소에 쉽게 열화되는 한계에도 불구하고, 본질적인 유연 특성 때문에 유연 전자기기의 디스플레이로 광범위하게 연구되고 있다. 유기 발광 다이오드의 수분에 의한 산화에 대비하기 위하여 소자를 수분으로부터 보호하는 봉지 기술이 중요한 기술로 자리 잡고 있으며, 특히 종래의 유리 봉지재의 대안 기술로 박막 봉지(thin film encapsulation, TFE) 방식이 널리 연구되고 있다.

[0019] 박막 봉지 기술로 무기 나노적층 배리어, 다중 배리어, 고분자 배리어 등이 있다. 또한, 유기박막을 무기박막 사이에 증착한 유무기 적층구조로 이루어진 봉지막 기술이 유연성과 차폐성을 동시에 나타내어 사용되고 있다. 하지만 고유연, 고차폐성을 확보하기 위하여 많은 유무기의 반복 증착공정, 그에 따른 긴 공정시간, 많은 공정 비용이 요구되는 한계가 있다.

[0020] 고유연성과 고차폐성을 동시에 만족하는, 유기 발광 다이오드를 구비하는 전자 장치를 제조하기 위하여, 외부 변형이 가해질 때 봉지막이 받는 응력을 분석하는 것이 특히 중요하다. 기계적인 분석을 바탕으로 봉지막에 외부 변형이 가해질 때, 봉지막이 받는 응력을 조절할 수 있다면 외부 변형에 자유로운 유연 봉지 구조체 제작이 가능하다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 봉지 구조체와 이를 포함하는 전자 장치의 구성을 도해하는 도면이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 봉지 구조체의 투과전자현미경 사진이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 봉지 구조체의 내부 잔류 응력을 조절하는 원리를 도해하는 도면이다.

[0022] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 봉지 구조체(120)는 무기막(122); 및 무기막(122)과 직접 접촉하여 배치되되 Si-O-Si 결합을 구비하는 실록산 고분자막(125); 을 포함한다.

[0023] 무기막(122)은 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ), 알루미늄 질화물( $AlN$ ), 실리콘 산화물( $SiO_2$ ), 실리콘 질화물( $SiN_x$ ), 실리콘 산화질화물( $SiON_x$ ), 마그네슘 산화물( $MgO$ ), 마그네슘 질화물( $MgN_x$ ), 마그네슘 불화물( $MgF_2$ ), 티타늄 산화물( $TiO_2$ ), 티타늄 질화물( $TiN_x$ ), hafnium 산화물( $HfO_2$ ), hafnium 질화물( $HfN_x$ ), 지르코늄 산화물( $ZrO_2$ ), 지르코늄 질화물( $ZrN_x$ ), 지르코늄 황화물( $ZrS$ ), 아연 산화물( $ZnO$ ), 아연 황화물( $ZnS$ ), 아연 질화물( $ZnN_x$ ), 텅스텐 산화물( $WO_3$ ) 및 이트륨 산화물( $Y_2O_3$ ) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0024] 예를 들어, 무기막(122)은 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ )로 이루어진 제1막(122\_1)과 티타늄 산화물( $TiO_2$ )로 이루어진 제2막(122\_2)이 교번하여 적층되는 적층 구조체일 수 있다. 각각의 제1막(122\_1)과 제2막(122\_2)의 두께는, 예를 들어, 3nm일 수 있으며, 제1막(122\_1)과 제2막(122\_2)이 교번하여 적층되는 적층 구조체인 무기막(122)은,

예를 들어, 20nm 내지 50nm의 두께를 가질 수 있다.

- [0025] 무기막(122)은 원자층 증착(ALD), 화학기상증착(CVD), 물리기상증착(PVD), 스퍼터 증착(sputter), 전자선 증착(E-beam) 및 진공 증착(vacuum plating) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0026] 한편, 실록산 고분자막(125)은 pV3D3(poly(1,3,5-trivinyl-1,3,5-trimethyl cyclotrisiloxane)), PVS(폴리비닐 실록산; polyvinyl siloxane), 폴리실록산(poly siloxane), PDMS( poly (dimethylsiloxane)), PMTFPS(Polymethyl (3,3,3- trifluoropropyl) siloxane) 및 PAPMS(poly(3-aminopropyl)methylsiloxane), POS(Polyorganosiloxane) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0027] 실록산 고분자막(125)은 개시제를 이용한 화학기상증착(iCVD), 스핀 코팅(Spin coating), 딥 증착(Dip coating), 바 증착(Bar coating), 잉크젯 증착(Inkjet), 화학기상증착(CVD), 물리기상증착(PVD), 스퍼터 증착(sputter) 및 전자선 증착(E-beam) 중 적어도 어느 하나를 이용하여 형성될 수 있다.
- [0028] 실록산(siloxane)은 Si-O-Si 결합을 갖는 고분자 작용기이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 실록산 고분자막(125)은 Si-O결합을 가지고 있지만, SiO<sub>2</sub> 산화물을 포함하진 않는 실록산 계열이라는 점에서 실리카 고분자막과 구별된다.
- [0029] 예를 들어, 실록산 고분자막(125)은 pV3D3(poly(1,3,5-trivinyl-1,3,5- trimethyl cyclotrisiloxane))일 수 있다. 도 13을 참조하면, 카본 백본(carbon backbone)을 따라(예를 들어, 도 13의 화살표 방향을 따라) 동일구조가 반복되는 pV3D3의 화학 구조를 이해할 수 있다.
- [0030] pV3D3 박막은, 예를 들어, 개시제를 이용한 화학기상증착(iCVD)법으로 형성될 수 있다. 상기 공정은 고분자를 이루는 반복단위인 단량체(monomer)를 진공환경에서 분사시켜 증착을 이루는 증착법이다. 구체적으로, 모노머인 V3D3과 개시제인 TBPO(tert-butyl peroxide)를 진공챔버 안으로 분사한 뒤, 해당 분자들이 120℃로 가열된 필라멘트를 지나도록 한다. 필라멘트로부터 받는 열에너지로 인해 개시제가 자유라디칼로 분해되어 기상화된 V3D3의 화학반응을 활성화시킨다. 활성화된 V3D3의 중합이 일어나 pV3D3 (V3D3 단량체의 고분자화) 박막이 형성됨으로써 실록산 고분자막(125)이 구현된다.
- [0031] 개시제를 이용한 화학기상증착(iCVD; initiated chemical vapor deposition)법은 스핀 코팅(Spin coating)보다 다음과 같은 유리한 효과를 기대할 수 있다.
- [0032] 첫째, iCVD 공정은 용매를 사용하지 않아 용매 잔여물 없이 품질(quality)이 높은 박막을 증착할 수 있다. 이에 반하여, 스핀 코팅은 용액공정으로서, 용매(solvent)를 섞어 도포를 한 뒤, 열/UV 과정을 통해 용매를 증발시키는 바, 완전히 용매가 증발되지 않아 용매 잔여물(solvent residue)이 남아 박막의 품질을 감소시킨다.
- [0033] 둘째, 스핀 코팅에서 용매를 증발시키는 경화과정(curing)은 열이나 UV 노출단계가 필요한데, 이는 하부 소자에 손상(damage)을 야기할 수 있다. 반면, iCVD 공정은 경화과정 없이 40℃의 근 상온에서 이루어져 열이나 UV로 인한 공정적 손상이 없다는 효과를 기대할 수 있다.
- [0034] 셋째, 개시제를 이용한 화학기상증착(iCVD)법을 이용할 경우, 무기막(122) 제조부터 진공 환경을 깨지 않고 실록산 고분자막(125)까지 형성할 수 있는 all-vacuum 환경에서 유연 봉지 구조체(120)가 제작될 수 있다.
- [0035] 넷째, 스핀 코팅의 용액공정은 원액 농도, 스핀속도 등으로 박막의 두께를 조절하여 nm 단위의 세밀한 두께 조절이 불가능하지만 iCVD 공정은 nm 단위의 두께 조절이 가능한 thickness monitor를 사용하여 증착을 진행하기 때문에 nm 단위의 세밀한 두께 조절이 가능하다. 이는 기계적 구조 설계나 일관적인 박막 생성에 유리하다.
- [0036] 다섯째, 스핀 코팅의 용액공정은 용매가 함유된 액체를 하부 기판에 분사하기 때문에, 수분에 취약한 유기 소자의 경우 직접적인 공정이 거의 불가능하다. 따라서, 주로 용액공정 전 보호 코팅층을 증착 후, 용액공정을 진행해야 한다. 하지만, iCVD 공정은 기상 증착이기 때문에 소자의 손상 없이 직접적인 박막 형성이 가능하다.
- [0037] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 유연 봉지 구조체(120)에서, 무기막(122)과 실록산 고분자막(125)은 유연 봉지 구조체(120)의 내부 잔류 응력을 조절하기 위하여 서로 반하는 응력을 가질 수 있다.
- [0038] 봉지막에 외부 변형이 가해질 시, 봉지막이 받는 응력은 외부 변형 응력에 내부 잔류 응력을 더한 값이다. 원자층 증착법으로 제작된 알루미늄 산화물(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 경우에 외부 임계 인장 응력이 약 1GPa이고, 내부 인장 잔류 응력은 약 500MPa일 수 있다. 내부 인장 잔류 응력은 외부 임계 인장 응력의 절반에 해당할 만큼 봉지막의 기계적 거동에 있어 큰 영향을 끼친다. 봉지막의 내부 인장 응력을 0으로 조절한다면 조절된 만큼 외부 응력에 대한

내성이 향상된다.

- [0039] 본 발명의 유연 봉지 구조체(120)의 기본적인 형태는 고차폐성을 지니는 무기막(122) 위에 이에 반하는 잔류 응력을 갖는 실록산 고분자막(125)을 증착한 이중층 구조일 수 있다. 예를 들어, 하부층인 무기막(122)은 고차폐성을 위해 원자층 증착법(atomic layer deposition, ALD)으로 제작한 나노적층무기박막이며 상부층인 실록산 고분자막(125)은 무기박막의 인장 잔류 응력에 반하는 압축 잔류 응력을 갖는 개시제를 이용한 화학 기상증착법(initiated chemical vapor deposition, iCVD)으로 제작한 유기박막이다.
- [0040] 유연 봉지 구조체(120)에서 무기박막의 두께( $h_1$ )와 유기박막의 두께( $h_2$ )는 전체 봉지막인 유연 봉지 구조체(120)의 내부 잔류 응력( $\sigma_{total}$ )을 0으로 조절하기 위하여 무기박막의 잔류 응력 축적값( $\sigma_1 \cdot h_1$ )과 유기박막의 잔류 응력 축적값( $\sigma_2 \cdot h_2$ )이 절대값이 같고 부호가 반대가 되도록 결정될 수 있다(도 3 참조).
- [0041] 계속하여, 도 1을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 전자 장치(100)는 기판(110); 상기 기판(110) 상에 배치되되 상술한 유연 봉지 구조체(120); 및 상기 기판(110) 상에 배치된 유기 전자 소자(135);를 포함한다.
- [0042] 기판(110)은, 예를 들어, 섬유, 직물, 플라스틱 및 이형지 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 본 발명에서는 봉지막의 간단한 증착 방법을 통해 제작이 가능하므로 웨어러블 기기의 직접적인 기판으로 사용되는 섬유나 직물 혹은 간접적인 기판으로 사용되는 플라스틱 등 다양한 기판 위에 형성이 가능하므로 향후 웨어러블 유기 전자 기기에 적합한 선택 가능한 봉지막을 제작할 수 있다.
- [0043] 기판(110)과 유연 봉지 구조체(120)는 광을 투과시킬 수 있는 물질을 포함할 수 있다.
- [0044] 유기 전자 소자(135)는 외부 대기 환경에 민감한 전계발광(electro-luminescence, EL) 소자, 폴리머 태양전지(PSC) 소자, 유기 발광 다이오드(OLED) 소자, QD(quantum dot) 소자 또는 페로브스카이트(perovskite) 소자를 포함할 수 있다. 유기 전자 소자(135)의 상하에는 전극 구조체, 배선 구조체, 접합 구조체(133, 137)가 배치될 수 있다.
- [0045] 유연 봉지 구조체(120)는 유기 전자 소자(135)를 기판(110) 상에 실장하기 전에 먼저 형성하는 제1 유연 봉지 구조체(120\_a)와 유기 전자 소자(135)를 실장한 후에 형성하는 제2 유연 봉지 구조체(120\_b)를 포함할 수 있다.
- [0046] 지금까지 설명한 본 발명의 일 실시예에 따른 구조는 봉지막을 제작하는데 있어 기본 구조로 사용이 가능하다. 유연 봉지 구조체(120)를 구성하는 하부층은 낮은 투습율을 갖는 모든 박막을 포함할 수 있다. 하부층은 단일 무기박막 구조가 가능하다. 나아가, 하부층은 3개 이상의 무기박막이 교대로 증착된 나노적층무기박막으로 확장 가능하다. 하부층은 20 nm 내지 50 nm 범위의 두께를 가질 수 있다. 하부층이 나노적층무기박막일 경우, 이를 이루는 하위 무기박막들은 1 nm 내지 10 nm 범위의 두께를 각각 가질 수 있다. 상부층은 하부층에 반하는 잔류 응력을 갖는 모든 박막을 포함할 수 있다. 낮은 투습율을 갖는 1개 이상의 박막과 이에 반하는 잔류 응력을 갖는 2개 이상의 박막을 포함한 다층 박막의 형태로 확장 가능하다.
- [0047] 한편, 변형된 실시예에 따른 유연 봉지 구조체에서는 상술한 상하부 구조와 반대인 구조를 포함할 수 있다. 예를 들어, 유연 봉지 구조체에서 상부층은 단일 무기박막 구조나 나노적층무기박막이며 하부층은 상부층에 반하는 잔류 응력을 갖는 모든 박막을 포함할 수 있다.
- [0048] 본 발명에서 제안하는 유연 봉지 구조체(120)는 유기 발광 다이오드 장치 외 수분 및 산소에 취약한 모든 전자 소자들에 적용 가능하다.
- [0049] **실험예**
- [0050] 이하 본 발명의 이해를 돕기 위해 바람직한 실험예를 제시한다. 다만, 다음의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 다음의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0051] 도 4는 제안된 봉지 구조체의 광 파장에 따른 광투과율을 나타내는 그래프이고, 도 5는 제안된 봉지 구조체로 보호된 칼슘 박막의 시간에 따른 정규화된 전기 전도도를 나타내는 그래프이고, 도 6은 제안된 내부 잔류 응력이 조절된 봉지 구조체와 이를 이루는 각 층들의 내부 잔류 응력을 나타내는 그래프이고, 도 7은 굽힘 실험 후 제안된 봉지 구조체로 보호된 칼슘 박막의 시간에 따른 정규화된 전기 전도도를 나타내는 그래프이고, 도 8은 굽힘 실험 후 제안된 봉지 구조체의 굽힘 변형률에 따른 수분 투습율을 나타내는 그래프이고, 도 9는 제안된 봉지 구조체가 탑재되기 전과 후의 유기 발광 다이오드 장치의 전기광학적 특성을 나타내는 그래프이고, 도 10은 제안된 봉지 구조체가 탑재된 후 굽힘 실험 전과 후의 유기 발광 다이오드 장치의 전기광학적 특성을 나타내는 그래프이고, 도 11은 제안된 봉지 구조체가 탑재되기 전, 봉지 구조체가 탑재된 후, 봉지 구조체가 탑재되고

굽힘 실험 후의 유기 발광 다이오드 장치의 발광면 사진이고, 도 12는 제안된 봉지 구조체가 탑재되기 전과 후의 유기 발광 다이오드 장치의 구동 수명과 봉지 구조체가 탑재 되고 굽힘 실험 전 후의 구동 수명을 나타내는 그래프이다.

[0052] 도 4 내지 도 12에서 '하부 무기박막'은 도 1에 도시된 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ )로 이루어진 제1막(122\_1)과 티타늄 산화물( $TiO_2$ )로 이루어진 제2막(122\_2)이 교번하여 적층되는 적층 구조체인 무기막(122)으로만 봉지막을 이루는 경우이고, '이중층 봉지막 구조체'는 도 1에 도시된 무기막(122)과 실록산 고분자막(125)으로 이루어진 봉지막에 해당한다.

[0053] 본 발명은 고차폐성을 갖는 유연 봉지 구조체의 내부 잔류 응력을 조절하여 외부 변형에 의한 응력에 자유로운 유연 봉지막을 제작하도록 설계되었다. 봉지 기술의 가장 중요한 목적은 산소와 수분의 확산을 효과적으로 방지하는 것이므로 박막이 밀도 높게 성장 되어야 한다. 그러나, 유연 전자소자의 봉지막은 조밀함과 동시에 유연해야 한다. 조밀한 봉지박막에 추가적인 응력 조절층을 더하여 내부 잔류 응력이 조절된 이중층 봉지막은 외부 변형에 의해 받는 응력을 조절할 수 있어 변형에 자유로운 성질을 가지며 동시에 낮은 투습율을 나타낸다. 외부 변형이 가해질 때 봉지막이 받는 총 응력은 외부 응력에 내부 응력을 더한 값으로 내부 응력을 조절하면 총 응력의 정도를 변화시킬 수 있다. 이때, 내부 응력은 압축 응력을 나타내는 음의 값으로도 조절이 가능하다. 봉지막의 내부 잔류 응력 조절의 긍정적 효과는 본 실험예에서 실험적으로 증명되었다.

[0054] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실험예에서 하부 봉지막인 무기막(122)의 투습율은  $2.29 \times 10^{-5} \text{ gm}^{-2} \text{ day}^{-1}$  이고, 내부 잔류 응력은 230.4 MPa 이다. 하부 봉지막( $h_1 = 30 \text{ nm}$ ) 위에 -77.8 MPa의 내부 잔류 응력을 갖는 상부 유기막(125)을 85 nm의 두께( $h_2$ )로 추가하였다.

[0055] 도 4를 참조하면, 하부 무기박막과 이중층 봉지 구조체의 광 파장에 따른 광투과율을 확인할 수 있으며, 도 5를 참조하면, 하부 무기박막과 이중층 봉지 구조체로 보호된 칼슘박막의 시간에 따른 정규화된 전기전도도를 확인할 수 있다.

[0056] 도 6을 참조하면, 상술한 도 3의 구조에서 유연 봉지 구조체(120)인 이중층 봉지막은 0에 근접한 3.0 MPa 인장 내부 잔류 응력을 가지는 것으로 나타난다. 도 6에서 하부 무기박막은 무기막(122)에 해당하며, 상부 유기박막은 실록산 고분자막(125)에 해당하며, 이중층 봉지막 구조체는 유연 봉지 구조체(120)에 해당한다.

[0057] 도 7을 참조하면, 여러 굽힘 반경으로 굽힘 실험을 수행하기 전과 후의 하부 무기박막과 이중층 봉지 구조체로 보호된 칼슘박막의 시간에 따른 정규화된 전기전도도를 확인할 수 있다.

[0058] 도 8을 참조하면, 봉지막의 투습율은 내부 잔류 응력 조절이 되지 않은 하부 무기봉지막의 경우에는 2 mm 굽힘 반경에서  $2.29 \times 10^{-5} \text{ gm}^{-2} \text{ day}^{-1}$  에서  $6.60 \times 10^{-4} \text{ gm}^{-2} \text{ day}^{-1}$  로 증가(증가율: 188%)되었고, 잔류 응력이 0에 가깝게 조절된 이중층 봉지막의 경우에는  $1.28 \times 10^{-5} \text{ gm}^{-2} \text{ day}^{-1}$  에서  $2.42 \times 10^{-5} \text{ gm}^{-2} \text{ day}^{-1}$  로 증가(증가율: 89%)되었다.

[0059] 도 9를 참조하면, 본 발명의 기술적 사상에 따른 이중층 봉지 구조체는 유연 유기 발광 다이오드 장치에 성공적으로 적용될 수 있고, 유연 유기 발광 다이오드 장치의 전기광학적 특성은 이중층 봉지 구조체의 형성 공정에서 영향 받지 않음을 확인할 수 있다.

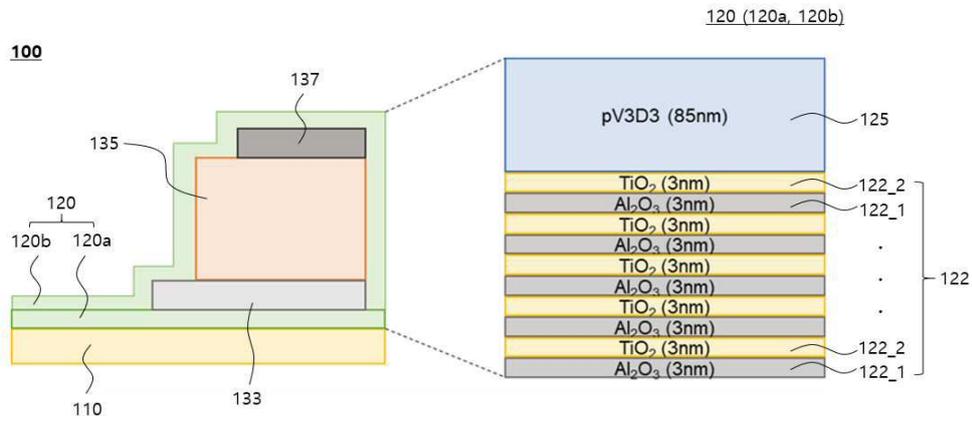
[0060] 도 10 및 도 11을 참조하면, 본 발명의 기술적 사상에 따른 이중층 봉지 구조체(도 1의 유연 봉지 구조체)는 유연 유기 발광 다이오드 장치에 성공적으로 적용될 수 있고, 높은 기계적 신뢰성을 나타낸다는 것을 확인할 수 있다. 이중층 봉지 구조체를 포함하여 제조된 유연 유기 발광 다이오드 장치는 1.8% 변형률로 1,000번 굽힘 변형을 가한 후에도 전기광학적 특성과 셀 사진이 굽힘 변형 전과 동일함을 확인할 수 있다.

[0061] 도 12를 참조하면, 최종적으로 수명 측정들을 통하여 본 발명의 이중층 봉지 구조체가 신뢰성이 있음을 확인할 수 있다. 이중층 봉지 구조체(도 1의 유연 봉지 구조체)를 포함하여 제조된 유연 유기 발광 다이오드는 1.8% 변형률로 1,000번 굽힘 변형을 가한 후와 전의 수명이 동일함을 확인할 수 있다.

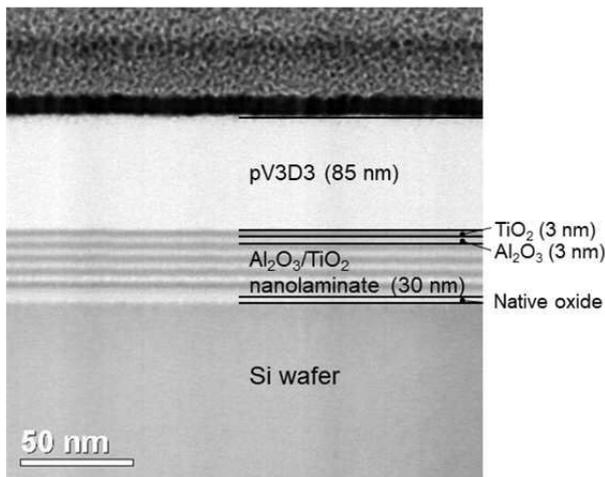
[0062] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

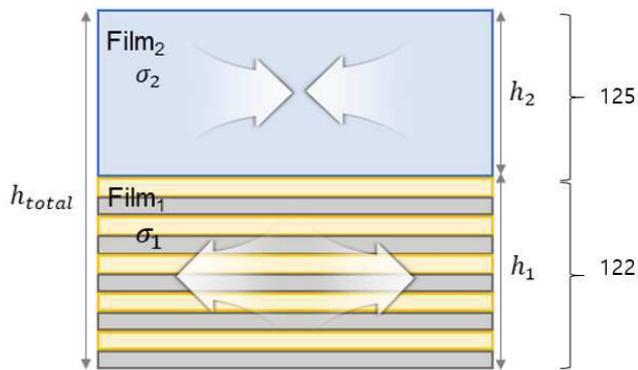
도면1



도면2

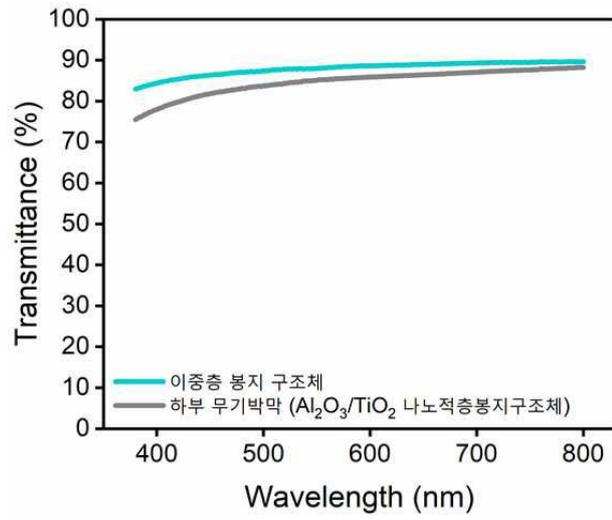


도면3

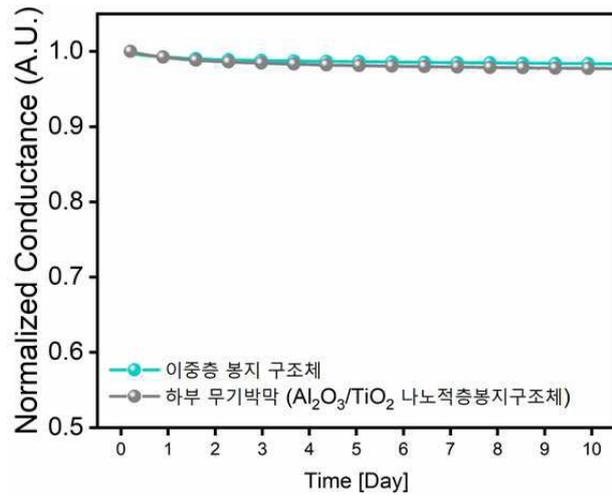


$$\sigma_{total} \cdot h_{total} = \sigma_1 \cdot h_1 + \sigma_2 \cdot h_2$$

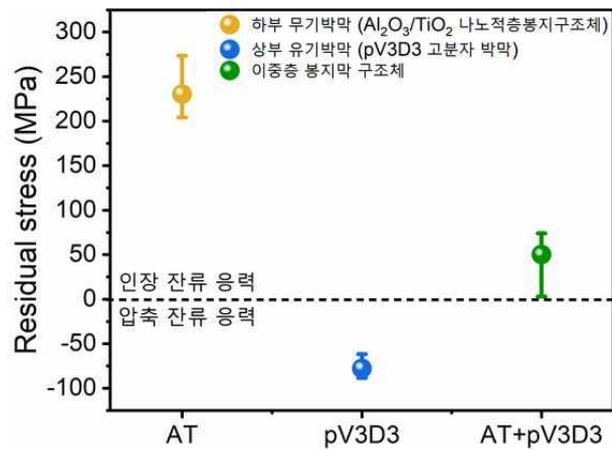
도면4



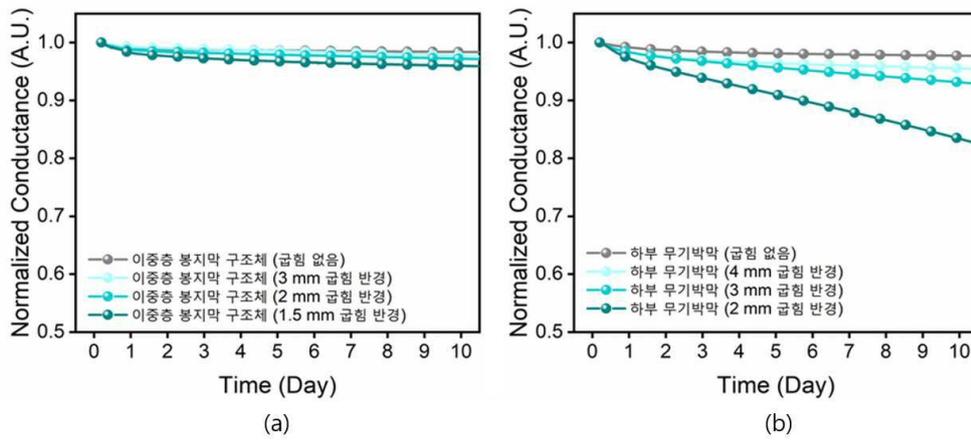
도면5



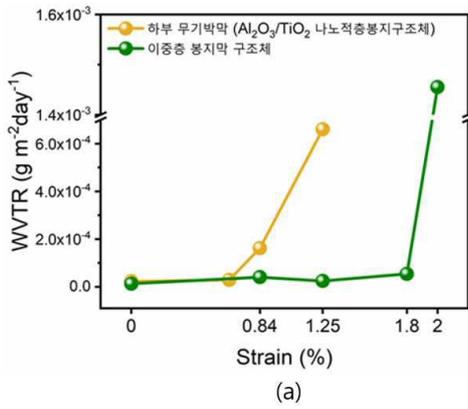
도면6



도면7



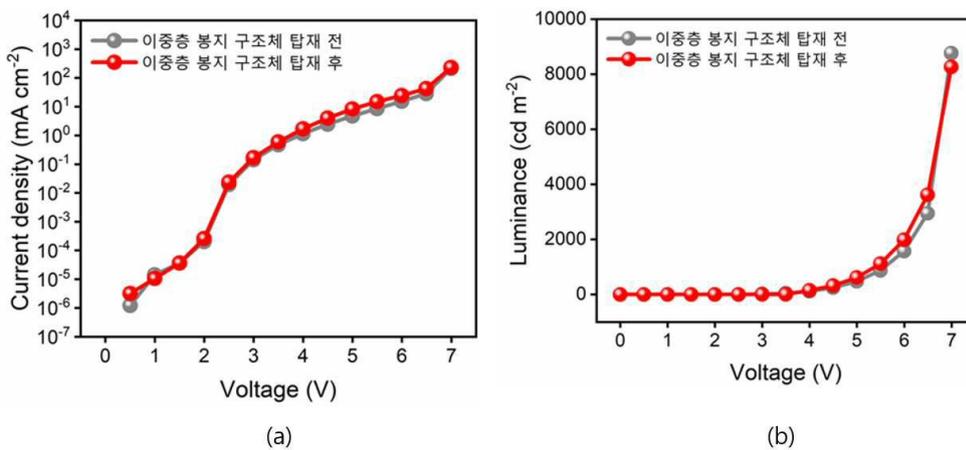
도면8



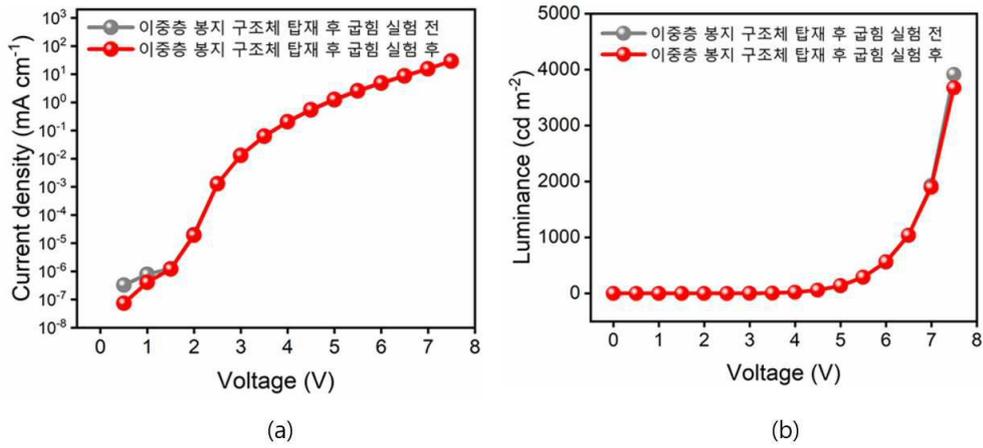
| 압힘 반경 (mm) | 수분 투습률 (g m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ) |                         |
|------------|---|-------------------------|
|            | 하부 무기박막                                       | 이중층                     |
| X          | 2.29 × 10 <sup>-5</sup>                       | 1.28 × 10 <sup>-5</sup> |
| 3          | 1.62 × 10 <sup>-4</sup>                       | 4.02 × 10 <sup>-5</sup> |
| 2          | 6.60 × 10 <sup>-4</sup>                       | 2.42 × 10 <sup>-5</sup> |
| 1.5        | -   | 5.41 × 10 <sup>-5</sup> |
| 1.25       | -   | 1.45 × 10 <sup>-3</sup> |

(b)

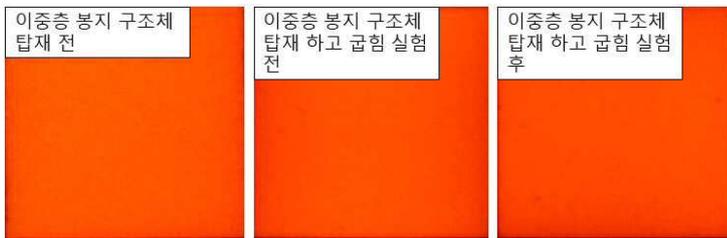
도면9



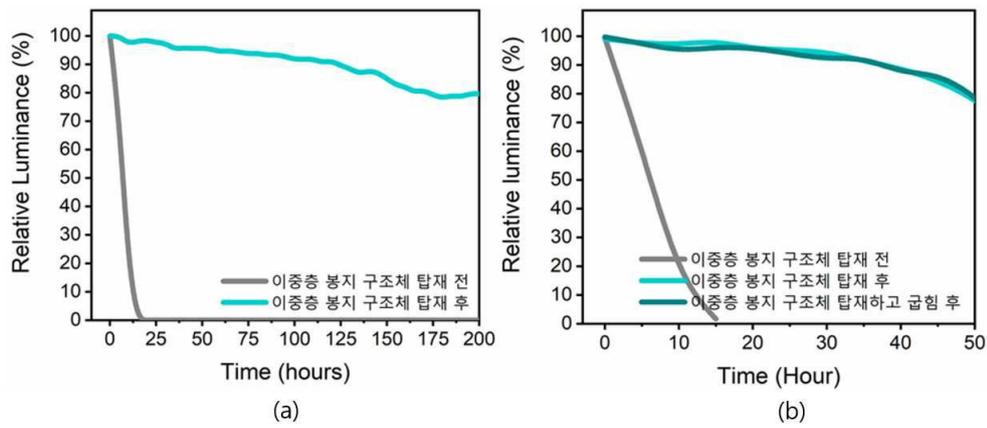
도면10



도면11



도면12



도면13

