



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월26일

(11) 등록번호 10-2698263

(24) 등록일자 2024년08월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C23C 16/448 (2006.01) H10K 10/00 (2024.01)
H10K 99/00 (2023.01)

(52) CPC특허분류
C23C 16/448 (2013.01)
H10K 10/46 (2023.02)

(21) 출원번호 10-2021-0175659

(22) 출원일자 2021년12월09일

심사청구일자 2021년12월09일

(65) 공개번호 10-2023-0087063

(43) 공개일자 2023년06월16일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020180089078 A*

KR1020180117331 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자

임성갑

대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)

최준환

대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

양성보

전체 청구항 수 : 총 2 항

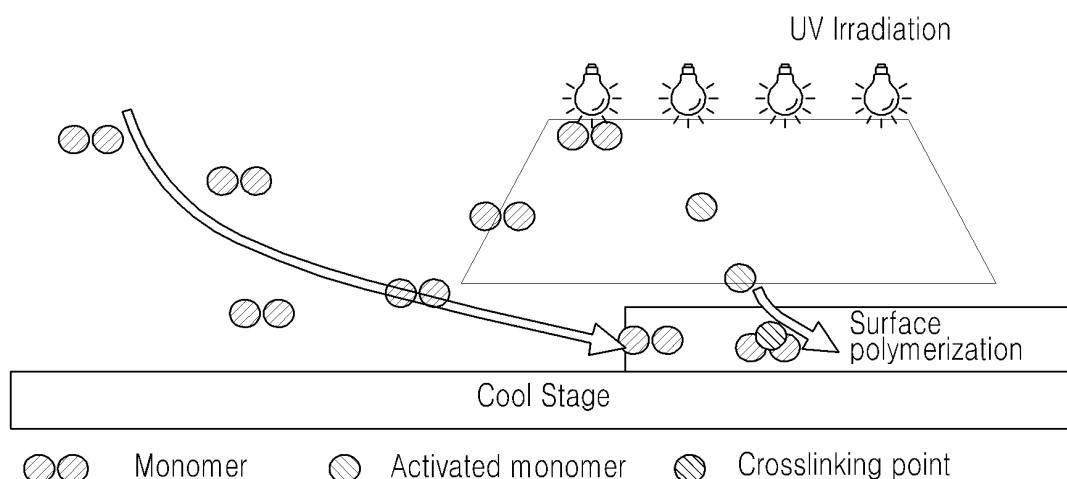
심사관 : 전형태

(54) 발명의 명칭 신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법

(57) 요약

신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법이 제시된다. 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법은, 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하는 단계; 및 상기 단량체를 분해되어 가교(crosslinking) 반응을 유도하여, 고분자 박막을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 광 에너지를 이용한 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 통해 신축성 및 절연 성능을 갖는 상기 고분자 박막을 형성할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
H10K 77/111 (2023.02)

강주연

대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)

(72) 발명자

남왕우

대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711139066
과제번호	2016R1A5A100992622
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업
연구과제명	(N01210081)(통합EZ)웨어러블 플랫폼소재 기술센터(2021년도)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국과학기술원
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711132180
과제번호	2021R1A2B5B0300141611
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업
연구과제명	(N01210722)(통합EZ)이온성/극성 고분자 박막 기반 고성능 소재 개발 및 응용 (2021년도)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국과학기술원
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하는 단계; 및

상기 단량체를 분해하여 가교(crosslinking) 반응을 유도하여, 고분자 박막을 형성하는 단계

를 포함하고,

상기 광 에너지를 이용한 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 통해 신축성 및 절연 성능을 갖는 상기 고분자 박막을 형성하며,

상기 단량체는

극성 작용기를 포함하는 것으로, 소정 이상의 극성을 나타내는 사이아나이드(cyanide) 작용기를 가진 CEA(2-cyanoethyl acrylate) 단량체를 포함하며, 상기 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 중합된 pCEA(poly 2-cyanoethyl acrylate) 고분자를 포함하고, 상기 pCEA 고분자는 단량체에 포함된 사이아나이드($C\equiv N$) 작용기 및 카르보닐과 에테르를 합친 $O=C-O$ 작용기를 모두 포함하고,

상기 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하는 단계는

상기 광 에너지의 파장의 빛을 흡수하여 분해 가능한 $O=C-O$ 작용기를 포함하는 아크릴레이트(acrylate) 또는 메타아크릴레이트(methacrylate) 계열의 단량체를 고분자로 중합하는 상기 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하여 $O=C-O$ 작용기를 분해하여 라디칼(radical)화 하며,

상기 고분자 박막을 형성하는 단계는,

상기 $O=C-O$ 작용기와 바이닐(vinyl) 작용기가 모두 라디칼화되어 결합되는 경우 가교 반응을 유도하여, 상기 고분자 박막에 탄성 복원력 및 전기적 절연 성능을 부여하는 것

을 특징으로 하는, 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광 에너지는,

365 nm 이하의 자외선(ultraviolet, UV) 파장 영역을 갖는 것

을 특징으로 하는, 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 실시예들은 신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 신축성 및 절연 성능을 갖는 신축성 고분자 절연 소재를 제공하고, 신축성 고분자 절연 소재를 제공할 수 있는 제작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]최근 인간 친화적인 전자기기에 대한 관심과 수요가 폭발적으로 증가하고 있고, 이에 따라 사람이 입거나 사람 피부에 붙이는 등의 웨어러블(wearable) 전자기기 및 신축성 전자소자 기술이 부상하고 있다.

[0003]박막 트랜지스터(thin-film transistor, TFT)는 전자소자 구동에 핵심적인 역할을 하기 때문에 미래형 웨어러블 전자소자 구현을 위해서는 박막 트랜지스터와 이를 구성하는 물질 또한 기계적인 유연성을 넘어 신축성을 지녀야 한다.

[0004]무기물 절연막은 유전상수가 높고 절연 특성이 우수하여 절연막의 두께를 수십 나노미터 수준으로 낮추는 것이 가능하지만, 무기물은 유연하지 않기 때문에 웨어러블 전자소자로의 적용은 한계가 있다. 고분자 물질은 일반적으로 기계적인 유연성이 뛰어나기 때문에 유연 전자소자에서 게이트 절연막으로 활용하는 연구가 활발히 진행된 바 있으나, 일반적으로 고분자 물질의 유전상수는 2~5 수준이며, 기계적인 신축성에도 한계가 있다.

[0005]한국공개특허 10-2021-0034465호는 이러한 신축성 및 절연 특성을 가지는 고분자 박막과 형성 방법에 관한 것으로, 아크릴레이트(acrylate) 계열의 단량체와 바이닐기 그룹(vinyl group)의 단량체를 이용한 공중합체 조성에 따라 신축성 및 절연 특성을 가지는 고분자 박막과 그것의 형성 방법에 관한 기술을 기재하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국공개특허 10-2021-0034465호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 실시예들은 신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법에 관하여 기술하며, 보다 구체적으로 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 도입하여 우수한 기계적 신축성 및 절연 성능을 갖는 신축성 고분자 절연 소재를 제공할 수 있는 기술을 제공한다.

[0008] 또한, 실시예들은 극성 작용기를 포함하는 단량체를 도입하여 높은 유전율을 얻을 수 있는 신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법은, 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하는 단계; 및 상기 단량체를 분해되어 가교(crosslinking) 반응을 유도하여, 고분자 박막을 형성하는 단계를 포함하고, 상기 광 에너지를 이용한 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 통해 신축성 및 절연 성능을 갖는 상기 고분자 박막을 형성할 수 있다.

[0010] 상기 광 에너지는, 365 nm 이하의 자외선(ultraviolet, UV) 파장 영역을 갖는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0011] 상기 단량체는, 극성 작용기를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 단량체는, 소정 이상의 극성을 나타내는 사이아나이드(cyanide) 작용기를 가진 CEA(2-cyanoethyl acrylate) 단량체를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 단량체는, 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)을 통해 중합된 pCEA(poly 2-cyanoethyl acrylate) 고분자를 포함하고, 상기 pCEA 고분자는 단량체에 포함된 사이아나이드, 카르보닐(C=O) 및 에테르(C-O-C) 작용기 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0014] 상기 광 개시 화학 기상 증착 공정은, 상기 광 에너지의 파장의 빛을 흡수하여 분해 가능한 O=C-O 작용기를 포함하는 아크릴레이트(acrylate) 또는 메타아크릴레이트(methacrylate) 계열의 단량체를 고분자로 중합할 수 있다.

[0015] 상기 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하는 단계는, 상기 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하여 O=C-O 작용기를 분해하여 라디칼(radical)화 할 수 있다.

[0016] 상기 고분자 박막을 형성하는 단계는, 상기 O=C-O 작용기와 바이닐(vinyl) 작용기가 모두 라디칼화되어 결합되는 경우 가교 반응을 유도하여, 상기 고분자 박막에 탄성 복원력 및 전기적 절연 성능을 부여할 수 있다.

[0017] 다른 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재는, 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하고, 상기 단량체를 분해되어 가교(crosslinking) 반응을 유도함에 따라 형성되는 고분자 박막을 포함하고, 상기 광 에너지를 이용한 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 통해 신축성 및 절연 성능을 갖는 상기 고분자 박막을 형성할 수 있다.

[0018] 상기 광 에너지는, 365 nm 이하의 자외선(ultraviolet, UV) 파장 영역을 갖는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0019] 상기 단량체는, 극성 작용기를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 단량체는, 소정 이상의 극성을 나타내는 사이아나이드(cyanide) 작용기를 가진 CEA(2-cyanoethyl acrylate) 단량체를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 단량체는, 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)을 통해 중합된 pCEA(poly 2-cyanoethyl acrylate) 고분자를 포함하고, 상기 pCEA 고분자는 단량체에 포함된 사이아나이드, 카르보닐(C=O) 및 에테르(C-O-C) 작용기 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0022] 상기 광 개시 화학 기상 증착 공정은, 상기 광 에너지의 파장의 빛을 흡수하여 분해 가능한 $O=C-O$ 작용기를 포함하는 아크릴레이트(acrylate) 또는 메타아크릴레이트(methacrylate) 계열의 단량체를 고분자로 중합할 수 있다.

[0023] 상기 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하여 $O=C-O$ 작용기를 분해하여 라디칼(radical)화 하고, 상기 $O=C-O$ 작용기와 바이닐(vinyl) 작용기가 모두 라디칼화되어 결합되는 경우 가교 반응을 유도하여, 상기 고분자 박막에 탄성 복원력 및 전기적 절연 성능을 부여할 수 있다.

발명의 효과

[0024] 실시예들에 따르면 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 도입하여 우수한 기계적 신축성 및 절연 성능을 갖는 신축성 고분자 절연 소재를 제공할 수 있는 신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법을 제공할 수 있다.

[0025] 또한, 실시예들에 따르면 극성 작용기를 포함하는 단량체를 도입하여 높은 유전율을 얻을 수 있는 신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정의 모식도를 나타내는 도면이다.

도 2는 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 3은 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재를 이용한 고분자 박막의 예를 나타내는 도면이다.

도 4는 일 실시예에 따른 에틸 아크릴레이트(ethyl acrylate) 계열 중합 가능한 단량체를 나타내는 도면이다.

도 5는 일 실시예에 따른 중합 가능한 단량체 메틸 아크릴레이트(methyl acrylate) 계열을 나타내는 도면이다.

도 6은 일 실시예에 따른 중합 가능한 단량체 에틸 메타아크릴레이트(ethyl methacrylate) 계열을 나타내는 도면이다.

도 7은 일 실시예에 따른 중합 가능한 단량체 메틸 메타아크릴레이트(methyl methacrylate) 계열을 나타내는 도면이다.

도 8은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 중합 가능한 단량체 pCEA 고분자를 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 열 물성과 유변학적 물성을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 연신 특성 및 기계적 물성 분석을 나타내는 도면이다.

도 11은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 커패시턴스 특성과 절연 성능을 설명하기 위한 도면이다.

도 12는 일 실시예에 따른 두께에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스-주파수 및 전기장 특성과 누설전류 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 13은 일 실시예에 따른 변형률에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스-주파수 및 전기장 특성과 누설전류 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 14는 일 실시예에 따른 반복 변형 동작에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스 특성을 나타내는 도면이다.

도 15는 일 실시예에 따른 pCEA 고분자를 이용한 신축성 박막 트랜지스터의 소자를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 설명한다. 그러나, 기술되는 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명되는 실시예들에 의하여 한정되는 것은 아니다. 또한, 여러 실시

예들은 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 도면에서 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.

[0029] 아래의 실시예들은 신축성 고분자 절연 소재 및 그 제작 방법에 관한 것으로, 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 도입하여 우수한 기계적 신축성 및 절연 성능을 갖는 신축성 고분자 절연 소재를 제공할 수 있다. 또한, 실시예들에 따르면 극성 작용기를 포함하는 단량체를 도입하여 높은 유전율을 얻을 수 있다.

[0030]광 개시 화학 기상 증착 공정은 광 에너지(사용된 광원의 파장은 365 nm 이하)를 이용하여 단량체를 분해하고 이를 통해 가교(crosslinking) 반응을 유도할 수 있다. 이러한 가교 반응은 고분자 박막에 탄성 복원력을 부여할 수 있을 뿐만 아니라 전기적 절연 성능을 향상시킬 수 있다.

[0032]게이트 절연막층(gate dielectric)은 게이트에서 소스/드레인 전극으로 직접적으로 흐르는 전류를 막아주고 반도체와의 계면에 전하를 축적하는 등 TFT 구동에 핵심적인 역할을 한다. TFT에서 포화영역(saturation region)에서의 드레인 전류(I_{DS})는 다음 식으로 표현될 수 있다.

[0033] [수학식 1]

$$I_{DS} = (W/2L) \mu_{sat} C_i (V_G - V_T)^2$$

[0035]여기서, W 와 L 은 각각 채널의 폭 및 길이이고, μ_{sat} 은 포화영역에서의 이동도이며, C_i 는 단위면적당 커패시턴스이고, V_G 와 V_T 는 각각 게이트에 가해진 전압과 문턱전압이다.

[0036]따라서 동일한 소자 구조에서 드레인 전류를 증가시키기 위해서는 단위면적당 커패시턴스를 올리는 것이 중요한데, 이는 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

[0037] [수학식 2]

$$C_i = \epsilon_0 (k/d)$$

[0039]여기서, ϵ_0 는 진공유전율 상수이며, k 는 유전상수이고, d 는 절연막의 두께이다.

[0040]따라서 단위면적당 커패시턴스를 높이기 위해서는 유전상수 값을 증가시키거나 절연막의 두께를 낮춰야 한다.

[0041] Al_2O_3 , HfO_2 와 같은 무기물 절연막은 유전상수가 높고 절연 특성이 우수하여 절연막의 두께를 수십 나노미터 수준으로 낮추는 것이 가능하지만, 무기물은 유연하지 않기 때문에 웨어러블 전자소자의 적용은 한계가 있다. 고분자 물질은 일반적으로 기계적인 유연성이 뛰어나기 때문에 유연 전자소자에서 게이트 절연막으로 활용하는 연구가 활발히 진행된 바 있으나, 일반적으로 고분자 물질의 유전상수는 2~5 수준이며, 기계적인 신축성에도 한계가 있다.

[0043]도 1은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정의 모식도를 나타내는 도면이다.

[0044]도 1을 참조하면, 광 개시 화학 기상 증착 공정은, 기존에 알려진 개시제(initiator)를 이용한 화학 기상 증착(initiated chemical vapor deposition, iCVD)(광 개시 화학 기상 증착 공정과의 구분을 위해 이하, thermal iCVD로 명명)과는 달리, 와이어(wire) 타입의 열에너지 대신 광 에너지(사용된 광원의 파장은 365 nm 이하)를 이용하여 단량체를 분해하고, 이를 통해 가교(crosslinking) 반응을 유도할 수 있다. 이러한 가교 반응은 고분자 박막에 탄성 복원력을 부여할 수 있을 뿐만 아니라 전기적 절연 성능을 향상시킬 수 있다.

[0045]광 개시 화학 기상 증착 공정은 자외선(ultraviolet, UV) 파장 영역의 광원을 사용하기 때문에 해당 파장의 빛을 흡수하여 분해될 수 있는 $O=C-O$ 작용기를 포함하는 아크릴레이트(acrylate) 또는 메타아크릴레이트(methacrylate) 계열의 단량체를 고분자로 중합할 수 있다. 또한, 사슬 말단에 극성 작용기를 포함하는 단량체를 도입하면 이러한 흡광을 촉진할 수 있을 뿐만 아니라 고분자 박막의 유전율을 향상시킬 수 있다.

[0047]도 2는 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0048]도 2를 참조하면, 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법은, 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하는 단계(S110), 및 단량체를 분해되어 가교(crosslinking) 반응을 유도하여, 고분자 박막을 형성하는 단

계(S120)를 포함하여 이루어질 수 있다. 실시예들에 따르면 광 에너지를 이용한 광 개시 화학 기상 증착(photo-initiated chemical vapor deposition, photo iCVD) 공정을 통해 신축성 및 절연 성능을 갖는 고분자 박막을 형성할 수 있다.

- [0049] 아래에서 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법에 대해 보다 구체적으로 설명한다.
- [0051] 단계(S110)에서, 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해할 수 있다. 여기서, 광 에너지는 365 nm 이하의 자외선(ultraviolet, UV) 파장 영역을 가질 수 있다.
- [0052] 단량체는 극성 작용기를 포함할 수 있다. 특히, 단량체는 소정 이상의 극성을 나타내는 사이아나이드(cyanide) 작용기를 가진 CEA(2-cyanoethyl acrylate) 단량체를 포함할 수 있다.
- [0053] 예컨대, 단량체는 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)을 통해 중합된 pCEA(poly 2-cyanoethyl acrylate) 고분자를 포함하고, pCEA 고분자는 단량체에 포함된 사이아나이드, 카르보닐(C=O) 및 에테르(C-O-C) 작용기 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 단량체는 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)을 통해 중합된 pCEA(poly 2-cyanoethyl acrylate) 고분자를 포함하고, pCEA 고분자는 단량체에 포함된 사이아나이드, 카르보닐(C=O) 및 에테르(C-O-C) 작용기를 모두 포함할 수 있다.
- [0054] 광 개시 화학 기상 증착 공정은 광 에너지의 파장의 빛을 흡수하여 분해 가능한 O=C-O 작용기를 포함하는 아크릴레이트(acrylate) 또는 메타아크릴레이트(methacrylate) 계열의 단량체를 고분자로 중합할 수 있다.
- [0055] 단계(S120)에서, 단량체를 분해되어 가교(crosslinking) 반응을 유도하여, 고분자 박막을 형성할 수 있다. O=C-O 작용기와 바이닐(vinyl) 작용기가 모두 라디칼화되어 결합되는 경우 가교 반응을 유도하여, 고분자 박막에 탄성 복원력 및 전기적 절연 성능을 부여할 수 있다.
- [0056] 특히, 단계(S110)에서, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하여 O=C-O 작용기를 분해하여 라디칼(radical)화할 수 있다. 그리고, 단계(S120)에서, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하여 O=C-O 작용기를 분해하여 라디칼(radical)화할 수 있다.
- [0058] 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법에 의해 신축성 고분자 절연 소재를 제작할 수 있다.
- [0059] 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재는 광 에너지를 이용하여 단량체를 분해하고, 단량체를 분해되어 가교 반응을 유도함에 따라 형성되는 고분자 박막을 포함할 수 있다.
- [0060] 이와 같이, 광 에너지를 이용한 광 개시 화학 기상 증착(photo iCVD) 공정을 통해 신축성 및 절연 성능을 갖는 고분자 박막을 형성할 수 있다. 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재는 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재의 제작 방법에서 설명하였으므로 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0062] 도 3은 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재를 이용한 고분자 박막의 예를 나타내는 도면이다.
- [0063] 도 3을 참조하면, 일 실시예에 따른 신축성 고분자 절연 소재를 이용한 고분자 박막의 예를 나타내며, 여기에서는 pCEA 고분자(310)를 예를 들어 설명한다.
- [0064] 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자(310)를 이용하여, Poly[2,5-(2-octyldodecyl)-3,6-diketopyrrolopyrrole-alt-5,5-(2,5-di(thien-2-yl)thieno [3,2-b]thiophene)](DPP-DTT)(330)의 고분자 반도체와 styrene-ethylene-butylene-styrene(SEBS)(340) 엘라스토머 매트릭스로 이루어진 신축성 반도체 층을 이용하여 신축성 유기 박막 트랜지스터 소자를 제작할 수 있다. 또한, 반도체 층 제작 전에 poly(1,3,5-trivinyl-1,3,5-trimethyl cyclotrisiloxane)(pV3D3)(320)와 같은 다른 고분자 소재를 적층하여 신축성 유기 박막 트랜지스터 소자를 제작할 수 있다.
- [0066] 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하여 중합 가능한 단량체의 화학 구조를 도 4 내지 도 7과 같이 나타낼 수 있다.
- [0067] 도 4는 일 실시예에 따른 에틸 아크릴레이트(ethyl acrylate) 계열 중합 가능한 단량체를 나타내는 도면이다.
- [0068] 도 4를 참조하면, 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 중합 가능한 단량체를 나타내며, 에틸 아크릴레이트(ethyl acrylate) 계열을 나타낸다.
- [0069] 도 5는 일 실시예에 따른 중합 가능한 단량체 메틸 아크릴레이트(methyl acrylate) 계열을 나타내는 도면이다.

- [0070] 도 5를 참조하면, 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 중합 가능한 단량체를 나타내며, 메틸 아크릴레이트(methyl acrylate) 계열을 나타낸다.
- [0071] 도 6을 일 실시예에 따른 중합 가능한 단량체 에틸 메타아크릴레이트(ethyl methacrylate) 계열을 나타내는 도면이다.
- [0072] 도 6을 참조하면, 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 중합 가능한 단량체를 나타내며, 에틸 메타아크릴레이트(ethyl methacrylate) 계열을 나타낸다.
- [0073] 도 7은 일 실시예에 따른 중합 가능한 단량체 메틸 메타아크릴레이트(methyl methacrylate) 계열을 나타내는 도면이다.
- [0074] 도 7을 참조하면, 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 중합 가능한 단량체를 나타내며, 메틸 메타아크릴레이트(methyl methacrylate) 계열을 나타낸다.
- [0076] 도 8은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 중합 가능한 단량체 pCEA 고분자를 설명하기 위한 도면이다.
- [0077] 도 8의 (a)를 참조하면 pCEA 고분자의 화학구조를 나타내고, (b)는 pCEA 단량체와 pCEA 고분자의 FTIR 스펙트럼을 나타내며, (c)는 pCEA 고분자의 고분해능 XPS C1s, O1s 및 N1s 스펙트럼을 나타낸다.
- [0078] 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하면 $O=C-O$ 작용기를 분해하여 라디칼(radical)화 할 수 있다. 따라서, $O=C-O$ 작용기와 바이닐(vinyl) 작용기가 모두 라디칼화되어 결합되는 경우 가교(crosslinking)를 유도할 수 있다.
- [0079] 광 개시 화학 기상 증착 공정을 이용하여 개발된 고유전율, 신축성 고분자 절연 소재의 예시로서, 강한 극성을 나타내는 사이아나이드(cyanide) 작용기를 가진 2-cyanoethyl acrylate(CEA) 단량체를 도입하였다. 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)을 통해 중합된 poly(2-cyanoethyl acrylate)(pCEA) 고분자는 단량체에 포함된 사이아나이드, 카르보닐($C=O$), 에테르($C-O-C$) 작용기를 모두 가지고 있음을 확인하였고, 광전자분광법(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)을 통해 화학적 조성을 분석하였다.
- [0081] 도 9는 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 열 물성과 유변학적 물성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0082] 도 9의 (a) 내지 (c)를 참조하면, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 열 물성과 유변학적 물성을 개시제를 이용한 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 물성과 비교한 결과를 나타낸다.
- [0083] 보다 구체적으로, 도 9의 (a)는, 광 개시 화학 기상 증착 공정 및 개시제를 이용한 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 시차 주사 열량측정법(differential scanning calorimetry) 결과 비교를 나타낸다. 또한, 도 9의 (b)는, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 레오미터(rheometer) 분석 결과를 나타내고, 도 9의 (c)는 개시제를 이용한 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 레오미터(rheometer) 분석 결과를 나타낸다.
- [0085] 도 10은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 연신 특성 및 기계적 물성 분석을 나타내는 도면이다.
- [0086] 도 10의 (a)를 참조하면, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 연신 특성 분석 결과를 나타내며, (b)를 참조하면, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 반복 연신에 따른 기계적 물성 분석을 나타낸다.
- [0087] 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자에서 유리 전이 온도(glass transition temperature, T_g)가 향상되었고, 1 Hz 이상의 주파수 영역에서 storage modulus가 loss modulus보다 높은 특성을 보여 탄성력을 가진 유변학적 거동을 보였다. 또한, 기계적인 물성을 분석한 결과 600% 이상의 연신성을 보였고, 반복적인 신축 동작에도 기계적인 물성을 유지하였다.
- [0089] 도 11은 일 실시예에 따른 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 커패시턴스 특성과 절연 성능을 설명하기 위한 도면이다.
- [0090] 보다 구체적으로, 도 11의 (a)는 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 두께에 따른 단위

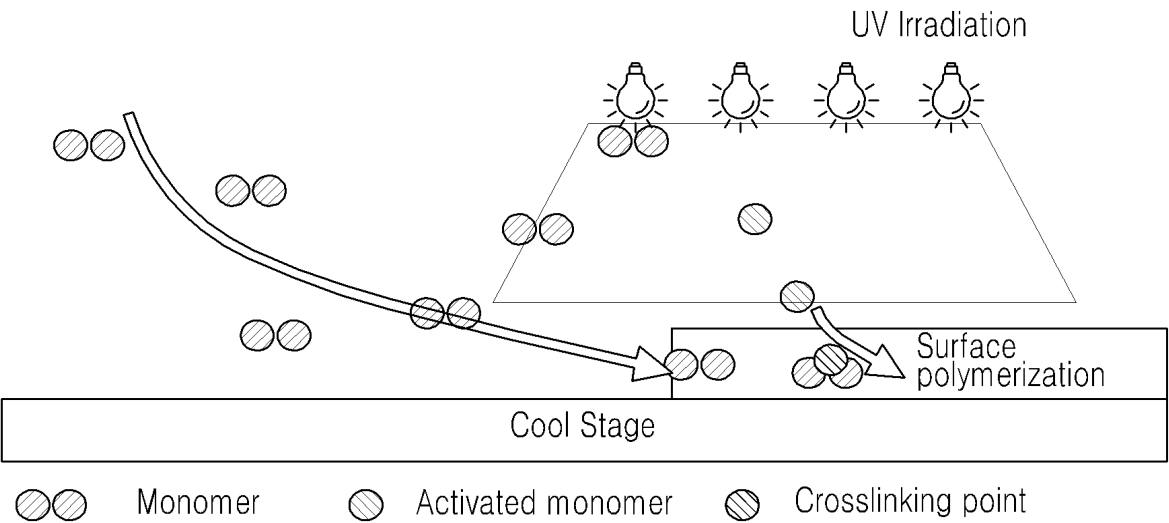
면적당 커패시턴스 특성을 나타내고, (b)는 개시제를 이용한 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자와의 절연 성능 비교 결과를 나타낸다.

- [0091] 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자의 전기적 특성 또한 분석하였다. 도 11의 (a)를 참조하면, 합성된 pCEA 고분자 절연막은 강한 극성을 나타내는 사이아나이드로 인해 11.5의 높은 유전율을 나타낸다. 즉, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자는 개시제를 이용한 화학 기상 증착 공정으로 합성된 pCEA보다 더욱 향상된 절연 성능을 나타낸다.
- [0092] 도 11의 (b)를 참조하면, 개시제를 이용한 화학 기상 증착 공정으로 합성된 pCEA는 높은 누설전류를 나타내는 반면, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자는 2 MV/cm 이상의 파괴 전압을 나타내었다.
- [0094] 도 12는 일 실시예에 따른 두께에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스-주파수 및 전기장 특성과 누설전류 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0095] 보다 구체적으로, 도 12의 (a)는 두께에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스-주파수 및 전기장 특성을 나타내고, (b)는 두께에 따른 pCEA 고분자의 가해진 전기장에 따른 단위 면적당 누설전류 특성을 나타낸다.
- [0096] 도 12를 참조하면, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자는 높은 유전율로 인해 높은 단위 면적당 커패시턴스(C_i)를 보였으며, 200 nm 이하의 얇은 두께에서도 $5 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$ 이하의 낮은 누설전류와 우수한 절연 성능을 나타낸다.
- [0098] 도 13은 일 실시예에 따른 변형률에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스-주파수 및 전기장 특성과 누설전류 특성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0099] 보다 구체적으로, 도 13의 (a)는 변형률에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스-주파수 및 전기장 특성을 나타내고, (b)는 변형률에 따른 pCEA 고분자의 가해진 전기장에 따른 단위 면적당 누설전류 특성을 나타낸다.
- [0100] 특히, 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자는 우수한 기계적 신축성으로 인해 변형을 가한 상태에서도 (늘린 상태에서도) 우수한 절연 성능을 나타내었다. 도 13의 (a)에 나타난 바와 같이 늘린 변형률에 따라 단위 면적당 커패시턴스 변화를 보였으며, 도 13의 (b)에 나타난 바와 같이 변형을 가한 상태에서도 $3 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 이하의 낮은 누설전류 특성이 유지되었다.
- [0102] 도 14는 일 실시예에 따른 반복 변형 동작에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스 특성을 나타내는 도면이다.
- [0103] 도 14를 참조하면, 반복 변형 동작, 변형률=50%에 따른 pCEA 고분자의 단위 면적당 커패시턴스 특성을 나타낸다. 100회 이상의 반복적인 변형에도 전기적 특성이 유지되었다.
- [0105] 도 15는 일 실시예에 따른 pCEA 고분자를 이용한 신축성 박막 트랜지스터의 소자를 설명하기 위한 도면이다.
- [0106] 보다 구체적으로, 도 15의 (a)는 pCEA 고분자를 이용한 신축성 박막 트랜지스터의 소자 구조를 나타내고, (b)는 변형률에 따른 트랜스퍼 (transfer) 특성 변화를 나타내며, (c)는 반복 변형에 따른 트랜스퍼 특성 변화를 나타낸다.
- [0107] 도 15의 (a)에 도시된 바와 같이, pCEA 고분자는 절연막으로 이용하고, Poly[2,5-(2-octyldodecyl)-3,6-diketopyrrolopyrrole-alt-5,5-(2,5-di(thien-2-yl)thieno [3,2-b]thiophene)](DPP-DTT)의 고분자 반도체와 styrene-ethylene-butylene-styrene(SEBS) 엘라스토머 매트릭스로 이루어진 신축성 반도체 층을 이용하여 신축성 유기 박막 트랜지스터 소자를 제작할 수 있다. 또한, pCEA 고분자에 다른 고분자 소재를 사용하여 이중층 절연막으로도 사용할 수 있다. 예를 들어 광 개시 화학 기상 증착 공정을 통해 합성된 pCEA 고분자와 poly(1,3,5-trivinyl-1,3,5-trimethyl cyclotrisiloxane)(pV3D3) 이중층을 절연막으로 이용하고, Poly[2,5-(2-octyldodecyl)-3,6-diketopyrrolopyrrole-alt-5,5-(2,5-di(thien-2-yl)thieno [3,2-b]thiophene)](DPP-DTT)의 고분자 반도체와 styrene-ethylene-butylene-styrene(SEBS) 엘라스토머 매트릭스로 이루어진 신축성 반도체 층을 이용하여 신축성 유기 박막 트랜지스터 소자를 제작할 수 있다.
- [0108] 도 15의 (b)에 도시된 바와 같이, 개발된 신축성 박막 트랜지스터는 변형을 가한 상태 및 반복적인 변형 동작에서도 이동도 $0.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상, 우수한 스위칭 특성과 낮은 누설전류를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

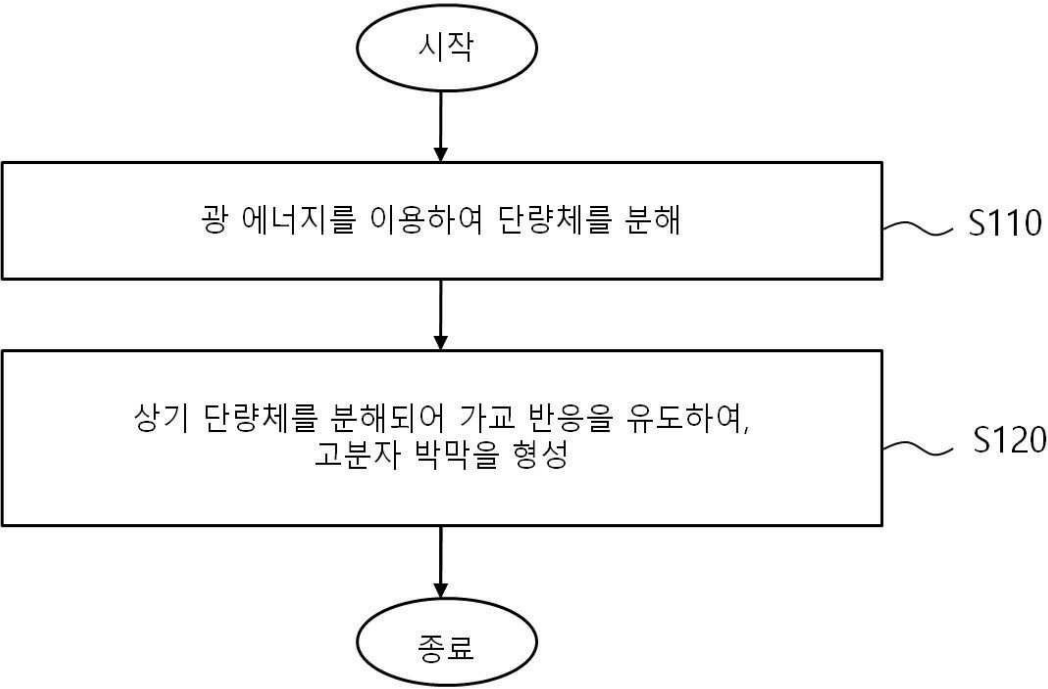
- [0110] 이상에서 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0111] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0112] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0113] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0114] 또한, 각 도면을 참조하여 설명하는 실시예의 구성 요소가 해당 실시예에만 제한적으로 적용되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상이 유지되는 범위 내에서 다른 실시예에 포함되도록 구현될 수 있으며, 또한 별도의 설명이 생략될지라도 복수의 실시예가 통합된 하나의 실시예로 다시 구현될 수도 있음은 당연하다.
- [0115] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일하거나 관련된 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0116] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0117] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.
- [0118]

도면

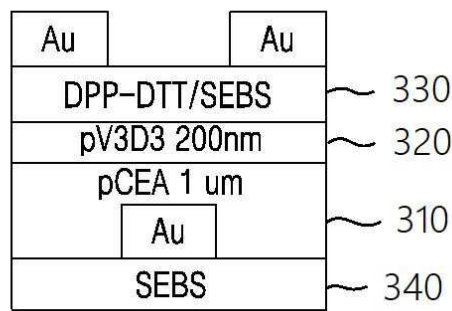
도면1



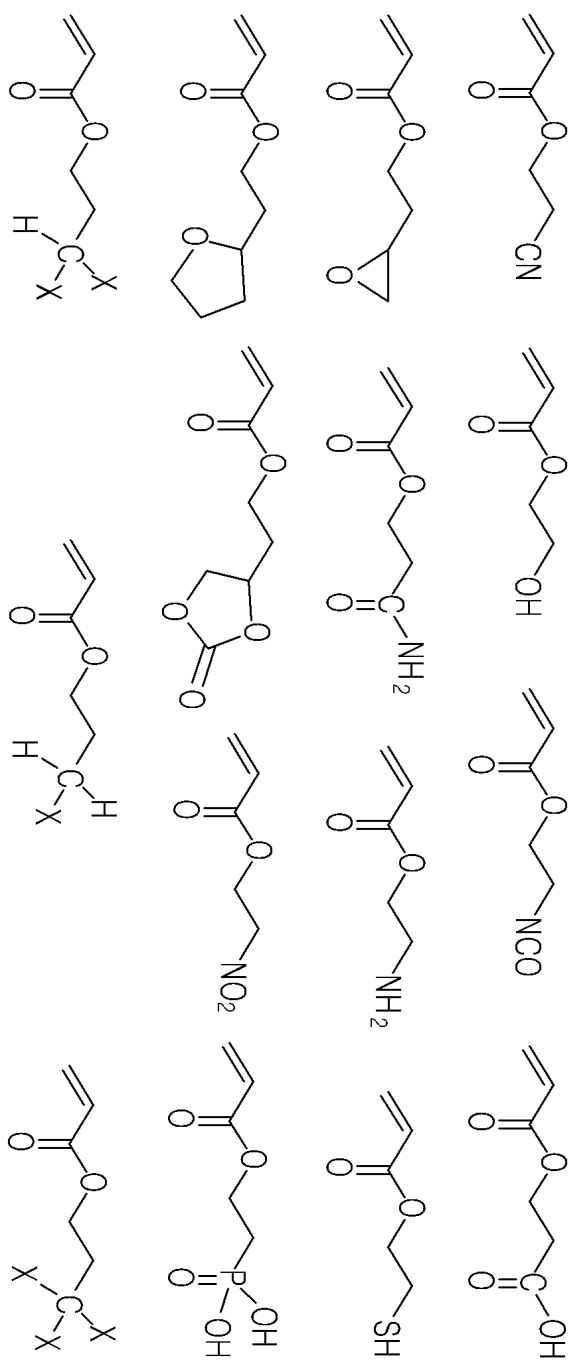
도면2



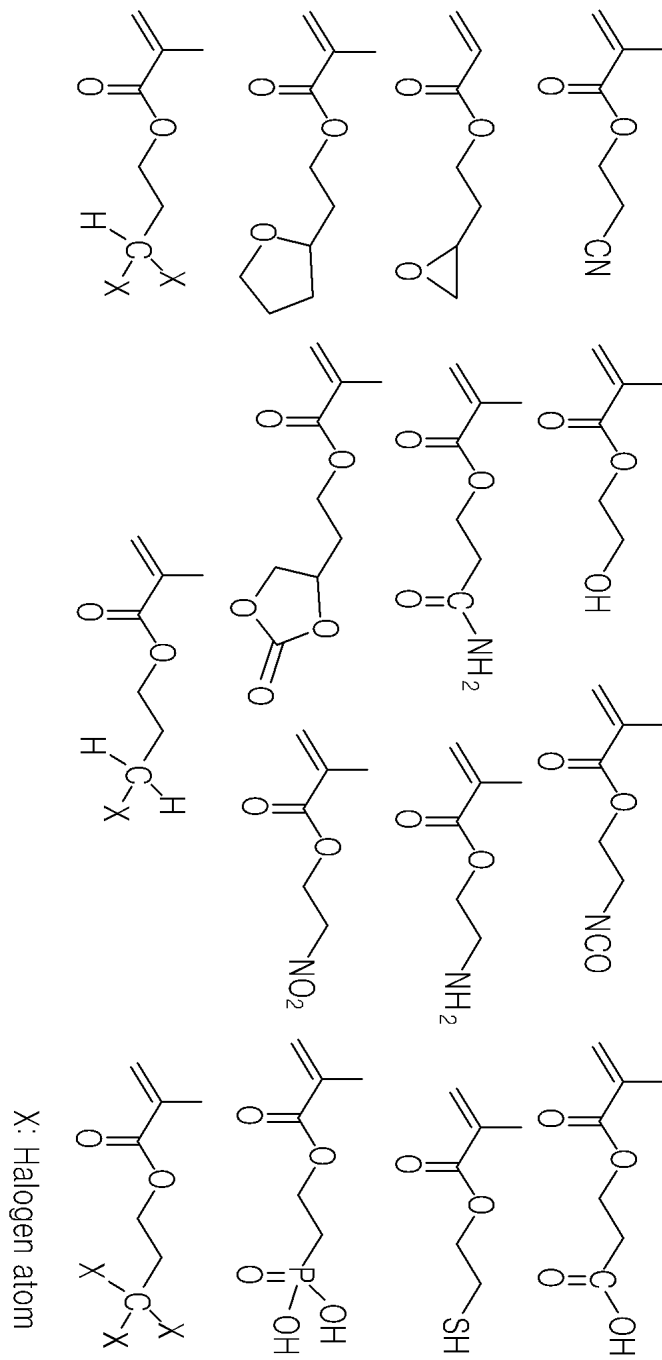
도면3



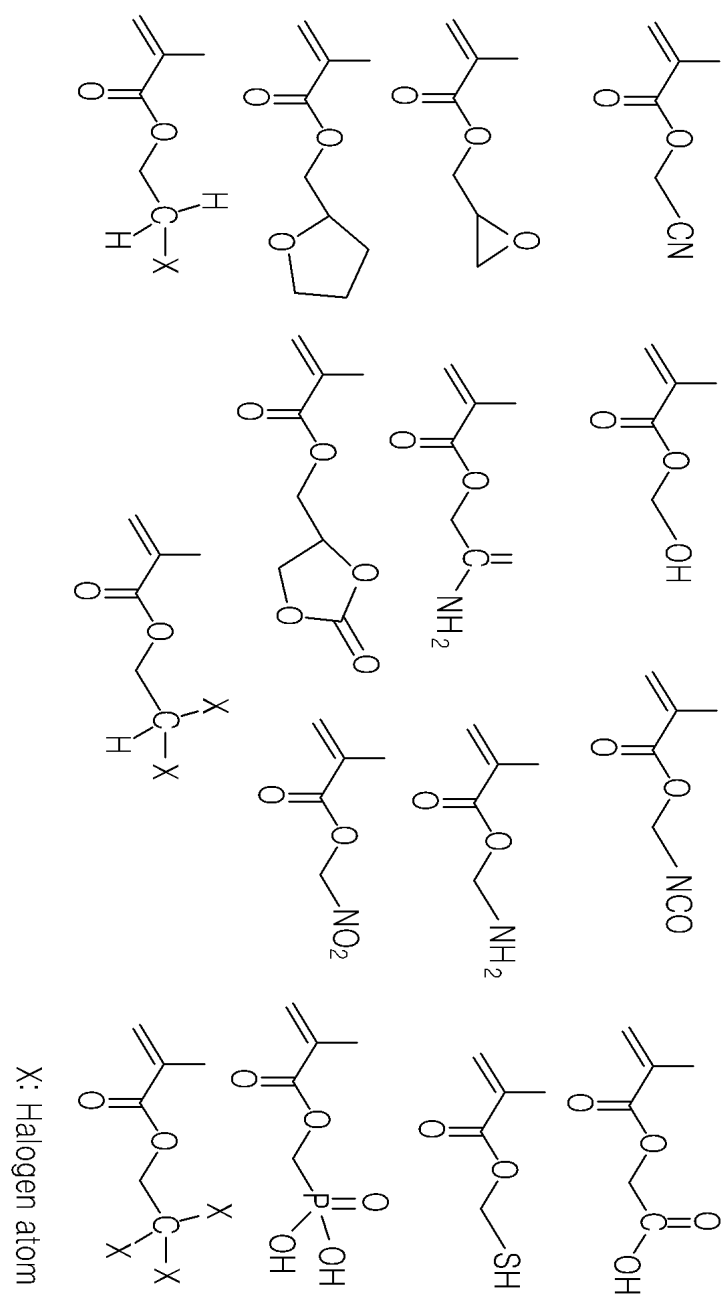
도면4



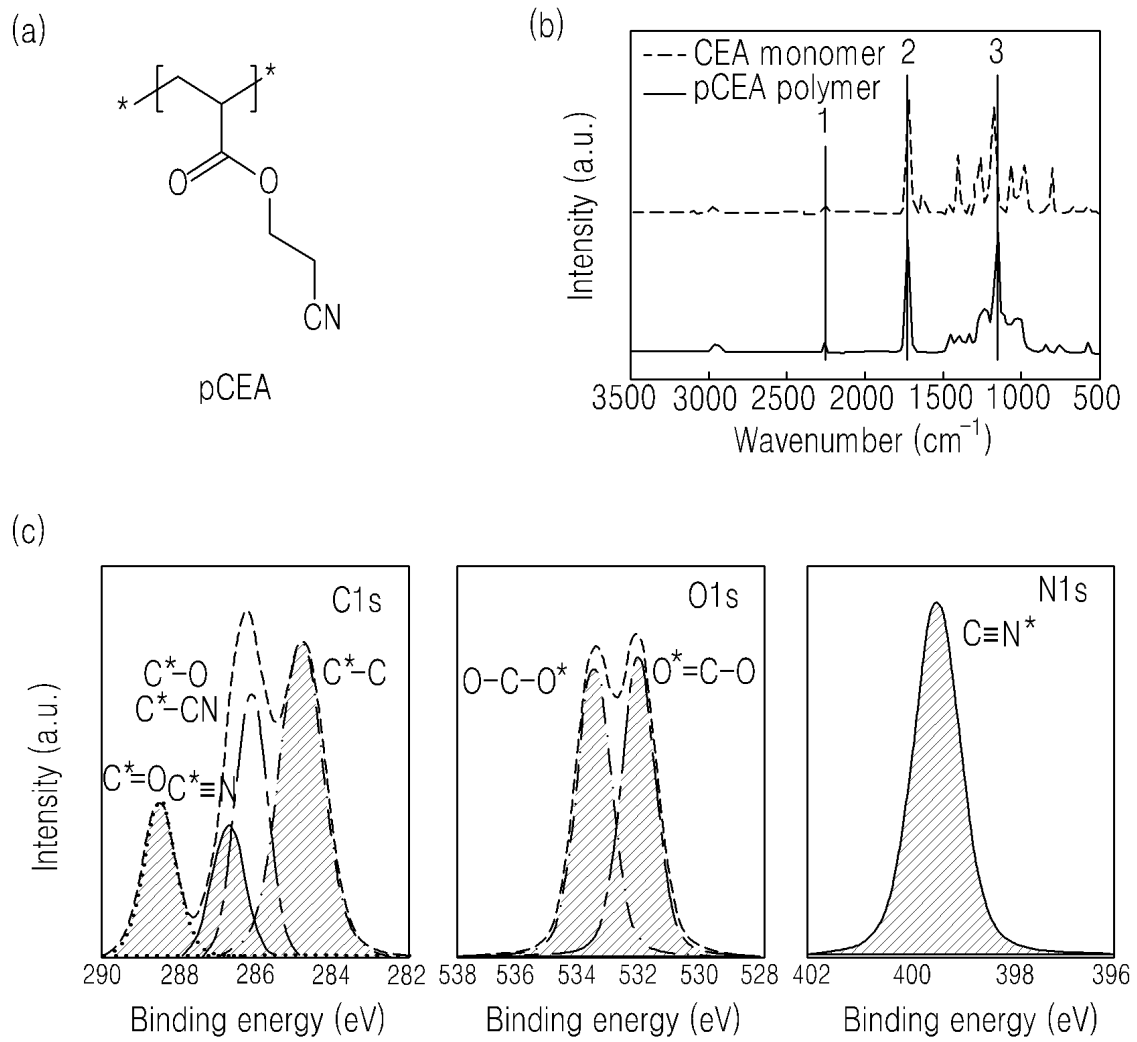
도면6



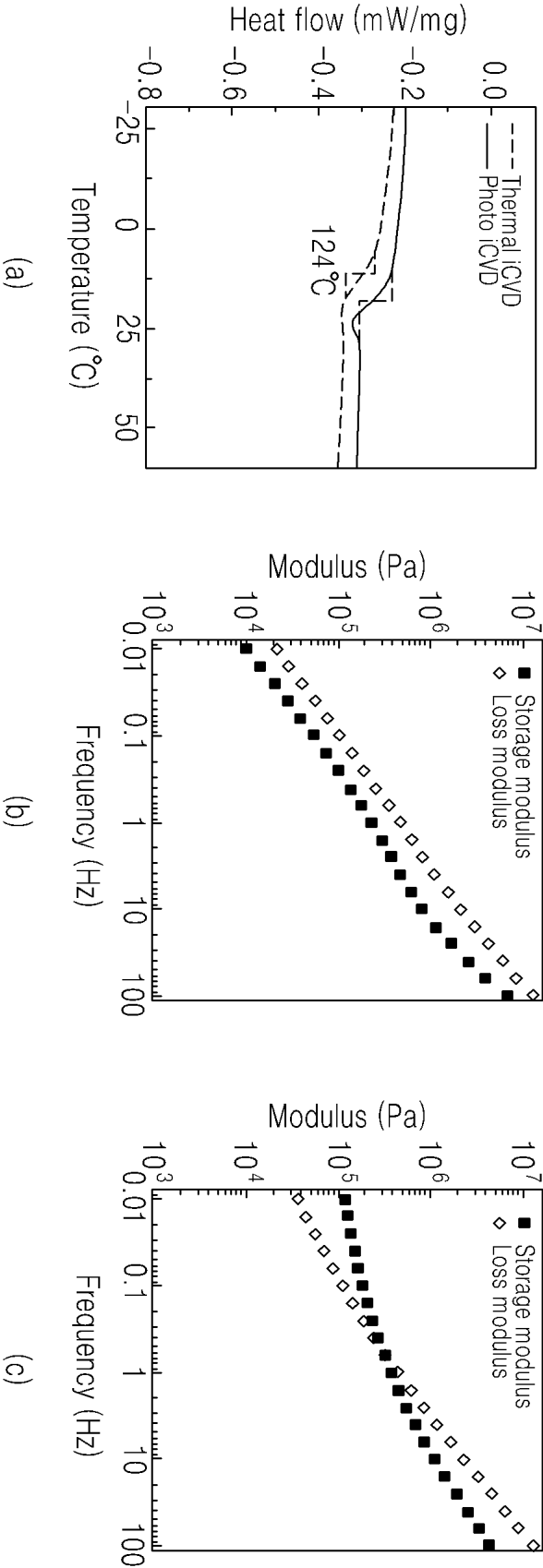
도면7



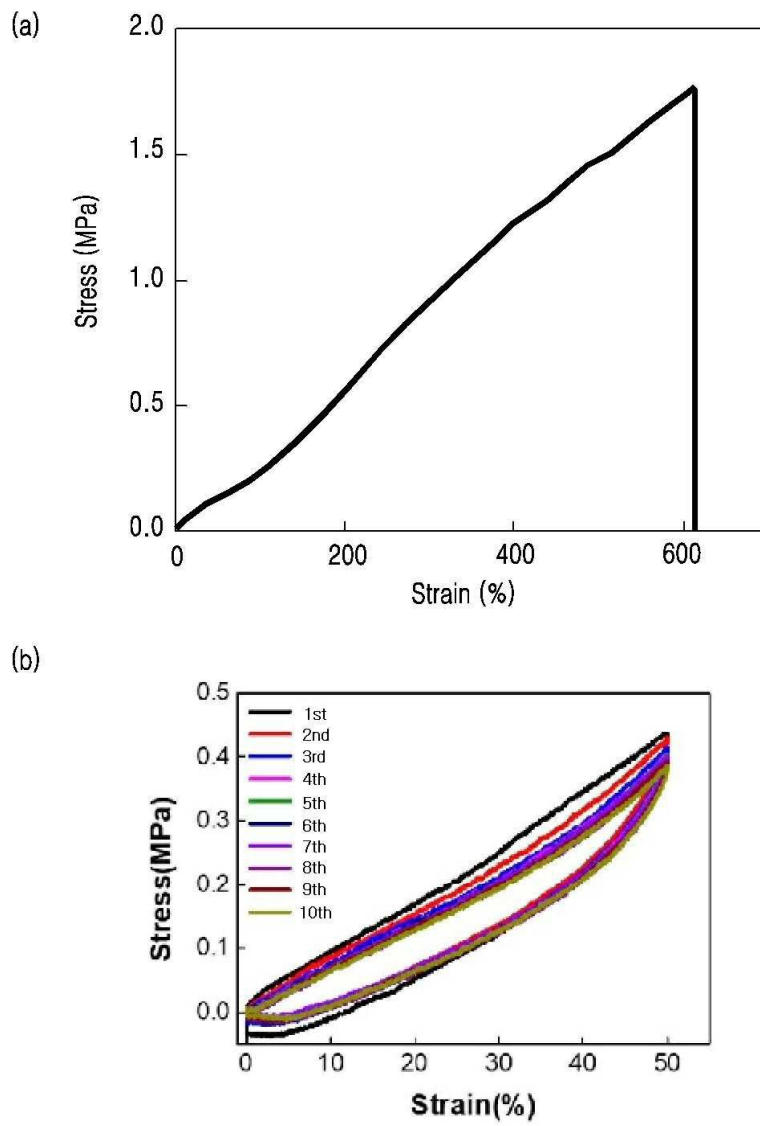
도면8



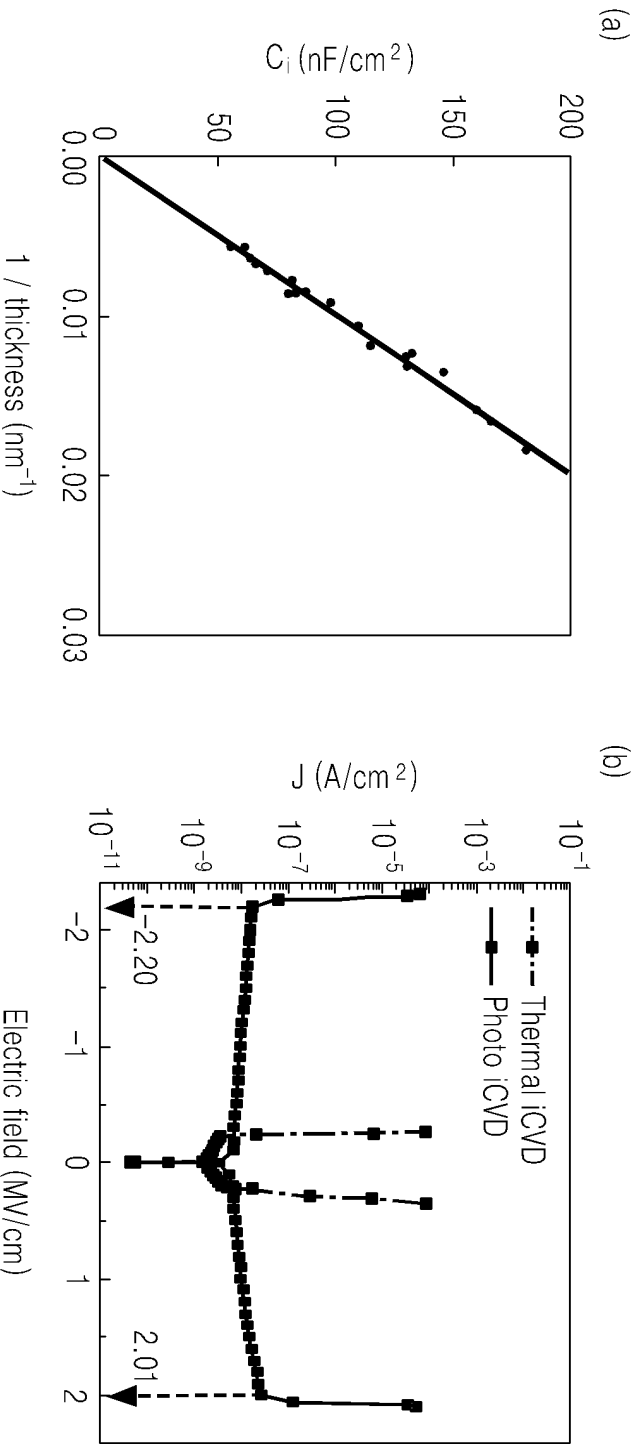
도면9



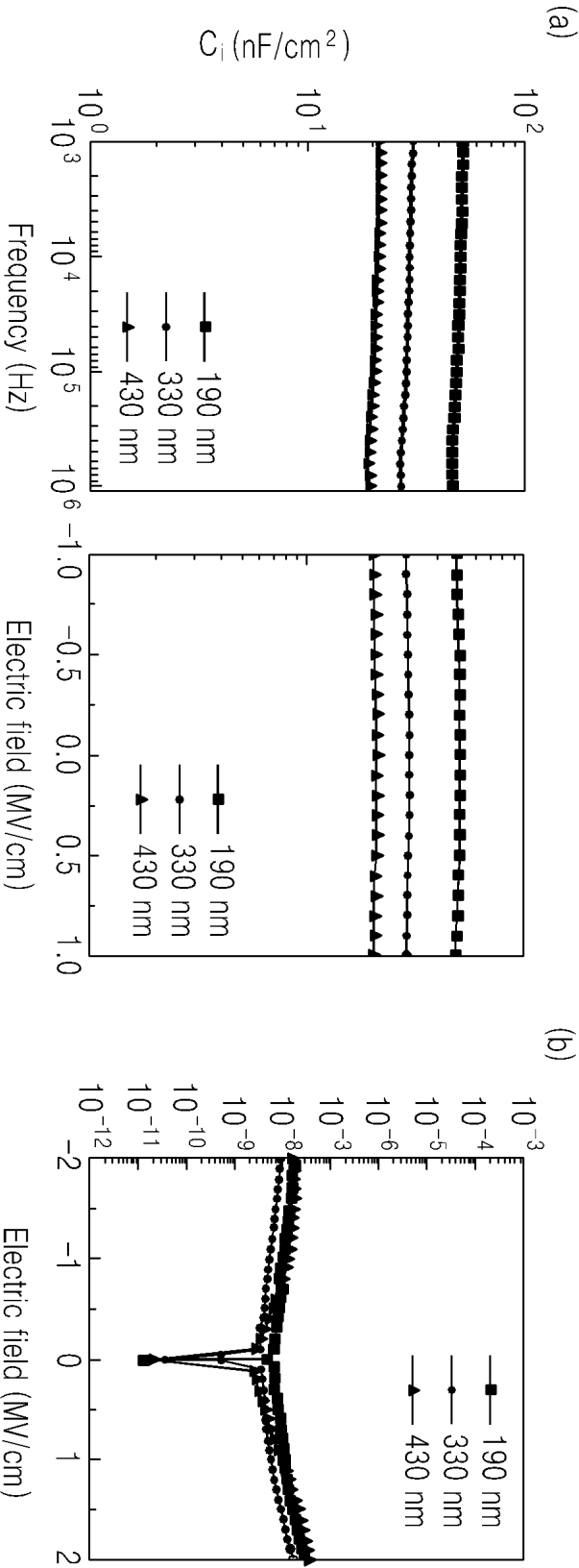
도면10



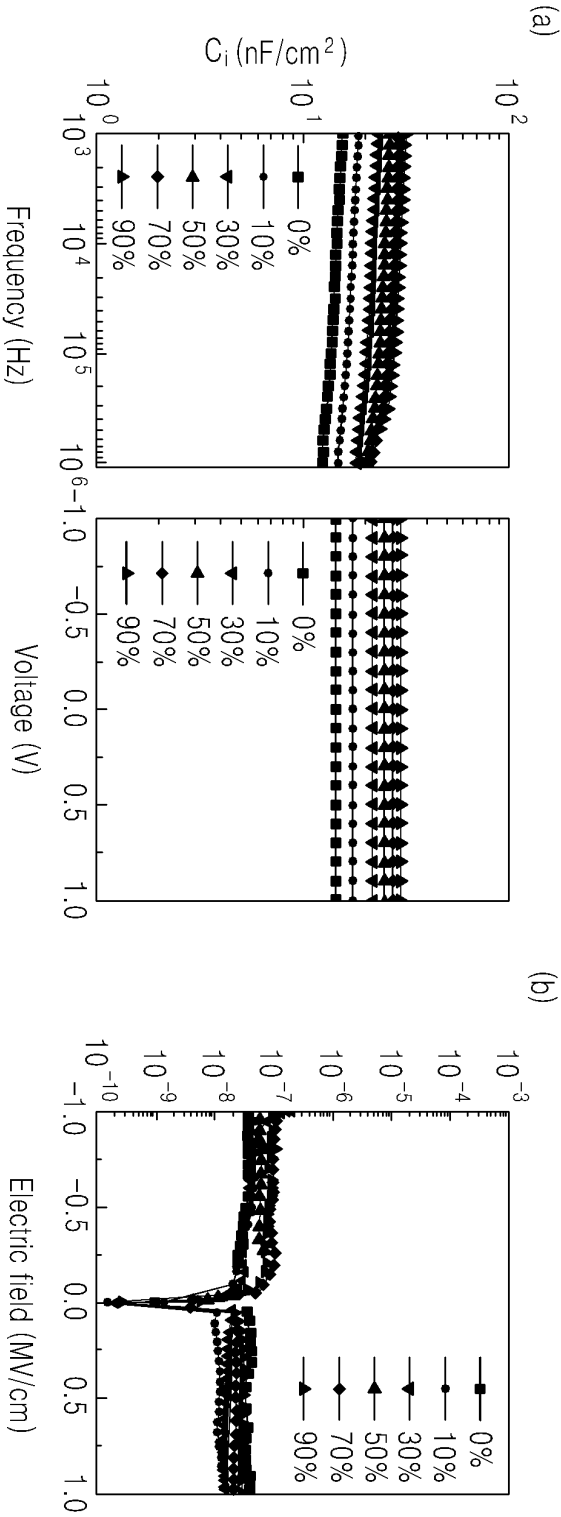
도면11



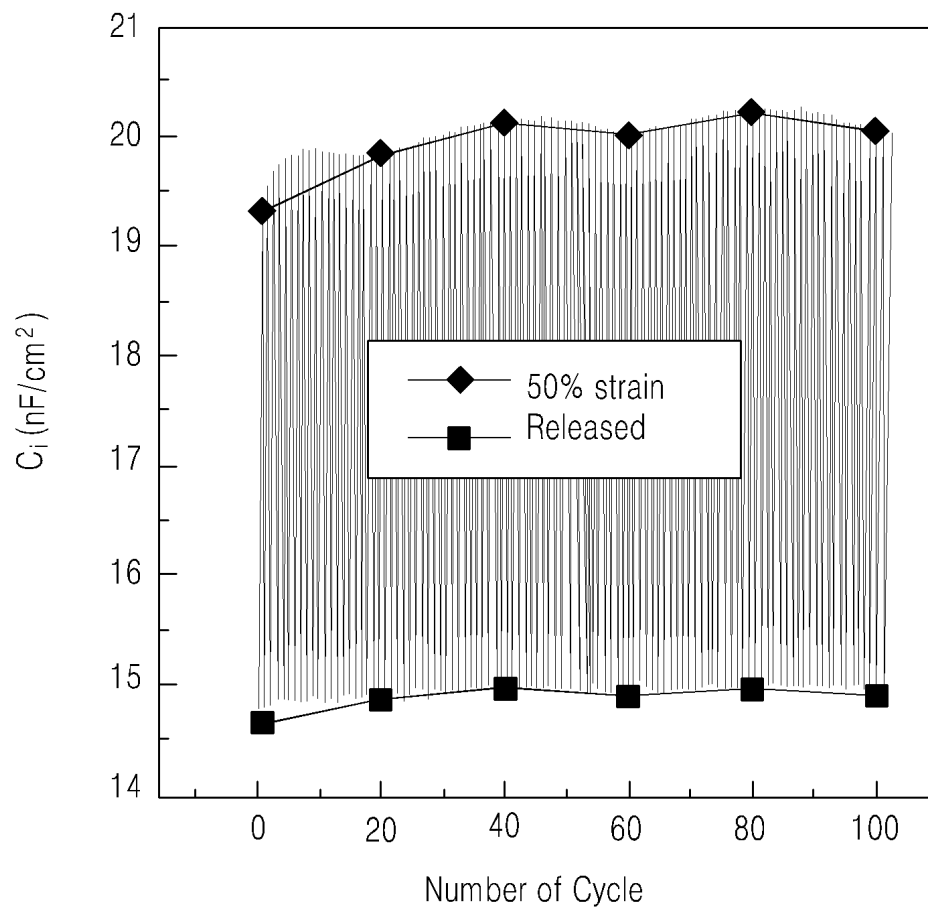
도면12



도면13



도면14



도면15

