



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0100657  
(43) 공개일자 2020년08월26일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 3/14 (2006.01) G02B 3/00 (2006.01)  
G02B 5/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G02B 26/08 (2013.01)  
G02B 3/0006 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7017917
- (22) 출원일자(국제) 2018년12월27일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2020년06월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2018/048287
- (87) 국제공개번호 WO 2019/131925  
국제공개일자 2019년07월04일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2017-254351 2017년12월28일 일본(JP)  
JP-P-2018-243598 2018년12월26일 일본(JP)

- (71) 출원인  
닛토텐코 가부시카이가이사  
일본국 오사카후 이바라키시 시모호츠미 1-1-2  
신슈 다이카쿠  
일본 나가노켄 마쓰모토시 아사히 3쵸메 1반 1고
- (72) 발명자  
야마다 야스미  
일본국 오사카후 이바라키시 시모호츠미 1-1-2 닛  
토텐코 가부시카이가이사 나이  
히라이 도시히로  
일본국 나가노켄 우에다시 도키다 3쵸메 15방 1고  
고쿠리츠 다이카쿠 호우징 신슈다이카쿠 쉐이가쿠  
부 나이
- (74) 대리인  
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 19 항

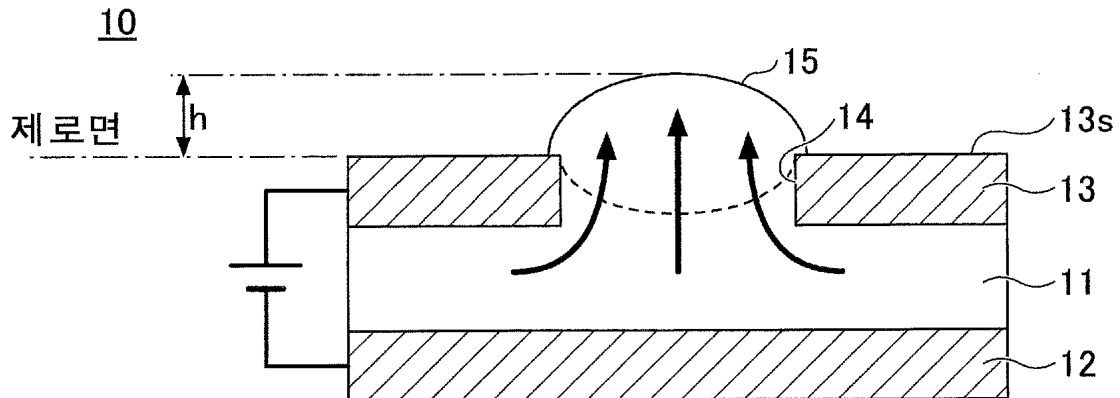
(54) 발명의 명칭 광학 소자, 마이크로렌즈 어레이 및 광학 소자 제작방법

(57) 요약

본 발명은 간단한 구성으로 광학 특성을 조정할 수 있는 광학 소자 및 그 제작방법을 제공한다.

본 발명의 광학 소자(10)는, 제1 전극층(12)과, 제2 전극층(13)과, 상기 제1 전극층(12)과 상기 제2 전극층(13) 사이에 배치되는 고분자 재료층(11)을 포함하며, 전압이 인가된 상태에서 상기 고분자 재료층(11)이 변형되어 상기 광학 소자(10)의 표면에 광 산란체(15)가 형성된다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류

*G02B 3/14* (2013.01)

*G02B 5/02* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

제1 전극층과, 제2 전극층과, 상기 제1 전극층과 상기 제2 전극층 사이에 배치되는 고분자 재료층을 포함하는 광학 소자로서,

전압이 인가된 상태에서 상기 고분자 재료층이 변형되어 상기 광학 소자의 표면에 광 산란체가 형성되는 것을 특징으로 하는 광학 소자.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 전극층은 개구를 포함하며,

상기 전압이 인가된 상태에서 상기 광 산란체는 상기 개구로부터 상기 제2 전극층의 표면으로 돌출해 있는 것을 특징으로 하는 광학 소자.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2 전극층은 소정 형상의 비도전 영역을 포함하며,

상기 비도전 영역은, 전기적으로 중성이며 상기 고분자 재료층의 변형에 추종하여 변형되는 광 투과성 재료로 형성되어 있으며,

상기 전압이 인가된 상태에서 상기 고분자 재료층과 상기 비도전 영역이 상기 제2 전극층의 표면으로 돌출하여 상기 광 산란체를 형성하고 있는 것을 특징으로 하는 광학 소자.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 전극층이 상기 고분자 재료층과 면 접촉하고 있는 것을 특징으로 하는 광학 소자.

#### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 산란체가 볼록 형상인 것을 특징으로 하는 광학 소자.

#### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 전극층은 양극층이며, 상기 제1 전극층은 음극층인 것을 특징으로 하는 광학 소자.

#### 청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제2 전극층이 금속 재료로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 광학 소자.

#### 청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제2 전극층은 절연체를 도전막으로 덮은 구성임을 특징으로 하는 광학 소자.

**청구항 9**

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 전극층과 상기 제2 전극층 중 적어도 한 쪽이 투명 전극층임을 특징으로 하는 광학 소자.

**청구항 10**

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고분자 재료층은, 겔 상의 고분자 재료에 25℃에서 흡수된 수송율이 0.4 이상인 이온 액체가 첨가되어 있는 것을 특징으로 하는 광학 소자.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 고분자 재료에 대한 상기 이온 액체의 중량 비율이 0.2wt% 이상 1.5wt% 이하인 것을 특징으로 하는 광학 소자.

**청구항 12**

제1 전극층과, 제2 전극층과, 상기 제1 전극층과 상기 제2 전극층 사이에 배치되는 고분자 재료층을 포함하며,

전압이 인가된 상태에서 상기 제2 전극층의 표면에 복수 개의 광 산란체의 배열을 가지는 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 어레이.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

상기 고분자 재료층은, 겔 상의 고분자 재료에 25℃에서 흡수된 수송율이 0.4 이상인 이온 액체가 첨가되어 있는 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 어레이.

**청구항 14**

제12항 또는 제13항에 기재된 마이크로렌즈 어레이와,

상기 마이크로렌즈 어레이에 대향하여 배치되는 촬상 소자 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 촬상 장치.

**청구항 15**

제12항 또는 제13항에 기재된 마이크로렌즈 어레이와, 광원을 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

**청구항 16**

제1 전극층 상에 고분자 재료층을 형성하고,

상기 고분자 재료층 상에 제2 전극층을 배치하며,

상기 제1 전극층과 상기 제2 전극층 사이에 전압을 인가하여 상기 고분자 재료층을 변형시킴으로써, 상기 제2 전극층의 표면으로 상기 고분자 재료층의 일부를 돌출시켜 광 산란체를 형성하는 공정을 포함하는 광학 소자 제작방법.

**청구항 17**

제16항에 있어서,

상기 제2 전극층에 미리 소정의 개구를 형성하고,

상기 전압 인가에 의해 상기 개구로부터 상기 고분자 재료층의 일부를 돌출시키는 것을 특징으로 하는 광학 소자 제작방법.

**청구항 18**

제16항에 있어서,

상기 제2 전극층에, 전기적으로 중성이며 상기 고분자 재료층의 변형에 추종하여 변형 가능한 광 투과성 재료로써 소정 형상의 비도전 영역을 형성하고,

상기 전압 인가에 의해 상기 고분자 재료층과 상기 비도전 영역을 변형시켜 상기 제2 전극층의 표면에 상기 광 산란체를 형성하는 것을 특징으로 하는 광학 소자 제작방법.

**청구항 19**

제16항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고분자 재료층은, 겔 상의 고분자 재료에 25℃에서 음이온 수송율이 0.4 이상인 이온 액체가 첨가되어 있는 것을 특징으로 하는 광학 소자 제작방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 광학 소자, 마이크로렌즈 어레이 및 광학 소자 제작방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 종래에 전압 인가에 의해 변형되는 고분자 재료를 사용하여 렌즈를 광축 방향으로 이동시키는 초점 조절 기구(예를 들어, 특허문헌 1 참조), 렌즈 구동 기구(예를 들어, 특허문헌 2 참조) 등이 알려져 있다. 고분자 재료는 렌즈를 홀딩하는 렌즈 홀더에 사용되며, 전압 인가에 의한 고분자 재료의 신축을 이용하여 렌즈 위치를 광축에 따라 움직이고 있다.

[0003] 또한, 전계의 인가 방향으로 신축하는 유기 재료를 한 쌍의 전극 사이에 끼우고서, 유기 재료층에 있어 전계 인가 방향에 수직인 면 내에서 단위 전기장 당 전기 변형(electrostriction)성 변형량이 분포를 갖도록 함으로써, 유기 재료층과 전극을 변형시켜 볼록 렌즈, 오목 렌즈 등을 형성하는 방법이 제안되어 있다(예를 들어, 특허문헌 3 참조).

[0004] 인공 근육 액츄에이터에 적용되는 고분자 유연 액츄에이터로서, 폴리염화비닐 1~50중량부에 대해 이온 액체를 1~30중량부 포함하는 겔 재료가 알려져 있다(예를 들어, 특허문헌 4 참조).

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0005] (특허문헌 0001) 일본국 특허공보 제4530163호
- (특허문헌 0002) 일본국 특허공보 제5180117호
- (특허문헌 0003) 일본국 특허공보 제5029140호
- (특허문헌 0004) 일본국 특허공보 제5392660호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 렌즈를 광축에 따라 이동시키는 구성은, 렌즈 홀더에 배치된 고분자 재료를 신축시킴으로써 단일 렌즈의 위치를 변화시킨다. 이 구성은, 먼저 홀더를 변형시키며 홀더의 변형에 의해 렌즈 위치가 변하므로, 렌즈 구동의 응답성과 정밀도를 충분히 향상시키는 것이 곤란하다.

[0007] 유기 재료층의 면내 방향에서 전기 변형성 변형량 분포를 갖도록 하는 구성은, 잉크젯이나 마이크로컨택트 프린팅 등에서 특성이 서로 다른 재료를 원하는 위치에 미세량씩 도포하므로, 렌즈 제작 공정이 복잡하여 시간이 걸린다.

[0008] 또한, 전술한 종래의 구성은 모두 단일 렌즈의 조정을 목적으로 하지만, 이미징이나 영상 관련 제품에서는 다수의 미세 렌즈를 사용한 마이크로렌즈 어레이에 대한 수요가 커지고 있다. 마이크로렌즈 어레이에 초점 조정 기능을 부여할 수 있다면 부가 가치를 높일 수 있다.

[0009] 상기 과제를 고려하여, 본 발명은 간단한 구성으로 광학 특성을 조정할 수 있는 광학 소자 및 그 제작방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 본 발명에서는, 전압 인가에 의한 고분자 재료의 신축 또는 변형을 이용하여 광학 소자의 표면에 광 산란체를 형성한다.

[0011] 제1 양태에 있어 제1 전극층, 제2 전극층, 상기 제1 전극층과 상기 제2 전극층 사이에 배치되는 고분자 재료층을 포함하는 광학 소자는, 전압이 인가된 상태에서 상기 고분자 재료층이 변형되어 상기 광학 소자의 표면에 광 산란체가 형성된다.

[0012] 제2 양태에 있어 광학 소자 제작방법은, 제1 전극층 상에 고분자 재료층을 형성하고, 상기 고분자 재료층 상에 제2 전극층을 배치하며, 상기 제1 전극층과 상기 제2 전극층 사이에 전압을 인가하여 상기 고분자 재료층을 변형시킴으로써 상기 제2 전극층의 표면으로 상기 고분자 재료층의 일부를 돌출시켜 광 산란체를 형성하는 공정을 포함한다.

**발명의 효과**

[0013] 상기 구성 및 방법에 의해 간단한 구성으로 광학 특성을 조정할 수 있는 광학 소자 및 그 제작방법이 실현된다.

**도면의 간단한 설명**

[0014] 도 1a 내지 도 1c는 실시형태의 광학 소자의 기본 구성을 나타내는 개략 모식도이다.  
 도 2a 및 도 2b는 실시형태의 광학 소자의 동작 원리를 설명하는 도면이다.  
 도 3은 도 1a의 광학 소자의 변형예를 나타내는 도면이다.  
 도 4는 실시형태의 마이크로렌즈 어레이의 개략 모식도이다.  
 도 5a 내지 도 5d는 실시형태의 마이크로렌즈 어레이의 변형 과정을 나타내는 3D 이미지이다.  
 도 6a는 도 5a 내지 도 5d의 마이크로렌즈 어레이에서 사용하는 전극 구성의 상면도이다.  
 도 6b는 도 5a 내지 도 5d의 마이크로렌즈 어레이에서 사용하는 전극 구성의 단면도이다.  
 도 7은 도 5a 내지 도 5d의 마이크로렌즈 어레이의 단면 프로파일을 전압의 함수로 나타낸 도면이다.  
 도 8a 내지 도 8c는 도 5a 내지 도 5d의 마이크로렌즈 어레이의 어느 형태의 광학 소자의 동작 원리를 설명하는 도면이다.  
 도 9a 및 도 9b는 비교예로서 메쉬 전극을 사용했을 때의 3D 이미지이다.  
 도 10은 도 9에서 사용한 폴리머 겔의 단면 프로파일을 나타내는 도면이다.  
 도 11a 및 도 11b는 비교예의 폴리머 겔의 변형을 설명하는 모식도이다.  
 도 12a 및 도 12b는 광학 소자의 또 다른 변형예를 나타내는 도면이다.  
 도 13은 실시형태의 광학 소자의 광 확산 분포를 평가하는 실험 장치의 모식도이다.  
 도 14a 내지 도 14d는 도 13의 실험 장치에서의 평가 결과를 나타내는 이미지이다.  
 도 15는 실시형태의 마이크로렌즈 어레이를 사용한 촬상 장치의 모식도이다.  
 도 16은 실시형태의 마이크로렌즈 어레이를 사용한 조명 장치의 모식도이다.  
 도 17은 고분자 재료에 여러 이온 액체를 첨가했을 때에 고분자 재료층의 응답 특성을 나타내는 도면이다.  
 도 18은 이온 액체의 물성과 폴리머 겔의 변위 상태를 나타내는 도면이다.

도 19는 이온 액체의 첨가량과 폴리머 겔의 변위 간 관계를 나타내는 도면이다.

도 20은 전압 인가에 의해 형성된 광 산란체의 평가 결과를 이온 액체의 첨가량마다 나타낸 도면이다.

도 21은 이온 액체가 전극 열화에 미치는 영향을 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0015] 도 1a 내지 도 1c는 실시형태의 광학 소자(10)의 기본 구성도이다. 광학 소자(10)는 한 쌍의 전극(12,13) 사이에 고분자 재료층(11)이 끼워진 3층의 적층 구조를 갖는다. 전극(12)과 전극(13) 사이에 전압이 인가된 상태에서, 적어도 한쪽 전극(예를 들어, 전극(13))의 표면(13s)에 광 산란체(15)를 갖는다. 광 산란체(15)는 고분자 재료층(11)과 같은 재료로 형성되어 있다.
- [0016] 고분자 재료층(11)과 광 산란체(15)는 겔 상의 폴리머 재료(이하, "폴리머 겔"이라 함)로 형성되어 있다. 광 산란체(15)는 전압 인가에 의한 폴리머 겔의 신축 또는 변형을 이용하여 형성되어 있다. 도 1a의 예에서, 광 산란체(15)는 볼록 형상을 가진다. 본 명세서 및 청구범위에서 "볼록 형상"이라 함은, 변형된 폴리머 겔의 적어도 일부가 전극의 표면(13s, 제로면)으로부터 윗쪽으로 적어도 일부가 돌출된 상태를 의미하며, 도 1a에 나타내는 바와 같이, 반드시 전부가 돌출된 상태이어야 하는 것은 아니다.
- [0017] 도 1b 및 도 1c에 나타내는 바와 같이, 볼록 형상의 광 산란체의 중앙 부근이 오목하게 들어간 형상인 경우에도, 광 산란체(15) 전체적으로 보았을 때에는 전극(13)의 개구(14)로부터 돌출해 있는 것이어서 광 산란 효과를 가진다. 도 1b에서와 같이 광 산란체(15A)의 정점이 약간 들어간 상태의 경우만이 아니라, 도 1c에서와 같이 광 산란체(15B)의 중앙부가 전극(13)의 표면(13s)보다 아랫쪽에 있는 경우에도 "볼록 형상"에 포함된다.
- [0018] 폴리머 겔은, 폴리염화비닐(PVC: polyvinyl chloride), 폴리메타크릴산메틸, 폴리우레탄, 폴리스티렌, 폴리아세트산비닐, 폴리비닐알코올, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리아크릴로니트릴, 실리콘 고무 등이며, 사용 파장에 대해 투명한 고분자(또는 수지) 재료를 적절하게 선택할 수 있다.
- [0019] 실시형태에서는, 전기장의 작용에 의한 변형예가 커서 취급하기 용이한 PVC를 사용한다. PVC에 가소제를 적절하게 첨가할 수도 있으며, PVC를 용매에 용해시킬 수도 있다. 가소제를 사용하는 경우에는, 아디핀산디부틸(DBA: dibutyl adipate), 아디핀산디에틸(DEA: diethyl adipate), 세바신산디에틸(DES: diethyl sebacate), 프탈산디옥틸(DOP: dioctyl phthalate), 프탈산디에틸(DEP: diethyl phthalate) 등을 사용할 수 있다. 용매로는 테트라히드로푸란(THF) 등을 사용할 수 있다.
- [0020] 가소제의 혼합 비율은 50wt% 이상, 바람직하게는 75wt% 이상이다. 혼합 비율이 50wt% 미만이면, 전압을 인가하여도 고분자 재료층(11)을 변형시키기가 어려워진다. 혼합 비율이 50wt% 이상 75wt% 미만일 때에는, 전압 인가에 의해 고분자 재료층(11)을 변형시킬 수 있으나, 인가할 전압 레벨이 높아질 우려가 있다. 혼합 비율을 75wt% 이상으로 함으로써, 적절한 전압 레벨에서 고분자 재료층(11)을 변형시킬 수가 있다.
- [0021] 전극(12,13)은, 도전성을 갖는 재료라면 특별히 제한되지 않는다. 전극(12,13) 중 적어도 한쪽을 금속으로 형성하는 경우에는, 백금, 금, 은, 니켈, 크롬, 구리, 티탄, 탄탈, 인듐, 팔라듐, 리튬, 니오븀, 이들의 합금 등을 사용할 수 있다. 전극(12,13) 중 적어도 한쪽을 ITO(Indium Tin Oxide: 산화인듐주석) 등과 같은 투명한 산화물 반도체 재료로 형성할 수도 있으며, 도전성 폴리머, 도전성 카본 등을 사용할 수도 있다.
- [0022] 전극(12,13)의 극성은 고분자 재료층(11)의 형상을 변화시키는 방향에 따라 설정할 수 있다. 도 1a~도 1c의 예에서는, 전극(12)이 음극층, 전극(13)이 양극층이다. 전극(12,13)은 고분자 재료층(11)에 먼 접촉하고 있다.
- [0023] 전극(13)은 개구(14)를 가지며, 전압이 인가된 상태에서 광 산란체(15,15A,15B)가 개구(14)로부터 전극(13)의 표면(13s)을 넘어 돌출해 있다. 개구(14)의 직경은, 광학 소자(10)의 용도에 따라 적절하게 설정할 수 있는데, 일 예로서 1mm 미만, 바람직하게는 300 $\mu$ m 이하이다. 개구(14)의 직경이 1mm 이상으로 되면, 전압 인가에 의해 폴리머 겔을 개구(14)로부터 돌출시키기 어려워진다. 개구의 직경을 300 $\mu$ m 이하로 함으로써, 전압 인가에 대한 폴리머 겔의 변형 효율을 높이고, 개구(14) 중심에 대해 거의 균등한 볼록 형상을 형성할 수 있다.
- [0024] 개구(14)의 형상은 원, 타원, 다각형 등, 목적에 따라 결정할 수 있다.
- [0025] 광학 소자(10)의 제작방법은 다음과 같다. 소정 치수로 형성된 전극(12) 상에, 가소제가 첨가된 PVC 용액을 캐스트법 등으로 도포하여, 고분자 재료층(11)을 형성한다. 고분자 재료층(11) 상에 미리 개구(14)의 패턴을 형성한 전극(13)을 배치한다. 전극(12,13) 사이에 소정 전압을 인가하여 전극(13) 표면에 광 산란체(15,15A,15B)를

형성한다.

- [0026] 고분자 재료층(11)의 두께는, 개구(14)의 크기, 형성하려는 광 산란체(15)의 높이  $h$ , 사용하는 전극(12,13)의 두께 등에 따라 적절하게 결정되는데, 일 예로서 1mm 이하, 바람직하게는 0.1mm~0.5mm이다. 고분자 재료층(11)의 두께가 0.1mm 이하일 때에는 다소 다루기가 어려워지지만, 어디까지나 전극(13)의 개구 크기와의 관계가 있으므로, 미세한 다수의 렌즈를 갖는 마이크로렌즈 어레이 시트를 제작하는 경우에는, 고분자 재료층(11)의 두께가 0.1mm 이하로 되는 경우도 가능하다.
- [0027] 도 2a 및 도 2b는, 도 1a의 형상을 예로 들어, 실시형태의 광학 소자(10)의 동작 원리를 설명하는 도면이다. 도 2a는 전압이 인가되지 않은 상태를 나타낸다. 도 2b는 전압이 인가되었을 때의 상태를 나타낸다.
- [0028] 전압이 인가되지 않은 상태에서, 고분자 재료층(11)은 표면이 평평한 상태로 개구(14)의 안쪽에 있다. 이 때, 고분자 재료층(11)의 표면 위치는 높이 방향(적층 방향)에서 전극(13)의 표면(13s)보다 낮다. 전극(13)의 표면(13s)을 높이 방향의 제로면이라고 한다.
- [0029] 도 2b에서와 같이, 전극(12,13) 사이에 전압이 인가되면, 음극인 전극(12)으로부터 폴리머 겔의 고분자 재료층(11)으로 전자가 주입된다. 전자를 포함하는 폴리머 겔은 양극인 전극(13)의 개구(14) 단면으로 끌어당겨진다. 겔의 탄성에 의해 미세한 개구(14)에서 압축된 만큼의 폴리머 겔이 개구(14) 중앙에서 들어올려져서 전극(13) 표면(13s)으로부터 돌출되어 광 산란체(15)가 형성된다.
- [0030] 폴리머 겔의 변형은 겔의 탄성과 전압 응답 특성에 따른 것이며, 개구(14)로부터 용기하여 개구(14) 중심에 대해 점대칭인 돌기로 된다. 고분자 재료층(11)의 조성이 균일하다면, 같은 레벨의 전압을 인가함으로써 불균일하지 않은 볼록 형상의 광 산란체(15)를 형성할 수 있다.
- [0031] 폴리머 겔의 전체 체적은 같으므로, 폴리머 겔이 개구(14)로부터 돌출된 만큼 고분자 재료층(11)의 두께가 약간 줄어든다. 고분자 재료층(11)의 두께가 줄어들면, 고분자 재료층(11)에 면 접촉하고 있는 전극(13)의 위치도 아랫쪽으로 내려간다.
- [0032] 고분자 재료층(11)의 변형은 가역적이어서, 전압 인가를 정지함으로써 도 2b의 초기 상태로 되돌릴 수 있다. 또한, 후술하는 바와 같이, 인가하는 전압 레벨에 따라 광 산란체(15)의 높이  $h$ 를 조절할 수 있다.
- [0033] 도 3은 광학 소자(10)의 변형예인 광학 소자(10A)의 모식도이다. 광학 소자(10A)에서는, 도 1a~도 1c에서의 금속 등으로 된 전극(13)이 아니라, 절연체(16)를 도전막(17)으로 코팅한 전극(13A)을 양극으로 사용한다. 절연체(16)로는 이산화규소, 알루미늄 세라믹 등과 같은 무기 절연체, 절연 수지 등을 사용할 수 있다. 도전막(17)은, 백금, 금, 은, 니켈, 크롬, 구리, 티탄, 탄탈, 인듐, 팔라듐, 리튬, 니오븀, 이들의 합금 등으로 된 박막, 도전성 폴리머, 도전성 카본, 산화물 반도체로 된 박막 등으로 형성된다. 절연체(16)와 도전막(17) 양쪽을 투명한 재료로 형성할 수도 있다.
- [0034] 광 산란체(15)는, 도 2b에서 설명한 것과 마찬가지로, 전압 인가 유무에 따른 가역적 변형 과정에서 형성된다. 전술한 바와 같이, 광 산란체(15)는, 고분자 재료층(11)의 탄성과 전압 응답 특성을 이용하여 개구(14)로부터 밀어냄으로써 형성되므로, 전압 인가에 의해 양호한 볼록 형상을 얻을 수가 있다.
- [0035] 도 3의 구성에서도 광 산란체(15)의 볼록 형상은, 도 1b의 광 산란체(15A)의 단면 형상과 도 1c의 광 산란체(15B)의 단면 형상을 포함한다.
- [0036] 도 3의 구성은 투명 절연체와 투명 도전막을 사용함으로써 투명한 광학 소자의 제작이 가능해진다는 잇점이 있다. 또한, 금속 재료의 사용을 줄여 광학 소자(10A)의 전체 질량을 가볍게 할 수 있다.
- [0037] 도 1a~도 1c의 구성 및 도 3의 구성은, 광학 소자의 양면에 광 산란체(15)를 갖는 구성으로 확장하는 것이 가능하다. 예를 들어, 음극인 전극(12)을 공통 전극으로 사용하고, 전극(12)의 양면에 고분자 재료층(11)을 배치하여 2개의 양극인 전극(13) 사이에 끼움으로써, 전압 인가에 의해 광학 소자의 양면에 광 산란체(15)를 발생시킬 수 있다. 가운데에 있는 전극(12)을 투명 전극으로 함으로써, 양측이 볼록한 렌즈 유닛을 형성할 수 있다.
- [0038] 도 4는, 도 1a~도 1c의 광학 소자(10)의 적용예로서, 마이크로렌즈 어레이(100)를 나타내는 모식도이다. 마이크로렌즈 어레이(100)는 전극(13)의 표면(13s)에 복수 개의 광 산란체(15)의 배열을 가진다.
- [0039] 마이크로렌즈 어레이(100)는 한 쌍의 전극(12,13) 사이에 고분자 재료층(11)이 끼워진 3층의 적층 구조를 가진다. 고분자 재료층(11)은, 도 1a를 참조하여 설명한 바와 같이, PC, 폴리메타크릴산메틸, 폴리우레탄, 폴리스티렌, 폴리아세트산비닐, 폴리비닐알코올, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리아크릴로니트릴, 실리콘

큰 고무 등으로 된 폴리머 겔이다.

- [0040] 폴리머 겔에 DBA, DEA, DES, DOP, DEP 등으로 된 가소제를 첨가할 수도 있다. 가소제의 혼합비는 50wt% 이상, 보다 바람직하게는 75wt% 이상이다.
- [0041] 전극(12,13)은 적절한 도전성 재료로 형성되어 있다. 전극(12)은 음극층, 전극(13)은 양극층이며, 광 산란체(15)의 배열이 양극 표면(13s)에 형성되어 있다. 일 예로서 고분자 재료층(11)의 두께는 500 $\mu\text{m}$ , 광 산란체(15)의 직경은 150 $\mu\text{m}$ , 중심간 피치는 200 $\mu\text{m}$ , 인접하는 2개의 광 산란체(15)의 간격은 50 $\mu\text{m}$ 이다.
- [0042] 마이크로렌즈 어레이(100)는, 필름 형상의 전극(13)에 형성된 마이크로 단위의 개구와 폴리머 겔의 탄성을 이용하여 형성되어 있으며, 전극(13)의 표면(13s)에 균일한 볼록 형상의 광 산란체(15)가 배열되어 있다.
- [0043] 도 2a 및 도 2b를 참조하여 설명한 바와 같이, 전극(12,13) 사이에 인가되는 전압 레벨에 따라 광 산란체(15)의 배열을 출현시키고 또한 광 산란체(15)의 높이를 변경시킬 수 있다.
- [0044] 도5a~도5d는, 도 4의 마이크로렌즈 어레이(100)에 인가하는 전압 레벨을 변화시키면서 관찰한 3D 이미지이다. 인가 전압을 0V, 600V, 700V, 800V로 변화시켜 얻어진 각 이미지가 도5a~도5d 각각에 대응한다. 전극(13)의 표면(13s) 위치를 0 $\mu\text{m}$ 로 하고, 광 산란체(15)가 돌출하는 방향을 양(+)측, 표면(13s)보다 낮은 쪽을 음(-)측이라 한다. 3D 관측은 KEYENCE社 제조의 디지털 마이크로스코프 VHX1000을 사용하여 실시한다.
- [0045] 도 6a 및 도 6b는, 도5a~도5d의 3D 관찰에 사용한 샘플의 전극(3) 제원을 설명하는 도면이다. 전극(13)은 복수 개의 개구(14)를 가진다. 6mm $\times$ 6mm의 개구 영역에 직경  $\Phi$ 가 150 $\mu\text{m}$ 인 개구(14)를 30 $\times$ 30의 매트릭스로 배치한다. 개구(14)의 피치 P는 200 $\mu\text{m}$ , 인접하는 개구(14) 간 간격은 50 $\mu\text{m}$ 이다.
- [0046] 음극으로 되는 전극(12)에는 ITO 필름을 사용하고, 양극으로 되는 전극(13)에는 금속막을 사용한다. 전극(12)의 두께 t1은 30 $\mu\text{m}$ , 전극(13)의 두께 t2는 30 $\mu\text{m}$ , 고분자 재료층(11)의 두께 t3는 500 $\mu\text{m}$ 이다.
- [0047] 고분자 재료층(11)은, PVC에 아디핀산디부틸(DBA)을 혼합 비율 80wt%로 되도록 첨가하고서, THF의 용매에 완전히 용해시켜 겔 용액으로 한 후에, 겔 용액을 전극(12) 상에 두께 500 $\mu\text{m}$ 로 캐스팅한 것이다. 가소제인 DBA는 음이온을 잘 띠므로, 전압 인가에 의해 폴리머 겔이 양극의 개구(14)로 끌어당겨질 수 있다. 고분자 재료층(11) 상에 전극(13)을 배치한다.
- [0048] 도5a~도5d로 돌아가서, 도 5a에서와 같이 전압 인가가 없는 경우(V=0V)에는, 고분자 재료층(11)은 개구(14)의 안쪽에서 평평한 상태로 있다. 도 5b에서와 같이 600V의 전압을 인가하면, 개구(14) 내에 부분적으로 돌기가 관찰된다. 도 5c에서와 같이 700V의 전압을 인가하면, 폴리머 겔이 개구(14) 전체에 걸쳐 볼록 형상으로 변형되어 전극(13) 표면에서 돌출된다. 도 5d에서와 같이 800V의 전압을 인가하면, 높이가 더욱 높아져서 중심에 대해 거의 대칭인 볼록 형상이 얻어진다.
- [0049] 도 7은 도5a~도5d의 3D 이미지에서 대각선 상에 나열된 3개의 연속하는 광 산란체(15)의 높이를 전압 인가의 함수로서 플로팅한 것이다. 종축이 전극(13) 표면(13s)으로부터의 높이, 횡축이 전극(13)의 면내 위치이며 1 구획이 150 $\mu\text{m}$ 로 되어 있다.
- [0050] 전압 인가가 없을 때(0V)에, 개구(14) 안쪽에서의 폴리머 겔의 높이 위치는 -30 $\mu\text{m}$ 보다 수 $\mu\text{m}$  얕은 위치에 있다. 이것은 전극(3)의 자중에 의해 고분자 재료층(11)의 표면이 개구(14) 안으로 약간 들어오기 때문이다. 개구(14) 내 폴리머 겔의 프로파일은 평탄하게 되어 있다.
- [0051] 전압 인가가 500V일 때에, 폴리머 겔의 변형이 시작되어 개구(14)의 중심 부근에서 폴리머 겔의 표면 위치가 초기 위치보다 낮아진다. 이것은 양의 개구(14)의 가장자리가 양극으로 되어 폴리머 겔이 개구(14) 측벽에 붙어 끌어올려짐으로써 개구 중앙 부근에서 폴리머 겔의 표면 위치가 내려왔기 때문이다.
- [0052] 전압 인가가 600V일 때에, 폴리머 겔은 부분적으로 개구(14)로부터 전극(13)의 표면 위치를 넘어 돌출된다. 돌출은 개구(14)의 중앙 부분에서 시작된다.
- [0053] 전압 인가가 700V일 때에, 폴리머 겔의 돌출이 현저해져서 볼록 형상으로 변형한다. 전압의 인가가 800V일 때에, 높이가 40 $\mu\text{m}$ 인 볼록 형상이 얻어진다. 도 7의 프로파일로부터 알 수 있듯이, 각 광 산란체의 단면 형상은 균일한 형상이다. 도 4의 구성을 채택함으로써, 전압 인가에 의해 균일한 마이크로렌즈 어레이가 얻어진다.
- [0054] 도8a~도8c는 도5a~도5d의 전압 인가에 의한 마이크로렌즈 어레이의 동작 원리를 설명하는 도면이다. 도 8a에서 인가 전압이 500V 미만일 때에는, 고분자 재료층(11)은 표면이 평평한 상태로 개구(14) 안쪽에 있다. 이 때 고

분자 재료층(11)의 표면 위치는 높이 방향(적층 방향)에서 전극(13) 표면(13a)보다 낮다. 여기에서 인가 전압이 500V 미만이라 함은, 사용하는 고분자 재료층(11)의 탄성율, 전극(13) 개구(14)의 직경  $\phi$  등에 의해 결정되는 전압 레벨이며, 일 예에 지나지 않음에 유의해야 한다.

- [0055] 도 8b에서와 같이 인가되는 전압 레벨을 600V로 함으로써 전자를 띤 폴리머 겔이 양극 전극(13)의 개구(14) 단면 쪽으로 끌어당겨진다. 폴리머 겔의 변형 초기에는, 양의 전하를 띤 개구(14) 단면에 우선적으로 끌어당겨지므로, 개구(14)의 중앙부에서 폴리머 겔은 전극(13) 표면(13s)의 위치보다 낮다. 도 5a, 도 5b, 도 7를 참조하면, 폴리머 겔이 개구(14)의 가장자리로 끌어당겨진 오목 형상에서 볼록한 상태로 천이될 때의 최초의 돌기는, 개구(14)의 중앙부에서 발생하는 것으로 생각된다.
- [0056] 도 8c에서와 같이 인가되는 전압 레벨이 600V를 넘으면, 폴리머 겔의 탄성에 의해 폴리머 겔이 전체적으로 개구(14) 안으로 밀어올려진다. 개구(14)에서 압축된 만큼의 폴리머 겔이 개구(14)로부터 추가로 밀어올려져서 전극(13) 표면(13s)으로부터 돌출됨으로써, 광 산란체(15)가 형성된다.
- [0057] 한편, 800V를 인가하더라도, 폴리머 겔로 흐르는 전류는  $10\mu\text{A}$  이하로 매우 낮으며 발열량이 억제되어 장기간 사용에 견딜 수 있다.
- [0058] 도 8a~도 8c의 폴리머 겔의 변화는 모든 개구(14)에서 발생한다. 고분자 재료층(11)의 조성이 완전히 균일하고 모든 개구(14)가 완전히 동일한 이상적인 상태에서는, 균일 형상의 광 산란체(15) 어레이가 얻어질 것이다. 실제로는, 개구(14)의 가공 불균일, 고분자 재료층(11) 내부의 조성 불균일 등에 의해, 도 7에 나타내는 바와 같이 광 산란체(15)의 형상에 약간의 불균일이 포함되나, 도 5b에서 관찰되는 바와 같이, 전체적으로 균일한 마이크로렌즈 어레이(100)가 실현된다.
- [0059] 도 9a 및 도 9b는, 비교예로서 전극(13)이 아니라 단면이 원형인 금속 배선을 이용한 메쉬 전극을 사용했을 때의 폴리머 겔 변화를 관찰한 3D 이미지이다. 직경이  $70\mu\text{m}$ 인 구리선을  $140\mu$  간격의 메쉬로 제조하여  $140\mu\text{m} \times 140\mu\text{m}$ 의 개구(114)를 갖는 메쉬 전극을 형성한다. 도 5a 및 도 5b에서 사용한 것과 같은 두께  $30\mu\text{m}$ 의 음극 상에 동일 조성의 폴리머 겔을 사용한 고분자 재료층(11)을 두께  $150\mu\text{m}$ 로 도포하고, 고분자 재료층(11) 상에 메쉬 전극을 배치한다. 도 9a는 전압 인가가 없는 상태, 도 9b는 도 5b와 마찬가지로 음극과 메쉬 전극 사이에 800V의 전압을 인가했을 때의 관찰 이미지이다. 3D 관찰에서는 800V의 전압을 인가하더라도 메쉬 전극의 개구(114) 내에 돌기가 관찰되지 않는다.
- [0060] 도 10은 도 9a 및 도 9b의 3D 이미지에서 X-X'선을 따라 배열된 개구 내 고분자 재료층(11)의 높이를 플로팅한 것이다. 종축이 메쉬 전극 표면으로부터의 높이이다. 메쉬 전극은 단면이 원형인 구리 전선으로 형성되어 있으며, 이 전선의 가장 높은 위치를  $0\mu\text{m}$ 로 하였다.
- [0061] 도 10으로부터 알 수 있듯이, 800V의 전압을 걸어도 메쉬 전극의 개구(114)로부터 표면으로 돌출하는 돌기는 형성되지 않는다. 이것은, 실시형태의 마이크로렌즈 어레이(100)에 사용되는 전극(13)은 고분자 재료층(11)에 먼 접촉함에 비해, 도전선으로 제조한 메쉬 전극은 수직 단면에 있어 고분자 재료층(11)과 점 접촉에 가까운 상태에 있기 때문이라고 생각된다.
- [0062] 한편, 도 10에서 전압 인가가 없는 상태에서의 높이 위치가  $-200\mu\text{m}$ 로 되어 있는 것은, 메쉬 구조에서 도전선이 교차하는 점에서는 도전선이 2개만큼의 두께를 가지기 때문이다. 메쉬를 제조함에 있어 반드시 균일해야만 하는 것은 아니며, 도전선에 틈새가 포함되어 있거나 도전선이 비뚤어져 있으면 교차 위치에서의 깊이 위치가 약간 변동한다. 광학적 측정에 있어 광이 들어오기 어려운 깊이 방향의 오차( $\pm 20\mu\text{m}$  정도)를 고려하면, 도 10의 측정 결과는 타당한 결과이다.
- [0063] 도 11a 및 도 11b는 도 9a 및 도 9b의 비교예의 구성에서 전압이 인가되었을 때의 동작을 설명하는 도면이다. 도 11a에서 인가 전압이 0V일 때에는 고분자 재료층(11)의 표면은 평평하다. 고분자 재료층(11) 상에 배치되는 메쉬 전극의 도전선은 접선 방향에서 고분자 재료층(11)의 표면에 접촉하고 있다.
- [0064] 도 11b에서 800V의 전압을 인가한 경우, 음전하를 띤 폴리머 겔이 양극선(메쉬 전극) 주위에 들러붙도록 유도된다. 그러나, 개구(114) 내에서 겔이 돌출할 정도의 변형은 발생하지 않는다. 양극선과 고분자 재료층(11)의 접촉은 점 접촉이며, 폴리머 겔을 개구(114) 내에서 균일하게 밀어올리는 변형을 가져올 만큼의 균일한 전압 인가가 얻어지지 않았기 때문이라고 생각된다.
- [0065] 인가 전압을 더 높인 경우(예를 들어, 1000V 이상으로 한 경우)에는, 개구(114) 내에서 폴리머 겔이 돌출할 가능성이 있을 수 있으나, 소비 전력이 커지는데다가, 실시형태와 같은 균일한 형상의 광 산란체(15)의 배열을 갖

는 마이크로렌즈 어레이를 기대할 수는 없다.

- [0066] 도 12a 및 도 12b는 광학 소자(10)의 또다른 변형예로서, 광학 소자(10B)의 구성을 나타낸다. 도1a~도3의 구성에서는, 전극(13)이 개구(14)를 가지며, 전압이 인가된 상태에서 광 산란체(15)를 개구(14)로부터 돌출시킨다. 도 12a 및 도 12b의 구성에서는, 전극(13)이 소정 형상의 비도전성 영역(19)을 가진다. 비도전성 영역(19)은 전기적으로 중립이며, 고분자 재료층(11)의 변형에 추종하여 변형 가능한 광 투과성 재료로 형성되어 있다.
- [0067] 변형 가능한 비도전성 및 광투과성의 재료는 고분자 재료층(11)과 같은 재료일 수도 있으며 다른 재료일 수도 있다. 비도전성 영역(19)을 고분자 재료층(11)과 다른 재료로 형성하는 경우에는, 굴절을 차를 이용하여 광의 산란을 제어할 수 있다.
- [0068] 비도전성 영역(19)의 평면 형상은 광학 소자의 목적, 용도에 따라 적절하게 선택되며 원, 타원, 다각형 등일 수 있다. 비도전성 영역(19)은, 예를 들어, 전극(13)에 소정 형상의 개구(14)를 미리 형성하고 개구 내에 전기적으로 중립이며 고분자 재료층(11)의 변형에 추종하여 변형 가능한 광 투과성 재료의 층을 충전함으로써 형성된다.
- [0069] 도 12a의 상태로부터 도 12b에서와 같이 전극(12)과 전극(13) 사이에 전압이 인가되면, 고분자 재료층(11)이 변형된다. 고분자 재료층(11)의 변형에 추종하여 비도전성 영역(19)이 변형된다. 고분자 재료층(11)의 변형부(18)와 비도전성 영역(19)에서 광 산란체(15)가 형성된다.
- [0070] 비도전성 영역(19)을 구성하는 층의 두께는, 반드시 전극(13)의 두께와 일치할 필요는 없으며, 전극(13)의 두께보다 얇을 수도 있다. 또한, 비도전성 영역(19)과 고분자 재료층(11)이 반드시 면 접촉해야 하는 것은 아니며, 사이에 공기층이 개재되어 있을 수도 있다. 후자의 경우, 전압 인가에 의해 고분자 재료층(11)이 변형되어 비도전성 영역(19)에 접촉하면, 고분자 재료층(11)의 변형에 추종하여 비도전성 영역(19)이 변형하여 광 산란체(15)를 형성할 수 있다.
- [0071] 도 13은 실시형태의 광학 소자(10)의 광 확산 분포를 평가하는 실험 장치의 모식도이다. 광학 소자(10)는, 양극으로서 직경이 150 $\mu$ m인 개구가 형성된 두께 30 $\mu$ m의 금속 필름을 사용하며, 음극으로서 두께가 150 $\mu$ m인 ITO 필름을 사용하였다. 양극과 음극 사이에 끼워지는 고분자 재료층으로서, 가소제 DBA의 함유율이 83%인 PVC 겔을 사용하였다. PVC 겔의 두께는 150 $\mu$ m이다. 이러한 3층 구조의 광학 소자(10)를 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)의 베이스 필름 상에 홀딩하고, 여러 직류 전압을 인가하여 광 산란체(15)를 양극 표면에 형성한다.
- [0072] 광학 소자(10)는, 음극인 ITO막이 레이저원 쪽에 있으며 광 산란체(15)가 스크린 방향을 향해 돌출하도록 홀딩되어 있다. 전극에 인가되는 전압을 0V, 600V, 700V, 800V로 변화시킨다. 각 전압 레벨에서 레이저원으로부터 적색 평행광 L을 광학 소자(10)로 입사시켜 광 산란체(15)에 의한 집광 및 확산을 평가한다. 전술한 바와 같이, 적색 레이저광은 광학 소자(10)의 투명한 음극 쪽에서 입사하며 광 산란체(15)에 의해 집광된다.
- [0073] 광학 소자(10)의 광 산란체(15)의 직경은 150 $\mu$ m, 높이는 0~40 $\mu$ m이다. 양극 표면에 광 산란체(15)가 형성되어 집광 기능이 발현된 경우, 그 초점은 광학 소자(10)로부터 아주 가깝게 위치하여 육안으로 관찰하는 것이 곤란하다. 그러므로, 초점을 넘은 위치에 스크린을 배치하여, 일단 집광된 후의 광 확산을 관찰한다.
- [0074] 도14a~도14d는 도 13의 실험 장치에서의 평가 결과를 나타내는 이미지이다. 왼쪽 위의 이미지는 인가 전압이 0V일 때에 스크린 상의 광 확산 이미지이다. 오른쪽 위의 이미지는 인가 전압이 600V일 때에 스크린 상의 광 확산 이미지이다. 왼쪽 아래의 이미지는 인가 전압이 700V일 때에 스크린 상의 광 확산 이미지이다. 오른쪽 아래의 이미지는 인가 전압이 800V일 때에 스크린 상의 광 확산 이미지이다.
- [0075] 전압이 인가되지 않았을 때(0V)에는, 광학 소자(10)의 양극면에 광 산란체(15)가 형성되어 있지 않으며, 음극의 ITO 필름에서 입사한 광이 평평한 PVC 겔층을 그대로 투과하여 스크린으로 투사된다. 광 확산이 적으며 스크린 중앙에 밝은 스폿이 관찰된다.
- [0076] 인가 전압이 600V일 때에는 PVC 겔의 변형 초기이어서 변형이 개시되더라도 집광 기능을 발현하는 볼록 형상에는 이르지 못하고 있다. 따라서, 광학 소자(10)의 음극쪽에서 입사된 광이 집광 작용을 거의 받지 못하고 스크린에 투사되어, 인가 전압이 0V일 때와 유사한 광 스폿이 관찰된다.
- [0077] 그리고, 인가 전압이 700V일 때에는 양극의 표면에 볼록 형상의 광 산란체(15)가 형성된다. 레이저 광은 광 산란체(15)에서 집광된 후에 확산되어 확산광이 스크린으로 투사된다. 700V의 전압 인가에서는, 광 산란체(15)의 곡률 반경이 비교적 크고 초점 거리가 길므로, 스크린 위치에서의 광 확산이 그다지 현저하지는 않다.
- [0078] 인가 전압이 800V일 때에는 양극의 표면에 의해 높이가 높은 볼록 형상의 광 산란체(15)가 형성된다. 광 산란체

의 곡률 반경이 작고 초점 거리가 짧아서, 광학 소자(10) 부근에서 초점을 맺은 후에 확산된다. 스크린 위치에서 크게 확산된 광이 관찰된다.

- [0079] 이들 광 확산 분포로부터, 인가 전압을 조정함으로써 광 산란체(15)의 초점 거리를 가변적으로 할 수 있음이 확인되었다. 실시형태의 광학 소자(10)는 가변 초점 렌즈 또는 가변 형상 렌즈로서 사용할 수가 있다.
- [0080] 도 15는 실시형태의 마이크로렌즈 어레이(100)를 사용한 촬상 장치(150)의 모식도이다. 촬상 장치(150)는, 복수 개의 광 산란체(15) 배열을 갖는 마이크로렌즈 어레이(100)와, 복수 개의 촬상 소자가 배열된 촬상 소자 어레이(130)를 갖는다. 촬상 소자는 CCD(charge coupled device), CMOS(complementary metal oxide semiconductor) 센서 등으로 형성되어 있다. 촬상 소자의 배열에 대응하여 3색의 컬러 필터(131)가 배치되어 있을 수도 있다. 이 예에서는 적(R), 녹(G), 청(B)의 컬러 필터(131R, 131G, 131B)가 교대로 배치되어 있다.
- [0081] 도 16은 실시형태의 마이크로렌즈 어레이(100)를 사용한 조명 장치(250)의 모식도이다. 조명 장치(250)는 예를 들어, LED 램프 등의 광원(230)과, 광원(230)의 출력쪽 앞면에 배치된 마이크로렌즈 어레이(100)를 갖는다. 마이크로렌즈 어레이(100)를 배치함으로써, 광 확산을 제어하여 휘도를 높게 유지한 상태에서 확산광을 평행광으로 변환할 수 있다. 또한, 미세한 발광 소자의 출력면 근처에 실시형태의 광학 소자, 또는 복수 개의 광 산란체(15)를 갖는 마이크로렌즈 어레이(100)를 배치함으로써, 현미경용, 산업용 등의 조명 장치에 적용할 수도 있다.
- [0082] 마이크로렌즈 어레이(100)는, 1mm 이하의 박형으로 형성되며 양극, 음극 모두 투명화할 수 있으므로, 초박형 카메라, 헤드 마운트 디스플레이(HMD), 마이크로렌즈 어레이(MLA) 시트 등에 적용하는 것뿐 아니라, 내시경 시스템 등의 의료 분야에도 적용 가능하다. 단일의 광 확산체(15)를 갖는 광학 소자(10)도 의료, 이미지 형성 분야에서 광 확산 시트, 렌즈 시트 등에 적용할 수 있다.
- [0083] <고분자 재료의 구성>
- [0084] 전술한 바와 같이, 실시형태의 광학 소자 및 마이크로 렌즈 어레이는, 복잡한 기구를 사용하지 않고 전압을 ON/OFF 제어하거나 전압 레벨을 조정함으로써 여러 배향 분포를 갖는 광 확산체를 발생시킬 수 있다. 인가되는 전압은 낮은 것이 바람직하다. 이에 광학 소자 및 마이크로렌즈 어레이에 사용되는 고분자 재료의 조성을 고안하여 인가 전압을 저감시킨다.
- [0085] 구체적으로는, 고분자 재료층(11)으로 사용되는 겔상의 고분자 재료(폴리머 겔)에 소정 조건을 만족하는 이온 액체를 첨가함으로써 광학 소자(10) 또는 마이크로렌즈 어레이(100)의 구동 전압을 저감시킨다. 이온 액체의 첨가에 의해 고분자 재료의 변형 효율을 높일 수 있다.
- [0086] 이온 액체는 카티온(양의 전하를 띤 이온)과 아니온(음의 전하를 띤 이온)으로 구성되는 염이며, 25℃에서 액체인 것을 말한다. 소정 조건 중 하나는, 이온 액체가 25℃에서 일점값 이상의 아니온(음이온) 수송율을 가지는 것이다. 이것의 상세한 조건에 대해서는 후술하기로 한다.
- [0087] 고분자 재료는, 전술한 바와 같이, 폴리염화비닐(PVC: polyvinyl chloride), 폴리메타크릴산메틸, 폴리우레탄, 폴리스티렌, 폴리아세트산비닐, 폴리비닐알코올, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리아크릴로니트릴, 실리콘 고무 등이다. 바람직한 구성예에서는 사용 과장에 대해 투명한 고분자 또는 수지 재료가 사용된다.
- [0088] 이러한 고분자 재료에 대한 이온 액체의 중량 비율은, 0.2wt% 이상 1.5wt% 이하이며, 보다 바람직하게는 0.3wt% 이상 1.0wt% 이하이다. 고분자 재료의 중량을 1(또는 100%)이라 하였을 때에 상기 중량 비율의 이온 액체를 혼합함으로써, 광학 소자 또는 마이크로렌즈 어레이의 구동 전압을 저감시킬 수 있다. 그 근거에 대해서도 후술하기로 한다.
- [0089] 폴리머 겔에 적절한 가소제를 첨가할 수도 있으며 용매에 용해시킬 수도 있다. 가소제를 사용하는 경우에는, 아디핀산디부틸(DBA: dibutyl adipate), 아디핀산디에틸(DEA: diethyl adipate), 세바신산디에틸(DES: diethyl sebacate), 프탈산디옥틸(DOP: dioctyl phthalate), 프탈산디에틸(DEP: diethyl phthalate) 등을 사용할 수 있다. 용매로는 테트라히드로푸란(THF) 등과 같은 에테르계 용매를 사용할 수 있다.
- [0090] 이온 액체가 첨가된 고분자 재료는, 도1a~도2b의 광학 소자(10), 도 3의 광학 소자(10A), 도12a 및 도12b의 광학 소자(10B), 도 4의 마이크로렌즈 어레이(100)에 적용 가능하다. 이하에서 상세하게 설명하는 바와 같이, 고분자 재료에 소정 조건의 이온 액체를 첨가함으로써, 고분자 재료층(11)의 구동 전압을 200V 이하, 보다 바람직하게는 150V 이하로 저감시킬 수 있다.
- [0091] 도 17은 여러 이온 액체를 첨가했을 때의 폴리머 겔의 전압 응답 특성을 나타낸다. 중량 평균 분자량이 230,000

인 PVC를 테트라히드로푸란(THF) 용매에 용해시킨 폴리머 겔을 준비하고 여러 이온 액체를 첨가하여 복수 개 종류의 샘플을 제작한다. 각 샘플을 도1a~도1c, 도 2a, 도 2b에서와 같이 전극(12)과 전극(13) 사이에 끼우고, 인가 전압을 바꾸어 피크 높이 h의 전압 의존성을 측정한다. 비교예로서, 이온 액체가 첨가되어 있지 않은 폴리머 겔을 사용하여 마찬가지로 피크 높이의 전압 의존성을 측정한다. 여기에서 피크 높이라 함은 전극(13) 표면(13s)으로부터의 높이 h가 가장 높은 부분의 값을 말한다.

- [0092] 하부 전극이 되는 전극(12) 상에 샘플과 비교예의 폴리머 겔을 두께 300 $\mu\text{m}$ 로 도포한다. 폴리머 겔 상에, 상부 전극(13)으로서 직경이 100 $\mu\text{m}$ 인 구멍이 형성된 두께 20 $\mu\text{m}$ 의 금속 박막을 배치한다. 전극(12)과 전극(13) 사이에 인가하는 전압을 0V에서 400V까지 변화시켜, 전극(13)으로부터 돌출되는 광 산란체(15)의 피크 높이 h를 측정한다.
- [0093] 선 A는 이온 액체로서 1-에틸-3-메틸이미다졸륨=테트라플루오로붕소산염(EMI-BF<sub>4</sub>)을 첨가한 샘플 A의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다. PVC에 대한 EMI-BF<sub>4</sub>의 중량 비율은 0.5wt%이다. EMI는 카티온이고, BF<sub>4</sub>는 아니온이다.
- [0094] 선 B는 이온 액체로서 1-옥틸-3-메틸이미다졸륨=테트라플루오로붕소산염(OMI-BF<sub>4</sub>)을 첨가한 샘플 B의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다. PVC에 대한 OMI-BF<sub>4</sub>의 중량 비율은 0.5wt%이다. OMI는 카티온이고, BF<sub>4</sub>는 아니온이다.
- [0095] 선 C는 이온 액체로서 1-에틸-3-메틸이미다졸륨=디시아나미드(EMI-DCA)를 첨가한 샘플 C의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다. PVC에 대한 EMI-DCA의 중량 비율은 0.5wt%이다. EMI는 카티온이고, DCA(C<sub>2</sub>N<sub>3</sub>)는 아니온이다.
- [0096] 선 D는 이온 액체로서 테트라부틸포스포늄=테트라플루오로붕소산염(TBP-BF<sub>4</sub>)을 첨가한 샘플 D의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다. PVC에 대한 TBP-BF<sub>4</sub>의 중량 비율은 0.1wt%이다. TBP는 카티온이고, BF<sub>4</sub>는 아니온이다.
- [0097] 선 E는 이온 액체로서 테트라부틸포스포늄=테트라플루오로붕소산염(TBP-BF<sub>4</sub>)을 첨가한 샘플 D의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다. 이온 액체의 종류는 샘플 D와 같으나, PVC에 대한 TBP-BF<sub>4</sub>의 중량 비율은 0.5wt%이다. TBP는 카티온이고, BF<sub>4</sub>는 아니온이다.
- [0098] 선 F는 이온 액체로서 1-에틸-3-메틸이미다졸륨=트리플루오로메탄술폰이미드(EMI-TFSI)를 첨가한 샘플 F의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다. PVC에 대한 EMI-TFSI의 중량 비율은 0.5wt%이다. EMI는 카티온이고, TFSI는 아니온이다.
- [0099] 선 G는 이온 액체로서 테트라부틸포스포늄=메탄술폰산(TBP-MES)을 첨가한 샘플 G의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다. PVC에 대한 TBP-MES의 중량 비율은 0.5wt%이다. TBP는 카티온이고, MES는 아니온이다.
- [0100] 선 W는 비교예로서 이온 액체가 첨가되지 않은 샘플 W에 있어 PVC 폴리머 겔의 피크 높이의 전압 의존성을 나타낸다.
- [0101] 도 17의 측정 결과를 보면, 이온 액체를 첨가하지 않은 경우에도, 유전 분극이 생기는 폴리머 겔을 사용함으로써 전압 인가에 의해 폴리머 겔이 변형된다. 이온 액체를 첨가하지 않은 비교예의 폴리머 겔 W에서는, 인가 전압에 대해 거의 선형적으로 광 산란체(15)의 높이가 증가하고 있다. 그러나, 샘플 W를 전극(13) 표면(13s)에서부터 20 $\mu\text{m}$ 의 높이로 돌출시키려면 400V의 전압이 필요하다.
- [0102] 이에 대해 이온 액체로서 EMI-BF<sub>4</sub>를 0.5wt% 첨가한 샘플 A와, OMI-BF<sub>4</sub>를 0.5wt% 첨가한 샘플 B는, 100V 이하의 전압 인가로써 고분자 재료층(11)을 20 $\mu\text{m}$  이상의 높이로 구동시킬 수 있다. 특히, 샘플 A는 50V의 전압 인가로써 20 $\mu\text{m}$ 의 높이, 200V의 전압 인가로써 40 $\mu\text{m}$ 에 조금 못 미치는 높이로 변위한다. 샘플 B도 100V의 전압 인가로써 25 $\mu\text{m}$ 의 높이, 200V의 전압 인가로써 30 $\mu\text{m}$ 의 높이로 변위한다.
- [0103] EMI-DCA를 0.5wt% 첨가한 샘플 C는, 이온 액체를 첨가하지 않은 샘플 W에 비해 약 절반의 인가 전압(210~220V)으로써 동일한 피크 높이 20 $\mu\text{m}$ 를 얻을 수 있어서, 변형 효율이 크게 향상되어 있다.
- [0104] TBP-BF<sub>4</sub>를 0.1wt% 첨가한 샘플 D는, 50V의 전압 인가로써 전극(13) 표면(13s)에서부터 광 산란체(15)를 돌출시킬 수 있지만, 전압을 높이더라도 피크 높이는 여전히 10 $\mu\text{m}$  미만이어서 50V~400V의 범위에서 피크 높이의 변화가 적다. 따라서, 샘플 D에서는 전압 제어에 의해 광 산란체(15)의 높이를 양호한 정밀도로 조정하기가 어렵다.

- [0105] TBP-BF<sub>4</sub>를 0.5wt% 첨가한 샘플 E, EMI-TFSI를 0.5wt% 첨가한 샘플 F, TBP-MES를 0.5wt% 첨가한 샘플 G는, 400V의 전압을 인가하더라도 전극(13) 표면(13s)에서부터 광 산란체(15)를 돌출시킬 수 없다.
- [0106] 도 17의 측정 결과로부터, 이온 액체의 종류(즉, 물성)와 첨가량 중 적어도 한쪽은 고분자 재료층(11)의 구동 전압 저감에 영향을 미치고 있다고 생각된다.
- [0107] <폴리머 겔의 변위와 이온 액체 물성의 관계>
- [0108] 도 18은 폴리머 겔의 변위와 이온 액체 물성의 관계를 나타내는 도면이다. 이온 액체로서 도 17의 샘플 A-G에 더해 1-에틸-3-메틸이미다졸륨=플루오로술폰이미드(EMI-FSI)를 첨가한 샘플 H의 물성도 같이 측정한다.
- [0109] 각종 이온 액체를 첨가한 샘플 A-H에서 변위가 양(+)인 것은, 전압 인가에 의해 폴리머 겔이 전극(13) 표면(13s)으로부터 돌출하여 광 산란체(15)가 형성된 것을 나타낸다. 변위가 음(-)인 것은 전압을 인가하여도 전극(13) 표면(13s)으로부터 폴리머 겔이 돌출하지 않은 것이다.
- [0110] 각 이온 액체의 물성으로서, 도전율, 전위창의 크기, 25℃에서의 음이온 확산 계수 및 수송율을 측정한다. 사용한 이온 액체 중에는 25℃에서 고체인 것도 있으므로, 80℃로 가열하여 용융시킨 것에 대해서는 80℃에서의 음이온 확산 계수 및 수송율을 측정한다.
- [0111] 전술한 파라미터 중 우선 도전율에 대해 검토한다. 샘플 C는 샘플 A, B와 비교하여 도전율이 2자리 작는데 샘플 C를 첨가한 폴리머 겔은 +로 변위되어 있다. 이에 대해 샘플 H는 샘플 C보다 훨씬 도전율이 큰데, 폴리머 겔은 +로 변위되지 않았다. 따라서, 이온 액체의 도전율은 폴리머 겔의 변형 효율에 직접적으로 관계하지 않는다고 생각된다.
- [0112] 전위창은 도 2a 및 도 2b의 계(系)에서 전기화학적으로 안정성이 유지되는 전위 영역을 말한다. 전위창이 넓을수록(수치가 클수록) 계가 전기화학적으로 안정되는 범위가 넓다. 샘플 A와 샘플 F의 전위창은 같은 넓이임에도, 샘플 A의 폴리머 겔은 +로 변위되었고 샘플 F의 폴리머 겔은 +로 변위되지 않았다. 따라서, 이온 액체의 전위창의 넓이도 폴리머 겔의 변형 효율에 직접적으로 관계하지 않는다고 생각된다.
- [0113] 이어서, 25℃에서의 아니온(음이온)의 확산 계수 및 수송율에 대해 검토한다. 이온 액체에 포함되는 양·음이온의 확산 계수는, 측정 기기로서 고체 NMR(Varian社 제조, VNMR System)을 이용하여 측정한다. 측정 방법은, 우선 모세관에 이온 액체를 주입하고 장치에 세팅한다. 소정 온도(이 경우에는 25℃와 80℃)에서 자기장 변화에 대한 시그널 강도를 측정하여 Stokes-Einstein의 식으로부터 양·음이온의 확산 계수를 산출한다.
- [0114] 음이온 수송율은, 전류를 이온 액체로 흐르게 했을 때에 전체 전류에 대해 아니온이 담당하는 전류의 비율을 나타낸다. 음이온 수송율은, 상기에서 구한 음이온 확산 계수와 양이온 확산 계수의 총합에 대한 음이온 확산 계수의 비( $D_{\text{anion}}/(D_{\text{cation}}+D_{\text{anion}})$ )로서 계산된다.
- [0115] 샘플 A, B, C, F, H에 사용된 이온 액체는 25℃에서 액체이며, 액체 크로마토그래피에 의한 측정 결과로부터 각 이온 액체의 음이온 확산 계수 및 수송율을 산출하였다. +변위가 얻어진 샘플 A, B, C에서 25℃에서의 이온 액체의 음이온 수송율은 모두 0.4 이상이다. 이에 대해 +변위가 얻어지지 않은 샘플 F, H에서 사용된 이온 액체의 25℃에서의 음이온 수송율은 0.4보다 작다. 이로부터, 실온에서의 음이온 수송율은 폴리머 겔의 변형 효율에 영향을 미치고 있다고 생각된다.
- [0116] 한편, +변위가 얻어진 샘플 D에 첨가된 이온 액체 TBP-BF<sub>4</sub>는, 사용한 액체 크로마토그래피의 가열 가능 온도(80℃)에서는 용융되지 않으므로 확산 계수를 측정할 수 없었다.
- [0117] +변위가 얻어지지 않은 샘플 G에 첨가된 이온 액체 TBP-MES도, 25℃에서 고체이므로 확산 계수를 측정할 수 없었다. 그런데 이온 액체를 80℃로 가열하였더니 용융되었는 바, 음이온 확산 계수 및 수송율을 계산하였더니 수송율은 0.6이었다.
- [0118] 도 18의 결과로부터, 고분자 재료층(11)에 첨가되는 이온 액체의 특성으로서 25℃에서의 음이온 수송율이 0.4 이상인 것이 바람직함을 알 수 있다.
- [0119] 도 17 및 도 18로부터, 이온 액체의 아니온 크기(분자량)가 작은 쪽이 폴리머 겔의 변형 효율에 기여하는 것으로 추정된다. 한편, 이온 액체의 카티온 크기는 변형 효율에 그다지 기여하지 않는다고 생각된다. 하지만, 샘플 D의 변형 효율이 충분하지 않다는 점으로부터는 카티온의 종류에 따라 음극의 열화에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 이에 대해서는 도 21을 참조하여 후술한다.

- [0120] 한편, 샘플 G가 사용된 이온 액체는 아니온 크기도 카티온 크기도 중간 정도이나, 이온 액체가 25℃에서 고체이므로 교반에 의해 폴리머 겔 중에 분산되더라도 겔의 변형 효율에는 그다지 기여하지 않는 것으로 생각된다.
- [0121] 이상으로부터, BF<sub>4</sub><sup>-</sup> 및 DCA 이외에도, 아니온으로서 이온 크기가 비교적 작은 Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> 등을 사용할 수가 있다. 또한, 카티온으로서 음극의 열화에 영향주지 않는 것을 선택하여, 여러 이온 액체를 사용할 수 있다. 예를 들어, Li-BF<sub>4</sub>를 이온 액체로서 사용할 수 있다.
- [0122] <이온 액체의 첨가량과 폴리머 겔 변위의 관계>
- [0123] 도 19는 이온 액체의 첨가량과 폴리머 겔 변위의 관계를 나타내는 도면이다. 횡축은 폴리머 겔에 있어 고분자 재료에 대한 이온 액체의 함유량(wt%), 종축은 변위의 피크 높이이다.
- [0124] 고분자 재료로서 분자량이 230,000인 PVC를 사용하며, 이온 액체로서 샘플 A의 EMI-BF<sub>4</sub>를 사용한다. EMI-BF<sub>4</sub>의 첨가량을 0wt%~ 5.0wt%의 범위에서 변화시킨다. 또한, 인가 전압을 0V, 50V, 100V, 200V, 400V로 변화시킨다.
- [0125] 인가하는 전압 레벨에 관계없이 이온 액체의 첨가량이 0.2wt%~1.5wt%인 범위에서 +변위가 얻어진다. 또한, 0.3wt%~1.0wt%의 범위에서 변위가 최대이다. 이 범위의 이온 액체 첨가에 의해 100V 이하의 전압 인가로 전극(13) 표면에 광 산란체(15)를 형성할 수 있다. 이온 액체의 첨가량이 5.0wt%일 때에는 전압을 OFF로 하여도 변형이 다시 되돌아오지 않는 메모리 현상이 발생한다.
- [0126] 도 19로부터, 고분자에 대한 이온 액체의 중량 비율은 0.2wt%~1.5wt%가 바람직하며, 보다 바람직하게는 0.3wt%~1.0wt%임을 알 수 있다. 이것은 도 17의 결과와도 일치한다.
- [0127] 도 20은 고분자 재료층(11)으로 전압을 인가함으로써 형성되는 광 산란체(15)의 광 확산 분포 평가 결과를 이온 액체 첨가량마다 나타내는 도면이다. 이온 액체로서 EMI-BF<sub>4</sub>를 사용하며 EMI-BF<sub>4</sub>의 첨가량을 변화시킨 고분자 재료층(11)으로 도 2a 및 도 2b의 광학 소자(10)를 제작한다. 고분자 재료층(11)은, 폴리머 겔로서 PVC를 포함하며, 가소제로서 아디핀산디부틸(DBA)을 포함한다. PVC와 DBA의 총량에 대한 DBA의 함유 비율은 83wt%이다.
- [0128] 음극이 되는 전극(12)을 두께 150μm인 ITO로 형성하고, 전극(12)과 전극(13) 사이에 끼운 고분자 재료층(11)에 전압을 인가하여 광 산란체(15)를 형성한다. 도 13과 마찬가지로, ITO로 형성되는 전극(12) 쪽에 레이저를 배치하고, 광 산란체(15)가 형성되는 쪽에 스크린을 배치한다. 전극(12)의 뒷면쪽에서 적색 평행광인 레이저 광을 광학 소자(10)로 입사시켜 스크린에서의 광 확산 상태를 관찰한다.
- [0129] 스크린은 광 산란체(15)의 광 출사측에서 광 산란체(15)의 초점보다 먼 위치에 배치되어 있다. 광 산란체(15)의 초점에서 한번 집광된 후의 광 확산을 스크린 상에서 관찰한다. 광학 소자(10)의 광 산란체(15)의 직경은 100μm, 높이는 0~40μm 정도로서 작으며, 그 초점 위치는 광학 소자(10)에 아주 가깝게 위치하므로, 육안으로 관찰하기 어렵기 때문이다. 광 산란체(15)의 초점을 넘은 위치에서의 광 확산을 관찰함으로써 집광 상태를 평가할 수 있다.
- [0130] 이온 액체가 첨가되지 않은 샘플("w/o IL"로 표기)에서는, 200V의 전압을 인가하여도 전극(13) 표면으로부터 돌출되는 광 산란체(15)가 형성되지 않는다. 광학 소자(10)의 뒷면에서부터 입사된 적색 평행광은 집광되지 않고 평행광인 채로 광학 소자(10)를 투과하므로, 인가 전압 레벨에 관계없이 스크린 상에 같은 크기의 스폿이 형성되어 있다.
- [0131] EMI-BF<sub>4</sub>가 0.05wt% 첨가된 샘플에서는, 100V의 전압 인가에 의해 전극(13) 표면에서 폴리머 겔이 약간은 부풀어 오르지만, 집광 기능이 불충분하여 스크린 위치에서 평행광 스폿이 거의 유지되고 있다. 200V의 전압 인가에서는 피크 높이가 10μm 정도인(곡률이 완만한) 광 산란체(15)가 형성된다. 일단 광 산란체(15)의 초점 위치에서 집광된 광이 확산되어 퍼져서 스크린 상에 스폿이 나타나지 않는다.
- [0132] EMI-BF<sub>4</sub>가 0.5wt% 첨가된 샘플에서는, 50V의 전압 인가에 의해 전극(13) 표면에 광 산란체(15)가 형성되며, 집광 후에 확산되기 시작한 광이 스크린 위치에서 관찰된다. 100V의 전압 및 200V의 전압 인가에서는 50V 인가시보다 피크 높이가 큰, 즉, 곡률이 급격한 광 산란체(15)가 전극(13) 표면에 형성된다. 광학 소자의 뒷면에서 입사된 광은 집광된 후에 크게 확산하여 스크린 위치에서 스폿이 관찰되지 않는다. 이들 평가 결과는 도 19의 측정 결과와 일치한다.
- [0133] 도 20의 광 확산 분포로부터, 인가 전압을 조정함으로써 광 산란체(15)의 초점 거리를 가변적으로 할 수 있음이

확인된다. 따라서, 실시형태의 광학 소자(10)는 가변 초점 렌즈 또는 가변 형상 렌즈로서 사용할 수 있다.

- [0134] <이온 액체(카티온)가 음극 열화에 미치는 영향>
- [0135] 도 21은 이온 액체가 음극 열화에 미치는 영향을 나타내는 도면이다. 시험용 샘플로서, 금속 기관 상에, 여러 이온 액체를 첨가한 PVC 겔을 도포하고, PVC 겔 상에 대향 전극으로서 ITO 전극을 배치한다.
- [0136] 도포하는 PVC 겔의 종류는 샘플 A(0.5wt%의 EMI-BF<sub>4</sub>를 포함), 샘플 B(0.5wt%의 OMI-BF<sub>4</sub>를 포함), 샘플 C(0.5wt%의 EMI-DCA를 포함), 샘플 D(0.1wt%의 TBP-BF<sub>4</sub>를 포함), 샘플 H(0.5wt%의 EMI-FSI를 포함), 샘플 G(0.5wt%의 TBP-MES를 포함)의 6종류이다. 이 중 도 18에서 +변위가 얻어진 것은 샘플 A~D이다. 샘플 D는 이온 액체의 중량 비율을 다른 샘플과 같은 0.5wt%로 한 경우에 변위가 얻어지지 않으므로 첨가량을 0.1wt%로 줄인 샘플이다.
- [0137] 금속 기관을 양극, ITO를 음극으로 하여 PVC 겔에 인가하는 전압 레벨을 변화시키면서 ITO 쪽에서 전극의 표면 상태를 관찰한다.
- [0138] 변위 효과가 없는 샘플 G는 50V라는 낮은 인가 전압에서 ITO(음극)의 열화가 관찰된다. 또한, 샘플 D에서도 전압 인가에 의한 ITO 전극의 열화가 관찰된다. 이는 카티온이 ITO 전극의 열화에 영향을 미치고 있기 때문이라고 생각된다. 이에 대해 변위 효과가 높은 샘플 A-C에서는, 인가 전압을 높여도 ITO 전극의 열화가 관찰되지 않았다.
- [0139] 도17~도21에 대한 고찰을 보면, 25℃에서 음이온 수송율이 0.4 이상인 이온 액체를 첨가함으로써 이온 액체를 첨가하지 않은 폴리머 겔에 비해 낮은 인가 전압에서 큰 변형을 얻을 수 있었다. 특히, 샘플 A 및 샘플 B에서와 같이 아ни온 크기가 작은 이온 액체를 사용하면, 100V 이하의 전압 범위에서 피크 높이를 크게 변화시킬 수 있어서 광 산란체(15)의 제어가 용이하다. 즉, 인가 전압 레벨에 따라 광 산란체(15)를 출현시켜 그 높이를 조절할 수가 있다. 이들 샘플에서는 광학 소자(10)의 구동시에 음극에 대한 악영향도 적다.
- [0140] 이온 액체를 첨가한 고분자 재료는, 전술한 바와 같이 도 4의 마이크로렌즈 어레이(100)에 적용 가능하다. 이 경우 전극(12)과 전극(13) 사이에 200V 이하의 전압을 인가함으로써, 양극으로 되는 전극(13)의 표면(13s)에 광 산란체(15) 배열을 형성할 수 있다. 첨가하는 이온 액체의 종류에 따라서는, 100V 이하의 전압 인가로 높이가 20 $\mu$ m 이상인 광 산란체(15) 배열을 형성할 수 있다.
- [0141] 이온 액체가 첨가된 고분자 재료층(11)을 사용하여, 직경이 100 $\mu$ m, 중심간 피치가 150 $\mu$ m인 광 산란체(15) 배열을 형성할 수 있다. 이 때, 인접하는 2개의 광 산란체(15)의 간격을 50 $\mu$ m로 설정할 수 있다. 마이크로렌즈 어레이(100)는, 필름 형상의 전극(13)에 형성된 마이크로 단위의 개구와 폴리머 겔의 전압 변위 특성을 이용하여 형성되어 있으며, 전극(13) 표면(13s)에 균일한 볼록 형상의 광 산란체(15)가 배열되어 있다. 전극(12)과 전극(13) 사이에 인가되는 200V 이하의 전압 레벨에 따라 광 산란체(15)의 배열을 출현시키고 또한 광 산란체(15)의 높이를 조절할 수가 있다.
- [0142] 이온 액체가 첨가된 고분자 재료층(11)을 사용하는 경우에도, 마이크로렌즈 어레이의 전극(13)을 단층의 도전층으로 구성하지 않고, 도 3에 나타내는 바와 같이 소정의 개구가 형성된 수지 등의 절연 시트의 양면과 개구 안을 도전막으로 코팅한 것을 사용할 수도 있다. 또한, 도 12a 및 도 12b에서와 같이, 개구 대신에 고분자 재료층(11)의 변위에 추종하여 변형될 수 있는 광 투과성의 비도전 영역을 전극(13)에 구비할 수도 있다.
- [0143] 이상, 특정의 실시예에 기초하여 본 발명을 설명하였으나, 본 발명은 전술한 구성으로 한정되지 않는다. 마이크로렌즈 어레이(100)에서 광 산란체(15) 배열은, 매트릭스 모양의 배열에 한정되지 않으며 엇갈린 배열로 할 수도 있다. 또한, 전극(13)의 개구(14) 형상을 육각형으로 하여 세밀하게 배치할 수도 있다.
- [0144] 실시형태의 광학 소자(10, 10A, 10B) 및 도 7의 마이크로렌즈 어레이(100)는, 양면에 광 산란체(15)를 갖는 구성으로 확장하는 것이 가능하다. 음극인 전극(12)을 공통 구성으로 사용하여 전극(12)의 양면에 고분자 재료층(11)을 배치하고, 양극으로 되는 2개의 전극(13)과의 사이에 끼움으로써, 전압 인가에 의해 광학 소자 또는 마이크로렌즈 어레이 시트의 양면에 광 산란체(15)를 발생시킬 수 있다. 가운데에 배치되는 전극(12)을 투명 전극으로 함으로써 양쪽이 볼록한 렌즈 유닛을 형성할 수 있다.
- [0145] 실시형태의 광학 소자 및 마이크로렌즈 어레이는, 복잡한 구성을 사용하지 않고서 다양한 배향 분포를 갖는 광 산란체를 발생시킬 수가 있다. 특히, 이온 액체가 첨가된 고분자 재료층을 사용함으로써, 저감된 구동 전압으로도 광 산란체를 양호한 효율로 발생시킬 수 있다.
- [0146] 본 출원은, 2017년 12월 28일에 일본국 특허청에 출원된 특허출원2017-254351호 및 2018년 12월 26일에 일본국

특허청에 출원된 특허출원2018-243598호의 전체 내용을 포함하는 것이다.

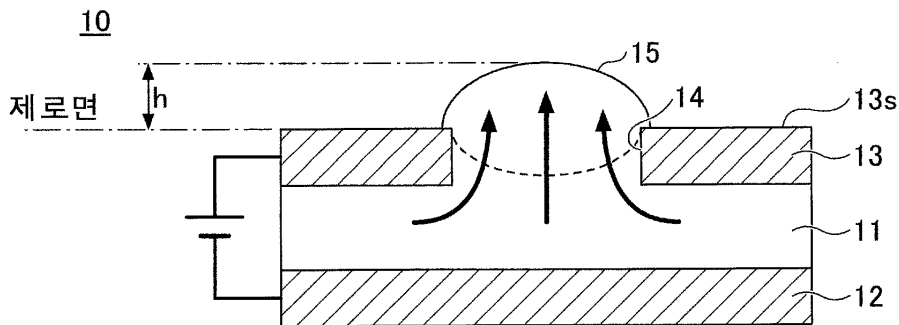
**부호의 설명**

[0147]

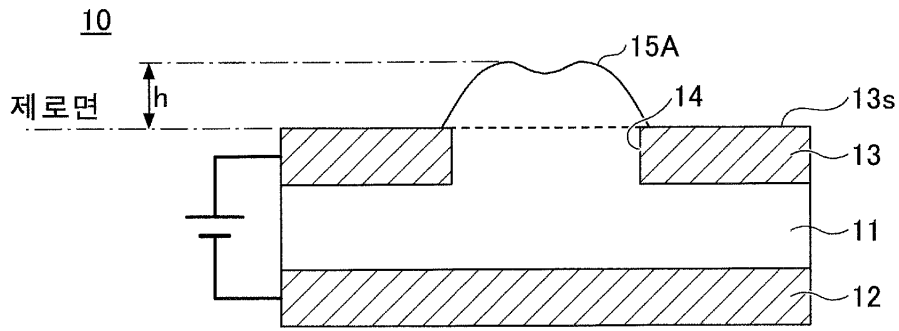
- 10, 10A, 10B 광학 소자
- 11 고분자 재료층
- 12 전극(제1 전극층)
- 13, 13A 전극(제2 전극층)
- 14 개구
- 15 광 산란체
- 16 절연체
- 17 도전막
- 18 변형부
- 19 비도전성 영역
- 100 마이크로렌즈 어레이
- 130 활상 소자 어레이
- 131R, 131G, 131B 컬러 필터
- 150 활상 장치
- 250 조명 장치

**도면**

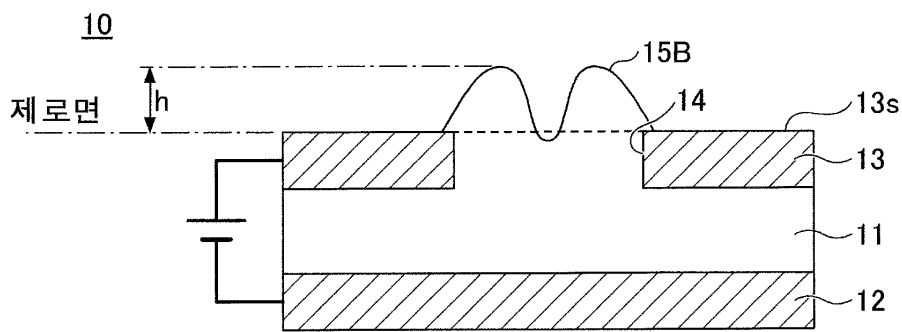
**도면1a**



도면1b

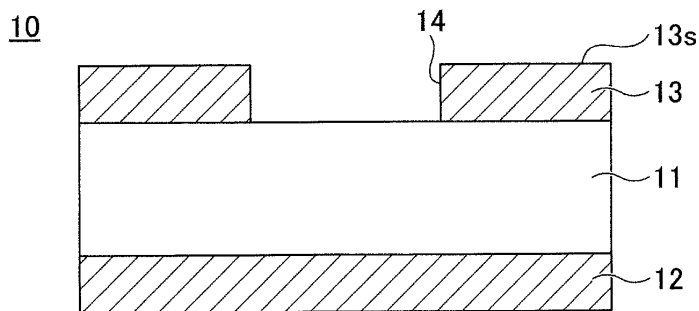


도면1c

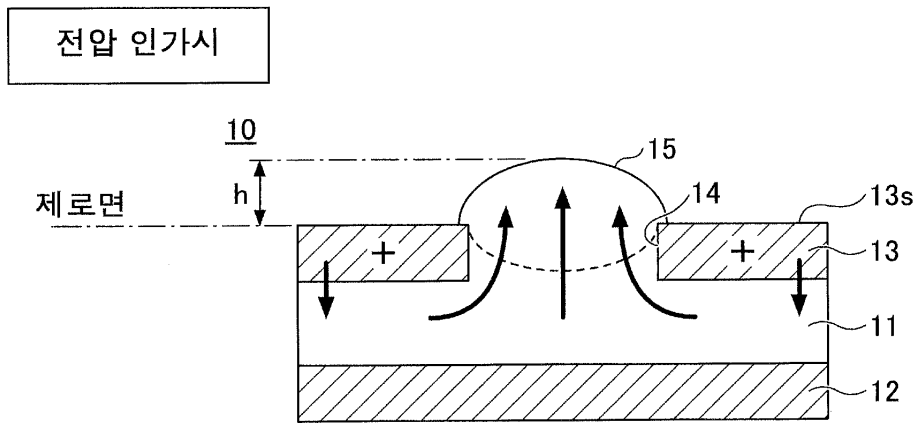


도면2a

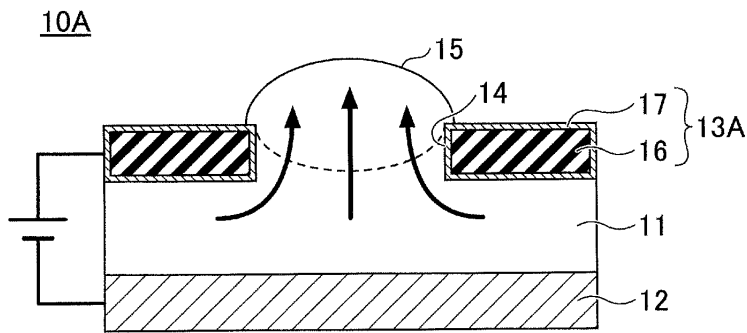
초기 형태(전압 인가 없음)



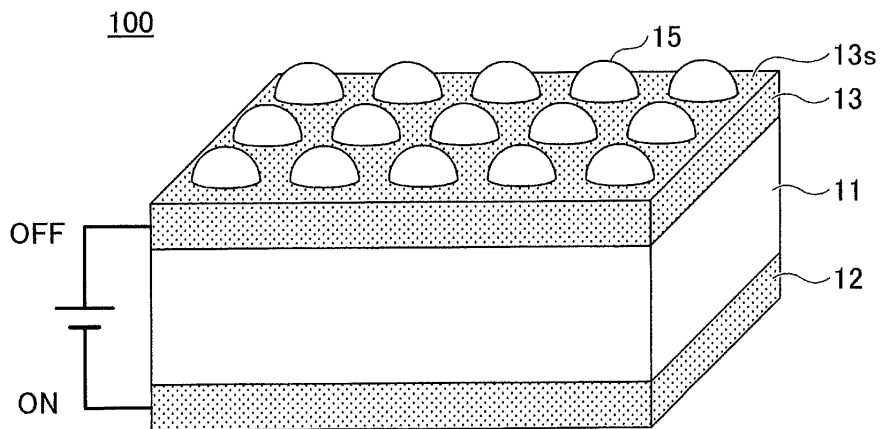
도면2b



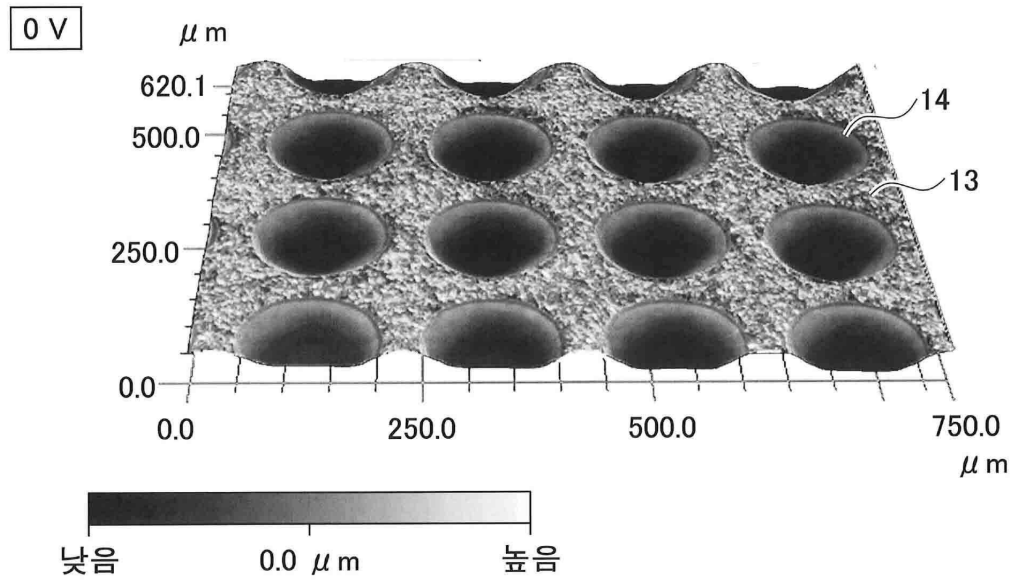
도면3



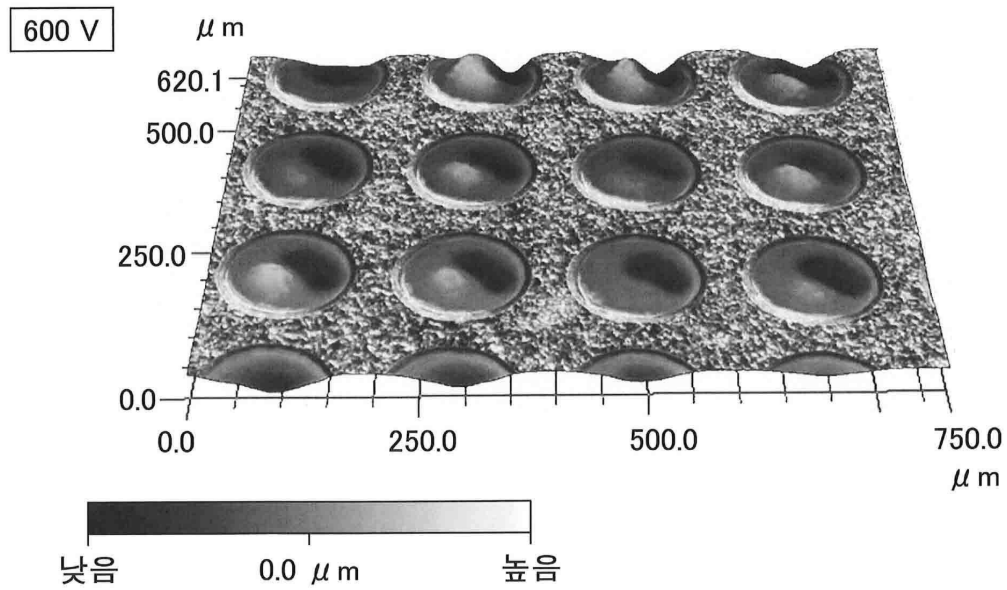
도면4



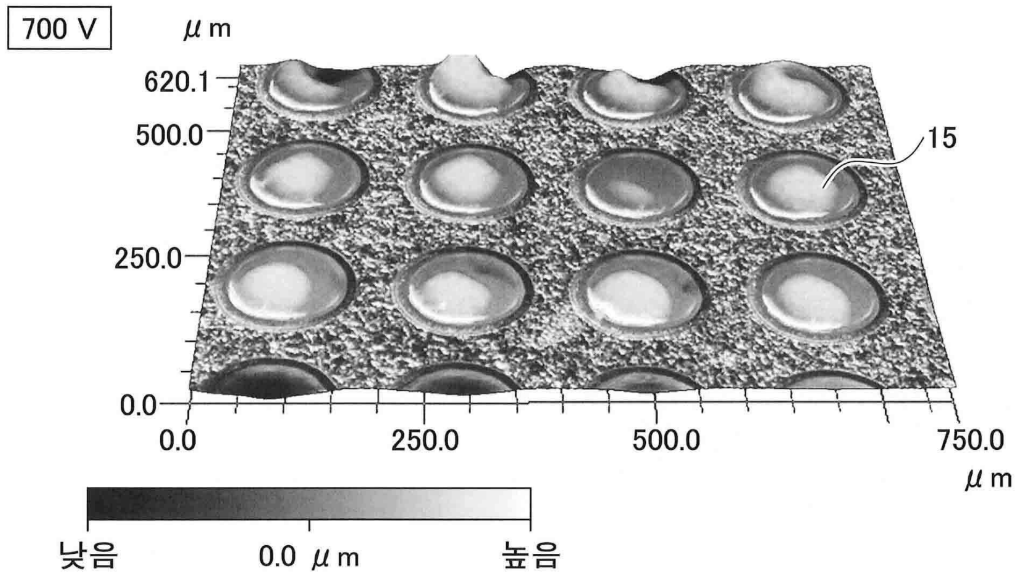
도면5a



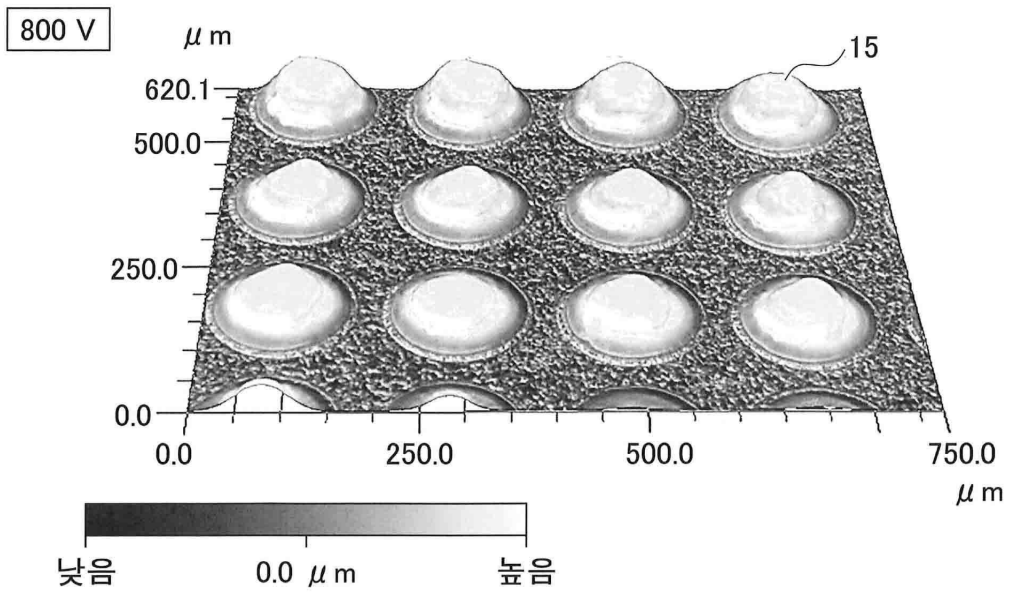
도면5b



도면5c

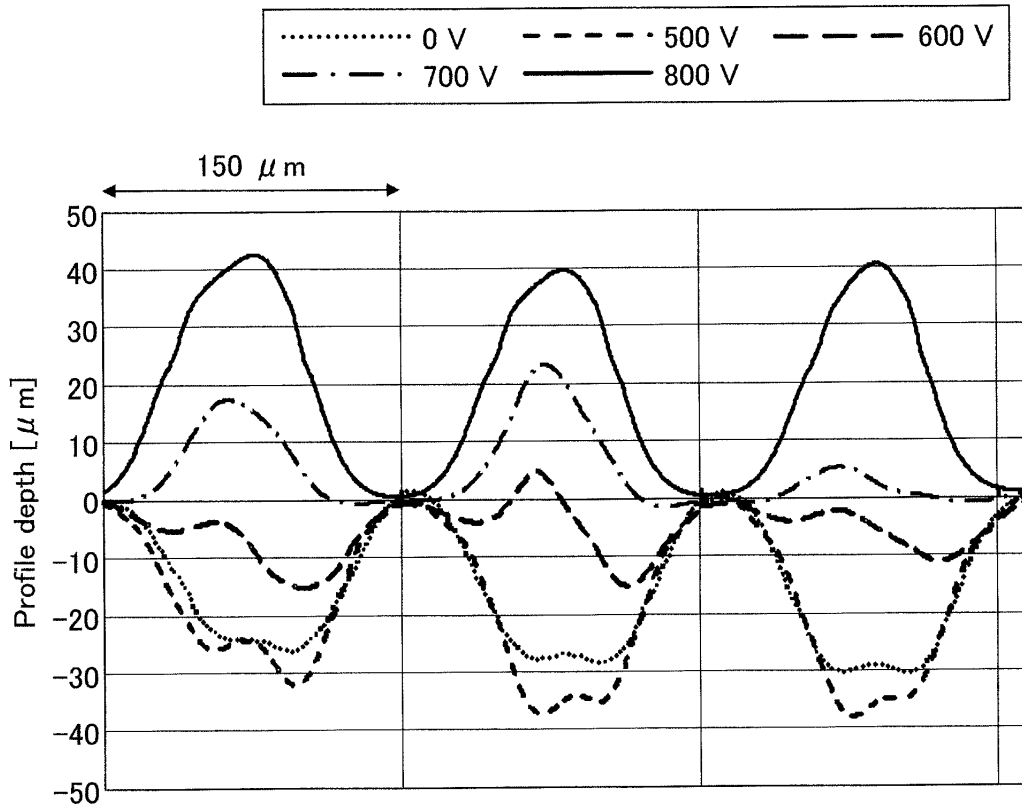


도면5d

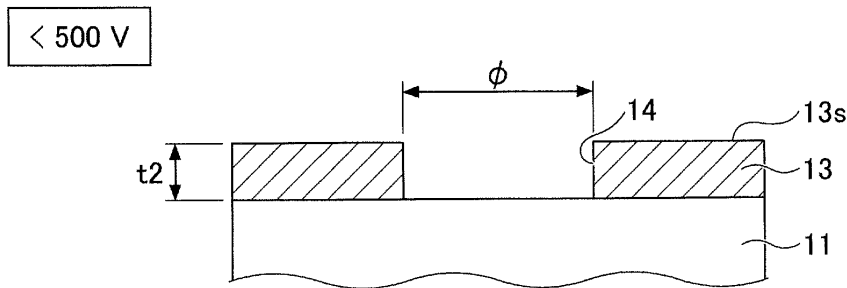




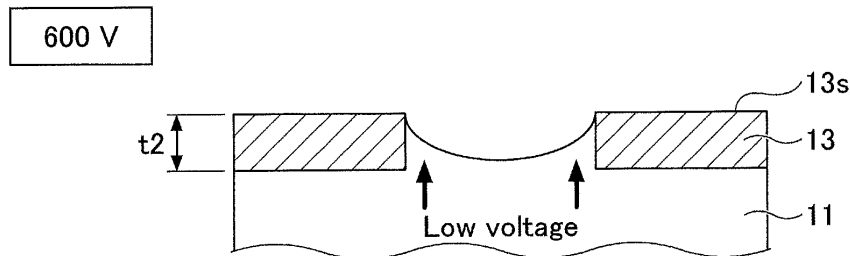
도면7



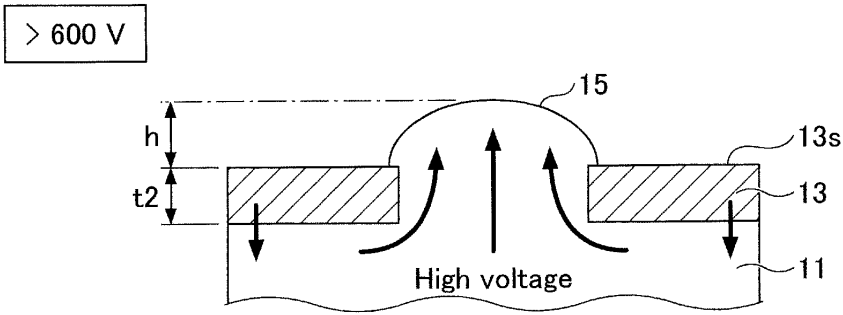
도면8a



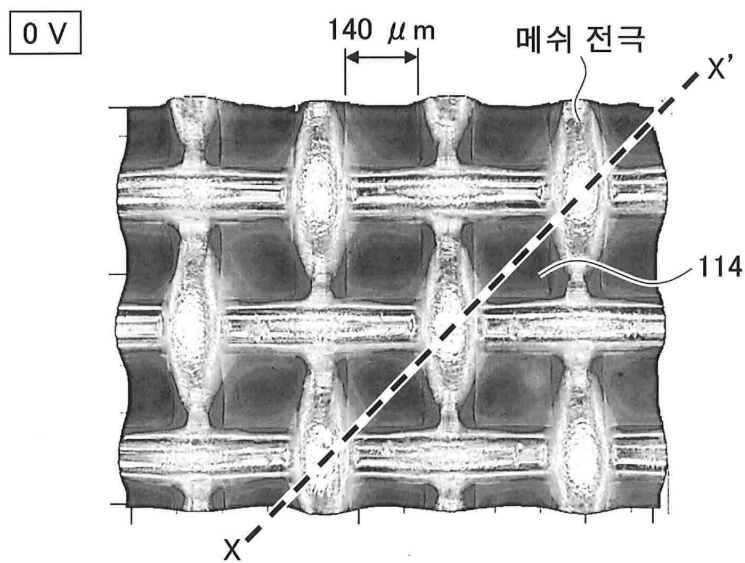
도면8b



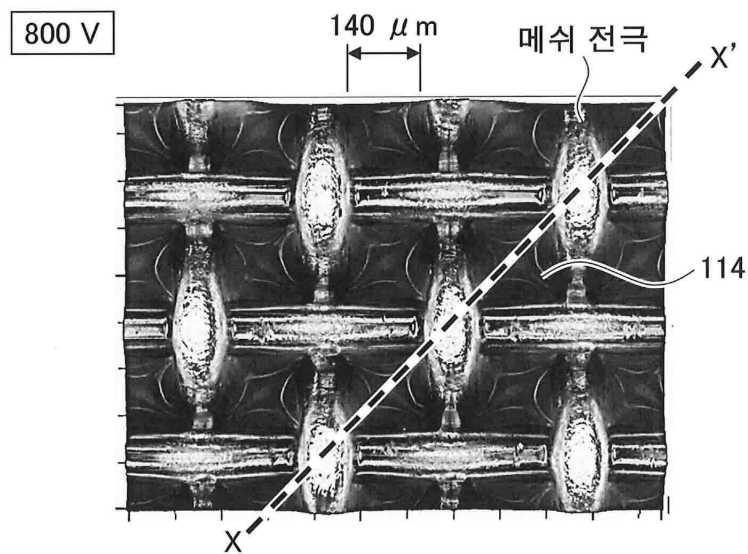
도면8c



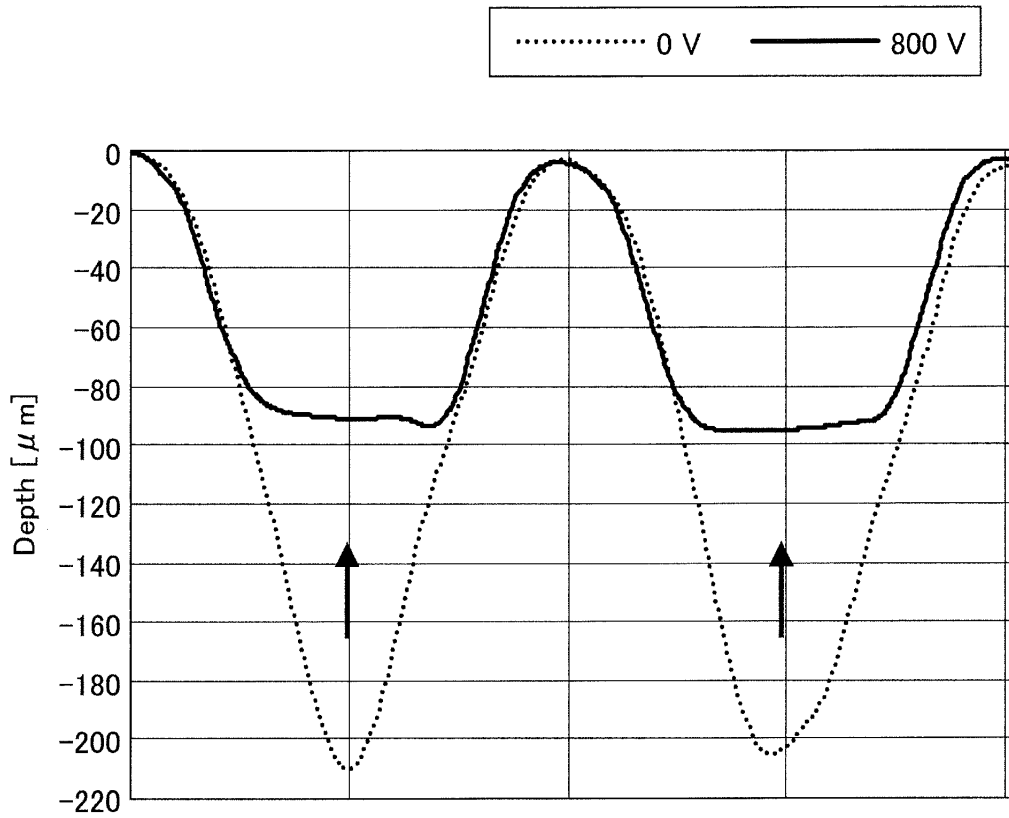
도면9a



도면9b

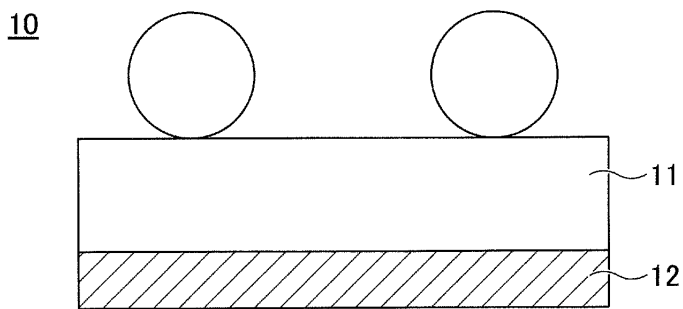


도면10



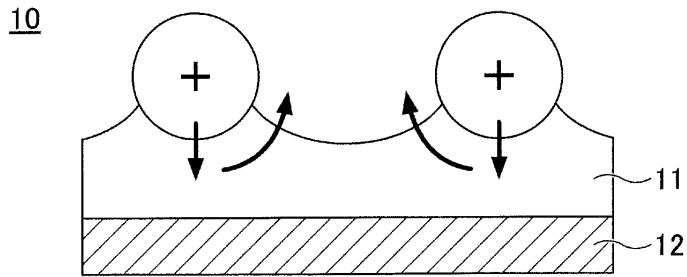
도면11a

초기 형태(전압 인가 없음)



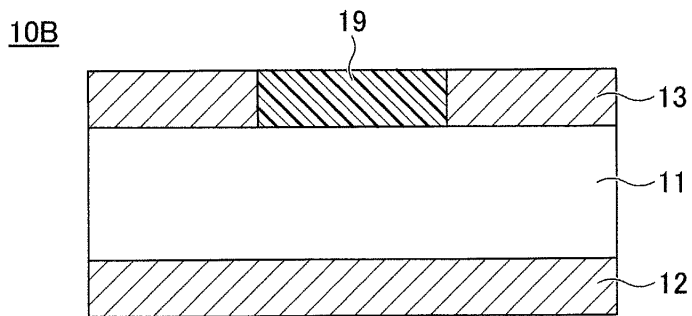
도면11b

전압 인가시



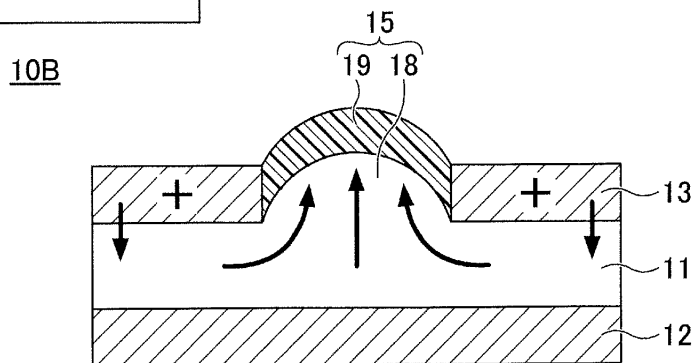
도면12a

초기 형태(전압 인가 없음)

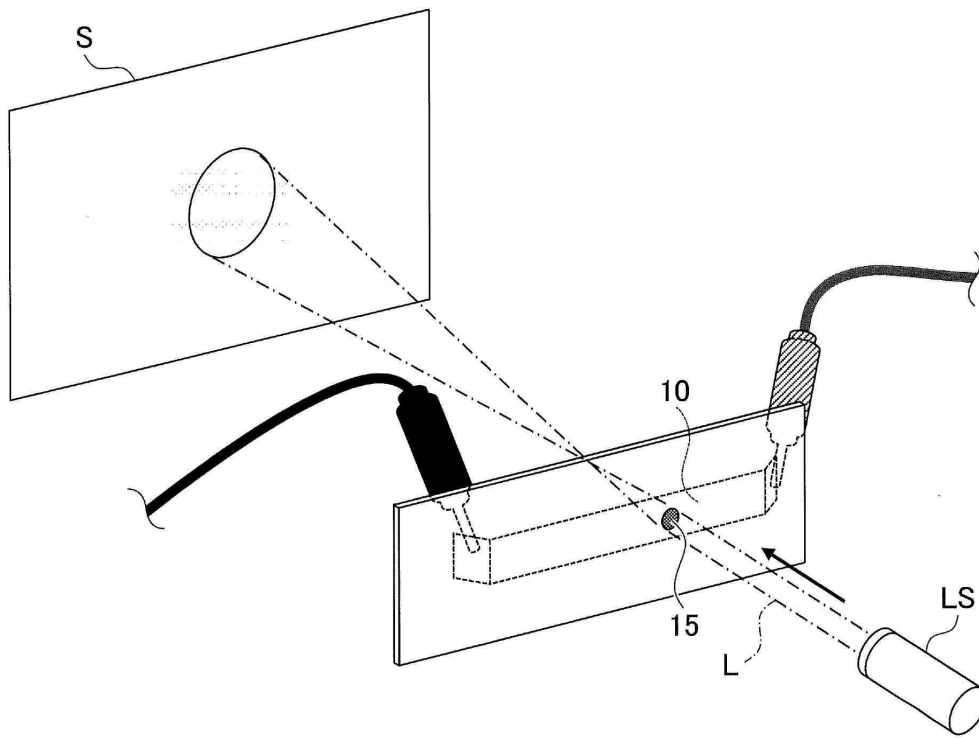


도면12b

전압 인가시

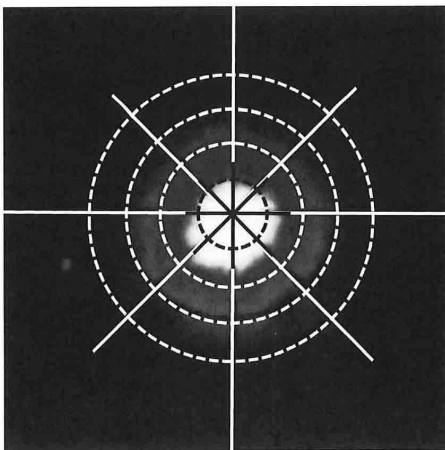


도면13



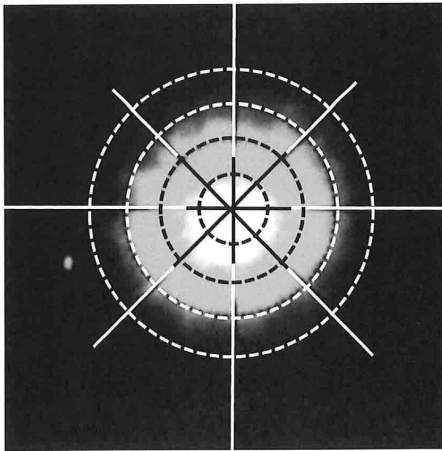
도면14a

0 V



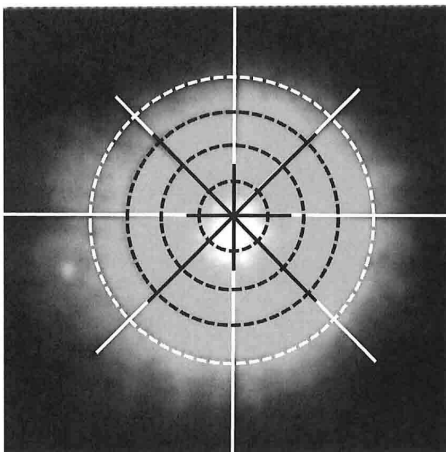
도면14b

600 V



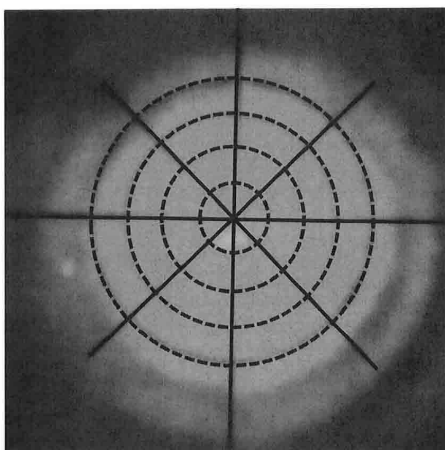
도면14c

700 V

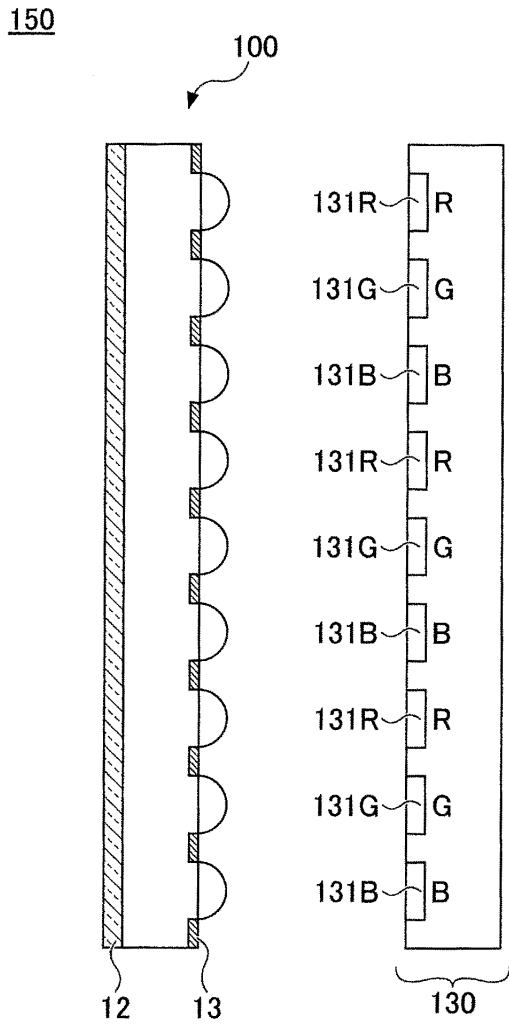


도면14d

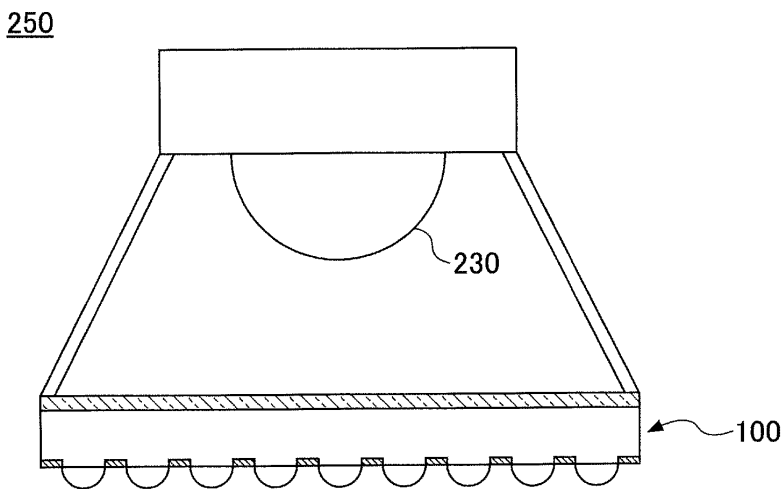
800 V



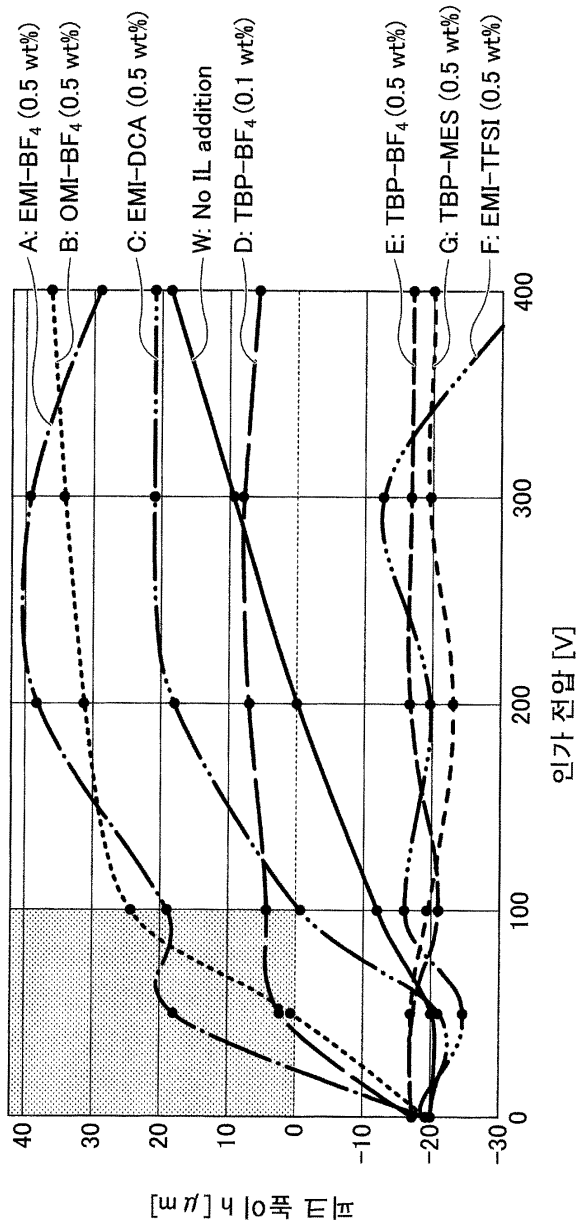
도면15



도면16



도면17

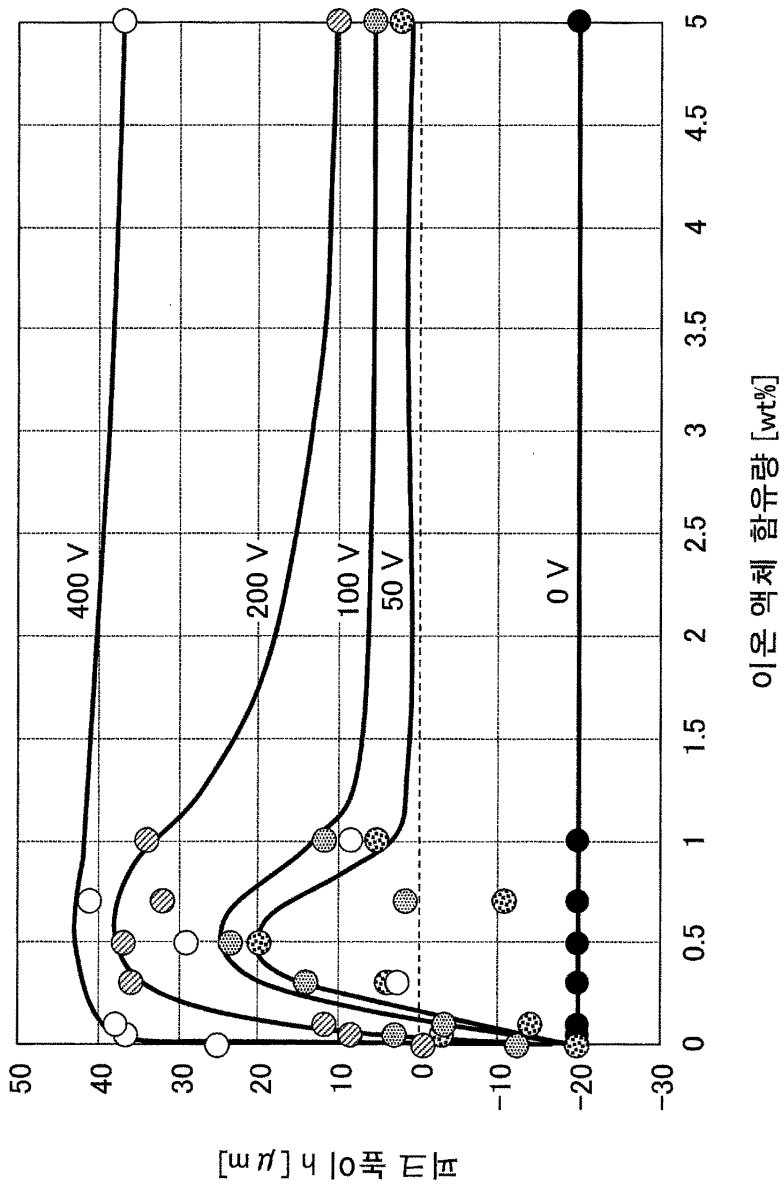


도면18

이온 액체 ( $t^+ - t^-$ )	변위	도전율 (mS/cm)	전위차 (R/O)	RT		80 °C	
				음이온 확산 계수 ( $1e-11 \text{ m}^2/\text{s}$ )	음이온 수송율	음이온 확산 계수 ( $1e-11 \text{ m}^2/\text{s}$ )	음이온 수송율
A: EMIm-BF <sub>4</sub>	+	27	Δ4.1	3.9	0.44	21	0.49
B: OMIm-BF <sub>4</sub>	+	12	-2.3/3.7 (Δ6.0)	1.7	0.57	6.4	0.51
C: EMIm-DCA	+	0.43	-2.5/3.4 (Δ5.9)	6.9	0.53		
D: TBP-BF <sub>4</sub>	+	?	-2.9/3.8 (Δ6.7)	-*	-*		
F: EMIm-TFSI	-	?	Δ4.1	3.7	0.37		
H: EMIm-FSI	-	8.8		6.6	0.36		
G: TBP-MES	-	?		-*	-*	1.8	0.6

\* 고체이므로 RT 에서 측정할 수 없음

도면19



도면20



도면21

