



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월10일
(11) 등록번호 10-2143185
(24) 등록일자 2020년08월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 29/868 (2006.01) H01L 21/265 (2006.01)
H01L 29/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 29/868 (2013.01)
H01L 21/265 (2020.05)
(21) 출원번호 10-2019-0064011
(22) 출원일자 2019년05월30일
심사청구일자 2019년05월30일
(56) 선행기술조사문헌
W02014017535 A1
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
선정윤
서울특별시 관악구 관악로 1, 122A동 405호(신림동)
주영창
서울특별시 강남구 선릉로 120, 15동 505호(대치동, 개포1,2차 우성아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
팬코리아특허법인

전체 청구항 수 : 총 14 항

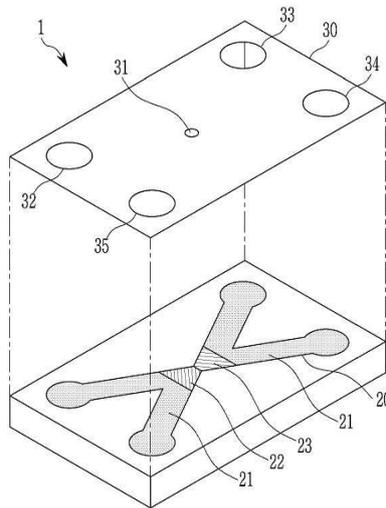
심사관 : 강필승

(54) 발명의 명칭 이온 다이오드

(57) 요약

이온 다이오드는, 기판, 상기 기판에 고분자전해질(polyelectrolyte) 젤로 형성된 p형 젤, 상기 기판에 고분자전해질 젤로 형성되고, 상기 p형 젤의 일면에 일면이 접하는 n형 젤, 상기 p형 젤의 타면에 접하는 제1 저장소, 상기 n형 젤의 타면에 접하는 제2 저장소, 및 상기 p형 젤, 상기 n형 젤, 상기 제1 저장소, 및 상기 제2 저장소를 덮는 봉지 층을 포함하고, 상기 봉지 층에서, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤이 접하는 경계 영역에 대응하는 위치에, 이온 입력을 주입하기 위한 주입부가 형성되고, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤 사이에 역 바이어스 전압이 인가될 때 상기 주입부를 통해 주입된 이온 입력이 증폭되어 피크 이온 전류가 발생한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 29/66136 (2013.01)

H01L 2924/12031 (2013.01)

H01L 2924/12036 (2013.01)

(72) 발명자

정택동

경기도 과천시 별양로 12, 329동 503호(원문동, 래미안 슈르)

이해령

서울특별시 관악구 관악로 1, 934동 505호(신림동, 가족생활동)

임승민

서울특별시 관악구 솔밭로2길 5, 308호(봉천동)

한석희

경기도 남양주시 진접읍 부평로 32, 115동 103호(진접센트레빌시티1단지)

유현재

경기도 성남시 수정구 신촌로 27, 201호(신촌동)

(56) 선행기술조사문헌

KR100581966 B1

KR1020110021230 A

JP2014045193 A

KR1020160139354 A

명세서

청구범위

청구항 1

기관;

상기 기관에 고분자전해질(polyelectrolyte) 젤로 형성된 p형 젤;

상기 기관에 고분자전해질 젤로 형성되고, 상기 p형 젤의 일면에 일면이 접하는 n형 젤;

상기 p형 젤의 타면에 접하는 제1 저장소;

상기 n형 젤의 타면에 접하는 제2 저장소; 및

상기 p형 젤, 상기 n형 젤, 상기 제1 저장소, 및 상기 제2 저장소를 덮는 봉지 층을 포함하고,

상기 봉지 층에서, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤이 접하는 경계 영역에 대응하는 위치에, 이온 입력 주입을 위한 주입부가 형성되고, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤 사이에 역 바이어스 전압이 인가될 때 상기 주입부를 통해 주입된 이온 입력이 증폭되어 피크 이온 전류가 발생하는,

이온 다이오드

청구항 2

고분자전해질인 p형 젤;

상기 p형 젤의 일측에 접하고 고분자전해질인 n형 젤;

상기 p형 젤의 일측과 마주보는 상기 p형 젤의 타측에 접한 제1 저장소; 및

상기 p형 젤과 접한 일측과 마주보는 상기 n형 젤의 타측에 접한 제2 저장소를 포함하고,

상기 p형 젤과 상기 n형 젤에 역 바이어스 전압에 의한 공핍 영역이 형성되고, 상기 공핍 영역에 주입된 이온 입력에 의해 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소로부터 유입되는 추가 이온에 의해 피크 이온 전류가 발생하는,

이온 다이오드.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소 각각으로부터 이온이 추가되어, 상기 이온 입력이 증폭되는,

이온 다이오드.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 역 바이어스 전압이 증가할수록 상기 피크 이온 전류가 증가하는,

이온 다이오드.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 이온 입력의 종류에 따라 상기 피크 이온 전류가 변하는,

이온 다이오드.

청구항 6

제5항에 있어서,
 상기 이온 입력의 양이온이 수화되었을 때, 상기 수화된 양이온의 반경이 작을수록 상기 피크 이온 전류가 증가하는,
 이온 다이오드

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소의 이온 농도에 따라 상기 피크 이온 전류가 변하는,
 이온 다이오드.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소의 이온 종류에 따라 상기 피크 이온 전류가 변하는,
 이온 다이오드.

청구항 9

제8항에 있어서,
 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소의 양이온이 수화되었을 때, 상기 수화된 양이온의 반경이 작을수록 상기 피크 이온 전류가 증가하는,
 이온 다이오드.

청구항 10

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤의 너비가 좁을수록 상기 피크 이온 전류가 증가하고,
 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤의 너비는 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤이 접한 경계면으로부터 상기 각 젤이 형성되어 있는 위치까지의 거리인,
 이온 다이오드.

청구항 11

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤의 너비가 좁을수록 동작 속도가 증가하고,
 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤의 너비는 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤이 접한 경계면으로부터 상기 각 젤이 형성되어 있는 위치까지의 거리인,
 이온 다이오드.

청구항 12

제2항에 있어서,
 상기 이온 다이오드는,
 상기 p형 젤, 상기 n형 젤, 상기 제1 저장소, 및 상기 제2 저장소를 덮는 봉지 층을 더 포함하고,
 상기 봉지 층에 형성된 주입부를 통해 상기 이온 입력이 주입되는,

이온 다이오드.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 주입부의 위치는 상기 p형 젤과 상기 n형 젤이 접한 계면에 대응하는 영역에 위치하는,

이온 다이오드.

청구항 14

저장소;

상기 저장소 내에 위치하는 고분자전해질인 p형 젤; 및

상기 저장소 내에 위치하고, 상기 p형 젤의 일측에 접하는 고분자전해질인 n형 젤을 포함하고,

상기 p형 젤과 상기 n형 젤에 역 바이어스 전압에 의한 공핍 영역이 형성되고, 상기 공핍 영역에 주입된 이온 입력에 의해 상기 저장소로부터 유입되는 추가 이온에 의해 피크 이온 전류가 발생하며,

상기 p형 젤은 poly 3-sulfopropyl acrylate potassium salt, poly vinylsulfonic acid(pVSA), poly styrene sulfonic acid(pSS), 및 poly 2-acrylamide-2-methyl-1-propanesulfonic acid(pAMPSPA) 중 어느 하나로 구성되고,

상기 n형 젤은 poly diallyl-dimethylammonium chloride, poly N-[3-(N,N-dimethylamino)propyl] acrylamide methyl chloride quarternary(pDMPAA-Q), 및 Poly(2-[acryloyloxy ethyl] trimethyl ammonium chloride(pAETMAC) 중 어느 하나로 구성되는,

이온 다이오드.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 이온 다이오드에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 전자소자들을 신체 내에 삽입시켜 생체신호를 얻기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그러나 금속, 반도체를 기반으로 하는 기존 전자소자는 재료적 측면에서 생체 적합성이 떨어질 뿐 아니라 우리몸은 기본적으로 전자가 아닌 이온의 흐름을 바탕으로 한 신호전달체계를 바탕으로 하고있기 때문에 신호교류 측면에서 시스템 불일치로 인한 근본적인 문제점이 존재한다. 따라서 기존 전자 소자의 한계를 뛰어넘어 생체 시스템으로부터 전달된 신호를 직접적으로 받아들이고 해석할 수 있는 새로운 형태의 소자 개발이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 생체 시스템으로부터 전달된 신호를 증폭할 수 있는 이온 다이오드를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명의 한 특징에 따른 이온 다이오드는, 기관, 상기 기관에 고분자전해질(polyelectrolyte) 젤로 형성된 p형 젤, 상기 기관에 고분자전해질 젤로 형성되고, 상기 p형 젤의 일면에 일면이 접하는 n형 젤, 상기 p형 젤의 타면에접하는 제1 저장소, 상기n형 젤의 타면에 접하는 제2 저장소, 및 상기 p형 젤, 상기 n형 젤, 상기 제1 저장소, 및 상기 제2 저장소를 덮는 봉지 층을 포함한다. 상기 봉지 층에서, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤이 접하는 경계 영역에 대응하는 위치에, 이온 입력 주입을 위한 주입부가 형성되고, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤 사이에 역 바이어스 전압이 인가될 때 상기 주입부를통해 주입된 이온 입력이 증폭되어 피크 이온 전류가 발생한다.

[0005] 본 발명의 다른 특징에 따른 고분자전해질인 p형 젤, 상기 p형 젤의 일측에 접하고 고분자전해질인 n형 젤, 상

기 p형 젤의 일측과 마주보는 상기 p형 젤의 타측에 접한 제1 저장소, 및 상기 p형 젤과 접한 일측과 마주보는 상기 n형 젤의 타측에 접한 제2 저장소를 포함하고, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤에 역 바이어스 전압에 의한 공핍 영역이 형성되고, 상기 공핍 영역에 주입된 이온 입력에 의해 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소로부터 유입되는 추가 이온에 의해 피크 이온 전류가 발생한다.

- [0006] 상기 이온 다이오드는, 상기 p형 젤, 상기 n형 젤, 상기 제1 저장소, 및 상기 제2 저장소를 덮는 봉지 층을 더 포함하고, 상기 봉지 층에 형성된 주입부를 통해 상기 이온 입력이 주입될 수 있다. 상기 주입부의 위치는 상기 p형 젤과 상기 n형 젤이 접한 계면에 대응하는 영역에 위치할 수 있다.
- [0007] 상기 역 바이어스 전압이 증가할수록 상기 피크 이온 전류가 증가할 수 있다.
- [0008] 상기 이온 입력의 종류에 따라 상기 피크 이온 전류가 변할 수 있다. 상기 이온 입력의 양이온이 수화되었을 때, 상기 수화된 양이온의 반경이 작을수록 상기 피크 이온 전류가 증가할 수 있다.
- [0009] 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소의 이온 농도에 따라 상기 피크 이온 전류가 변할 수 있다.
- [0010] 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소의 이온 종류에 따라 상기 피크 이온 전류가 변할 수 있다. 상기 제1 저장소 및 상기 제2 저장소의 양이온이 수화되었을 때, 상기 수화된 양이온의 반경이 작을수록 상기 피크 이온 전류가 증가할 수 있다.
- [0011] 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤의 너비가 좁을수록 상기 피크 이온 전류가 증가할 수 있다. 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤의 너비가 좁을수록 동작 속도가 증가할 수 있다. 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤의 너비는 상기 p형 젤 및 상기 n형 젤이 접한 경계면으로부터 상기 각 젤이 형성되어 있는 위치까지의 거리이다.
- [0012] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 이온 다이오드는, 저장소, 상기 저장소 내에 위치하는 고분자전해질인 p형 젤, 및 상기 저장소 내에 위치하고, 상기 p형 젤의 일측에 접하는 고분자전해질인 n형 젤을 포함하고, 상기 p형 젤과 상기 n형 젤에 역 바이어스 전압에 의한 공핍 영역이 형성되고, 상기 공핍 영역에 주입된 이온 입력에 의해 상기 저장소로부터 유입되는 추가 이온에 의해 피크 이온 전류가 발생하며, 상기 p형 젤은 poly 3-sulfopropyl acrylate potassium salt, poly vinylsulfonic acid(pVSA), poly styrene sulfonic acid(pSS), 및 poly 2-acrylamide-2-methyl-1-propanesulfonic acid(pAMP) 중 어느 하나로 구성되고, 상기 n형 젤은 poly diallyl-dimethylammonium chloride, poly N-[3-(N,N-dimethylamino)propyl] acrylamide methyl chloride quarternary(pDMPAA-Q), 및 Poly(2-[acryloyloxy ethyl] trimethyl ammonium chloride(pAETMAC) 중 어느 하나로 구성될 수 있다.

발명의 효과

- [0013] 이온 입력을 증폭하여 이온 출력을 생성할 수 있는 이온 다이오드를 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 일 실시예에 따른 이온 다이오드를 나타낸 사시도이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 이온 다이오드의 분해도이고, 도 3은 도 1에서 A-A'을 따른 단면도이며, 도 4는 도 2의 분해도에서 봉지 층을 제외한 이온 다이오드의 평면도이다.
- 도 5는 이온 입력 주입 전에 일 실시예에 따른 이온 다이오드의 역 바이어스 상태를 나타낸 도면이다.
- 도 6 및 도 7은 일 실시예에 따른 이온 다이오드에서 이온 입력에 따른 이온 다이오드에서의 이온 이동을 나타낸 도면이다.
- 도 8은 형광 양이온 용액을 주입했을 때 이온 다이오드의 상태를 나타낸 도면이다.
- 도 9는 형광 음이온 용액을 주입했을 때 이온 다이오드의 상태를 나타낸 도면이다.
- 도 10A는 이온 입력주입 시 형성된 이온방울을 나타낸 도면이다.
- 도 10B는 피코인젝터를 통해이온 입력이 홀에주입되는 것을 나타낸 도면이다.
- 도 10C는 KCl 이온 입력주입 시 이온 전류에 대한 전류-시간 그래프이다.
- 도 11A는 이온 주입 후 Cu^{2+} 이온 플럭스에 의해 유도되는 이온 전류를 도식적으로 나타낸 도면이고, 도 11B는

실험을 통한 형광 이미지이다.

도 12A는 이온 주입 후 OH^- 이온 플럭스에 의해 유도되는 이온 전류를 도식적으로 나타낸 도면이고, 도 12B는 실험을 통한 형광 이미지이다.

도 13A는 저장소 농도 증가에 따른 피크 이온 전류를 나타낸 그래프이다.

도 13B는 저장소 농도 증가에 따른 검출 전하량을 나타낸 그래프이다.

도 14A는 역 바이어스 전압 증가에 따른 피크 이온 전류를 나타낸 그래프이다.

도 14B는 역 바이어스 전압 증가에 따른 검출 전하량을 나타낸 그래프이다.

도 15A는 p형 젤 및 n형 젤의 고분자전해질 젤 내에서의 이온 용액 이온 전도도를 나타낸 그래프이다.

도 15B는 저장소 및 이온 입력 각각의 종류에 따른 피크 이온 전류의 파형을 나타낸 도면이다.

도 15C는 저장소 및 이온 입력 각각의 종류에 따른 검출 전하량을 나타낸 도면이다.

도 16A은 다이오드 폭 변화 및 역 바이어스 전압 변화에 따른 피크 이온 전류를 나타낸 파형도이고, 도16B는 다이오드 폭 변화 및 역 바이어스 전압 변화에 따른 증폭비를 나타낸 그래프이다.

도 17A 피크 이온 전류의 파형도이고, 도 17B는 다이오드 폭 및 역 바이어스 전압에 따른 동작 속도 상수를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 개시는, 이온 입력이 제공되는 구조를 포함하는 이온 다이오드로, 이온 입력을 증폭하여 이온 출력을 생성한다. 예를 들어, 이온 입력에 따른 이온 신호는 이온 다이오드를 통해 증폭되고, 이온 다이오드의 p형 젤과 n형 젤 사이에 이온 흐름이 증가하여 증폭된 이온 흐름에 의한 피크 이온 전류가 흐른다.

[0016] 본 개시에서 이온 입력이 제공되는 구조를 "개방접합 구조(open junction structure)"라고 정의한다. 이는, 본 개시를 통해 기술되는 발명의 이해를 돕기 위한 용어로서 본 발명을 제한하지 않는다. 구체적으로, 마이크로 유체칩 기반의 고분자 전해질 젤 다이오드(microfluidic chip based polyelectrolyte gel diodes)의 봉지 층(encapsulation layer)에 개방 접합 구조를 설계하여 외부로부터 입력되는 이온 입력 즉, 이온 신호가 이온 다이오드로 직접 전달되어, 이온 다이오드를 통해 증폭되어 피크 이온 전류로 표시되는 이온 출력이 생성된다. 이때, 이온 다이오드는 역 바이어스(revere bias) 조건일 수 있다.

[0017] 또한, 본 개시는 이온 다이오드의 증폭 성능을 제어하는 인자로서, 이온 입력, 역 바이어스 전압, 이온 다이오드를 구성하는 파라미터에 대해서 설명하고, 본 발명의 실시예들을 통해 해당 인자들과 이온 다이오드의 증폭 성능 간의 관계를 설명한다. 본 개시에 소개된 다양한 실시예들을 통해 이온 다이오드의 동작 원리 및 동작 원리의 차이로부터 발생하는 기술적 효과에 대해서 설명한다.

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시예를 상세히 설명하되, 동일하거나 유사한 구성요소에는 동일, 유사한 도면부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 또한, 본 명세서에 개시된 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 명세서에 개시된 실시예의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 명세서에 개시된 실시예를 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 명세서에 개시된 기술적 사상이 제한되지 않으며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0019] 이하, 도면을 참고로 한 실시예들은 본 발명을 설명하기 위한 것으로, 발명을 한정하지 않는다.

[0020] 도 1은 일 실시예에 따른 이온 다이오드를 나타낸 사시도이다.

[0021] 도 2는 도 1에 도시된 이온 다이오드의 분해도이고, 도 3은 도 1에서 A-A'을 따른 단면도이며, 도 4는 도 2의 분해도에서 봉지 층을 제외한 이온 다이오드의 평면도이다.

[0022] 도 1 내지 도 4에 도시된 이온 다이오드는 일 실시예를 설명하기 위한 예시로서, 설계에 따라 변경될 수 있다.

[0023] 도 1에 도시된 바와 같이, 이온 다이오드(1)는 기관(10) 및 봉지 층(30)을 포함하고, 도 2 내지 도 4에 도시된 바와 같이, 기관(10)에 위치하는 채널(20)을 더 포함한다. 봉지 층(30)에는 개방 접합 구조인 홀(31), 그리고 4개의 개방 홀(32-35)이 형성되어 있다. 홀(31)은 이온 입력을 주입하기 위한 주입부의 일 예이고, 개방 홀(32-

35)은 채널(20)과 외부와의 전기적 결합, 이온적 결합 등을 위한 구성으로 일 실시예에서는 홀의 형상이지만 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 도 1에 도시된 일 실시예가 4개의 개방 홀을 포함하는 것으로 도시되어 있으나, 설계에 따라 개수 및 위치는 변경될 수 있다.

- [0024] 도 1에서는 이온 입력을 주입하기 위한 구성으로 홀이 도시되어 있으나, 발명이 이에 한정되지 않는다. 이온 입력을 주입하기 위한 개방 구조로 다양한 변형이 가능하다.
- [0025] 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 기관(10)에는 채널(20)이 형성되어 있고, 채널(20)은 저장소(reservoir)(21), p형 젤(22), 및 n형 젤(23)을 포함한다.
- [0026] 채널(20) 내는 고분자전해질 젤의 투석(dialysis) 및 전기화학적(electrochemical) 접촉을 위해 이온성 용액으로 채워져 있고, 이를 저장소(21)로 한다.
- [0027] 도 2 내지 도 4에 도시된 바와 같이, 채널(20)에서 p형 젤(22)과 n형 젤(23)은 p-n 접합 인터페이스(p-n junction interface)를 형성하고, p형 젤(22)은 p형 poly 3-sulfopropyl acrylate potassium salt(pSPA) 고분자전해질 젤(polyelectrolyte gel)로 구성되고, n형 젤(23)은 n형 poly diallyl-dimethylammonium chloride(pDADMAC) 고분자전해질 젤로 구성될 수 있다. 이온 다이오드의 제작 공정에서, UV 포토-중합반응(UV photopolymerization)을 통해 p형 젤(22) 및 n형 젤(23)이 형성될 수 있다. SPA(3-Sulfopropyl acrylate potassium salt)는 SIGMA Aldrich 사의 모델명(CAS Number) 31098-20-1로, 분자량(molecular weight) 232.30이고, DADMAC(diallyldimethylammonium chloride)는 SIGMA Aldrich 사의 모델명(CAS Number) 7398-69-8이고, 분자량(molecular weight) 161.67일 수 있다.
- [0028] 일 실시예에서, p형 젤(22)이 poly 3-sulfopropyl acrylate potassium salt(pSPA)로 구현되고, n형 젤(23)은 poly diallyl-dimethylammonium chloride(pDADMAC)로 구현되었으나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 완성 시점뿐만 아니라 본 발명의 완성 시점 이후, 본 발명의 이온 다이오드를 구현할 수 있는 이온 전도도 및 이온 선택성이 있는 다른 물질이 사용될 수 있다.
- [0029] 예를 들어, p형 젤(22)은 poly vinylsulfonic acid(pVSA), poly styrene sulfonic acid(pSS), 및 poly 2-acrylamide-2-methyl-1-propanesulfonic acid(pAMPSA) 중 어느 하나로 구성될 수 있다. 또한, n형 젤(23)은 poly N-[3-(N,N-dimethylamino)propyl] acrylamide methyl chloride quarternary(pDMAPAA-Q) 및 Poly(2-[acryloyloxy ethyl] trimethyl ammonium chloride(pAETMAC) 중 어느 하나로 구성될 수 있다.
- [0030] 하이드로젤(hydrogel)은 친수성의 고분자 사슬에 의한 네트워크에 물을 머금고 있는 형태를 가지고 있다. 이때 내부 용매가 전해질을 포함할 경우, 외형 유지가 가능하면서 이온을 전달할 수 있기 때문에 이온성(ionic) 소자를 구성하는 전도체로 적합하다. 특히 하이드로젤 중 하나인 고분자전해질 젤의 경우 양전하 또는 음전하 중 한 종류의 전하만을 갖는 고분자 사슬이 젤 구조를 형성함에 따라 전기적인 중성을 맞추기 위해 내부에는 반대 부호의 이온의 이동만 유도할 수 있다.
- [0031] 도 4에 도시된 바와 같이, 고분자전해질 젤 pSPA로 구현된 p형 젤(22)에서는, 음전하(221)가 고분자 사슬에 묶여있어 양전하(222)만이 이동 가능하다. 또한, 고분자전해질 젤 pDADMAC로 구현된 n형 젤(23)에서는, 양전하(231)가 고분자 사슬에 묶여있어 음전하(232)만이 이동 가능하다. 이와 같은, 고분자전해질 젤의 이온 선택적 성질은 p형, n형 반도체 물질과 유사한 형태인 p형, n형 젤을 형성할 수 있도록 하고, 이들의 접합을 통해 일 실시예에 따른 이온 다이오드(1)가 구현될 수 있다.
- [0032] 봉지 층(30)은 초박형 붕규산 유리(ultrathin borosilicate glass)로 제작될 수 있으며, 그 두께가 30um 이하일 수 있다. 구체적으로 SCHOTT 사의 D263 모델이 사용될 수 있다. 홀(31)은 봉지 층(30)에 레이저 홀 드릴링(laser hole drilling) 공정을 통해 형성될 수 있고, 그 직경은 50um 이하로 30um일 수 있다. 봉지 층(30)의 두께가 매우 얇아 실질적으로 고분자전해질 젤의 표면과 봉지 층(30)의 상부면 간에 차이가 무시할 만큼 작아서, 도 3에서 고분자전해질 젤이 봉지층(30)의 상부면까지 차 있는 것으로 도시되어 있다.
- [0033] 도 4에서는, 도 1 내지 도 3에 도시된 홀(31)에 대응하는 위치(24)가 점선으로 도시되어 있으나, 홀(31)의 위치가 도 4의 위치(24)에 제한되지 않는다.
- [0034] 구체적인 제조 방법은 본 발명이 속하는 기술분야에서 알려진 공지 기술이므로 상세한 설명은 생략한다.
- [0035] 일 실시예에 따른 이온 다이오드(1)는 마이크로 유체 칩으로 구현되고, 그 채널(20)에 이온 용액인 이온 입력을 주입하기 위한 개방 접합 구조인 홀(31)을 포함하는 것을 특징으로 한다. 홀(31)은 Kortherm Science사의 KOS-SF1000RBS picosecond UV 레이저 시스템을 이용한 레이저 홀 드릴링에 의해 p형 젤(22)과 n형 젤(23) 간의 경

계면에 대응하는 위치에 형성될 수 있고, 개방 홀(32-35) 각각도 대응하는 위치에 동일한 방식으로 형성될 수 있다.

[0036] 일 실시예에 따른 채널(20)은 포토리소그래피(photolithography) 및 습식 에칭(wet etching) 공정을 사용하여 유리로된 기판(10)에 패터닝될 수 있다. 예를 들어, Marienfeld사의 1mm 두께 3.hydrolytic 등급 소다 석회 슬라이드(Soda lime slide glasses)가 기판(10)으로 사용될 수 있다. J. T Baker사의 피라냐 용액(piranha solution, H₂SO₄:H₂O = 3:1)으로 기판(10) 표면의 유기 잔류 물을 세척 한 후, 슬라이드 유리를 탈이온(deionized) 수로 행구고 핫 플레이트에서 175 °C에서 10 분동안 건조된다(dehydrated). 기판(10)에 대해서 Clariant 사의 hexamethyl-disilazane(HMDS) 및 AZ4620 포토레지스트(photo-resist, PR)와 함께 동아무역사의 ACE-200에 의한 스핀 코팅이 진행된다. 기판(10)에 대해서 소프트 베이킹 공정(soft baking process)이 110 °C 및 100 °C 각각에서 1 분 30 초 진행된다. 채널 패터닝 마스크(channel patterned mask)와 기판(10)을 정렬 한 후, PR 패터닝 기판에 Midas사의 MDE-4000으로 20초 동안 21 mWcm⁻²의 강도로 자외선에 노출시킨 후, Clariant사의 AZ 400 K 현상액(developer)으로 1분 30초 동안 현상한다. PR 패터닝 기판은 하드 베이킹 공정(hard bake process)을 위해 180 °C에서 15 분 동안 핫 플레이트상에서 어닐링 된 다음, J. T Baker사의 6:1 완충 산화물 에칭 용액(buffered oxide etch solution)으로 에칭된다. 이때, 기판 에칭 속도가 0.8 μm /min으로 하여, 기판(10)에 형성되는 채널(20)의 깊이가 50 μm로 균일하도록 할 수 있다. 봉지 층(30)의 홀(31)과 패터닝 된 기판(10)에 형성된 채널(20)의 중심을 정렬 한 후, 캡슐화(encapsulation)를 위해 200g 무게로 기판(10) 및 봉지 층(30)을 18시간 동안 595 °C로 열 접합할 수 있다.

[0037] 기판(10)과 봉지 층(30) 사이의 고분자전해질 젤이 두 구성 사이에서 안정적으로 접촉되기 위해서, 아세트산(acetic acid) 및 메탄올(methanol)과 혼합된 3-(trimethoxysilyl)propyl methacrylate(TMSMA), 용액 혼합비 TMSMA:아세트산:메탄올 = 1:2:2,로 1 시간 동안 처리한후 메탄올로 세척한다. pDADMAC 젤의 전구체 용액으로 채널(20)을 채운 후, 채널(20)을 포토 마스크에 정렬시킨 후 Midas사의 MDE-4000으로 20초 동안 21 mWcm⁻²의 강도로 자외선에 노출시킨다. 이어서, pSPA 젤의 전구체 용액으로 채널(20)을 채운 후, 채널(20)을 포토 마스크에 정렬시킨 후 Midas사의 MDE-4000으로 3초 동안 21 mWcm⁻²의 강도로 자외선에 노출시킨다. 예를 들어, pSPA 젤의 전구체는 1M 3-sulfopropyl acrylate potassium salt(SPA), 4 wt% N,N'-methylenebisacrylamide (crosslinker, MBAAm), 및 0.2 wt % Lithium phenyl-2,4,6-trimethylbenzoylphosphinate (LAP)으로 구현되고, pDADMAC의 전구체는 3.96 M diallyl-dimethylammonium chloride(DADMAC), 1wt% MBAAm, 및 0.2 wt% LAP로 구현되었다. 이와 같은 광 중합 방식에 의해 p형 젤(22) 및 n형 젤(23)이 형성될 수 있으나, 발명이 이에 한정되는 것은 아니고 설계에 따라 제작 과정이 변경될 수 있다. 광 중합 공정 이후, 이온 다이오드(1)를 KCl 용액으로 여러 번 세척하고, 이온 다이오드(1)의 특성화 전에 1 일 이상 동안 0.1M KCl 용액에 보관한다.

[0038] 이하, 도 5 내지 도 7을 참조하여, 이온 다이오드(1)가 이온 입력에 따라 동작하는 과정을 설명한다.

[0039] 도 5는 이온 입력 주입 전에 일 실시예에 따른 이온 다이오드의 역 바이어스 상태를 나타낸 도면이다.

[0040] 도 6 및 도 7은 일 실시예에 따른 이온 다이오드에서 이온 입력에 따른 이온 다이오드에서의 이온 이동을 나타낸 도면이다.

[0041] 도 5 내지 도 7에 도시된 영역은 이온 다이오드의 동작을 설명하기 위해 채널(20)에서 저장소(21), p형 젤(22), 및 n형 젤(23) 간의 경계 주위가 도시되어 있다.

[0042] 도 5에 도시된 바와 같이, p형 젤(22)에 인접한 저장소(21) 측에 음의 전압이 인가되고, n형 젤(23)에 인접한 저장소(21) 측에 양의 전압이 인가되어 역 바이어스 상태가 된다. 역 바이어스 상태에서 p형 젤(22)와 n형 젤(23)의 경계를 기준으로 공핍 영역이 형성된다. 설명의 편의를 위해서 p형 젤(22)에 인접한 저장소(21)를 '21p'로 표시하고, n형 젤(23)에 인접한 저장소(21)를 '21n'으로 표시한다. 역 바이어스 상태에서 충전 반발력(charge repulsion)에 저장소(21p)의 경계 영역(PU1)에 음이온이 증가하고, 저장소(21n)의 경계 영역(PU2)에 양이온이 증가한다.

[0043] 다음으로, 도 6에 도시된 바와 같이 이온 주입 장치(2)에 의해 이온 입력이 홀(31)을 통해 채널(20)에 주입된다. 그러면, 영역(25)에서 국부적인 전하 중화(local charge neutralization)가 발생한다.

[0044] 주입 후, 도 7에 도시된 바와 같이 전자적인 항복(breakdown) 전류와 유사한 피크 이온 전류가 흐른다. 수생 이온 시스템(aquatic ionic system)에서는 추가적인 이온이 보충될 수 있다. 예를 들어, 저장소(21p)에 쌓여있던 음이온은 p형 젤(22) 및 n형 젤(23)을 통해 저장소(21n)로 흐르고, 저장소(21n)에 쌓여있던 양이온은 n형 젤

(23) 및 p형 젤(22)을 통해 저장소(21p)로 흐른다. 이와 같은 음이온 및 양이온의 흐름에 의해 피크 이온 전류가 발생한다. 이 때의 피크 이온 전류는 주입된 이온 입력보다 더 많은 수의 이온에 의해 발생하는 이온 전류로, 이온 입력이 증폭되어 출력인 피크 이온 전류가 발생한다. 저장소(21p, 21n)로부터 항복 현상에 의한 추가적인 이온 흐름이 발생하여 증폭 현상이 발생한다.

- [0045] 이하, 구체적인 실험예를 통해 일 실시예에 따른 이온 다이오드의 동작 원리를 설명한다. 실험예에서 피크 이온 전류를 측정하기 위해서 개방 홀(32) 및 개방 홀(35) 중 적어도 하나 및 개방 홀(33) 및 개방 홀(34) 중 적어도 하나에 Ag/AgCl 전극이 위치할 수 있다.
- [0046] 먼저, 홀을 통해 이온 주입이 가능한지에 대해서 설명한다.
- [0047] 도 8은 형광 양이온 용액을 주입했을 때 이온 다이오드의 상태를 나타낸 도면이다.
- [0048] 도 9는 형광 음이온 용액을 주입했을 때 이온 다이오드의 상태를 나타낸 도면이다.
- [0049] 도 8의 좌측 그림에 도시된 바와 같이, 형광으로 양전하를 띄는 Rhodamine 6G 용액(예를 들어, 10 μM Rhodamine 6G)을 주입한다. 그러면, 도 8의 우측 그림에 도시된 바와 같이, 대부분의 녹색 형광이 p형 젤(22) 즉, pSPA 영역에서 관찰된다. 도 8의 우측 그림에서는 명암만 표시되어, 녹색 형광이 주위에 비해 밝게 표시되어 있다.
- [0050] 도 9의 좌측 그림에 도시된 바와 같이, 형광으로 음전하를 띄는 Fluorescein sodium salt 용액(예를 들어, 10 μM Fluorescein sodium salt)을 주입한다. 그러면, 도 9의 우측 그림에 도시된 바와 같이, 대부분의 적색 형광이 n형 젤(23) 즉, pDADMAC 영역에서 관찰된다. 도 9의 우측 그림에서는 명암만 표시되어, 적색 형광이 주위에 비해 밝게 표시되어 있다.
- [0051] 이와 같이, 양전하를 띄는 Rhodamine 6G 용액과 음전하를 띄는 Fluorescein sodium salt 수용액을 각각 주입 후 형광 현미경을 통해 소자 내 형광 이온분포를 관측한 결과 양이온과 음이온 각각이 p형 젤(22) 또는 n형 젤(23)에 주입됨을 확인할 수 있다.
- [0052] 이어서, 이온 신호주입에 따른 실시간 이온전류 변화를 관측한다.
- [0053] 도 10A는 이온 입력주입 시 형성된 이온방울을 나타낸 도면이다.
- [0054] 도 10A에 도시된 바와같이, 피코인젝터(picoinjector)(4)를 통해 주입되는 이온방울의 직경 측정을 통해 이온 입력의 부피를 계산할 수 있다($V=4\pi r^3/3$, r은 방울의 반경).
- [0055] 도 10B는 피코인젝터를 통해 이온 입력이 홀에 주입되는 것을 나타낸 도면이다.
- [0056] 피코인젝터(4)의 분사 압력 및 시간 조절을 통해 이온 주입량을 정확히 통제할 수 있다.
- [0057] 도 10C는 KCl 이온 입력주입 시 이온 전류에 대한 전류-시간 그래프이다.
- [0058] 도 10B에 도시된 바와같이, 이온 다이오드(1)에 충분한 공핍상태가 갖추어진 상태에서 p형 젤(22)과 n형 젤(23)의 접합부위 지역에 이온입력이 주입되었을 때, 도 10C에 도시된 바와 같이 이온 피크 전류가 발생함을 알 수 있다.
- [0059] 또한, 도 10C에 도시된 전류-시간 그래프의 적분을 통한 전하량 계산결과 주입된 이온 입력의 전하량(216nC) 보다 많은 전하량($307\pm 50\text{nC}$)이 검출된다. 즉, 주입된 이온 입력의 감지뿐만 아니라 추가적인 증폭현상에 의해 이온 입력을 증폭하여 출력을 생성할 수 있다.
- [0060] 이하, 이온 전류파형에서, 이온 다이오드에 흐르는 전류를 피크 이온 전류라 하고, 피크 이온 전류는 이온 입력 주입 후 급격하게 증가하는 파형을 가진다.
- [0061] 이온 주입 후에 공핍 영역에서 국부적인 전하 중성화가 발생하고, 이에 의해 저장소로부터 항복 전류와 같은 이온 전류가 발생하는 점을 증명하기 위해서 아래 실험예를 소개한다.
- [0062] 특정 이온과의 반응에 의해 형광을 방출하는 선택적 형광 염료를 이온 입력으로 사용한다.
- [0063] 도 11A는 이온 주입 후 Cu^{2+} 이온 플럭스에 의해 유도되는 이온 전류를 도식적으로 나타낸 도면이고, 도 11B는 실험을 통한 형광 이미지이다.

- [0064] Rhodamine B hydrazide(RBH)를 포함하는 KCl이 pSPA 쪽 저장소(21p)에 사용되고, CuSO₄(0.1 M)를 pDADMAC 쪽의 저장소(21n)에 채우고, 역바이어스 전압을 가한다. 이때, 50 μM RBH가 0.1 M HEPES 완충액 (pH7.0, 80 %) 및 아세토니트릴(acetonitrile)(20 %)과 함께 0.1 M KCl 저장소(21)에 사용할 수 있다.
- [0065] 이 상태에서는, 고분자전해질 젤의 고정 전하와 저장소(21n, 21p)의 역 이동 이온(counter mobile ions) 사이의 전하 반발로 인해 형광이 거의 검출되지 않는다.
- [0066] 이온 입력으로 KCl이 주입되면, 도 11A에 도시된 바와 같이, pDADMAC 쪽의 저장소(21n)로부터의 Cu²⁺ 양이온 플럭스(cationic flux)가 고분자전해질 젤을 통해 저장소(21p)에 도달하고, Rhodamine B hydrazide(RBH)와 Cu²⁺ 이온의 선택적 반응이 발생한다. 그러면, Rhodamine B hydrazide(RBH)가 Rhodamine B(RB)가 되고, 도 11B에 도시된 바와 같이, 적색 형광 빛이 저장소(21p)에서 관측될 수 있다. 도 11B에서는 명암만 도시되어 있어 주변보다 밝은 색 영역이 적색 형광 빛이 관측된 영역이다.
- [0067] 도 12A는 이온 주입 후 OH⁻ 이온 플럭스에 의해 유도되는 이온 전류를 도식적으로 나타낸 도면이고, 도 12B는 실험을 통한 형광 이미지이다.
- [0068] pH sensitive carboxylfluorescein(cFlu)(예를 들어, 50 μM cFlu) 염료를 포함하는 KCl이 pDADMAC 쪽의 저장소(21n)에 사용되고, NaOH(0.1 M)가 pSPA 쪽 저장소(21p)에 사용되며, 역바이어스 전압을 가한다. 이 상태에서는, 고분자전해질 젤의 고정 전하와 저장소(21n, 21p)의 역 이동 이온(counter mobile ions) 사이의 전하 반발로 인해 형광이 거의 검출되지 않는다.
- [0069] 이 상태에서 이온 입력으로 KCl이 주입되면, 도 12A에 도시된 바와 같이, pSPA 쪽 저장소(21p)로부터의 OH⁻ 음이온 플럭스(anionic flux)가 고분자전해질 젤을 통해 저장소(21n)에 도달하여, 저장소(21n)에 도달한 OH⁻ 은 cFlu와 선택적 반응하고, 중성의(neutral)의 cFlu는 이음이온(Dianion)의 cFlu로 변화된다. 그러면, 도 12B에 도시된 바와 같이, 시안(cyan) 형광 빛이 저장소(21n)에서 관측될 수 있다. 도 12B에서는 명암만 도시되어 있어 주변보다 밝은색 영역이 시안(cyan) 형광 빛이 관측된 영역이다.
- [0070] 도 11B 및 도 12B의 형광 빛은 형광 현미경 Nikon사의 TE200U으로 측정되었다.
- [0071] 위 실험을 통해서, 일 실시예에 따른 p형 젤(22)과 n형 젤(23)의 집합으로 형성된 이온 다이오드에서 이온 주입에 의한 항복 현상에 의해 추가적인 항복이온 전류가 발생하여, 결과적으로 피크 이온전류가 발생함을 알 수 있다.
- [0072] 위와 같은 피크 이온 전류의 발생에 영향을 미치는 인자는 적어도 저장소의 농도, 역 바이어스 전압의 크기, 이온 입력 및 저장소 이온 종류, 및 채널 폭을 포함할 수 있다.
- [0073] 먼저, 저장소의 농도와 피크 이온 전류 간의 관계를 설명한다.
- [0074] 도 13A는 저장소 농도 증가에 따른 피크 이온 전류를 나타낸 그래프이다.
- [0075] 도 13B는 저장소 농도 증가에 따른 검출 전하량을 나타낸 그래프이다.
- [0076] 도 13B에서 점선은 주입된 이온 입력의 이온 전하량을 나타내고 있다.
- [0077] 도 13A에 도시된 바와같이, 이온 입력을 KCl 0.1M 113pL(Q는 대략 2.16 uC)로 고정한 상태에서, 저장소(21)의 KCl 농도를 1mM, 0.01M, 0.1M 순으로 높일 때, 피크이온 전류의 피크레벨이 점점 증가함을 알 수 있다. 또한, 검출된 이온 신호의 전하량 역시, 1.93uC, 3.75uC, 10.81uC 순으로 증가함을 알 수 있다. 이때, 전하량은 이온 입력주입 후 1분 동안전류-시간 곡선에서의 피크이온 전류의 적분을 통해 산출된 값이다. 저장소(21)의 KCl 농도가 1mM의 경우, 피크 이온 전류로부터 검출된 전하량은 1.93 μC로 측정되었는데, 이는 주입된 이온 입력과 유사하다. 그러나 저장소(21)의 KCl 농도가 0.01M과 0.1M으로 증가함에 따라피크 이온 전류가 증가하고, 검출된 전하량도 각각 3.75 μC와 10.81 μC로 증가함을 알 수 있다.
- [0078] 이와 같이, 이온입력 주입 시 저장소에 존재하는 이온의 농도가 증폭현상에 주요 요인 중 하나임을 알 수 있고, 동시에 저장소 농도의 조절을 통해 이온 다이오드의 증폭비를 제어할 수 있음을 알 수 있다.
- [0079] 다음으로, 역 바이어스 전압과 증폭 현상 간의 관계를 설명한다.
- [0080] 도 14A는 역 바이어스 전압 증가에 따른 피크이온 전류를 나타낸 그래프이다.

- [0081] 도 14B는 역 바이어스 전압 증가에 따른 검출 전하량을 나타낸 그래프이다.
- [0082] 도 14B에서 점선은주입된 이온 입력의 이온 전하량을 나타내고, 저장소(21)는 KCl 0.1M이다.
- [0083] 도 14A에 도시된 바와같이, 이온 다이오드(1)에 인가되는 역 바이어스 전압이 -0.5 V, -1V, -2 V 순으로 증가할 수록, 피크 이온 전류 및 그 피크 레벨이 증가하고, 그 파형도 날카로워지는 것을 알 수 있다. 이온 다이오드 (1) 내에 걸리는 역 바이어스 전압이 때 저장소(21)의 이온 이동에 작용하는 필드가 증가하여 증폭 효과가 증가 한다.
- [0084] 도 14B에 도시된 바와 같이, 역 바이어스 전압을 -0.5 V, -1V, -2 V 순으로 증가시킴에 따른 증폭 검출된 전하 량 값도 함께 증가한다.
- [0085] 이어서, 이온 입력 및 저장소 각각의 종류와 증폭 현상간의 관계를 설명한다.
- [0086] 표 1은 양이온 별 유효 반경(Bare) 및 수화된 양이온 별 유효 반경(Hydrated), 그리고 음이온 Cl⁻의 유효 반경 및 수화된 Cl⁻의 유효 반경을 나타낸 표이다.

[표 1]

Ion	Bare (nm)	Hydrated (nm)
Li ⁺	0.094	0.382
Na ⁺	0.117	0.358
K ⁺	0.149	0.331
Cl ⁻	0.164	0.332

- [0088]
- [0089] 표 1에서 알 수 있듯이 양이온이 수화되어 물분자가 붙게되면, 양이온 K⁺, Na⁺, Li⁺ 순으로 반경이 증가한다.
- [0090] 도 15A는 p형 젤 및 n형 젤의 고분자전해질 젤 내에서의 양이온별 이온 전도도를 나타낸 그래프이다.
- [0091] 도 15A에 도시된 바와 같이, p형 젤(22)의 고분자전해질 젤 내에서 양이온의 반경 차이에 따른 전도도 차이가 발생한다. 반경이 작을수록 전도도가 우수함을 알 수 있다(KCl>NaCl>LiCl).
- [0092] 도 15B는 저장소 및 이온 입력 각각의 종류에 따른 피크 이온 전류의 파형을 나타낸 도면이다.
- [0093] 세로 방향으로는 저장소의 이온 종류를 다르게 하고, 가로 방향으로는 이온 입력의 종류를 다르게 한다.
- [0094] 도 15C는 저장소 및 이온 입력 각각의 종류에 따른 검출 전하량을 나타낸 도면이다.
- [0095] 도 15B 및 도 15C에 도시된 바와 같이, 저장소의 이온 종류가 KCl일 때 다른 이온일 때와 비교하여, 피크 이온 전류와 그 피크 레벨, 및 검출 전하량이 더 큰 것을 알 수 있다. 구체적으로, 이온 입력 KCl, NaCl, 및 LiCl 각 각에 대해서, 저장소의 이온이 KCl일 때, NaCl 및 LiCl일 때와 비교해, 피크 이온 전류와 그 피크 레벨, 및 검 출 전하량이 더 크다.
- [0096] 또한, 이온 입력이 KCl일 때 다른 이온 입력일 때와 비교하여, 피크 이온 전류와 그 피크 레벨이 가장 큰 것을 알 수 있다. 구체적으로, 저장소의 이온 종류가 KCl, NaCl, 및LiCl 각각에 대해서, 이온 입력이 KCl일 때, NaCl 및 LiCl일 때와 비교해, 피크 이온 전류와 그 피크 레벨, 및 검출 전하량이 더 크다.
- [0097] 이와 같이, 저장소를 구성하는 양이온을 변화시켰을 경우 KCl 기반 다이오드에서 증폭효과가 가장높고, NaCl, LiCl 순으로 점차 감소한다. 또한 이온 입력의 경우, KCl, NaCl, LiCl 순으로 검출 전하량 값이 점차 감소한다. 양이온이 수화가 되었을 때 물분자가 붙게되면서 K⁺, Na⁺, Li⁺ 순으로 유효반경이 커지게 되어, p형 젤 내에서 양이온 반경 차이에 따른전도도 변화가 발생하고, 추가 피크 이온 전류가 억제될 수 있다.
- [0098] 마지막으로, p형 젤 및 n형 젤의 고분자전해질 젤의 너비와 증폭 현상 간의 관계를 설명한다. 도 16A에 도시된 바와 같이, p형 젤 및 n형 젤의 너비는 p형 젤 및 n형 젤이 접한 경계면으로부터 각 젤이 형성되어 있는 위치까 지의 거리를 의미한다. 이하, 다이오드를 구성하는 p형 젤 및 n형 젤 각각의 고분자전해질 젤의 너비를 다이오 드 폭이라 한다.
- [0099] 도 16A은 다이오드 폭 변화 및 역 바이어스 전압 변화에 따른 피크 이온 전류를 나타낸 파형도이고, 도 16B는 다이오드 폭 변화 및 역 바이어스 전압 변화에 따른 증폭비를 나타낸 그래프이다.
- [0100] 저장소 및 이온 입력은 0.1M KCl인 동일한 조건에서, 다이오드 폭이 150 μm내지 850 μm로 변경되었고, 역 바이

어스 전압은 -0.5V 내지 -2V로 변경되었다. 각각의 역바이어스 전압 조건에서, 피크 이온 전류는 다이오드 폭이 짧을수록 증가한다. 즉, 다이오드 폭이 짧을수록 증폭 효과가 증가한다. 다이오드 폭이 850 μm 까지 증가하면, 증폭 효과가 감소하여, 주입된 이온 입력에 가깝다.

- [0101] 다이오드의 폭과 함께, 역 바이어스 전압이 -0.5V 내지 -2V로 증가함에 따라 피크 이온 전류의 진폭이 증가하고, 피크 이온 전류가 더 날카로워진다. 이온 입력 KC1의 전하량이 다이오드 폭 150 μm 및 역바이어스 전압 -2V 조건에서, 전하량이 18.9 배즉, 증폭비가 18.9배까지 향상될 수 있다.
- [0102] 증폭비를 고려하면, 다른 인자와 비교해 다이오드 폭이 증폭 현상에 가장 큰 영향을 미치는 인자일 수 있다. 이는 다이오드 폭이 짧아질수록 저장소 이온이 다이오드 내부를 통과해서 이동할 때의 필드 증가 및 거리 단축이 동시에 유발되기 때문이다.
- [0103] 다이오드 폭은 증폭 효과뿐만 아니라 동작 속도에도 영향을 미친다. 즉, 다이오드 폭이 짧을수록 동작 속도도 빨라진다. 동작 속도는 이온 입력에 의해 증폭 현상이 발생하는 빠르기 정도를 의미한다. 동작 속도가 빠를수록, 피크 이온 전류가 피크에 도달한 후 이온 주입 전 전류에 대해서 소정비까지 도달하는데 소요되는 시간이 감소한다.
- [0104] 도 17A 피크 이온 전류의 파형도이고, 도 17B는 다이오드 폭 및 역 바이어스 전압에 따른 동작 속도 상수를 나타낸 그래프이다.
- [0105] 동작속도에 대한 정량화를 위해 이온 입력 시점(T1)부터 이온 입력 주입 전전류의 90%까지 회복하는 시점(T2)까지의 시간을 검출하고, 이 시간은 동작 속도 상수라 한다.
- [0106] 도 17B에 도시된 바와 같이, 다이오드 폭이 감소할수록 동작 속도 상수가 감소하고, 역 바이어스 전압이 증가할수록 동작 속도 상수가 감소하는 것을 알 수 있다. 구체적으로, 다이오드 폭이 150 μm 이고, 역 바이어스 전압이 -2V일 때, 동작 속도 상수가 6초까지 개선될 수 있다.
- [0107] 본 개시에서, 일 실시예 및 일 실시예에 따른 이온 다이오드에 대한 설명을 위한 다양한 실험예에서 사용된 모든 화학 시약(chemical reagents)은 추가 정제 없이 사용되었다. 예를 들어, 3-Sulfopropyl acrylate potassium salt (SPA), diallyldimethylammonium chloride (DADMAC), N,N'-methylenebisacrylamide (crosslinker, MBAAm), 3-(trimethoxysilyl)propyl methacrylate (TMSMA), methanol, acetic acid, fluorescein sodium salt, rhodamine 6G, rhodamine B hydrazide (RBH), HEPES, acetonitrile, carboxyfluorescein (cFlu) 은 SIGMA Aldrich로부터 구입하였고, Lithium phenyl-2,4,6-trimethylbenzoylphosphinate (LAP)은 도쿄 화학공업으로부터 각각 구입되었다.
- [0108] 생물학적 영역의 신호 전달 시스템은 주로 이온 수송을 기반으로 하고 있다. 이 때문에 생물학적 신호를 획득하기 위해서 종래에는 전자와 이온 전하 사이의 용량성 결합을 이용하거나 접합된 전기 활성 고분자를 이용하여, 마이크로 전극을 통한 생물학적 신호를 획득하였다. 그러나 전기 장치와 생물학적 영역 사이의 신호 캐리어의 근본적인 불일치는 직접적인 통신이 어려워, 인간과 기계 사이의 인터페이스에서 높은 임피던스를 유발한다.
- [0109] 종래 이온 디바이스의 경우, 생물학적 영역에서 전달되는 이온 신호를 감지하기 위해서 금속 또는 Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS)와 같은 전도성 폴리머로 구성된 전극이 사용되었다. 이러한 간접 감지 시스템은 필연적으로 생물 시스템에서 전달되는 미세한 이온 신호를 감지하는 데 한계가 있다. 또한, 이온 신호의 투과율이 추가적인 전극의 게이트 전압에 의해 제어되기 때문에, 생물학적 매질 내의 세포는 이온 디바이스가 활성화 될 때 원하지 않는 전기적 자극에 노출 될 수 있다. 또한, 효과적인 신호 처리를 위해서는 생물학적 영역에서 획득되는 약한 이온 신호를 증폭할 필요가 있다. 그러나 전자에 비해 상대적으로 스케일이 큰 이온은 이동도가 낮고, 캐리어의 재조합이 이온 시스템에 일어나지 않아 역 바이어스 상태에서 공핍 상태에 도달하는데 매우 긴 시간이 소요된다.
- [0110] 일 실시예에 따른 이온 다이오드는 이온 입력을 증폭할 수 있다. 따라서, 이온 시스템에서 신호 증폭을 통한 미세한 이온 신호가 검출될 수 있다. 이를 통해, 생체 시스템에서의 신호를 감지 및 전송할 수 있는 생체 통합 장치가 제공될 수 있다. 이와 같은 생체 통합 장치는 신경 또는 심장 활동을 모니터링하고 치료를 위해 의료용 약을 전달하는 등의 광범위한 분야에 응용될 수 있다.
- [0111] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 발명의 권리범위가 이에 한정되는 것은 아니며 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 여러 가지로 변형 및 개량한 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속한다.

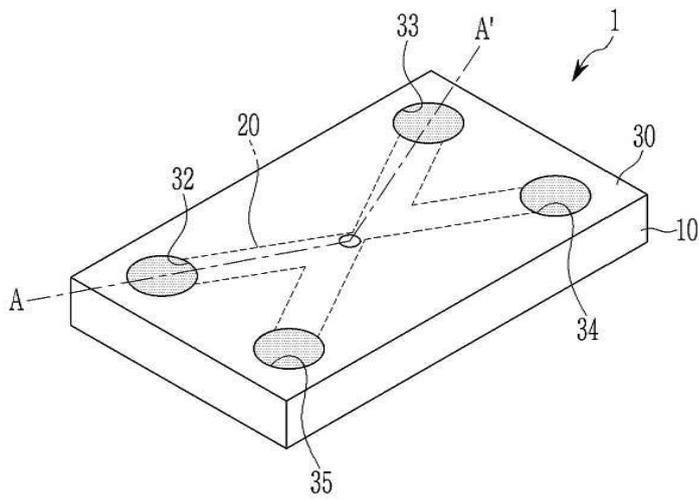
부호의 설명

[0112]

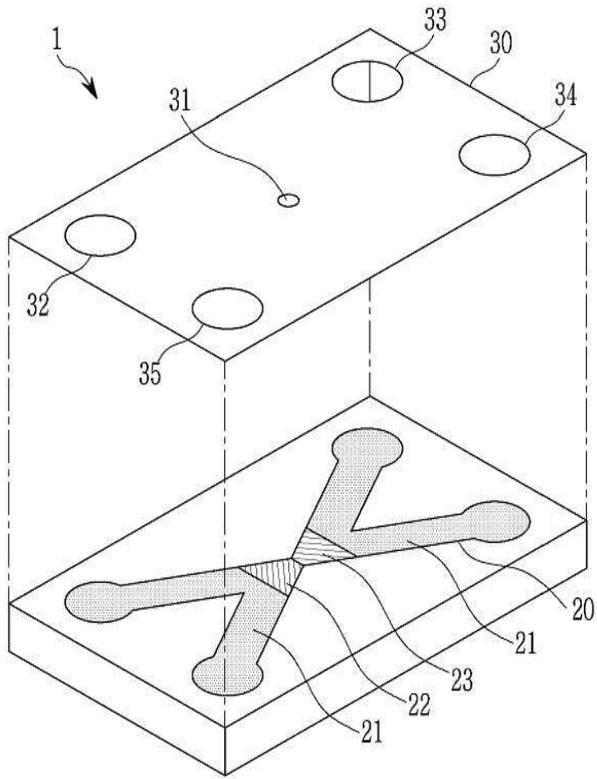
- 10: 기판
- 20: 채널
- 21: 저장소
- 22: p형 질
- 23: n형 질
- 30: 방지 층
- 31: 홀
- 32-35: 개방 홀

도면

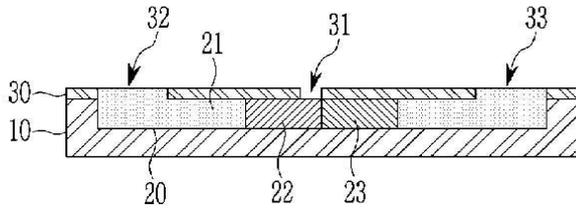
도면1



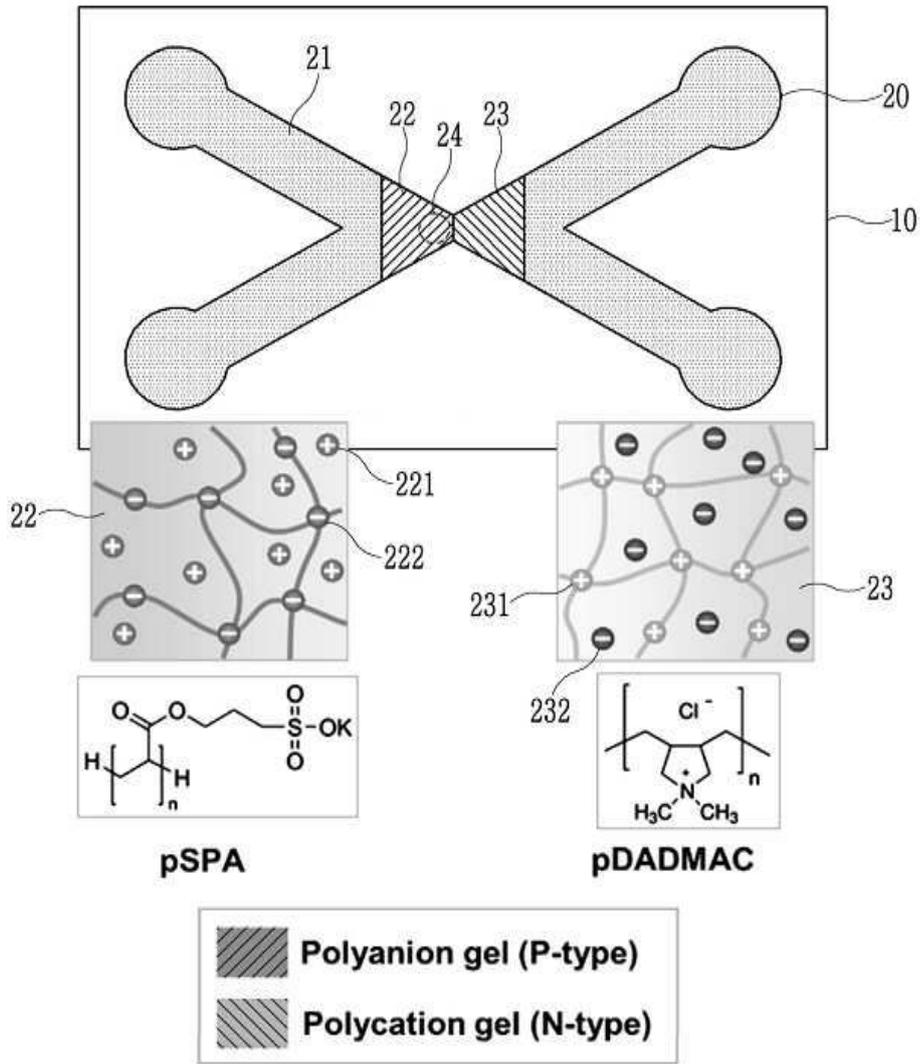
도면2



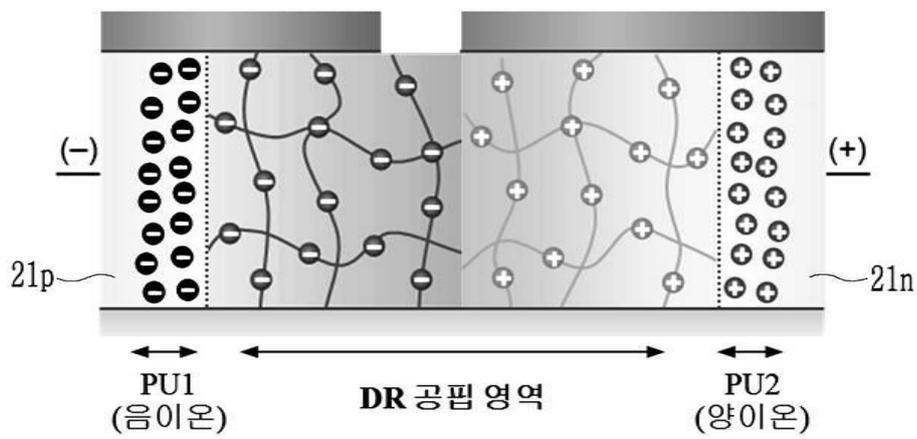
도면3



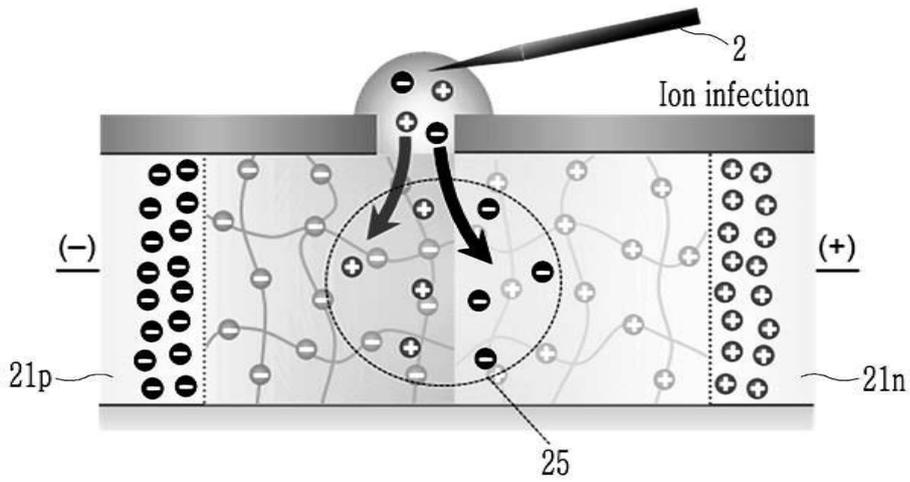
도면4



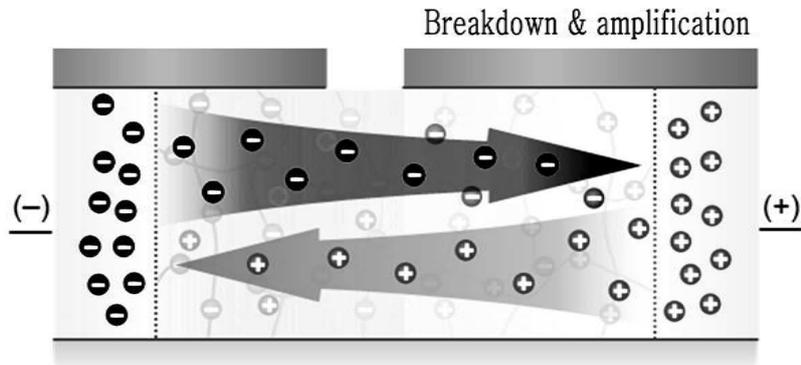
도면5



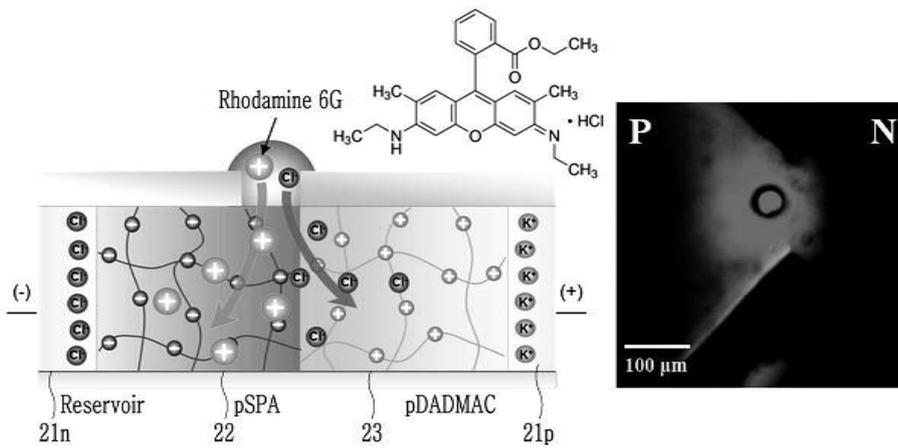
도면6



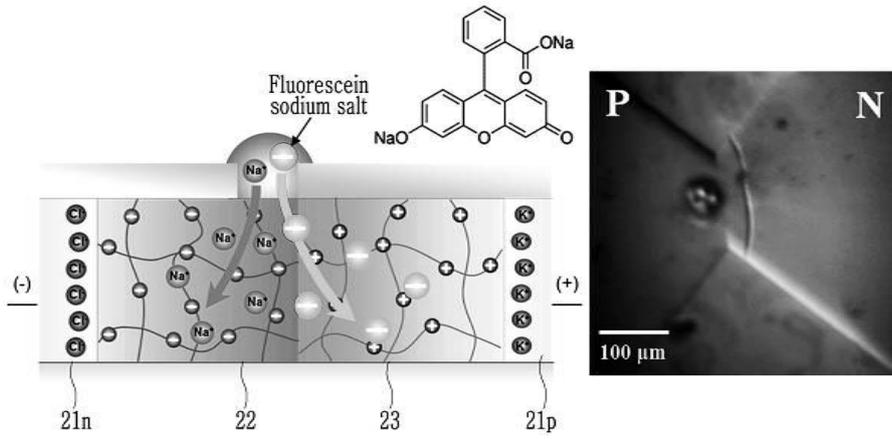
도면7



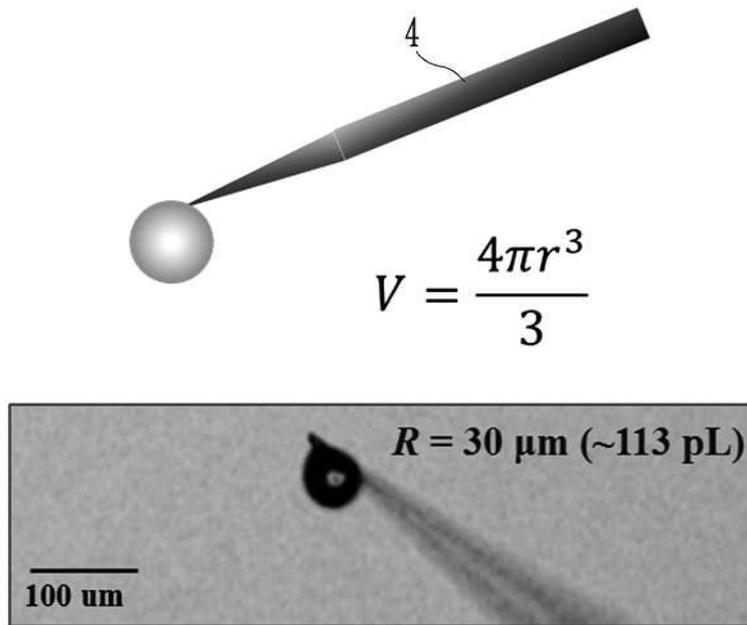
도면8



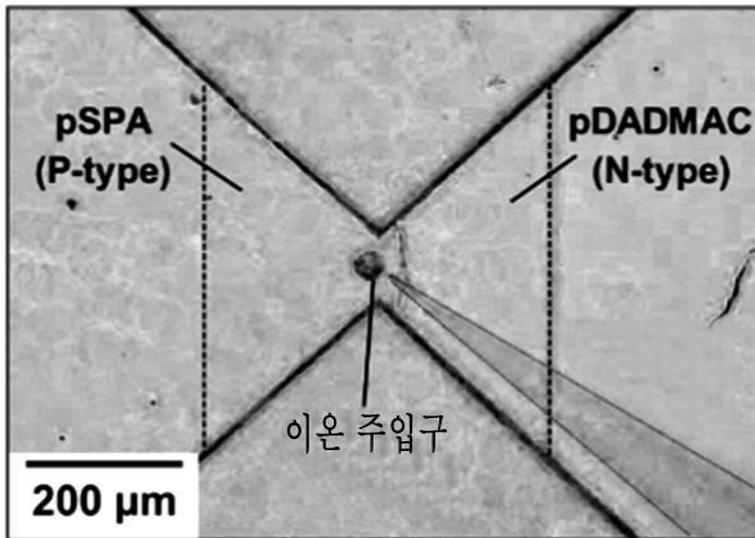
도면9



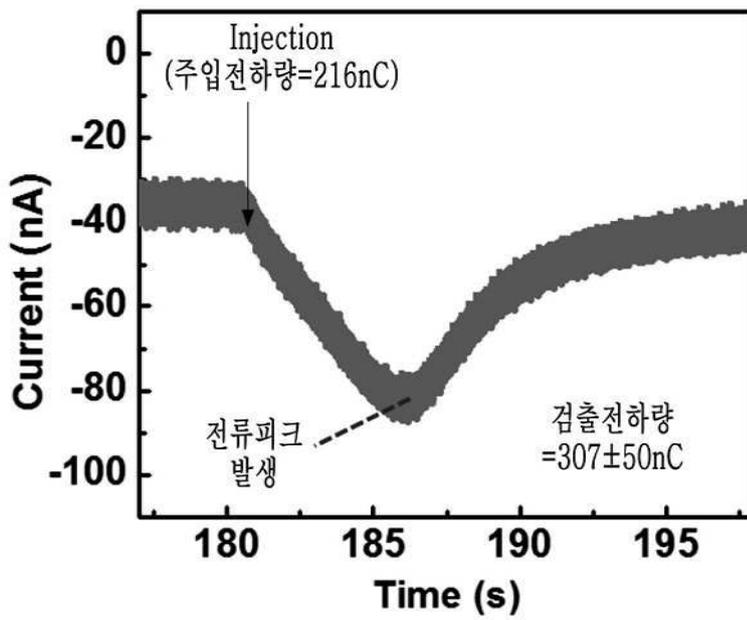
도면10a



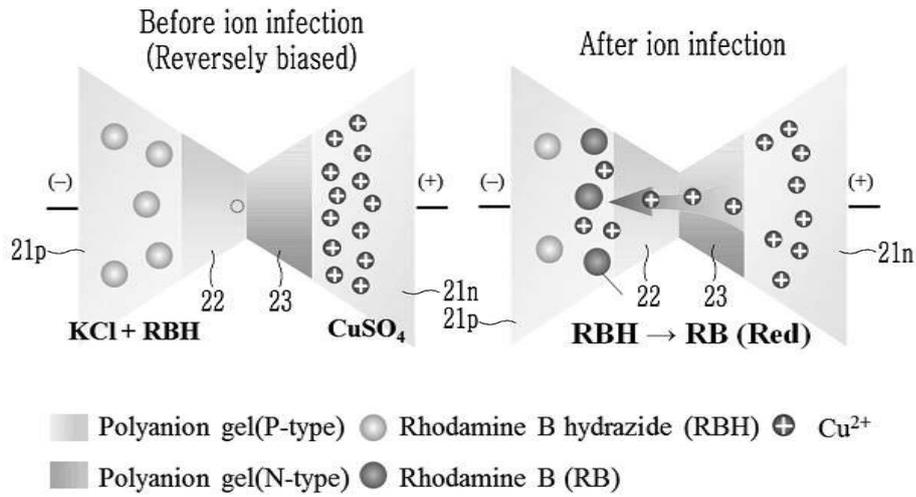
도면10b



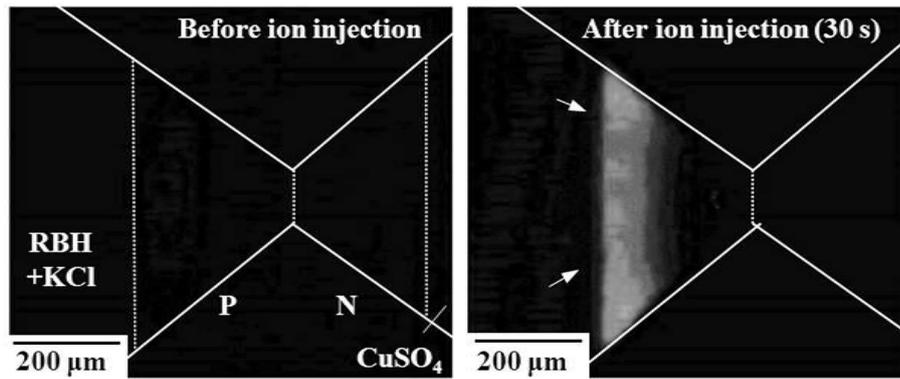
도면10c



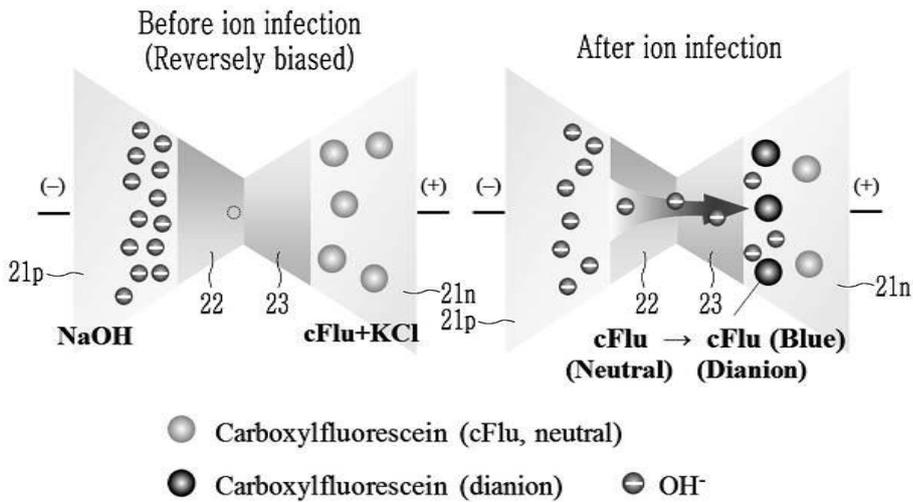
도면11a



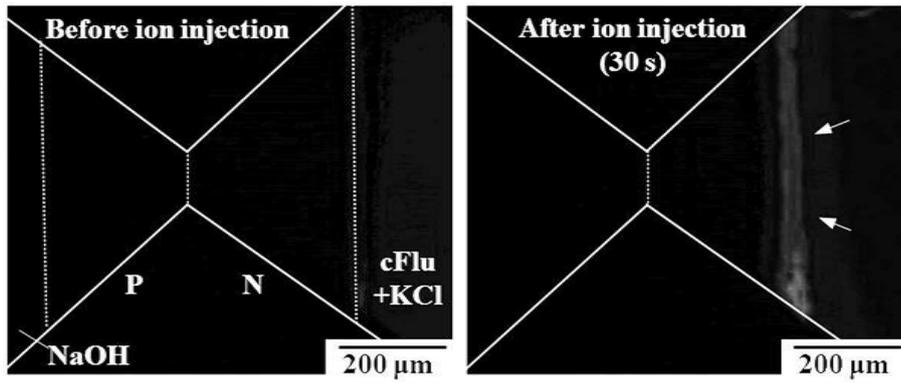
도면11b



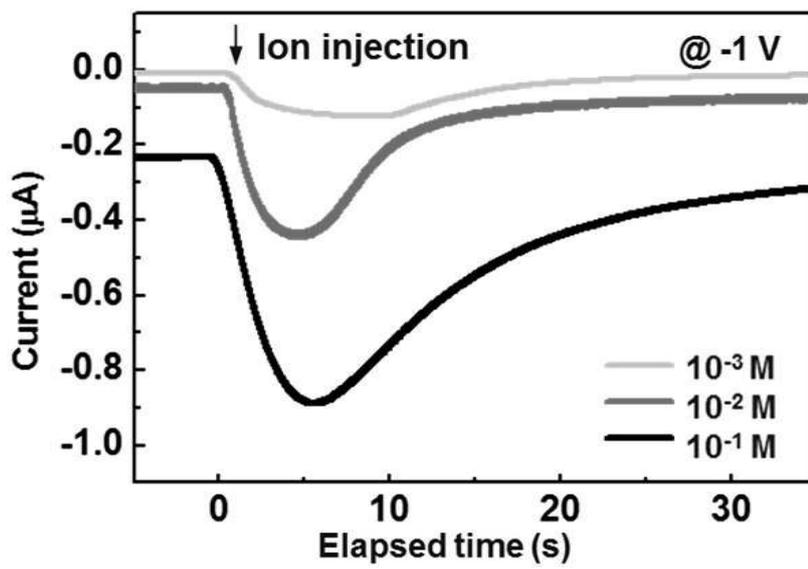
도면12a



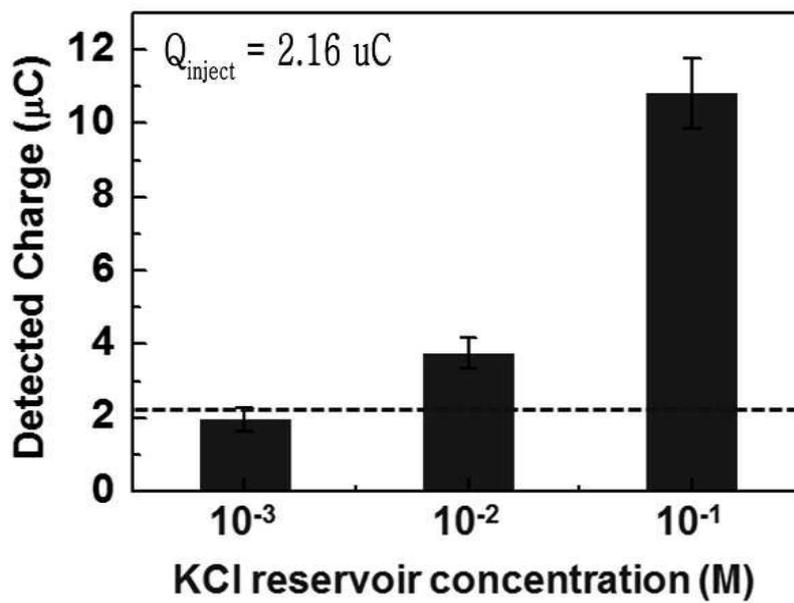
도면12b



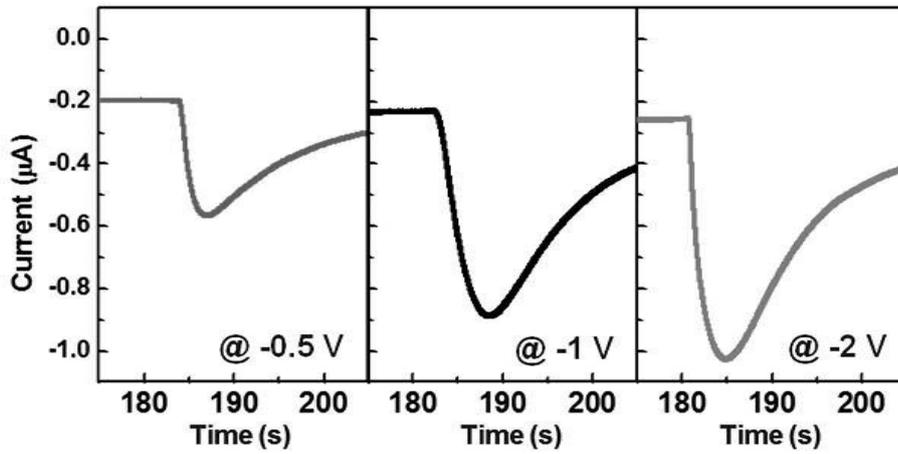
도면13a



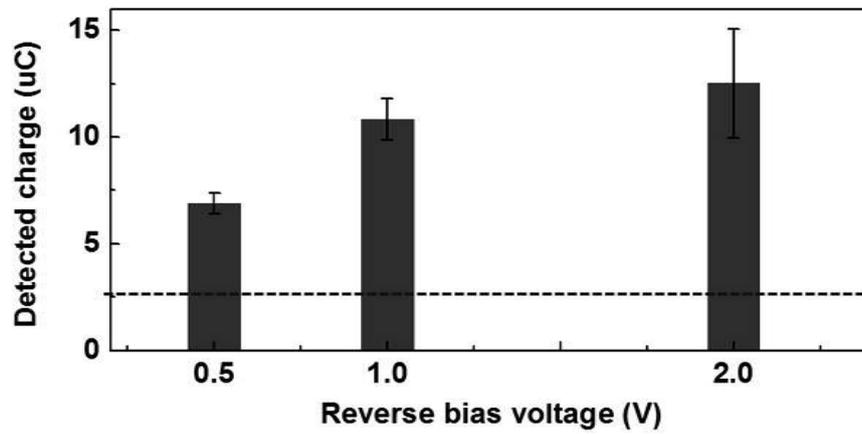
도면13b



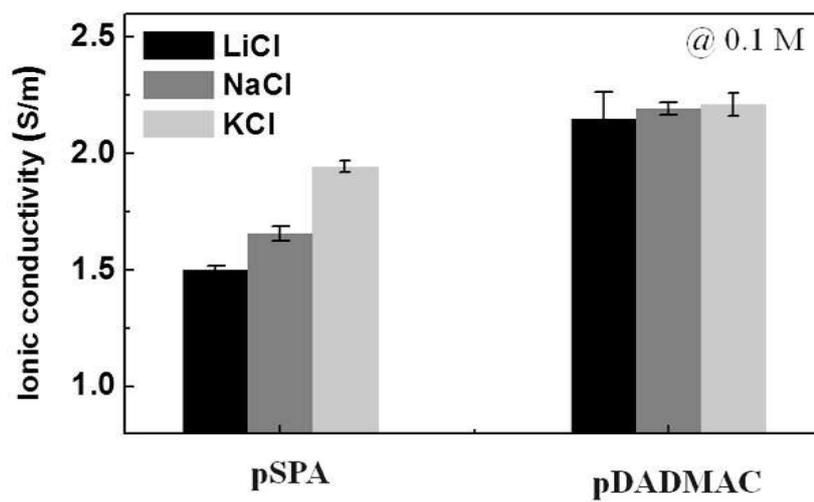
도면14a



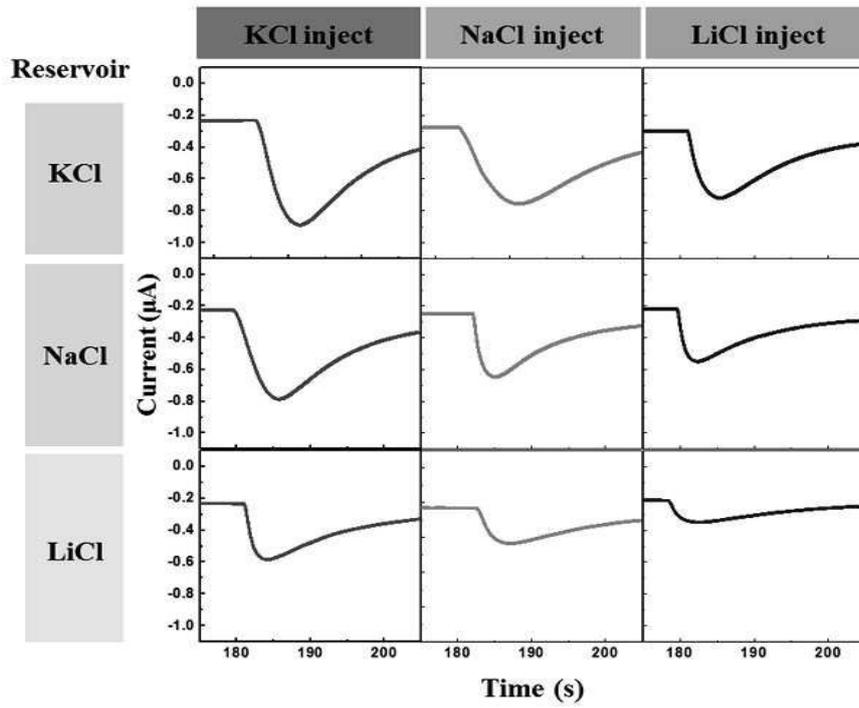
도면14b



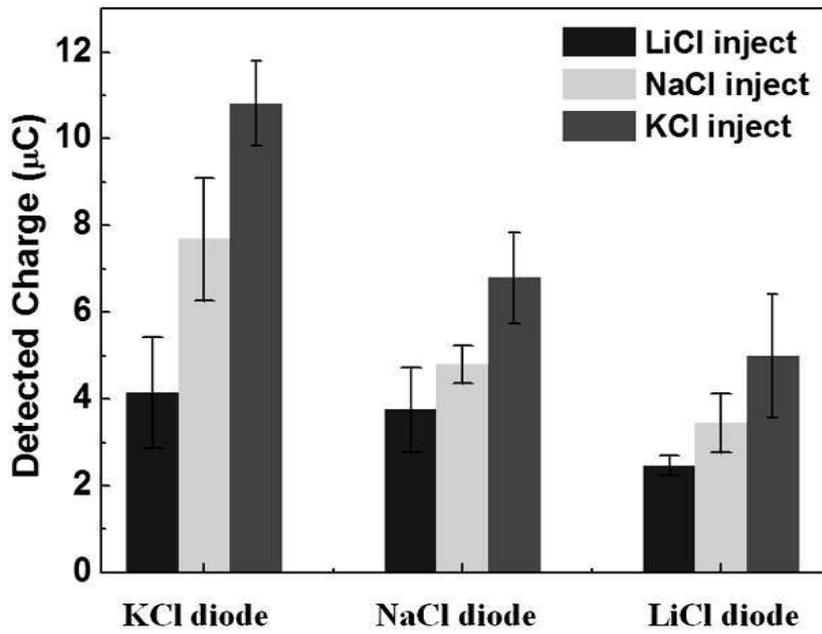
도면15a



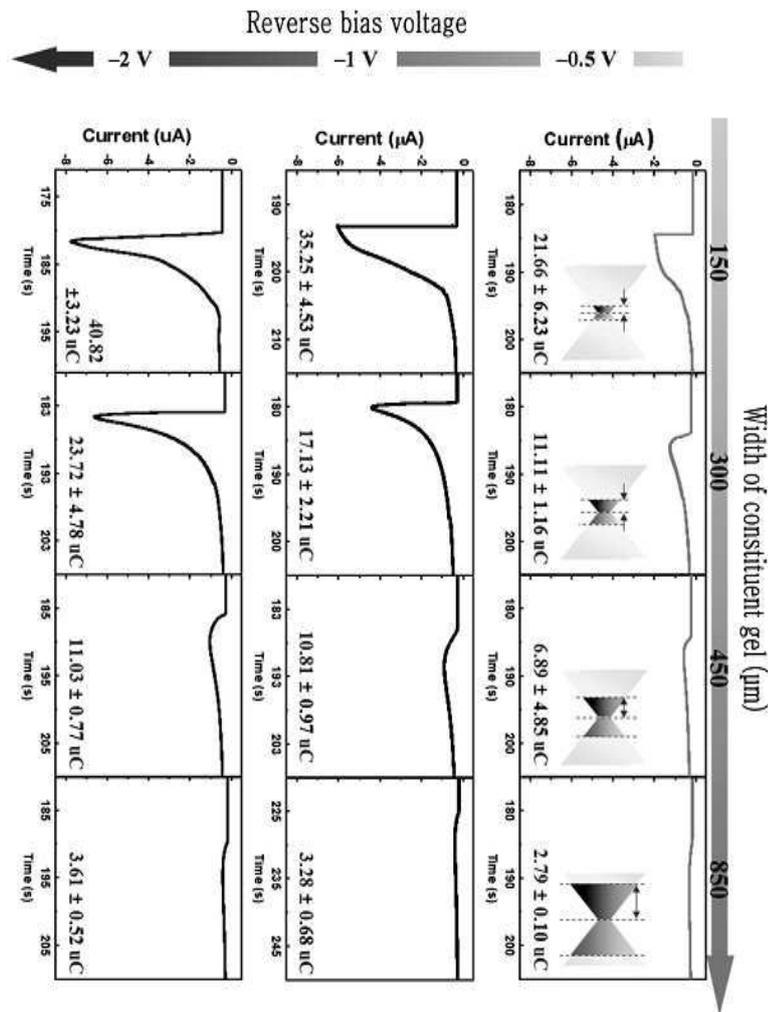
도면15b



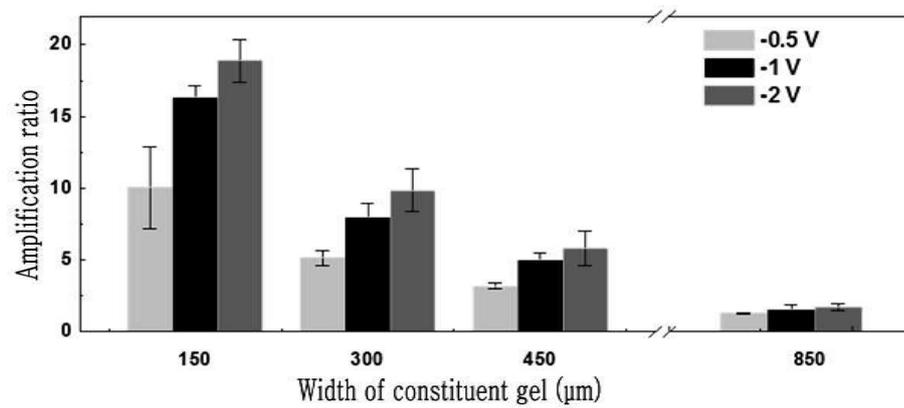
도면15c



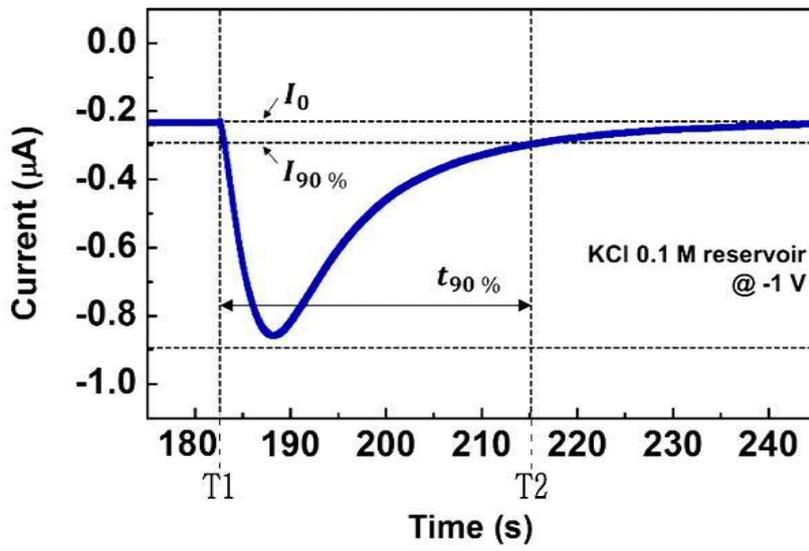
도면16a



도면16b



도면17a



도면17b

