

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호

WO 2023/140480 A1

2023 년 7 월 27 일 (27.07.2023)

WIPO | PCT

- (51) 국제특허분류:
H05K 1/03 (2006.01) C09H 5/00 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2022/018364
- (22) 국제출원일: 2022 년 11 월 18 일 (18.11.2022)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2022-0007309 2022 년 1 월 18 일 (18.01.2022) KR
- (71) 출원인: 고려대학교 산학협력단 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) [KR/KR]; 02841 서울특별시 성북구 안암로 145, Seoul (KR).
- (72) 발명자: 황석원 (HWANG, Suk Won); 06003 서울특별시 강남구 압구정로39길 58, 63-1207, Seoul (KR). 신정웅 (SHIN, Jeong Woong); 05385 서울특별시 강동구 올림픽로60길 4, 302, Seoul (KR).

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

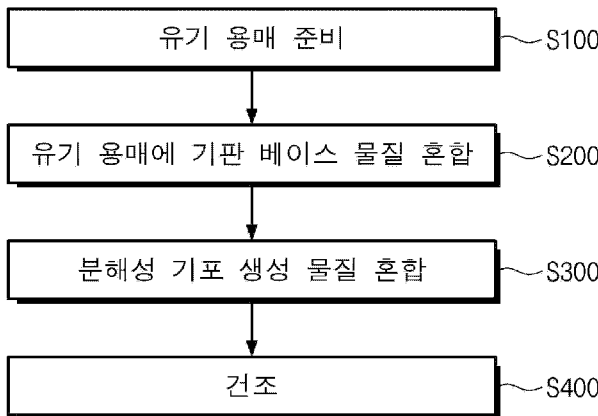
공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

- (74) 대리인: 박상열 (PARK, Sang Youl); 08505 서울특별시 금천구 가산디지털2로 123, 1403, Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: DEGRADABLE SUBSTRATE FOR ELECTRONIC DEVICE, DEGRADABLE SUBSTRATE ASSEMBLY FOR ELECTRONIC DEVICE, AND METHOD FOR MANUFACTURING DEGRADABLE SUBSTRATE FOR ELECTRONIC DEVICE

(54) 발명의 명칭: 전자 소자용 분해성 기판, 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법



S100 ... Prepare organic solvent
S200 ... Mix substrate base material into organic solvent
S300 ... Mix degradable foam-generating material
S400 ... Dry

(57) Abstract: The present invention relates to a degradable substrate for an electronic device, a degradable substrate assembly for an electronic device, and a method for manufacturing a degradable substrate for an electronic device. The degradable substrate for an electronic device according to an embodiment of the present invention comprises: a substrate base material which is a polymer material; and a degradable foam-generating material which is in the form of particles uniformly mixed with the substrate base material and generates foam by reacting with water.

(57) 요약서: 본 발명은 전자 소자용 분해성 기판, 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판은 고분자 물질로 제공되는 기판 베이스 물질; 및 입자 형태로 상기 기판 베이스 물질과 균일하게 혼합된 상태로 제공되고, 물과 반응하여 기포를 생성하는 분해성 기포 생성 물질을 포함한다.



WO 2023/140480 A1

명세서

발명의 명칭: 전자 소자용 분해성 기판, 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 전자 소자용 분해성 기판, 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법에 관한 것으로, 보다 상세히 물과 반응하여 빠르게 분해 가능하고 인체와 환경에 대해 무해한 특성을 지닌 전자 소자용 분해성 기판, 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 기존의 반도체 및 전자 공학에서 소자들이 가지고 있는 중요한 지표 중 하나는 장기간 사용 시에 성능 저하가 발생하지 않고, 안정적으로 동작할 수 있는 신뢰성을 가지고 있는 것이다. 하지만 최근에 제시된 새로운 반도체 기술은 장기간이 아닌 특정하게 제어된 물리적 수명을 가지고 사용자의 목적에 따라 사용할 수 있는 트랜지언트 일렉트로닉스 (transient electronics) 혹은 소멸성 및 분해성 전자소자 기술 (degradable electronics)라고 불리는 기술이 대두되고 있다.
- [3] 이 기술은 물, 열, 빛, 미생물 및 이외의 요인으로 소멸 기능이 활성화할 수 있는 물질들로 이루어져 있지만, 제작된 소자의 성능은 상용 소자의 수준을 유지하여 산업 또는 일상에서 사용할 수 있는 기능을 가지되, 불필요하거나 제거해야 할 상황이 발생할 때에 물리적, 화학적으로 완전히 분해하여 사라지게 할 수 있다.
- [4] 이러한 소멸성, 분해성이라는 특성의 조절 기술은 크게 두 가지 방향이 있는데, 첫 번째로는 절연층 (passivation), 보호층 (encapsulation)을 구성하는 물질의 밀도, 결정성, 두께를 조절하여 수명 기간을 제어하는 형식이 있고, 두 번째로는 외부 자극 (external stimuli)에 의해 자극 (trigger) 되어 분해가 이루어지는 방식이 있다.
- [5] 현존하는 외부 자극에 의한 능동적 분해가 가능한 기술들은 열, 빛, 전기 자극으로 인해 발화, 부식성 화합물, 기계적인 파괴 등으로 이어지는 기술들을 제시하였는데 이는 인체나 환경에 대해 독성을 나타내는 물질들이 많거나, 화학적 반응성이 높아 불안정하여 보관이 어렵거나, 외부 자극에 반응하는 반응성 화합물의 합성이 어렵거나, 분해 속도가 빠르지 않은 단점들이 존재한다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 본 발명은 물과 반응하여 빠르게 분해될 수 있는 전자 소자용 분해성 기판, 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법을 제공하기 위한 것이다.
- [7] 또한 본 발명은 인체와 환경에 대해 무해한 특성을 갖는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제 해결 수단

- [8] 본 발명의 일 측면에 따르면, 고분자 물질로 제공되는 기관 베이스 물질; 및 입자 형태로 상기 기관 베이스 물질과 균일하게 혼합된 상태로 제공되고, 물과 반응하여 기포를 생성하는 분해성 기포 생성 물질을 포함하는 전자 소자용 분해성 기관이 제공될 수 있다.
- [9] 또한, 상기 기관 베이스 물질은, 젤라틴, 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone, PVP), 폴리하이드록시 알카노에이트(Polyhydroxyalkanoate, PHA), 폴리하이드록시 부티레이트(PHB, Polyhydroxybutyrate), 폴리비닐 알코올(Polyvinyl alcohol, PVA), 콜라겐, 셀룰로오스, 폴리 젯산(Polylactic acid, PLA), Poly(D,L-lactide-co-glycolic acid) (PLGA), 폴리카프로락톤(Polycaprolactone, PCL) 중 하나로 제공되거나, 이들의 혼합물로 제공될 수 있다.
- [10] 또한, 상기 분해성 기포 생성 물질은, 유기산 및 탄산수소염으로 이루어 질 수 있다.
- [11] 또한, 상기 유기산은, 시트르산, 말산, 석신산, 말론산, 타르타르산, 아세트산 중 하나이거나 이들의 혼합물일 수 있다.
- [12] 또한, 상기 탄산수소염은, 탄산수소나트륨, 탄산수소 칼륨 중 하나이거나, 이들의 혼합물일 수 있다.
- [13] 또한, 분해성 기포 생성 물질은 상기 유기산과 상기 탄산수소염의 분자비(molar ratio)가 1:1 내지 1:3로 제공될 수 있다.
- [14] 또한, 상기 기관 베이스 물질과 상기 분해성 기포 생성 물질은 4:1 내지 1:2의 중량비를 가질 수 있다.
- [15] 또한, 가소제를 더 포함하고, 상기 기관 베이스 물질은 젤라틴으로 제공될 수 있다.
- [16] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 고분자 물질로 제공되는 기관 베이스 물질을 포함하는 전자 소자용 분해성 기관; 및 상기 전자 소자용 분해성 기관의 저면에 부착되어, 물의 공급 상태를 제어하는 유로 형성 모듈을 포함하되, 상기 유로 형성 모듈은, 내측에 입구측 유로 및 동작측 유로가 형성되는 유로 형성층; 상기 유로 형성층의 아래쪽에 위치되어, 상기 입구측 유로와 상기 동작측 유로가 상호 연결 또는 분리되게 하는 공압 밸브 제어층을 포함하는 전자 소자용 분해성 기관 어셈블리가 제공될 수 있다.
- [17] 또한, 상기 유로 형성층에는 상기 동작측 유로에 있어 상기 입구측 유로와 인접한 영역이 반대 방향 방향에 수용 영역이 형성되되, 상기 수용 영역은 위쪽으로 개방되어, 상기 전자 소자용 분해성 기관과 접하도록 제공될 수 있다.
- [18] 또한, 상기 수용 영역은 물과 반응하여 기포를 생성하는 분해성 기포 생성 물질이 채워진 상태로 제공될 수 있다.
- [19] 또한, 상기 전자 소자용 분해성 기관은 입자 형태로 상기 기관 베이스 물질과

균일하게 혼합된 상태로 제공되고, 물과 반응하여 기포를 생성하는 분해성 기포 생성 물질을 더 포함할 수 있다.

[20] 또한, 상기 분해성 기포 생성 물질은, 유기산 및 탄산수소염으로 이루어 질 수 있다.

[21] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 유기 용매에 기관 베이스 물질을 혼합하는 단계; 상기 유기 용매에 분해성 기포 생성 물질을 혼합하는 단계; 및 상기 기관 베이스 물질 및 상기 분해성 기포 생성 물질이 혼합된 용액을 건조하는 단계를 포함하는 전자 소자용 분해성 기관 제조 방법이 제공될 수 있다.

[22] 또한, 상기 기관 베이스 물질은 고분자 물질로 제공될 수 있다.

[23] 또한, 상기 분해성 기포 생성 물질은 유기산 및 탄산수소염으로 이루어 질 수 있다.

[24] 또한, 상기 분해성 기포 생성 물질은 분쇄 처리된 후 상기 유기 용매에 혼합될 수 있다.

[25] 또한, 상기 분해성 기포 생성 물질은 볼 밀링을 통해 분쇄될 수 있다.

발명의 효과

[26] 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 물과 반응하여 기포를 생성하면서 빠르게 분해될 수 있는 전자 소자용 분해성 기관, 전자 소자용 분해성 기관 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기관 제조 방법이 제공될 수 있다.

[27] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 자연에서 유래한 물질을 통해 분해 반응이 이루어져 인체와 환경에 대해 무해한 특성을 갖는 전자 소자용 분해성 기관 어셈블리 및 전자 소자용 분해성 기관 제조 방법이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[28] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기관의 제조 방법을 나타내는 플로우차트이다.

[29] 도 2는 유기 용매가 준비되는 과정을 나타내는 플로우차트이다.

[30] 도 3은 분해성 기포 생성 물질이 분쇄되는 과정을 나타내는 도면이다.

[31] 도 4는 분쇄 과정의 진행에 따른 분해성 기포 생성 물질의 입자 크기의 변화를 나타내는 도면이다.

[32] 도 5는 분쇄 과정의 진행에 따른 분해성 기포 생성 물질의 평균 입자 크기 및 입자 크기의 표준 편차를 나타내는 도면이다.

[33] 도 6은 분해성 기포 생성 물질에 있어 유기산인과 탄산수소염의 분자비 (molar ratio)에 따른 분해 반응 시 생성되는 용액의 pH를 나타내는 도면이다.

[34] 도 7는 일 실시 예로 젤라틴을 기관 베이스 물질로 하여 만들어진 전자 소자용 분해성 기관이 분해되는 과정을 나타내는 도면이다.

[35] 도 8은 온도에 따라 분해에 소요되는 시간을 나타내는 도면이다.

[36] 도 9는 기관 베이스 물질 및 분해성 기포 생성 물질이 혼합된 용액에 가소제가 추가로 첨가된 후 만들어진 전자 소자용 분해성 기관의 기계적 물성을 나타내는

도면이다.

- [37] 도 10은 가소제인 글리세롤의 함량에 따라서 전자 소자용 분해성 기판의 열적인 특성인 유리 전이 온도 (glass transition temperature)와 녹는점 (melting point)을 나타내는 도면이다.
- [38] 도 11은 분해성 기포 생성 물질의 유무에 따른 기판의 투과도 특성을 나타내는 도면이다.
- [39] 도 12는 가소제의 종류에 따른 물 분자의 시간에 따른 전자 소자용 분해성 기판의 표면의 접촉각을 나타내는 도면이다.
- [40] 도 13은 일 실시 예에 따른 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판의 분해 반응을 나타내는 도면이다.
- [41] 도 14는 일 실시 예에 따른 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판의 표면과 내부 구조를 보여주는 전자주사현미경(SEM) 사진이다.
- [42] 도 15는 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판에 있어, 분해성 기포 생성 물질과 PLGA의 질량비에 따른 전자 소자용 분해성 기판의 기계적인 물성을 나타내는 도면이다.
- [43] 도 16은 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판의 시간 경과에 따른 무게 변화를 나타내는 도면이다.
- [44] 도 17은 본 발명의 일 실시 예에 따른 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판을 사용한 전자 소자의 분해 과정을 나타낸 도면이다.
- [45] 도 18은 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판을 이용하여 만들어진 따른 원격 제어 가능한 전자 소자를 나타내는 도면이다.
- [46] 도 19는 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판과 이에 대비되는 기판을 각각 4주간 쥐에 삽입하는 생체적합성/생분해성 과정을 보여주는 비교 실험 모습이다.
- [47] 도 20은 도 19에 따라 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판과 이에 대비되는 기판이 삽입된 생체조직의 부분을 절개하여 조직학적 분석을 한 도면이다.
- [48] 도 21는 다른 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리의 분해 사시도를 나타내는 도면이다.
- [49] 도 22는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리의 내측에 형성된 유로를 나타내는 도면이다.
- [50] 도 23은 입구측 유로 및 동작측 유로가 서로 연결된 상태를 나타내는 도면이다.
- [51] 도 24는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리의 상면에 소자를 형성한 후 분해 반응을 수행하는 상태를 나타내는 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [52] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지

않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[53] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[54] 또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하나를 포함하는 의미로 사용되었다.

[55] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 명세서에서 "연결"은 복수의 구성 요소를 간접적으로 연결하는 것, 및 직접적으로 연결하는 것을 모두 포함하는 의미로 사용된다.

[56] 또한, 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.

[57] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판의 제조 방법을 나타내는 플로우차트이다.

[58] 도 1을 참조하면, 유기 용매가 준비된다(S100). 일 예로, 유기 용매는 헥사플루오로 이소프로판올(hexafluoroisopropanol, HFIP), 아세톤(acetone), 뷰탄온(butanone), 아세트산 에틸(ethyl acetate), 아세트산 메틸(methyl acetate), 클로로포름(chloroform) 등일 수 있다.

[59] 도 2는 유기 용매가 준비되는 과정을 나타내는 플로우차트이다.

[60] 도 2를 참조하면, 유기 용매는 무수화(anhydration)처리 된 상태로 제공될 수 있다. 이에 따라, 후술할 분해성 기포 생성 물질(degradable bubbling agents, BA)이 혼합되는 과정에서 상호 반응하는 것이 방지된다. 먼저, 유기 용매에 탈수제가 첨가된다(S110). 일 예로, 탈수제는 염화칼슘 등일 수 있다. 탈수제는 유기 용매에 대해 8% 내지 12%의 부피 중량(w/v: weight/volume)으로 혼합될 수 있다.

- [61] 이후, 탈수제를 필터링 하여, 무수화 처리된 유기 용매를 추출한다(S120). 유기 용매와 탈수제가 혼합된 이후, 용질인 탈수제가 가라앉으면, 용액에서 탈수제를 필터링을 통해 제거하여, 무수화 처리된 유기 용매를 추출한다. 필터링은 감압 거름 방식이 이용될 수 있다.
- [62] 이후, 유기 용매에 기관 베이스 물질이 혼합된다(S200). 기관 베이스 물질은 고분자 물질로 제공된다. 예를 들어, 기관 베이스 물질은 젤라틴, 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone, PVP), 폴리하이드록시 알카노에이트(Polyhydroxyalkanoate, PHA), 폴리하이드록시 부티레이트(PHB, Polyhydroxybutyrate), 폴리비닐 알코올(Polyvinyl alcohol, PVA), 콜라겐, 셀룰로오스, 폴리 젖산(Polylactic acid, PLA), Poly(D,L-lactide-co-glycolic acid) (PLGA), 폴리카프로락톤(Polycaprolactone, PCL) 등 중 하나로 제공되거나, 이들의 혼합물로 제공될 수 있다. 기관 베이스 물질은 유기 용매에 대해 3 내지 10%의 부피 중량으로 혼합될 수 있다.
- [63] 이후, 분해성 기포 생성 물질이 혼합된다(S300). 분해성 기포 생성 물질은 유기 용매 및 기관 베이스 물질과 균질하게 혼합될 수 있도록 하기 위해 믹싱 도구 등을 통해 저어 줄 수 있다. 분해성 기포 생성 물질은 전자 소자용 분해성 기관이 물과 만나면 기포 생성 반응이 일어나도록 하여, 발생하는 기포 및 분해성 기포 생성 물질의 소실에 의해 전자 소자용 분해성 기관이 빠른 속도로 분해되게 한다. 분해성 기포 생성 물질은 유기산과 탄산수소염으로 이루어 진다. 이에 따라, 분해성 기포 생성 물질은 물과 만나 반응하면, 이산화탄소를 발생시키면서 빠른 속도로 분해되어 소실된다. 또한, 이산화탄소는 기포 형태로 전자 소자용 분해성 기관에서 발생하면서, 전자 소자용 분해성 기관의 분해를 더욱 촉진하게 된다. 유기산은 시트르산, 말산, 석신산, 말론산, 타르타르산, 아세트산 등 중 하나이거나 이들의 혼합물일 수 있다. 탄산수소염은 탄산수소나트륨, 탄산수소 칼륨 등 중 하나이거나, 이들의 혼합물일 수 있다. 전자 소자용 분해성 기관에 있어 기관 베이스 물질과 분해성 기포 생성 물질은 4:1 내지 1:2의 중량비를 가질 수 있다.
- [64] 도 3은 분해성 기포 생성 물질이 분쇄되는 과정을 나타내는 도면이다.
- [65] 도 3을 참조하면, 분해성 기포 생성 물질은 물과 만났을 때의 반응성, 기계적 물성을 조절하기 위해 입자 크기가 기 설정 범위가 되도록 분쇄 처리된 후 혼합될 수 있다. 분해성 기포 생성 물질은 입자 크기가 평균 10 μ m 이하가 되게 분쇄된 후 혼합될 수 있다. 일 예로, 분해성 기포 생성 물질은 볼 밀링(ball-milling) 방법을 통해 분쇄될 수 있다. 볼 밀링은 드럼(1) 안에 분쇄용 볼(3)과 분해성 기포 생성 물질(2)을 넣고, 드럼(1)을 회전시켜 수행된다. 이 때, 분해성 기포 생성 물질은 유기산 또는 탄산수소염에 해당하는 물질 중 하나가 투입된 상태로 수행될 수 있다. 분쇄용 볼(3)은 세라믹(ceramic) 볼일 수 있다. 드럼(1)의 회전에 따라, 분쇄용 볼(3)과 분해성 기포 생성 물질(2)이 충돌하면서 분해성 기포 생성 물질(2)을 분쇄시킨다. 분쇄용 볼(3)로 세라믹(ceramic) 볼을 사용하면,

- 분해성 기포 생성 물질(2)의 입자의 크기를 $5\mu\text{m}$ 내지 500nm 까지 줄일 수 있다.
- [66] 도 4는 분쇄 과정의 진행에 따른 분해성 기포 생성 물질의 입자 크기의 변화를 나타내는 도면이고, 도 5는 분쇄 과정의 진행에 따른 분해성 기포 생성 물질의 평균 입자 크기 및 입자 크기의 표준 편차를 나타내는 도면이다.
- [67] 도 4는 볼 밀링 공정을 이용하여, 탄산수소염 중의 하나인 탄산수소나트륨(Sodium bicarbonate, SB)과 유기산 중의 하나인 시트르산(Citric acid, CA)에 대해 분쇄 공정을 수행하여, 공정 시간에 따른 입자 크기의 변화를 현미경 이미지로 보인 사진이다. 공정 초기에는 평균 $500\mu\text{m}$ 내외의 입자 크기를 보였지만 분쇄 공정 시간의 경과에 따라 입자의 크기는 급격히 줄어들어 여섯 시간이 지난 후 입자 크기가 탄산수소나트륨은 $\sim 1\mu\text{m}$, 시트르산은 $\sim 2\mu\text{m}$ 정도로 줄어든 것을 확인할 수 있다.
- [68] 도 5는 탄산수소나트륨, 시트르산 각각에 대해 분쇄 공정이 수행됨에 따라, 입자의 평균 크기와 표준편차의 변화를 나타낸다. 볼 밀링을 이용한 분쇄 공정의 진행에 따라 입자들의 평균 크기가 감소하고, 입자 크기의 편차도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 분쇄 공정을 통해 입자의 크기가 감소하면서 입자 크기의 균일도가 높아지는 것을 알 수 있다.
- [69] 분해성 기포 생성 물질의 입자 크기를 줄이고 입자 크기의 균일도가 향상된 상태로 기관 베이스 물질인 고분자 물질과 균질 혼합되어, 분해성 기포 생성 물질 및 기관 베이스 물질의 복합 혼합체인 전자 소자용 분해성 기관의 제작이 용이하며 전자 소자용 분해성 기관이 범용적으로 사용할 수 있도록 해주며, 물과 만나 분해 반응이 이루어 질 때 분해 속도의 향상, 분해 영역의 균질성을 갖도록 한다. 이에 따라, 분해성 기포 생성 물질은 분쇄 공정이 수행되어 평균 입자의 크기가 적어도 $10\mu\text{m}$ 이하가 되도록 한 후, 혼합되는 것이 바람직 하다. 보다 바람직하게, 분해성 기포 생성 물질은 분쇄 공정이 수행되어 평균 입자의 크기가 적어도 $5\mu\text{m}$ 이하가 되도록 한 후, 혼합되는 것이 바람직 하다.
- [70] 도 6은 분해성 기포 생성 물질에 있어 유기산인과 탄산수소염의 분자비 (molar ratio)에 따른 분해 반응 시 생성되는 용액의 pH를 나타내는 도면이다.
- [71] 도 6에는 유기산이 시트르산(CA)이고 탄산수소염이 탄산수소나트륨(Sodium bicarbonate, SB)인 경우가 예시되었다.
- [72] 도 6을 참조하면, 분해성 기포 생성 물질에 있어, 유기산과 탄산수소염의 비율에 따라 분해 시 용액의 pH를 조절할 수 있음을 알 수 있다. 이에 따라, 탄산수소염에 대한 유기산의 비율을 증가시키면, 분해 반응 시 낮은 pH 조건을 형성하여 생분해성 금속성 물질인 마그네슘 (Mg), 아연 (Zn), 철 (Fe)을 금속-산 반응을 통해 분해속도를 올리는 역할을 할 수 있다. 또한, 유기산과 탄산수소염이 적절한 속도로 상호 반응을 하기 위해서는 적절한 비율을 유지할 필요가 있다. 이에 따라, 유기산과 탄산수소염의 분자비(molar ratio)는 1:1 내지 1:3인 것이 바람직 하다.
- [73] 이후, 기관 베이스 물질 및 분해성 기포 생성 물질이 혼합된 용액을 건조하여,

기관 베이스 물질 및 분해성 기포 생성 물질로 이루어진 전자 소자용 분해성 기관이 생산된다(S400). 예를 들어, 기관 베이스 물질 및 분해성 기포 생성 물질이 혼합된 용액은 전자 소자용 분해성 기관의 형상의 갖는 성형 틀(mold)에 부어 진 후, 습도가 매우 낮은 환경(dried condition)에서 1 내지 2일 동안 완전히 건조되어 전자 소자용 분해성 기관이 생산될 수 있다. 이 때, 전자 소자용 분해성 기관은 100 ~ 200 μm 두께로 만들어져 생체에 투입되는 방식으로 사용되는 전자 소자에도 사용될 수 있다. 이에 따라 전자 소자용 분해성 기관은 기관 베이스 물질에 분해성 기포 생성 물질의 입자가 고르게 분포된 구조를 가지게 된다. 그리고 물과 반응하면 분해성 기포 생성 물질의 소실 및 기포 생성 물질인 유기산과 탄산수소염이 상호 반응하면서 발생하는 기포로 전자 소자용 분해성 기관이 빠르게 분해되게 된다.

[74]

[75] 실험 예 1

[76] 기관 베이스 물질로 젤라틴을 사용하였다. 젤라틴 기반의 전자 소자용 분해성 기관은 건조한 아르곤(Ar) 분위기의 글로브박스(glove box) 내에서 HFIP 20 mL에 0.6 ~ 1 g(3 - 5% w/v)의 돼지 (porcine)에서 추출한 젤라틴과 가소제인 글리세롤(glycerol) 0.3 ~ 1 g (1.5 - 5% w/v)을 첨가하여 고분자 용액을 제조하였다. 분해성 기포 생성 물질은 분쇄된 유기산(시트르산)과 탄산수소염(탄산수소소듐)을 0.3 ~ 1.2 g (1.5 ~ 6% w/v) 넣어서 혼합 교반하고(분자비 (molar ratio), 유기산:탄산수소염 = 1:1 ~ 1:3), PDMS (poly(dimethylsiloxane)) 주조 틀에 용액을 채워 24시간 동안 건조 후, 건조기에서 추가적으로 24시간을 건조하여 전자 소자용 분해성 기관을 제조하였다. 두께는 젤라틴에 대한 분해성 기포 생성 물질의 비율에 따라 50 μm 내지 200 μm 로 하였다. 이 때, 전자 소자용 분해성 기관은 젤라틴과 분해성 기포 생성 물질이 10:3 내지 1:2의 중량비를 가질 수 있다.

[77]

[78] 실험 예 2

[79] 또 다른 예로써 기관 베이스 물질로 PLGA를 사용하였다. PLGA 기반의 전자 소자용 분해성 기관은 위의 젤라틴과 동일한 조건에서 제조하며, 아세톤 20 mL에 PLGA(Lactide:Glycolide = 50 : 50, 65:35) 1 ~ 2 g (5 - 10% w/v)을 용해시켜 고분자 용액을 형성한다. 분해성 기포 생성 물질은 분자비 (1:1 ~ 1:3)의 분쇄된 유기산과 탄산수소염 0.5 ~ 2 g (2.5 ~ 10% w/v)을 넣어 혼합하고, PDMS 주조 틀에 넣고, 위와 같은 방법으로 건조하여, 전자 소자용 분해성 기관을 제조하였다. 이 때, 전자 소자용 분해성 기관은 PLGA와 분해성 기포 생성 물질이 4:1 내지 1:2의 중량비를 가질 수 있다.

[80]

[81] 도 7는 일 실시 예로 젤라틴을 기관 베이스 물질로 하여 만들어진 전자 소자용 분해성 기관이 분해되는 과정을 나타내는 도면이고, 도 8은 온도에 따라 분해에

소요되는 시간을 나타내는 도면이다.

- [82] 도 7 및 도 8을 참조하면, 상온(25°C)에서 물과 반응하여 급속히 기포를 발생시키면서 분해 반응이 일어나며, 60초 안에 전자 소자용 분해성 기판을 소멸시키는 것을 확인할 수 있다.
- [83] 또한 체온에 해당하는 온도 조건(37°C)에서 분해 반응 속도가 빨라져 물과 반응을 시작한 후 30초 안에 빠르게 파괴가 이루어지는 것을 확인하였다. 즉, 주위 환경의 온도에 분해 반응 속도가 비례하는 것을 확인하였다.
- [84] 도 9는 기판 베이스 물질 및 분해성 기포 생성 물질이 혼합된 용액에 가소제가 추가로 첨가된 후 만들어진 전자 소자용 분해성 기판의 기계적 물성을 나타내는 도면이다. 가소제는 글리세롤(glycerol), 소비톨(sorbitol) 등일 수 있다.
- [85] 본 실시 예에서 기판 베이스 물질인 고분자 물질은 젤라틴이, 가소제로 글리세롤이 사용되었다.
- [86] 도 9를 참조하면, 가소제가 첨가되어 제조된 전자 소자용 분해성 기판은 로딩 언로딩 사이클 형태의 반복 기계적 내구성 실험을 통해 1000회 동안 90% 이상의 회복성 및 내구성을 나타내었다. 즉, 전자 소자용 분해성 기판은 기판 베이스 물질 및 분해성 기포 생성 물질이 혼합된 용액에 가소제를 추가로 첨가한 후 건조시켜 제조하는 방법을 통해 잘 부러지는 특성을 저감 시키고 연성과 유연성을 부여할 수 있어, 웨어러블 한 형태로도 사용할 수 있게 된다.
- [87] 도 10은 가소제인 글리세롤의 함량에 따라서 전자 소자용 분해성 기판의 열적인 특성인 유리 전이 온도 (glass transition temperature)와 녹는점 (melting point)을 나타내는 도면이다.
- [88] 도 10을 참조하면, 글리세롤의 양이 많아짐에 따라 유리 전이 온도 및 녹는점이 저온으로 이동하는 특성을 확인할 수 있다. 이에 따라, 첨가되는 가소제의 양을 조절하여 전자 소자용 분해성 기판의 유리 전이 온도 및 녹는점을 사용 목적에 맞게 조절할 수 있다.
- [89] 도 11은 분해성 기포 생성 물질의 유무에 따른 기판의 투과도 특성을 나타내는 도면이다.
- [90] 기판 베이스 물질은 젤라틴이 사용되었다. 가소제로 글리세롤이 사용되었다. 분해성 기포 생성 물질이 첨가되어 만들어진 전자 소자용 분해성 기판은 분해성 기포 생성 물질 없이 만들어진 기판 대비 70% 이상의 투과도를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 분해성 기포 생성 물질이 첨가되어도 일정 범위 이상의 투과도를 유지하여, 전자 소자용 분해성 기판은 일정 범위 이상이 투과도를 갖는 형태로도 제작이 가능하다.
- [91] 도 12는 가소제의 종류에 따른 물 분자의 시간에 따른 전자 소자용 분해성 기판의 표면의 접촉각을 나타내는 도면이다.
- [92] 기판 베이스 물질인 고분자 물질은 젤라틴이 사용되었다. 도 12를 참조하면, 가소제의 종류에 따라 물 분자의 시간에 따른 전자 소자용 분해성 기판의 표면의 접촉각(contact angle)이 달라짐을 알 수 있다. 이 때, 접촉각은 흡습성과 반비례

관계를 갖는다. 이에 따라, 가소제의 종류의 선택을 통해 전자 소자용 분해성 기판의 흡습성을 조절하고 이에 따라 분해 속도를 조절할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 전자 소자용 분해성 기판의 분해 속도를 빠르게 하고자 할 경우, 가소제는 소비톨보다 흡습도가 높은 글리세롤인 것이 바람직하다.

[93] 도 13은 일 실시 예에 따른 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판의 분해 반응을 나타내는 도면이다.

[94] 기판 베이스 물질로 PLGA, 분해성 기포 생성 물질로 탄산수소나트륨과 시트르산을 사용하였다. 전자 소자용 분해성 기판의 두께는 50 μ m 내지 300 μ m일 수 있다.

[95] 물과 반응한 후, PLGA를 기반으로 한 전자 소자용 분해성 기판이 60초 이내에 소멸되는 모습을 확인할 수 있다. 즉, 젤라틴에 비해 상대적으로 느린 분해속도를 가진 고분자인 PLGA를 기반으로 한 경우에도, 전자 소자용 분해성 기판은 물과 반응 후 쉽게 분해되는 모습을 보인다.

[96] 도 14는 일 실시 예에 따른 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판의 표면과 내부 구조를 보여주는 전자주사현미경(SEM) 사진이다.

[97] 도 14를 참조하면, 기판 베이스 물질이 PLGA인 전자 소자용 분해성 기판은 미세 다공성 구조를 가지고 있어, 이를 통해 물이 빠르게 내부로 침투하여 물에 의해 신속하게 반응하게 되어, 빠른 소멸 현상을 설명해준다.

[98] 도 15는 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판에 있어, 분해성 기포 생성 물질과 PLGA의 질량비에 따른 전자 소자용 분해성 기판의 기계적인 물성을 나타내는 도면이다.

[99] 도 15를 참조하면, PLGA에 대한 분해성 기포 생성 물질의 함량이 증가할 수록 전자 소자용 분해성 기판의 연성이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, PLGA에 대한 분해성 기포 생성 물질의 질량비 조절을 통해 전자 소자용 분해성 기판의 연성을 조절할 수 있다.

[100] 도 16은 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판의 시간 경과에 따른 무게 변화를 나타내는 도면이다.

[101] PLGA에 대한 분해성 기포 생성 물질의 질량비가 50%, 100%인 것이 각각 온도 22°C, 상대 습도 (relative humidity) 40%의 환경에 노출된 상태를 기준으로 30일이 경과하는 동안 큰 질량의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 따라서, PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판은 장기간 안정적으로 보관할 수 있음을 확인할 수 있다.

[102] 도 17은 본 발명의 일 실시 예에 따른 PLGA 기반 전자 소자용 분해성 기판을 사용한 전자 소자의 분해 과정을 나타낸 도면이다.

[103] 기판의 상면에 형성되는 소자 영역은 분해성 있는 전극 물질 (마그네슘 (Mg), 철 (Fe), 아연 (Zn), 몰리브데넘 (Mo), 텅스텐 (W))중 마그네슘을 선택하여 제작하였다. 소자의 제작은 실리콘 웨이퍼 기판 위에 Poly(methyl methacrylate)(PMMA), polyimide(PI)를 각각 50~500nm, 1~10 μ m 두께로 필름을

형성하였다. 이후 스퍼터링(Sputter), 전자빔 증발기(e-beam evaporator), 열 증발기(thermal evaporator)들을 통해 증착한 100 ~ 500 nm의 두께인 마그네슘을 반도체 공정인 포토리소그래피로 패터닝한 후, 산화 마그네슘 (MgO), 산화 실리콘 (SiO₂)을 이용하여, 50 ~ 300nm의 두께로 금속층을 보호하는 절연층(passivation)을 스퍼터링, 전자빔 증발기를 통해 증착하고, 패터닝 한다. 위에 얇은 PI층을 코팅하고 나서, 포토리소그래피 및 반응성 이온 식각기(Reactive ion etcher, RIE)으로 디자인대로 패터닝 및 식각 한다. 이 후, 전체 실리콘 웨이퍼 기판을 아세톤 용액에 담구어 희생층(sacrificial layer)인 PMMA 층을 제거한다. 이 때, PMMA 위의 PI/금속/절연층/PI 층이 실리콘 웨이퍼 기판에서 분리될 수 있게 되고, 이를 PDMS 스탬프, 고온 박리 테이프, 물 박리 테이프 등을 이용하여 분리한 후 RIE를 통해 남은 PI film층을 식각 하고, 이를 전자 소자용 분해성 기판에 전사하여 전자 소자용 분해성 기판을 사용한 전자 소자를 완성하였다. 이에 따른 전자 소자용 분해성 기판을 사용한 전자 소자는 상온의 물과 반응하여 100초 안에 완전 분해되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 전자 소자용 분해성 기판을 사용한 전자 소자는 대략 60초를 경과한 시점에서 거의 기능을 수행할 수 없을 정도로 성능 저하가 발생하여, 분해성 기포 생성 물질 없이 기판 베이스 물질을 사용한 기판과 대비할 때 55배 이상의 빠른 성능 저하 속도를 보여주었다.

- [104] 즉, 전자 소자용 분해성 기판을 이용하여 제작된 전자 소자의 경우에도, 전자 소자용 분해성 기판을 단독으로 분해시킬 경우에 대비하여 큰 차이 없이 분해가 완료되는 것을 확인할 수 있다.
- [105] 도 18은 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판을 이용하여 제작되어진 다른 원격 제어 가능한 전자 소자를 나타내는 도면이다.
- [106] 도 18을 참조하면, 전자 소자용 분해성 기판에 상용 소자들을 도입하여 웨어러블 형태의 칩을 구성할 수 있다. 이 와 같은 전자 소자는 Near-field-communication(NFC)가 가능한 주파수 대역(13.56 Mhz)을 사용하여 원격으로 전력을 수신하여, 동작 시킬 수 있다. 전자 소자용 분해성 기판은 기판 베이스 물질이 젤라틴인 것이 사용되었다. 전자 소자는 마이크로컨트롤러(Microcontroller), 선형 레귤레이터 (low drop out, LDO), 다이오드, 커패시터, 마이크로 LED, 레이저 커팅으로 패터닝된 코일 (Mg, 5 ~ 50 μ m 두께), 연결선 (Mg interconnect, 1 ~ 10 μ m 두께) 등으로 구성되어 원격으로 작동할 수 있도록 구현되었다. 이 같이 구현된 전자 소자 역시 물과 반응하여 300 초 내에 자가 소멸되는 것을 확인하였다.
- [107] 도 19는 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판과 이에 대비되는 기판을 각각 4주간 쥐에 삽입하는 생체적합성/생분해성 과정을 보여주는 비교 실험 모습이며, 도 20은 도 19에 따라 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기판과 이에 대비되는 기판이 삽입된 생체조직의 부분을 절개하여 조직학적 분석을 한 도면이다.

- [108] 전자 소자용 분해성 기관은 기관 베이스 물질로 PLGA이 사용되었고, 이에 대비되는 기관은 분해성 기포 생성 물질 없이 PLGA만을 이용하여 만들어진 기관이 사용되었다. 이를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기관은 PLGA만 있는 경우와 유사하게 생체 내에서 안정적으로 분해되는 것을 확인할 수 있다. 또한 분해 반응이 일어난 생체 조직에 있어서도, PLGA만 있는 경우와 큰 차이가 없어, 분해성 기포 생성 물질이 첨가되어도 생체적합성의 저해가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 즉, 분해성 기포 생성 물질은 자연으로부터 유리한 물질로 되어 있어, 전자 소자용 분해성 기관은 생체에 투입 및 분해 과정에 있어, 인체나 환경에 대해 무해한 특성을 갖는다.
- [109] 도 21는 다른 실시 예에 따른 전자 소자용 분해성 기관 어셈블리의 분해 사시도를 나타내는 도면이고, 도 22는 전자 소자용 분해성 기관 어셈블리의 내측에 형성된 유로를 나타내는 도면이고, 도 23은 입구측 유로 및 동작측 유로가 서로 연결된 상태를 나타내는 도면이다.
- [110] 도 21 내지 도 23을 참조하면, 전자 소자용 분해성 기관 어셈블리(20)는 전자 소자용 분해성 기관(21) 및 유로 형성 모듈(22, 23, 24)을 포함한다.
- [111] 전자 소자용 분해성 기관(21)은 상술한 실시 예와 같이 기관 베이스 물질 및 분해성 기포 생성 물질을 포함할 수 있다. 또한, 전자 소자용 분해성 기관은 기포 생성 물질이 생략된 상태로 기관 베이스 물질로 제공될 수도 있다.
- [112] 유로 형성 모듈(22, 23, 24)은 유로 형성층(22) 및 공압 밸브 제어층(24)을 포함한다. 유로 형성 모듈(22, 23, 24)은 전자 소자용 분해성 기관의 저면에 부착된다. 유로 형성 모듈(22, 23, 24)은 전자 소자용 분해성 기관(21)로 공급되는 물의 공급 상태를 제어한다. 유로 형성층(22)의 내측에는 입구측 유로(220) 및 동작측 유로(221)가 형성된다. 입구측 유로(220) 및 동작측 유로(221)는 기 설정 거리 이격되어 끊어진 상태로 제공된다. 입구측 유로(220) 및 동작측 유로(221)가 서로 끊어진 상태로 인접한 영역은 아래쪽으로 개방된 상태로 제공된다.
- [113] 동작측 유로(221)에 있어 입구측 유로(220)와 인접한 영역이 반대 방향 방향에는 수용 영역(222)이 형성된다. 수용 영역(222)은 위쪽으로 개방되어, 전자 소자용 분해성 기관(21)과 접하도록 제공될 수 있다. 수용 영역(222)에는 분해성 기포 생성 물질이 채워진 상태로 제공될 수 있다. 분해성 기포 생성 물질은 상술한 실시 예와 같이 유기산과 탄산수소염으로 이루어져, 이들 혼합물이 페이스트 상태로 채워진다.
- [114] 공압 밸브 제어층(24)은 유로 형성층(22)의 아래쪽에 위치된다. 공압 밸브 제어층(24)은 입구측 유로(220)와 동작측 유로(221)가 상호 연결 또는 분리되게 한다. ;공압 밸브 제어층(24)의 상부에는 입구측 유로(220) 및 동작측 유로(221)가 서로 끊어진 상태로 인접한 영역의 아래쪽에 위치되고, 위쪽을 향해 개방된 제어 공간(240)이 형성된다. 공압 밸브 제어층(24)에는 제어 공간(240)과 연결되는 제어 유로(241)가 형성된다.
- [115] 제어 공간(240)의 개방된 위쪽을 덮는 형태로 유로 형성층(22)과 공압 밸브

제어층(24) 사이에는 멤브레인(23)이 위치된다. 멤브레인(23)은 기 설정 탄성을 갖도록 제공되어, 입구측 유로(220) 및 동작측 유로(221)가 인접한 영역의 저면에 밀착된 상태로 제공된다. 이에 따라, 입구측 유로(220)에 물이 공급된 상태에서도, 입구측 유로(220)와 동작측 유로(221)는 멤브레인(23)을 통해 끊어진 상태를 유지하게 된다. 제어 유로(241)를 통해 제어 공간(240)을 배기 감압하면 멤브레인(23)은 제어 공간(240)을 향해 이동하게 되어, 입구측 유로(220)와 동작측 유로(221)가 멤브레인(23)의 위쪽에 형성된 공간을 통해 연결된다. 이에 따라, 입구측 유로(220)를 통해 공급되는 물은 수용 영역(222)을 통해 전자 소자용 분해성 기관으로 공급되어 전자 소자용 분해성 기관을 분해시킨다. 또한, 전자 소자용 분해성 기관이 분해성 기포 생성 물질이 생략된 상태로 제공되는 경우에도, 대신 분해성 기포 생성 물질을 수용 영역(222)에 채워 넣으며, 수용 영역(222)에서 발생된 기포에 의해 전자 소자용 분해성 기관의 분해가 촉진될 수 있다.

- [116] 도 24는 전자 소자용 분해성 기관 어셈블리의 상면에 소자를 형성한 후 분해 반응을 수행하는 상태를 나타내는 도면이다.
- [117] 이를 위한 실시 예로, 먼저 유로 형성 모듈(22, 23, 24)을 위한 틀을 3D 프린팅을 사용하여 제작하였다. 이 후, Sylgard A와 B를 10:1 비율로 섞고 난 후, 틀에 PDMS(Polydimethylsiloxane)을 채워 경화시키는 방식으로 유로 형성층(22), 공압 밸브 제어층(24)을 각각 제작하였다.
- [118] 전자 소자용 분해성 기관의 상면의 소자는 원격으로 동작하는 전자 층(RF electronic layer)을 마이크로 LED와 다이오드, 커패시터, Mg 코일 (10 ~ 50 μm 두께), Mg 연결선 (1 ~ 5 μm 두께)을 이용하여 제작하였다. 수용 영역(222)에는 분해성 기포 생성 물질인 탄산수소염과 유기산의 혼합물의 페이스트를 채워 넣었다. 파괴 대상이 되는 소자의 주요 부분으로 LED가 수용 영역(222) 위쪽에 배치되도록 하였다. 이에 따라, 수용 영역 위쪽에 위치된 소자를 빠르게 파괴시켜 동작을 정지시킬 수 있음을 확인하였다.
- [119] 이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 고분자 물질로 제공되는 기관 베이스 물질; 및
입자 형태로 상기 기관 베이스 물질과 균일하게 혼합된 상태로 제공되고,
물과 반응하여 기포를 생성하는 분해성 기포 생성 물질을 포함하는 전자
소자용 분해성 기관.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 기관 베이스 물질은,
젤라틴, 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone, PVP), 폴리하이드록시
알카노에이트(Polyhydroxyalkanoate, PHA), 폴리하이드록시
부티레이트(PHB, Polyhydroxybutyrate), 폴리비닐 알코올(Polyvinyl
alcohol, PVA), 콜라겐, 셀룰로오스, 폴리 젯산(Polylactic acid, PLA),
Poly(D,L-lactide-co-glycolic acid) (PLGA),
폴리카프로락톤(Polycaprolactone, PCL) 중 하나로 제공되거나, 이들의
혼합물로 제공되는 전자 소자용 분해성 기관.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 분해성 기포 생성 물질은,
유기산 및 탄산수소염으로 이루어 지는 전자 소자용 분해성 기관.
- [청구항 4] 제3항에 있어서,
상기 유기산은,
시트르산, 말산, 석신산, 말론산, 타르타르산, 아세트산 중 하나이거나
이들의 혼합물인 전자 소자용 분해성 기관.
- [청구항 5] 제3항에 있어서,
상기 탄산수소염은,
탄산수소나트륨, 탄산수소 칼륨 중 하나이거나, 이들의 혼합물인 전자
소자용 분해성 기관.
- [청구항 6] 제3항에 있어서,
분해성 기포 생성 물질은 상기 유기산과 상기 탄산수소염의 분자비(molar
ratio)가 1:1 내지 1:3로 제공되는 전자 소자용 분해성 기관.
- [청구항 7] 제1항에 있어서,
상기 기관 베이스 물질과 상기 분해성 기포 생성 물질은 4:1 내지 1:2의
중량비를 갖는 전자 소자용 분해성 기관.
- [청구항 8] 제1항에 있어서,
가소제를 더 포함하고,
상기 기관 베이스 물질은 젤라틴으로 제공되는 전자 소자용 분해성 기관.
- [청구항 9] 고분자 물질로 제공되는 기관 베이스 물질을 포함하는 전자 소자용
분해성 기관; 및
상기 전자 소자용 분해성 기관의 저면에 부착되어, 물의 공급 상태를

제어하는 유로 형성 모듈을 포함하되,
 상기 유로 형성 모듈은,
 내측에 입구측 유로 및 동작측 유로가 형성되는 유로 형성층;
 상기 유로 형성층의 아래쪽에 위치되어, 상기 입구측 유로와 상기 동작측 유로가 상호 연결 또는 분리되게 하는 공압 밸브 제어층을 포함하는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리.

[청구항 10] 제9항에 있어서,
 상기 유로 형성층에는 상기 동작측 유로에 있어 상기 입구측 유로와 인접한 영역이 반대 방향 방향에 수용 영역이 형성되되, 상기 수용 영역은 위쪽으로 개방되어, 상기 전자 소자용 분해성 기판과 접하도록 제공되는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리.

[청구항 11] 제10항에 있어서,
 상기 수용 영역은 물과 반응하여 기포를 생성하는 분해성 기포 생성 물질이 채워진 상태로 제공되는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리.

[청구항 12] 제10항에 있어서,
 상기 전자 소자용 분해성 기판은 입자 형태로 상기 기판 베이스 물질과 균일하게 혼합된 상태로 제공되고, 물과 반응하여 기포를 생성하는 분해성 기포 생성 물질을 더 포함하는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리.

[청구항 13] 제11항 또는 제12항에 있어서,
 상기 분해성 기포 생성 물질은,
 유기산 및 탄산수소염으로 이루어 지는 전자 소자용 분해성 기판 어셈블리.

[청구항 14] 유기 용매에 기판 베이스 물질을 혼합하는 단계;
 상기 유기 용매에 분해성 기포 생성 물질을 혼합하는 단계; 및
 상기 기판 베이스 물질 및 상기 분해성 기포 생성 물질이 혼합된 용액을 건조하는 단계를 포함하는 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법.

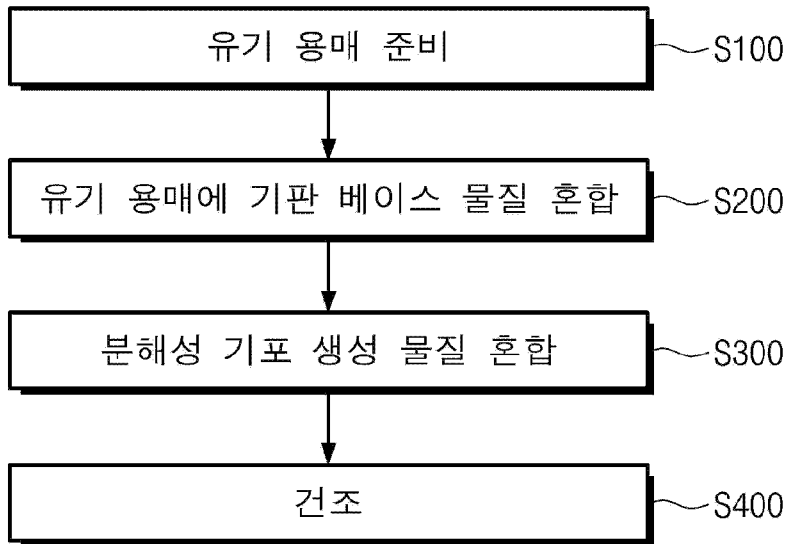
[청구항 15] 제14항에 있어서,
 상기 기판 베이스 물질은 고분자 물질로 제공되는 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법.

[청구항 16] 제14항에 있어서,
 상기 분해성 기포 생성 물질은 유기산 및 탄산수소염으로 이루어 지는 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법.

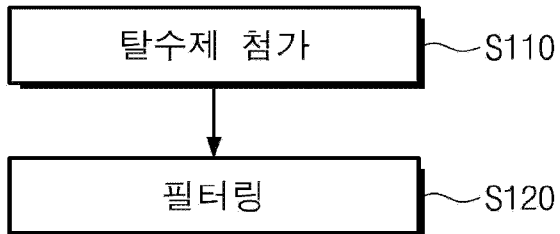
[청구항 17] 제16항에 있어서,
 상기 분해성 기포 생성 물질은 분쇄 처리된 후 상기 유기 용매에 혼합되는 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법.

[청구항 18] 제17항에 있어서,
 상기 분해성 기포 생성 물질은 볼 밀링을 통해 분쇄되는 전자 소자용 분해성 기판 제조 방법.

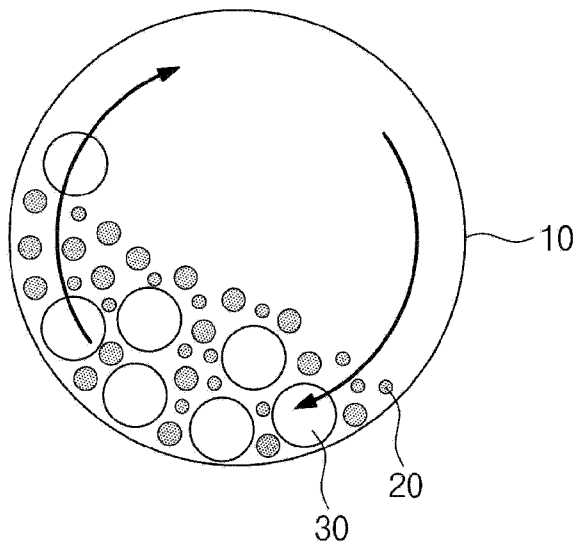
[도1]



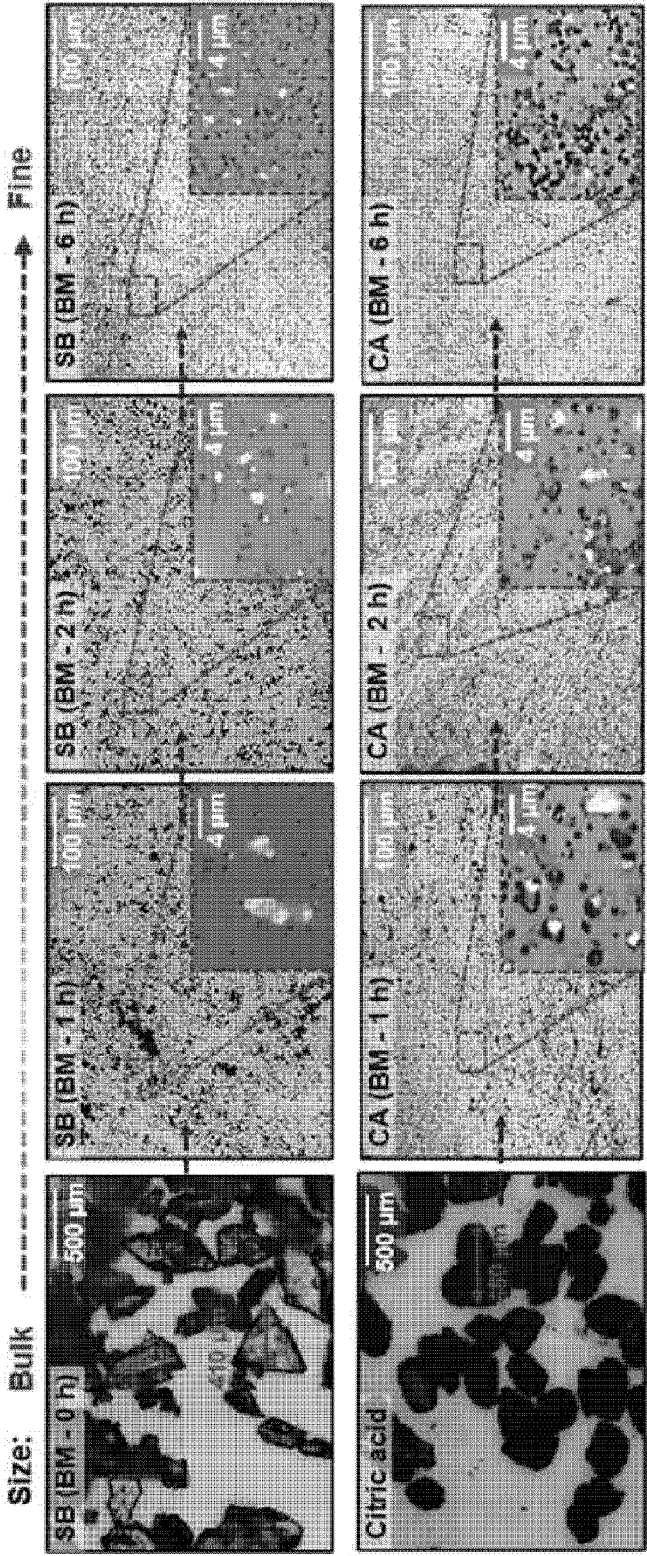
[도2]



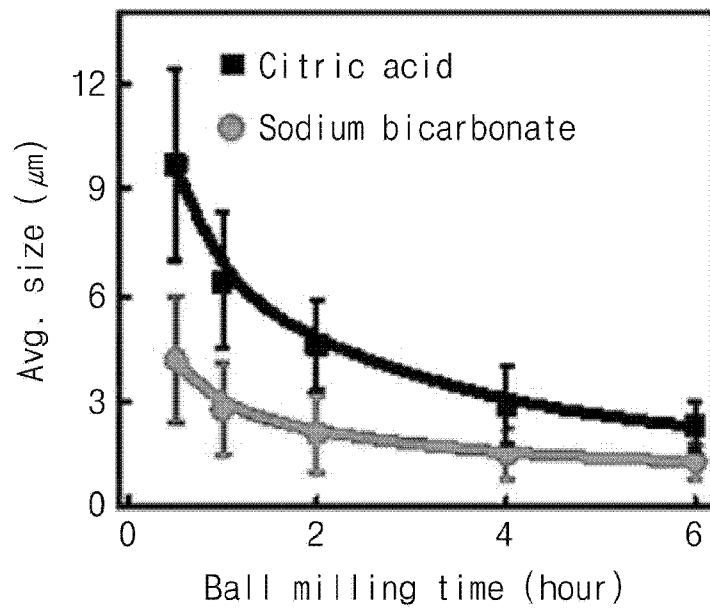
[도3]



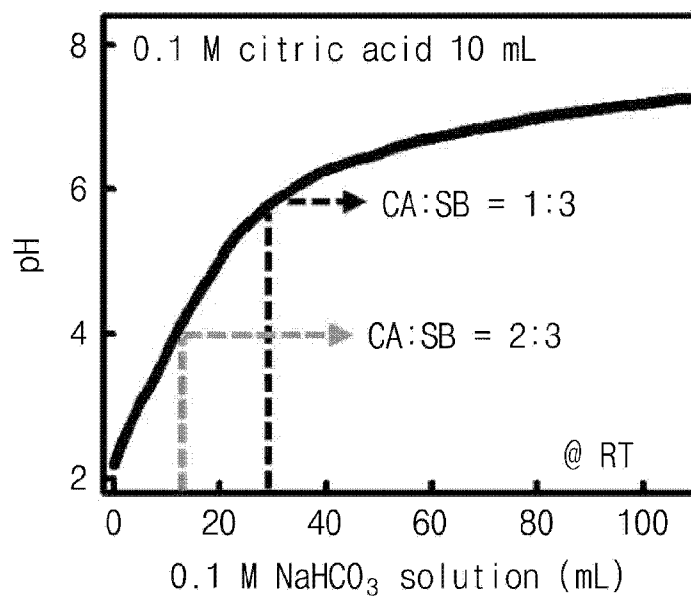
[도4]



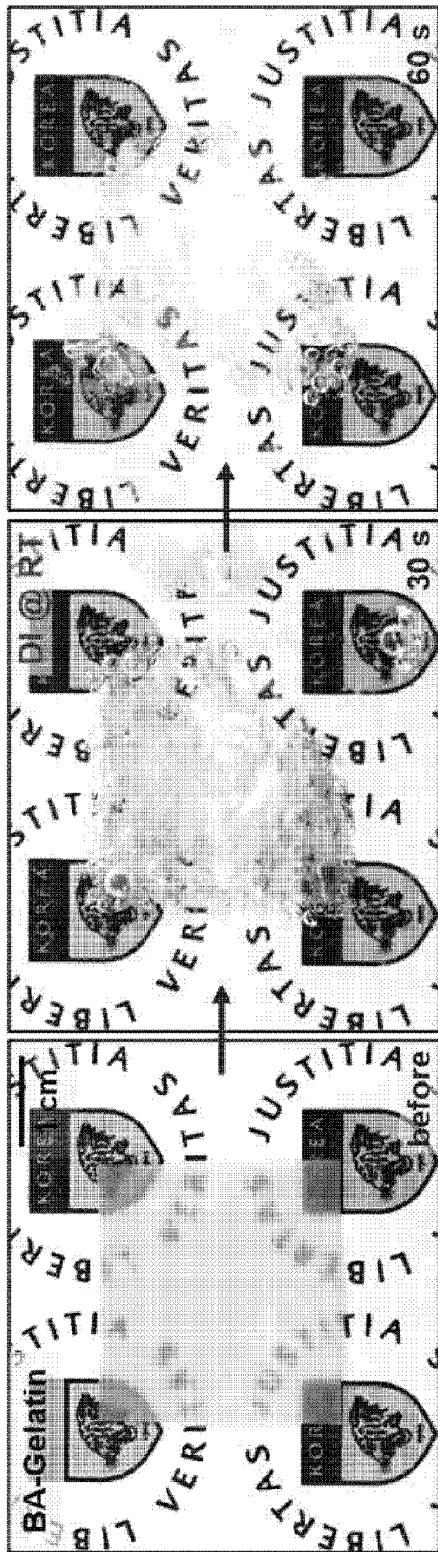
[도5]



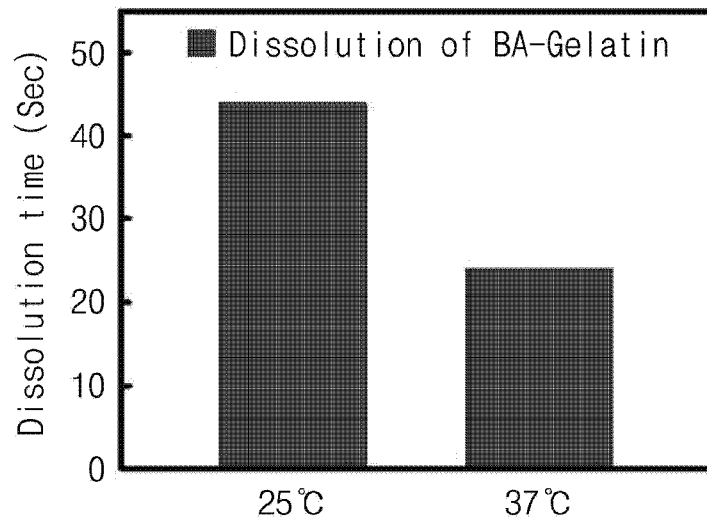
[도6]



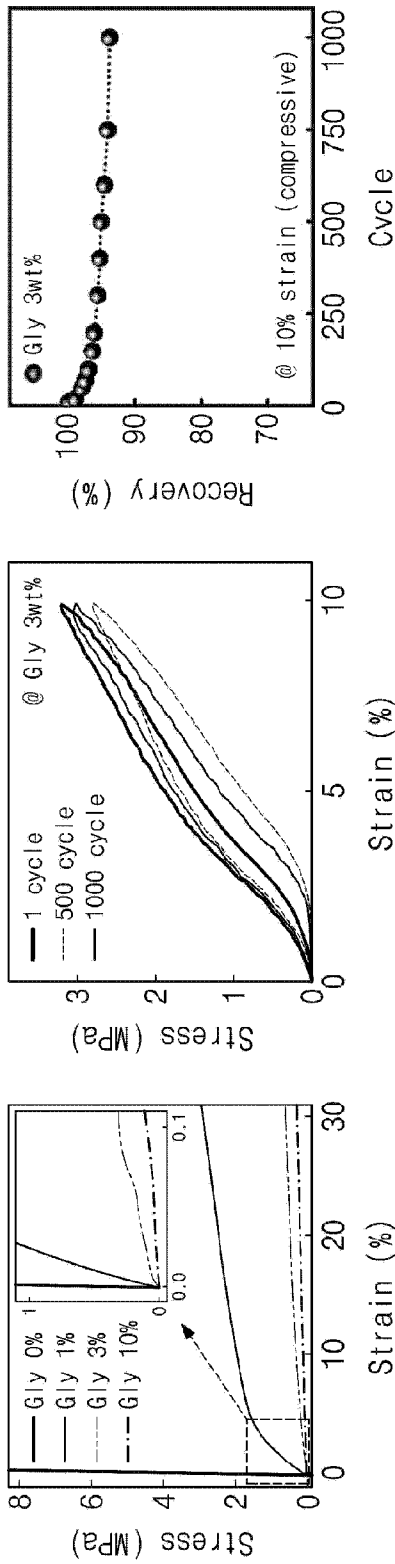
[도7]



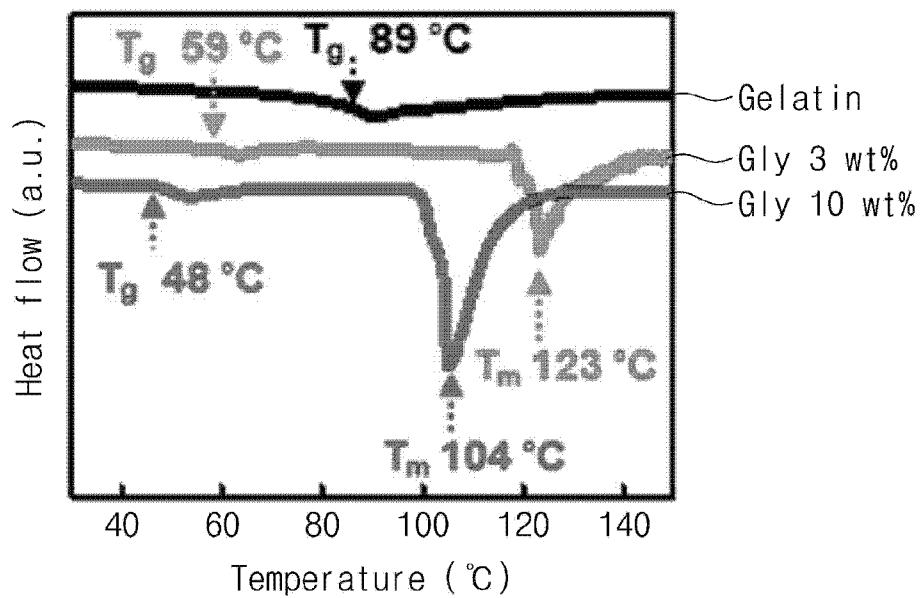
[도8]



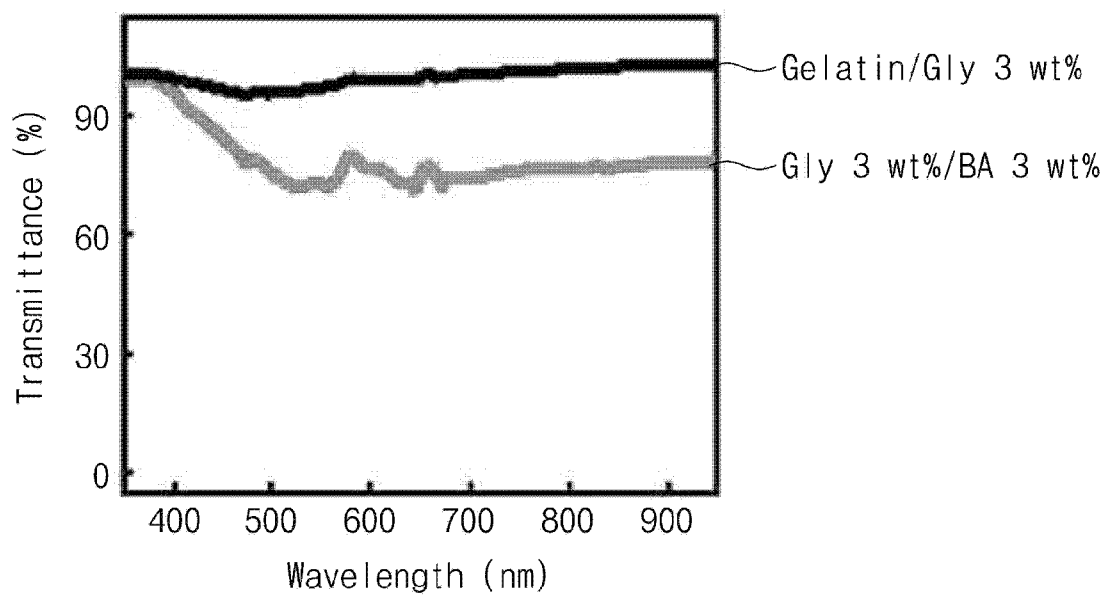
[도9]



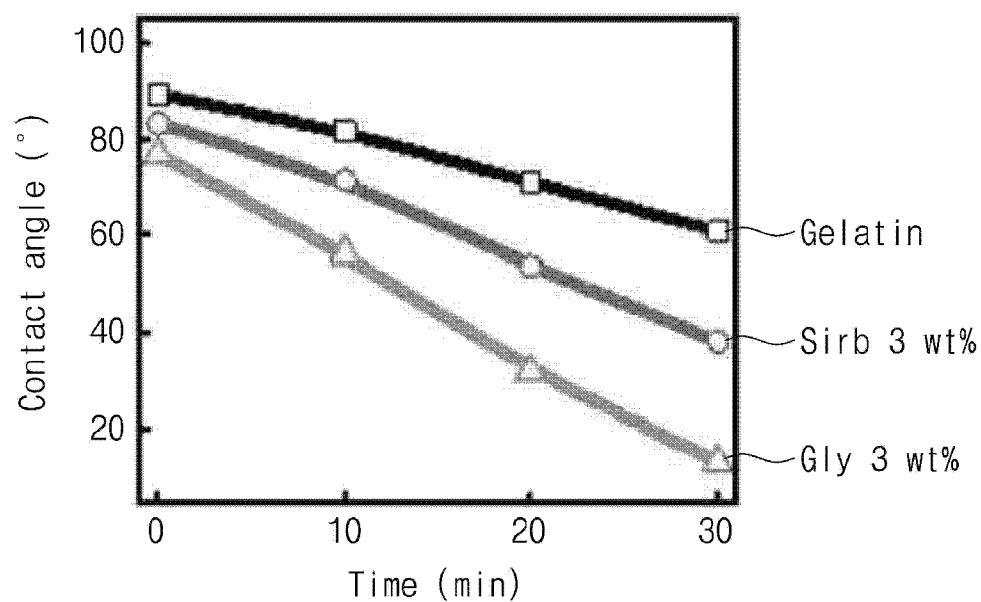
[도10]



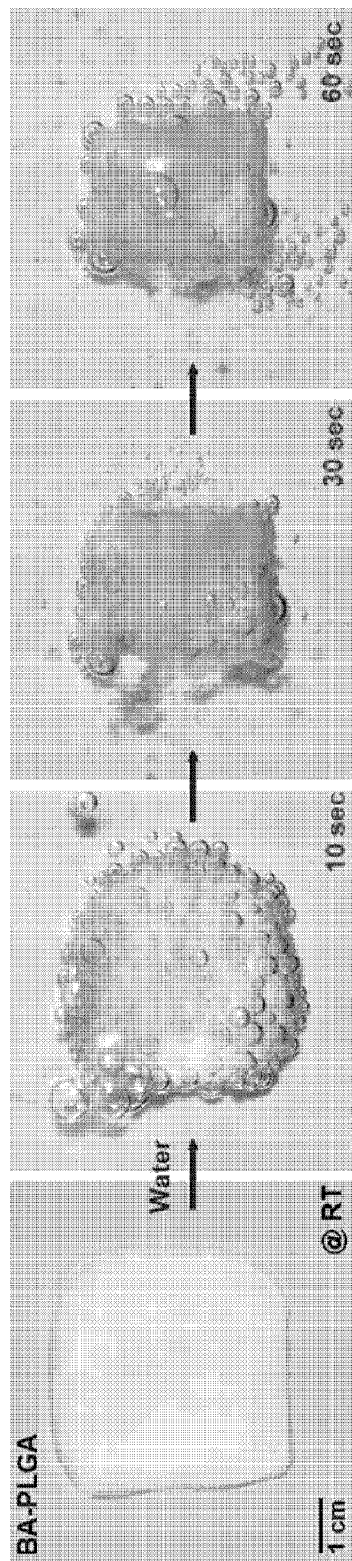
[도11]



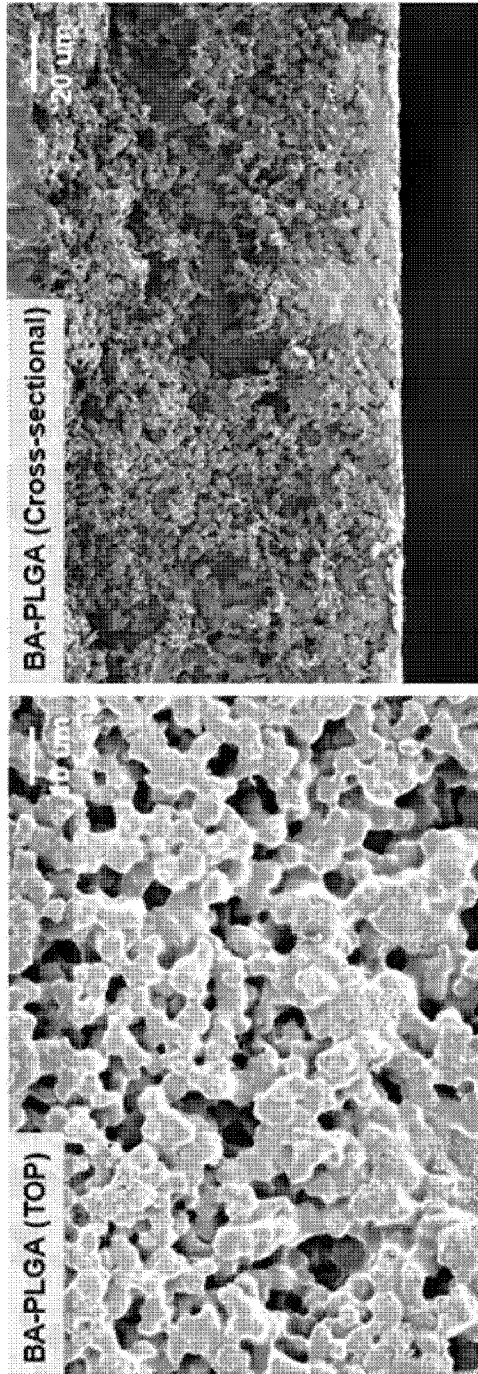
[도12]



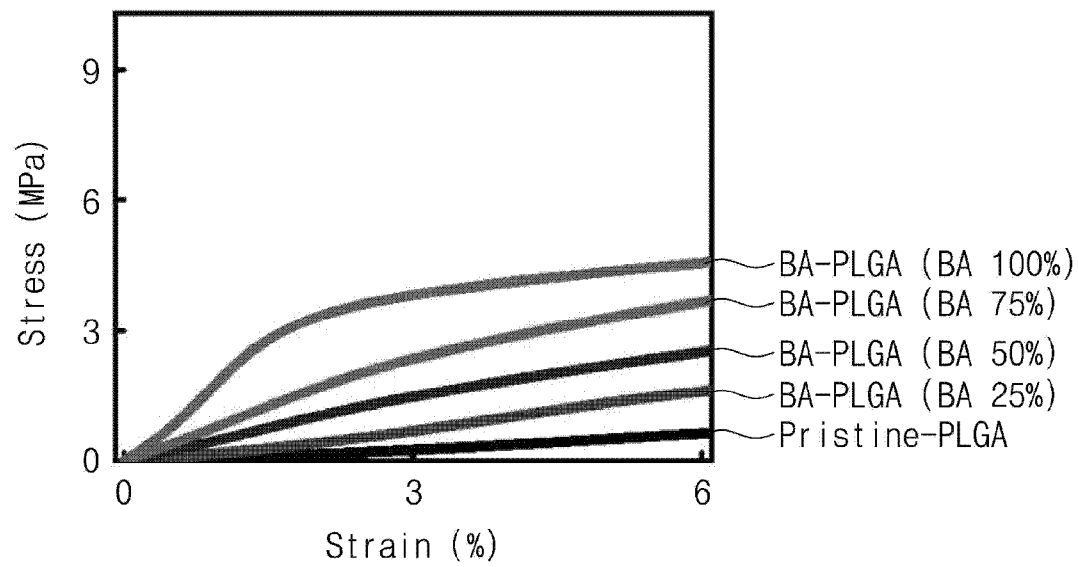
[도13]



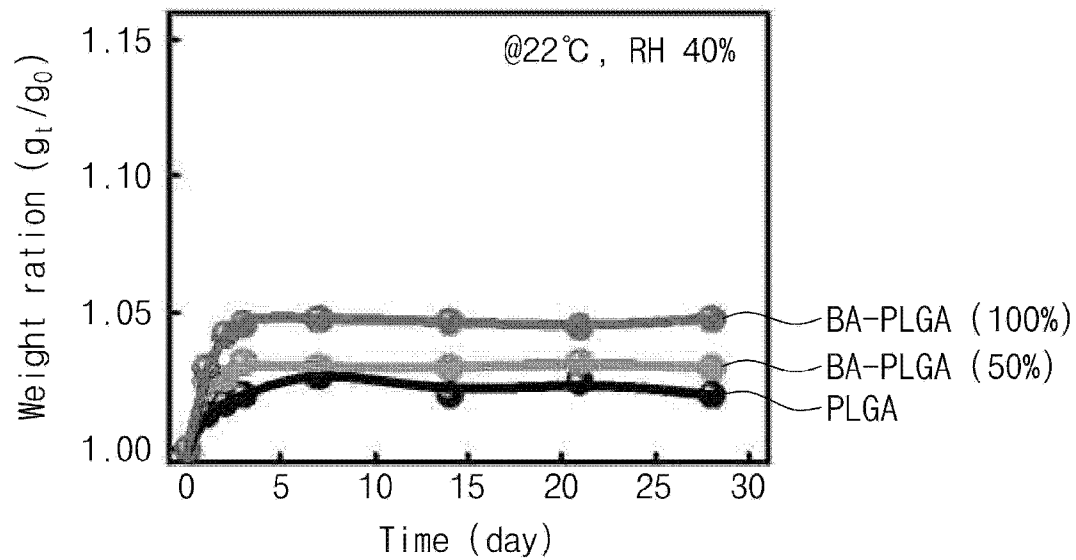
[도 14]



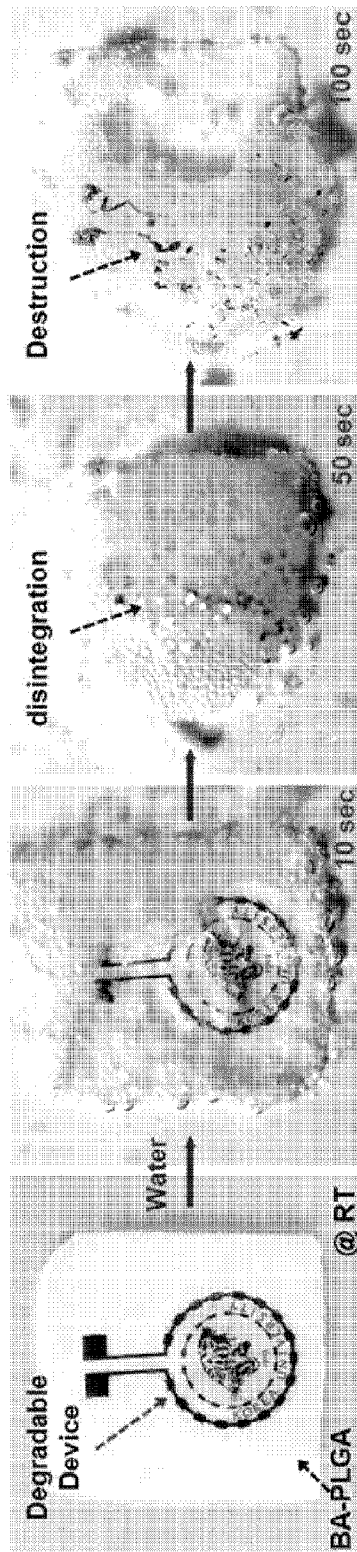
[도15]



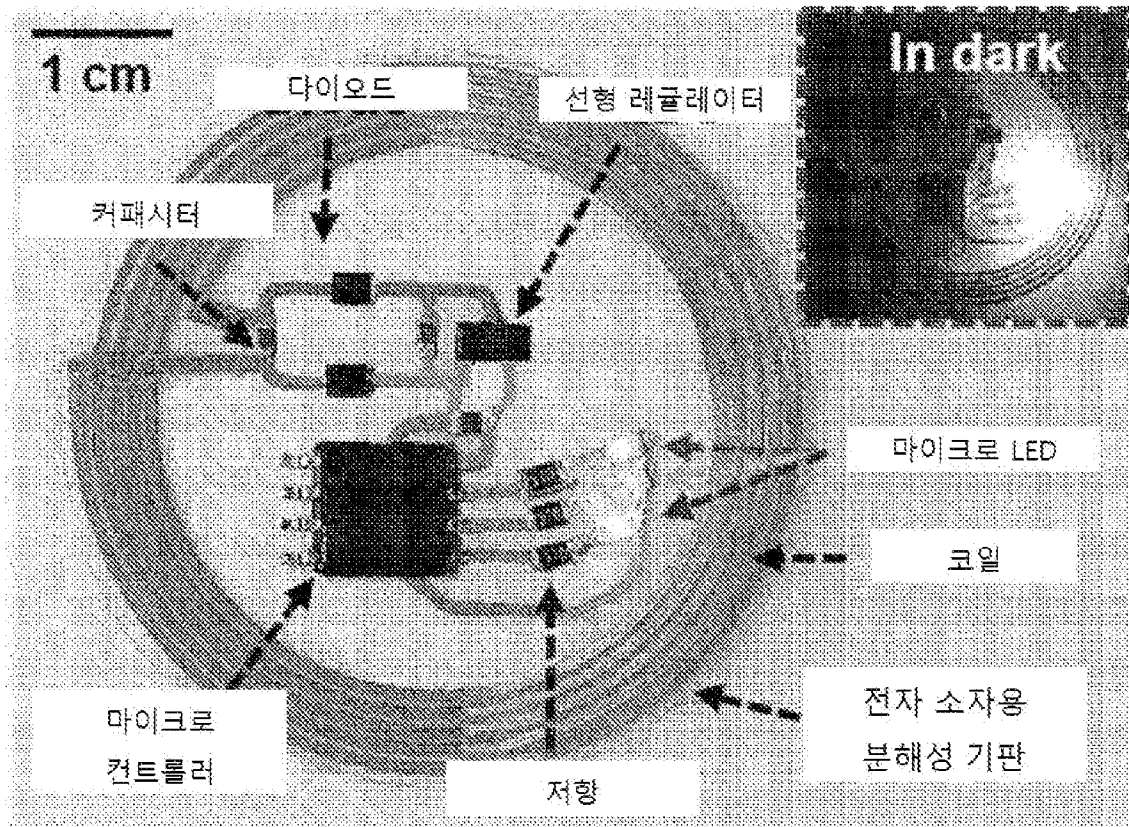
[도16]



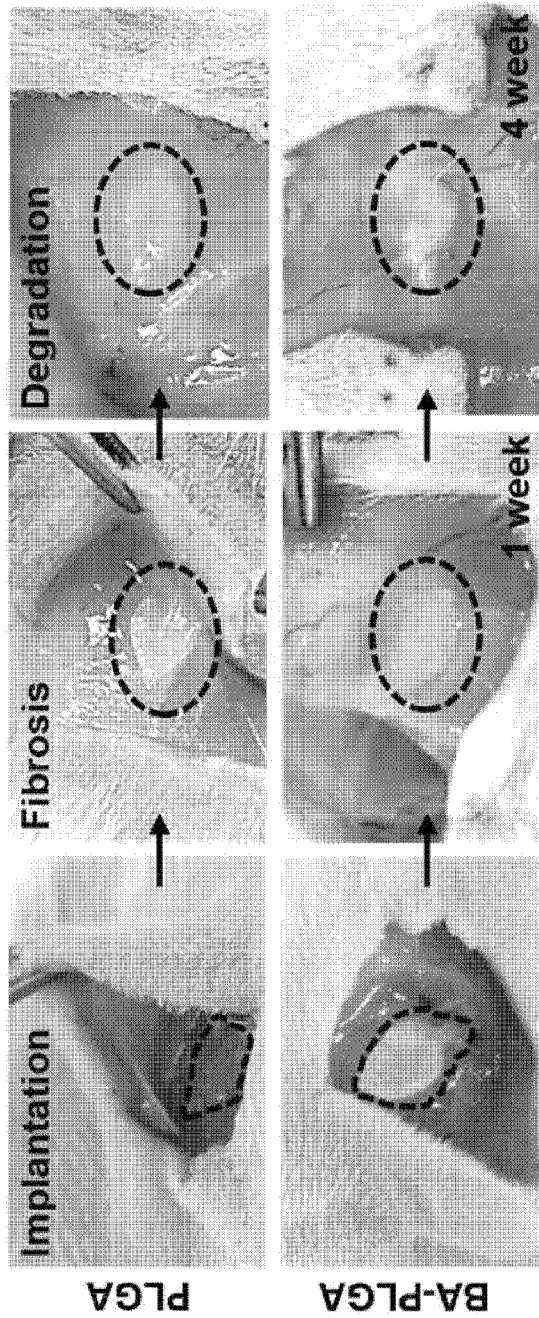
[도17]



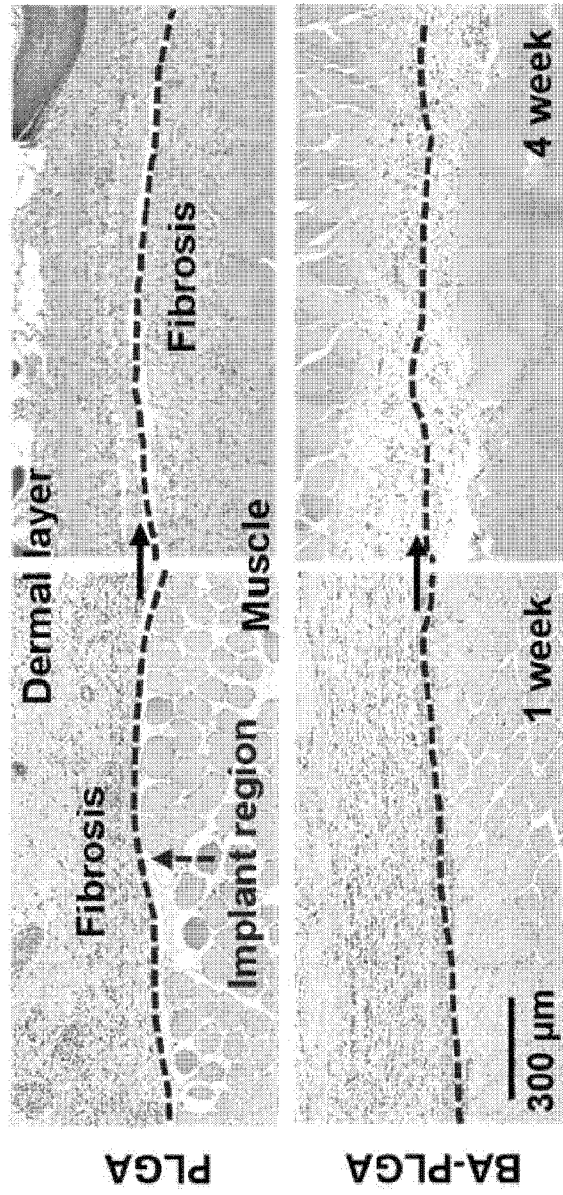
[도 18]



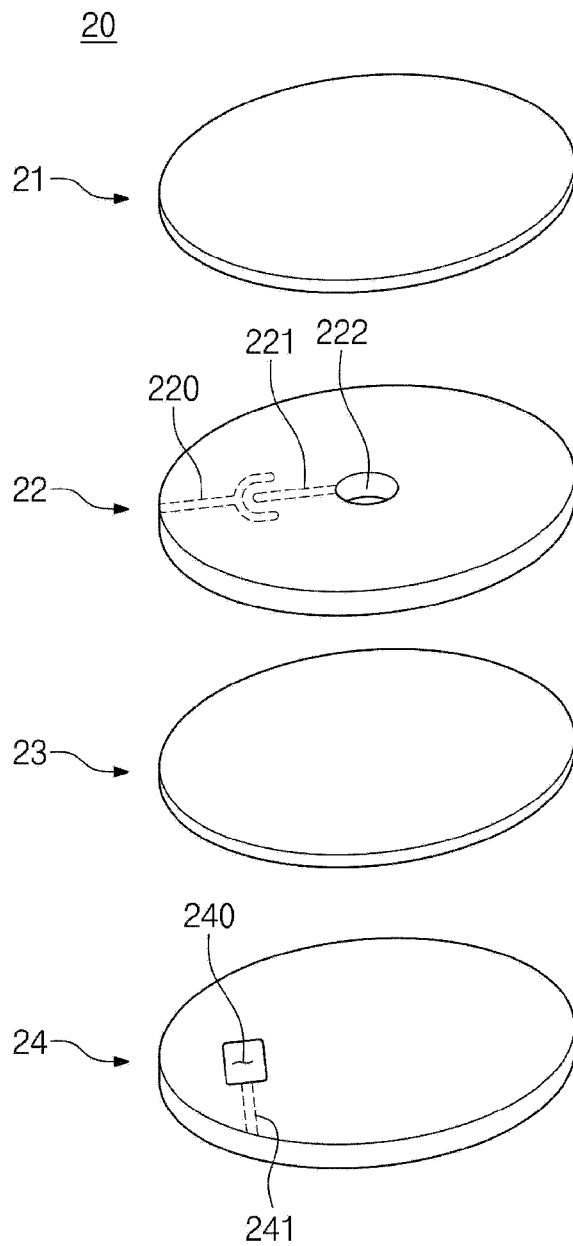
[도19]



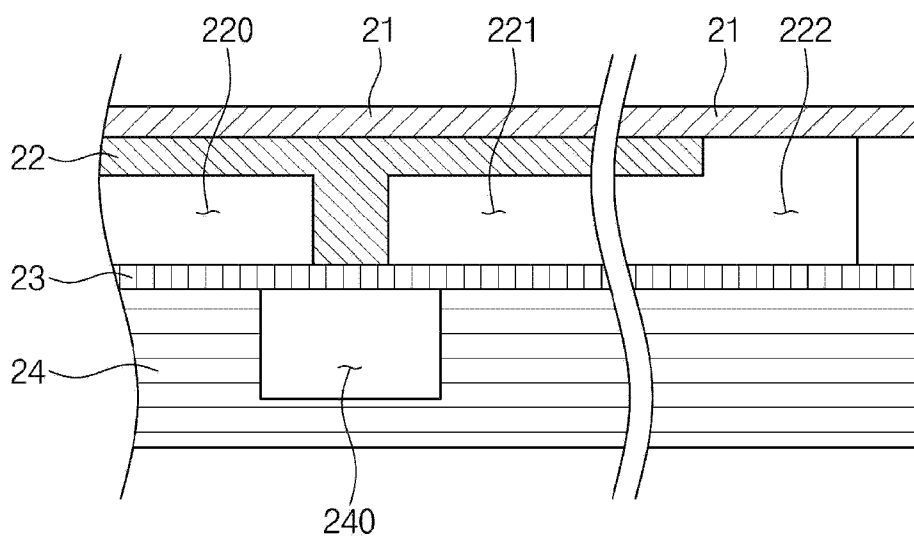
[도20]



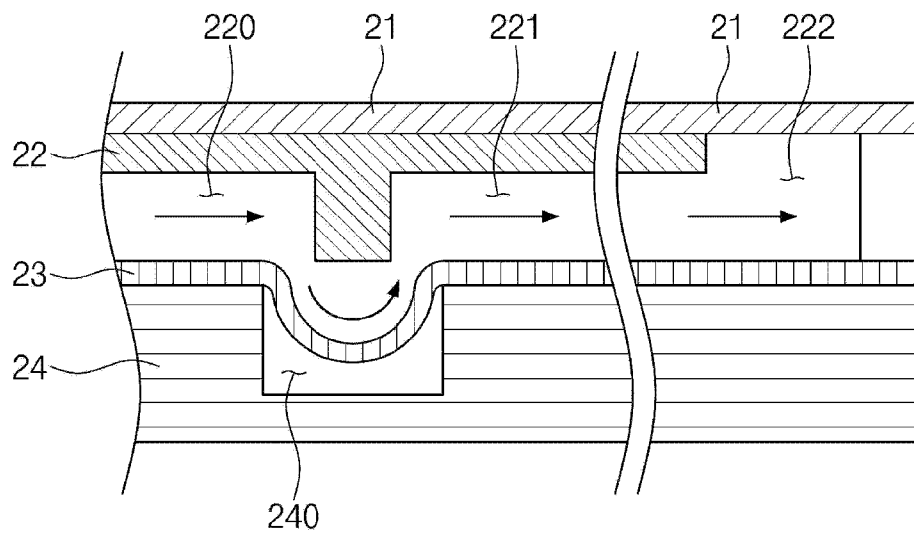
[도21]



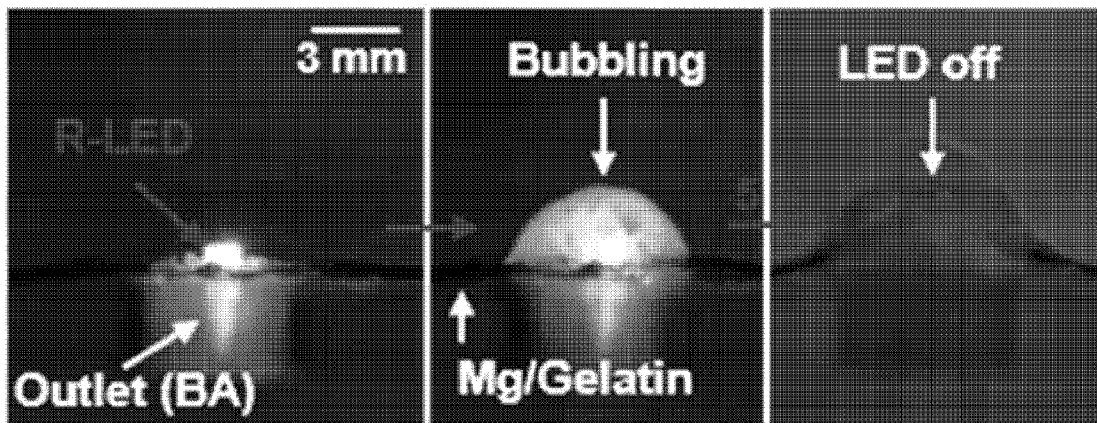
[도22]



[도23]



[도24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2022/018364

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H05K 1/03(2006.01)i; C09H 5/00(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H05K 1/03(2006.01); B09B 3/00(2006.01); C08L 101/16(2006.01); H01B 1/20(2006.01); H01L 21/469(2006.01); H01L 23/00(2006.01); H01L 23/28(2006.01); H05K 3/46(2006.01) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models: IPC as above Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 고분자 물질(polymeric substance), 분해성 기판(degradable substrate), 기포(bubble), 혼합(mixture), 입자(particles)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KR 10-2325518 B1 (RESEARCH & BUSINESS FOUNDATION SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY) 11 November 2021 (2021-11-11) See paragraph [0040]; claim 5; and figure 1.	1-3,7-13
A		4-6,14-18
Y	JP 2011-176076 A (EMPIRE TECHNOLOGY DEVELOPMENT LLC.) 08 September 2011 (2011-09-08) See paragraphs [0007] and [0025]; and figure 1.	1-3,7-8,12
Y	SHIN, Jeong-Woong et al. Biologically Safe, Degradable Self-Destruction System for On-Demand, Programmable Transient Electronics. ACS Nano. pp. A-K, 29 November 2021. See pages A and D-E; and figure 4. * This document is a document 'declaring exceptions to lack of novelty' in an earlier application that serves as a basis for claiming priority of the present international application.	3,8-13
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 25 April 2023		Date of mailing of the international search report 25 April 2023
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208 Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2022/018364**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2009-0017323 A1 (WEBB, Richard J. et al.) 15 January 2009 (2009-01-15) See paragraphs [0063]-[0066]; and figure 1.	1-18
A	JP 2012-160579 A (TOSHIBA CORP.) 23 August 2012 (2012-08-23) See paragraphs [0013]-[0022]; and figure 1.	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2022/018364

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
KR	10-2325518	B1	11 November 2021	None	
JP	2011-176076	A	08 September 2011	JP 4657369 B1	23 March 2011
				US 2011-0206910 A1	25 August 2011
US	2009-0017323	A1	15 January 2009	US 2009-0017248 A1	15 January 2009
				WO 2010-025047 A2	04 March 2010
				WO 2010-025047 A3	16 December 2010
JP	2012-160579	A	23 August 2012	None	

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H05K 1/03(2006.01)i; C09H 5/00(2006.01)i																				
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H05K 1/03(2006.01); B09B 3/00(2006.01); C08L 101/16(2006.01); H01B 1/20(2006.01); H01L 21/469(2006.01); H01L 23/00(2006.01); H01L 23/28(2006.01); H05K 3/46(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 고분자 물질(polymeric substance), 분해성 기판(degradable substrate), 기포(bubble), 혼합(mixture), 입자(particles)																				
C. 관련 문헌 <table border="1"> <thead> <tr> <th>카테고리*</th> <th>인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재</th> <th>관련 청구항</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>KR 10-2325518 B1 (성균관대학교산학협력단) 2021.11.11 단락 40; 청구항 5; 및 도면 1</td> <td>1-3,7-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>4-6,14-18</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2011-176076 A (EMPRIE TECHNOLOGY DEVELOPMENT LLC.) 2011.09.08 단락 7, 25; 및 도면 1</td> <td>1-3,7-8,12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JEONG-WOONG SHIN 등. Biologically Safe, Degradable Self-Destruction System for On-Demand, Programmable Transient Electronics. ACS Nano. 페이지 A-K. 2021.11.29 페이지 A, D-E; 및 도면 4 ※ 위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원에서 ‘공지예외주장’된 문헌임</td> <td>3,8-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2009-0017323 A1 (RICHARD J. WEBB 등) 2009.01.15 단락 63-66; 및 도면 1</td> <td>1-18</td> </tr> </tbody> </table>			카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항	Y	KR 10-2325518 B1 (성균관대학교산학협력단) 2021.11.11 단락 40; 청구항 5; 및 도면 1	1-3,7-13	A		4-6,14-18	Y	JP 2011-176076 A (EMPRIE TECHNOLOGY DEVELOPMENT LLC.) 2011.09.08 단락 7, 25; 및 도면 1	1-3,7-8,12	Y	JEONG-WOONG SHIN 등. Biologically Safe, Degradable Self-Destruction System for On-Demand, Programmable Transient Electronics. ACS Nano. 페이지 A-K. 2021.11.29 페이지 A, D-E; 및 도면 4 ※ 위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원에서 ‘공지예외주장’된 문헌임	3,8-13	A	US 2009-0017323 A1 (RICHARD J. WEBB 등) 2009.01.15 단락 63-66; 및 도면 1	1-18
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항																		
Y	KR 10-2325518 B1 (성균관대학교산학협력단) 2021.11.11 단락 40; 청구항 5; 및 도면 1	1-3,7-13																		
A		4-6,14-18																		
Y	JP 2011-176076 A (EMPRIE TECHNOLOGY DEVELOPMENT LLC.) 2011.09.08 단락 7, 25; 및 도면 1	1-3,7-8,12																		
Y	JEONG-WOONG SHIN 등. Biologically Safe, Degradable Self-Destruction System for On-Demand, Programmable Transient Electronics. ACS Nano. 페이지 A-K. 2021.11.29 페이지 A, D-E; 및 도면 4 ※ 위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원에서 ‘공지예외주장’된 문헌임	3,8-13																		
A	US 2009-0017323 A1 (RICHARD J. WEBB 등) 2009.01.15 단락 63-66; 및 도면 1	1-18																		
☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.																				
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌																				
국제조사의 실제 완료일 2023년04월25일(25.04.2023)		국제조사보고서 발송일 2023년04월25일(25.04.2023)																		
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 박혜련 전화번호 +82-42-481-3463																		

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	JP 2012-160579 A (TOSHIBA CORP.) 2012.08.23 단락 13-22; 및 도면 1	1-18

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2325518 B1	2021/11/11	없음	
JP 2011-176076 A	2011/09/08	JP 4657369 B1	2011/03/23
		US 2011-0206910 A1	2011/08/25
US 2009-0017323 A1	2009/01/15	US 2009-0017248 A1	2009/01/15
		WO 2010-025047 A2	2010/03/04
		WO 2010-025047 A3	2010/12/16
JP 2012-160579 A	2012/08/23	없음	