



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0069080
(43) 공개일자 2019년06월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01J 13/02 (2006.01) B01J 19/10 (2018.01)
B22F 9/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01J 13/02 (2013.01)
B01J 19/10 (2018.01)
(21) 출원번호 10-2017-0169461
(22) 출원일자 2017년12월11일
심사청구일자 2017년12월11일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
박장웅
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
박영근
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김소연
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
전용준

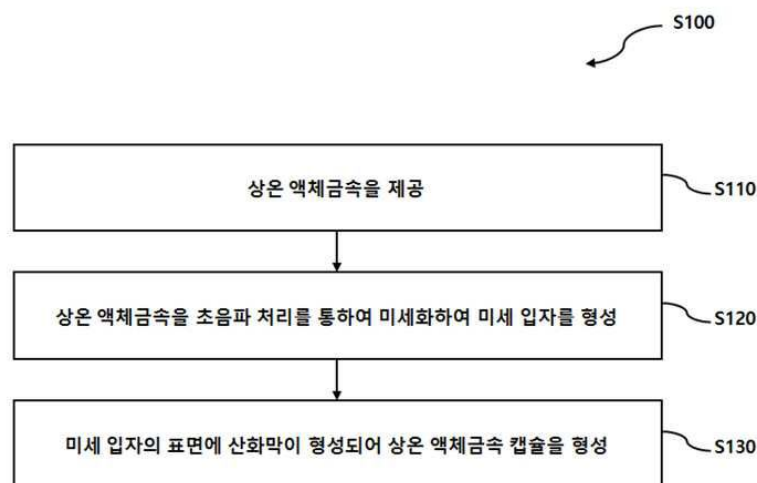
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 상온 액체금속 캡슐 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명은, 상온에서 액체 상태로 존재하여 압력에 의하여 전도 경로를 형성하고 자가 치유가 가능한 상온 액체 금속 캡슐 및 그 제조 방법을 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법은, 상온 액체금속을 제공하는 단계; 상기 상온 액체금속을 초음파 처리를 통하여 미세화하여 미세 입자를 형성하는 단계; 및 상기 미세 입자의 표면에 산화막이 형성되어 상온 액체금속 캡슐을 형성하는 단계;를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B22F 9/24 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10080577

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 전자정보디바이스산업원천기술개발

연구과제명 고전도성 ($> 1,000,000 \text{ S/m}$), 신축성 배선 용 상온 소결 금속 페이스트 개발

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2017.07.01 ~ 2018.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

상온 액체금속을 제공하는 단계;

상기 상온 액체금속을 초음파 처리를 통하여 미세화하여 미세 입자를 형성하는 단계; 및

상기 미세 입자의 표면에 산화막이 형성되어 상온 액체금속 캡슐을 형성하는 단계;를 포함하는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 초음파 처리의 시간이 증가됨에 따라 상기 미세 입자의 직경이 감소되는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 초음파 처리는 표면파를 이용하여 수행되거나, 또는 투과파를 이용한 후에 표면파를 이용하여 수행되는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 투과파는 0 분 초과 내지 60 분의 범위 동안 수행되는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 초음파 처리는 10 °C 내지 100 °C 범위의 온도에서 수행되는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 초음파 처리는 1 분 내지 24 시간 범위 동안 수행되는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 상온 액체금속을 제공하는 단계는, 상기 상온 액체금속을 물, 메탄올, 에탄올, 아이소프로필 알코올, 아세톤, 알파-터피놀, 및 메틸피릴리돈 중 적어도 어느 하나의 용매 내에 투입하여 수행되는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 상온 액체금속은 갈륨, 인듐, 주석, 금, 은, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금을 포함하는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 상온 액체금속은 갈륨, 인듐, 갈린스탄, EGaIn, 금, 은, 주석, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 산화막은 0.1 nm 내지 30 nm 범위의 두께를 가지는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 상온 액체금속 캡슐은 100 nm 내지 1 mm 범위의 직경을 가지는, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법.

청구항 12

갈륨, 인듐, 갈린스탄, EGaIn, 금, 은, 주석, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금 중 적어도 어느 하나의 액체금속을 내부에 포함하고, 표면에 0.1 nm 내지 30 nm 범위의 두께의 산화막이 형성되어 있고, 100 nm 내지 1 mm 범위의 직경을 가지는, 상온 액체금속 캡슐.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 상온 액체금속 캡슐은 1 kPa 내지 50 MPa 범위의 압력을 가하면 소결에 의하여 결합되어 전도 경로를 형성하는, 상온 액체금속 캡슐.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 전자 장치용 배선에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 상온 액체금속 캡슐 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에, 완곡 예지 전자기기, 플렉서블 전자 기기, 웨어러블 전자기기, 폴더블 전자기기, 스트레처블 전자기기 등에 대한 관심이 증가되고 있다. 이러한 전자 기기들은 10 mm 이하의 곡률 반경과 반복적인 굽힘에 대한 신뢰성을 요구하므로, 기존의 강성 소재와는 다른 연성 소재의 필요성이 대두되고 있다.

[0003] 예를 들어 폴더블 전자기기의 경우에는, 디스플레이가 접히는 힌지 부분에 곡률 반경 1 mm 이하의 변형이 발생하며, 최대 30 % 수준의 인장 변형율을 견디는 신축성이 필요하고, 반복 굽힘에 대한 신축 신뢰성이 필요하다. 또한, 이러한 굽힘에 따라 발생하는 전극의 손상에 대한 자가 치유가 요구된다.

[0004] 종래의 전자 장치의 패키지 공정을 이용하는 경우에는 신축성 기판의 높은 열적 팽창율에 의하여 공정의 한계가 있고, 예를 들어 긴 경화 시간으로 인하여 신축성 기판이 팽창될 수 있고, 따라서 경성 물질로 구성된 배선이나 접속부가 이러한 팽창에 상응하지 못하여 파손될 우려가 있다. 또한, 전기접속을 위한 솔더볼이나 와이어는 금, 구리, 알루미늄 등 상대적으로 신축성이 낮은 재료를 사용하므로, 제조 공정 시 열과 압력이 필요하여 엘라스토머와 같은 신축성 물질을 기판으로 사용하기 어렵다. 따라서, 상온에서 액체 상태로 존재하여 압력에 의하여 전도 경로를 형성하고 자가 치유가 가능함으로써, 플렉시블 전자장치에 적용될 수 있는 전도 물질의 개발이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 미국특허출원번호 제US 20130244037 A1호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 상온에서 액체 상태로 존재하여 압력에 의하여 전도 경로를 형성하고 자가 치유가 가능한 상온 액체금속 캡슐 및 그 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법은, 상온 액체금속을 제공하는 단계; 상기 상온 액체금속을 초음파 처리를 통하여 미세화하여 미세 입자를 형성하는 단계; 및 상기 미세 입자의 표면에 산화막이 형성되어 상온 액체금속 캡슐을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0009] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 초음파 처리의 시간이 증가됨에 따라 상기 미세 입자의 직경이 감소될 수 있다.

[0010] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 초음파 처리는 표면파를 이용하여 수행되거나, 또는 투과파를 이용하여 후에 표면파를 이용하여 수행될 수 있다.

[0011] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 투과파는 0 분 초과 내지 60 분의 범위 동안 수행될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 초음파 처리는 10 °C 내지 100 °C 범위의 온도에서 수행될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 초음파 처리는 1 분 내지 24 시간 범위 동안 수행될 수 있다.

[0014] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 상온 액체금속을 제공하는 단계는, 상기 상온 액체금속을 물, 메탄올, 에탄올, 아이소프로필 알코올, 아세톤, 알파-터피놀, 및 메틸피릴리돈 중 적어도 어느 하나의 용매 내에 투입하여 수행될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 상온 액체금속은 갈륨, 인듐, 주석, 금, 은, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금을 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 상온 액체금속은 갈륨, 인듐, 갈린스탄, EGaIn, 금, 은, 주석, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 산화막은 0.1 nm 내지 30 nm 범위의 두께를 가질 수 있다.

[0018] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 상온 액체금속 캡슐은 100 nm 내지 1 mm 범위의 직경을 가질 수 있다.

[0019] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 상온 액체금속 캡슐은, 갈륨, 인듐, 갈린스탄, EGaIn, 금, 은, 주석, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금 중 적어도 어느 하나의 액체금속을 내부에 포함하고, 표면에 0.1 nm 내지 30 nm 범위의 두께의 산화막이 형성되어 있고, 100 nm 내지 1 mm 범위의 직경을 가질 수 있다.

[0020] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 상온 액체금속 캡슐은 1 kPa 내지 50 MPa 범위의 압력을 가하면 소결에 의하여 결합되어 전도 경로를 형성할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명의 기술적 사상에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법은, 갈륨, 인듐, 갈린스탄, EGaIn, 금, 은, 주석, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금 중 적어도 어느 하나의 액체금속을 내부에 포함하고, 표면에 0.1 nm 내지 30 nm 범위의 두께의 산화막이 형성되어 있고, 100 nm 내지 1 mm 범위의 직경을 가지는 상온 액체금속 캡슐을 형성한다. 또한, 상기 상온 액체금속 캡슐은 압력을 가하면 소결에 의하여 결합되어 전도 경로를 형성하고, 자가 치유가 가능하다. 상온 액체금속 캡슐은 전기적 접합을 위해 열이 필요하지 않으므로 상온에서 사용될 수 있고, 매우 적은 압력으로도 전기적 접합이 가능하여 물리적/열적 강도가 약한 유연 기관에

서의 통전 재료로써 용이하게 사용될 수 있다. 상기 상온 액체금속 캡슐은 유연성 솔더볼, 전도성 필름, 또는 전도성 페이스트의 필러 등으로 사용될 수 있다. 상기 상온 액체금속 캡슐은 상기 액체금속이 액체 상태이므로 변형이 자유롭고 금속 수준의 전기 전도도를 가지므로, 완곡 에지 전자기기, 플렉서블 전자 기기, 웨어러블 전자기기, 폴더블 전자기기, 스트레처블 전자기기 등에 적용이 가능하다.

[0022] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐의 모식도이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐을 나타내는 사진들이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 초음파 처리시간에 따른 상온 액체금속 캡슐의 형상과 크기를 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐의 직경과 초음파 처리시간의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 초음파 종류에 따른 상온 액체금속 캡슐의 직경을 나타내는 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 초음파 종류에 따른 상온 액체금속 캡슐의 직경과 초음파 처리시간의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐이 소결에 의하여 결합된 형상을 나타내는 광학현미경 사진이다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐의 소결 전후의 전압과 전류 관계를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐의 인장력 인가 전후에 대한 치유 과정을 나타내는 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.

[0025] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법(S100)을 도시하는 흐름도이다.

[0026] 도 1을 참조하면, 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법(S100)은, 상온 액체금속을 제공하는 단계(S110); 상기 상온 액체금속을 초음파 처리하여 미세화하여 미세 입자를 형성하는 단계(S120); 및 상기 미세 입자의 표면에 산화막이 형성되어 상온 액체금속 캡슐을 형성하는 단계(S130);를 포함한다.

[0027] 상기 상온 액체금속을 제공하는 단계(S110)는 상기 상온 액체금속을 물, 메탄올, 에탄올, 아이소프로필 알코올, 아세톤, 알파-터피놀, 및 메틸피리리돈 중 적어도 어느 하나의 용매 내에 투입하여 수행될 수 있다. 그러나 이는 예시적이며, 상기 용매는 다른 중성 극성 용매를 포함하는 경우도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다.

[0028] 상기 상온 액체금속은 상온에서, 예를 들어 20 °C 내지 30 °C 범위의 온도에서, 액상을 나타내는 금속을 포함할

수 있다. 상기 상온 액체금속은, 예를 들어 갈륨, 인듐, 주석, 금, 은, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금을 포함할 수 있고, 예를 들어 갈륨, 인듐, 갈린스탄(Galinstan), EGaIn(eutectic gallium and indium), 금, 은, 주석, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 상기 갈린스탄은 갈륨, 인듐, 주석의 합금으로서, 예를 들어 68.5%의 갈륨, 21.5%의 인듐, 및 10%의 주석을 포함한 합금일 수 있다. 상기 "공정(eutectic)"은 2종 이상의 합금 원소가 용융 상태로는 균일하게 서로 용합하지만 이것을 서냉하면 용액이 일정 온도에서 동시에 2종 이상의 결정체로 변환하여 생긴 미세한 결정입자의 혼합물을 의미한다.

[0029] 표 1은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐을 구성할 수 있는 상기 상온 액체금속의 특성을 나타내는 표이다.

표 1

[0030]

특성	물 (25℃)	수은	갈륨	EGaIn	갈린스탄
밀도 (kg/m ³)	998	13533	6093	6280	6440
점도 (Pa s)	1x10 ⁻³	1526x10 ⁻³	137x10 ⁻³	199x10 ⁻³	24x10 ⁻³
표면장력 (N/m)	72x10 ⁻³	487x10 ⁻³	707x10 ⁻³	624x10 ⁻³	718x10 ⁻³
비열 (J/kgK)	4183	140	410	404	295
열전도도 (W/mK)	0.6	8.5	29.3	26.6	16.5
전기전도도 (S/m)	<5x10 ⁻⁴	1.04x10 ⁶	6.73x10 ⁶	3.4x10 ⁶	3.46x10 ⁶
융점(℃)	0	-38.8	29.8	15.5	-19
비등점(℃)	100	356	2205	2000	>1300
증기압(Pa)	3169 (25℃)	1 (42℃)	-10 ⁻³⁵ (29.9℃)	N/A	<1.33x10 ⁻⁶ (500℃)

[0032] 상기 상온 액체금속을 초음파 처리하여 미세화하여 미세 입자를 형성하는 단계(S120)는 상기 초음파 처리는 1 분 내지 24 시간 범위 동안 수행되어 구현될 수 있다. 상기 초음파 처리시간이 증가됨에 따라 상기 미세 입자의 직경이 감소될 수 있다.

[0033] 상기 미세 입자의 표면에 산화막이 형성되어 상온 액체금속 캡슐을 형성하는 단계(S130)는, 상기 미세 입자의 표면에 산화막이 즉각적으로 형성되어 구현되거나 의도적으로 형성하여 구현할 수 있다. 상기 산화막은 0.1 nm 내지 30 nm 범위의 두께를 가질 수 있다. 이에 따라, 상기 상온 액체금속 캡슐은 100 nm 내지 1 mm 범위의 직경을 가질 수 있다. 상기 산화막에 의하여 상기 상온 액체금속 캡슐은 서로 분리될 수 있다.

[0034] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐(100)의 모식도이다.

[0035] 도 2를 참조하면, 상온 액체금속 캡슐(100)은 갈륨, 인듐, 갈린스탄, EGaIn, 금, 은, 주석, 구리, 수은, 납, 비스무트, 카드뮴, 및 이들의 합금 중 적어도 어느 하나의 액체금속(110)을 내부에 포함하고, 표면에 0.1 nm 내지 30 nm 범위의 두께의 산화막(120)이 형성되어 있고, 100 nm 내지 1 mm 범위의 직경을 가질 수 있다.

[0036] 상온 액체금속 캡슐(100)은 상기 액체금속이 액체 상태이므로 변형이 자유롭고 금속 수준의 전기 전도도를 가지므로, 완곡 에지 전자기기, 플렉서블 전자 기기, 웨어러블 전자기기, 폴더블 전자기기, 스트레처블 전자기기 등에 적용이 가능하다. 상온 액체금속 캡슐(100)은 1 kPa 내지 50 MPa 범위의 압력을 가하면 소결에 의하여 결합되어 전도 경로를 형성할 수 있다. 따라서, 배선 형성이 용이하며, 자가 치유가 가능하다.

[0037] 이하에서는 실시예로서 상온 액체금속으로서 EGaIn 을 이용한 경우를 설명하기로 한다.

[0038] 상기 초음파 처리는 Branson 2510 를 사용하여 수행하였다. 상기 초음파 처리는 130 W 및 40 kHz의 초음파를 사용하여 30 ℃에서 수행하였다. 상기 초음파 처리는 10 ℃ 내지 100 ℃ 범위의 온도에서 수행될 수 있다.

[0039] 상기 초음파 처리는 표면파를 이용하여 수행되었다. 그러나, 이는 예시적이며, 상기 초음파 처리를 투과파와 표면파를 이용하여 수행한 경우도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다.

- [0040] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐을 나타내는 사진들이다.
- [0041] 도 3을 참조하면, (a)는 초음파 처리전의 상온 액체금속을 포함한 용액을 나타내고, (b) 및 (c)는 초음파 처리 후의 상온 액체금속 캡슐을 포함한 용액을 나타낸다. (c)에서, 미세 입자로 구성된 상온 액체금속 캡슐이 나타나 있다.
- [0042] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 초음파 처리시간에 따른 상온 액체금속 캡슐의 형상과 크기를 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.
- [0043] 도 4를 참조하면, 초음파 처리시간이 증가됨에 따라 상온 액체금속 캡슐의 크기가 감소되고 균일화되었다. (a)에 나타난 바와 같이, 30 분의 초음파 처리시간에서는 약 50 μm 의 직경을 가지는 상온 액체금속 캡슐이 형성되었고, (e)에 나타난 바와 같이 180 분의 초음파 처리시간에서는 약 500 nm의 직경을 가지는 상온 액체금속 캡슐이 형성되었다. 따라서, 초음파 처리시간에 따라 다른 직경을 가지는 상온 액체금속 캡슐을 크기에 따라 선별적으로 형성할 수 있다.
- [0044] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐의 직경과 초음파 처리시간의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0045] 도 5를 참조하면, 초음파 처리 시간이 증가됨에 따라 상온 액체금속 캡슐의 평균 크기가 감소되었다. 또한, 초음파 처리 시간이 증가됨에 따라 상온 액체금속 캡슐의 표준편차가 감소되었으므로, 상온 액체금속 캡슐이 더 균일한 크기를 가지는 것으로 분석된다. 도 5의 결과는 도 4의 결과와 잘 일치한다.
- [0046] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 초음파 종류에 따른 상온 액체금속 캡슐의 직경을 나타내는 그래프이다.
- [0047] 도 6을 참조하면, 표면과 만을 이용하여 1시간 초음파 처리한 경우와 5 분의 투과파와 이어서 1 시간의 표면파를 순차적으로 이용하여 초음파 처리한 경우의 상온 액체금속 캡슐의 평균 직경과 표준 편차가 나타나 있다. 상기 평균 직경은 거의 동일하였다. 그러나, 표준 편차는 투과파 및 표면파를 이용한 경우가 작게 나타났으며, 이는 상기 상온 액체금속 캡슐의 균질도가 향상된 것으로 분석된다.
- [0048] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 초음파 처리에 따른 상온 액체금속 캡슐의 직경과 초음파 처리시간의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0049] 도 7을 참조하면, 표면과 만을 이용하여 초음파 처리한 경우와 5 분의 투과파와 이어서 표면파를 순차적으로 이용하여 초음파 처리한 경우의 상온 액체금속 캡슐의 평균 직경과 표준 편차가 나타나 있다. 상기 평균 직경은 처리시간이 30분인 경우에는 투과파 및 표면파를 이용한 경우가 작게 나타났고, 다른 처리 시간에서는 거의 동일하였다. 그러나, 표준 편차는 투과파 및 표면파를 이용한 경우가 전반적으로 작게 나타났으며, 이는 상기 상온 액체금속 캡슐의 균질도가 향상된 것으로 분석된다.
- [0050] 상기 5 분의 투과파의 처리 시간은 예시적이며, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니고, 예를 들어 0 분 초과 내지 60 분의 범위를 가질 수 있다.
- [0051] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐이 소결에 의하여 결합된 형상을 나타내는 광학현미경 사진이다.
- [0052] 도 8을 참조하면, 상온 액체금속 캡슐은 50 kPa의 압력이 인가된 후에는 압력을 받은 부분에서만 서로 소결되어 결합되었고, 결과적으로 일방향의 직선 형상의 전도 경로를 형성하였다. 상기 소결은 상기 상온 액체금속 캡슐의 산화막을 파손시켜 상기 액체금속을 유출시켜 서로 연결할 수 있다.
- [0053] 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐의 소결 전후의 전압과 전류 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0054] 도 9를 참조하면, 상온 액체금속 캡슐이 소결되기 전에는 전압이 변화되어도 전류가 0A를 나타내므로, 전류가 흐르지 않았으며, 이는 상온 액체금속 캡슐의 표면에 형성된 산화층 때문에 전도 경로를 제공하지 못하는 것으로 분석된다. 그러나, 상온 액체금속 캡슐이 소결된 후에는 전압 변화에 따라 전류 변화가 나타나며, 이는 소결에 의하여 상온 액체금속 캡슐이 서로 전기적으로 또는 물리적으로 결합되어 전도 경로를 형성하는 것으로 분석된다.

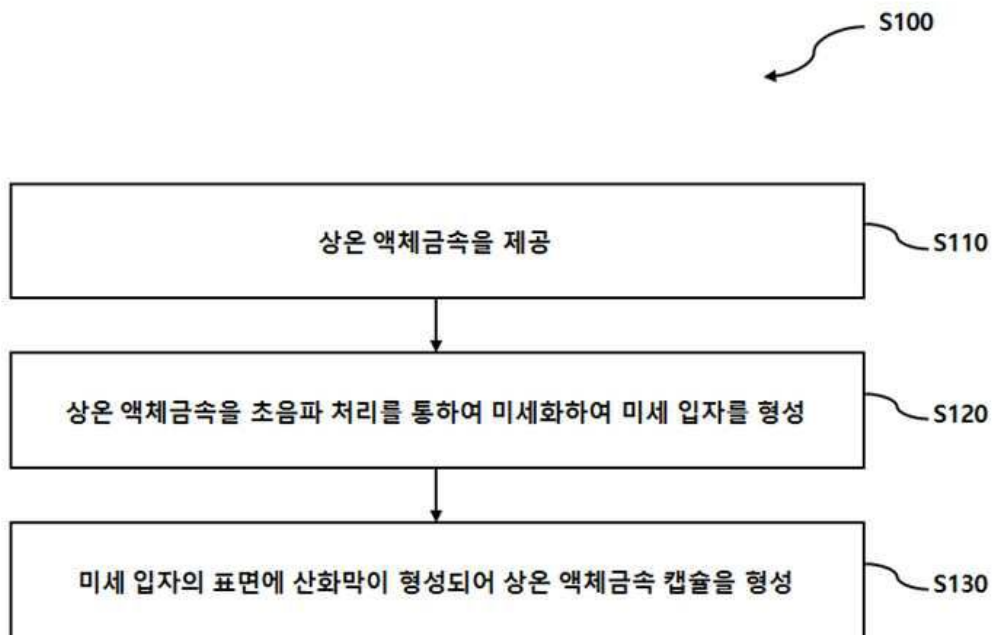
[0055] 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 상온 액체금속 캡슐의 제조 방법을 이용하여 형성한 상온 액체금속 캡슐의 인장력 인가 전후에 대한 치유 과정을 나타내는 모식도이다.

[0056] 도 10을 참조하면, (a)에 도시된 바와 같이 인장력 인가 전인 초기에는 상온 액체금속 캡슐이 분포되어 있다. 상기 상온 액체금속 캡슐 사이는 은 나노입자가 채워져있다. 상기 은 나노입자는 예시적으로, 전도성을 가지는 다른 나노입자를 포함하는 경우도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다. (b)에 도시된 바와 같이 인장력이 인가 되면, 상기 인장력이 주로 걸리는 부분에서 상기 상온 액체금속 캡슐이 인장된다. 상기 상온 액체금속 캡슐은 주어진 인장력의 범위에서는 파괴되지 않고 신장될 수 있다. 따라서, 이러한 변형 하에서도 전도 경로를 유지할 수 있다. (c)에 도시된 바와 같이, 상기 인장력이 제거되면 상기 상온 액체금속 캡슐은 수축되어 원래의 형상으로 되돌아가 치유되며, 전도 경로를 유지할 수 있다. 또한, 상기 상온 액체금속 캡슐은 수축되어 원래의 형상과는 다른 형상을 가지게 되는 경우이거나 또는 상기 인장력에 의하여 파괴되는 경우에도, 상기 상온 액체금속 캡슐의 액체 특성에 기인하여 파괴된 부분 사이가 연결될 수 있으므로, 결과적으로 전도 경로를 유지할 수 있다. 따라서, 상기 상온 액체금속 캡슐은 자연 치유력을 보유할 수 있다.

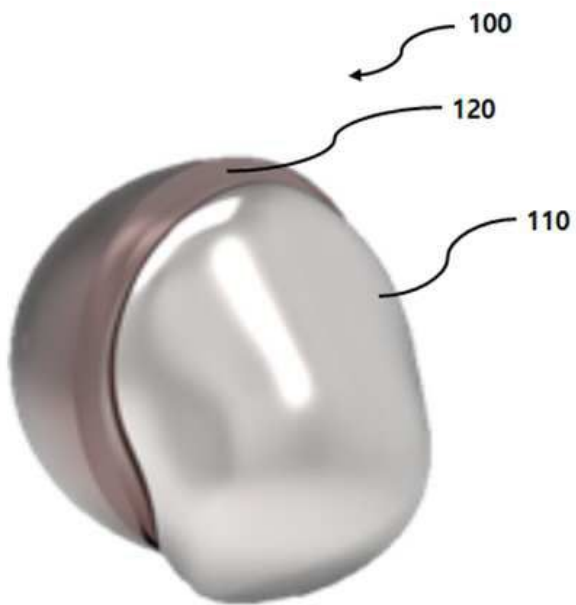
[0057] 이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

도면

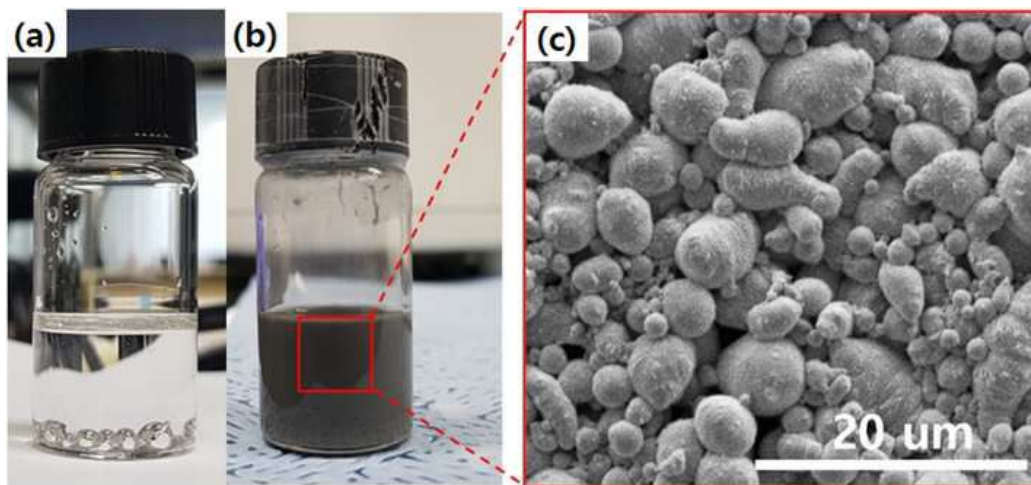
도면1



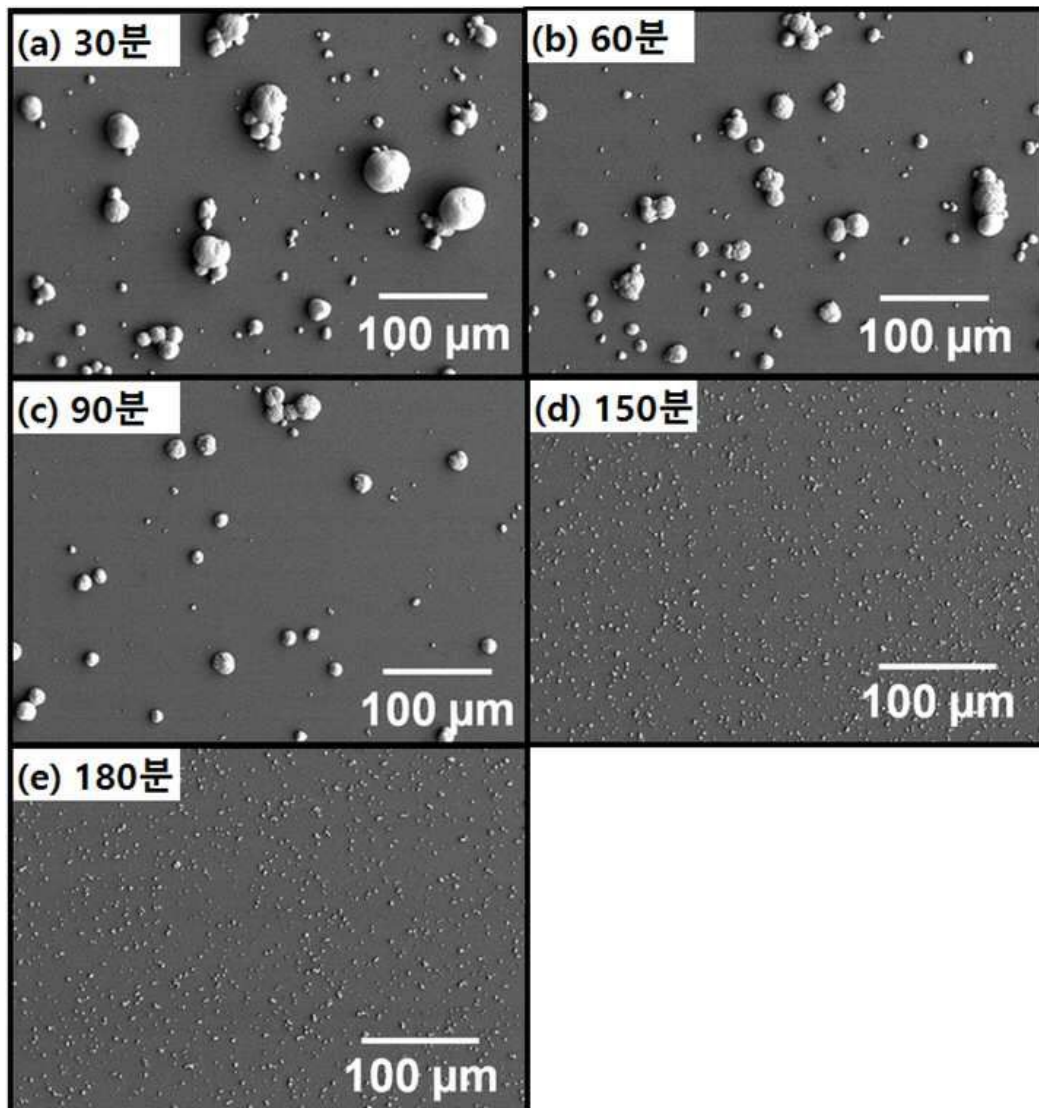
도면2



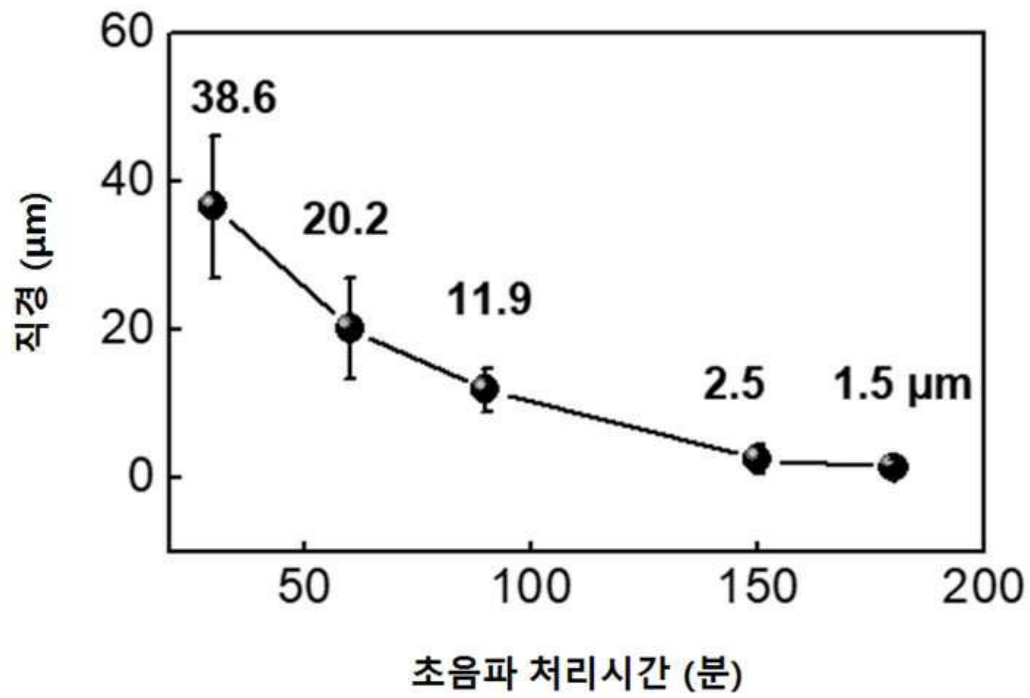
도면3



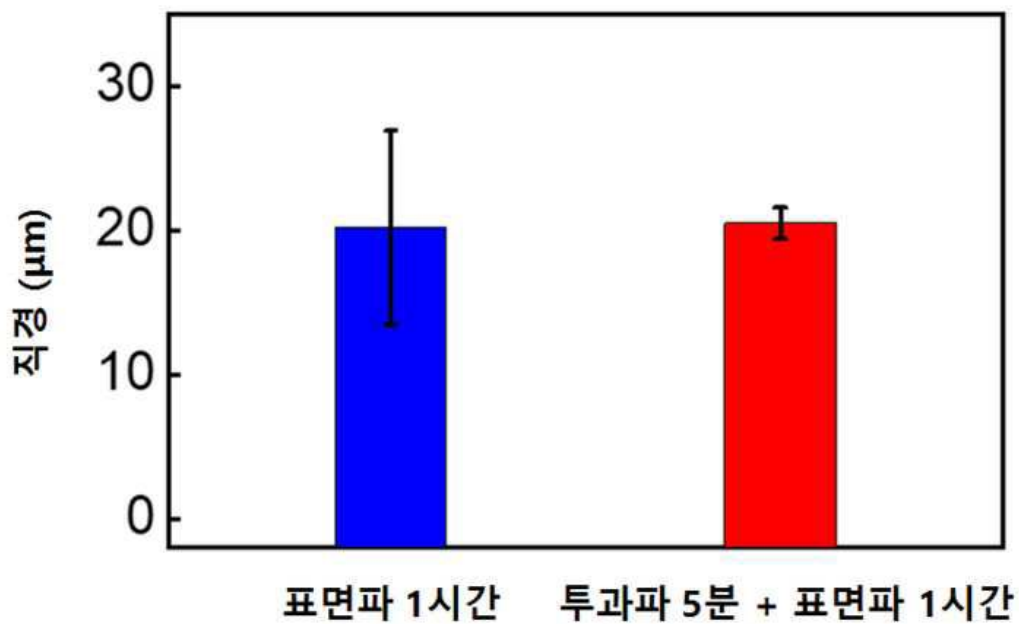
도면4



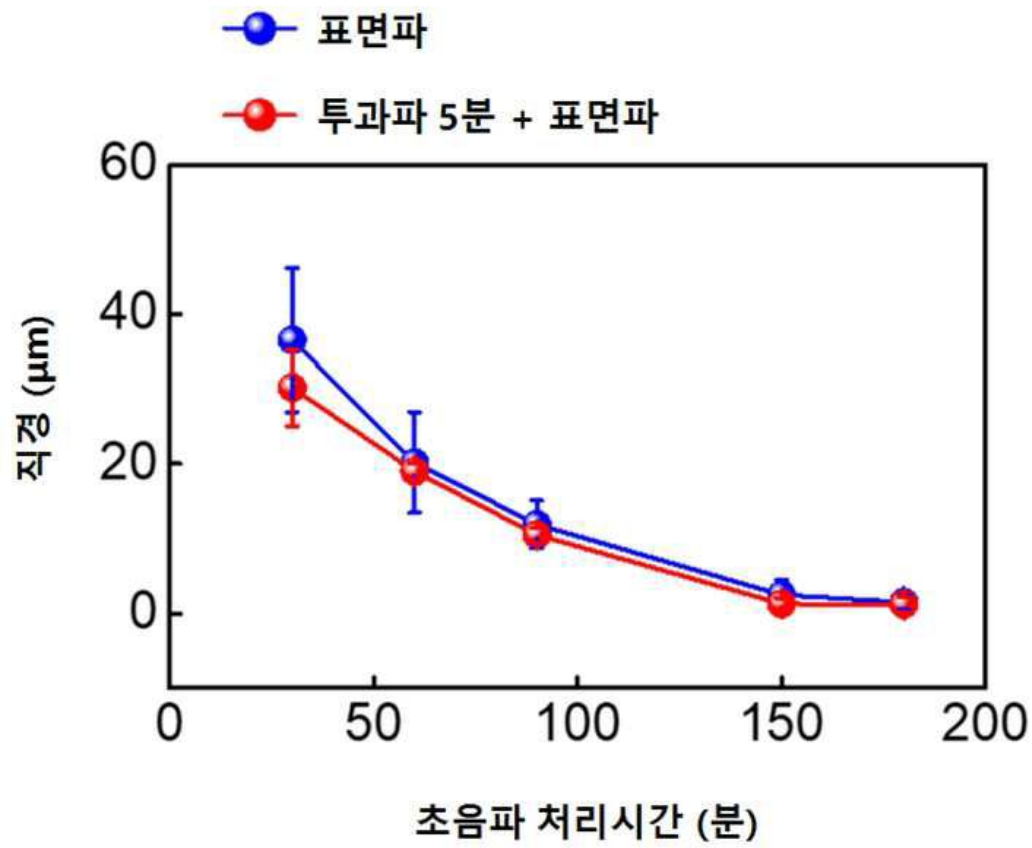
도면5



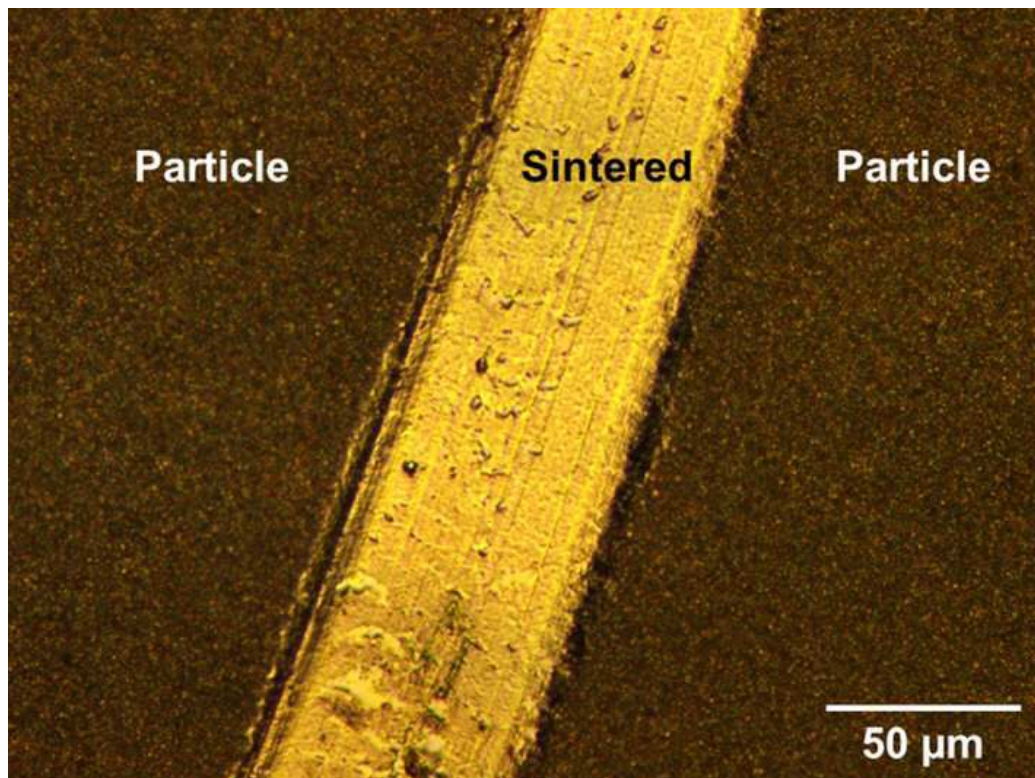
도면6



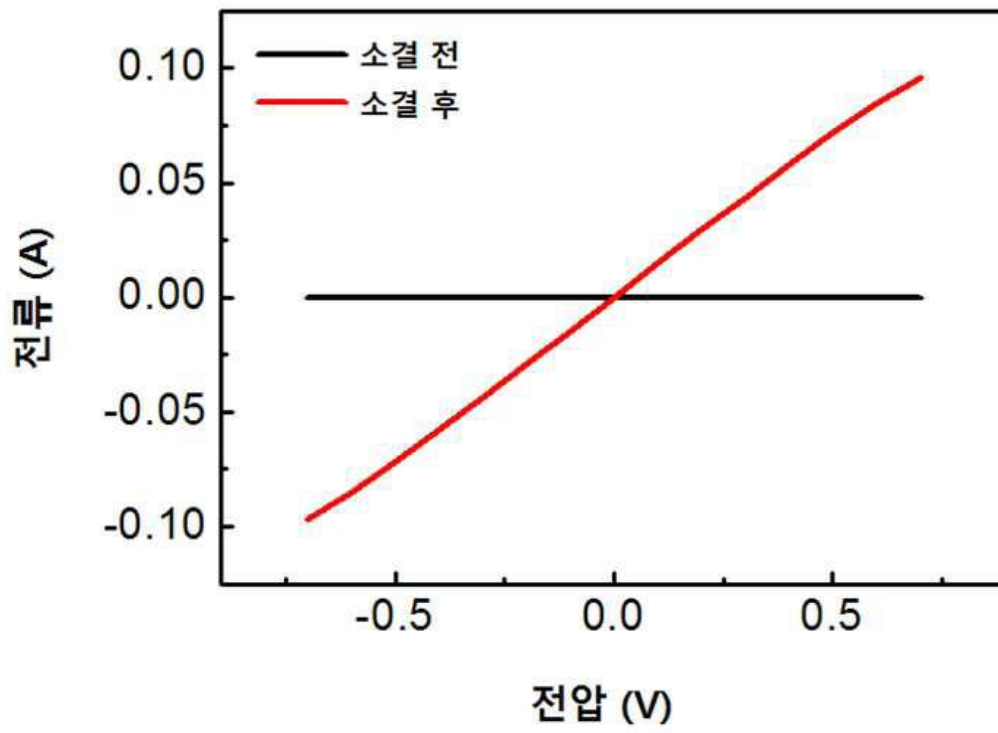
도면7



도면8



도면9



도면10

