



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0061493
(43) 공개일자 2025년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 9/01 (2006.01) B21C 23/01 (2021.01)
B21D 5/08 (2006.01) C22F 1/08 (2006.01)
C23C 14/34 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 9/01 (2013.01)
B21C 23/01 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2023-0145991
(22) 출원일자 2023년10월27일
심사청구일자 2023년10월27일

(71) 출원인
국립금오공과대학교 산학협력단
경상북도 구미시 대학로 61 (양호동)
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
이소연
경상북도 구미시 대학로 61, 신소재공학부 (양호동, 금오공과대학교)
현준혁
경상북도 구미시 대학로 61, 신소재공학부 (양호동, 금오공과대학교)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김중선, 이형석

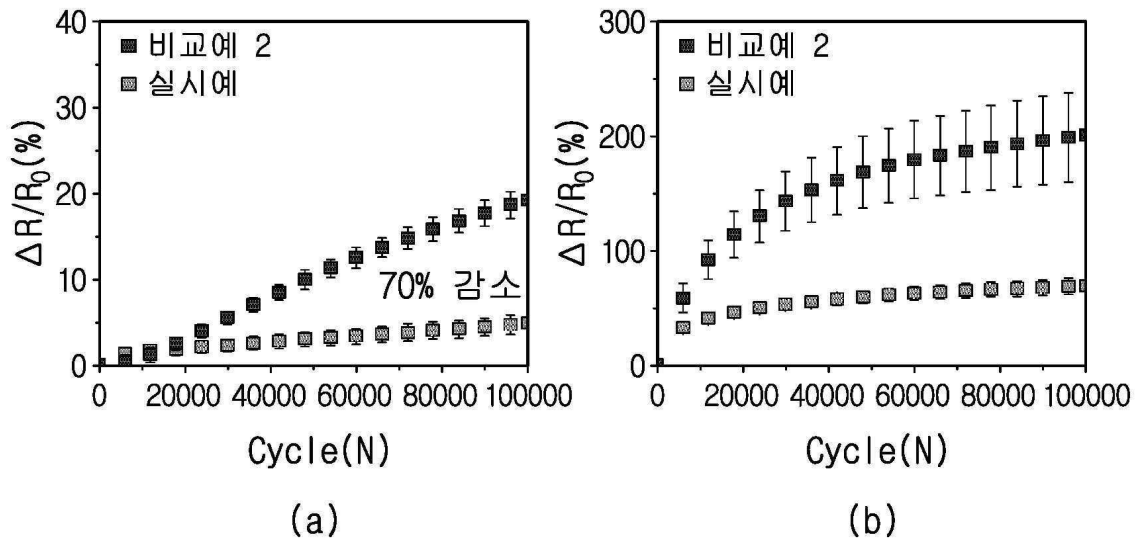
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 알루미늄(Al)을 0.5 내지 4 at.% 함유하고, 잔부가 구리(Cu) 및 불가피한 불순물로 구성되며, 합금의 결정립계는 쌍정계(twin-boundary)인 것을 특징으로 하는, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 내부에 쌍정립의 결정립계를 포함함에 따라, 피로 크랙의 지연이 유도되며, 피로 변형 이후에도 전기저항의 증가를 억제하여 전자소자 배선의 이용이 유리할 수 있다.

대표도 - 도10



(52) CPC특허분류

B21D 5/08 (2013.01)
C22F 1/08 (2013.01)
C23C 14/34 (2013.01)

이선기

서울특별시 관악구 관악로 1, 재료공학부 (신림동, 서울대학교)

(72) 발명자

김은정

경상북도 구미시 대학로 61, 신소재공학부 (양호동, 금오공과대학교)

주영창

서울특별시 관악구 관악로 1, 재료공학부 (신림동, 서울대학교)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345295598
과제번호	2018R1A6A1A03025761
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업-중점연구소지원사업
연구과제명	신소재연구소
기 여 율	34/100
과제수행기관명	금오공과대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2027.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711131885
과제번호	2021R1G1A1003954
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구/생애 첫 연구
연구과제명	고연성의 나노결정 금속재료 설계를 위한 금속재료의 적층 결합 에너지 제어 및 메

커니즘 규명 연구

기 여 율	33/100
과제수행기관명	금오공과대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711179223
과제번호	00208052
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	인간중심 소프트로봇기술 연구센터
기 여 율	33/100
과제수행기관명	서울대학교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

알루미늄(Al)을 0.5 내지 4 at.% 함유하고,
잔부가 구리(Cu) 및 불가피한 불순물로 구성되며,
합금의 결정립계는 쌍정계(twin-boundary)인 것을 특징으로 하는, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 구리-알루미늄 합금은 피로 변형 중에 결정립 미세화되는 것인, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금.

청구항 3

제 2 항에 있어서,
상기 피로 변형 중의 구리-알루미늄 합금의 결정립 크기는 1 내지 80 nm인, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 구리-알루미늄 합금은 1.5% 변형률로 10만 번 피로 변형 이후의 전기저항 증가율이 3 내지 10 %인, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금.

청구항 5

알루미늄(Al)을 0.5 내지 4 at.% 함유하고, 잔부가 구리(Cu) 및 불가피한 불순물을 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계; 및
상기 준비된 금속 재료로 합금을 제조하는 단계;를 포함하고,
상기 제조된 합금의 결정립계는 쌍정계인 것을 특징으로 하는, 전자 배선용 구리-알루미늄 합금의 제조 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,
상기 합금을 제조하는 방법은 DC 스퍼터링법, RF 스퍼터링법, 마그네트론 스퍼터링법 및 반응성 스퍼터링법으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나의 스퍼터링법에 따라 수행되는 것인, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금의 제조 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
상기 스퍼터링법은 10 내지 500 W의 전력으로 수행되는 것인, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금의 제조 방법.

청구항 8

제 5 항에 있어서,
상기 제조 방법은 상기 제조된 합금을 가공하는 단계를 더 포함하고, 상기 가공은 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing) 및 상온 가공으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상의 방법을 통해 수행

되는 것인, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 구리-알루미늄 합금 및 이의 제조 방법에 관한 것으로서, 피로 내성이 우수한 구리-알루미늄 합금 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근의 전자기기들은 기존의 딱딱한 형태에서 휘어지거나 굽혀지는 형태로 진화하고 있으며, 특히 폴더블 스마트폰의 등장으로 반복적으로 접히는 형태의 전자기기들이 시장에 공급되기 시작했다.

[0003] 폴더블 전자기기의 문제는 접히는 부분에 위치하는 전자소자가 반복적으로 접히는 기계적 변형(피로변형)에서도 재료의 파괴없이 일정한 성능을 보여야 한다는 것인데, 이를 위해서는 전자소자에 사용되는 재료들의 피로 특성이 우수해야 한다.

[0004] 전자소자 재료로 이용되는 순수 구리(pure Cu)는 도전성이 우수하지만, 강도가 낮은 단점이 있다. 또한, 코일 진동에 수반하는 피로 내성이 낮기 때문에 코일 수명이 짧아지는 문제가 존재했다.

[0005] 재료에 피로 파괴가 발생하는 메커니즘은 다음과 같다. 1) 반복적인 변형으로 인해 재료 내부에 전위가 생성되고, 2) 이로 인해 슬립 밴드가 활성화되면서 슬립 밴드 내부에 전위가 집중적으로 모이며, 3) 전위가 모임에 따라 재료에 국부적으로 응력이 집중되면, 4) 응력 집중으로 인한 피로 크랙이 발생하게 된다.

[0006] 따라서, 재료 내부에서의 슬립 밴드 형성이 억제되고, 나아가 슬립 밴드 형성에 영향을 미치는 전위의 이동이 제한함에 따라 피로 파괴 발생이 억제된 전자소자 재료가 필요한 실정이었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 폴더블 전자기기에서의 많은 기계적 변형에도 피로 파괴 발생을 억제할 수 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금 및 이의 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은 상술한 목적을 달성하기 위한 수단으로, 0.5 내지 4 at.%의 알루미늄(Al)을 함유하고, 잔부가 구리(Cu) 및 불가피한 불순물로 구성되며, 합금 내부는 쌍정계(twin-boundary)의 결정립계를 특징으로 하는, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금을 개시한다.

[0009] 여기서 상기 구리-알루미늄 합금은 피로 변형 중에 결정립 미세화될 수 있다.

[0010] 여기서 상기 피로 변형 중의 구리-알루미늄 합금의 결정립 크기는 1 내지 80 nm일 수 있다.

[0011] 상기 구리-알루미늄 합금은 1.5% 변형률로 10만 번 피로 변형 이후의 전기저항 증가율이 3 내지 10 %일 수 있다.

[0012] 또한 본 발명은 상술한 목적을 달성하기 위한 수단으로, 알루미늄(Al)을 0.7 내지 4 at.% 함유하고, 잔부가 구리(Cu) 및 불가피한 불순물을 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계; 및 상기 준비된 금속 재료로 합금을 제조하는 단계; 를 포함하는, 전자 배선용 구리-알루미늄 합금을 제조하는 방법을 개시한다.

[0013] 여기서 상기 합금을 제조하는 방법은 DC 스퍼터링법, RF 스퍼터링법, 마그네트론 스퍼터링법 및 반응성 스퍼터링법으로 균으로부터 선택된 어느 하나의 방법을 통해 수행될 수 있다.

[0014] 여기서 상기 스퍼터링법은 10 내지 500 W의 전력으로 수행될 수 있다.

[0015] 여기서 상기 제조 방법은 상기 제조된 합금을 가공하는 단계를 더 포함하고, 상기 가공은 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing) 및 상온 가공으로 이루어진 균으로부터 선택된 어느 하나 이상의 방법

을 통해 수행될 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 내부에 쌍정립의 결정립계를 포함함에 따라, 피로 크랙의 지연을 유도할 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 피로 변형 이후에도 전기저항의 증가를 억제하여 전자소자 배선의 이용이 유리할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 굽힘 시험 장치를 도시한 모식도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 SEM 이미지이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 1.5% 변형률로 굽힘 시험을 진행한 이후의 표면 모습을 촬영한 이미지이다.

도 4는 순수 구리의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립계를 나타내는 이미지이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립계를 나타내는 이미지이다.

도 6은 순수 구리의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정입도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정입도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 8은 순수 구리의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립 방향이탈 각도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립 방향이탈 각도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 전기저항 변화를 나타내는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 전기저항 변화를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 구체적으로 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0020] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0021] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 또한, 본원 명세서 전체에서, "~하는 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.

[0022] 본 발명의 기술분야에 속하는 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 요지를 통하여 다양한 응용을 할 수 있으므로, 본 발명의 권리범위는 이하의 실시예로 한정되지 않는다. 본 발명의 권리범위는 특허청구범위에 기재된 사항을 기초로 하여 본 발명의 기술분야에 속하는 통상의 지식을 가진 자가 종래 기술을 이용하여 용이하게 치환 또는 변경하는 것이 자명한 부분에까지 미친다.

[0023] 이하, 필요한 경우에 첨부하는 도면을 참조하면서 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[0024] <구리-알루미늄 합금>

[0025] 본 발명은 상술한 목적을 달성하기 위한 수단으로, 0.5 내지 4 at.%의 알루미늄(Al)을 함유하고, 잔부가 구리(Cu) 및 불가피한 불순물로 구성되며, 합금 내부는 쌍정계(twin-boundary)의 결정립계를 특징으로 하는, 전자소자 배선용 구리-알루미늄 합금을 개시한다.

[0026] 상기 결정립계(grain boundary)란, 다결정(polycrystalline)의 고체 물질에서 결정립계는 물질을 구성하는 개별의 결정립들 사이의 계면 또는 경계를 나타낸다. 결정립은 원자가 정렬되고 반복적인 패턴으로 배열된 물질의 영역이며, 결정립계는 일반적으로 한 결정립의 정렬된 결정 격자가 다른 결정립의 정렬된 결정 격자와 완벽하게 정렬되지 않아 경계에서 구조의 불연속성을 초래하기 때문에 재료의 결함으로 이해할 수 있다. 결정립계는 인접한 두 결정립 사이의 불일치 영역으로 볼 수 있다. 또한, 결정립계는 재료 내에 정렬된 결정립의 존재와 각 결정립들 간의 방위 차이(misorientation)로 인해 발생하는 특징이다. 결정립계의 특성은 재료의 특성에 상당한 영향을 미칠 수 있으며, 특정한 특성과 재료의 적용에 따라 재료의 기계적, 전기적 특성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

[0027] 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 알루미늄 합금으로 인해 재료 내부에 쌍정계(twin boundary) 생성이 용이해짐에 따라 피로 변형 중에 구리-알루미늄 합금 재료의 결정립 미세화를 촉진할 수 있다. 이로 인해 구리-알루미늄 합금의 결정립이 수십 nm 크기로 급격하게 작아지게 되고, 이와 같은 작은 크기의 결정립에서는 전위의 생성과 이동이 매우 힘들어지게 된다. 따라서 본 발명의 구리-알루미늄 합금 내부에서 슬립 밴드 형성이 어려워지고, 재료 내부에 응력을 집중시키는 기작이 사라지면서, 피로 파괴가 지연되는 효과를 기대할 수 있다.

[0028] 상기 알루미늄의 함량은 0.5 내지 4 at.%인 것이 바람직하고, 1 내지 2 at.%인 것이 보다 바람직하다. 상기 알루미늄의 함량이 상술한 범위를 벗어나는 경우, 본 발명의 구리-알루미늄 합금 내부의 쌍정계의 결정립계 형성이 어려운 문제가 발생하여, 피로 내성이 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 특히, 상기 알루미늄의 함량이 4 at.%를 초과하는 경우, 본 발명의 구리-알루미늄 합금의 물성의 저하 및 피로 변형됨에 따라 전기저항이 증가되는 문제가 발생하여, 전자소자 배선으로의 사용이 어려운 문제가 발생할 수 있다. 본 발명의 구리-알루미늄 합금에 있어서, 상기 알루미늄 함량과 관련한 보다 구체적인 내용은 하단의 {실시예 및 평가 단락}에서 보다 상세히 기술하도록 한다.

[0029] 다시 말해, 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 피로 변형 중에 결정립 미세화될 수 있으며, 피로 변형 중의 구리-알루미늄 합금의 결정립 크기는 1 내지 80 nm일 수 있다. 본 발명의 구리-알루미늄 합금의 결정립 크기와 관련한 구체적인 내용은 하단의 {실시예 및 평가} 단락에서 보다 상세히 기술하도록 한다.

[0030] 또한, 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 상술한대로, 합금 내부에 쌍정계의 생성이 용이하여, 피로 변형 중 결정립이 미세화됨에 따라, 피로 파괴 혹은 피로 크랙의 저감의 효과가 있다. 상기 피로 파괴 혹은 피로 크랙이 저감됨에 따라 재료의 전기저항의 증가를 억제할 수 있어 전자소자 배선용으로서의 이용이 용이할 수 있다. 보다 구체적으로 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 1.5% 변형률로 10만 번 피로 변형 이후의 전기저항 증가율이 3 내지 10 %일 수 있다. 상술한 전기저항 증가율을 가지는 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 전기 저항의 증가를 억제할 수 있음에 따라 전자소자 배선으로 이용했을 때, 기기 불량을 야기하지 않는 효과 역시 기대할 수 있다.

[0032] <구리-알루미늄 합금의 제조방법>

[0033] 또한 본 발명은 상술한 목적을 달성하기 위한 수단으로, 알루미늄(Al)을 0.5 내지 4 at.% 함유하고, 잔부가 구리(Cu) 및 불가피한 불순물을 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계; 및 상기 준비된 금속 재료로 합금을 제조하는 단계;를 포함하는, 전자 배선용 구리-알루미늄 합금을 제조하는 방법을 개시한다.

[0034] 여기서 상기 합금을 제조하는 방법은 스퍼터링법을 이용하는 것이 바람직하다. 합금을 제조하기 위하여 공지된 기술인 주조법을 이용할 경우, 제조된 합금에서 보다 높은 디텐션의 합금이 제조되어 합금 내부에 쌍정계의 결정립계의 생성에 불리할 수 있다. 또한, 합금 내부에 쌍정계를 형성하기 위한 방법으로 어닐링 쌍정법, 소성 변형 쌍정법 등을 이용할 경우, 전자소자 배선으로 이용 가능한 얇은 필름 형태를 제조하기 어렵기 때문에 부적합할 수 있다. 따라서, 본 발명에 있어서, 상기 합금을 제조하는 방법은 스퍼터링법을 이용하는 것이 바람직하며, 스퍼터링법으로서는, 예를 들어 DC 스퍼터링법, RF 스퍼터링법, 마그네트론 스퍼터링법, 반응성 스퍼터링법 등 어느 스퍼터링법을 채용해도 무방하며, 그의 형성 조건은 적절히 설정할 수 있다.

[0035] 상기 스퍼터링법으로, 예를 들면, 타겟으로서 순수 구리로 된 각형 플레이트상, 원형 플레이트상, 도넛 플레이트

트 상 등을 이용할 수 있으며, 상기 타겟의 위에 원하는 종류의 금속 조각(이하 "칩"이라 함)을 올려놓고 이하의 조건에 따라 스퍼터링을 하면 상기 칩이 같이 스퍼터링되면서 합금 박막을 형성할 수 있다.

[0036] - 스퍼터링 조건

[0037] 기판 온도: 실온

[0038] 성막 가스: Ar 가스

[0039] 가스압: 10 ~ 50 mTorr

[0040] 스퍼터 파워: 10 ~ 500 W

[0041] 상기 알루미늄 칩 형태는 한 가지 특정한 형태로 한정되는 것은 아니며, 원형, 정방형, 장방형, 고리(ring)형 등의 공지된 형태를 이용할 수 있다. 또한, 상기 알루미늄 칩은 상기 타겟 금속(Cu) 상에 칩온(chip on)된 형태로 스퍼터링할 수도 있고, 상기 타겟 금속에 알루미늄 칩을 놓기 위한 공간을 형성한 다음, 상기 공간에 알루미늄 칩을 넣은 형태(핀홀 타입)로 스퍼터링할 수도 있다.

[0042] 여기서 상기 스퍼터링법은 10 내지 500 W의 전력으로 수행될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 목적으로 하는 합금의 제조를 위해 적절히 조정될 수 있다.

[0043] 또한, 본 발명의 구리-알루미늄 합금의 제조 방법은 합금 제조 이후에 추가적으로 가공 형성을 수행할 수 있다. 여기서 상기 가공은 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing) 및 상온 가공으로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상의 방법을 통해 수행될 수 있다. 상술한 가공법을 통해 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 전자소자 배선에 이용이 용이한 형태로 추가적으로 가공될 수 있다.

[0044] 이하, 첨부한 도면 및 실시예들을 참조하여 본 명세서가 청구하는 바에 대하여 더욱 자세히 설명한다. 다만, 본 명세서에서 제시하고 있는 도면 내지 실시예 등은 통상의 기술자에 의하여 다양한 방식으로 변형되어 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 본 발명에서의 기재사항은 본 발명을 특정 개시 형태에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 균등물 내지 대체물을 포함하고 있는 것으로 보아야 한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명을 통상의 기술자로 하여금 더욱 정확하게 이해할 수 있도록 돕기 위하여 제시되는 것으로서 실제보다 과장되거나 축소되어 도시될 수 있다.

[0046] {실시예 및 평가}

[0047] <실시예>

[0048] 실시예

[0049] 필름 상의 구리-알루미늄 합금을 제조하기 위하여, 유연기판인 폴리이미드 상에 스퍼터링 타겟으로 순수 구리(pure Cu)를 준비하였고, 상기 스퍼터링 타겟 상에 알루미늄(Al) 칩을 놓고 하기 스퍼터링 조건으로 스퍼터링을 수행하여, 구리-알루미늄 합금을 제조하였다(이하 "실시예 1"이라 함).

[0050] - 스퍼터링 조건

[0051] 기판 온도: 실온

[0052] 성막 가스: Ar 가스

[0053] 가스압: 40 mTorr

[0054] 스퍼터 파워: 30 W

[0055] Al 함량: 1.5 at. %

[0057] 비교예 1

[0058] Al 함량을 4.55 at. %로 한 것을 제외하고, 상기 실시예 1과 동일하게 하여, 구리-알루미늄 합금을 제조하였다(이하 "비교예 1"이라 함).

[0060] 비교예 2

[0061] 순수 구리(pure Cu)를 유연기판인 폴리이미드 상에 증착하여 비교예 2로 하였다.

[0063] <평가>

[0064] 도 1은 굽힘 시험 장치를 도시한 모식도이다. 이하의 시험 조건에서 도 1에 나타난 굽힘 시험 장치를 실시예 1 내지 2 및 비교예 2의 물성 및 피로 내성을 평가하였다.

[0065] - 시험 조건

[0066] 변형률: 1.5% 또는 2.0%

[0067] 시험 횟수: 10만 회

[0068] 주파수(Frequency) : 5 Hz

[0069] 밀립 거리(Sliding distance): 10 mm

[0070] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 SEM 이미지이다. 보다 구체적으로 도 2a는 실시예의 SEM 이미지이고, 도 2b는 비교예 1의 SEM 이미지이다. 도 2를 참조하면, 비교예 1의 경우, 알루미늄 함량이 4.55 at.%로 포함됨에 따라, 원활하지 못한 표면이 형성된 것을 확인할 수 있다.

[0071] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 1.5% 변형률로 굽힘 시험을 10만 회 진행한 이후의 표면 모습을 촬영한 이미지이다. 보다 구체적으로 도 3a는 비교예 2를 1.5% 변형률로 굽힘 시험을 진행한 이후의 표면 모습을 촬영한 이미지이고, 도 3b는 실시예를 1.5% 변형률로 굽힘 시험을 진행한 이후의 표면 모습을 촬영한 이미지이다. 도 3을 참조하면, 비교예 2의 경우 표면에 직선 모양 피로 크랙이 관찰되는 것을 확인할 수 있다. 반면에, 실시예의 경우, 10만 회의 굽힘 시험 이후에도, 표면에 피로 크랙이 발생하지 않은 것을 확인할 수 있다.

[0072] 도 4는 비교예 2(순수 구리)의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립계를 나타내는 이미지이다. 보다 구체적으로 도 4a는 굽힘 시험 수행 전 비교예 2의 결정립계를 나타내고, 도 4b는 15,000회 굽힘 시험 수행 후 비교예 2의 결정립계를 나타내고, 도 4c는 10만 회 굽힘 시험 수행 후 비교예 2의 결정립계를 나타낸다. 도 4를 참조하면, 비교예 2의 결정립계는 굽힘 시험을 수행하여도, 미세 구조의 큰 변화가 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

[0073] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립계를 나타내는 이미지이다. 보다 구체적으로, 도 5a는 구리-알루미늄 합금 결정립계의 결정상에 따른 색을 도시한 표이고, 도 5b는 굽힘 시험 수행 전 실시예의 결정립계를 나타내고, 도 5c는 15,000회 굽힘 시험 수행 후 실시예의 결정립계를 나타내고, 도 5d는 10만 회 굽힘 시험 수행 후 실시예의 결정립계를 나타낸다. 도 5를 참조하면, 실시예의 경우, 굽힘 시험을 수행함에 따라, 결정립의 미세화가 진행되어 결정립의 크기가 감소한 것을 확인할 수 있다. 이러한 결정립 크기의 감소는 합금 내부의 슬립 밴드의 형성이 어려운 효과를 기대할 수 있고, 결과적으로 피로 크랙의 발생을 저감하는 효과를 기대할 수 있다.

[0074] 도 6은 순수 구리의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정입도의 변화를 나타내는 그래프이다. 보다 구체적으로, 도 6a는 굽힘 시험 수행 전 비교예 2의 결정립의 크기 분포를 나타내는 그래프이고, 도 6b는 굽힘 시험 15,000회 수행 이후 비교예 2의 결정립의 크기 분포를 나타내는 그래프이고, 도 6c는 굽힘 시험 10만 회 수행 이후 비교예 2의 결정립의 크기 분포를 나타내는 그래프이다. 도 6을 참조하면, 비교예 2는 굽힘 시험을 수행함에 따라, 결정립의 크기에 있어서 유의미한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.

[0075] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정입도의 변화를 나타내는 그래프이다. 보다 구체적으로 도 7a는 굽힘 시험 수행 전 실시예의 결정립의 크기 분포를 나타내는 그래프이고, 도 7b는 굽힘 시험 15,000회 수행 이후 실시예의 결정립의 크기 분포를 나타내는 그래프이고, 도 7c는 굽힘 시험 10만 회 이후 실시예의 결정립의 크기 분포를 나타내는 그래프이다. 도 7을 참조하면, 실시예의 경우, 굽힘 시험 수행 전에는 평균 결정립 크기가 약 51.61 nm인 반면, 굽힘 시험 15,000회 수행 이후에는 평균 결정립 크기가 약 33.22 nm로 감소한 것을 확인할 수 있다. 굽힘 시험 10만 회 수행한 이후에는 평균 결정립 크기가 약 44.58 nm로 15,000회 수행 이후 평균 결정립 크기에 비해 다소 상승한 값을 나타내나, 굽힘 시험 수행

전과 비교했을 때, 약 13% 감소된 값을 나타내는 것을 확인할 수 있으며, 40 nm 이하의 크기를 가진 결정립이 대부분을 이루는 것을 확인할 수 있다.

[0076] 도 8은 순수 구리의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립 방위차(misorientation angle) 분포를 나타내는 그래프이다. 보다 구체적으로 도 8a는 굽힘 시험 수행 전의 비교예 2의 결정립 방위차 분포를 나타내는 그래프이고, 도 8b는 굽힘 시험 15,000회 수행 이후 비교예 2의 결정립 방위차 분포를 나타내는 그래프이고, 도 8c는 굽힘 시험 10만 회 수행 이후 비교예 2의 결정립 방위차 분포를 나타내는 그래프이다.

[0077] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 결정립 방위차 분포의 변화를 나타내는 그래프이다. 보다 구체적으로 도 9a는 굽힘 시험 수행 전 실시예의 결정립 방위차 분포를 나타내는 그래프이고, 도 9b는 굽힘 시험 15,000회 수행 이후 실시예의 결정립 방위차 분포를 나타내는 그래프이고, 도 9c는 굽힘 시험 10만회 수행 이후 실시예의 결정립 방위차 분포를 나타내는 그래프이다.

[0078] 상기 결정립 방위차 분포 그래프에 있어서, 재료 내부에 쌍정계가 많이 분포할수록 결정립 방위차 60° 부근에서의 양(fraction)이 높게 나타날 수 있다. 도 8 및 9를 참조하면, 비교예 2의 경우, 굽힘시험을 수행함에 따른 결정립 방위차의 분포에 유의미한 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 반면에, 실시예의 경우, 제조 직후에 60° 부근에서의 양이 많이 분포하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 실시예에 따라 제조된 합금 내부에 쌍정계가 많은 양으로 내재되어 있다는 것으로 유추할 수 있다. 또한, 실시예에 따라 제조된 합금은 굽힘 시험을 진행할수록 결정립의 미세화가 진행되어 결정립 방위차의 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

[0080] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 전기저항 변화를 나타내는 그래프이다. 보다 구체적으로 도 10a는 1.5% 변형률로 굽힘 시험을 진행했을 때의 실시예 및 비교예 2의 전기저항 변화를 나타내는 그래프이고, 도 10b는 2.0% 변형률로 굽힘 시험을 진행했을 때의 실시예 및 비교예 2의 전기저항 변화를 나타내는 그래프이다. 도 10을 참조하면, 비교예 2의 경우, 10만번 굽힘 시험 이후 전기저항이 20% 증가한 반면, 실시예의 경우, 전기저항이 6% 정도 증가한 것을 확인할 수 있다. 최종 10만번 굽힘 시험 이후 실시예가 비교예 2에 비해 약 70% 감소된 전기저항값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 2.0% 변형률로 굽힘 시험을 수행한 결과, 비교예 2의 전기저항값은 보다 빠르게 증가하여 굽힘 시험 수행 전에 비해 200% 높은 전기저항값을 나타내는 반면, 실시예의 경우 전기저항값이 약 50% 정도만이 증가된 것을 확인할 수 있다.

[0081] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 구리-알루미늄 합금의 굽힘 시험 횟수에 따른 전기저항 변화를 나타내는 그래프이다. 보다 구체적으로 도 11a는 1.5% 변형률로 굽힘 시험을 진행했을 때의 실시예 및 비교예 1 내지 2의 전기저항 변화를 나타내는 그래프이고, 도 11b는 2.0 % 변형률로 굽힘 시험을 수행했을 때의 실시예 및 비교예 1 내지 2의 전기저항 변화를 나타내는 그래프이다. 도 11을 참조하면, 비교예 1의 경우, 실시예와 유사한 구리-알루미늄 합금이나, 알루미늄의 함량이 4.55 at%로 포함됨에 따라, 전기저항 값이 순수 구리인 비교예 2 보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는, 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 알루미늄 함량이 0.5 내지 4 at.%로 포함됨에 따라, 전기저항의 증가를 억제 효과가 우수한 것을 의미하며, 결론적으로 전자소자 배선용으로서의 이용이 용이함을 시사하는 바이다.

[0082] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에 서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다.

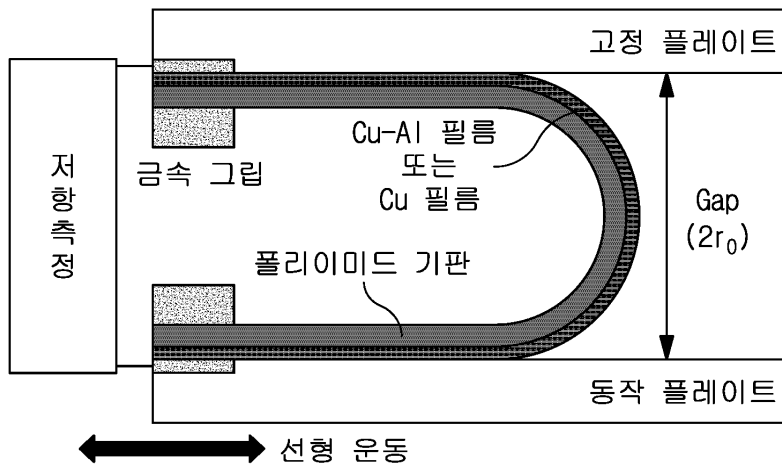
[0083] 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 내부에 쌍정립의 결정립계를 포함함에 따라, 피로 크랙의 지연을 유도할 수 있다.

[0084] 또한, 본 발명의 구리-알루미늄 합금은 피로 변형 이후에도 전기저항의 증가를 억제하여 전자소자 배선의 이용이 유리할 수 있다.

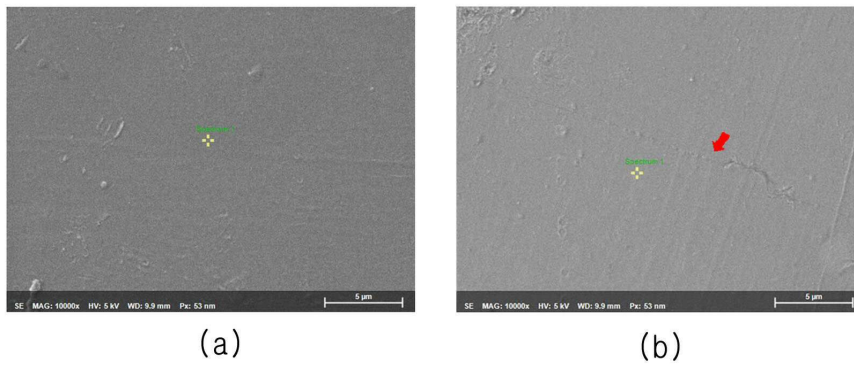
[0085] 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

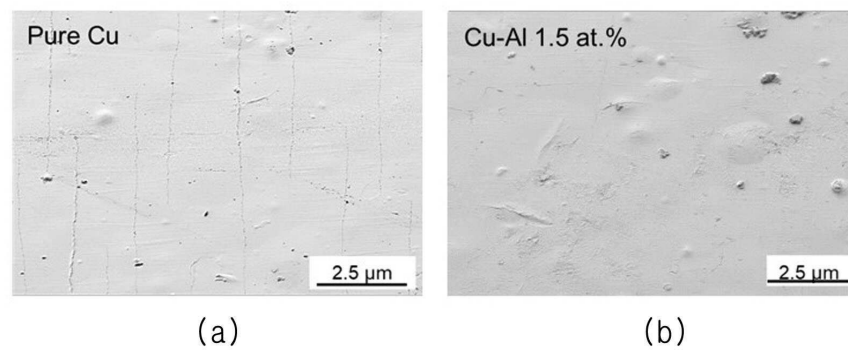
도면1



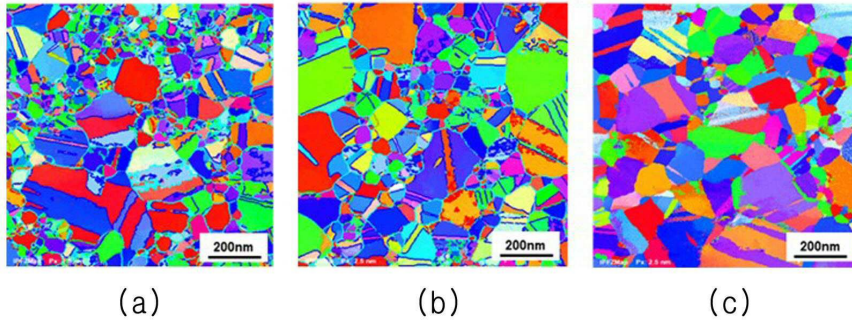
도면2



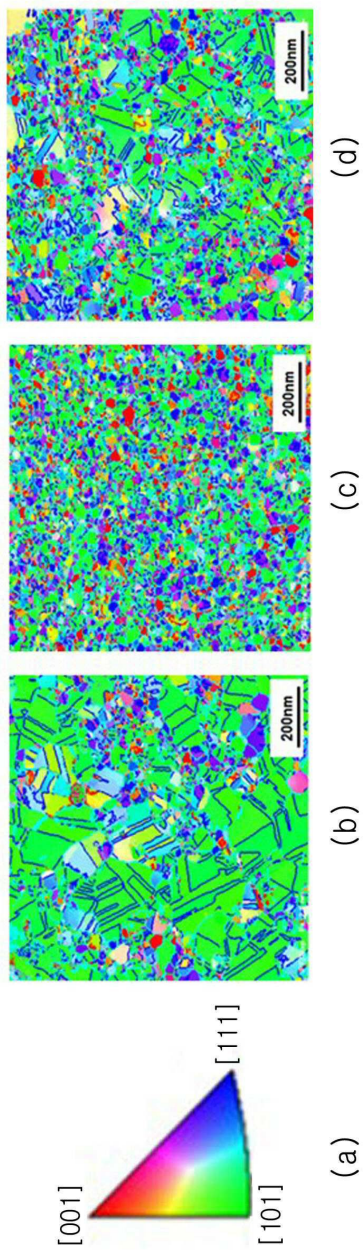
도면3



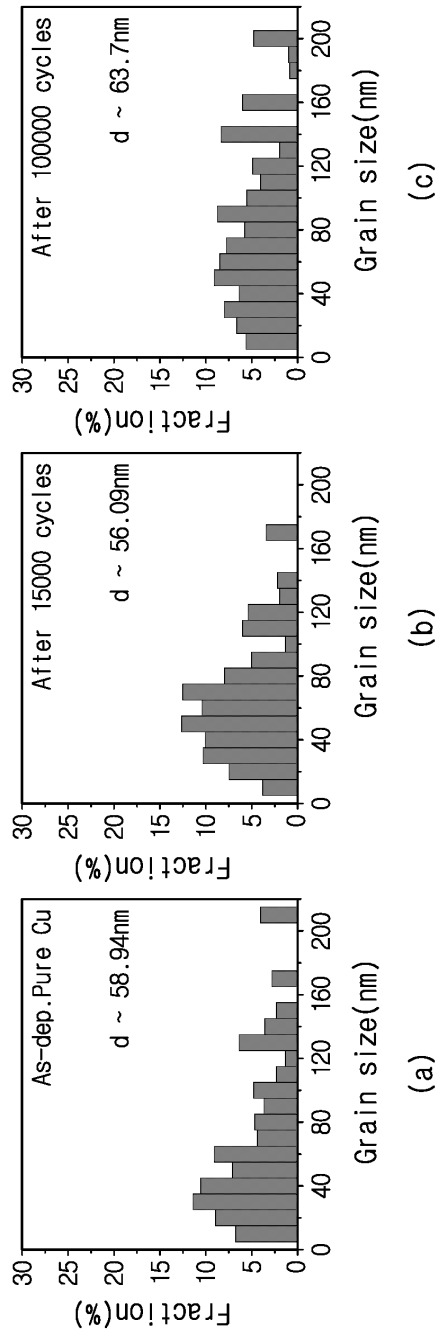
도면4



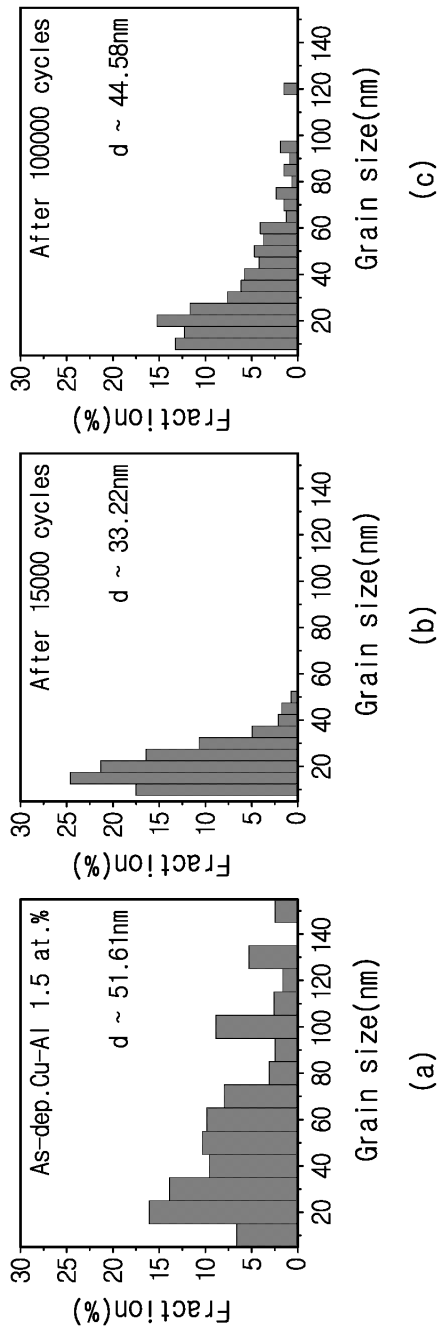
도면5



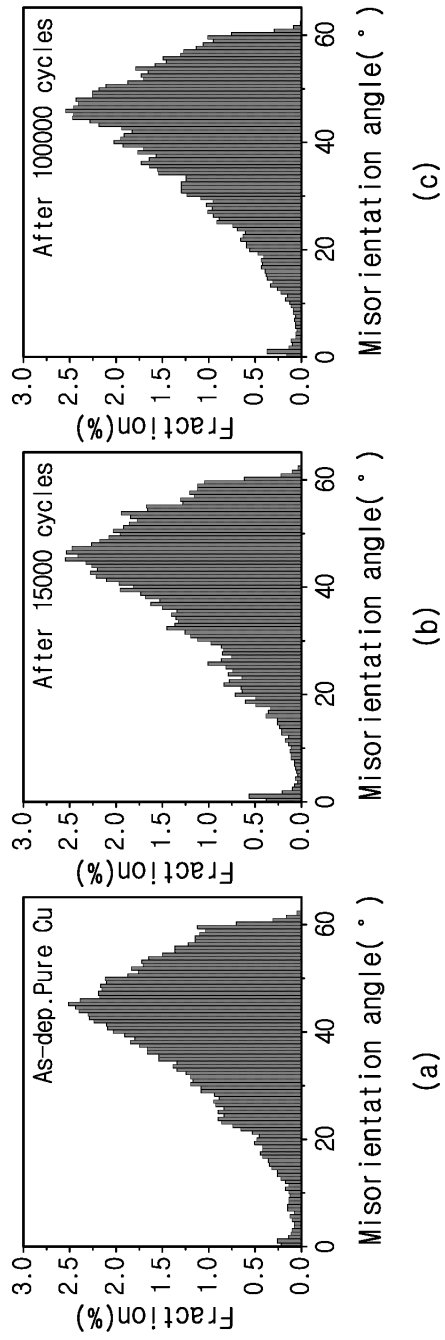
도면6



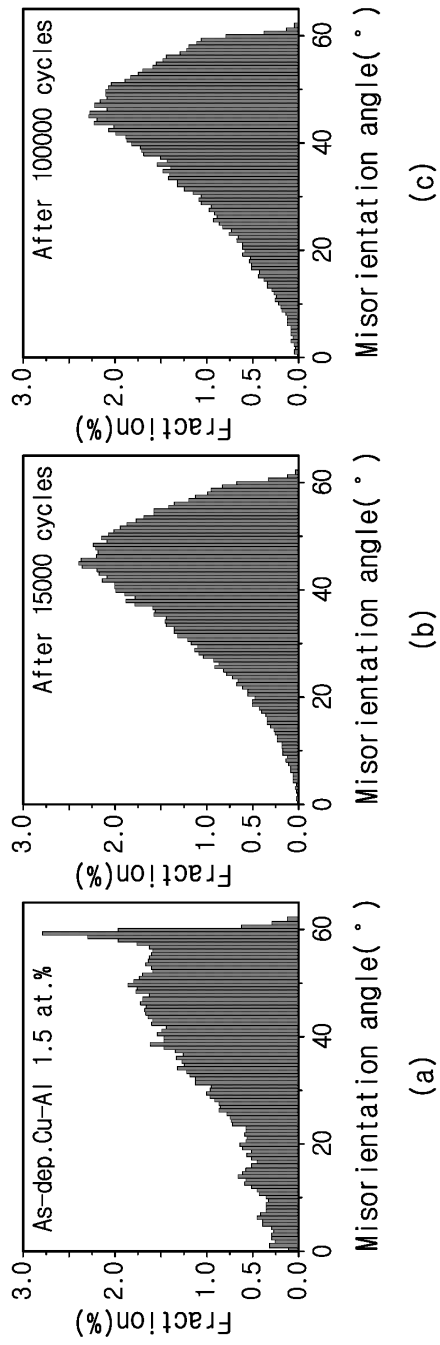
도면7



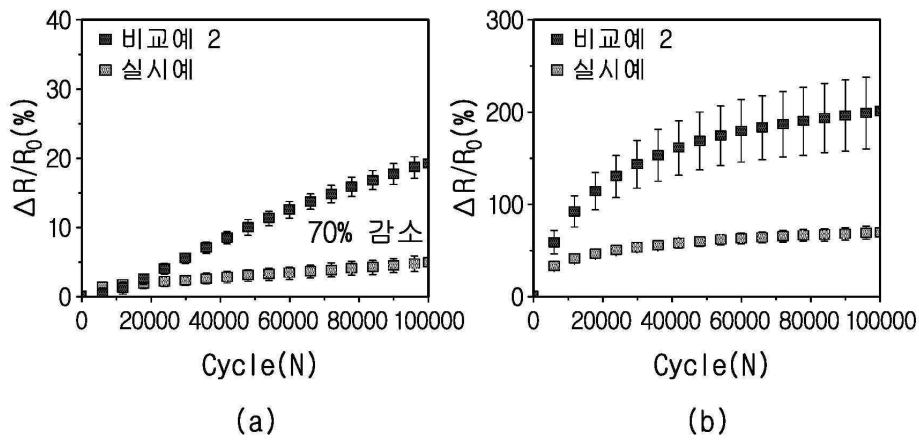
도면8



도면9



도면10



도면11

