

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일

2024년 12월 19일 (19.12.2024)



WIPO PCT



(10) 국제공개번호

WO 2024/258115 A1

(51) 국제특허분류:

H10N 52/80 (2023.01)

H10N 52/01 (2023.01)

H10N 52/00 (2023.01)

H01L 29/82 (2006.01)

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2024/007800

(22) 국제출원일:

2024년 6월 7일 (07.06.2024)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2023-0074721 2023년 6월 12일 (12.06.2023) KR

10-2024-0073380 2024년 6월 5일 (05.06.2024) KR

(71) 출원인: 부산대학교 산학협력단 (PUSAN NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION) [KR/KR]; 46241 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2, Busan (KR).

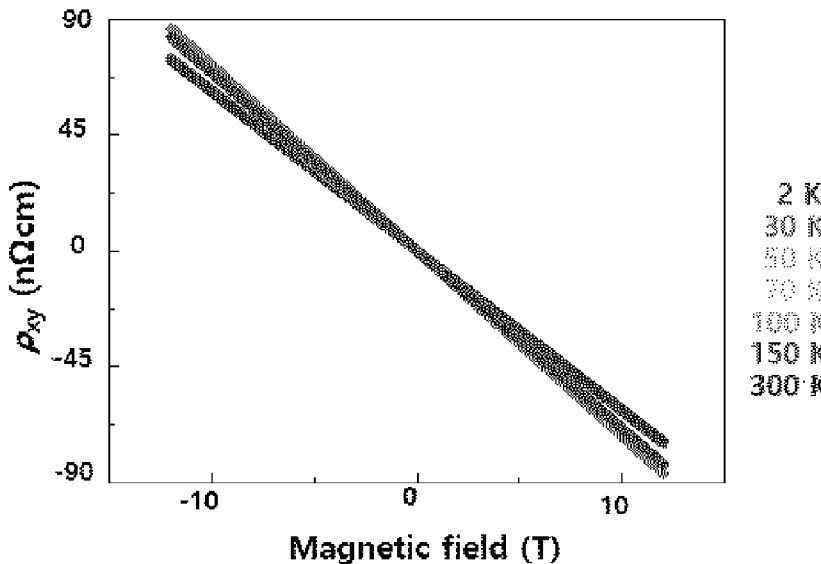
(72) 발명자: 정세영 (JEONG, Se Young); 46241 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2, Busan (KR). 김수재 (KIM, Su Jae); 46241 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2, Busan (KR).

(74) 대리인: 김종석 (KIM, Jong Seok); 48058 부산광역시 해운대구 센텀서로30, 1502, Busan (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, 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, MU, 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.

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SINGLE-CRYSTAL COPPER THIN FILM HAVING NONLINEAR HALL EFFECT AND HOLE CARRIER DOMINANT TRANSPORT PHENOMENON IN TWO-DIMENSIONAL SINGLE-CRYSTAL THIN FILM WITH SUPPRESSED GRAIN BOUNDARY, AND SINGLE-CRYSTAL COPPER THIN FILM AND SINGLE-CRYSTAL COPPER THIN FILM SEMICONDUCTOR MANUFACTURED BY USING SAME

(54) 발명의 명칭: 낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법 및 이를 이용하여 제조된 단결정 구리박막 및 단결정 구리박막 반도체



(57) Abstract: The present invention relates to a single-crystal copper thin film and a single-crystal copper thin film semiconductor, which utilize a phenomenon in which holes, rather than electrons, become carriers when a grain boundary (GB) is removed from a copper thin film having a thickness of 200 nm or less. More specifically, the present invention relates to a copper thin film and a single-crystal copper thin film semiconductor, of which electrical properties change to resemble those of a p-type semiconductor under certain conditions. In the single-crystal thin film having a suppressed grain boundary, according to the present invention, a single-crystal copper thin film having a nonlinear hole effect and a hole carrier dominant transport phenomenon includes a single-crystal copper thin film having a thickness of 200 nm or less, wherein the grain boundary is suppressed.

[다음 쪽 계속]



(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, SC, 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))

(57) 요약서: 본 발명은 두께 200 nm 이하의 구리 박막에서 낱알 경계 (Grain boundary: GB)를 제거한 경우 전자가 수송자가 아닌 홀이 수송자가 되는 현상을 이용한 단결정 구리 박막 및 단결정 구리박막 반도체에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 특정 조건하에서 p-type 반도체와 같은 형태로 전기적 특성이 바뀐 구리 박막 및 단결정 구리박막 반도체에 관한 것이다. 본 발명에 따른 낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막은, 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되, 낱알 경계가 억제된 것을 특징으로 한다.

명세서

발명의 명칭: 낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법 및 이를 이용하여 제조된 단결정 구리박막 및 단결정 구리박막 반도체 기술분야

- [1] 본 발명은 두께 200 nm 이하의 구리 박막에서 낱알 경계를 제거한 경우 전자가 수송자가 아닌 홀이 수송자가 되는 현상을 이용한 단결정 구리 박막 및 단결정 구리박막 반도체에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 특정 조건하에서 p-type 반도체와 같은 형태로 전기적 특성이 바뀐 구리 박막 및 단결정 구리박막 반도체에 관한 것이다.

[2]

배경기술

- [3] 구리 내 수송자가 전자(electron)라는 것은 매우 잘 알려져 있다. 구리는 $10^{23}/\text{cm}^3$ 의 전자 농도와 $1.72 \times 10^{-8} \Omega\text{cm}$ 의 상온 저항을 나타내므로 은(Ag) 다음으로 높은 전기전도도를 갖기 때문에 구리는 전극이나 전류를 흘리는 도체로써 주로 사용되고 있고, 특별한 목적의 기능을 하기는 어렵다.
- [4] 반면, 반도체는 타입에 따라 주 수송자가 전자인 경우(n-type)도 있지만, 주 수송자가 홀(p-type)인 경우도 있다. n-type 반도체와 p-type 반도체를 접합하여 p-n junction을 만들면 전류의 흐름이 비대칭으로 됨으로써 소자로서 활용할 수 있는 중요한 특성을 갖는다.
- [5] 만약 구리만으로 n-type과 p-type의 특성을 구현할 수 있다면, 반도체 물질을 도입하지 않고 구리만으로 전극 및 소자 기능을 한 번에 이룰 수 있는 획기적인 발명이 될 수 있다.

[6]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [7] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해서 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 일반적인 구리가 갖는 결함을 해결하기 위해 구리 전자 밴드를 변형시켜 구리만으로 n-type과 p-type의 특성을 구현할 수 있도록 마련된 구리 박막을 제조하는 것이다.
- [8] 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

[9]

과제 해결 수단[10] **(1) 단결정 구리 박막**

[11] 본 발명에 따른 낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막은,

[12] 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되, 낱알 경계(grain boundary)가 억제된 것을 특징으로 한다.

[13] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 자기장에 따른 홀(hall) 저항이 비선형적인 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.

[14] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 사파이어 기판 위에서 원자 ASE에 의해 구리를 성장시킨 것을 특징으로 한다.

[15] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 홀(hall) 저항이 온도가 달라짐에 따라 비선형적 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.

[16]

[17] **(2) 단결정 구리 박막 반도체**

[18] 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되, 상기 단결정 구리 박막은 낱알 경계(grain boundary)가 억제되고, 전기적 특성이 p-type 으로 변형된 것을 특징으로 한다.

[19] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 자기장에 따른 홀(hall) 저항이 비선형적인 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.

[20] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 사파이어 기판 위에서 원자 ASE에 의해 구리를 성장시킨 것을 특징으로 한다.

[21] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 홀(hall) 저항이 온도가 달라짐에 따라 비선형적 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.

[22]

[23] **(3) 단결정 구리 박막 제조방법**

[24] 구리를 160 내지 180 °C에서 RF 스퍼터링하여 구리 박막을 성장하여 제조된 것을 특징으로 한다.

[25] 또한, 상기 RF 스퍼터링의 초기 압력은 2.0×10^{-3} 내지 2.5×10^{-3} Pa 인 것을 특징으로 한다.

[26] 또한, 상기 RF 스퍼터링은 Ar 가스 분위기에서 수행되는 것을 특징으로 한다.

[27] 또한, 상기 RF 스퍼터링은 Ar 가스를 0.3 내지 0.7 Pa까지 주입하여 압력을 조절하는 것을 특징으로 한다.

[28] 또한, 상기 RF 스퍼터링의 RF 출력은 23 내지 27 W 인 것을 특징으로 한다.

[29] 또한, 상기 RF 스퍼터링의 회전 속도는 25 내지 35 RPM 인 것을 특징으로 한다.

[30]

발명의 효과

[31] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 일반적인 구리가 갖는 결함을 해결하고, 전자의 평균자유행로(mean free path)를 길게 함으로써 기존의 전자가 머무는 페르미 표면(Fermi surface)의 구조를 다르게 만들어 전자의 궤도를 변형할 수 있다.

[32] 또한, 본 발명은 구리 전자 궤도를 변형시켜 구리만으로 n-type과 p-type의 특성을 구현할 수 있도록 마련된 구리 박막을 제조할 수 있다.

[33]

도면의 간단한 설명

[34] 도 1은 일반적인 구리 또는 3D 벌크 구리의 홀(Hall) 효과를 측정한 그래프이다.

[35] 도 2는 3D 구리의 페르미(Fermi) 표면으로, 전류의 순방향(a)과 역방향(b)에 따른 비대칭 자기 저항을 유도하기 위한 링 패턴이다.

[36] 도 3은 2D 구리의 페르미(Fermi) 표면을 주기적 영역 형식(periodic zone scheme)에서 본 표면이다.

[37] 도 4는 ARPES 측정을 통해 2D 단결정 구리 박막에서 얻어진 페르미 표면(a)과 (a) 내 주황색 화살표 방향으로 측정한 결과를 에너지 축으로 나타낸 그림(b)이다.

[38] 도 5는 다양한 두께의 단결정 구리 박막의 홀(Hall) 효과 측정 그래프로, 두께 82 nm의 다결정 구리(PCCF) (a), 205 nm(b), 80 nm(c), 40 nm(d), 12 nm(e) 및 10 nm(f) 두께의 SCCF의 비선형 홀 효과 측정 결과이다.

[39] 도 6은 40 nm 두께 박막의 EBSD(1 열), misorientation lines(2 열), 홀 효과 측정(3 열) 및 낱알 경계(grain boundary: GB)와 쌍결정 경계 (twin boundary: TB) 도표(4 열)로, 다결정 박막(a), ASE 방법으로 성장된 단결정에 가까운 박막으로, GB를 다르게 조절하여 비교한 결과(b)~(d) 및 낱알 경계가 전혀 없는 완전 단결정 박막(e)이다.

[40]

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[41] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[42] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[43] 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 있음을 의미한다.

- [44] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [45] 본 발명에 대한 해결하고자 하는 과제, 과제의 해결 수단, 발명의 효과를 포함한 구체적인 사항들은 다음에 기재할 실시 예 및 도면들에 포함되어 있다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다.
- [46]
- [47] **(1) 단결정 구리 박막**
- [48] 본 발명에 따른 낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막은, 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되, 낱알 경계(grain boundary)가 억제된 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로는 두께가 40 nm 이하인 단결정 구리 박막이 가장 효과적인 낱알 경계(grain boundary)의 억제를 확인할 수 있다.
- [49] 상기 단결정 구리 박막은 자기장에 따른 홀(Hall) 저항이 비선형적인 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.
- [50] 상기 단결정 구리 박막은 사파이어 기판 위에서 원자 ASE에 의해 구리를 성장시킨 것을 특징으로 한다.
- [51] 상기 단결정 구리 박막은 홀(Hall) 저항이 온도가 달라짐에 따라 비선형적 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.
- [52]
- [53] **(2) 단결정 구리 박막 반도체**
- [54] 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되, 상기 단결정 구리 박막은 낱알 경계(grain boundary)가 억제되고, 전기적 특성이 p-type 으로 변형된 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로는 두께가 40 nm 이하인 단결정 구리 박막이 가장 효과적인 낱알 경계(grain boundary)의 억제를 확인할 수 있다.
- [55] 상기 단결정 구리 박막은 자기장에 따른 홀(Hall) 저항이 비선형적인 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.
- [56] 상기 단결정 구리 박막은 사파이어 기판 위에서 원자 ASE에 의해 구리를 성장시킨 것을 특징으로 한다.
- [57] 상기 단결정 구리 박막은 홀(Hall) 저항이 온도가 달라짐에 따라 비선형적 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.
- [58]
- [59] **(3) 단결정 구리 박막 제조방법**
- [60] 구리를 160 내지 180 °C에서 RF 스퍼터링하여 구리 박막을 성장하여 제조된 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로는 170 °C에서 RF 스퍼터링하여 구리 박막을 성장하는 것이 바람직하다.

- [61] 상기 RF 스퍼터링의 초기 압력은 2.0×10^{-3} 내지 2.5×10^{-3} Pa 인 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로는 2.3×10^{-3} Pa 인 것이 바람직하다.
- [62] 또한, 상기 RF 스퍼터링은 Ar 가스 분위기에서 수행되는 것을 특징으로 한다.
- [63] 또한, 상기 RF 스퍼터링은 Ar 가스를 0.3 내지 0.7 Pa까지 주입하여 압력을 조절하는 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로는 0.5 Pa 인 것이 바람직하다.
- [64] 또한, 상기 RF 스퍼터링의 RF 출력은 23 내지 27 W 인 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로는 25 W 인 것이 바람직하다.
- [65] 또한, 상기 RF 스퍼터링의 회전 속도는 25 내지 35 RPM 인 것을 특징으로 한다. 보다 구체적으로는 30 RPM 인 것이 바람직하다.
- [66]
- [67] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.
- [68]
- [69] 본 발명은 두께 200 nm 이하의 구리 박막에서 낱알 경계를 제거한 경우 전자가 수송자가 아닌 홀이 수송자가 되는 현상을 이용한 단결정 구리 박막에 관한 것으로, 특정 조건하에서 p-type 반도체와 같은 형태로 전기적 특성이 바뀐 구리 박막이다. 이는 일반적인 구리가 갖는 결함을 완전히 해결하고 전자들의 평균자유행로 (mean free path)를 길게 하여 기존의 전자가 머무는 페르미 표면 (Fermi surface)의 구조를 다르게 만들어 줌으로써 전자 궤도를 바꾸어 수행할 수 있다.
- [70] 본 발명에 따른 낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막은, 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되, 낱알 경계 (grain boundary, 이하 GB)가 억제된 것을 특징으로 한다.
- [71] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 자기장에 따른 홀(Hall) 저항이 비선형적인 거동을 나타내는 것을 특징으로 한다.
- [72] 또한, 상기 단결정 구리 박막은 사파이어 기판 위에서 원자 ASE에 의해 구리를 성장시킨 것을 특징으로 한다.
- [73]
- [74] 일반적으로, 구리에서 홀효과(Hall effect)를 측정하면 선형적으로 나타난다. 이는 수송자가 하나이기 때문인데, 홀(Hall) 저항은 자기장이 증가함에 따라 선형적으로 증가하며 온도에 따라서도 큰 변화가 없음을 의미한다. 도 1에 나타난 바와 같이, 일반 구리 혹은 3D 벌크 구리의 홀효과(Hall effect)를 나타내는데, 자기장이 증가함에 따라 홀(Hall) 저항이 선형적으로 증가함을 알 수 있다.
- [75] 트랜지스터, 다이오드 및 다양한 센서를 포함한 고체 전자 장치는 반도체 채널 및 금속 전극에서 전도 전자의 흐름과 제어를 사용한다. 재료의 다양한 특성 중 페르미 표면 근처의 전자 밴드 구조는 전도 전자의 거동을 결정하며 이는 장치 응용 및 설계에 활용되는 핵심 기능이다. 따라서 전하 캐리어의 극성, 밀도 및 이동도는 반도체에 맞게 조작되고 최적화되었다. 그러나 구리(Cu)와 같은 귀금속

을 포함하는 다른 중요한 전자 부품에는 전자 특성의 효과적인 설계가 적용되지 않았으며, 이는 개념적으로 새로운 장치에 대한 재료의 전체 잠재력을 제한한다.

- [76] 금속의 페르미 표면은 운송 중 GB와 같은 수많은 결함에서 무작위 산란으로 인해 압도된다. GB는 금속박막 성장 과정에서 $\sim 10^2 \mu\text{m}^{-2}$ (10^{10}cm^{-2}) 이상의 밀도로 형성되므로 피하기 어렵다. 전자와 포논(phonons)의 수송은 특히 수송 매체의 평균 자유 경로(MFP)가 GB 사이의 거리보다 긴 경우 GB에 의해 결정적으로 영향을 받는 것으로 보고된다. 또한, 현대 전자제품의 소형화로 인해 전자소자의 크기가 점점 작아지고 있으며, 금속을 비롯한 2차원(2D) 전자재료에 대한 수요가 증가하고 있다. 따라서 2D 형상에서 단결정 금속의 합성은 흥미로운 문제다. 초기 성장 단계의 핵 생성은 무수히 분리된 입자를 생성한다. 2D 금속에서 GB를 최소화하려는 엄청난 노력이 있었지만, 현재까지 특히 두께가 10 nm에 이르는 대규모 귀금속(예: Cu 및 Au)의 경우 GB를 완전히 억제하지 못했다. 초기 성장 상태에서 생성된 GB는 전자의 산란을 유발하여 결과적으로 고유 특성을 잃게 된다. 예를 들어, 귀금속의 저항률은 두께가 감소함에 따라 증가하며, 이는 2차원 한계에서 현저하게 나타난다. 그래핀의 발견으로 촉발된 2D 재료에 대한 큰 관심에도 불구하고, 새로운 금속의 2D 특성은 아직 잘 탐구되지 않았다. 따라서, 소자 제작을 위해 최소한의 금속으로 높은 전도성을 구현하는 등의 공학적인 문제를 해결하기 위해 두께 제어가 이루어지고 있다. 두께에 따른 저항률 변화의 주요 물리적 원인은 GB 특성과 함께 금속의 수정된 전도 메커니즘이다. GB가 없고 두께가 운송 매체의 평균 자유 경로(MFP) 보다 낮은 경우 금속의 비전통적인 운송이 고려될 수 있다.

[77]

- [78] 반면, 본 발명에 따른 단결정 구리 박막에서는 전자들이 GB와 충돌하는 빈도수가 현저히 적어지고 평균자유행로가 길어지며 충분히 페르미 표면 최외각을 돌게 됨에 따라 역격자 공간에서 홀 포켓(Hall pocket)을 돌면서 홀의 거동을 하게 된다.

[79]

본 발명에서 단결정 박막(SCCF)의 2D 형상과 GB 없는 성장의 조합에 의해 유도된 초청정 2D 구리에서 직관에 반하는 홀 캐리어 지배(HCD) 수송을 나타낸다. GB 밀도는 원자 스퍼터링 에피택시(ASE) 시스템으로 제작된 2D 구리에서 강력하게 억제될 수 있다. 결정립계가 없는 경우 기하학적 특징의 또 다른 범주인 쌍 결정경계 (twin boundary: TB)를 조사할 수 있으며 이는 GB와 비교하여 대칭성을 만족하므로 전자수송을 방해하지 않는다. 2D 구리의 전자 밴드 구조에 대한 엄격한 특성 분석은 구조 분석, 각도 분해 광전자 방출 분광법(ARPES) 측정 및 2캐리어 모델 피팅 분석을 통한 홀 측정을 통해 수행되었다. 기존 구리의 전자 캐리어와 달리 2D 단결정 박막(SCCF)의 GB 억제는 홀 캐리어 지배(HCD) 전송을 나타낸다. 이론적으로 첫 번째 원리 계산과 각도 분해 광전자 방출 분광법(ARPES) 측정은 GB가 0인 2D 구리에서 페르미 표면의 오목 형상에 의한 HCD 전송을 실

험적으로 설명한다. 전송의 고유한 특성은 2D 형상의 GB 엔지니어링을 기반으로 금속에서 전하 캐리어의 겹보기 극성을 조작하는 획기적인 방법을 제시한다.

[80] 도 2(a)는 벌크 단결정 구리의 페르미 표면을 나타내며 상기 벌크(3D) 단결정 구리가 2D가 되었을 때는 도 2(b)와 같은 패턴을 나타낸다. 만약 구리가 이상적인 단결정 구조라면 전자들은 도 2(b)의 최외각 표면을 돌게 되고, 이를 주기적인 역격자 공간의 그림으로 나타내었을 때 도 3과 같이 된다.

[81] 도 3의 파란 원으로 나타난 바와 같이, 전자들은 전자 궤도를 돌지만, 최외각을 도는 전자는 오픈 궤도(open orbit)를 통해 옆의 페르미 면으로 나가면서 삼각형 형태로 되어 있는 홀 궤도(hole orbit)를 돌게 된다. 도 2 및 도 3의 이론적 계산 결과는 실험적으로도 증명된다.

[82] 도 4(a)는 도 3에서 예측되었던 2D 단결정 구리의 이론적 모델을 정확히 실험적으로 나타내고 있다. 도 3(a)의 아래쪽 육각형 궤도(hexagonal orbit)는 전자 궤도를 나타내며, 오른쪽 어깨 위치 혹은 왼쪽 어깨 위치에 보이는 삼각형 궤도(triangle orbit)는 홀(hole)의 궤도를 나타낸다. 도 4(a)의 주황색 화살표 방향을 따라 k_x 방향으로 에너지 분포를 측정한 것이 도 4(b)이며, 여기서는 전자에 대한 궤도(파란 점선)와 홀(hole) 궤도(노란 점선)가 매우 뚜렷하게 관측된다.

[83] 2D 구리 박막의 고유 특성을 이해하기 위해 2D 한계에서 구리의 전자 밴드 구조를 계산했다. 구리가 공간 좌표를 따라 나노미터 규모까지 두께를 줄여 2D 한계에 도달하면 양자 구속으로 인해 일반 3D 페르미 표면이 도 2(a)과 같이 재구성되고 2D 서브밴드 표면이 도 2(b)와 같이 구성된다. 결과적으로 일련의 2D 페르미 표면이 생성된다. 방향을 따라 구리를 얇게 만드는 경우, 2D 페르미 표면의 특이한 변형으로 각각 오목한 전자와 정공 밴드가 형성된다.

[84] 3D 페르미 표면에서 (111) 방향을 따른 목으로 인해 도 2(b)와 같이 K-점 근처에 모양의 페르미 표면이 예측된다. 중앙(내부 고리)의 페르미 표면은 가장 바깥쪽 표면보다 더 높은 위치 에너지와 낮은 페르미 속도를 갖는 전자 궤도($eH/\hbar c$ 로 크기 조정)이며, 이러한 궤도의 캐리어는 전자이다. 가장 바깥쪽 오목한 모양의 페르미 표면은 음의 곡률을 가지므로 정공 캐리어가 발생한다. 이는 볼록형 및 오목형 페르미 표면을 따라 이동하는 전도 캐리어가 이전에 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, FeSe, 및 $Ba(Fe_{1-x}Co_x)_2As_2$ 와 같은 준 2D 시스템에서 관찰된 것처럼 페르미 표면의 기하학적 해석을 기반으로 서로 다른 극성에 기여하기 때문이다. 도 3에 표시된 것처럼 2D FS가 영역 중심(파란색 원으로 표시)에 있는 전자 포켓과 영역 모서리(빨간색 원)에 있는 홀 포켓으로 구성되어 있다는 것이 주기적인 영역 체계에서 다소 분명해진다.

[85] 양자 구속을 통해 예상되는 페르미 표면의 재구성을 실험적으로 확인하기 위해 ARPES를 사용하여 저온에서 2D 한계에 도달할 수 있을 만큼 얇은 80 nm 두께의 2D 단결정 박막(SCCF)의 전자 구조를 직접 측정했다. 예상대로 잘 알려진 3D Cu의 페르미 표면 토폴로지(도 2(a))와 뚜렷하게 대조되는 $k_z=0$ 평면(도 4(a))에 대해 취해진 페르미 표면 토폴로지(도 4(a))는 두 가지 유형을 명확하게 보여준다.

페르미 표면(FS), 영역 중심에 중심을 둔 큰 육각형 FS 및 영역 모서리 주변의 삼각형 FS는 계산된 FS 토폴로지와 밀접하게 일치한다.

[86]

[87] 도 5는 홀(Hall) 측정을 통해, 홀(Hall) 저항이 자기장에 따라 어떻게 변하는지를 본 측정이며, 여기서는 도 1과 달리 직선이 아니라 비선형적인 거동을 나타낸다. 이러한 비선형 거동은 온도가 낮아지면 더 뚜렷하게 나타난다. 또한, 이러한 비선형 거동은 단결정 구리 박막이 200 nm 이하의 두께에서부터 나타나며, 10 nm 두께의 박막까지 예외 없이 나타난다. 특히, 40 nm 근처 두께에서 비선형성은 가장 뚜렷하게 나타난다.

[88]

가장 비선형성이 뚜렷한 40 nm 단결정 구리 박막 시료를 사용하여 GB가 홀(hole) 거동에 어떤 영향을 미치는지 조사한 결과, GB가 있는 시료에서는 비선형 거동이 나타나지 않고 약간의 GB가 존재하는 경우에도 비선형성이 약해지므로, GB가 거의 사라진 2D 구리 박막 내에서 홀(hole) 수송자의 관측이 매우 뚜렷하게 나타난다.

[89]

보다 구체적으로, 2D 구리의 비선형 홀효과(NHE)를 측정하기 위해, HCD 전송을 직접 조사했다. 구리의 페르미 표면은 자유 전자와 유사한 s 밴드에서 유래하는 반면, 완전히 채워진 d 전자는 페르미 준위 근처의 전자 밴드에 기여하지 않는다. 구리의 s-밴드 특성은 충분히 높은 전도성과 최대 1.1×10^6 m/s의 페르미 속도를 보장하며, 이는 컬러 매핑을 통해 도 2(a)에 나와 있다. 도 1에 나타난 바와 같이, 1 μ m 보다 두꺼운 벌크 단결정 구리는 T=3 K에서 $n=9.09 \times 10^{22}$ cm⁻³의 단일 캐리어(전자) 밀도를 갖는 일반적인 홀 효과를 보여준다. 도 5(a)에 나타난 바와 같이, 단결정이라하더라도 3D의 단결정 구리는 2D 한계에서의 다결정 구리박막(PCCF)와 동일하게 거동함을 의미한다.

[90]

[91]

3D 구리에도 오목한 페르미 표면이 있지만 이 영역은 매우 좁으며 주기 영역 체계에서 순전히 홀(hole)과 같은 궤도로 이어지지 않는다. 따라서 벌크 구리에서 홀(hole) 캐리어를 관찰하는 것은 어렵다. 그러나 2D 단결정 박막(SCCF) 샘플은 2D 영역에서 다른 동작을 보여준다. 도 5(b) 내지 도 5(f)에 나타난 바와 같이, 2D 단결정 박막(SCCF) 샘플의 두께가 205 nm 미만으로 감소함에 따라 외부 자기장에 대한 선형 반응을 나타내는 일반 홀 효과가 비선형 홀 효과(NHE)로 변경된다. 여기서 비선형 홀 효과(NHE)는 일반 홀 효과라고 불리는 외부 자기장에 대한 선형 의존성으로부터의 편차를 나타낸다. 도 5(b)에 나타난 바와 같이, 저온에서의 비선형성은 205 nm의 두께에서 시작하여 80 nm (도 5(c))와 40 nm (도 5(d))의 두께에서 더욱 두드러지며 12 nm (도 5(e))와 10 nm (도 5(f))의 얇은 샘플에서는 약간 억제되며 박막 성장의 한계에 접근하고 있다.

[92]

[93] 이하, 기존의 방법으로 제조된 비교예와 실시예를 비교하고 실험예를 통하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다. 본 발명의 목적, 특징, 장점은 이하의 실시예를 통하여 쉽게 이해될 것이다. 본 발명은 여기서 설명하는 실시예에 한정되지 않고, 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 여기서 소개되는 실시예는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 이하의 실시예에 의해 본 발명이 제한되어서는 안 된다.

[94]

[95] **실시예 1 : ASE 기술을 통한 단결정 구리 박막의 제조**

[96] Cu 박막은 ASE 기술을 사용하여 GB-free 단결정 및 GB 밀도 제어 단결정으로 고품질 결정성을 갖도록 제작되었다. ASE 시스템은 단결정 스퍼터링 타겟을 사용하고 기존 전기 도체를 단결정 도체로 대체하고 기계적 잡음 감소(MNR) 시스템을 사용하여 개선된 수정된 RF 스퍼터링 시스템이다. 최적 성장 온도는 약 170 °C이며 시스템에 따라 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 씩 달라진다. GB 밀도 조절을 위해 의도적으로 최적 온도보다 낮은 100 °C에서 40 nm 두께의 GB가 존재하는 박막을 성장시키고 추가적인 열처리를 통해 GB의 개수를 조절하였다. GB 및 TB 수는 RD 모드에서 오배향선 분포 (misorientation line distribution)를 사용한 EBSD 매핑을 통해 매우 정확하게 얻어졌다. 증착 분위기로는 Ar 가스(99.9999%, 6N)를 사용하였다. 증착 시간과 박막 두께(또는 평균 성장 속도)의 관계는 최적 조건에서 성장한 200 nm 두께의 필름의 평균 증착 시간으로부터 결정되었다. $\sim 4.3 \text{ nm/min}$ 의 결정된 평균 성장률은 10 nm의 필름 두께 이상에서는 상당히 신뢰할 수 있다. RF 스퍼터링의 초기 압력은 $2.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 였으며, 아르곤 가스(99.9999%)를 0.5 Pa까지 주입하여 작동 압력을 조절하였다. RF 출력은 25 W, 회전 속도는 30 RPM이었다. 필름의 두께는 증착 시간에 따라 조절되었으며 원자간력현미경(AFM)으로 확인되었다. 단면 구리 필름의 원자 구조는 $\sim 23^{\circ}$ 의 프로브 형성 각도로 200 kV에서 작동하는 수차 보정 주사 투과 전자 현미경(STEM, JEM-ARM200CF, JEOL)을 사용하여 환상 암시야(ADF) 이미징 모드에서 관찰되었다. ADF 검출기의 각도 범위는 45-170mrad로 설정되었다.

[97]

[98] **실험예 1 : 구조 측정**

[99] EBSD 이미지는 EDAX-TSL Hikari EBSD 검출기를 포함한 완전 자동화 장치 부착 장치가 장착된 SUPRA40 VP 시스템(Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany)을 사용하여 얻었다. EBSD 맵은 육각형 그리드에서 80 nm의 공간 단계 크기를 사용하여 획득되었다. 단일 매핑의 영역 크기는 약 $174.3 \mu\text{m}^2$ 이다. EBSD 스캔 중 Kikuchi 지도의 평균 신뢰 지수는 일반적으로 0.80에서 0.90 사이였다. 그러나 다결정 Cu막의 경우 지수는 0.7 수준이었다. 오배향 통계는 TSL OIM 분석 v7(Ametek, Inc)을 사용하여 EBSD 맵에서 파생되었다. 오배향이 1° 보다 큰 경우

두 인접 지점 사이의 세그먼트를 경계로 간주했다. 오배향지도에서 오배향 각도가 0에서 59° 사이인 경계는 GB에 해당하는 파란색 선으로 표시되고 오배향 각도가 60°인 경계는 빨간색 선으로 표시되며 이는 면심 입방체(FCC)(111) 구조의 TB와 관련된다.

[100]

[101] **실험예 2 : ARPES 측정**

[102] 고해상도 ARPES 측정은 ALS(Advanced Light Source)의 빔라인 4.0.3에서 수행되었다. Cu 박막은 5×10^{-10} Torr 이상의 압력으로 초고진공 하에서 어닐링되었으며 5×10^{-11} Torr 이상의 압력으로 10 K에서 측정되었다. 전체 에너지 및 각도 분해능은 20 meV 및 0.1°보다 높게 설정되었다.

[103]

[104] **실험예 3 : 홀 측정 및 샘플 준비**

[105] 사파이어 기판 위의 Cu 박막의 홀바 장치는 e-빔 리소그래피와 FeCl₃ 용액을 이용한 습식 에칭을 통해 제작되었다. 일반적인 장치 채널 길이와 너비는 각각 200 μm 와 20 μm 였다. Cu 박막 장치의 전기 수송 측정은 T=1.5 ~ 300K의 온도 범위에서 TeslatronPT(Oxford)에 의해 수행되었다. 자기장(최대 12테슬라)이 평면 표면에 수직인 방향을 따라 적용되었다. Keithley 4200 또는 6221 전류 발생기를 사용하여 장치에 DC 전류를 적용하고 여러 Keithley 2182A 전압계를 사용하여 종방향(비저항 및 자기저항의 경우) 및 횡방향(홀의 경우) 전압 차이를 동시에 측정했다. 인가된 전류는 mA 정도였다.

[106]

[107] **실험예 4 : 다결정 및 단결정 시료 비교**

[108] 다결정과 단결정 시료의 비교를 위하여 GB가 많은 다결정 박막과 각기 다른 농도의 GB를 갖는 단결정 박막을 준비하여 비교하였다.

[109] 1열은 40 nm 두께 박막에 대해 EBSD를 측정하였고, 2열은 오배향 선을 측정하여 GB의 수 및 쌍결정 경계의 수(이하 TB) 등을 가장 오른쪽 열에 표로 나타내었고, 3열은 각 시료의 홀 효과 측정 결과를 제시하였다. 또한, (a)는 GB 농도가 $10^2 / \mu\text{m}^2$ 이상인 다결정 박막에 대한 실험 결과이며, 온도를 다르게 열처리하여 형성된 $10^1 / \mu\text{m}^2$ (b), $10^0 / \mu\text{m}^2$ (c), $10^{-1} / \mu\text{m}^2$ (d) 및 0 (e)의 농도를 조절하여 ASE 법으로 성장된 단결정 박막이다.

[110] 다결정인 시료에 비해 GB가 많이 줄어든 (b) ~ (d)의 시료들은 면외(out of plane) 방향으로 완벽히 (111) 방향으로 정렬되어 있지만, 면내(in-plane) 방향으로 일부의 GB (2열에서 파란색으로 표기된 선) 들이 여전히 존재하며 GB가 완전히 사라진 (e)의 시료에서 가장 강하게 비선형 거동이 나타난다. 2열에서 빨간색으로 나타낸 선들은 TB로, 인접한 두 배향은 대칭성을 만족하기 때문에 전자의 운동에 뚜렷한 영향을 미치지 않는다.

[111]

- [112] 상기 과제에 해결 수단에 의해, 본 발명은 일반적인 구리가 갖는 결함을 해결하고, 전자의 평균자유행로(mean free path)를 길게 함으로써 기존의 전자가 머무는 페르미 표면(Fermi surface)의 구조를 다르게 만들어 전자의 궤도를 변형할 수 있다.
- [113] 또한, 본 발명은 구리 전자 궤도를 변형시켜 구리만으로 n-type과 p-type의 특성을 구현할 수 있도록 마련된 구리 박막을 제조할 수 있다.
- [114]
- [115] 이와 같이, 상술한 본 발명의 기술적 구성은 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자가 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.
- [116] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해되어야 하고, 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타나며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

청구범위

- [청구항 1] 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되,
상기 단결정 구리 박막은 낱알 경계(grain boundary: GB)가 억제된 것을 특징으로 하는,
낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막.
- [청구항 2] 제 1항에 있어서,
상기 단결정 구리 박막은,
자기장에 따른 홀(Hall) 저항이 비선형적인 거동을 나타내는 것을 특징으로 하는,
낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막.
- [청구항 3] 제 1항에 있어서,
상기 단결정 구리 박막은,
사파이어 기판 위에서 원자 스퍼터링 에피택시(ASE)에 의해 구리를 성장시킨 것을 특징으로 하는,
낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막.
- [청구항 4] 두께가 200 nm 이하인 단결정 구리 박막을 포함하되,
상기 단결정 구리 박막은 GB가 억제되고,
전기적 특성이 p-type 으로 변형된 것을 특징으로 하는,
단결정 구리 박막 반도체.
- [청구항 5] 제 4항에 있어서,
상기 단결정 구리 박막은,
자기장에 따른 홀(Hall) 저항이 비선형적인 거동을 나타내는 것을 특징으로 하는,
단결정 구리 박막 반도체.
- [청구항 6] 제 4항에 있어서,
상기 단결정 구리 박막은,
사파이어 기판 위에서 원자 스퍼터링 에피택시(ASE)에 의해 구리를 성장시킨 것을 특징으로 하는,
단결정 구리 박막 반도체.
- [청구항 7] 구리를 160 내지 180 °C에서 RF 스퍼터링하여 구리 박막을 성장하여 제조된 것을 특징으로 하는,
낱알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법.
- [청구항 8] 제 7항에 있어서,

상기 RF 스퍼터링의 초기 압력은 2.0×10^{-3} 내지 2.5×10^{-3} Pa 인 것을 특징으로 하는,

날알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법.

[청구항 9]

제 7항에 있어서,

상기 RF 스퍼터링은 Ar 가스 분위기에서 수행되는 것을 특징으로 하는, 날알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법.

[청구항 10]

제 7항에 있어서,

상기 RF 스퍼터링은 Ar 가스를 0.3 내지 0.7 Pa까지 주입하여 압력을 조절하는 것을 특징으로 하는,

날알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법.

[청구항 11]

제 7항에 있어서,

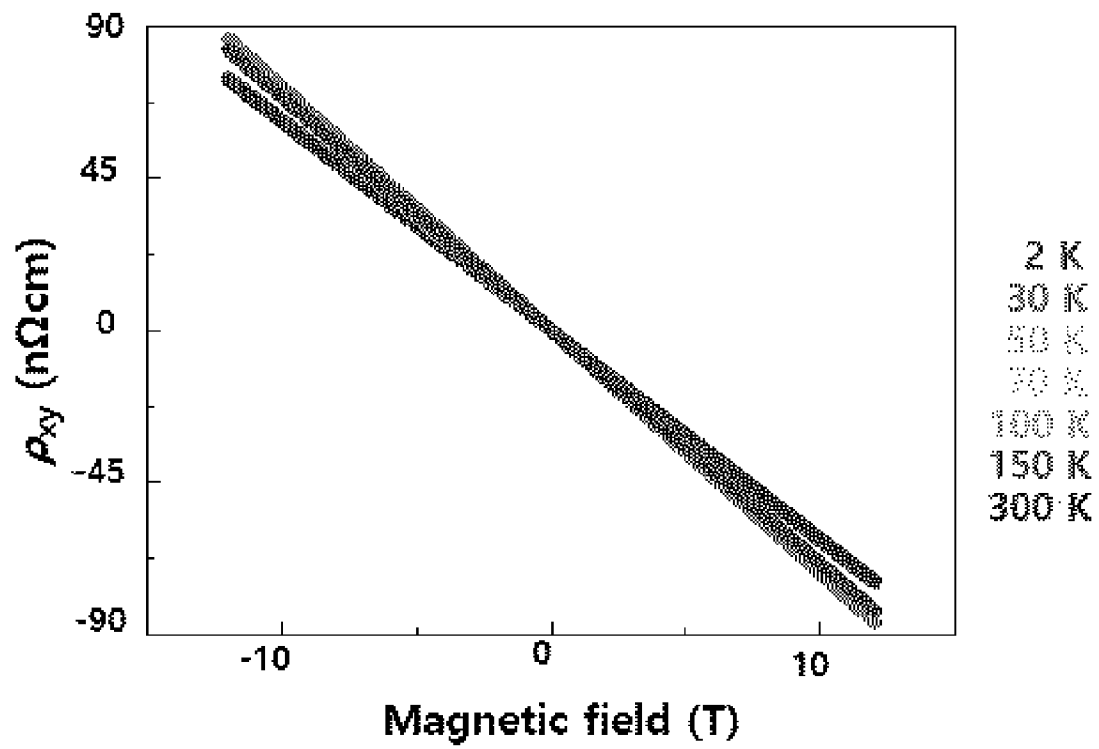
상기 RF 스퍼터링의 RF 출력은 23 내지 27 W 인 것을 특징으로 하는, 날알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법.

[청구항 12]

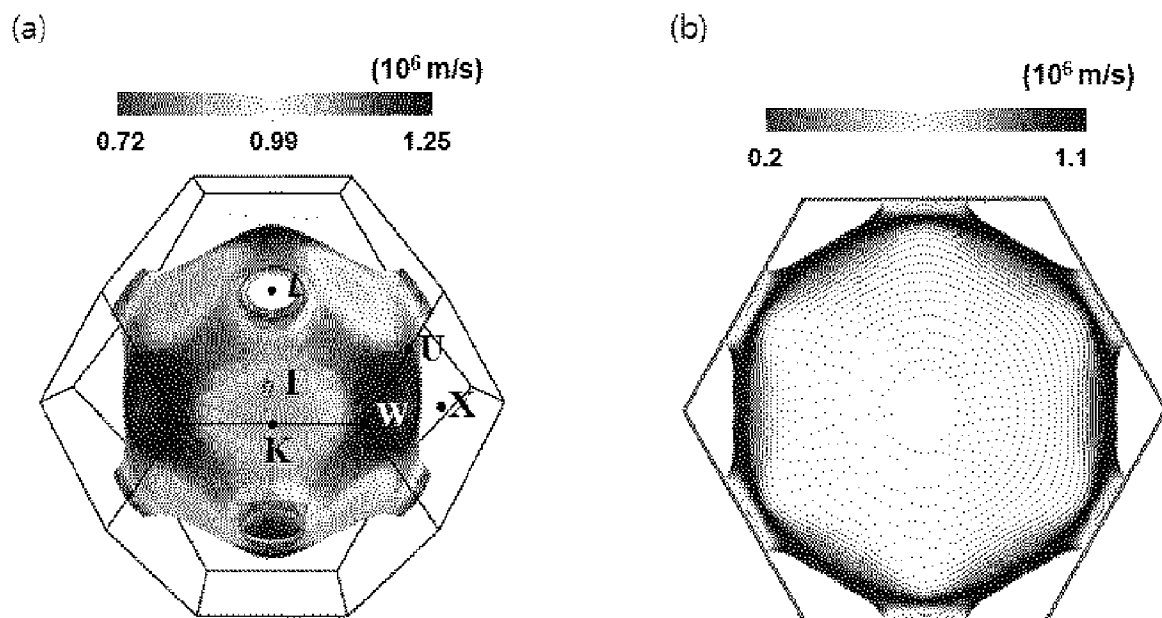
제 7항에 있어서,

상기 RF 스퍼터링의 회전 속도는 25 내지 35 RPM 인 것을 특징으로 하는, 날알 경계가 억제된 2차원 단결정 박막에서 비선형 홀효과 및 홀 수송자 지배적 수송현상을 포함하는 단결정 구리 박막 제조방법.

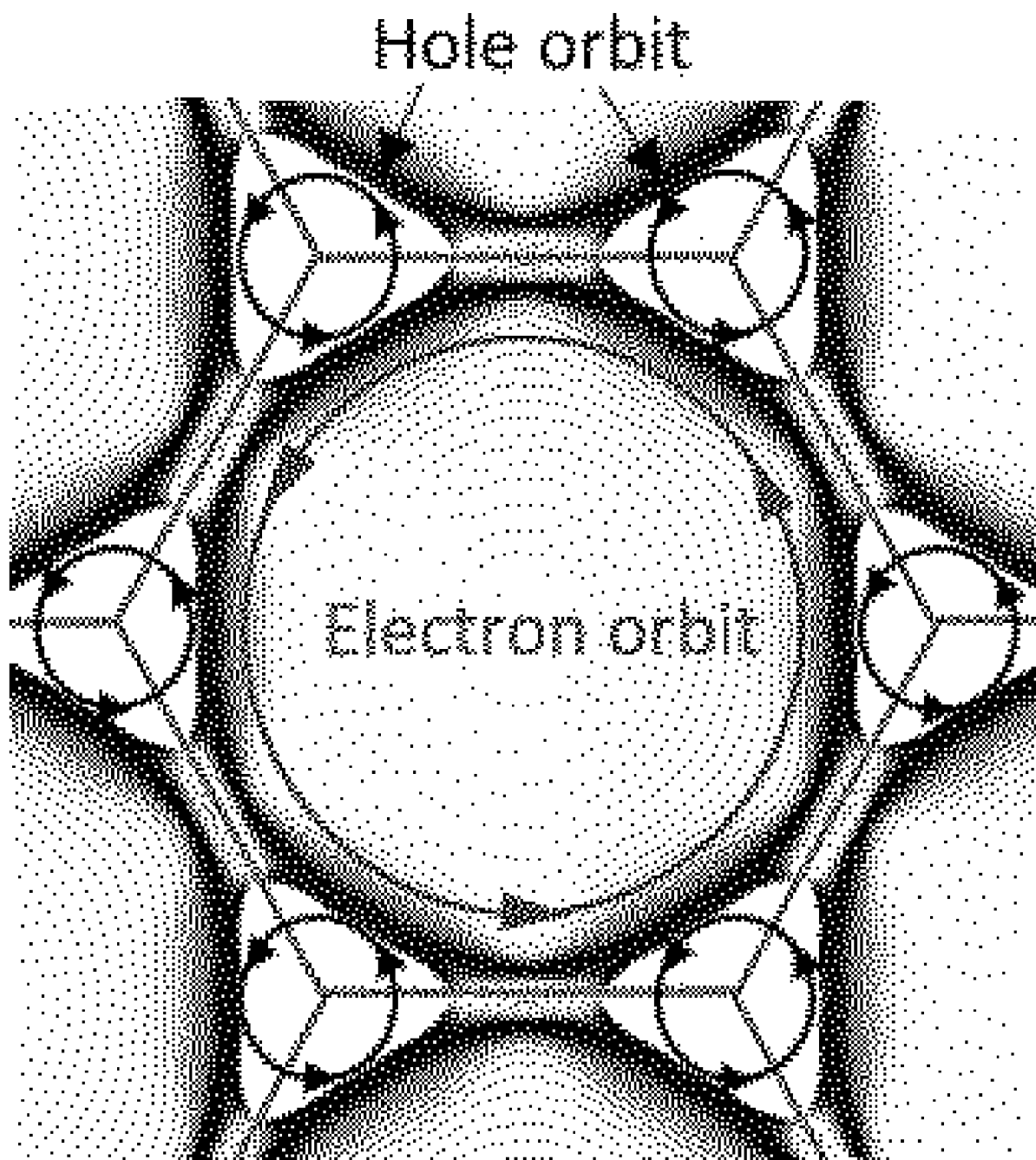
[도1]



[도2]

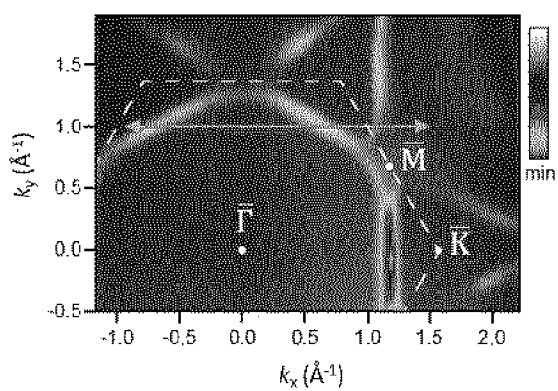


[도3]

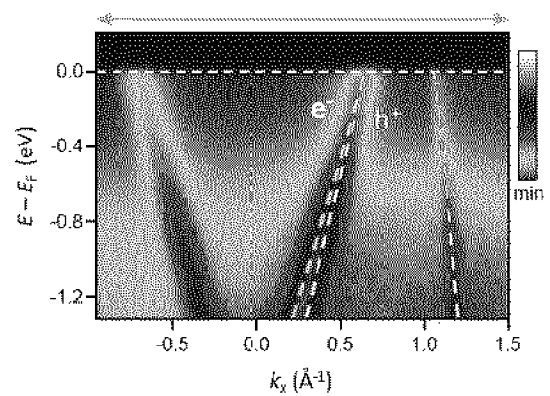


[도4]

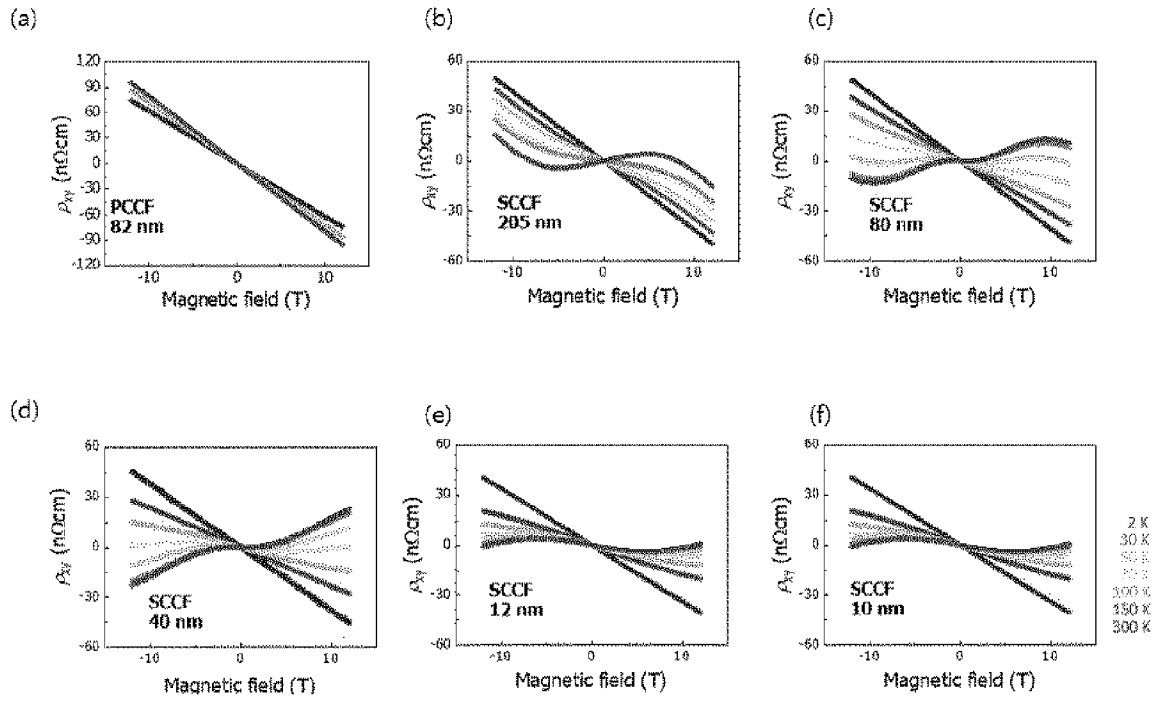
(a)



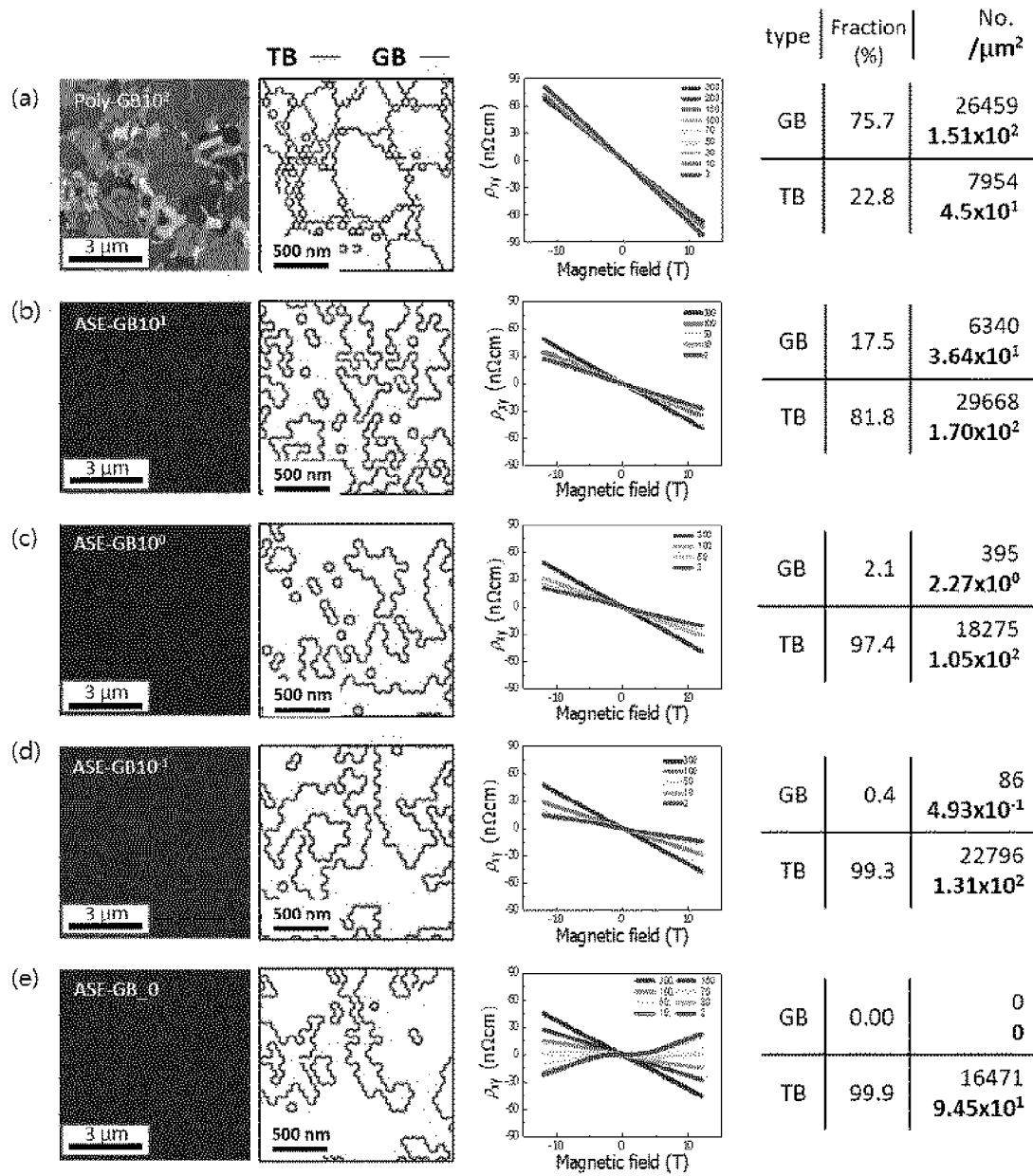
(b)



[도5]



[도6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2024/007800

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H10N 52/80(2023.01)i; H10N 52/00(2023.01)i; H10N 52/01(2023.01)i; H01L 29/82(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)

H10N 52/80(2023.01); B22F 1/00(2006.01); B22F 9/24(2006.01); B82Y 40/00(2011.01); C25D 1/04(2006.01); C25D 3/38(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: 단결정(single crystal), 구리(Cu, copper), 2차원(two dimensional), 낱알 경계(grain boundary), 수송자(carrier)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KANG, Kyungrok et al. Hole-carrier-dominant transport in 2D single-crystal copper. 12 July 2022. Research Square. Version 1. [Retrieved on 27 August 2024]. Retrieved from <Research Square. https://www.researchsquare.com/article/rs-1827435/v1 >, < https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1827435/v1 >. See pages 1-15. * 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.	1-12
A	LEE, Seunghun et al. Fabrication of high-quality single-crystal Cu thin films using radio-frequency sputtering. 29 August 2014. Nature, Scientific Reports. volume 4, Article number: 6230. [Retrieved on 27 August 2024]. Retrieved from <Nature. ://www.nature.com/articles/srep06230 >, < https://doi.org/10.1038/srep06230 >. See pages 1-3.	1-12
A	KR 10-2021-0047114 A (IUCF-HYU (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY)) 29 April 2021 (2021-04-29) See claims 1-19.	1-12



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

10 September 2024

Date of mailing of the international search report

10 September 2024

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/KR2024/007800

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2019-0038780 A (KOREA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 April 2019 (2019-04-09) See claims 1-10.	1-12
A	CN 114703515 A (INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 05 July 2022 (2022-07-05) See claims 1-10.	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2024/007800

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
KR	10-2021-0047114	A	29 April 2021	KR	10-2022-0014161	A	04 February 2022
				US	2023-0340693	A1	26 October 2023
				WO	2021-080276	A1	29 April 2021
KR	10-2019-0038780	A	09 April 2019	KR	10-1999144	B1	11 July 2019
CN	114703515	A	05 July 2022	CN	114703515	B	03 May 2024

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H10N 52/80(2023.01)i; H10N 52/00(2023.01)i; H10N 52/01(2023.01)i; H01L 29/82(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H10N 52/80(2023.01); B22F 1/00(2006.01); B22F 9/24(2006.01); B82Y 40/00(2011.01); C25D 1/04(2006.01); C25D 3/38(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: 단결정(single crystal), 구리(Cu, copper), 2차원(two dimensional), 낱알 경계(grain boundary), 수송자(carrier)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	KYUNGROK KANG 등, Hole-carrier-dominant transport in 2D single-crystal copper, 2022.07.12, Research Square, Version 1, [검색일: 2024.08.27], 출처 <Research Square, https://www.researchsquare.com/article/rs-1827435/v1 >, < https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1827435/v1 > 페이지 1-15 * 위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원에서 `공지에외주장`된 문헌임.	1-12
A	SEUNGHUN LEE 등, Fabrication of high-quality single-crystal Cu thin films using radio-frequency sputtering, 2014.08.29, Nature, Scientific Reports volume 4, Article number: 6230, [검색일: 2024.08.27], 출처 <Nature, https://www.nature.com/articles/srep06230 >, < https://doi.org/10.1038/srep06230 > 페이지 1-3	1-12
A	KR 10-2021-0047114 A (한양대학교 산학협력단) 2021.04.29 청구항 1-19	1-12
A	KR 10-2019-0038780 A (한국과학기술연구원) 2019.04.09 청구항 1-10	1-12
☒ 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 문헌과조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2024년09월10일(10.09.2024)		국제조사보고서 발송일 2024년09월10일(10.09.2024)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 양정록 전화번호 +82-42-481-5709

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	CN 114703515 A (INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 2022.07.05 청구항 1-10	1-12

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2021-0047114 A	2021/04/29	KR 10-2022-0014161 A	2022/02/04
		US 2023-0340693 A1	2023/10/26
		WO 2021-080276 A1	2021/04/29
KR 10-2019-0038780 A	2019/04/09	KR 10-1999144 B1	2019/07/11
CN 114703515 A	2022/07/05	CN 114703515 B	2024/05/03