

**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2024-0157535

(43) 공개일자 2024년11월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

**C25D 1/00** (2006.01) **C25D 3/56** (2006.01)**C25D 5/18** (2006.01) **B82Y 40/00** (2017.01)

(52) CPC특허분류

**C25D 1/006** (2013.01)**C25D 3/56** (2013.01)

(21) 출원번호 10-2024-0028590

(22) 출원일자 2024년02월28일

심사청구일자 2024년02월28일

(30) 우선권주장

1020230054065 2023년04월25일 대한민국(KR)

(71) 출원인

**고려대학교 산학협력단**

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

**김영근**

서울특별시 강남구 압구정로61길 37, 72동 1109호(압구정동, 한양아파트)

**문준환**

서울특별시 성북구 보문사길 111, 110동 1404호(보문동6가, 보문파크뷰자이)

**김태순**

경기도 성남시 분당구 분당로263번길 13, 618동 706호(서현동, 효자촌대우아파트)

(74) 대리인

**김연권**

전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **몰리브데늄계 나노금속 및 그의 제조 방법****(57) 요약**

본 발명은 몰리브데늄계 나노금속 및 그의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따르면 몰리브데늄계 나노금속은 일측에 전기도금 방법을 위한 작업 전극이 위치하고, 작업 전극의 상대 전극이 일측의 반대측에 위치하는 다공성 틀이 위치하며, 전구체, 완충제 및 첨가제를 포함하는 용액이 사용된 도금조에서 작업 전극과 상대 전극을 통해 인가되는 전류에 기반하여 다공성 틀의 공극에 몰리브데늄이 환원되거나 코발트, 니켈 및 철 중 어느 하나와 몰리브데늄이 동시에 환원되고, 다공성 틀로부터 선택적으로 제거되어서 형성되며, 완충제 및 첨가제에 기반하여 비저항이 제어될 수 있다.

**대표도** - 도1100

(52) CPC특허분류

*C25D 5/18* (2022.05)

*B82Y 40/00* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

일측에 전기도금 방법을 위한 작업 전극이 위치하고, 상기 작업 전극의 상대 전극이 상기 일측의 반대측에 위치하는 다공성 틀(template)이 위치하며, 전구체, 완충제 및 첨가제를 포함하는 용액이 사용된 도금조에서 상기 작업 전극과 상기 상대 전극을 통해 인가되는 전류에 기반하여 상기 다공성 틀의 공극에 몰리브데늄(Mo)이 환원되거나 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되고, 상기 다공성 틀로부터 선택적으로 제거되어서 형성되며, 상기 완충제 및 상기 첨가제에 기반하여 비저항이 제어되는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 다공성 틀은 이온조사한 폴리카보네트 멤브레인(polycarbonate membrane, PCM) 및 양극산화알루미늄(anodic aluminum oxide, AAO) 멤브레인 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 몰리브데늄(Mo)이 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M) 및 중황산 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bisulfate,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N(HSO_4)$ ), 수산화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium hydroxide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NOH$ ), 염화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium chloride,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NCl$ ) 및 브롬화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bromide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr$ ) 중 적어도 하나를 제공하는 테트라부틸암모늄 이온(tetrabutylammonium,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N^+$ , 0.01 M) 중 어느 하나를 포함하고, 상기 첨가제는 암모늄 아세테이트(ammonium acetate,  $CH_3CO_2NH_4$ , 7.0 M) 및 칼륨 아세테이트(potassium acetate,  $CH_3COOK$ , 1.0 M) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 및 황산코발트·7수화물(cobalt sulfate heptahydrate,  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.20 M) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M) 및 시트르산(citric acid,  $C_6H_8O_7$ , 0.04 M) 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 첨가제는 시트르산나트륨(sodium citrate tribasic dihydrate,  $C_6H_7Na_3O_8$ , 0.25 M, 0.30 M 또는 0.50 M)을 포함하는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 인가되는 전류의 밀도는  $2.50 \text{ mA/cm}^2$  내지  $10.0 \text{ mA/cm}^2$ 인 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 몰리브데늄(Mo)의 조성이 증가할수록 면심 입방(face centered cubic, FCC) 구조 및 코발트 상이 줄어들고, 상기 몰리브데늄(Mo)의 조성이 비저항성, 전기적 특성 및 응집 에너지 특성을 고려한 조성으로 결정되어서 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 금속간화합물(intermetallic compound)로 형성되는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,

특정 공정 온도에서 상기 금속간화합물(intermetallic compound)이 비정질인 다결정 형태로 존재하여 배리어층으로 사용되는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속.

#### 청구항 8

다공성 틀(template)의 일측에 전기도금 방법을 위한 작업 전극을 형성 하고, 상기 작업 전극의 상대 전극이 상기 일측의 반대측에 위치하도록 상기 다공성 틀을 준비하는 단계;

전구체, 완충제 및 첨가제를 포함하는 용액이 사용된 도금조에서 상기 작업 전극과 상기 상대 전극을 통해 인가되는 전류에 기반하여 상기 다공성 틀의 공극에 몰리브데늄(Mo)이 환원시키거나 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원시키는 단계; 및

상기 다공성 틀로부터 선택적으로 제거하여 몰리브데늄계 나노금속을 제조하는 단계를 포함하고,

상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 완충제 및 상기 첨가제에 기반하여 비 저항이 제어되는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 다공성 틀은 이온조사한 폴리카보네트 멤브레인(polycarbonate membrane, PCM) 및 양극산화알루미늄(anodic aluminum oxide, AAO) 멤브레인 중 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법.

#### 청구항 10

제8항에 있어서,

상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 몰리브데늄(Mo)이 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $\text{K}_2\text{MoO}_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0.65 M) 및 중황산 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bisulfate,  $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2)_4\text{N}(\text{HSO}_4)$ ), 수산화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium hydroxide,  $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2)_4\text{NOH}$ ), 염화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium chloride,  $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2)_4\text{NCl}$ ) 및 브롬화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bromide,  $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2)_4\text{NBr}$ )

중 적어도 하나를 제공하는 테트라부틸암모늄 이온 (tetrabutylammonium,  $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2)_4\text{N}^+$ , 0.01 M) 중 어느 하나를 포함하고, 상기 첨가제는 암모늄 아세테이트(ammonium acetate,  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NH}_4$ , 7.0 M) 및 칼륨 아세테이트 (potassium acetate,  $\text{CH}_3\text{COOK}$ , 1.0 M) 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법.

#### 청구항 11

제8항에 있어서,

상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $\text{K}_2\text{MoO}_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 및 황산코발트·7수화물(cobalt sulfate heptahydrate ( $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.20 M) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0.65 M) 및 시트르산(citric acid,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ , 0.04 M) 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 첨가제는 시트르산나트륨(sodium citrate tribasic dihydrate,  $\text{C}_6\text{H}_7\text{Na}_3\text{O}_8$ , 0.25 M, 0.30 M 또는 0.50 M)을 포함하는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법.

#### 청구항 12

제8항에 있어서,

상기 인가되는 전류의 밀도는  $2.50 \text{ mA/cm}^2$  내지  $10.0 \text{ mA/cm}^2$ 인 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법.

#### 청구항 13

제8항에 있어서,

상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 몰리브데늄(Mo)의 조성이 증가할수록 면심 입방(face centered cubic, FCC) 구조 및 코발트 상이 줄어들고, 상기 몰리브데늄(Mo)의 조성이 비저항성, 전기적 특성 및 응집 에너지 특성을 고려한 조성으로 결정되어서 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 금속간화합물 (intermetallic compound)로 형성되는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법.

#### 청구항 14

제13항에 있어서,

상기 몰리브데늄계 나노금속은 특정 공정 온도에서 상기 금속간화합물(intermetallic compound)이 비정질인 다결정 형태로 존재하여 배리어층으로 사용되는 것을 특징으로 하는

몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

본 발명은 몰리브데늄(Mo)계 나노금속 및 그의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 다공성 틀 그리고 완충제 및 첨가제를 활용한 전기도금(electrodeposition)법을 이용하여 몰리브데늄(Mo) 및 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금으로 몰리브데늄계 나노금속을 형성 및 제조하는 기술적 사상에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0001]

- [0002] 반도체 집적회로의 고집적화가 가속하여 기존의 금속배선의 급격한 저항 증가가 트랜지스터의 속도, 에너지 소모 등의 측면에서 소자 전체에 부정적인 영향을 미치고 있다.
- [0003] 반도체 소자를 포함한 직접 회로 제조공정에서 널리 사용되고 있는 구리(Cu) 금속 배선(metalization)은 전기도금(electrodeposition) 기반 다마신(damascene) 공정을 통해 제조되고 있다.
- [0004] 구리 금속배선을 둘러싸고 있는 저유전율 유전체(low-k dielectric materials)로의 확산을 막기 위해 TaN 또는 TiN 배리어(barrier)와 Cu 전기도금을 용이하게 하기 위한 Ta 또는 Ti 라이너층(liner)을 필요로 한다.
- [0005] 금속들의 두께가 그들의 전자 평균 자유 경로(mean free path) 이하로 작아지면 비저항 값이 급격히 증가하는 저항 크기 효과(size effect)가 나타난다.
- [0006] 배리어층과 라이너층의 TaN/Ta 이중층 구조는 소자의 원하는 수명을 달성하는 데 중요하지만, Cu 금속 배선보다 전기 저항이 훨씬 높을 뿐만 아니라 단차가 있는 표면에서 일정한 두께(step coverage)를 유지하기 어려운 문제점이 있다.
- [0007] 몰리브데늄(Mo)은 기존에 배선으로 사용되는 Cu에 비해 벌크(bulk) 비저항 값은 높지만, 낮은 전자 평균 자유 경로를 가져 작은 직경에서 동일 직경의 Cu 보다 낮은 저항 값을 가질 수 있으며, 높은 응집 에너지를 갖기 때문에 확산 방지 특성이 우수하여 기존의 배선 구조를 단일 금속으로 대체하기에 유망하다.
- [0008] 대부분의 앞선 연구는 물리적 기상 증착법(physical vapor deposition, PVD), 화학적 기상 증착법(chemical vapor deposition, CVD), 그리고 원자층 증착법(atomic layer deposition, ALD) 방법을 이용하여 박막을 형성하거나 추가적인 공정을 통하여 나노금속을 형성하여 소재의 전기적 특성을 평가한다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 나노스케일의 기공 내에 완충제 및 첨가제를 활용한 전기도금(electrodeposition)법을 이용하여 몰리브데늄(Mo) 및 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금 나노금속을 형성 및 제조하여 기존 배선 소재 보다 낮은 전기 비저항을 갖는 소재를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0010] 본 발명은 몰리브데늄(Mo)이 전기도금 시에 경쟁 반응인 수소 발생으로 인해 나노스케일의 직경에서 실질적인 반도체 배선의 구조는 나노금속 선(wire) 형태로 박막과 달리 높은 종횡비를 갖는 저차원 구조이고, 박막과 비교하여 다른 특성을 가지는 몰리브데늄(Mo) 및 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금으로 몰리브데늄계 나노금속을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 본 발명은 용액 내에 존재하는 완충제 및 첨가제의 종류를 조절하여 높은 순도를 가지는 몰리브데늄계 나노금속 및 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0012] 본 발명은 종래의 금속(예: Cu, TaN 및 Ta) 배선 소재보다 더 낮은 전류에서 작동할 수 있는 몰리브데늄계 나노금속 및 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0013] 본 발명은 반도체 배선이 제조된 몰리브데늄계 나노금속의 확산 방지 특성이 종래의 금속 배선보다 높아서 유전체로의 확산을 방지하는 배리어층이 불필요하여 단일층으로 금속 배선을 형성하는 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0014] 본 발명은 반도체 배선의 배리어와 라이너로 이용되는 TaN/Ta 이중층 구조보다 더 낮은 전류에서 작동할 수 있는 몰리브데늄계 나노금속을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0015] 본 발명은 몰리브데늄계 합금 소재를 이용한 반도체 배선의 배리어와 라이너는 제조된 비정질의 몰리브데늄계 합금 나노금속은 금속배선의 저유전율 유전체로의 확산을 방지하는 배리어로 작용함과 동시에, 금속배선 전기도금을 위한 라이너로서 작용하여 단일층으로 금속배선 공정으로 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

- [0016] 본 발명의 일실시예에 따르면 몰리브데늄계 나노금속은 일측에 전기도금 방법을 위한 작업 전극이 위치하고, 상기 작업 전극의 상대 전극이 상기 일측의 반대측에 위치하는 다공성 틀(template)이 위치하며, 전구체, 완충제

및 첨가제를 포함하는 용액이 사용된 도금조에서 상기 작업 전극과 상기 상대 전극을 통해 인가되는 전류에 기반하여 상기 다공성 틀의 공극에 몰리브데늄(Mo)이 환원되거나 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되고, 상기 다공성 틀로부터 선택적으로 제거되어서 형성되며, 상기 완충제 및 상기 첨가제에 기반하여 비저항이 제어될 수 있다.

[0017] 상기 다공성 틀은 이온조사한 폴리카보네트 멤브레인(polycarbonate membrane, PCM) 및 양극산화알루미늄(anodic aluminum oxide, AAO) 멤브레인 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 몰리브데늄(Mo)이 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M) 및 중황산 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bisulfate,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N(HSO_4)$ ), 수산화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium hydroxide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NOH$ ), 염화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium chloride,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NCl$ ) 및 브롬화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bromide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr$ ) 중 적어도 하나를 제공하는 테트라부틸암모늄 이온(tetrabutylammonium,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N^+$ , 0.01 M) 중 어느 하나를 포함하고, 상기 첨가제는 암모늄 아세테이트(ammonium acetate,  $CH_3CO_2NH_4$ , 7.0 M) 및 칼륨 아세테이트(potassium acetate,  $CH_3COOK$ , 1.0 M) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0019] 상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 및 황산코발트·7수화물(cobalt sulfate heptahydrate,  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.20 M) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M) 및 시트르산(citric acid,  $C_6H_8O_7$ , 0.04 M) 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 첨가제는 시트르산나트륨(sodium citrate tribasic dihydrate,  $C_6H_7Na_3O_8$ , 0.25 M, 0.30 M 또는 0.50 M)을 포함할 수 있다.

[0020] 상기 인가되는 전류의 밀도는  $2.50 \text{ mA/cm}^2$  내지  $10.0 \text{ mA/cm}^2$ 일 수 있다.

[0021] 상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 몰리브데늄(Mo)의 조성이 증가할수록 면심 입방(face centered cubic, FCC) 구조 및 코발트 상이 줄어들고, 상기 몰리브데늄(Mo)의 조성이 비저항성, 전기적 특성 및 응집 에너지 특성을 고려한 조성으로 결정되어서 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 금속간화합물(intermetallic compound)로 형성될 수 있다.

[0022] 본 발명의 일실시예에 따르면 몰리브데늄계 나노금속은 특정 공정 온도에서 상기 금속간화합물(intermetallic compound)이 비정질인 다결정 형태로 존재하여 배리어층으로 사용될 수 있다.

[0023] 본 발명의 일실시예에 따르면 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 다공성 틀(template)의 일측에 전기도금 방법을 위한 작업 전극을 형성 하고, 상기 작업 전극의 상대 전극이 상기 일측의 반대측에 위치하도록 상기 다공성 틀을 준비하는 단계, 전구체, 완충제 및 첨가제를 포함하는 용액이 사용된 도금조에서 상기 작업 전극과 상기 상대 전극을 통해 인가되는 전류에 기반하여 상기 다공성 틀의 공극에 몰리브데늄(Mo)이 환원시키거나 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원시키는 단계 및 상기 다공성 틀로부터 선택적으로 제거하여 몰리브데늄계 나노금속을 제조하는 단계를 포함하고, 상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 완충제 및 상기 첨가제에 기반하여 비저항이 제어될 수 있다.

[0024] 상기 다공성 틀은 이온조사한 폴리카보네트 멤브레인(polycarbonate membrane, PCM) 및 양극산화알루미늄(anodic aluminum oxide, AAO) 멤브레인 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0025] 상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 몰리브데늄(Mo)이 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M) 및 중황산 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bisulfate,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N(HSO_4)$ ), 수산화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium hydroxide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NOH$ ), 염화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium chloride,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NCl$ ) 및 브롬화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bromide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr$ ) 중 적어도 하나를 제공하는 테트라부틸암모늄 이온(tetrabutylammonium,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N^+$ , 0.01 M) 중 어느

하나를 포함하고, 상기 첨가제는 암모늄 아세테이트(ammonium acetate,  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NH}_4$ , 7.0 M) 및 칼륨 아세테이트(potassium acetate,  $\text{CH}_3\text{COOK}$ , 1.0 M) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 상기 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $\text{K}_2\text{MoO}_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 및 황산코발트·7수화물(cobalt sulfate heptahydrate ( $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.20 M) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 완충제는 붕산(boric acid,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0.65 M) 및 시트르산(citric acid,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ , 0.04 M) 중 적어도 하나를 포함하며, 상기 첨가제는 시트르산나트륨(sodium citrate tribasic dihydrate,  $\text{C}_6\text{H}_7\text{Na}_3\text{O}_8$ , 0.25 M, 0.30 M 또는 0.50 M)을 포함할 수 있다.

[0027] 상기 인가되는 전류의 밀도는  $2.50 \text{ mA/cm}^2$  내지  $10.0 \text{ mA/cm}^2$ 일 수 있다.

[0028] 상기 몰리브데늄계 나노금속은 상기 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 몰리브데늄(Mo)의 조성이 증가할수록 면심 입방(face centered cubic, FCC) 구조 및 코발트 상이 줄어들고, 상기 몰리브데늄(Mo)의 조성이 비저항성, 전기적 특성 및 응집 에너지 특성을 고려한 조성으로 결정되어서 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 금속간화합물(intermetallic compound)로 형성될 수 있다.

[0029] 상기 몰리브데늄계 나노금속은 특정 공정 온도에서 상기 금속간화합물(intermetallic compound)이 비정질인 다결정 형태로 존재하여 배리어층으로 사용될 수 있다.

### 발명의 효과

[0030] 본 발명은 나노스케일의 기공 내에 완충제 및 첨가제를 활용한 전기도금(electrodeposition)법을 이용하여 몰리브데늄(Mo) 및 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금 나노금속을 형성 및 제조하여 기존 배선 소재 보다 낮은 전기 비저항을 갖는 소재를 제공할 수 있다.

[0031] 본 발명은 몰리브데늄(Mo)이 전기도금 시에 경쟁 반응인 수소 발생으로 인해 나노스케일의 직경에서 실질적인 반도체 배선의 구조는 나노금속 선(wire) 형태로 박막과 달리 높은 종횡비를 갖는 저차원 구조이고, 박막과 비교하여 다른 특성을 가지는 몰리브데늄(Mo) 및 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금으로 몰리브데늄계 나노금속을 제공할 수 있다.

[0032] 본 발명은 용액 내에 존재하는 완충제 및 첨가제의 종류를 조절하여 높은 순도를 가지는 몰리브데늄계 나노금속 및 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0033] 본 발명은 종래의 금속(예: Cu, TaN 및 Ta) 배선 소재보다 더 낮은 전류에서 작동할 수 있는 몰리브데늄계 나노금속 및 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다..

[0034] 본 발명은 반도체 배선이 제조된 몰리브데늄계 나노금속의 확산 방지 특성이 종래의 금속 배선보다 높아서 유전체로의 확산을 방지하는 배리어층이 불필요하여 단일층으로 금속 배선을 형성하는 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0035] 본 발명은 반도체 배선의 배리어와 라이너로 이용되는 TaN/Ta 이중층 구조보다 더 낮은 전류에서 작동할 수 있는 몰리브데늄계 나노금속을 제공할 수 있다.

[0036] 본 발명은 몰리브데늄계 합금 소재를 이용한 반도체 배선의 배리어와 라이너는 제조된 비정질의 몰리브데늄계 합금 나노금속은 금속배선의 저유전율 유전체로의 확산을 방지하는 배리어로 작용함과 동시에, 금속배선 전기도금을 위한 라이너로서 작용하여 단일층으로 금속배선 공정으로 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속을 설명하는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 설명하는 도면이다.

도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 전기적 특성의 측정법 및 전기적 특성

을 설명하는 도면이다.

도 4a는 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 고해상도 투과전자현미경(HR-TEM) 이미지와 선택 영역 전자회절(SAED) 분석을 설명하는 도면이다.

도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 X선 회절(XRD) 분석 결과를 설명하는 도면이다.

도 5a 및 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 제조 방법에 따른 이온 작용을 설명하는 도면이다.

도 5c는 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 선형주사전위법을 이용한 첨가제별 수소 발생 반응을 비교 설명하는 도면이다.

도 5d는 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 X선 광전자 분광 표면분석 결과를 설명하는 도면이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM) 이미지를 설명하는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 조성별 열처리 전후의 전기적 특성을 설명하는 도면이다.

도 8a 내지 도 8d는 본 발명의 일실시예에 따른 폴리브데늄계 나노금속의 열처리 후 조성별 X선 회절(XRD) 및 미세구조 분석 결과를 설명하는 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0038] 이하, 본 문서의 다양한 실시 예들이 첨부된 도면을 참조하여 기재된다.
- [0039] 실시 예 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0040] 하기에서 다양한 실시 예들을 설명에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0041] 그리고 후술되는 용어들은 다양한 실시예들에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0042] 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다.
- [0043] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0044] 본 문서에서, "A 또는 B" 또는 "A 및/또는 B 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다.
- [0045] "제1," "제2," "첫째," 또는 "둘째," 등의 표현들은 해당 구성요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성요소들을 한정하지 않는다.
- [0046] 어떤(예: 제1) 구성요소가 다른(예: 제2) 구성요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성요소가 상기 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성요소(예: 제3 구성요소)를 통하여 연결될 수 있다.
- [0047] 본 명세서에서, "~하도록 구성된(또는 설정된)(configured to)"은 상황에 따라, 예를 들면, 하드웨어적 또는 소프트웨어적으로 "~에 적합한," "~하는 능력을 가지는," "~하도록 변경된," "~하도록 만들어진," "~를 할 수 있는," 또는 "~하도록 설계된"과 상호 호환적으로(interchangeably) 사용될 수 있다.
- [0048] 어떤 상황에서는, "~하도록 구성된 장치"라는 표현은, 그 장치가 다른 장치 또는 부품들과 함께 "~할 수 있는" 것을 의미할 수 있다.
- [0049] 예를 들면, 문구 "A, B, 및 C를 수행하도록 구성된(또는 설정된) 프로세서"는 해당 동작을 수행하기 위한 전용 프로세서(예: 임베디드 프로세서), 또는 메모리 장치에 저장된 하나 이상의 소프트웨어 프로그램들을 실행함으

로써, 해당 동작들을 수행할 수 있는 범용 프로세서(예: CPU 또는 application processor)를 의미할 수 있다.

- [0050] 또한, '또는'이라는 용어는 배타적 논리합 'exclusive or' 이기보다는 포괄적인 논리합 'inclusive or'를 의미한다.
- [0051] 즉, 달리 언급되지 않는 한 또는 문맥으로부터 명확하지 않는 한, 'x가 a 또는 b를 이용한다'라는 표현은 포괄적인 자연 순열들(natural inclusive permutations) 중 어느 하나를 의미한다.
- [0052] 이하 사용되는 '...부', '...기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0054] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속을 설명하는 도면이다.
- [0055] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속을 예시한다.
- [0056] 도 1을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속(100)은 나노 와이어 구조를 가진다.
- [0057] 몰리브데늄계 나노금속(100)의 모양은 다공성 틀(template)의 공극 모양과 동일하게 형성된다. 다만, 모양의 경우는 다공성 틀의 공극 모양 변화에 따라서 다양한 모양으로 변경 가능하다.
- [0058] 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속(100)은 일측에 전기도금 방법을 위한 작업 전극이 위치하고, 작업 전극의 상대 전극이 일측의 반대측에 위치하는 다공성 틀(template)을 이용하여 형성된다.
- [0059] 몰리브데늄계 나노금속(100)은 다공성 틀이 위치하고, 전구체, 완충제 및 첨가제를 포함하는 용액이 사용된 도금조에서 작업 전극과 상대 전극을 통해 인가되는 전류에 기반하여 다공성 틀의 공극에 몰리브데늄(Mo)이 환원되거나 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되고, 다공성 틀로부터 선택적으로 제거되어서 형성될 수 있다.
- [0060] 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속(100)은 완충제 및 상기 첨가제에 기반하여 비저항이 제어될 수 있다.
- [0061] 몰리브데늄계 나노금속(100)은 몰리브데늄(Mo)이 환원되는 경우에, 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 포함하고, 완충제는 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M) 및 중황산 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bisulfate,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N(HSO_4)$ ), 수산화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium hydroxide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NOH$ ), 염화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium chloride,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NCl$ ) 및 브롬화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium bromide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr$ ) 중 적어도 하나를 제공하는 테트라부틸암모늄 이온(tetrabutylammonium,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N^+$ , 0.01 M) 중 어느 하나를 포함하고, 첨가제는 암모늄 아세테이트(ammonium acetate,  $CH_3CO_2NH_4$ , 7.0 M) 및 칼륨 아세테이트(potassium acetate,  $CH_3COOK$ , 1.0 M) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0062] 또한, 몰리브데늄계 나노금속(100)은 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 상기 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M) 및 황산코발트·7수화물(cobalt sulfate heptahydrate,  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.20 M) 중 적어도 하나를 포함하고, 완충제는 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M) 및 시트르산(citric acid,  $C_6H_8O_7$ , 0.04 M) 중 적어도 하나를 포함하며, 첨가제는 시트르산나트륨(sodium citrate tribasic dihydrate,  $C_6H_7Na_3O_8$ , 0.25 M, 0.30 M 또는 0.50 M)을 포함할 수 있다.
- [0063] 본 발명의 일실시예에 따르면 몰리브데늄계 나노금속(100)은 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나와 몰리브데늄(Mo)이 동시에 환원되는 경우에, 몰리브데늄(Mo)의 조성이 증가할수록 면심 입방(face centered cubic, FCC) 구조 및 코발트 상이 줄어들고, 몰리브데늄(Mo)의 조성이 비저항성, 전기적 특성 및 응집 에너지 특성을 고려한 조성으로 결정되어서 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 금속간 화합물(intermetallic compound)로 형성될 수 있다.
- [0064] 예를 들어, 몰리브데늄계 나노금속(100)은 몰리브데늄과 코발트, 니켈 및 철 중 어느 하나가 동시에 환원되는

경우에 몰리브데늄과 동시에 환원되는 물질과 합금으로 형성되는 몰리브데늄계 나노금속일 수 있다.

- [0065] 본 발명의 일실시예에 따르면 몰리브데늄계 나노금속(100)은 특정 공정 온도에서 상기 금속간화합물(intermetallic compound)이 비정질인 다결정 형태로 존재하여 배리어층으로 사용될 수 있다.
- [0066] 예를 들어, 특정 공정 온도는 집적회로 제조 시 후공정(back end of line, BEOL) 공정 온도인 약 400℃일 수 있다.
- [0067] 따라서, 본 발명은 나노스케일의 기공 내에 완충제 및 첨가제를 활용한 전기도금(electrodeposition)법을 이용하여 몰리브데늄(Mo) 및 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금 나노금속을 형성 및 제조하여 기존 배선 소재 보다 낮은 전기 비저항을 갖는 소재를 제공할 수 있다.
- [0069] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 설명하는 도면이다.
- [0070] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법의 절차를 예시한다.
- [0071] 도 2를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 몰리브데늄계 나노금속을 다공성 틀을 이용하여 하나의 도금조 안에서 전기도금 방법으로 형성한다.
- [0072] 단계(S201)에서, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 폴리카보네이트 필름을 준비하고, 단계(S202)에서, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 이온조사(ion beam irradiation)하여 다공성 틀을 준비한다.
- [0073] 예를 들어, 다공성 틀은 이온조사한 폴리카보네이트 멤브레인(polycarbonate membrane, PCM) 및 양극산화알루미늄(anodic aluminum oxide, AAO) 멤브레인 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0074] 단계(S203)에서, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 작업 전극을 증착 생성한다.
- [0075] 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 다공성 틀에 대하여 전기도금이 진행될 수 있도록 한쪽 면에 300nm의 은(Ag)을 전자빔증착기(e-beam evaporator)로 증착된 은을 전기도금의 작업 전극을 생성하고, 백금(Pt) 전극판을 상대 전극으로 사용한다.
- [0076] 단계(S204)에서 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 몰리브데늄을 환원하는 경우에 도금조에 사용될 탈이온수(deionized water) 기반의 용액에서 전구체인 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.01 M), 첨가제인 암모늄 아세테이트(ammonium acetate,  $CH_3CO_2NH_4$ , 7.0 M)과 칼륨 아세테이트(potassium acetate,  $CH_3COOK$ , 1.0 M)을 포함하도록 하고, 수소 발생 억제를 위해 완충제인 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.50 M) 또는 테트라부틸암모늄 이온(tetrabutylammonium,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N^+$ , 0.01 M)이 첨가하여 이용한다.
- [0077] 테트라부틸암모늄 이온의 제공 물질은 중황산 테트라부틸암모늄 (tetrabutylammonium bisulfate,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4N(HSO_4)$ ) 또는 수산화 테트라부틸암모늄 (tetrabutylammonium hydroxide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NOH$ ), 또는 염화 테트라부틸암모늄(tetrabutylammonium chloride,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NCl$ ), 또는 브롬화 테트라부틸암모늄 (tetrabutylammonium bromide,  $(CH_3CH_2CH_2CH_2)_4NBr$ ) 등을 포함한다.
- [0078] 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 단일욕 상태의 몰리브데늄을 환원시키기 위해 10.00 mA/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도를 인가하였다.
- [0079] 아세테이트(acetate) 전해액에서 제조한 Mo 나노금속을 Mo(A), 붕산이 첨가된 전해액에서 제조한 Mo 나노금속을 Mo(AB), 붕산과 테트라부틸암모늄 이온이 첨가된 전해액에서 제조한 Mo 나노금속을 Mo(ABT)라고 지칭할 수 있다.
- [0080] 한편, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 몰리브데늄계 나노금속을 코발트, 철, 니켈 등과 함께 합금 나노금속으로 환원하는 경우, 도금조에 사용될 탈이온수(deionized water) 기반의 용액은 전구체인 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M), 황산코발트·7수화물(cobalt sulfate heptahydrate ( $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.20 M), 완충제인 붕산(boric acid,  $H_3BO_3$ , 0.65 M), 시트르산(citric

acid,  $C_6H_8O_7$ , 0.04 M)과 첨가제인 시트르산나트륨(sodium citrate tribasic dihydrate,  $C_6H_7Na_3O_8$ , 0.25 M, 0.30 M 또는 0.50 M)을 포함하고 있다.

[0081] 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 단일욕 상태의 몰리브데늄과 코발트, 니켈 및 철 중 어느 하나를 동시에 환원시키기 위해  $2.50 \text{ mA/cm}^2$  또는  $10.0 \text{ mA/cm}^2$ 의 전류 밀도를 인가할 수 있다.

[0082] 여기서, 전구체와 첨가제의 종류 및 양에 따른 합금의 몰리브데늄계의 조성(함유량)은 하기 표와 같이 정리할 수 있다.

표 1

| 전구체( $\text{mol L}^{-1}$ ) | 첨가제( $\text{mol L}^{-1}$ ) | 전류 밀도( $\text{mA/cm}^2$ ) | 몰리브데늄 조성(at%) |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------|
| 0.25                       | 0.25                       | 2.50                      | 5.6           |
| 0.25                       | 0.50                       | 2.50                      | 13.2          |
| 0.25                       | 0.30                       | 10.0                      | 28.6          |
| 0.50                       | 0.50                       | 10.0                      | 43.6          |

[0084] 표 1에서 전구체는 칼륨 몰리브드산염(potassium molybdate,  $K_2MoO_4$ , 0.25 M 또는 0.50 M)일 수 있고, 첨가제는 시트르산나트륨(sodium citrate tribasic dihydrate,  $C_6H_7Na_3O_8$ , 0.25 M, 0.30 M 또는 0.50 M)일 수 있다.

[0085] 단계(S205)에서, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법은 작업전극을 접착성 테이프로 제거한 디클로로메탄 용액( $CH_2Cl_2$ )으로 다공성 틀을 선택적으로 제거하고, 이후 원심분리기를 이용하여 클로로포름 용액( $CHCl_3$ ) 및 아세톤으로 5회 이상 세척하여 다공성 틀 내부에 존재하였던 몰리브데늄계 나노금속을 획득하여 제조할 수 있다.

[0086] 따라서, 본 발명은 몰리브데늄(Mo)이 전기도금 시에 경쟁 반응인 수소 발생으로 인해 나노스케일의 직경에서 실질적인 반도체 배선의 구조는 나노금속 선(wire) 형태로 박막과 달리 높은 종횡비를 갖는 저차원 구조이고, 박막과 비교하여 다른 특성을 가지는 몰리브데늄(Mo) 및 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금으로 몰리브데늄계 나노금속을 제공할 수 있다.

[0087] 또한, 본 발명은 용액 내에 존재하는 완충제 및 첨가제의 종류를 조절하여 높은 순도를 가지는 몰리브데늄계 나노금속 및 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0089] 도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 전기적 특성의 측정법 및 전기적 특성을 설명하는 도면이다.

[0090] 도 3a는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 전기적 특성의 측정법을 예시한다.

[0091] 도 3a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 전기적 특성 측정법과 관련하여 입체도(300)와 측면도(301)를 예시한다.

[0092] 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 전기적 특성 측정과 관련하여 몰리브데늄계 나노금속에 대하여 4개의 프로브 팁을 이용하여 I-V 측정을 수행한다.

[0093] 측정법에 따라 전기적 특성은 용해된 나노금속선 한 가닥을 기판에 분산시켜 4개의 텅스텐 나노탐침이 부착된 집속 이온빔(focused ion beam, FIB) 장치를 이용하여 측정될 수 있다.

[0094] 측정법에 따라 한 가닥의 나노금속과 나노탐침 사이의 접촉저항을 제거하기 위해 4개의 나노탐침을 사용될 수 있다.

[0095] 나노금속을 기판에 고정하기 위해 전자빔을 이용하여 나노금속 끝에 백금(Pt)을 증착하여 측정될 수 있다.

[0096] 예를 들어, 4개의 W 나노 매니퓰레이터가 장착된 FIB 기기를 사용하여 전기적 특성을 정확하게 평가할 수 있고, 나노금속의 측정된 평균 직경은 대략 130nm일 수 있다.

[0097] 도 3b는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 전기적 특성을 설명하는 도면이다.

[0098] 도 3b를 참고하면, 그래프(310)는 전압의 변화에 따른 전류의 변화를 나타낸다.

[0099] 몰리브데늄계 나노금속 저항(Rohm)을 획득하고, 하기 수학적 식 1을 이용하여 전기 저항을 계산할 수 있다.

[0101] [수학적 식 1]

$$\rho_{NW} = \pi r^2 \frac{R_{ohm}}{\Delta L}$$

[0102]

[0104] 수학적 식 1에서, Rohm은 몰리브데늄계 나노금속의 저항을 나타낼 수 있고,  $\rho_{NW}$ 는 전기저항을 나타낼 수 있고, r과  $\Delta L$ 은 각각 몰리브데늄계 나노금속의 측정된 반경과 두 개의 중간 프로브 팁 사이의 거리를 나타낼 수 있다.

[0105] 도 3c는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 비저항에 대한 시뮬레이션 결과를 예시한다.

[0106] 도 3c를 참고하면, 그래프(320)는 몰리브데늄계 나노금속인 Mo(A), 붕산이 첨가된 전해액에서 제조한 몰리브데늄계 나노금속인 Mo(AB), 붕산과 테트라부틸암모늄 이온이 첨가된 전해액에서 제조한 몰리브데늄계 나노금속인 Mo(ABT)를 나타낸다.

[0107] 예를 들어, Mo(A)에서 붕산이 추가된 경우를 Mo(AB)로 나타내고, Mo(AB)에 전구체가 추가된 경우를 Mo(ABT)로 나타낼 수 있다.

[0108] 그래프(320)에서 Mo(A)의 비저항은  $1362.8 \pm 542.3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 MoO<sub>2</sub>에 의해 우세하도록 지배적임(dominated)을 나타낸다.

[0109] Mo(ABT)의 비저항은  $410.1 \pm 87.3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 측정되고, Mo(AB)의 저항률은  $63.0 \pm 17.9 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 측정되는데, 가장 낮은 값으로 주로 순수한 Mo를 나타낸다.

[0110] 그래프(320)는 붕산이 활용되면 비저항이 감소하여 몰리브데늄 나노금속의 전기 저항이 개선되는 것을 보여준다.

[0111] 나노물질의 전기 저항은 벌크 저항에 대한 표면 산란과 입계 산란의 기여도의 합일 수 있는데, 표면 산란의 기여로 인해 1차원 나노 금속의 저항률은 일반적으로 2차원 박막의 저항률보다 높을 수 있다.

[0112] 따라서, 본 발명은 종래의 금속(예: Cu, TaN 및 Ta) 배선 소재보다 더 낮은 전류에서 작동할 수 있는 몰리브데늄계 나노금속 및 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다..

[0113] 또한, 본 발명은 반도체 배선이 제조된 몰리브데늄계 나노금속의 확산 방지 특성이 종래의 금속 배선보다 높아서 유전체로의 확산을 방지하는 배리어층이 불필요하여 단일층으로 금속 배선을 형성하는 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0115] 도 4a는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 고해상도 투과전자현미경(HR-TEM) 이미지와 선택영역 전자회절(SAED) 분석을 설명하는 도면이다.

[0116] 도 4a를 참고하면, 고분해능 투과전자현미경(high resolution transmission electron microscope, HR-TEM) 이미지와 선택영역 전자회절(selected area electron diffraction, SAED)을 이용하여 첨가제를 달리하여 제조하는 경우에 따라 몰리브데늄계 나노금속의 형태와 미세구조를 보여준다.

[0117] TEM 이미지(400)와 TEM 이미지(401)는 몰리브데늄계 나노금속인 Mo(A)을 나타낸다.

[0118] TEM 이미지(410)와 TEM 이미지(411)는 붕산이 첨가된 전해액에서 제조한 몰리브데늄계 나노금속인 Mo(AB)를 나타낸다.

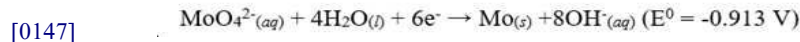
[0119] TEM 이미지(420)와 TEM 이미지(421)는 붕산과 테트라부틸암모늄 이온이 첨가된 전해액에서 제조한 몰리브데늄계 나노금속인 Mo(ABT)를 나타낸다.

[0120] 예를 들어, Mo(A)에서 붕산이 추가된 경우를 Mo(AB)로 나타내고, Mo(AB)에 전구체가 추가된 경우를 Mo(ABT)로

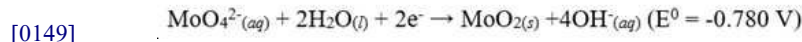
나타낼 수 있다.

- [0121] TEM 이미지(401), TEM 이미지(411) 및 TEM 이미지(421)는 SAED 패턴이 Mo(A), Mo(AB) 및 Mo(ABT)에서 약한 결정 또는 나노 결정 상태를 나타내는 것을 보여준다.
- [0122] 측정된 층간 거리와 고속 푸리에 변환 패턴은 Mo(110)의 존재를 확인시켜준다.
- [0123] 도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 X선 회절(XRD) 분석 결과를 설명하는 도면이다.
- [0124] 도 4b는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 X선 회절(XRD) 분석 결과를 예시한다.
- [0125] 도 4b를 참고하면, 그래프(430)는 첨가제의 종류와 상관없이 모두 체심입방(body-centered cubic, BCC) 구조를 가지고 (110) 방향으로 성장하는 것을 보여준다.
- [0126] 또한, 그래프(430)는 Mo(A), Mo(ABT) 및 Mo(AB)에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 XRD 패턴이 bcc Mo(JCPDS No. 00-04-0809)의 기준 피크가 XRD 패턴 아래에 표시되는 것을 확인시켜준다.
- [0128] 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법에 따른 이온 작용을 설명하는 도면이다.
- [0129] 도 5a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법에 따른 이온 작용 구조(500)를 예시한다.
- [0130] 이온 작용 구조(500)는 몰리브데늄(Mo) 제조 방법에서 테트라부틸암모늄 이온( $\text{MoO}_4^{2-}$ )의 작용을 나타낸다.
- [0131] 이온 작용 구조(500)는 첨가제인 테트라부틸암모늄 이온이 금속 몰리브데늄과 수소 원자와 작용하여 몰리브데늄 제조에 작용하는 역할을 나타낸다.
- [0132] 이온 작용 구조(500)에서 테트라부틸암모늄 이온 수용액에서 소수성 양이온으로 존재하며, 나노기공 내벽에 부착되어 나노기공 내벽을 양의 전하(positive charge) 상태로 전환한다.
- [0133] 양의 전하로 대전된 나노기공 내벽으로 Mo 전구체( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) 음이온이 전기적 인력으로 이끌려 전기적 이중층(Electrical double layer, EDL)을 형성한다.
- [0134] 나노기공 내 EDL은 전구체의 농도에 따라 두께가 달라지며, EDL은 전하의 이동통로로서 표면 전도(Surface conduction)을 유도한다.
- [0135] 도 5b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법에 따른 이온 작용 구조에서 이온 작용을 순차적으로 예시한다.
- [0136] 도 5b는 첨가제 유형의 조정에 따른 몰리브데늄의 전착 영향 제어를 예시한다.
- [0137] 도 5b를 참고하면, 종횡비가 높은 제한된 나노기공에서 몰리브데늄 나노금속 형성의 개략도. 세 가지 주요 요인이 몰리브데늄의 전착에 영향을 미치며 첨가제 유형을 조정하여 제어할 수 있는 것을 예시한다.
- [0138] 결정자 크기가 비저항에 기여하지만 불순물의 기여를 완전히 배제할 수는 없다.
- [0139] 제1 경우(510)는 첨가제가 추가되지 않는 경우이고, 제2 경우(511)는 HER 억제(suppress)하는 경우를 나타내며, 제3 경우(512)는 표면 전도(surface conduction)를 나타낸다.
- [0140] 몰리브데늄이 제한된 나노기공에 전착될 때 세 가지 주요 요인을 고려해야 한다.
- [0141] 먼저, HER은 Mo 전구체로의 전자 전달과 경쟁하고 Mo 결정(crystalline)에 포획된 수소는 나노금속을 형성한다.
- [0142] 다음으로, 활성화된 수소는 추가 환원을 돕기 위해 다가 몰리브데늄 산화물에 흡착된다.
- [0143] 마지막으로, 기공 내벽을 따라 형성되는 전기 이중층(EDL)에 의한 표면 전도가 중요한 역할을 한다.
- [0144]  $\text{MoO}_4^{2-}$ 의 Mo로의 직접 환원에는 6개의 전자 이동이 포함된다.

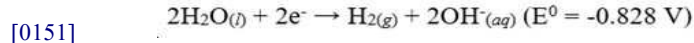
[0146] [화학식 1]



[0148] [화학식 2]



[0150] [화학식 3]



[0153] 대조적으로, 다음 두 방정식은 전자 이동이 더 낮고 음극에서 더 높은 전위로 인해 주로 발생한다.

[0154] 화학식 2와 화학식 3은 화학식 1보다 전기화학적 에너지 전달이 덜 필요하기 때문에 유리하다.

[0155] 따라서 붕산과 TBA(tetrabutylammonium bisulfate)가 HER(hydrogen evolution reaction)을 억제하는 고농축 아세테이트 욕을 채택할 수 있다.

[0156] 이러한 표면 전도는 아세트산 이온, 붕산 그리고 테트라부틸암모늄이 포함된 Mo(AB) 도금조, Mo(ABT) 도금조의 도 5c의 그래프(520)의 선형전류주사법(LSV)에서 평평한 구간으로 확인이 가능하다.

[0157] 도 5c는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데넘계 나노금속의 선형주사전위법을 이용한 첨가제별 수소 발생 반응을 비교 설명하는 도면이다.

[0158] 도 5c는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데넘계 나노금속의 선형주사전위법을 이용한 첨가제별 수소 발생 반응을 예시한다.

[0159] 도 5c를 참고하면, 그래프(520)는 첨가제별 수소 발생 반응을 전류 밀도의 변화에 따라서 예시한다.

[0160] 전류 밀도의 변화는 도 5a 및 도 5b에서 설명된 표면 전도와 관련될 수 있다.

[0161] 도 5d는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데넘계 나노금속의 X선 광전자 분광 표면분석 결과를 설명하는 도면이다.

[0162] 종래 기술만으로는 라이너 및 배리어의 한계를 극복할 수 없기 때문에 대체 재료 접근 방식이 필요한데, 본 발명은 나노 스케일에서 저항이 낮은 결정 구조를 고려하고 확산을 방지하며 중심 도체와의 접촉력을 높이는 것이 포함된다.

[0164] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데넘계 나노금속의 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM) 이미지를 설명하는 도면이다.

[0165] 도 6을 참고하면, Mo-Co 합금 나노금속의 Mo 조성별 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM) 이미지(600)는 5.6 at%를 나타내고, 이미지(610)는 13.2 at%를 나타낼 수 있으며, 이미지(620)는 28.6 at%를 나타낼 수 있고, 이미지(630)는 43.6 at%일 수 있다.

[0166] HR-TEM을 이용하여 분석한 조성별 직경 130 nm Mo-Co 합금 나노금속의 형태와 미세구조를 보여준다.

[0167] 각각의 조성은 전류밀도, 전구체의 농도를 이용하여 조절되었다.

[0169] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데넘계 나노금속의 조성별 열처리 전후의 전기적 특성을 설명하는 도면이다.

[0170] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데넘계 나노금속의 조성별 열처리 전후의 전기적 특성에 대한 시뮬레이션 결과를 예시한다.

[0171] 도 7을 참고하면, 그래프(700)는 열처리 전후 조성별 전기 저항을 측정한 결과를 예시한다.

- [0172] 그래프(700)에 따르면, 열처리 후 비저항이 감소하며 몰리브데늄(Mo) 조성이 28.6 at%일 때 가장 좋은 전기적 특성을 보인다.
- [0173] 몰리브데늄(Mo) 28.6 at%에서 비저항은  $58.0 \pm 10.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 나노금속의 직경과 비슷한 두께의 질화물(TaN, 비저항:  $250\text{--}400 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ) 박막보다 낮은 전기 비저항 값을 갖는다.
- [0174] 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 중 어느 하나의 합금은 특정 조성 이하에서 전기적 특성 면에서 유리할 수 있다.
- [0175] 내부 결함을 제거하고 정렬된 상을 만들기 위해  $600^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 어닐링한 후 전기 저항을 측정할 수 있다.
- [0176] 증착된 합금 나노금속은 일반적인 고용체의 전기적 특성을 나타내는 반면, 전기 저항 경향은 열처리 후 몰리브데늄(Mo) 28.6 at% 근처에서 특이한 거동을 보이는 것을 확인할 수 있다.
- [0177] 열처리 후 합금 나노금속의 비저항은 13.2 at% 몰리브데늄(Mo)에서  $62.2 \pm 0.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이고 43.6 at% 몰리브데늄(Mo)에서  $105.5 \pm 31.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 일 수 있다.
- [0178] 이에 비해 28.6 at% 몰리브데늄(Mo)를 포함하는 합금 나노금속의 비저항은 58.0이다.  $\pm 10.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 다른 몰리브데늄(Mo) 농도의 나노금속보다 낮을 수 있다.
- [0179] 예를 들어, 직경 130 nm의  $\text{Mo}_x\text{Co}_{1-x}$  ( $0.05 < x < 0.44$  at%) 합금 나노금속의 실험 저항 값으로, 합성된 나노금속 직경과 유사한 두께를 가진 TaN의 저항률은  $250 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  이하일 수 있다.
- [0180] 따라서, 본 발명은 반도체 배선의 배리어와 라이너로 이용되는 TaN/Ta 이중층 구조보다 더 낮은 전류에서 작동할 수 있는 몰리브데늄계 나노금속을 제공할 수 있다.
- [0181] 또한, 본 발명은 몰리브데늄계 합금 소재를 이용한 반도체 배선의 배리어와 라이너는 제조된 비정질의 몰리브데늄계 합금 나노금속은 금속배선의 저유전을 유전체로의 확산을 방지하는 배리어로 작용함과 동시에, 금속배선 전기도금을 위한 라이너로서 작용하여 단일층으로 금속배선 공정으로 몰리브데늄계 나노금속의 제조 방법을 제공할 수 있다.
- [0183] 도 8a 내지 도 8d는 본 발명의 일실시예에 따른 몰리브데늄계 나노금속의 열처리 후 조성별 X선 회절(XRD) 및 미세구조 분석 결과를 설명하는 도면이다.
- [0184] 도 8a를 참고하면, 그래프(800)에서 몰리브데늄계 나노금속의 분석 결과는 몰리브데늄계 합금 나노금속의 열처리 후 조성별 X선 회절 및 미세구조 분석 결과를 예시한다.
- [0185] 열처리 후의 합금은 전 조성에서 높은 결정성을 보일 수 있다.
- [0186] 몰리브데늄(Mo)의 조성이 증가할수록 면심 입방(face centered cubic, FCC) 구조의 코발트(Co) 상이 줄어들고, 몰리브데늄(Mo) 조성이 28.6 at%에서  $\text{Co}_3\text{Mo}$  금속간화합물(intermetallic compound)이 형성될 수 있다.
- [0187] 형성된 금속간화합물은 낮은 비저항을 가지기 때문에 전기적 특성이 좋고 응집 에너지가 높으므로 자체적으로 확산을 방지할 수 있다.
- [0188] 몰리브데늄(Mo) 조성이 28.6 at% 일 때 비저항이 가장 작고 결정의 크기는 가장 큼을 확인할 수 있으며, 결정자 크기와 비저항은 반대의 경향성을 보인다.
- [0189] 몰리브데늄(Mo)에 기반한 합금 나노금속의 미세구조와 성분을 정확히 파악하기 위해 그래프(800)와 같이 열처리 온도가 미세구조에 미치는 영향을 나타낼 수 있다.
- [0190]  $600^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 어닐링된 나노금속은 그래프(800)에서와 같이 모든 조성에 대해 날카로운 피크를 포함한다.
- [0191] 몰리브데늄(Mo)과 코발트(Co)의 평형 상태도를 참조하면, 전착된 몰리브데늄(Mo) 합금 나노금속은 조성에 따라 열역학적 상분리를 겪는 것으로 나타났다.
- [0192] 낮은 몰리브데늄(Mo) 함량에서 hcp 코발트(Co) 매트릭스는 fcc(face-centered cubic) 코발트(Co)로 상전이되고

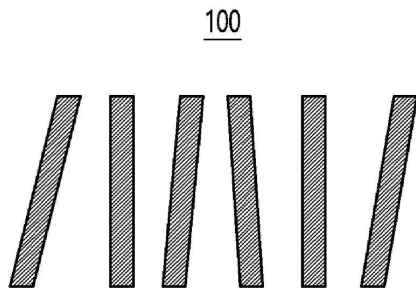
소량의 코발트가 몰리브데늄과 결합하여 hcp  $\text{Co}_3\text{Mo}$  상을 형성할 수 있다.

- [0193] 몰리브데늄(Mo) 함량이 증가함에 따라 fcc 코발트(Co) 피크 강도는 점차 감소하였고  $\text{Co}_3\text{Mo}$ (28.6 at% Mo) 근처의 대부분의 몰리브데늄(Mo) 원자는  $\text{Co}_3\text{Mo}$  상을 소유할 수 있다.
- [0194] 상술한 설명에서는 코발트를 합금 대상으로 예시하나 니켈과 철로 대체 가능하다.
- [0195] 도 8b를 참고하면, 그래프(810) 및 그래프(811)에서 몰리브데늄계 나노금속의 분석 결과는 XRD 패턴을 나타낸다.
- [0196] XRD 패턴의 피크는 13.2 at% 및 28.6 at% 몰리브데늄(Mo)를 포함하는 나노금속에 대해  $40^\circ$  내지  $48^\circ$  의  $2\theta$  범위에 있었다.
- [0197] 이러한 패턴은 몰리브데늄(Mo) 함량이 증가함에 따라 fcc Co(111) 피크가 사라짐을 명확하게 나타낸다.
- [0198] 이후 몰리브데늄(Mo)의 함량이 43.6 at%로 증가했을 때  $\text{MoO}_2$ 상과  $\text{Co}_3\text{Mo}$ 상이 공존하는 것을 확인시켜준다.
- [0199] 증착하는 동안 용액의 몰리브데늄(Mo) 함량이 증가하면 구연산 이온이 충분한 중간체를 생성하지 않아 금속 몰리브데늄(Mo)의 환원을 방해한다.
- [0200] 따라서 열처리 전 증착된 상태에서도 43.6 at% 몰리브데늄(Mo) 나노금속에 몰리브데늄(Mo) 산화물이 공존하고 있다고 추정할 수 있다.
- [0201] 고급 금속화 공정에서 라이너 및 장벽으로서  $\text{Co}_3\text{Mo}$  금속간 화합물의 적용 가능성을 결정하기 위해 28.6 at% 몰리브데늄(Mo) 합금 나노금속에 대한 추가 조사에 따르면, BEOL의 열 예산( $<400^\circ\text{C}$ ) 내에서  $\text{Co}_3\text{Mo}$  금속간 화합물은 증착된 상태와 유사한 나노결정의 형태로 존재하는 것을 도 8d를 통해 추가 설명할 수 있다.
- [0202] 결정자 크기는  $400^\circ\text{C}$  에서 열처리 후 3.2 nm에서 5.4 nm로 약간 증가했다.
- [0203] 열처리 온도를  $600^\circ\text{C}$ 로 증가시켰을 때 규칙적인 상을 갖는  $\text{Co}_3\text{Mo}$  금속간 화합물의 결정자 크기는 27.0 nm(13.2 at% Mo) 및 21.1 nm(43.6 at% Mo)의 결정자 크기에 비해 68.7 nm로 급격히 증가하는 것을 보여준다.
- [0204] 도 8c를 참고하면, 그래프(820)는 몰리브데늄의 조성(함유량)의 변화에 대하여 결정자 크기와 전기 저항과 관련된 비저항성의 관계를 나타낸다.
- [0205] 그래프(820)에 예시된 바와 같이 다른 조성에 대해서 열처리 후 합금 나노금속의 전기 저항이 결정자 크기에 반비례하는 것을 보여준다.
- [0206] 도 8d를 참고하면, 그래프(830)는 몰리브데늄계 합금 나노 금속의 열처리에 따른 X선 회절 결과를 예시한다.
- [0207] 그래프(830)는 Mo 28.6 at%의 Mo-Co 합금 나노금속의 열처리에 따른 X선 회절 분석 결과를 보여준다.
- [0208] 그래프(830)에 따르면, 열처리 온도가 높아질수록 결정의 크기가 증가하며, 집적회로 제조시 후공정(back end of line, BEOL) 공정 온도인  $400^\circ\text{C}$  내에서  $\text{Co}_3\text{Mo}$ 가 비정질에 가까운 다결정 형태로 존재하기 때문에 배리어층으로 사용되기 유리한 것을 확인할 수 있다.
- [0209] 본 발명은 금속 다마신(damascene) 공정 친화적인 전착을 통해 몰리브데늄(Mo) 기반 나노금속을 한정된 나노기공으로 합성하는 전략을 제공할 수 있다.
- [0210] 또한, 나노금속의 전기적 특성에 대한 미세구조 및 위상차의 영향을 특성화한다.
- [0211] 본 발명은 HER를 억제하고 제한된 나노포어에 금속성 Mo를 전착시키는 방법을 제공한다.
- [0212] 본 발명은 아세테이트 수조에 붕산을 추가하면 HER이 효과적으로 억제되어 가장 큰 결정질 Mo 나노금속이 합성하여 제공할 수 있다.
- [0213]  $\text{Co}_3\text{Mo}$  금속간 화합물의 조성까지는  $\text{Mo}_x\text{Co}_{1-x}$  ( $0 < x < 0.28$  at%) 합금이 기존의 장벽 물질인 TaN보다 전기적으로 더 적합할 수 있다.
- [0214] 이러한 결과에 따르면, 본 발명은 고급 인터커넥트 재료가 적절한 배리어/라이너 재료를 필요로 하며 Mo 기반 재료가 호환 가능함을 나타낸다.

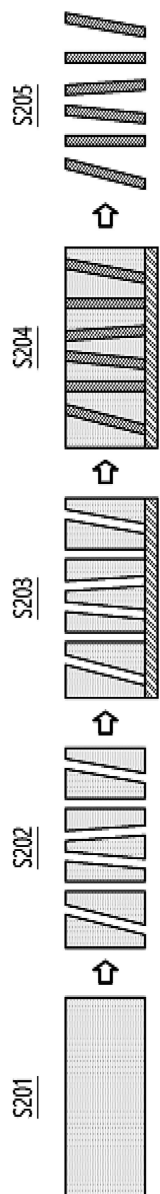
- [0216] 상술한 구체적인 실시 예들에서, 발명에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시 예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다.
- [0217] 그러나, 단수 또는 복수의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 상술한 실시 예들이 단수 또는 복수의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라 하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.
- [0218] 한편 발명의 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 다양한 실시 예들이 내포하는 기술적 사상의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다.
- [0219] 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니되며 후술하는 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

## 도면

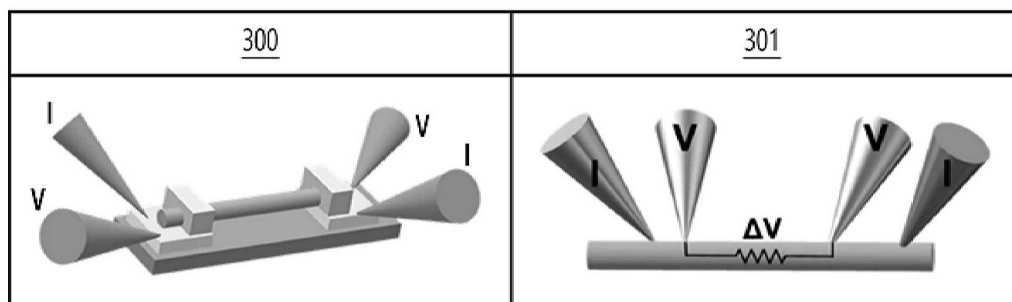
### 도면1



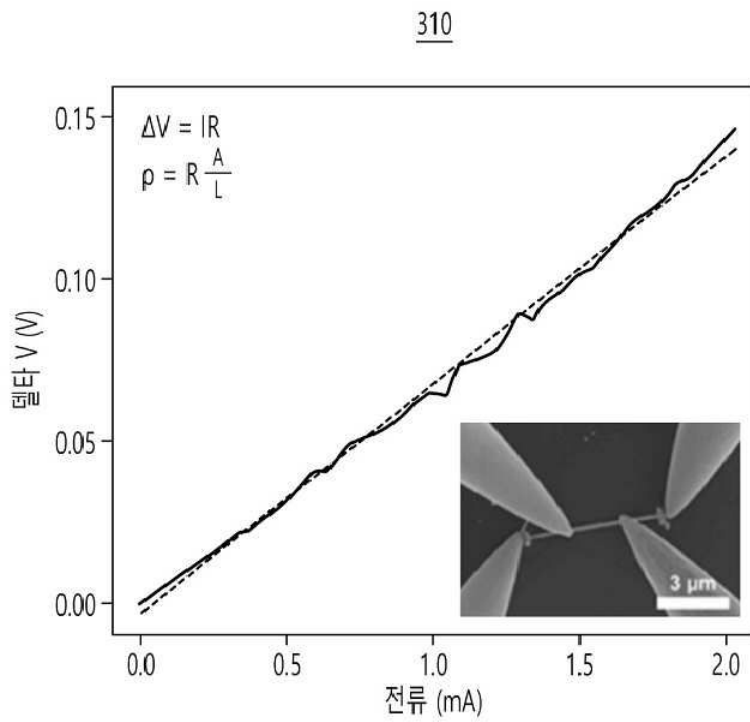
도면2



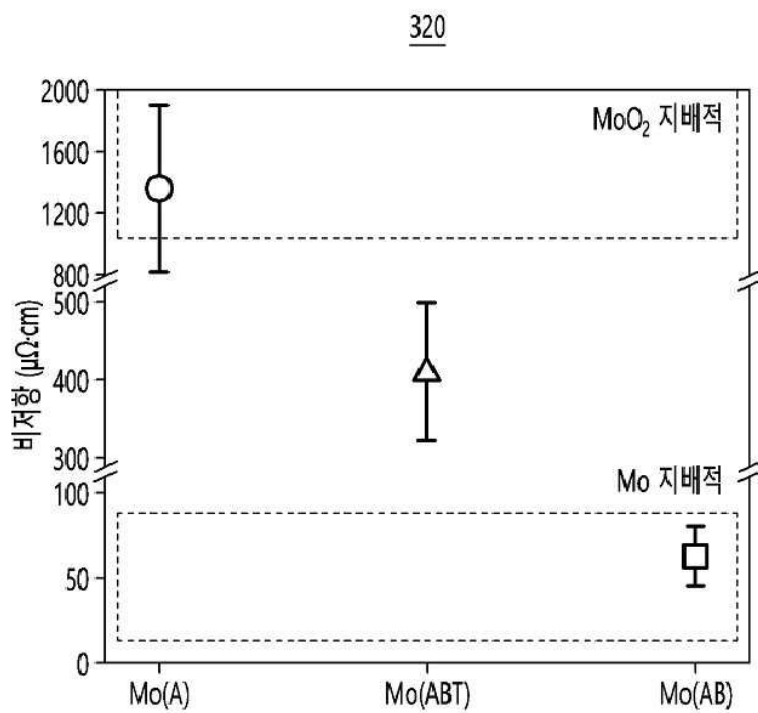
도면3a



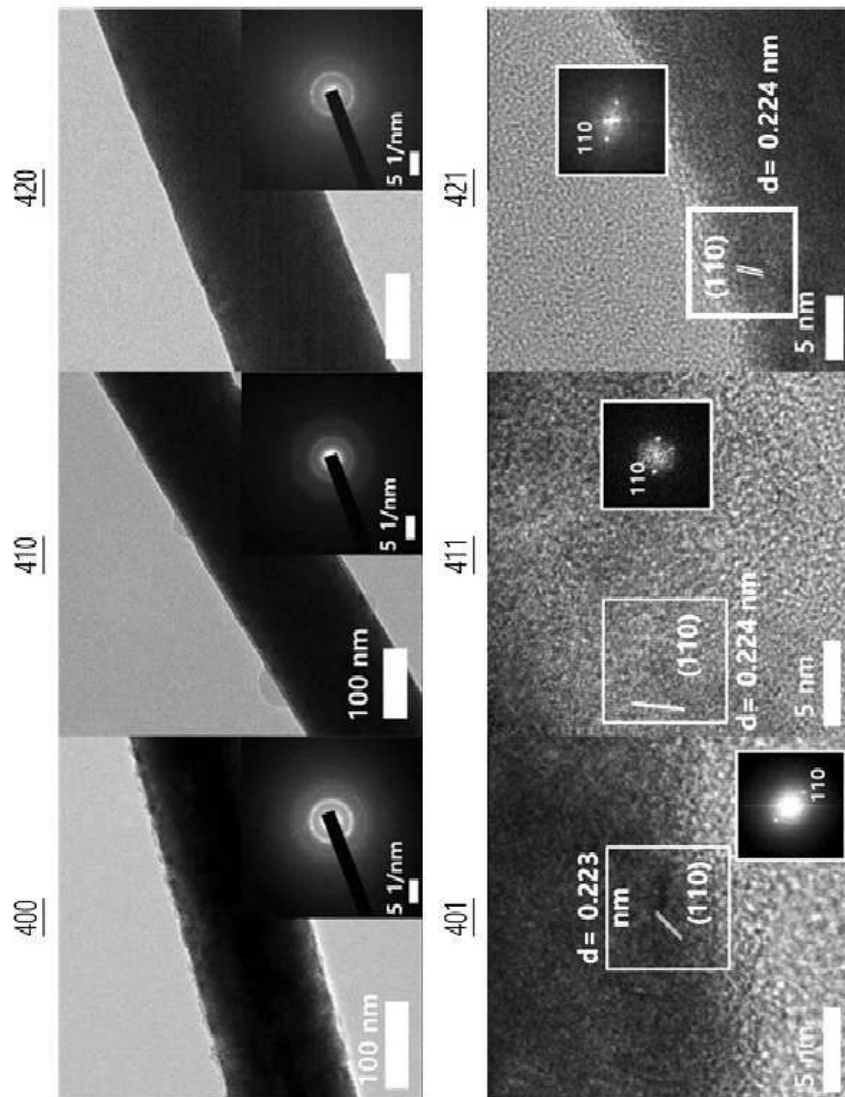
도면3b



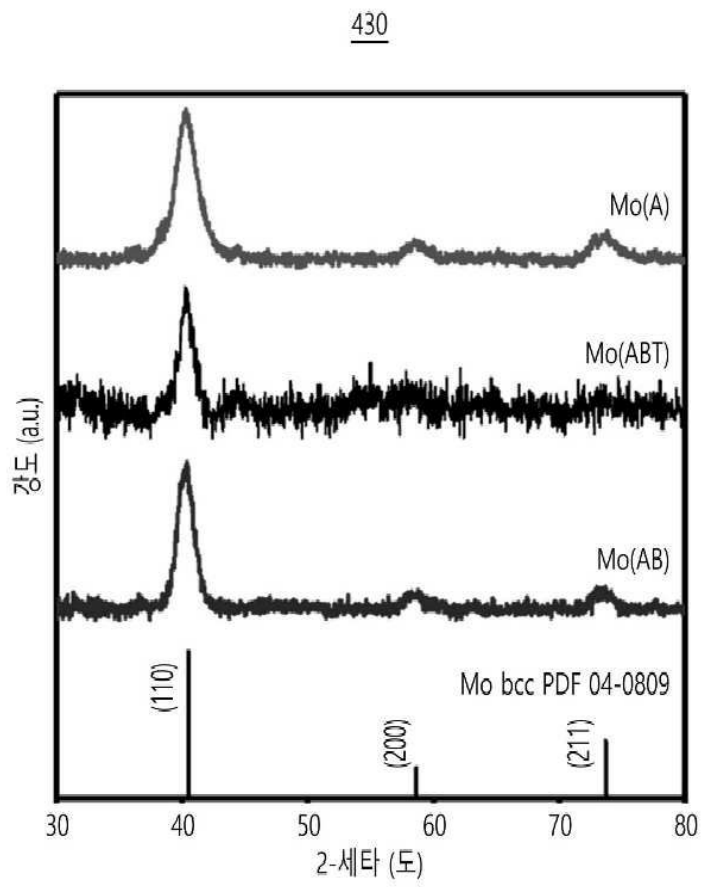
도면3c



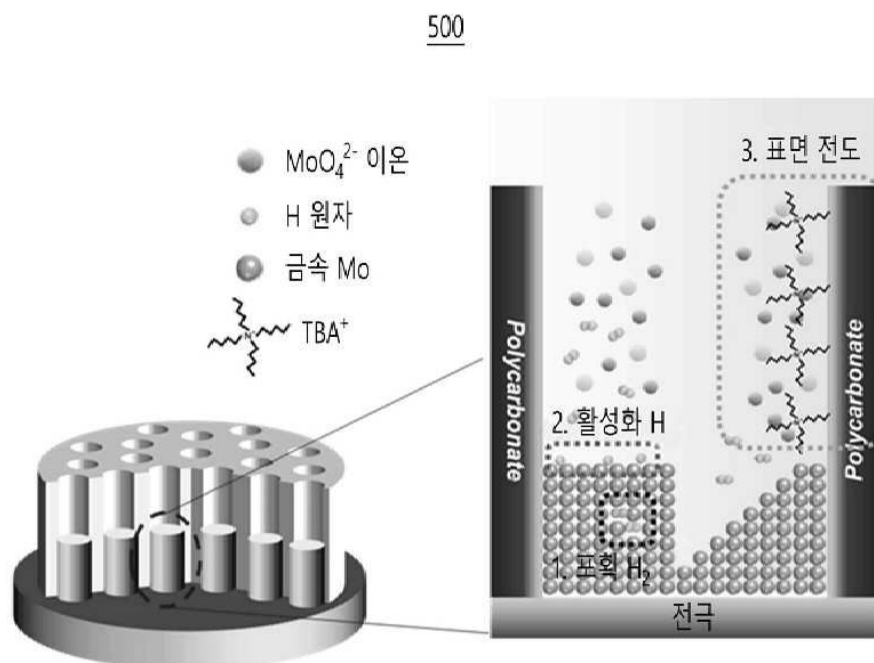
도면4a



도면4b

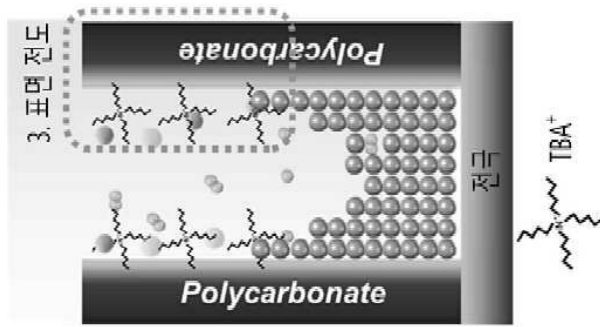


도면5a

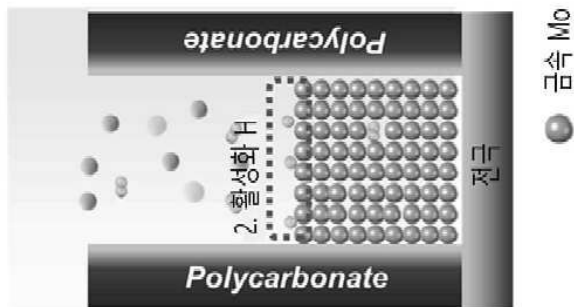


도면5b

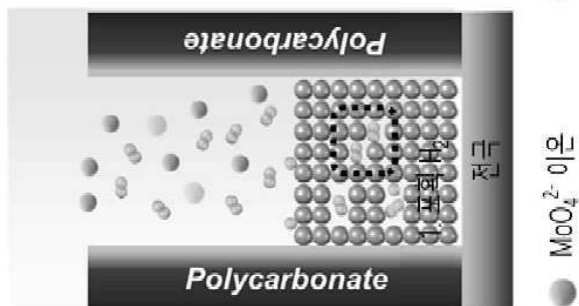
512



511

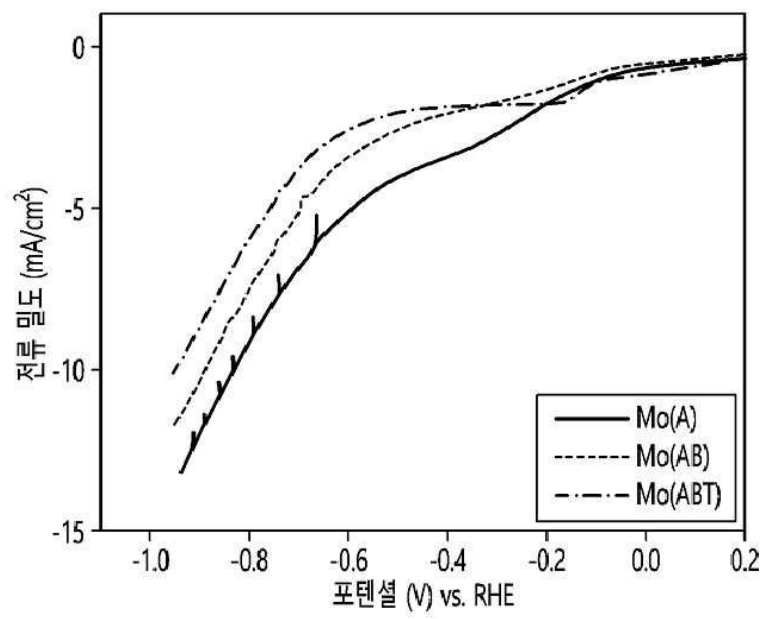


510

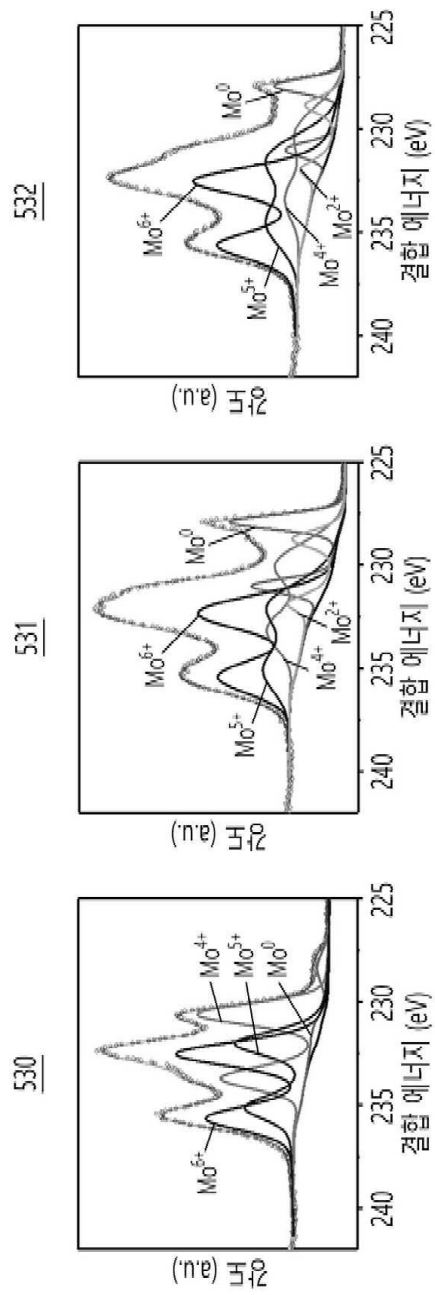


도면5c

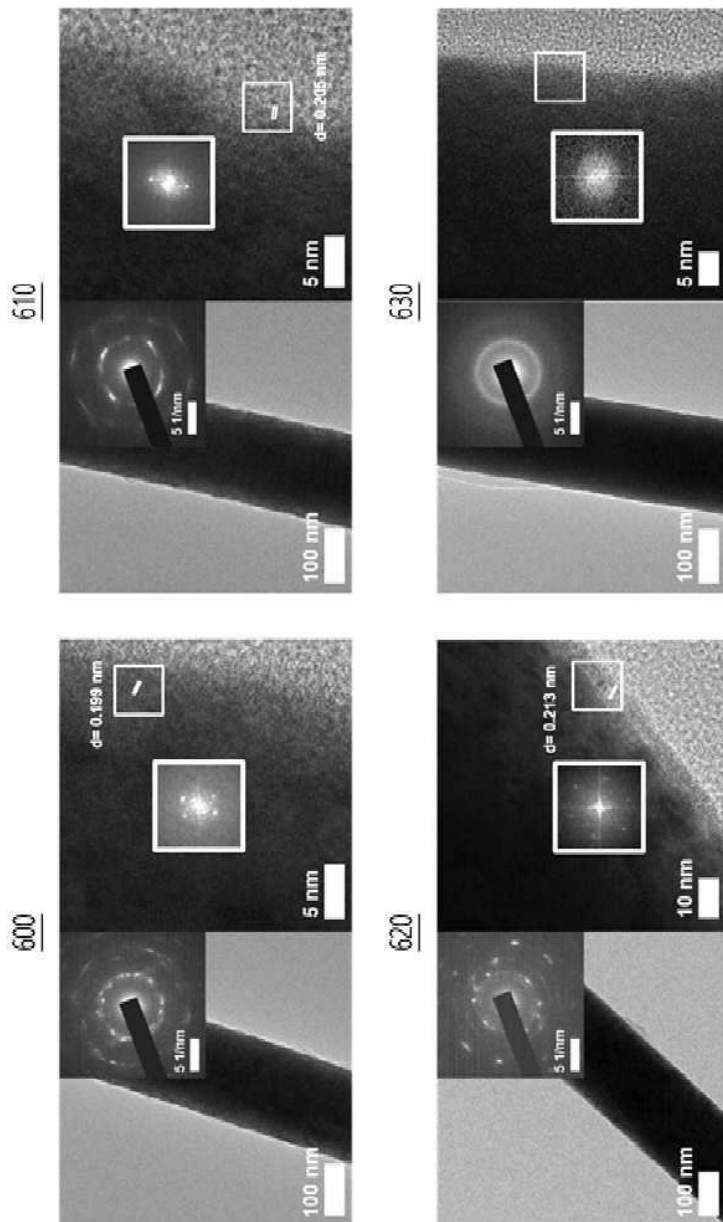
520



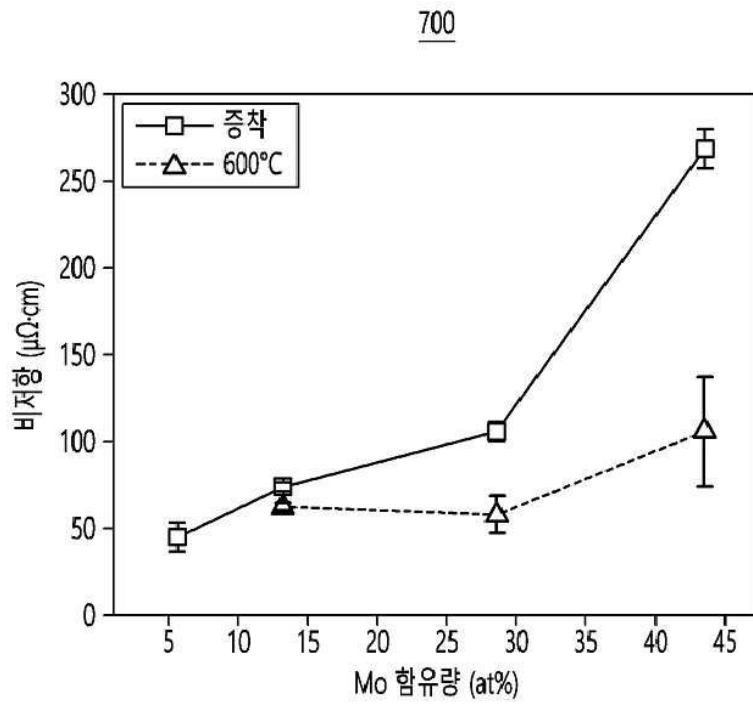
도면5d



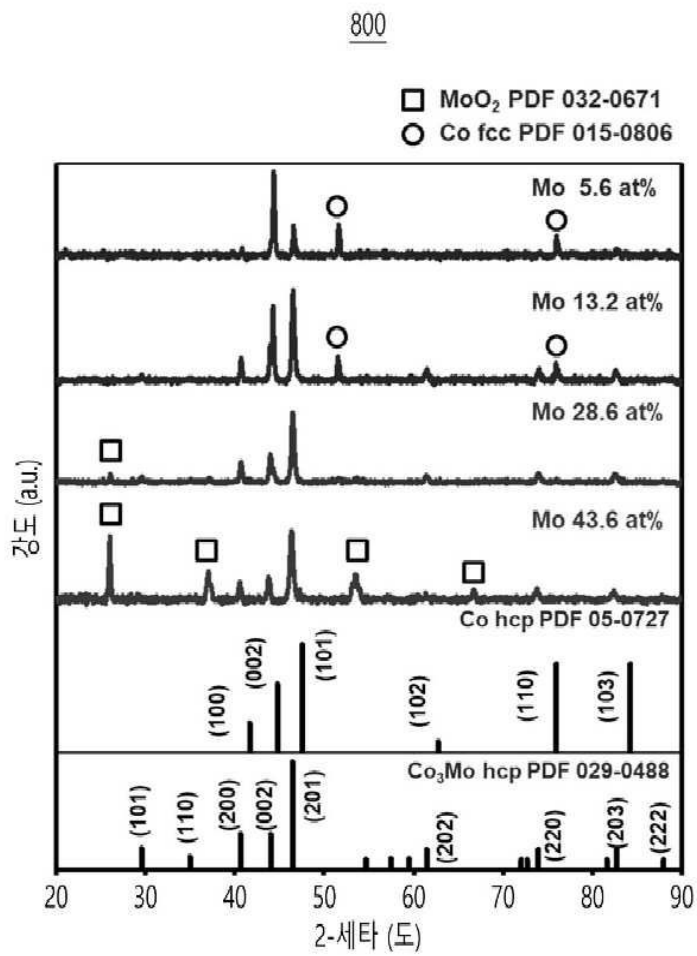
도면6



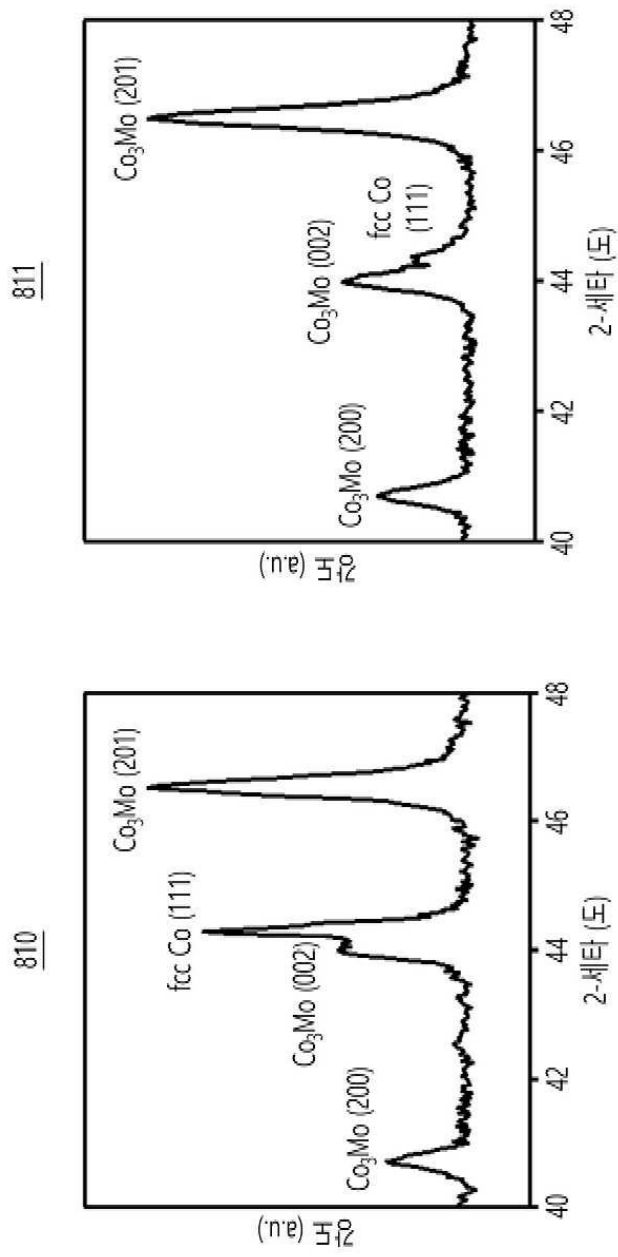
도면7



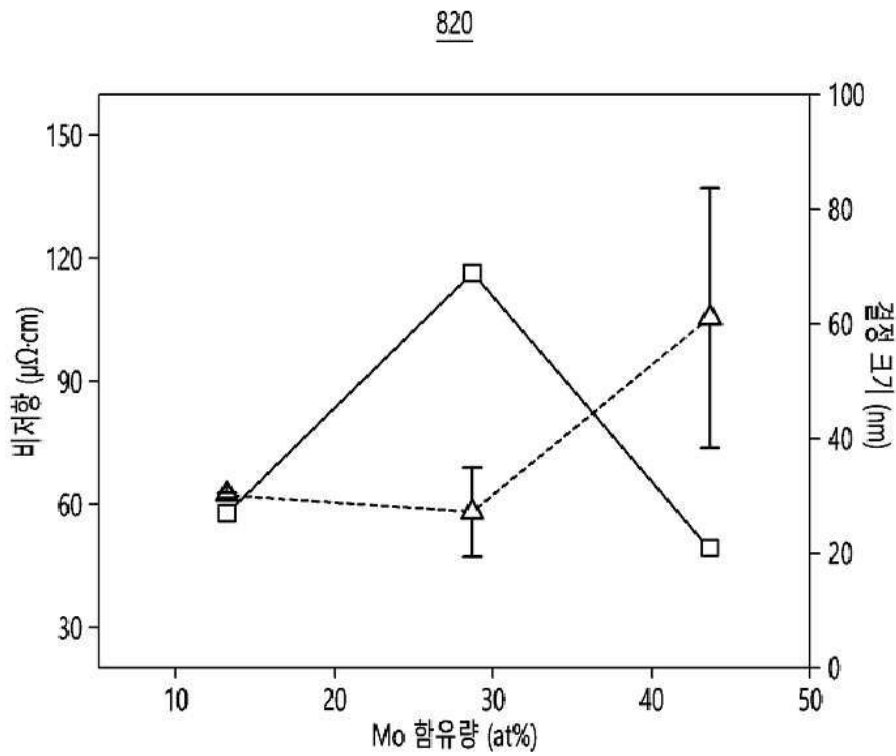
도면8a



도면 8b



도면8c



도면8d

