(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0085152
(43) 공개일자 2011년07월27일

(51) Int. Cl.
C25D 7/00 (2006.01) *C25D 3/54* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0004769
(22) 출원일자 2010년01월19일
심사청구일자 2010년01월19일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
한국원자력연구원
대전 유성구 덕진동 150-1
(72) 발명자
백성현
서울특별시 양천구 목6동 한신청구아파트 108동 1509호
김경화
인천광역시 서구 석남3동 491-7번지 삼보빌라 B동 102호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이원희

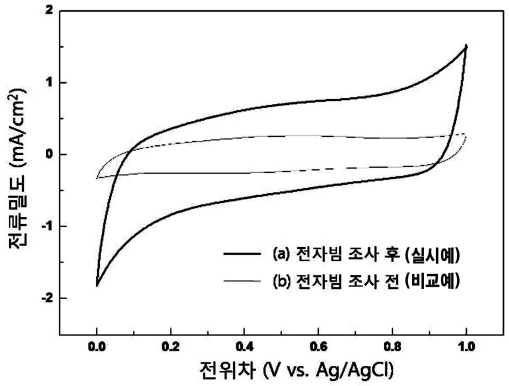
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 전자빔 조사를 이용한 이산화루테늄 박막의 제조방법 및 이에 따라 제조된 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막

(57) 요 약

본 발명은 전자빔 조사를 이용한 이산화루테늄 박막의 제조방법 및 이에 따라 제조된 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 염화루테늄 분말을 질소분위기하에서 증류수에 용해시켜 전해질 용액을 제조하는 단계(단계 1); 상기 단계 1에서 제조된 전해질 용액에 기판을 침지시키고, 전기화학적 증착법으로 이산화루테늄 박막을 제조하는 단계(단계 2); 및 상기 단계 2에서 제조된 박막에 전자빔을 조사하는 단계(단계 3)를 포함하는 이산화루테늄 박막의 제조방법 및 이에 따라 제조된 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막에 관한 것이다. 본 발명에 따른 이산화루테늄 박막은 종래 방법에서 필수적으로 요구되는 고온의 소성 공정 대신 전자빔 조사만을 수행하여 제조함으로써 공정의 단순화를 도모할 뿐만 아니라 전극의 안정성 및 전극 활성이 향상되어, 박막 결정성, 에너지 저장능력 및 전기적 성능이 월등히 향상되어, 촉매, 리튬 2차 전지, 초고용량 커패시터 등의 전극재료에 유용하게 사용될 수 있다.

대 표 도 - 도3



(72) 발명자

김길표

서울특별시 구로구 개봉본동 한마을아파트 116동 2102호

노동균

경기도 성남시 분당구 구미동 까치마을 대우아파트 108동 201호

김민완

충청남도 아산시 도고면 신언리 137-9

양기호

대전광역시 대덕구 송촌동 선비마을아파트 203동 1901호

이병철

서울특별시 강남구 대치동 쌍용아파트 3동 206호

특허청구의 범위

청구항 1

염화루테늄 분말을 질소분위기하에서 증류수에 용해시켜 전해질 용액을 제조하는 단계(단계 1);

상기 단계 1에서 제조된 전해질 용액에 기판을 침지시키고, 전기화학적 증착법으로 이산화루테늄 박막을 제조하는 단계(단계 2); 및

상기 단계 2에서 제조된 박막에 전자빔을 조사하는 단계(단계 3)를 포함하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 염화루테늄 분말은 상기 전해질 용액에 5~100 mM의 농도가 되도록 용해시키는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 전해질 용액은 10~90 ℃의 온도범위에서 일정하게 유지하는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 전기화학적 증착은 -0.1 ~ -5 V의 전압을 가하여 수행되는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 전기화학적 증착은 0.5~200 분간 수행되는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 전기화학적 증착은 3원 전극 시스템을 사용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 3원 전극 시스템은 기준전극으로서 Ag/AgCl 전극 또는 포화 카멜 전극(Sat'd Camel Electrode, SCE), 상대전극으로서 백금전극, 및 작업전극으로서 증착되는 기판을 이용하는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 기판은 ITO 유리, 스테인리스 스틸, 흑연 및 백금판으로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 단계 3의 전자빔은 0.3~1 MeV의 에너지를 1~200 kGy 범위의 조사 선량을 조사하는 것을 특징으로 하는 이산화루테늄 박막의 제조방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항의 제조방법에 의해 제조되는 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전자빔 조사를 이용한 이산화루테늄 박막의 제조방법 및 이에 따라 제조된 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 도금이란, 보통의 금속 표면에 다른 금속 또는 합금의 얇은 층을 입히는 조작을 말한다. 도금은 서양에서는 로마시대, 동양에서는 중국의 전한시대부터 시작되었다. 한국에서는 삼국시대에 중국으로부터 기술이 전해져서 많은 불상에 도금이 이용되었다. 고대의 야금은 아말감을 칠하고 수은을 증발시키는 방법, 박을 고열로 고착시키는 방법 등으로 금도금에 한정되었다.

[0003] 반면, 오늘날 일반적으로 도금이라고 하면, 통상 전기도금을 의미한다. 현재의 도금은 장식적인 미화, 방식 및 내마모성, 접촉저항의 개선, 침탄 방지 등의 공업적인 응용 및 이것들을 겸하는데 목적이 있다.

[0004] 전기도금의 일반적인 공정은 탈수 → 연마 → 탈지 → 화학적 침지처리 → 전기도금 → 후처리 → 건조의 단계를 거친다.

[0005] 또한, 도금을 개선하는 목적에 따라 분류하면 크게 방식, 표면강화, 표면의 미화, 표면의 평활화 또는 빛 등의 반사율 개선 등으로 나눌 수 있다.

[0006] 상기 방식은 원재료의 내식성 부족을 보완하고자 특정한 환경 속에서도 견딜 수 있는 금속을 입히는 것을 의미하며, 상기 표면경화는 마모에 견딜 수 있도록 소재보다 단단한 금속의 박층을 붙이는 것을 말한다. 상기 표면의 미화는 귀금속 또는 색체가 아름답게 보이도록 한 것이며, 표면의 평활화 또는 빛 등의 반사율 개선은 반사율이 높다든지 또는 매우 평활하고 광택이 좋은 금속의 박층을 붙이는 것을 의미한다.

[0007] 상기 도금의 방법 중, 전기화학적 증착법은 전구체에 전기적 에너지를 가하여, 기판 표면에서 화학적 합성을 일으켜 박막을 제조하는 방법을 의미한다.

[0008] 전기화학적 증착법은 금속 및 금속산화물의 얇은 막을 합성시킬 때, 합성에 적합한 전구체를 용액 상으로 제조한 뒤, 외부에서 전기적 에너지를 가하여 기판표면에 증착하는 방법이다.

[0009] 한편, 루테늄(Ru)의 산화물은 산화루테늄(Ⅳ), 산화루테늄(Ⅷ) 등이 있는데, 이 중 산화루테늄(Ⅳ)은 화학식 RuO_2(이하 이산화루테늄)의 흑색 분말로 사면체 루틸(Tetragonal rutile) 구조를 갖는 전이금속 산화물이다.

루테늄 금속은 공기 또는 산소 속에서 가열하면 산화루테늄(Ⅳ)이 되고, 일부는 산화루테늄(Ⅷ)으로서 휘발한다. 이 루테늄 산화물은 산화물임에도 불구하고 전해질과 접촉 시 루테늄 이온과 수소 이온 간의 표면반응을 통해 의사커패시턴스(pseudocapacitance)를 나타내는 등 높은 중량당 커패시턴스를 가지며 넓은 전압 범위에서 가역적인 산화환원(redox) 반응 특성을 보임으로써, 전기화학적 커패시터의 전극으로서 매우 유리한 물성을 갖는다. 이 외에도 낮은 비저항, 뛰어난 열 안정성, 제조 용이성, 양자(proton) 전도성 등 때문에 이산화루

테늄은 전기, 전자, 촉매 등의 분야에서 금속 전도체(metallic conductor), 산화 촉매(oxidation catalyst) 등으로 이용되고 있다.

[0010] 최근 이산화루테늄은 초고용량 커패시터의 대표적인 전극재료로 주목받고 있다. 초고용량 커패시터는 커패시터의 성능 중 특히 전기 용량의 성능을 중점적으로 강화한 것으로서, 전지의 목적으로 사용하도록 한 부품이다. 전자 회로에 사용되는 커패시터는 전기적으로 축전지와 같은 기능을 갖는다. 전력을 모아서 필요에 따라 방출한다는 것이 기본 취지로 전자 회로를 안정되게 동작시키기 위해서는 반드시 필요한 부품의 하나이며, 보통 교류 전원으로부터 공급받아 축전해 두고 전원이 끊어진 경우에 소전력을 공급할 목적으로 사용된다. 보통 기기 내부에 설치되어 있으며, 설정용 메모리에 전력을 일시적으로 공급하거나 정전 시에 작동하는 안전기기 등에 이용되고 있다.

[0011] 전기화학적 증착법을 이용한 이산화루테늄 박막 제조방법의 종래기술로는 298~353 K의 온도 사이에서 40 mM의 염화루테늄($RuCl_3$) 전해질 수용액을 3원 전극 시스템을 이용하여 외부에서 일정한 전류를 주입하여 티타늄 표면에 이산화루테늄 박막을 전기 증착시키는 방법이 알려져 있다[Materials Chemistry and Physics 87 (2004) 59-66].

[0012] 한편, 초고용량 커패시터의 전극재료로서, 이산화루테늄의 성능을 향상시키기 위해, 나노제조기술이 부합되어 중간세공 구조를 가지는 이산화루테늄 분말의 제조방법이 보고된 바 있다. 이 중에서 대표적인 방법으로 에탄올 10 g 두 개에 각각 Pluronic123 1 g과 $RuCl_3$(10 mM)을 섞어 하루 동안 둔 다음, 이 두 용액을 1시간동안 교반시키며 반응시켜 페트리 디쉬에 넣고 40 ℃에서 1~2일 동안 겔화(gelation)시킨 후 400 ℃에서 5 시간 동안 소성시켜 계면활성제를 제거하여 중간세공 구조의 이산화루테늄 분말을 제조하는 방법이 있다[Solid State Ionics 175 (2004) 511-515].

[0013] 그러나, 상기의 중간세공 구조를 갖는 이산화루테늄 제조방법은 제조된 분말을 전극재료로 사용하기 위해 다시 탄소 또는 구리 집전체 위에 증착시키는 추후 공정이 필수적이며, 이에 따른 공정비용 증가와 추가 증착에 따른 재료의 성능저하가 발생될 뿐만 아니라, 제조 시간이 길고 이산화루테늄 입자가 가지고 있는 기공이 전체적으로 고르게 발달되어 있지 않아 불규칙적인 중간세공 구조를 가지는 등의 문제가 있다.

[0014] 이에 본 발명자들은 종래의 전기화학적 증착법의 장점은 이용하되, 전자빔 조사를 이용하여 후속 공정이 필요없이 합성과 동시에 전극으로 사용 가능하고, 고온의 소성과정이 요구되지 않으며, 전극의 안정성 및 전극활성이 향상됨으로써 에너지 저장능력이 개선된 이산화루테늄 박막의 제조방법을 개발하고 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명의 목적은 전자빔 조사를 이용하여 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막의 제조방법을 제공하는 데 있다.

[0016] 본 발명의 다른 목적은 상기 제조방법으로 제조된 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0017] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명은 염화루테늄 분말을 질소분위기하에서 증류수에 용해시켜 전해질 용액을 제조하는 단계(단계 1); 상기 단계 1에서 제조된 전해질 용액에 기판을 침지시키고, 전기화학적 증착법으로 이산화루테늄 박막을 제조하는 단계(단계 2); 및 상기 단계 2에서 제조된 박막에 전자빔을 조사하는 단계(단계 3)를 포함하는 이산화루테늄 박막의 제조방법을 제공한다.

[0018] 또한, 본 발명은 전극안정성 및 전극활성이 향상됨으로써 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막을 제공

한다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따른 이산화루테늄 박막은 종래 방법에서 필수적으로 요구되는 고온의 소성 공정 대신 전자빔 조사만을 수행하여 제조함으로써 공정의 단순화를 도모할 뿐만 아니라 전극의 안정성 및 전극활성이 향상되어, 박막 결정성, 에너지 저장능력 및 전기적 성능이 월등히 향상되어, 촉매, 리튬 2차 전지, 초고용량 커패시터 등의 전극재료에 유용하게 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] **도 1**은 본 발명의 실시예 및 비교예에서 제조된 이산화루테늄 박막의 주사전자현미경(SEM)사진이다((a): 실시예, (b): 비교예).

도 2는 본 발명의 실시예 및 비교예에서 제조된 이산화루테늄 박막의 X-선 분광분석(XPS) 결과를 나타낸 그래프이다((a): Ru $3d_{5/2}$, (b): O 1s).

도 3은 본 발명의 실시예 및 비교예에서 제조된 이산화루테늄 박막의 순환전압전류 분석 결과를 나타낸 그래프이다((a): 실시예, (b): 비교예).

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0022] 본 발명은 염화루테늄 분말을 질소분위기하에서 증류수에 용해시켜 전해질 용액을 제조하는 단계(단계 1);

[0023] 상기 단계 1에서 제조된 전해질 용액에 기판을 침지시키고, 전기화학적 증착법으로 이산화루테늄 박막을 제조하는 단계(단계 2); 및

[0024] 상기 단계 2에서 제조된 박막에 전자빔을 조사하는 단계(단계 3)를 포함하는 이산화루테늄 박막의 제조방법을 제공한다.

[0025] 이하, 본 발명에 따른 상기 이산화루테늄 박막의 제조방법을 단계별로 더욱 상세히 설명한다.

[0026] 먼저, 단계 1은 염화루테늄 분말을 질소분위기하에서 증류수에 용해시켜 전해질 용액을 제조하는 단계이다.

[0027] 상기 단계 1에서 염화루테늄 분말은 상기 전해질 용액에 5~100 mM의 농도가 되도록 용해하여 제조하는 것이 바람직하다. 만일, 상기 염화루테늄 분말의 첨가량이 5 mM 미만인 경우에는 전기화학적 증착 시 이산화루테늄 박막이 합성되기 어렵고, 염화루테늄 분말의 첨가량이 100 mM를 초과하는 경우에는 첨가량 대비 박막의 합성속도가 더 이상 증가하지 않는다는 문제가 있다.

[0028] 다음으로, 단계 2는 상기 단계 1에서 제조된 전해질 용액에 기판을 침지시키고, 전기화학적 증착법으로 이산화루테늄 박막을 제조하는 단계이다.

[0029] 상기 단계 2는 루테늄 이온과 산소를 결합시킨 이산화루테늄을 제조함과 동시에 기판에 증착시키는 단계로, 전해질로부터 이산화루테늄을 증착시키기 위해서는 전기에너지와 함께 열에너지가 필요하다.

[0030] 이에, 증착되는 동안 전해질 용액은 10~90 ℃의 범위에서 온도를 일정하게 유지하여 수행하는 것이 바람직하다. 이때, 상기 전해질 용액의 온도가 10 ℃ 미만인 경우에는 이산화루테늄의 충분한 증착을 기대하기 어려울 뿐만 아니라 염화루테늄 분말의 용해가 완전히 이루어지지 않는 문제가 있으며, 상기 전해질 용액의 온도가 90 ℃를

초과하는 경우에는 증류수의 빠른 증발속도로 인하여 불균일한 박막표면이 생성되는 문제가 있다.

[0031] 또한, 상기 단계 2의 전기화학적 증착 시 전압은 -0.1 ~ -5 V 범위에서 인가하는 것이 바람직하다. 이때, 상기 전압이 -0.1 V 미만인 경우에는 충분한 이산화루테늄의 증착을 기대하기 어렵고, -5 V를 초과하는 경우에는 가하는 전압에 비해 증착량이 증가하지 않는 문제가 있다.

[0032] 나아가, 상기 단계 2의 전기화학적 증착 시간은 0.5~200분 범위에서 선택하여 수행함으로써, 합성박막의 두께를 조절할 수 있다. 이때, 증착시간이 0.5분 미만인 경우에는 입자가 충분히 성장하지 못하여 가시적으로 확인하기 어려운 문제가 있고, 200분을 초과하는 경우에는 박막의 두께가 크게 증가하게 되어 박막의 기판 접착력이 중력을 이겨내지 못하여 떨어지는 문제가 있다.

[0033] 또한, 상기 단계 2의 전기화학적 증착은 3원 전극 시스템을 사용할 수 있으며, 이 경우 기준전극은 Ag/AgCl 전극 또는 포화 카멜 전극(Sat'd camel electrode, SCE)을 사용할 수 있고, 상대전극은 백금전극을 사용할 수 있으며, 작업전극은 증착되는 기판으로 하여 실시할 수 있다.

[0034] 본 발명에 따른 제조방법에 있어서, 상기 단계 2의 기판은 특별히 한정하는 것은 아니나, 바람직하게는 산화인듐주석(indium tin oxide이하, "ITO") 유리, 스테인리스 스틸, 흑연, 백금판 등을 사용할 수 있으며, 증착하고자 하는 기판을 사용하기 위해 세척하는 단계를 더 포함할 수 있다. 세척 시 사용되는 용액으로 C_1~C_4의 알콜과 아세톤의 혼합용액을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 이소프로판올과 아세톤이 1:1로 혼합된 용액을 사용할 수 있다.

[0035]

[0036] 다음으로, 단계 3은 단계 2에서 제조된 박막에 전자빔을 조사하는 단계이다.

[0037] 상기 단계 3은 기판에 증착된 이산화루테늄 박막에 0.3~1 MeV의 에너지를 갖는 전자빔을 1~200 kGy 범위의 조사선량으로 조사하는 것이 바람직하다. 상기 전자빔의 조사 선량의 변화를 조절함으로써 성능변화를 조절할 수 있다.

[0038] 이때, 조사 선량이 1 kGy 미만인 경우에는 충분한 에너지가 전달되지 않아 박막의 결정성을 향상시키기 어렵고, 조사 선량이 200 kGy를 초과하는 경우에는 합성된 박막과 기판 간에 박리현상이 발생하여 안정성이 저하되는 문제가 있다.

[0039] 또한, 본 발명은 상기 제조방법에 의해 제조되는 에너지 저장능력이 향상된 이산화루테늄 박막을 제공한다.

[0040] 본 발명에 따른 이산화루테늄 박막은 전자빔 조사를 통해 박막의 결정성이 향상되고, 전자빔 조사 전,후 동일한 전위차에 대하여 단위 면적당 높은 전류 밀도를 나타내므로 에너지 저장능력이 향상된 것을 알 수 있다.

[0041] 따라서, 본 발명에 따른 상기 박막은 촉매, 리튬 2차 전지 및 초고용량 커패시터의 전극재료 등에 유용하게 사용할 수 있다.

[0042] 이하, 본 발명을 실시예 및 도면을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 단, 하기의 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0043] **<실시예> 이산화루테늄 박막의 제조**

[0044] **단계 1 : 염화루테늄 분말을 사용한 전해질 용액의 제조**

[0045] 질소분위기하에서 염화루테늄($RuCl_3$) 분말을 0.0622 g으로 정량하여 50 ㎖ 비커에 넣고, 전체 용액이 30 ㎖가 되도록 증류수로 채운 후 5분 가량 교반하여 용질을 완전히 용해하였다.

[0046] **단계 2 : 전기화학적 증착법을 이용한 이산화루테늄 박막의 제조**

[0047] 상기 단계 1에서 제조된 전해질 용액이 담긴 비커를 실리콘 오일로 채워진 용기에 담그고, 가열기를 이용하여

전해질 용액의 온도가 50 ℃로 일정하게 유지되도록 조절하여 가열하였다. 이때, 증류수의 증발을 최소화하기 위해 비커의 상부를 실리콘 뚜껑을 사용하여 봉합하였다.

[0048] 다음으로, 기판으로 사용되는 산화인듐주석(ITO) 유리에 포함되어 있는 불순물을 제거하기 위해, 산화인듐주석(ITO) 유리를 세척액(이소프로판올:아세톤=1:1 혼합용액)에 담그고 초음파 세척기로 10분간 세척하였다. 세척된 산화인듐주석(ITO) 유리를 증류수에 헹구고, 공기 중에서 24시간 동안 건조하였다. 상기 산화인듐주석(ITO) 유리 기판에 전기화학적 증착법을 수행하기 위해, 기준전극으로서 은/염화은(Ag/AgCl)전극, 상대전극으로서 백금 전극, 및 작업전극으로서 상기 세척된 산화인듐주석(ITO) 유리를 사용하여 3원 전극 시스템을 준비하였다.

[0049] 상기에서 50 ℃로 유지된 전해질 용액과 각각의 전극을 반응기에 넣고, 기준전극을 기준으로 -1.0 V의 전압을 30분 동안 가해주어 산화인듐주석(ITO) 유리 기판에 이산화루테늄 박막을 증착시켰다.

[0050] **단계 3 : 이산화루테늄 박막에 전자빔 조사**

[0051] 상기 단계 2에서 증착된 이산화루테늄 박막을 전자빔 조사 틀에 넣고 가속된 전자빔을 조사하였다. 이때, 전자빔 에너지는 0.3~1 MeV 범위로 선량을 달리하여 박막표면에 주사하였다. 상기 주사과정을 마친 이산화루테늄 박막을 상온의 공기 중에서 24시간 동안 건조하였다.

[0052] **<비교예>**

[0053] 상기 실시예 1의 단계 3인 전자빔 조사 과정을 생략한 것을 제외하고는, 실시예 1과 동일하게 수행하여 이산화루테늄 박막을 제조하였다.

[0054] **<실험예 1> 전자빔 조사 전,후의 이산화루테늄 박막 표면 분석**

[0055] 본 발명에 따른 실시예 및 비교예에서 제조된 박막 표면을 분석하기 위해 주사전자현미경(SEM, Hitachi, Hitachi S-4300) 및 X-선 분광분석기(XPS, Thermo Electron, K-Alpha)를 이용하여 분석하고, 그 결과를 **도 1** 및 **도 2**에 나타내었다.

[0056] **도 1**에 나타낸 바와 같이, 실시예의 박막(a)과 비교예의 박막(b)을 비교해보면, 전자빔 조사로 인해 입자 표면의 결정성이 증가하였음을 확인할 수 있다.

[0057] 또한, X-선 분광분석기로 상기 실시예의 박막 내 루테늄원소 및 산소원소의 결합에너지를 측정한 결과, **도 2**에 나타낸 바와 같이, 결합에너지 피크는 280.2 eV에서 Ru $3d_{5/2}$(도 2(a))이고, 530.1 eV에서 O 1s(도 2(b))로 나타남으로써, 상기 실시예의 박막의 결합물질이 이산화루테늄임을 확인하였다.

[0058] **<실험예 2> 전자빔 조사 전,후의 이산화루테늄 박막의 순환전압전류특성 분석**

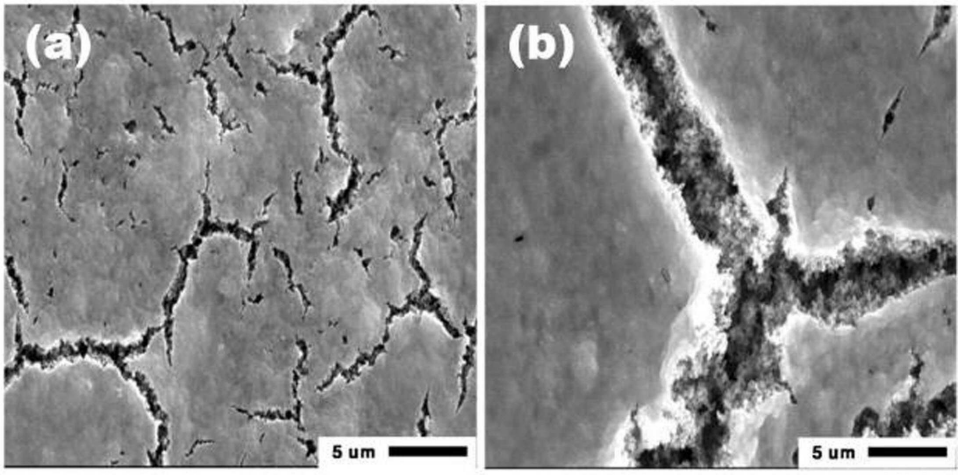
[0059] 본 발명에 따른 이산화루테늄 박막의 전기적 특성을 알아보기 위해, 실시예 및 비교예의 순환전압전류를 측정하고, 그 결과를 **도 3**에 나타내었다.

[0060] **도 3**에 나타낸 바와 같이, 전자빔 조사를 하지 않은 이산화루테늄 박막(비교예, (b))에 비하여 전자빔 조사를 수행한 후의 이산화루테늄 박막(실시예, (a))이 단위면적당 더 높은 전류 밀도를 가짐을 확인하였다.

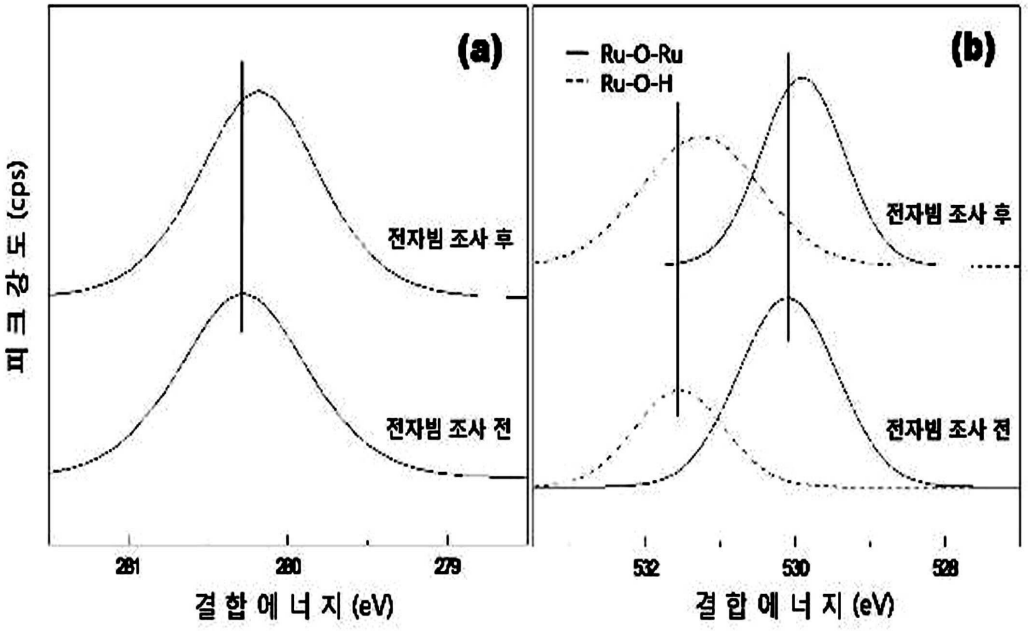
[0061] 따라서, 본 발명에 따라 제조된 이산화루테늄 박막은 전자빔 조사를 통하여 박막 결정성, 에너지 저장능력 및 전기적 성능이 월등히 향상되어, 촉매, 리튬 2차 전지, 초고용량 커패시터 등의 전극재료에 유용하게 사용될 수 있다.

도면

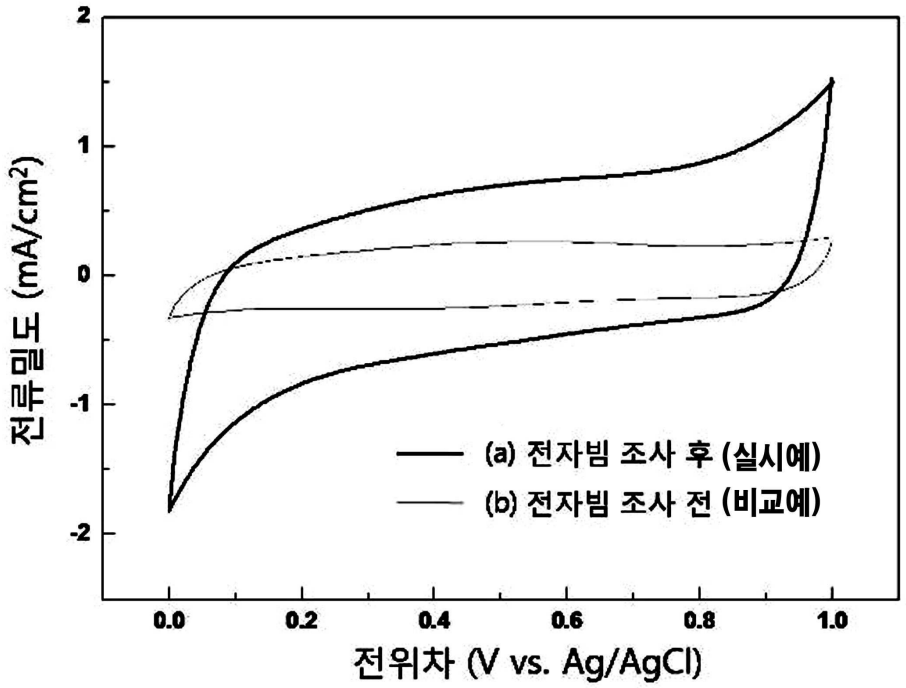
도면1


(a)
5 um
(b)
5 um

도면2


(a)
전자빔 조사 후
전자빔 조사 전
피크 강도 (cps)
281
280
279
결합 에너지 (eV)
Ru-O-Ru
Ru-O-H
(b)
전자빔 조사 후
전자빔 조사 전
532
530
528
결합 에너지 (eV)

도면3


2
1
0
-1
-2
전류밀도 (mA/cm²)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
전위차 (V vs. Ag/AgCl)
(a) 전자빔 조사 후 (실시예)
(b) 전자빔 조사 전 (비교예)