



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년03월27일  
 (11) 등록번호 10-1378307  
 (24) 등록일자 2014년03월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 C22C 1/04 (2006.01) C22C 27/02 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0008457  
 (22) 출원일자 2012년01월27일  
 심사청구일자 2012년01월27일  
 (65) 공개번호 10-2013-0087260  
 (43) 공개일자 2013년08월06일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP03523559 B2  
 KR1020090090522 A  
 JP03824052 B2  
 KR1020110092762 A

(73) 특허권자  
 한국교통대학교산학협력단  
 충청북도 충주시 대소원면 대학로 50  
 (72) 발명자  
 홍태환  
 충청북도 충주시 이류면 대학로 50번지 충주대학교 신소재공학과  
 김환기  
 충청북도 충주시 충원대로 268 번지 건국대학교 응용화학과  
 (74) 대리인  
 특허법인다울

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 구분승

(54) 발명의 명칭 수소 생산 멤브레인용 바나듐-알루미늄 복합재료의 제조방법 및 이 방법에 의해 제조된 복합 재료

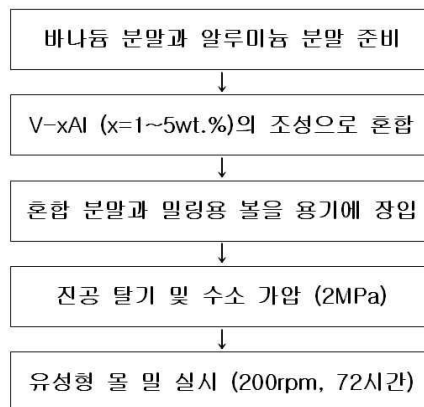
**(57) 요약**

본 발명은 팔라듐을 사용하지 않은 수소 생산 멤브레인용 재료를 제조하는 방법에 관한 것으로, 바나듐 분말과 알루미늄 분말을 용기 안에 혼합하는 단계; 상기 용기를 수소 분위기로 가압하는 단계; 및 수소 가압된 분위기에 서 기계적 합금화하는 단계를 포함한다.

본 발명은, 수소 가압 분위기에서 기계적 합금법으로 바나듐-알루미늄 복합재료를 제조함으로써, 빠른 수소화 거동과 낮은 압력에서의 탈수소화 거동이 가능한 바나듐-알루미늄 복합재료를 제조할 수 있는 효과가 있다.

또한, 빠른 수소화 거동과 낮은 압력에서의 탈수소화 거동이 가능한 바나듐-알루미늄 복합재료를 제공함으로써, 팔라듐을 대신하여 수소 생산 멤브레인에 사용할 수 있는 새로운 물질을 제공하는 효과가 있다.

**대표도** - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 B0009047  
 부처명 지식경제부  
 연구사업명 친환경에너지부품소재 지역혁신센터사업  
 연구과제명 사용후 W/Co 잔재로부터의 자원회수에 관한 연구  
 기여율 1/2  
 주관기관 충주대학교 산학협력단  
 연구기간 2011.03.01 ~ 2012.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009-0093168  
 부처명 교육과학기술부  
 연구사업명 기후변화대응 기술개발사업  
 연구과제명 단원자수소분리 및 확산을 위한 경사기능 복합소재  
 기여율 1/2  
 주관기관 충주대학교 산학협력단  
 연구기간 2011.09.30 ~ 2012.09.29

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

V-xAl(x=1~5wt.%)의 조성범위로 바나듐 분말과 알루미늄 분말을 용기 안에 혼합하는 단계;

상기 용기를 2MPa 이상의 수소 분위기로 가압하는 단계; 및

수소 가압된 분위기에서 기계적 합금화하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 생산 멤브레인용 바나듐-알루미늄 복합재료의 제조방법.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 기계적 합금화 처리가, 유성형 불 밀법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 수소 생산 멤브레인용 바나듐-알루미늄 복합재료의 제조방법.

### 청구항 4

삭제

### 청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 용기 안에, 밀링용 불과 혼합 분말의 중량비가 30:1인 것을 특징으로 하는 수소 생산 멤브레인용 바나듐-알루미늄 복합재료의 제조방법.

### 청구항 6

삭제

### 청구항 7

청구항 1의 방법으로 제조된 V-xAl(x=1~5wt.%)의 조성범위인 바나듐-알루미늄 복합재료로서,

가압 수소 분위기에서 기계적 합금을 실시하는 과정에서 형성된 수소화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 바나듐-알루미늄 복합재료.

### 청구항 8

삭제

### 청구항 9

청구항 7의 바나듐-알루미늄 복합재료를 사용한 것을 특징으로 하는 수소 생산 멤브레인.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 수소 생산 멤브레인에 사용되는 복합재료의 제조 방법에 관한 것으로, 더욱 자세하게는 팔라듐을 사용하지 않는 수소 생산 멤브레인용 재료를 제조하는 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 오늘날의 산업 구조는 화석연료를 기반으로 발전해 왔으나 현재에는, 화석연료의 고갈 및 환경문제가 크게 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 친환경에너지원으로 알려진 수소에너지가 미래의 화석연료를 대체할 에너지원으로 각광 받고 있다. 수소 및 수소에너지의 경우 전기에너지로 직접변환이 가능하고 연소 시에 환경오염 물질의 배출이 없는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인하여, 선진국들을 중심으로 수소에너지에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 특히, 수소의 제조, 저장, 이용, 수송의 4개 분야에 걸쳐 활발한 연구가 진행되고 있다.

[0003] 수소의 제조 기술은 다양한 데, 최근에는 분리막을 사용하여 가스화된 화석연료, 즉 알켄(alkene)에서 수소만을 분리하는 기술이 이용되고 있다. 수소를 분리하기 위한 막으로는 폴리이미드 등의 유기 고분자막, 다공질 세라믹 등의 무기 다공질막, 금속막 및 이것들을 조합한 복합막 등이 있다.

[0004] 유기 고분자막이나 무기 다공질막은 그 원료가 염가라고 하는 이점을 가지고 있지만, 분자체의 작용을 이용하고 있기 때문에 고순도의 수소를 얻을 수 없다는 단점이 있다.

[0005] 금속 분리막을 이용하는 방법은 금속 분리막의 표면에서 수소 분자가 분리되어 분리막을 통하여 확산하는 용해 확산(solution diffusion) 메커니즘을 통해서 이루어지며, 간단한 필터링 과정을 통해서 고순도의 수소를 쉽게 생산할 수 있는 장점이 있다. 그러나 현재 사용되는 치밀질 금속 분리막은 대부분 팔라듐 또는 팔라듐 합금을 이용하고 있으며, Pd 합금은 제조비용이 너무 비싸다는 단점이 있어서 고순도의 수소를 생산할 필요가 있는 경우에만 제한적으로 사용되고 있는 실정이다.

[0006] 따라서 팔라듐보다 저렴한 재료를 이용하여 금속 분리막을 제조하려는 연구가 계속되고 있으나, 아직 그 성과가 없는 실정이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서 팔라듐을 사용하지 않은 수소 생산 멤브레인용 재료를 제조하는 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 수소 생산 멤브레인용 바나듐-알루미늄 복합재료의 제조방법은, 바나듐 분말과 알루미늄 분말을 용기 안에 혼합하는 단계; 상기 용기를 수소 분위기로 가압하는 단계; 및 수소 가압된 분위기에서 기계적 합금화하는 단계를 포함한다.

[0009] 금속 분리막의 작용 메커니즘인 용해확산은 일정한 압력 이하의 특정 온도에서 수소가 금속에 흡착 및 이탈하는 수소 저장 합금의 거동과 유사하다. 이러한 수소 저장 합금은 수소 저장량, 수소화 속도 및 수소화 온도가 중요한 인자이며, 안정적인 수화물의 형성에 의해 수소 침투 레벨과 비율을 약화된다.

[0010] 반면에 분리 속도가 빠르고 흡착 거동 이후에 막 내부에서 빠르게 수소를 확산시키는 물질이 고순도 수소를 제조하는 금속 분리막의 후보 재료이다. 이러한 특성의 후보 금속들 중에서, BCC(base centered cubic) 구조를 갖는 바나듐, 지르코늄 및 티타늄은 높은 수소 용해도와 확산율을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 이들 금속들은 수소 취성(hydrogen embrittlement)에 의해서 분리막 제조 시에 수명이 짧은 단점이 있다.

[0011] 이에 본 발명의 발명자들은 수소 취성이 문제가 되는 바나듐에 알루미늄을 합금화하였다. 알루미늄은 결정립계면(grain boundary)에서 수소가 확산되는 것을 방어함으로써 수소 취성을 방어할 것으로 예상된다.

- [0012] 반면에 수소가 가압된 분위기에서 기계적 합금을 실시하면, 수소 취성에 의하여 바나듐 입자의 크기가 나노 단위로 미세화되며, 그 결과 비표면적은 증가하고 수소 확산거리는 짧아지기 때문에 수소화 속도가 향상된다. 나아가 재료 내에 불안정한 알루미늄 수화물이 형성됨으로써, 수소의 이탈 거동이 쉬워진다.
- [0013] 이때, 수소 분위기로 가압하는 단계는 용기 내에 수소를 2MPa 이상으로 가압하여야 복합재료 내에 수소화물이 충분히 형성된다.
- [0014] 또한, 기계적 합금화 처리는 200rpm이상의 회전속도로 12시간이상 실시되는 유성형 볼 밀법에 의해 이루어지고, 이를 위하여 용기 내에 밀링용 볼과 혼합 분말의 중량비가 30:1이 되도록 밀링용 볼과 혼합 분말을 함께 넣는다.
- [0015] 이러한 바나듐-알루미늄 복합재료는 그 조성이 V-xAl(x는 1~5중량%)의 조성범위가 되도록 바나듐 분말과 알루미늄 분말을 혼합하는 것이 바람직하다. 알루미늄이 1wt.% 미만으로 포함되는 경우는 바나듐의 수소 취성으로 인하여 사용이 어려우며, 알루미늄이 5wt.% 초과하여 포함되는 경우는 알루미늄의 연성으로 인하여 기계적 합금법으로 제조하기 어려운 단점이 있다.
- [0016] 본 발명의 다른 태양에 의한 바나듐-알루미늄 복합재료는, 수소 가압 분위기에서 기계적 합금법으로 제조되어 내부에 수소화물, 특히 알루미늄의 수소화물을 포함하고 있는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 복합재료의 조성은 V-xAl(x=1~5wt.%)의 조성범위인 것이 바람직하며, 알루미늄이 1wt.% 미만으로 포함되는 경우는 바나듐의 수소 취성으로 인하여 사용이 어려우며, 알루미늄이 5wt.% 초과하여 포함되는 경우는 알루미늄의 연성으로 인하여 기계적 합금법으로 제조하기 어려운 단점이 있다.
- [0018] 본 발명의 또 다른 태양에 의한 수소 생산 멤브레인은, 수소 가압 분위기에서 기계적 합금법으로 제조되어 내부에 수소화물을 포함하는 바나듐-알루미늄 복합재료를 사용한 것을 특징으로 한다.
- [0019] 팔라듐을 대신하여 수소 가압 분위기에서 기계적 합금법으로 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료를 사용함으로써, 수소 생산 멤브레인의 제조 비용을 크게 줄일 수 있는 효과가 있다.

**발명의 효과**

- [0020] 상술한 바와 같이 구성된 본 발명은, 수소 가압 분위기에서 기계적 합금법으로 바나듐-알루미늄 복합재료를 제조함으로써, 빠른 수소화 거동과 낮은 압력에서의 탈수소화 거동이 가능한 바나듐-알루미늄 복합재료를 제조할 수 있는 효과가 있다.
- [0021] 또한, 빠른 수소화 거동과 낮은 압력에서의 탈수소화 거동이 가능한 바나듐-알루미늄 복합재료를 제공함으로써, 팔라듐을 대신하여 수소 생산 멤브레인에 사용할 수 있는 새로운 물질을 제공하는 효과가 있다.
- [0022] 나아가, 팔라듐을 대신하여 수소 가압 분위기에서 기계적 합금법으로 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료를 수소 생산 멤브레인에 사용함으로써, 팔라듐을 이용한 수소 생산 멤브레인에 비하여 제조비용을 크게 줄일 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 바나듐-알루미늄 복합재료의 제조방법을 나타내는 공정의 흐름도이다.
- 도 2는 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료의 X-선 회절분석 결과 그래프이다.
- 도 3은 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료의 표면형상을 나타내는 SEM 사진이다.
- 도 4는 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료에 대한 비표면적 분석 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료에 대한 0.5MPa의 수소 분위기에서의 다양한 온도에서 따른 수소화 속도 분석 결과를 나타낸다.
- 도 6은 본 실시예에 따라 제조된 V-1wt.%Al 복합재료에 대한 623K에서의 수소 압력 변화에 따른 수소화 거동을 나타낸다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0024] 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예를 상세히 설명한다.

- [0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 바나듐-알루미늄 복합재료의 제조방법을 나타내는 공정의 흐름도이다.
- [0026] 본 실시예는 먼저 99%이상의 순도를 갖는 바나듐 분말과 알루미늄 분말을  $V-xAl(x=1\sim 5wt.%)$ 의 조성에 해당하도록 칭량하여 준비하고, 이 분말을 혼합하여 기계적 합금을 실시한다.
- [0027] 그리고 가스 분위기를 조절할 수 있는 용기에 준비된 바나듐 분말과 알루미늄 분말을 혼합한다. 이러한 용기는 니들형 밸브를 장착한 스테인리스 재질이며, 진공 및 가압 분위기를 유지할 수 있다.
- [0028] 이때, 기계적 합금 방법으로는 유성형 볼밀(Planetary ball mill, PULVERISETTE-5, FRITSCH)을 실시하며, 이를 위하여 용기 안에 밀링용 볼을 함께 넣는다.
- [0029] 다음으로 재료 분말과 밀링용 볼을 넣은 용기 내부의 공기를 로터리 펌프를 이용하여 진공 탈기한 후, 기계적 합금화 과정에서 수소화물의 형성을 유도하고자 순도 99.9999%의 수소를 주입하여 수소 가압 분위기를 조성한다.
- [0030] 마지막으로 유성형 볼밀에 의한 기계적 합금 공정을 실시하여 바나듐-알루미늄 복합재료를 제조한다.
- [0031]
- [0032] 이하에서는 상기한 실시예에 따른 제조방법으로 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료의 특성에 대한 결과를 살펴본다.
- [0033] 본 실시예에서는 바나듐 분말과 알루미늄 분말을 V-1wt.%Al과 V-5wt.%Al의 두 개의 조성으로 준비하였고, 밀링 용기에는 분말의 중량에 대하여 30:1의 비율이 되도록 밀링용 볼을 함께 넣었다.
- [0034] 그리고 먼저  $5 \times 10^{-2}$  torr까지 진공 탈거한 뒤에, 수소를 2.0MPa까지 주입하여 수소가압 분위기를 형성하였다.
- [0035] 마지막으로 유성형 볼밀은 200rpm의 속도로 12시간동안 실시하였다.
- [0036] 상기한 조건에서 제조된 V-1wt.%Al과 V-5wt.%Al의 복합재료에 대하여 여러 가지 특성을 측정하였다.
- [0037] 먼저, 결정구조 분석을 위한 X-선 회절분석(XRD)은 1.5405Å의 Cu K $\alpha$  선으로 수행되는 D8 Advance(Bruker)장비를 이용하였다.
- [0038] 도 2는 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료의 X-선 회절분석 결과 그래프이다. 그래프에서 ■는 V $\beta$ H이고, □는 VH $_2$ 이고, ●는 VH $_{0.8}$ 이며, ○는 AlH $_4$ 이다.
- [0039] 수소 분위기에서 기계적 합금화를 실시한 결과, 주로 낮은 강도를 갖는 회절 피크가 관찰되었다. 이는 밀링 과정에서 바나듐-알루미늄 복합재료가 밀링 볼들의 사이에 위치하고 이들의 충격에 의해 밀링이 되기 때문인 것으로 여겨지며, 또한 수소 취성을 일으키는 바나듐이 기계적 합금화 과정에서 나노 크기로 감소했기 때문인 것으로 보인다.
- [0040] 그리고 수고 분위기에서 밀링을 실시한 결과, 바나듐의 수소화물과 알루미늄의 수소화물이 전체적으로 관찰되었다.
- [0041] 이러한 결과는 주사전자현미경을 통한 형태학 측정의 결과와 유사하다.
- [0042] 도 3은 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료의 표면형상을 나타내는 SEM 사진이다. (a)는 V-1wt.%Al의 사진이고, (b)는 V-5wt.%Al의 사진이다. 표면 형상을 관찰하기 위한 주사전자현미경(SEM)은 Qunanta-400(FEI)을 이용하였다.
- [0043] 도식된 것과 같이 수소 취성에 의해서 미세한 크기로 밀링된 바나듐이 고르게 분포하고 있으며, 바나듐 분말은 알루미늄 함량이 높을수록 응집되려는 경향을 보인다. 이는 알루미늄의 연성에 기인하는 것으로서, 알루미늄의 연성에 의해서 알루미늄은 밀링하기 어렵고 늘어나기 때문에 알루미늄 입자는 작아지지 않고 크기가 커지며, 바나듐 입자의 집합이 유발된다. 따라서 포함된 알루미늄의 양이 많을수록, 연성이 강화되어 바나듐 입자의 응집이 강하게 유발된다.
- [0044] 적절한 수소화 속도를 가질 것으로 여겨지는 V-1wt.%Al 복합재료는, 도 3(a)에 도식된 것과 같이, 구형의 입자

들이 분포된 형태를 나타내고 있으나, 전체적으로 입자들이 응집하려는 경향을 보인다.

- [0045] V-5wt.%Al 복합재료는, 도 3(b)에 도시된 것과 같이, 전체적으로 구형 입자들이 분포하고 있다. 그러나 V-1wt.%Al 복합재료와 달리, 알루미늄의 높은 연성에 의해서 넓은 타일 모양의 형상이 나타난다.
- [0046] 도 4는 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료에 대한 비표면적 분석 결과를 나타내는 그래프이다. 비표면적은 BET(Bruner-Emmett-Teller)분석을 통하여 분석하였으며, BEL sorp mini-II(BEL)장비를 이용하였다.
- [0047] 분석에 따르면, V-1wt.%Al 복합재료의 표면적, 세공용적 및 기공반경이  $9.14\text{m}^2/\text{g}$ ,  $3.923 \times 10^{-3}\text{cm}^3/\text{g}$  및  $5.385\text{nm}$ 이며, V-5wt.%Al 복합재료의 비표면적, 세공용적 및 기공반경이  $1.612\text{m}^2/\text{g}$ ,  $1.53 \times 10^{-3}\text{cm}^3/\text{g}$  및  $3.785\text{nm}$ 이다.
- [0048] V-1wt.%Al 복합재료가 높은 세공용적과 기공반경을 가지고, 표면적도 V-5wt.%Al 복합재료가 더 작다. 따라서 알루미늄을 더 많이 넣을수록 세공용적과 기공반경 및 표면적이 감소하는 것을 알 수 있다.
- [0049] 이상과 같은 결과에 따르면, 수소 가압 환경에서 기계적 합금법으로 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료는, 미세한 나노-사이즈의 입자들이 넓은 범위로 분포되어 큰 비표면적과 짧은 확산거리가 유도되기 때문에, 수소화 속도에 있어서 양(+)의 영향이 있을 것으로 기대된다.
- [0050] 그리고 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료의 수소화 거동을 확인하기 위해, STA 409PC Luxx(Netzsch)를 이용하여 TG/DSC(thermo gravimetric/ differential scanning calorimetry)분석을 실시하였다.
- [0051] TG분석 결과, V-1wt.%Al 복합재료는 탈수소화 양이  $-0.03\text{mg}$ 이고 무게의 감소가  $-0.04\%$ 이며, V-5wt.%Al 복합재료는 탈수소화 양이  $-0.09\text{mg}$ 이고 무게의 감소가  $0.62\%$ 이다.
- [0052] DSC분석 결과는 TG분석 결과와 유사하며, V-1wt.%Al 복합재료는  $-414.9\text{J/g}$ 의 엔탈피 값과  $580.4\text{K}$ 의 탈수소화 시작온도를 나타냈으며, V-5wt.%Al 복합재료는  $-296.5\text{J/g}$ 의 엔탈피 값과  $589.1\text{K}$ 의 탈수소화 시작온도를 나타냈다.
- [0053] 종래에 S.Orimo 등에 의해서 수행된  $\text{Mg}_2\text{Ni-H}$ 의 TG분석에 따르면, 합금 내에 수화물의 양이 많을수록 탈수소화 총량이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 이에 따르면 바나듐-알루미늄 복합재료에 대하여 다음의 결론을 얻을 수 있다.
- [0054] V-5wt.%Al 복합재료가 더 큰 탈수소화 양과 더 낮은 반응 엔탈피 값을 갖기 때문에, V-1wt.%Al 복합재료에 비하여 더 빠른 수소화 속도를 나타낸다.
- [0055] 이를 통해 알루미늄 첨가에 기인한 촉매 효과가 입자크기나 비표면적이 수소화 거동에 미치는 영향보다 지배적임을 알 수 있다.
- [0056] 도 5는 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료에 대한  $0.5\text{MPa}$ 의 수소 분위기에서의 다양한 온도에 따른 수소화 속도 분석 결과를 나타낸다. (a)는 V-1wt.%Al 복합재료에 대한 그래프이고, (b)는 V-5wt.%Al 복합재료에 대한 그래프이다.
- [0057] 이에 따르면, TG/DSC 분석에서 나타난 것과 같이, V-5wt.%Al 복합재료가 반응 속도와 수소 흡수량에서 뛰어난 특성을 나타내는 것으로 확인되었다.
- [0058] 두 복합재료의 최대 수소 흡수량은 V-1wt.%Al 복합재료가  $623\text{K}$ 에서  $0.52\text{wt.}\%$ 이고, V-5wt.%Al 복합재료가  $573\text{K}$ 에서  $0.64\text{wt.}\%$ 이다. 또한, V-5wt.%Al 복합재료는 실험을 시작한 첫 5분 내에 수소화가 모든 온도에서 일어난 반면에, V-1wt.%Al 복합재료는 수소화 거동 곡선의 기울기 값이 V-5wt.%Al 복합재료보다 작게 나타났다.
- [0059] 다만, V-1wt.%Al 복합재료는  $673\text{K}$ 에서는 V-5wt.%Al 복합재료와 거의 유사한 시간범위에서 수소화가 완결되는 반응 곡선을 보였다.
- [0060] 알루미늄 함량 증가에 따른 수소저장능력의 향상은 바나듐-알루미늄 복합재료 내에 다수의 알루미늄 수화물 상



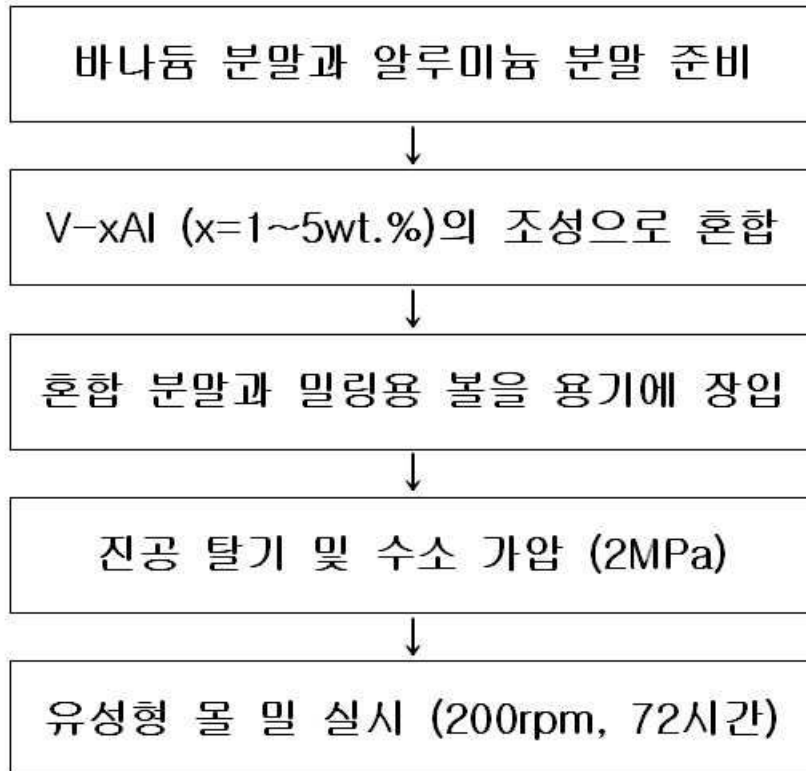
이 형성되었기 때문인 것으로 여겨진다. 화학적으로 안정한 수소화물을 대신하여 불안정한 수소화물이 생성됨으로써, 특정 압력조건 이하의 특정 온도에서 탈수소화가 쉽게 일어나게 된다.

- [0061] 바나듐-알루미늄 복합재료의 다양한 온도에 대한 탈수소화 속도 분석에 기초하면 다음의 결론을 도출할 수 있다.
- [0062] 흡수 거동과 다르게 방출 거동은 매우 짧은 시간에 완결되며, V-5wt.%Al 복합재료의 탈수소화 속도가 V-1wt.%Al 복합재료보다 빠르다. 또한, 273K~673K 온도 범위에서 흡수된 수소 전체가 완전히 분리되었다. 결국 바나듐-알루미늄 복합재료, 또는 AlH<sub>3</sub>상에 수소와 VH 결합물, 의 수소화 연관성은 전형적인 수소저장 합금 재료의 연관성보다 일반적으로 낮다.
- [0063] 도 6은 본 실시예에 따라 제조된 V-1wt.%Al 복합재료에 대한 623K에서의 수소 압력 변화에 따른 수소화 거동을 나타낸다.
- [0064] 전형적인 수소 저장 합금들은 플래토(plateau)영역에서 수소화되지 않은 α상과 수소화된 β상이 동시에 발견되지만, 본 실시예에 따라 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료는 플래토영역이 발견되지 않는다.
- [0065] 이는 본 실시예에 따라서 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료가 수소 압력에 의한 물리적 흡착 상만을 포함하고 있기 때문으로 여겨진다. 이러한 사실은 0.5MPa에서 최댓값으로 0.53wt% 수소가 흡착되고, 수소 압력이 낮아질수록 수소 흡착량이 감소하는 것에서도 확인할 수 있으며, 최종적으로 잔류 수소가 남지 않는다.
- [0066] 이상의 결과를 통해서 본 실시예에 따라서 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료는 빠른 수소화 거동과 낮은 압력에서의 탈수소화 거동이 가능한 것으로 생각된다. 따라서 고순도의 수소를 생성하기 위한 수소 멤브레인을 제조할 때, 본 발명에 따라서 제조된 바나듐-알루미늄 복합재료가 용해확산 거동에 있어서 유용한 재료가 될 것임을 알 수 있다.
- [0067] 이상 본 발명을 바람직한 실시예를 통하여 설명하였는데, 상술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과하며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변화가 가능함은 이 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 보호범위는 특정 실시예가 아니라 특허청구범위에 기재된 사항에 의해 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술적 사상도 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

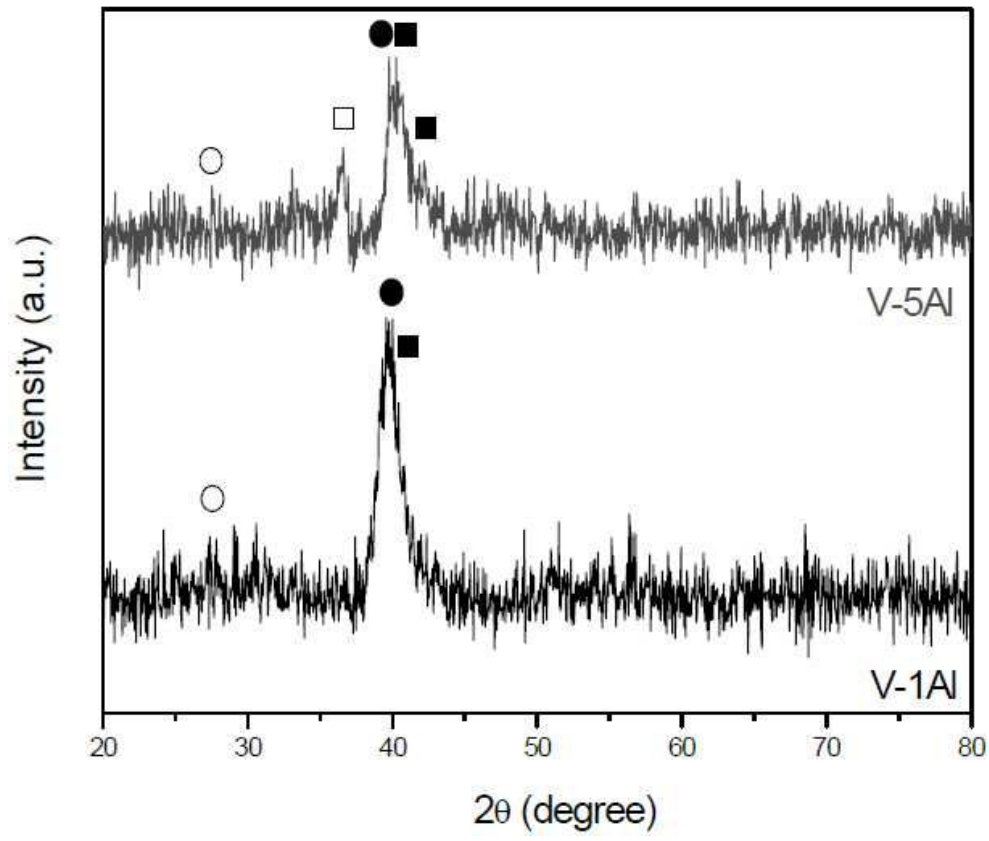


도면

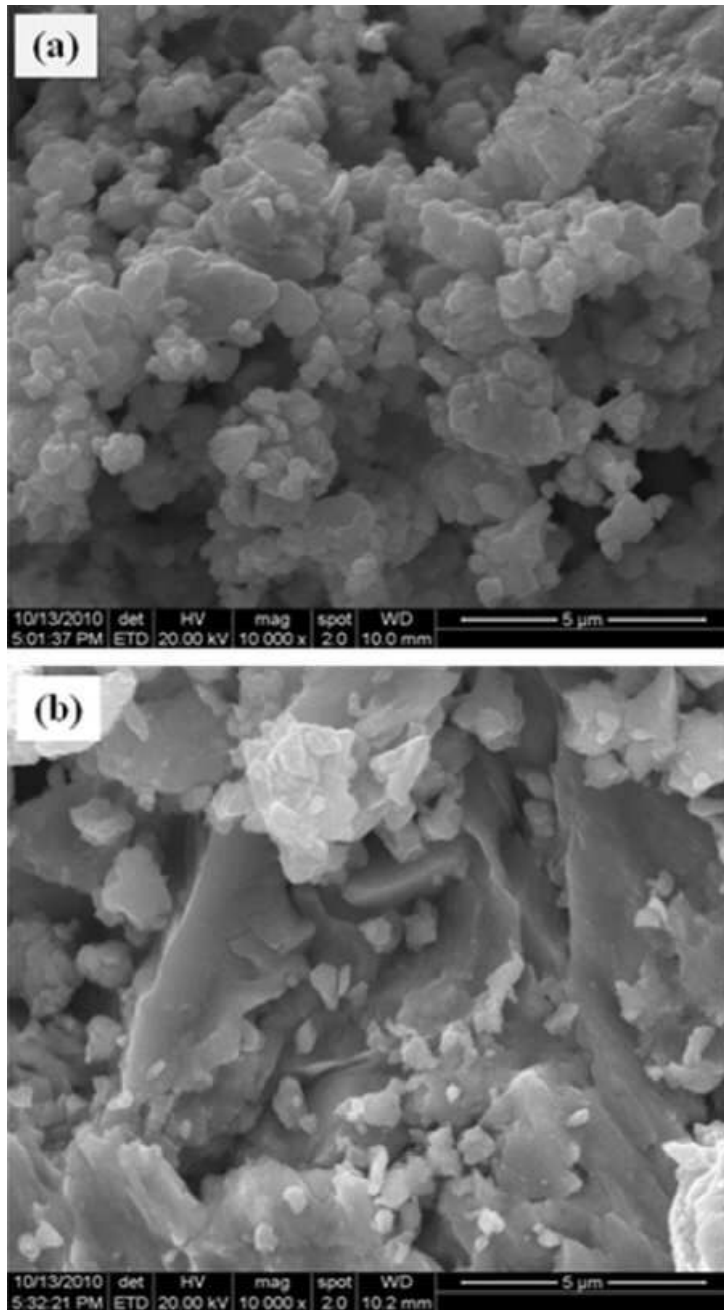
도면1



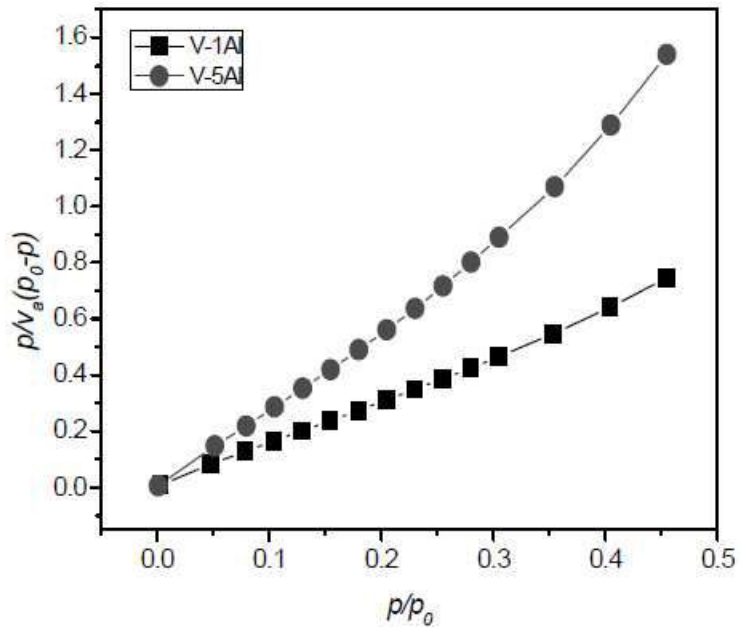
도면2



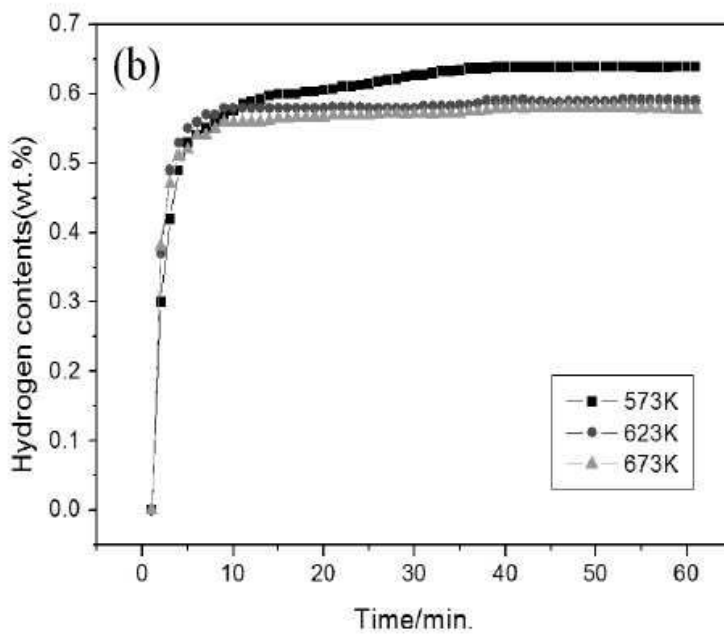
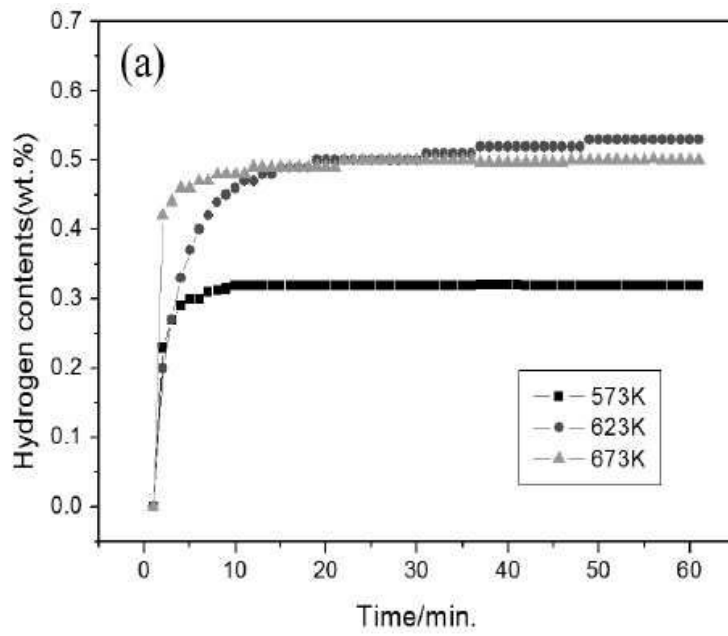
도면3



도면4



도면5



도면6

