Journal of the Korean Electrochemical Society
Vol. 12, No. 1, 2009, 47-53

AAO Template를 이용한 Au/TiO_2 나노섬유 제조 및 응용에 관한 연구

엄선미 · 박상선† · 김영덕† · 김용록†† · 설용건*

연세대학교 특성화대학원 수소연료전지 협동과정, †연세대학교 화학공학과, ††연세대학교 화학과

(2008년 11월 26일 접수 :2009년 2월 16일 채택)

A Study on the Preparation and Application of Au/TiO_2 Nanofiber from AAO Template

Seon-Mi Eom, Sang-Sun Park†, Young-Deok Kim†, Yong-Rok Kim††, and Yong-Gun Shul*

The Specialized Graduate School of Hydrogen & Fuel Cell, Yonsei University
†Department of Chemical Engineering, Yonsei University, 134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea
††Department of chemistry, College of Science, Yonsei University

(Recevied November 26. 2008 : Accepted February 16, 2009)

초 록

본 연구에서는 불순물이 포함된 Al 기판으로부터 두 단계의 양극산화 (anodization) 법에 의해 균일한 나노기공을 갖는 AAO(Anodic Aluminum Oxide)을 제조하였다. 생성된 AAO템플릿 위에 Deposition-Precipitation(DP)방법을 사용하여 수직으로 형성된 TiO_2 나노섬유에 Au를 첨가시켜 2 wt.% Au/TiO_2 나노섬유를 제조하였다. 두 단계의 양극산화를 통해 규칙적으로 배열된 AAO 기공 형상과 기판 위에 수직으로 배향된 TiO_2 나노섬유의 형상을 SEM을 통해 확인하였다. 또한 Au/TiO_2 나노섬유의 특성은 XRD와 Raman 분석을 통하여 TiO_2의 아나타제(anatase)와 루타일(rutile) 결정구조와 TiO_2 나노섬유에 담지된 Au의 존재를 확인하였다. 또한 일산화탄소(CO) 산화반응을 통해 AAO(Anodic Aluminum Oxide)기판 위에 형성된 TiO_2와 2 wt% Au/TiO_2 나노섬유의 광촉매적 활성을 비교하였다.

Abstract : In this study, highly ordered AAO (Anodic Aluminum Oxide) with nanopores was prepared by commercial grade Al substrate containing 3.5 wt.% impurities through two step anodizing method. Nanopores of prepared AAO arrays were used as templates for preparing nanofiber. TiO_2 was deposited by using DP (deposition-precipitation) method into AAO pores to grow nanofiber. Au particles were loaded on this TiO_2 nanofiber which was grown vertically. Prepared 2 wt.% Au/TiO_2 nanofiber was characterized by XRD, SEM and Raman. The crystal structure was analyzed by the XRD. SEM was used to observe pore size and pore wall thickness. Photocatalytic activity of co-oxidation was compared with TiO_2 and Au/TiO_2 nanofiber on AAO arrays.

Keywords : AAO template, Au/TiO_2 nanofiber, Photocatalytic decomposition.

1. 서 론

Anodic aluminum oxide(AAO) template은 양극산화에 의해 알루미늄 표면에 산화막을 형성하는 것으로써[1] 제조기술은 이미 1950년대 이전의 오랜 역사를 지니고 있다.[2] 알루미늄을 전기화학적 방법에 의해 AAO제조의 본격적인 연구가 시작된 것은 얼마 되지 않았으며, 이는 1995년 일본의 Masuda[3]그룹에 의해 보고되었다.

*E-mail: shulyg@yonsei.ac.kr

AAO 템플릿은 그 특성상 재현성과 신뢰성 면에서 다른 템플릿 기술보다 원천적인 장점이 있어서, 나노기술 분야에 있어서 AAO의 중요성이 강조되고 있으며, 나노 소자 응용면에서 빠른 진척을 보이고 있다.[4] AAO는 대게 초고순도(99.99% 또는 99.999%)의 알루미늄 sheet를 다양한 산성용액[3,5,6]하에서 양극 산화된 알루미늄 산화막이다. 또한 두 단계를 거치는 양극산화 과정은 자기조립으로 고도로 정렬된 (highly ordered) 나노기공을 가지는 AAO를 제조하는데 주로 쓰이고 있다.[5] AAO 템플릿을 이용해 제작하는 나노 구조 중 매우 다양한 응용범위를 가진 것이 나노섬유이다. 이 기술을 이용할 경우, AAO 템플릿의 구멍 크기를 조절함으로써 나노섬유의 굵기나 길이를 조절할 수 있다. 또한 AAO템플릿은 높은 온도와 유기용매에 안정적이다. 또한 최근 산업화가 진행되고 자동차 대수의 급격한 증가로 인해 대기오염의 문제가 증가하고 있으며, 특히 일산화탄소와 같은 유동성 폐기가스를 제거하기 위한 노력이 전세계적으로 이루어지고 있다.[7] 이러한 일산화탄소(CO, Carbon monoxide) 제거를 위한 방법들 중에서 촉매를 사용한 산화환원 반응을 대표적으로 꼽을 수 있다. 일반적으로 Haruta[8]등은 Al_2O_3, Co_3O_4, TiO_2나 Fe_2O_3과 같은 전이금속 산화물(trasition metal oxide) 담체에 초미립자로서 존재하는 금(Au)은 일산화탄소의 산화반응에 저온에서도 매우 우수한 활성을 보이며, 수분에 의해 그 활성이 증가하고, 금의 미립자는 산화반응 속도를 빠르게 증가시킨다고 보고 하였다. 또한 기존의 백금(Pt) 계열을 이용한 촉매보다 수소 산화반응에 대한 일산화탄소 산화반응의 선택도가 높다는 장점이 있어 주목받고 있다.[9]

본 연구에서는 기존의 AAO 템플릿 제조에 사용된 고순도의 알루미늄을 대신하여 시중에서 흔히 사용하고 있는 불순물이 첨가 된 상용 알루미늄을 기판으로 AAO 템플릿를 제조해 보고자 하였다. 상용 알루미늄을 기판으로 제조 된 AAO 템플릿을 사용하여, 여러 가지 반도체 물질 중 광촉매 분야에 널리 연구되고 있는 TiO_2를 이용하여 TiO_2 나노섬유를 만들었다. 이렇게 제조된 TiO_2 나노섬유에 대한 특성분석과 함께 광촉매로서의 응용가능성을 알아보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. AAO (anodic aluminum oxide) template 제조

본 연구에서는 시중에서 일반적으로 사용하는 상용 알루미늄(thickness 1 mm)을 15 mm × 40mm와 10mm × 35mm 두 종류의 크기로 절단하여 기판으로 사용하였다. Fig.1 은 AAO 템플릿을 제조 하기 위하여 본 연구에서 사용된 양극산화 반응기의 모식도를 나타내

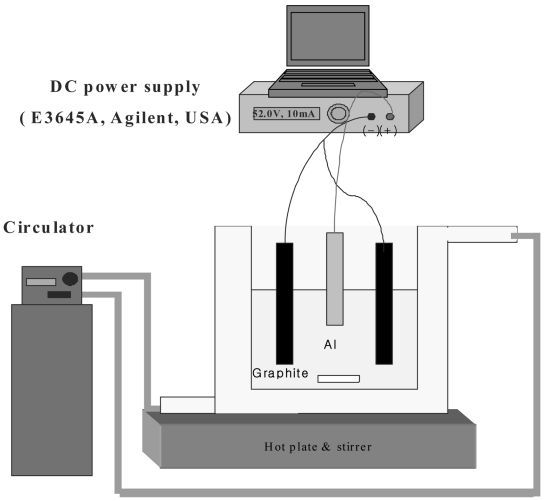

Fig. 1. Experiment Setup.

었다. 최상의 양극산화를 위하여 실험에 사용 할 알루미늄 표면의 유기물질과 먼지 등을 제거하기 위하여 아세톤(99.5%, Duksan pure chemical Co., Ltd)에 담근 후 초음파 세정기(ultra sonicator SD-B200H, Mujigae) 에서 15분간 세척 후, 다시 증류수에 세척하였다. 표면세척이 끝난 알루미늄을 튜브형 전기로 (Furnace) 에서 열처리 하였다. 이때 열처리는 고순도 아르곤(Ar, 99.999%) 분위기에서 450°C로 5시간 동안 진행하였다. 알루미늄의 전해연마(electropolishing) 를 위해 과염소산 ($HClO_4$, 62%, Duksan pure chemical Co., Ltd) 과 에탄올(C_2H_5OH, 95.8%, Duksan pure chemical Co., Ltd) 을 1 : 4의 부피비로 혼합시킨 전해질 용액을 사용하며, 전해연마시 온도는 5°C로 유지하면서 20 V의 정전압을 3분간 걸어 주었으며 상대 전극으로는 흑연(Carbon graphite)을 사용하였다. 전해연마가 끝난 후, 아세톤과 증류수로 여러 번 반복하여 세척하였다. 전해연마를 끝낸 알루미늄은 증류수로 충분히 세척한 후 바로 양극 산화하였다. 1차 양극산화는 정전압 방법을 이용하였으며, 전해질 용액으로는 0.3 M 옥살산 ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$, 99.5%, Yakuri pure chemicals Co., Ltd) 용액을 사용하였다. 알루미늄 양극산화의 변수에 따른 AAO 템플릿의 형성에 미치는 영향을 알아보기 위해 반응조건을 전압 30~60 V(DC), 반응 온도 5~25°C, 반응시간 8~24시간으로 변화시키며, AAO 템플릿의 형성을 관찰하였다. 그리고 보다 규칙적이고 균일한 크기의 AAO 템플릿을 제조하기 위해 1차 양극산화 과정으로 생성된 알루미나 막을 제거하였다. 이때 홈이 파인 알루미늄을 얻기 위해 5 wt.%의 인산(H_3PO_4)과 1.8 wt.%의 크롬산(CrO_3)을 혼합한 용액을 사용하여, 60°C의 온도에서 알루미나 층을 제거한 후 증류수로 충분히 세척하여,

1차 양극산화 과정과 동일한 조건으로 2차 양극산화 과정을 수행하였다. 2차 양극산화를 마친 후, AAO 기공의 크기를 증가시키기 위해 0.1M의 인산(H_3PO_4)용액을 사용하여 30°C의 온도에서 50분간 에칭을 수행하였으며 AAO 템플릿을 아세톤과 증류수로 충분히 세척하였다.

2.2. TiO_2 나노섬유의 제조 및 광촉매적 응용

미리 제작한 AAO 템플릿을 사용하여 상용 알루미늄 위에 수직으로 정렬된 TiO_2 나노섬유를 제작하고자 하였다. AAO 템플릿 기공 속에 Ti의 전구체인 티타늄 황산염 (Titanium sulfate)를 감압코팅 기술을 이용하여 함침 (Impregnation) 시켰으며, 이렇게 만들어진 TiO_2-AAO 템플릿을 80°C에서 건조시킨 후 이를 다시 450°C, 공기 분위기에서 6시간 동안 소성시킨다. 일정한 크기와 길이를 가지는 TiO_2 나노섬유를 형성하기 위해 NaOH용액을 사용하여 80°C의 온도에서 20분, 30분 그리고 40분간 다양한 에칭시간을 통해 알루미늄을 녹여서 제거하였다. 제조된 TiO_2나노섬유 위에 전구체로 사용된 Hydrogen tetrachloroaurate(III)hydrate(Kojima Chemicals Co., Ltd., Japan) 을 용해시켜 그 농도를 1mmol/L로 맞춘 뒤 Deposition precipitation method를 통해 수산화나트륨 용액을 적정하여 pH를 7로 일정하게 유지하였다. 그 후 200°C 에서 소성하였다. 그리고 AAO 템플릿 위에 수직으로 정렬된 TiO_2 나노섬유의 광촉매적 활성은 실험을 통해 확인하였다. 100 ppm 일산화탄소로 채워진 석영(quartz) 반응기 안에 수직으로 배양된 TiO_2 나노섬유를 넣어 UV영역($\lambda > 356$ nm)의 빛을 조사하였다. 제조된 TiO_2 나노섬유 광촉매에 의해 감소하는 일산화탄소의 농도는 Gas Chromato- graphy(영린 Acme6000 GC, TCD)와 Gas detector tube(GASTEC, japan)을 사용하여 확인하였다. 다양한 변수에서 제조된 AAO템플릿과 TiO_2 및 2 wt.% Au/TiO_2 나노섬유의 형상(morphology)을 확인하기 위해서 주사전자현미경(SEM)관찰과 X-선 회절분석(XRD) 을 통해 결정구조와 상(phase)을 분석하였다. 준비된 AAO 템플릿과 TiO_2 나노섬유 형상 및 길이(length)를 확인하기 위해 SEM을 이용하여 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 시중에서 판매되는 상용 알루미늄을 대상으로 AAO 템플릿의 제작 가능성을 알아보았다. 일반적인 AAO 템플릿의 경우 99.99%의 고순도 알루미늄을 사용하는 반면 본 연구에서 사용한 알루미늄은 일반적으로 다양한 분야에 사용 되어지는 것으로서 여러가지 불순물이 포함되어 있을 것이다. 따라서 실험을 수행하기 전, 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP)를 통하여 알루미늄의 성분 분석을 하였고, 이에 대한 결과를

Table 1. ICP analysis of the low grade aluminum substrate

Element	wt.%	Element	wt%
Al	96.537	V	0.009
Mg	2.6	Ni	0.006
Si	0.61	Cu	0.004
Fe	0.14	Pb	0.003
Sn	0.056	Zn	0.003
Mn	0.019	Cr	0.002
Ti	0.01	Zr	0.001

Table. 1에 나타내었다. ICP 분석 결과 실험에 사용한 시편에는 알루미늄(Al, 96.537%) 외에 마그네슘(Mg, 2.6%)과 규소(Si, 0.61%) 등 13종의 원소가 포함되어 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 불순물이 포함되어 있는 상용 알루미늄 판을 사용하여 양극산화 알루미나 템플릿을 제조하였다. 상용 알루미늄에 적합한 양극산화 조건을 알아내기 위하여 AAO 템플릿의 기공 형성에 영향을 줄 수 있는 몇 가지 변수들을 선정하고 이에 따른 영향들을 관찰하였다. 제조된 AAO 템플릿의 표면과 수직 배향을 주사 전자 현미경(SEM)을 통해 분석하였다.

Fig. 2(a)와 (b)는 40 V로 15°C에서 첫 번째 양극산화를 수행한 AAO의 표면과 단면을 (c)와 (d)는 두 단계 양극산화를 통해 규칙적으로 배열된 AAO템플릿의 기공 형상과 단면을 주사전자현미경(SEM) 을 통해 확인했다. 1단계 양극산화를 거쳐 2단계 전기화학적인 양극산화 과정을 수행함으로써 AAO 나노기공성 배향막을 제조하였다. Fig. 2(a)와 (b)는 첫 번째 양극산화 반응에 의해 생성된 나노기공으로 다소 정렬성이 떨어지고 기공층 내부가 불규칙하게 형성되었음을 확인하였다. Fig. 2(c)와 (d)는 두 단계의 양극산화 과정을 거친 것이다. 이러한 두 단계의 과정은 Fig. 2(a) 와 (b)의 나노기공보다 규칙적이고 균일한 크기의 AAO 템플릿을 제조하기 위해 실시하였다. 양극산화를 한 번 수행한 후의 알루미늄 표면은 반응 전의 평평한 판과는 달리 이주 미세한 홈들이 파이게 되는데, 이러한 홈들은 알루미늄이 산과 전기적 반응에 의해 용해되면서 생성된다. 즉 홈들이 생기는 원인은 전기적 반응에서 전압을 걸어 주면 전류가 한 곳으로 밀집되기 때문이다. 이렇게 전류가 밀집되면 그 부분의 온도가 다른 곳보다 상승하게 되고 상승된 온도에 의해 알루미늄의 용해작용이 빨라지게 된다. 용해된 알루미늄이온들은 전해질 용액 하에서 산소이온과 만나 산화막을 형성하게 된다. 홈들이 자리를 잡기 위해서는 일정한 외부 조건이 장시간 지속되어야 한다. 이 홈들은 2차 산화과정에서 걸어주는 전압에 의해 생기는 전류 밀도를 매우 빠르게 안정화시킴으로써 규칙적이고 수직적인 기공형성에 큰 영향을 준다. 첫번째 단계에서 형성된

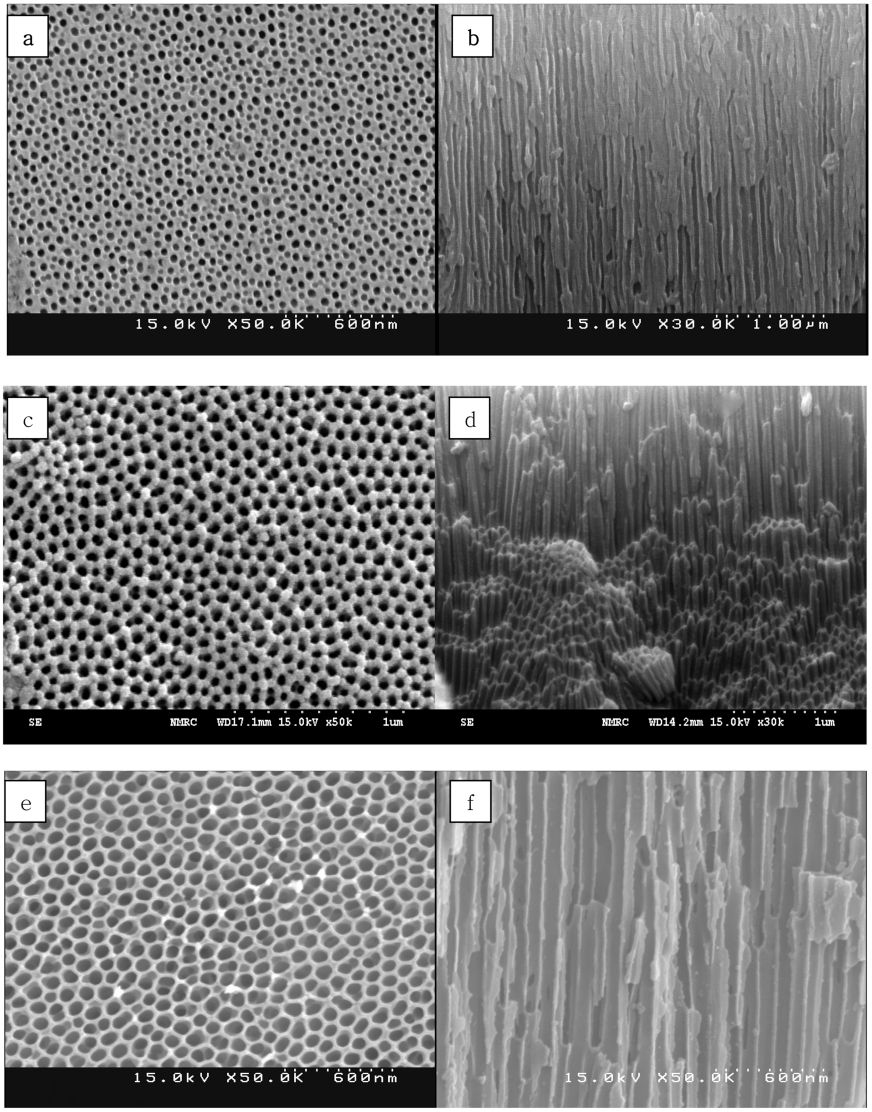

Fig. 2. SEM image of AAO surface; 1st anodic oxidation (a) top view, (b) cross-sectional view, 2nd anodic oxidation (c) top view, (d) cross-sectional view and pore widening (e) top view, (f) cross-sectional view.

AAO 템플릿을 충분히 세척한 후, 크롬산 (1.8 wt.%)과 인산 (5 wt.%) 혼합 용액 60°C에서 용해시킨 뒤 다시 황산 전해질 하에서 첫 번째 단계의 양극산화 과정과 동일한 조건으로 두 번째 단계의 양극산화 과정을 거쳐 형성된 것이다. 또한 두 단계의 양극산화 과정을 거치면서 템플릿 위에 형성된 나노 기공은 Fig. 2(a)와 (b)에 비해 우수한 수직방향의 정렬성과 균일한 치밀성을 갖는 것을 SEM을 통해서 확인하였다. 또한 Fig. 2(e)와 (f)는 두 단계의 양극산화 과정을 통해서 생성된 AAO나노기공의 크기를 증가시키기 위해 0.1 M의 인산(H_3PO_4)용액을 사용하여 30°C의 온도에서 50분간 에칭을 수행한 결과이다. 2차 양극산화 과정을 거친 Fig. 2(c)와 (d)는 50 nm크기의 기공과 60 nm의 기공 벽을 가지고 있으며, Fig. 2(e)와 (f)는 80 nm로 기공의 크기는 증가한 반면 기공 벽은 30nm의 두께로 감소한 것을 확인하였다.

표면적이 증가된 TiO_2 나노섬유를 제조하기 위해, 미리 제작한 AAO 템플릿을 사용하여 상온과 진공상태에서 일정시간 동안 나노기공 속에 TiO_2 전구체로 사용될 Titanium(IV) sulfate 침투시키는 감압코팅을 수행하였다. 이렇게 만들어진 TiO_2 나노섬유는 450°C에서 소성과정을

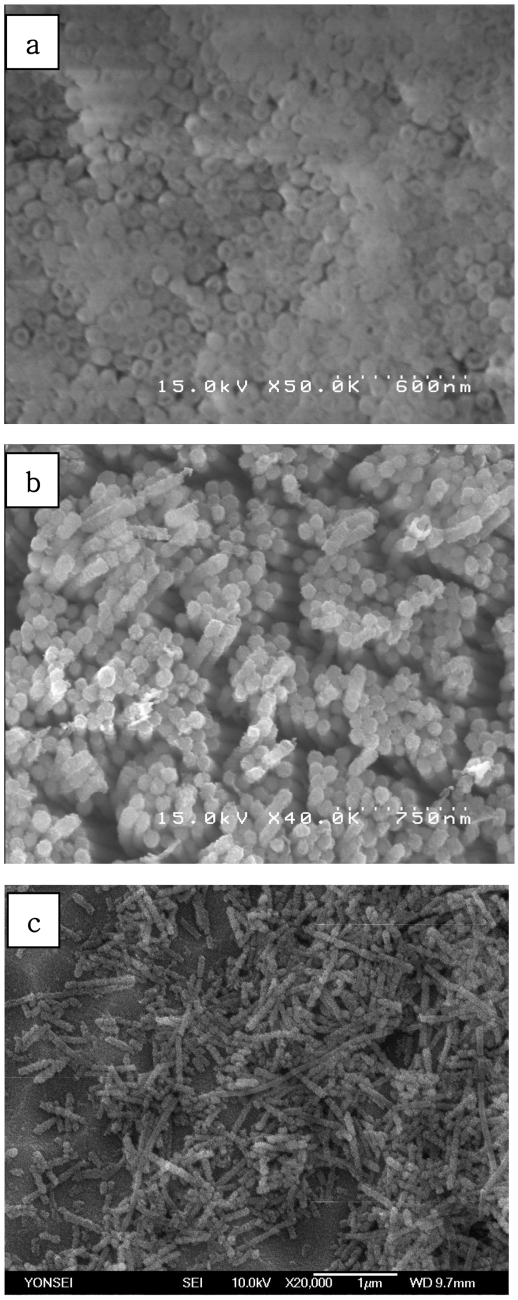

Fig. 3. SEM image of Etching of the alumina layer : 0.1 M NaOH solution at 80°C for (a) 20 min, (b) 30 min and (c) 40 min.

거친 후 AAO template 안에서 생성된 TiO_2 나노섬유를 밖으로 노출시키기 위해 80°C의 0.1 M NaOH 용액 하에서 TiO_2 나노섬유를 지지할 부분만 남겨둔 채 에칭(etching)하였다. 또한 TiO_2 나노섬유의 형성에 에칭 시간이 미치는 영향을 알아보기 위해서 20분, 30분 그리고 40분

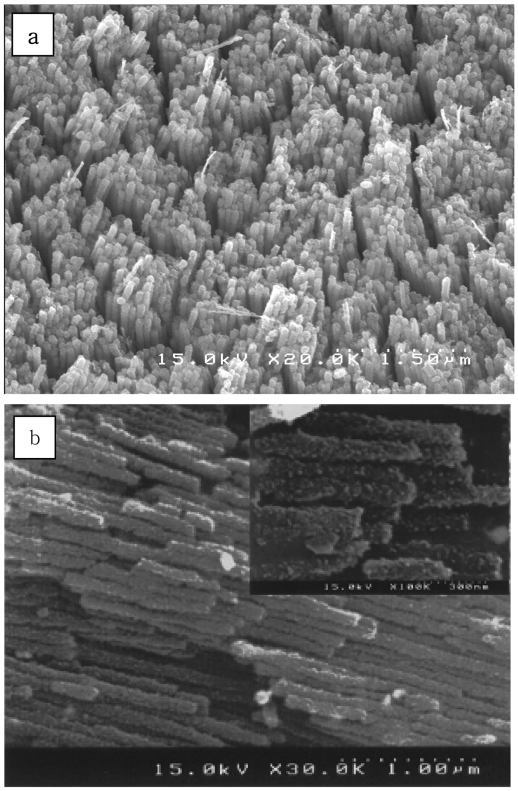

Fig. 4. SEM image of (a) TiO_2 nanowire and (b) Au/TiO_2 nanowire.

으로 반응 시간을 다양하게 변화시켰다. 그리고 에칭시간 변화에 의한 TiO_2 가 함침된 AAO 템플릿 표면의 변화를 Fig. 3.의 SEM을 통해 확인하였다.

Fig. 3(a)는 20분 동안 에칭을 수행한 후의 모습으로 AAO 템플릿의 에칭이 완전히 일어나지 않아 TiO_2 나노섬유가 형성되지 않았음을 알 수 있다. 에칭 반응 시간이 증가함에 따라 제대로 된 TiO_2 나노 섬유의 형상의 관찰 할 수 있다. 하지만 반응 시간이 40분 이상으로 증가하게 되면, 수직으로 정렬된 TiO_2 나노섬유의 지지체 역할을 하는 AAO템플릿이 완전히 에칭되어 나노섬유가 무너지게 된다.

Fig. 4는 AAO 템플릿 위에 소성된 TiO_2를 0.1 M NaOH 수용액을 80°C에서 30 min 동안 알루미늄 산화층을 제거하여 템플릿 위에 수직으로 정렬된 TiO_2 나노섬유를 형성시킨 뒤 이들을 주사전자현미경을 통해 관찰하였다. Fig. 4(a)은 저순도 알루미늄 판 위에 AAO 템플릿의 기공을 따르는 TiO_2 나노섬유가 형성되었음을 확인할 수 있었다. TiO_2 나노섬유들은 AAO 템플릿 위에 수직 방향으로 대부분 균일하게 서 있는 것을 알 수 있다. 몇 군데 부분적으로 비어있는 곳을 제외하고는 비교적 넓은 범위에

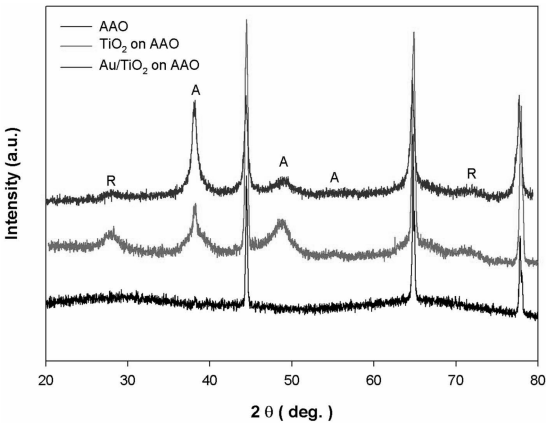

Fig. 5. XRD patterns of TiO_2 and Au/TiO_2.

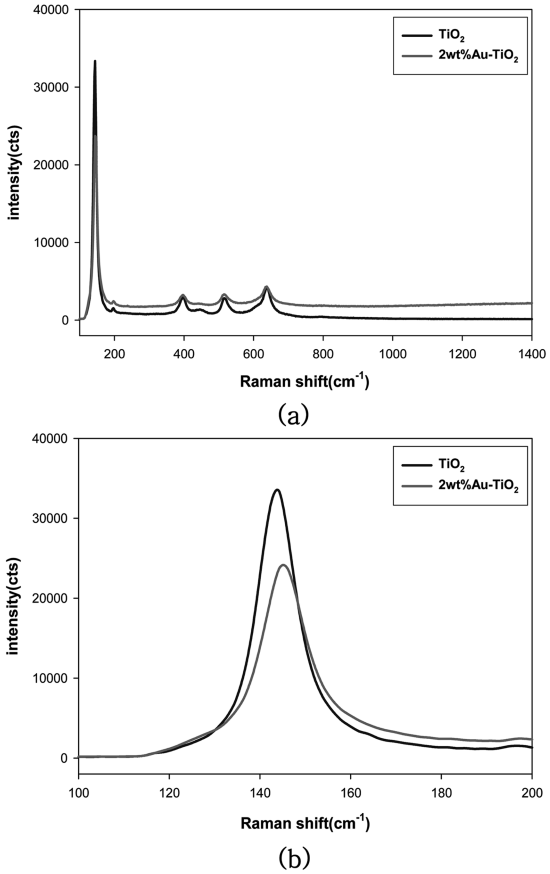

Fig. 6. Raman spectra of TiO_2 and Au/TiO_2.

걸쳐 TiO_2 나노섬유 균일하게 성장하였음을 확인하였다.

낮은 온도에TiO_2 의 CO 산화반응에 대한 활성을 높여주기 위해 DP (Deposition-precipition) 방법을 사용하여 AAO 템플릿 위에 형성된 TiO_2 나노섬유에 Au를 첨가시켜 2 wt%Au/TiO_2 나노섬유를 제조하였다. Fig. 4(b)는 이러한 방법에 의해 제조한 2wt%Au/TiO_2 나노섬유의 표면을 주사전자현미경을 통하여 분석한 것으로써 TiO_2 나노섬유 표면에 Au가 담지 해 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는TiO_2 나노섬유의 XRD 결과이며, Fig. 5에 따르면 AAO 템플릿에 의해 발현하는 가장 높은 3개 peak을 제외하고, 아나타제 구조와 루타일 구조 TiO_2 의 peak가 나타나는 것을 확인할 수 있으며 이를 통해 AAO 템플릿 위에 TiO_2 나노섬유가 정상적으로 성장되었음을 알 수 있다. Au가 담지 된 2wt%Au/TiO_2의 경우는 XRD분석을 통해 Au의 peak가 보이지 않음을 확인할 수 있었는데, 이것은 Au의 입자가 3nm이하로 고분산되어 XRD 분석으로는 검출이 불가능한 것으로 판단 되어진다.

따라서, 복합촉매상에서 금(Au)의 도입에 의한 티타니아 구조와 그 영향을 알고자 Raman spectra를 측정하였다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 TiO_2상에서 아나타제(anatase) 상은 145, 197, 395, 510, 635 cm^{-1} 에서 보였으며 루타일 (rutile) 상에서는 444 cm^{-1} 에서 확인하였다. 2 wt.% Au를 담지하여 200°C에서 열처리한 결과 루타일 상은 사라졌으며 TiO_2의 주피크는 145 cm^{-1}에서 extension vibration이 일어남과 그 intensity가 줄어들었다. 이는 gold nanoparticle 이 형성되었음을 의미한다고 보고된다.[10]

일산화탄소 산화반응에 대한 활성을 높여 주기 위해 DP(Deposition precipition)법에 의해 만들어진 Au/TiO_2 나노섬유를 사용하여 일산화탄소 제거를 위한 광촉매 반응을 시행하였다. 실험에 사용된 광촉매 반응기의 광원은 365 nm의 주파장대를 갖는 UV-lamp를 사용하였고, 반응기에서 약 10 cm 떨어진 반응기의 상부에서 충분한 광조사를 받도록 설계하였으며, 반응은 상온에서 진행하였다. 반응의 운반 및 희석 기체로는 산소(O_2 , Oxygen)를 사용하였으며 반응기체의 초기농도 조절은 이동상 기체의 유량을 변화시킴으로써 조절하였다. 반응기 내부로 주입된 일산화탄소는 기체 펌프에 의해서 3L/min의 유속으로 순환하게 하였다. 최종적으로 반응물의 농도 변화는 Gas Chromatography와 Gas detector tube를 사용하여 측정하였다. 일반적으로 광촉매 반응은 다음과 같이 Langmuir-Hinshelwood식에 의해 표시한다.[11-13]

$$Rate = \frac{d[C]}{dt} = \frac{k[C]}{1 + KA[C]} \quad (1)$$

이때, k는 속도 상수, KA는 흡착평형상수, [C]는 반응물의 농도를 의미한다. 사용된 일산화탄소의 농도는 300 ppm 으로 이는 매우 낮은 농도의 범위이기 때문에, 위의 (1)식에서 분모항을 제거하여 1차식으로 가정하면 일산화탄소의 광촉매 반응속도식은 아래와 같이 유도될 수 있다.

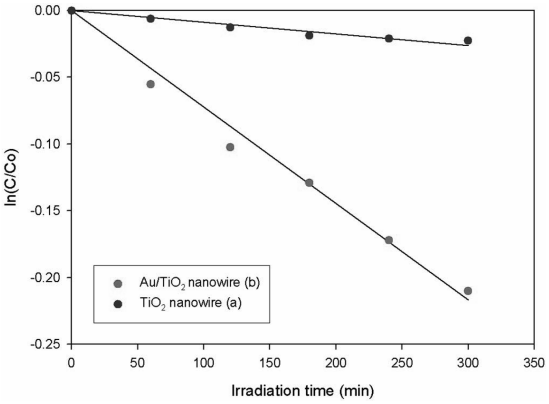

Fig. 7. The Pseudo first order kinetics of photo-catalytic decomposition of carbon monoxide.

$$Rate = \frac{d[C]}{dt} = -k[C] \quad (2)$$

이(식2)를 적분하면,

$$ln\frac{[C]}{[C_o]} = -kt \quad (3)$$

따라서 위의 식에 근거하여 일산화탄소의 초기농도 300 ppm 하에서 TiO_2 나노섬유와 제조되어진 Au/TiO_2 나노섬유의 광분해속도를 아래 Fig. 7 에서 나타내었다. 초기의 반응속도가 위의 1차 식에 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7의 결과를 통해 Au첨가로 인해 상온에서의 일산화탄소 제거 성능이 TiO_2 나노섬유 단일 물질일 때보다 약 20% 증가 하였음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서, 고순도의 알루미늄을 대신하여 시중에서 흔히 사용하고 있는 불순물이 첨가 된 상용 알루미늄 기판으로 한 단계의 과정을 거친 것 보다 두단계의 양극산화 과정에 의해 제조된 AAO 템플릿의 나노 기공이 균일하게 정렬된 것을 주사전자현미경 분석을 통해서 확인할 수 있었다. AAO 템플릿 위에 수직으로 정렬된 TiO_2 나노섬유와 DP(Deposition-precipitation)법에 의해 Au를 첨가시킨 2 wt.%Au/TiO_2 나노섬유를 제조하였으며, 주사전자현미경을 통해서 Au가 균일하게 담지 되어있음을 알 수 있었다. 또한 TiO_2 단일 나노섬유에 비해 2 wt.%Au/TiO_2 나노섬유가 일산화탄소의 산화반응에 있어서도 높은 효율을 보임으로써 광촉매적 활성 성능이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부, 교육인적자원부 BK21 과제 (2007-8-0019) 그리고 지식경제부의 지원으로 수행한 수소연료전지 특성화대학원 사업의 연구결과이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. X. Wang and G. Han, Microelectronic Engineering 66 (2003) 166.
2. G. D. Bengough and J. M. Stuat, Brit. Patent 223, 994 (1923).
3. H. Masuda and K. Fukuda, *Science*, 268 (1995) 1466.
4. P. C. Searson and T. P. Morffat, Crit. Rev, Surf. Chem., 3 (1994) 171.
5. J. H. Yuan, F. Y. He, D. C. Sun, and X. H. Xia, Chem. Mater. 16 (2004) 1841.
6. H. Masuda, F. Hasegawa, and S. Ono, J. Electrochem. Soc. 144 (1997) 127.
7. A. Cru, and A. Frennet, Elsevier, Amsterdam, 30 (1987) 395.
8. M. Ueda and M. Haruta, Appl. Catal. B 18 (1998) 115.
9. J. B Goodenough *et. al.*, J. Electroanal. Chem., 240 133 (1988).
10. K. Mallick and M. S. Scurrell / Applied Catalysis A: General 253 (2003) 527-536.
11. K. Porkodi, K. Vasanth Kumar, Applied Catalysis B: Environmental 79 (2008) 108-109.
12. V. Iliev, D. Tomova, L. Bilyarska, A. Eliyas, and L. Petrov, Appl. Catal. B:Environ. 63 (2006) 266.
13. H. -J. Kim, M. -K. Han, S. -M. Lee, D. -K. Hwang, and Y. -G. Shul, Top. Catal., 47 (2008) 109.