

결과보고서

1. 연구 목표 및 내용

지구 온난화 및 화석 연료 고갈 문제로 인해 친환경적인 대체 에너지를 찾고자 하는 시도는 활발히 일어나고 있다. 제시되는 여러 방법 중에서도 수소 에너지는 각광받는 대안이다. 활발한 수소 에너지 이용을 위해서 경제적인 수소 생산 기술은 필수적이며, Photoelectrochemical Water Splitting은 태양광으로부터 물 분해를 통해 수소를 생산하는 획기적인 방식으로 주목받고 있다. 여러 금속 산화물이 이러한 광전극에서의 환원을 통한 수소 생산에 이용되고 있지만 유연한 PEC 셀에 대한 연구는 전무한 수준이다. 본 연구에서 우리는 Bismuth vanadate를 증착한 유연 광수전해 셀 제작에 대한 방법을 개발하고자 한다. 또한, 제작한 BiVO₄ 광양극을 이용해 물 분해를 통한 수소를 생산하는 것을 목표로 한다.

2. 연구 방법

Hot Plate와 532nm Laser scanner를 이용해 유연한 ITO-PEN 기판 위에 Bismuth vanadate 증착에 성공하였다. 개발한 방법에 대한 자세한 내용은 '3.연구 결과'에 명시하였다. 아래 기술한 방법을 통해 Bismuth Vanadate가 성공적으로 증착되었음을 확인하였다.

주사전자현미경(SEM) 촬영을 통해 Morphology를 살펴보았다. 기존 FTO glass 위에 증착시킨 Bismuth Vanadate 그리고 Ethylene glycol 층 아래에서 Laser scanning 과정을 거친 샘플과의 비교를 통해 Bismuth Vanadate에서 나타나는 가지 형태의 나노 구조 그리고 Laser scanning에 의해 나타나는 구조 뭉침 현상까지 확인할 수 있었다.

X선 회절 분석(XRD) 분석 결과 제작한 유연 광양극에서 Bismuth Vanadate 및 ITO peak가 동일하게 나타남을 확인하였다. 다만, FTO glass 위에 기존의 방법으로 합성하였을 때에 비해 전반적인 Peak intensity가 낮게 나타나는 특징을 보였는데 이는 낮은 결정성을 의미한다.

3전극 시스템(CE : Platinum electrode, RE : Ag/AgCl(3M KCl)) 내에서 전기화학 측정을 진행하였다. 선형주사전위법(Linear Sweep Voltammetry, LSV)을 통해 -0.6V ~ +1.4V까지 전압에 대한 (광)전류를 측정하였고, 샘플을 통해 생산되는 물 산화 전류를 측정하였다.

3. 연구 결과

솔-겔(Sol-gel) 공법에 적합한 두 용액을 개발하였다. 이를 각각 용액1, 용액2로 명명하였다. 용액1은 Acetic acid를 용매로 하여 용질 Bismuth(III) nitrate pentahydrate를 0.5M의 농도(농도는 가변적이다)로 녹여 제작하였고, 용액2는 Dimethyl sulfoxide(DMSO)에 VO(acac)₂를 0.5M의 농도로 녹인 형태이다. 이후 두 용액을 동일한 비율로 혼합한 뒤 ITO-PEN 기판에 도포하였고, Hot Plate 위에서의 점진적인 Annealing 과정(65°C ~ 90°C, 10°C 단위로 단계적 가열)을 거쳐 Bismuth Vanadate의 전구체로 변환하였다. 최종적으로, 532nm Continuous Laser에 Top focusing method로 Laser scanning을 거쳤고, Laser crystallization 과정을 통해 Bismuth Vanadate를 유연한 플라스틱 기판인 ITO-PEN 위에 증착시키는데 성공하였다.

각 용액을 0.3M의 농도로 제작한 유연 광수전해 셀에서 최대 단위면적 당 0.4mA의 물 산화 전류를 생산하였다. 용액의 농도에 따라 0.1M, 0.3M, 0.5M 세 가지 샘플을 제작하여 물 분해를 통한 수소 생산에 성공하였다. 0.1M, 0.3M 용액을 사용한 샘플의 경우 42mW에서 Laser scanning(Laser crystallization)을 진행하였고, 0.5M 용액을 사용한 샘플은 해당 출력에서 결정화가 일어나지 않아 48mW에서 Laser scanning(Laser crystallization)을 진행하였다. 농도에 비례하여 더 큰 출력의 Laser scanning 과정이 필요해 보인다. Bismuth vanadate에서 공통적으로 나타나듯이 Back illumination에서 광원과 증착 면이 마주보는 Front illumination 보다 공통적으로 더 많은 광전류를 생산하였다.

본 연구를 통해 유연한 ITO-PEN 기판 위에 Bismuth vanadate를 증착한 형태의 PEC 셀을 제작하였고, 방법을 개발하였다. 유연한 기판(ITO-PEN)의 경우 플라스틱으로 기존의 증착과정에서 필요한 450°C라는 고온의 Annealing 과정을 거치는 것이 불가능하여 어려움이 있었으나 Laser crystallization 과정을 통해 저온 환경에서 상대적으로 짧은 시간에 Bismuth vanadate를 결정화 시킬 수 있었다는 점에서 큰 의미를 가진다.

4. 기대 효과

광전기화학적 물 분해를 위한 광전극(광양극/광음극) 제작 연구는 많은 연구자들에 의해 활발히 진행되고 있으나 유연 광전극 제작에 대한 연구는 극히 찾아보기 어렵다. 특히, 광양극 재료로써 가장 촉망받는 재료인 BiVO₄를 이용한 유연 광양극 제작은 본 연구가 세계 최초이다. 본 연구에서 제작한 BiVO₄ 유연 광양극의 효율은 비유연 광양극과 비교하면 그다지 높지 않았으나, 최초라는 점에서 높은 평가를 받을만하다. 따라서 우리 연구팀은 저명한 국제학술지 게재를 목표로 본 연구를 계속 진행할 예정이다. 이를 통해 참여 학부생의 연구 역량을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.