

에너지 절약 스마트윈도우용 전기변색 재료의 개발

조봉희*, 김영호*

*수원대학교 전기공학과, 수원대학교 전자재료공학과

The Development of Electrochromic Materials for Energy Saving Smart Windows.

Bong-Hee, Cho and Young-Ho, Kim

Dep't. of Electrical Eng. Dep't. of Electronic Materials Eng., The Univ. of Suwon

Abstract

The electrochromism of WO_3 and V_2O_5 thin films have been studied. The WO_3 thin film is found to be cathodic coloration material and the coloration efficiency of this film is close to 60 [cm^2/C] in the near infrared region. The V_2O_5 thin film exhibits cathodic coloration in the near infrared and anodic coloration in the blue and near UV region. The cathodic coloration in the 450~1100 nm wavelength range is relatively weak with a maximum coloration efficiency of 6 [cm^2/C].

1. 서론

전기변색(electrochromism)이란 전압을 인가하였을 때 전계방향에 의해 가역적으로 색이 변화하는 현상⁽¹⁾이며, 전기변색 재료의 전기화학적 산화·환원 반응⁽²⁾에 의해서 일어난다. 이러한 특성을 이용하여 평판표시소자, 태양광 투과 제어소자 및 메모리 소자에 응용이 가능하기 때문에 지난 20여년동안 전기변색 기술에 대한 많은 업적들이 광범위하게 연구되어 왔다⁽³⁾.

최근에는 태양에너지를 가변하여 조절할 수 있는 전기변색 특성을 이용하여 건축물, 자동차 산업 및 항공산업 분야에서 무한한 응용 잠재력을 갖고 있는 전기변색 스마트 윈도우⁽⁴⁾(smart windows)에 대한 연구와 개발이 집중되고 있다.

전기변색 기술이 에너지 절약 분야에서의 응용 가능성은 전기변색 재료들이 박막기술의 발달과 더불어 비교적 저렴하게 대면적으로 제작이 가능하며 건축물에 사용될 경우 빛과 에너지를 임의적으로 제어할 수 있다는 사실이다. 그러나 전기변색 소자

의 성능은 전기변색 재료의 박막제조 조건에 따라 좌우되는 것으로 알려져 있다. 따라서 전기변색 재료의 개발 및 최적 박막제조 조건의 정립이 필요하다.

본 연구에서는 가장 우수한 전기변색 특성을 나타내는 것으로 알려진 WO_3 박막과 전기변색 소자의 대향전극으로 적합한 특성을 지니고 있는 V_2O_5 박막⁽⁵⁾을 제조하여 광 변조 특성을 측정하였다. 각 박막의 광 변조 특성을 분석하여 전기변색 소자를 구성하는데 필요한 최적의 박막 제조 조건을 확립하고, 에너지 절약 스마트 윈도우에서의 응용 가능성을 타진하고자 한다.

2. 실험 방법

WO_3 박막과 V_2O_5 박막은 5N 순도를 갖는 powder를 e-beam (Edward Auto 306) evaporation 증착 방법과 thermal evaporation 증착방법을 사용하여 증착하였다.

기판으로 ITO(Indium-Tin Oxide) glass와 두께를 측정하기 위해 slide glass, Si wafer를 동시에 loading 하였으며, 박막의 두께는 약 1000~5000Å 범위 내에서 증착하였다. 증착된 박막의 두께는 Ellipsometer (model : L-116B HP85B, $\lambda=6328\text{\AA}$, incidence angle=70, Gaetner)와 α -step(model : α -200, Tenco)을 사용하여 측정하였다. 기판은도에 따라 증착된 WO_3 박막과 V_2O_5 박막의 결정성 및 방향성을 조사하기 위하여 XRD 분석을 수행하였다. 광 변조 및 전기변색 특성은 ITO glass/ WO_3 박막, V_2O_5 박막/ $LiClO_4$ -propylen carbonate/ 백금 대향전극 구조를 갖는 전기변색 소자를 구성한다음 double beam spectrophotometer (UV-160A, SIMADZU) cell 내부에 장착하였다. 전기변색 소자

의 백금 대향전극과 ITO 투명전극사이에 적류전압을 가역적으로 인가하여 정상상태에 도달한 후 coulomb meter (model : HF-201, HOKUTO DENKO)를 사용하여 주입된 charge양에 따른 전파장영역(200~1100nm)에서의 투과율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

진공증착으로 제작된 결정질과 비정질 WO₃ 박막 및 V₂O₅ 박막의 결정성을 XRD로 분석하였으며 charge 주입양에 따른 전기변색 특성과 광 특성을 조사하였다.

그림 1은 기판온도에 따라 증착한 WO₃ 박막과 V₂O₅ 박막의 XRD 분석결과이다. WO₃ 박막은 기판온도를 400°C에서 증착한 박막만이 결정화되어 있음을 알 수 있었고 나머지 모든 박막들은 비정질 상태로 밝혀졌다.

또한 V₂O₅ 박막은 기판온도 150°C 전후에서 결정화가 시작되며 150°C 이상에서는 (010) 방향이 우세한 V₂O₅ 박막이 형성됨을 알 수 있었다.

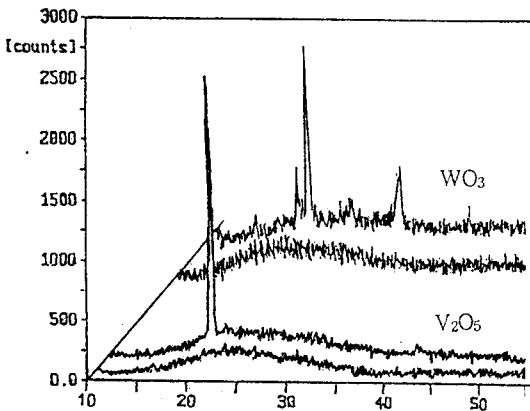


Fig 1. X-ray diffraction peaks of WO₃ and V₂O₅ thin films by substrate temperatures.

그림 2는 비정질 WO₃ 박막의 charge 주입양에 따른 전파장영역에서 coloration시 투과율 변화를 나타낸 것이다. Charge 주입양이 증가함에 따라 박막이 colorless에서 blue로 색이 변하였으며 가시광선 영역보다 적외선영역에서 보다 급격한 감소를 보였다. 또한 응답시간을 고려한다면 charge 주입양을 20 [mC/cm²]와 비교하였을때 전파장에서 큰 차이가 없고 투과율 변화량이 우수한 10 [mC/cm²] 정도만을 주입하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

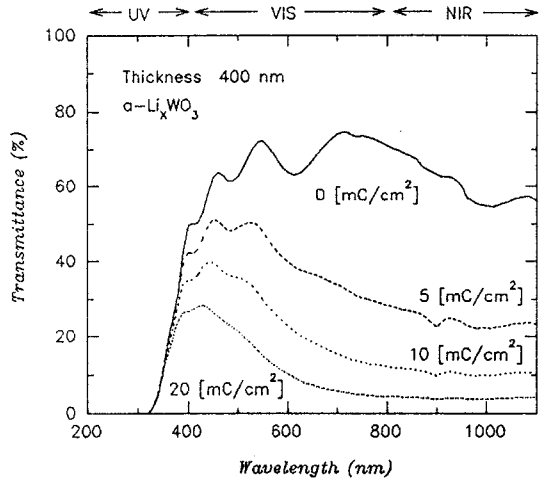


Fig 2. The spectral transmittance of α -Li_xWO₃ thin film as a function of lithium concentrations.

그림 3은 결정질 WO₃ 박막의 charge 주입양에 따른 전파장영역에서 coloration시 투과율 감소를 나타낸 것으로 초기의 투과율이 비정질 WO₃ 박막에 비해 20% 정도 낮고 charge 주입양 또한 적게 나타났다. 이는 결정화로 인하여 보다 dense한 박막이 형성되어 charge의 주입과 추출을 제한하는 것으로 생각된다.

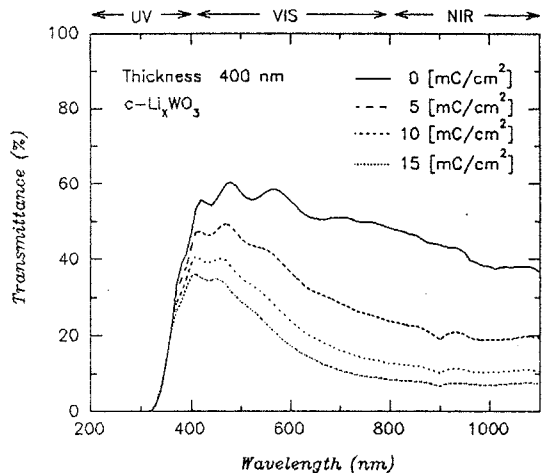


Fig 3. The spectral transmittance of c -Li_xWO₃ thin film as a function of lithium concentrations.

그림 4와 5는 charge 주입양에 따른 비정질 V₂O₅ 박막과 결정질 V₂O₅ 박막의 coloration시 투과율을 나타낸 것이다. 비정질 V₂O₅ 박막에 비해 red와 nearinfrared 영역 부근에서의 투과율의 변화량이 적어 coloration시 yellow에서 연한 brown으로 색이 변하였고 결정질 박막은 yellow에서 연한 blue로 변하였으며, 비정질과 결정질 박막 모두 주입양에 따른 투과율 변화량이 WO₃

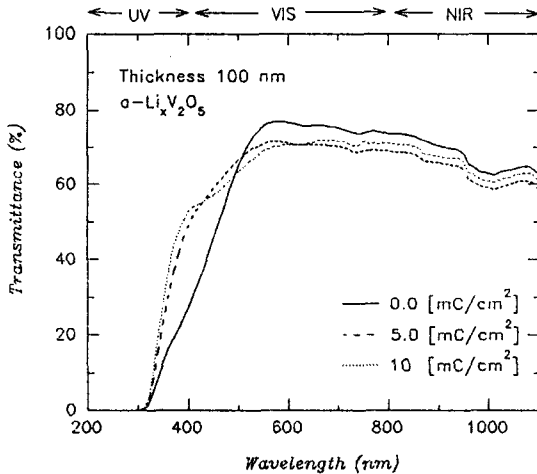


Fig 4. The spectral transmittance of $a\text{-Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$ thin films as a function of lithium concentrations.

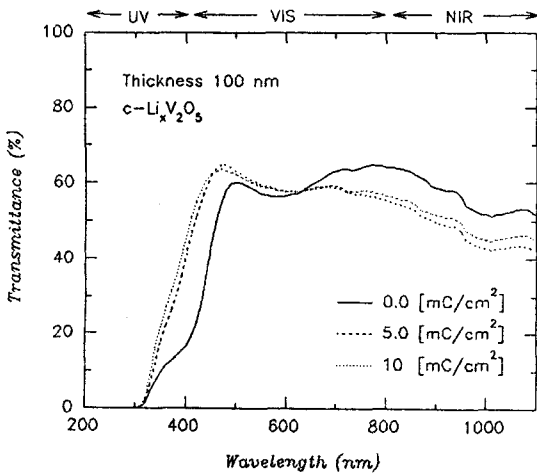


Fig 5. The spectral transmittance of $c\text{-Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$ thin films as a function of lithium concentrations.

박막에 비해 상대적으로 매우 작기 때문에 WO_3 박막의 대향전극으로서 적합한 특성을 지니고 있음을 알 수 있다. 또한 absorption edge가 charge 주입량이 증가함에 따라 단파장 영역으로 이동하여 WO_3 박막과는 다른 특성을 나타냈으며, 결정질 박막의 absorption edge는 비정질 박막보다 급격하게 나타났다. 이는 V_2O_5 박막에 Li^+ 이온이 주입될 때 변화되는 것으로 밝혀졌다.

그림 6은 비정질과 결정질 WO_3 박막 및 V_2O_5 박막의 coloration efficiency를 나타낸 것으로 WO_3 박막은 cathodic coloration 물질로 결정질보다 비정질 박막의 coloration efficiency가 우수함을 알 수 있었다. V_2O_5 박막은 500 nm를 중심으로 anodic coloration과 cathodic coloration이 동시에 존재하는 것으로 밝혀졌으며, 또한 광변조량이 매우 적게 나타났다.

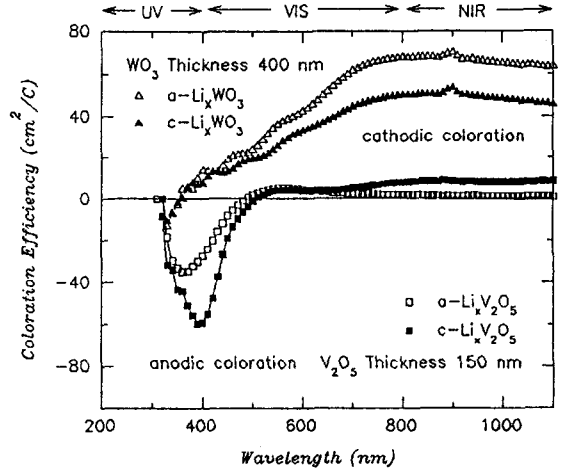


Fig 6. The spectral coloration efficiency of $a\text{-Li}_x\text{WO}_3$, $c\text{-Li}_x\text{WO}_3$ and $a\text{-Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$, $c\text{-Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$ thin films at charge injection of 15 mC/cm^2 .

4. 결론

WO_3 박막은 Li^+ 이온주입에 의해 cathodic coloration 현상이 일어났으며 coloration efficiency가 $60 \text{ [cm}^2/\text{C}]$ 로 광 투과율 변화가 매우 크게 나타났다. V_2O_5 박막은 근적외선 영역에서 cathodic coloration이, blue와 near UV 부근에서 anodic coloration이 나타났다. 또한 coloration efficiency는 $\sim 10 \text{ [cm}^2/\text{C}]$ 로 광 투과율 변화가 매우 적게 나타났다. 따라서 WO_3 박막의 대향전극으로 광 변조현상이 매우 적은 V_2O_5 박막을 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구는 93년도 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음.

참고 문헌

- (1) Wei, Guang, Ph. D. Tufts University, 1991 "Lithium cobalt oxide thin films : Preparation and characterization for electrochromic applications"
- (2) J. Nagai, T. Kamimori and M. Mizuhashi, "Transmissive Electrochromic Device." Sol. Energy Mater. 14, 175~184 (1986)
- (3) S. Kawate et al, US Patent 4902109, (1990)
- (4) M. A. Habib et al, J. Appl. Electrochem. 21, 203 (1991)
- (5) S. Sato and Y. Seino: Vacuum 24 (1981) 36