

리튬 및 프로톤 전도성 고분자 전해질을 사용하여 제작한 Electrochromic 창의 전기 및 광학적 특성

박성용, 이철환, 김형선, 조원일, 조병원, 윤경석, *안춘호, **우경근

한국과학기술연구원 화공부, *(주)실트론, **(주)삼성코닝

Electrical and Optical Properties of Electrochromic Window with Both Lithium and Proton Conducting Polymer Electrolytic Media

S. Y. Park, C. W. Yi, H. S. Kim, W. I. Cho, B. W. Cho, K. S. Yun,
C. H. An*, and K. K. Woo**

Division of Chemical Engineering, Korea Institute of Science and Technology

*Siltron, Inc. **Samsung Corning Co., Ltd

Abstract

An electrochromic(EC) cell was constructed using WO_3 as a electrochromic material and NiO as a counter electrode, deposited onto ITO-coated glass by the implementation of electron beam evaporation. The electrolytic media were both lithium and proton conducting polymers such as poly-acrylonitrile(PAN)- $LiClO_4$, poly-ethylene oxide(PEO)- $LiClO_4$, poly-vinyl butyral(PVB)- $LiCl$ and PVB- H_3PO_4 . Potentiodynamic cycling of the cells using PAN- $LiClO_4$ or PVB- H_3PO_4 electrolyte yielded a transmission variation of more than 40% at the wavelength of 632.8 nm within less than 10 sec response time at room temperature. These results indicate that these electrolytes, transparent in gel type, are promising for the application in large area electrochromic windows.

1. 서 론

최근에 EC 재료를 도전성 투명박막이 코팅된 유리에 적용하여 저전압으로 투과광을 조절할 수 있는 빌딩에서의 조광유리(Smart Window)¹⁾, 선글라스²⁾, 반사광을 조절하여 야간운전을 안전하게 하는 자동차의 후사경(Rear-View Mirror)³⁾, 그리고 전자기기용 표시소자^{4), 5)}를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, Smart Window

는 주거공간 및 자동차에 있어서 냉난방에 필요한 에너지 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 공해문제를 유발하지 않고 쾌적한 분위기를 유지할 수 있는 시스템으로서 개발가치가 높은 응용분야라 할 수 있다. 이러한 Smart Window의 개발을 위해서는 EC 소자의 응답특성 외에 대면적화 및 내구성에 대한 기술이 확립되어야 한다. EC 소자는 전해질의 종류 및 형태에 따라 유기 및 무기계 액체전해질, 무기물 박막을 이용한 고체전해질, 고분자물질

을 지지체로 이용한 젤 형태의 전해질로 구분된다. 유기계 및 무기계 액체전해질을 사용한 EC 소자는 현재 자동차의 후사경 등에 사용되고 있으나, 사용 중 전극이 손상되기 쉬울 뿐만 아니라 제작상의 난점과 안전성이 떨어지므로 Smart Window와 같이 대면적으로 실용화하기는 어려울 것으로 판단된다.

한편, 무기물 박막을 이용한 고체전해질로 구성된 EC 소자는 내구성 및 응답특성이 뛰어나 이미 선글라스에 적용되고 있으나, 대면적으로 만들 경우에는 박막 층의 결함으로 인한 단락(short circuit)이 일어날 확률이 크다.

전도성 고분자 전해질에 관한 연구는 주로 고용량의 2차전지에 이용하기 위해 많은 연구가 있었으며, 이를 전기변색화(Electrochromism)에 적용시킨 연구는 1981년 poly-N-methylpyrrole에 관한 보고가 있는 이후 polyaniline과 polythiophene과 같이 전기화학적으로 중합된 전도성 고분자 물질에 관한 연구가 수행되었다⁶⁾. 그 중에서 polypyrrole 박막은 발색시 짙은 갈색으로 색이 변하지만 고분자 필름의 두께가 두꺼운 경우는 (약 5000 Å) 가시적으로 색이 변화하는 것이 아니라 검정색이 되어 EC 창에 적용하기가 어려운 단점이 있으므로 고분자 전해질을 박막화해야 하는 문제점을 가지고 있다.

Polyaniline은 산화·환원 전위에 따라서 여러 가지 색을 내는 장점이 있는 동시에 발·소색 수명이 길기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있으며, 발·소색도를 향상시키기 위하여 N과 같은 다른 물질을 치환하여 제조한 치환형 polyaniline에 관한 연구가 이루어지고 있다⁷⁾.

최근에는 젤 형태의 전해질이 이용되고 있으며 그 중에서 poly-acrylonitrile(PAN) 기지에 Li염을 혼합 유기용매인 propylene carbonate-ethylene carbonate (PC-EC)내에서 용해시킨 전해질로 상온에서의 전도도가 $\sim 10^{-3}$ S/cm로 높은 전도도를 갖는 차세대 전해질이라 할 수 있다⁸⁾. 전기변색화에 이용할 수 있는 젤 형태의 전해질 중에서 poly-ethylene oxide-LiClO₄-PC계는 발·

소색 수명이 $\sim 10^4$ 회 이상으로 보고되었으며, 전도도가 10^{-4} S/cm로 다소 낮은 단점이 있으나⁹⁾ poly-vinyl butyral(PVB)은 수분과 공기에 대한 내구성이 강하며 빛을 흡수하지 않는 광학적 성질을 가지고 있기 때문에 자외선에 의한 고분자의 파괴에도 강한 특성이 있다. 이상의 젤 형태의 고분자 전해질은 두께가 100 μ m 이하로 제조할 수 있으므로 두장의 유리사이에 넣어 얇게 제조할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 내구성과 안전성이 비교적 뛰어나며 대면적화하기에 용이한 PAN(Poly-acrylonitrile), PEO(Poly-ethylene oxide) 및 PVB(Poly-vinyl butyral) 등의 고분자물질을 지지체로 하는 젤 형태의 전해질을 사용한 EC 소자를 제작하여 소자의 전기 및 광학적 특성을 측정하고, 실용화에 대한 가능성을 검토하였다.

2. 실험방법

2.1. 전극 및 전해질 제조

전극으로는 ITO(Indium Tin Oxide)가 코팅된 유리(삼성코닝, 면저항 : 20 Ω /□)를 40×50mm의 크기로 자른 후, 초음파 세척액(Micro Cole-Parmer Co.)으로 10분간 초음파 세척하고 증류수로 헹군 다음, 아세톤용액에 넣어 다시 초음파 세척하고 N₂ 가스층으로 건조하는 순서로 전처리를 실시하였다.

WO₃ 및 NiO 박막은 독일 Leybold-Heraeus사의 Univex 450 Electron Beam Evaporation 장치를 사용하여 증착하였다. 증착시 Base Pressure를 1×10^{-6} mbar까지 떨어뜨린 후 $8 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$ mbar에서 1~3 Å/sec로 약 300nm의 두께로 증착하였으며, 기판을 가열하지 않고 상온에서 증착을 하였다. 그리고 증착을 위한 source 로서는 각각 WO₃ 및 NiO의 Pellet를 흑연 도가니에 담아 사용하였다. 박막의 증착속도 및 두께조절은 독일 Leybold Inficon Inc.의 IC6000을 사용하여, Crystal Microbalance 방법에 의하여 조절하였다. 증착후 Ellipsometer로 박막 두께를 측정된 결과 \pm

30nm 이내의 오차가 있었다. 고분자 전해질로는 PAN-LiClO₄계, PEO-LiClO₄계, PVB-LiCl계, PVB-H₃PO₄계를 제조하여 사용하였다. PAN-LiClO₄계 및 PEO-LiClO₄계는 가스계로서 Ethylene Carbonate(순도 99%, Aldrich), Propylene Carbonate(순도 99%, Aldrich)를 일정 비율로 혼합하여 사용하였다. PAN-LiClO₄계 전해질은 PAN과 LiClO₄를 적절한 용매에 넣고 가열하여 용해시킨 다음 닥터 블레이드 방법에 의해 약 150 μ m 두께의 고분자전해질 strip을 제조하여 ITO/WO₃와 ITO/NiO의 양 전극 사이에 끼워서 사용하였다. PEO-LiClO₄계는 PEO와 LiClO₄ 및 용매를 상온에서 장시간 혼합하여 제조한 후, Spin Coater를 사용하여 각각의 전극 위에 고분자전해질 층을 형성하였다. 이때, 회전속도를 3000rpm으로 10초간 회전하였으며, 얻어진 고분자전해질의 두께는 약 3 μ m 정도였다. PVB-LiCl 고분자 전해질은 Polyvinyl Butyral(PVB), 용매 그리고 LiCl을 1 : 9 : 0.05의 무게비로 혼합한 후 50 $^{\circ}$ C에서 3시간 이상 stirring하여 제조하였다. PVB는 내기후성 및 부착력이 뛰어나며 광학적으로 투명한 고분자 재료이다. PVB-H₃PO₄계 고분자전해질은 PVB-LiCl계의 LiCl 대신에 H₃PO₄를 적당량 첨가하여 제조하였다. 고분자전해질의 제조 공정은 Fig. 1과 같으며 각각의 고분자전해질을 사용하여 제작한 EC창의 구조를 Fig. 2에 나타내었다.

2. 2. EC창의 특성측정 장치 및 방법

EC창의 광학 및 전기특성 측정에 사용된 장치의 구성도를 Fig. 3에 나타내었다. EC창의 전기화학적 성질을 측정하기 위하여 Potentiostat(EG & G Princeton Applied Research Co., Model 273)와 Function Generator(Hokuto Denko Co., Model HB-105)를 사용하였다. EC창의 발색·소색 정도에 따른 투과율 변화 측정을 위해서 광원으로 He-Ne Laser(파장:632.8nm)를 사용하였으며 투과율 변화는 Photo Detector(Spectra Physics

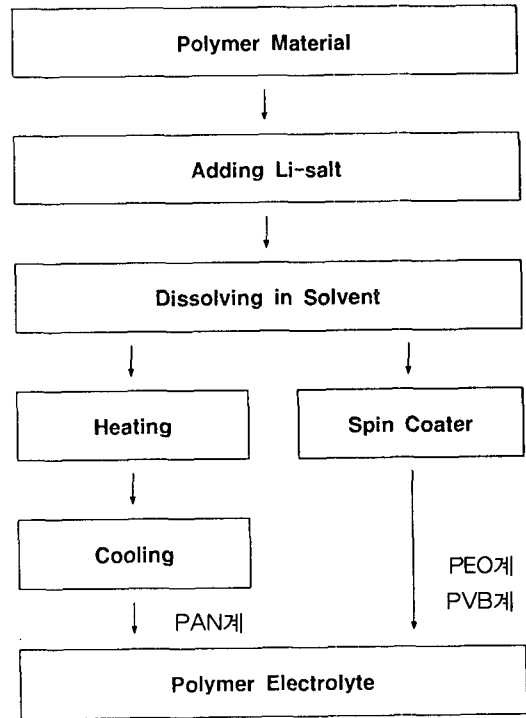


Fig. 1. Fabrication process of polymer electrolyte.

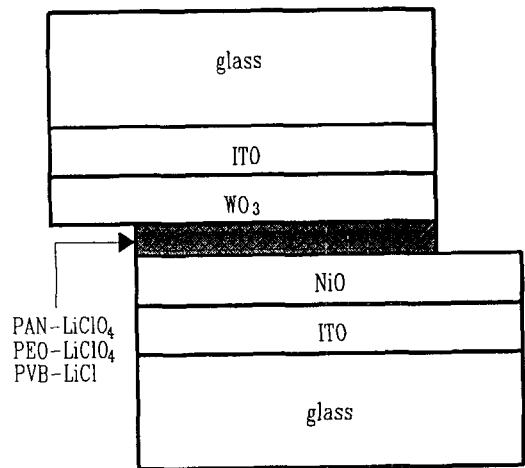


Fig. 2. A schematic diagram of cross-section of electrochromic (EC) window using polymer electrolyte.

405)를 사용하였다. EC창을 통과하여 Photo Detector를 거쳐 나온 전류신호는 XY Recorder로 기록함과 동시에, 발색·소색에 따른 투과율의 변화를 Chart Recorder에 기록하여 이로부터 투과

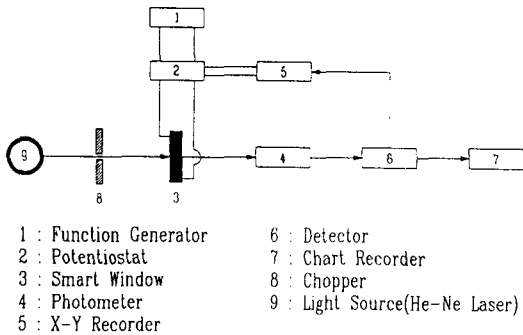


Fig. 3. Electro-optical property measuring apparatus of EC window.

을 변화량 및 광학농도를 산출하였다. 이 때의 광학농도는 투과 모드로 하여 다음의 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\Delta O. D = \log(I_0/I) \text{ ----- (1)}$$

I_0 : 발색 전 EC창을 투과한 빛의 세기

I : 발색 후 EC창을 투과한 빛의 세기

O.D : 광학농도(optical density)

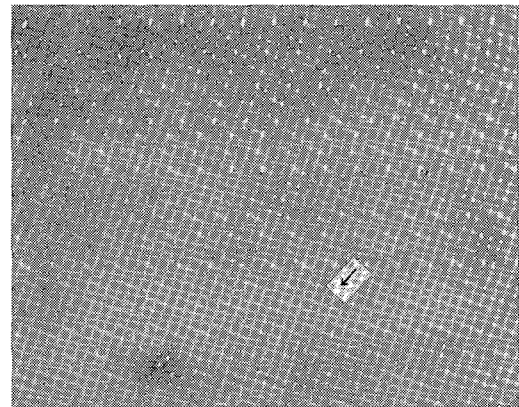
또한, EC창을 충분히 발색·소색시킨 후 UV/VIS/NIR Spectrophotometer (Perkin Elmer사, 모델명: Lambda 19)를 사용하여 가시 및 근적외 영역(파장범위: 0.4~2.5 μ m)에서의 투과율 스펙트럼을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. PAN-LiClO₄계 고분자전해질

Fig.4, 5에는 Electron Beam Evaporation방법으로 증착한 WO₃와 NiO박막의 투과 전자현미경 사진(a) 및 전자회절상(b)을 각각 나타내었다.

Fig. 4에서는 WO₃ 박막의 조직이 연속적인 미세입자임을 나타내며 전자회절상(b)은 비정질에 가까운 구조임을 보여준다. Evaporation 방법으로 증착된 WO₃ 박막에서는 미세한 균열(화살표)이 보이는데 이는 증착시 불순물 등으로 인한 표면 결함, 혹은 증착 후의 박막과 기판과의 열팽창계수 차에 의한 균열로 생각된다. Fig. 5에서 NiO 박막은 전자회절상의 형태로 보아서 결정화되었음을 보



(a) 100nm



(b)

Fig. 4. TEM micrographs (a) and electron diffraction (b) for a tungsten oxide coating.

여준다. Fig. 6는 PAN-LiClO₄계 고분자 전해질을 사용하여 제작한 EC 창 의 순환전압전류법에 의해 측정된 분극곡선을 나타낸 것이다. 이 경우 사용한 투명 전극 ITO의 면저항은 20 Ω /□이며 일면적 (working area)은 14cm²이다. -1.5V에서 발색전류의 피크가 나타나며 가역적인 변화가 일어남을 알 수 있다. Anodic scanning 시 -1.0~0V의 전위영역에서 LiClO₄-PC 액체전해질 계에서는 관찰되지 않은 피크가 나타났다¹⁰⁾. 이 결과는 stainless-steel 사이에 젤 전해질을 넣어 제작된 셀에서의 결과와 일치하는데 이 피크는 싸이클 회수가 증가함에 따라 다소 평평하게 되었으며, 이는 필름이 부동태화 되기 때문으로 생각된다⁸⁾.

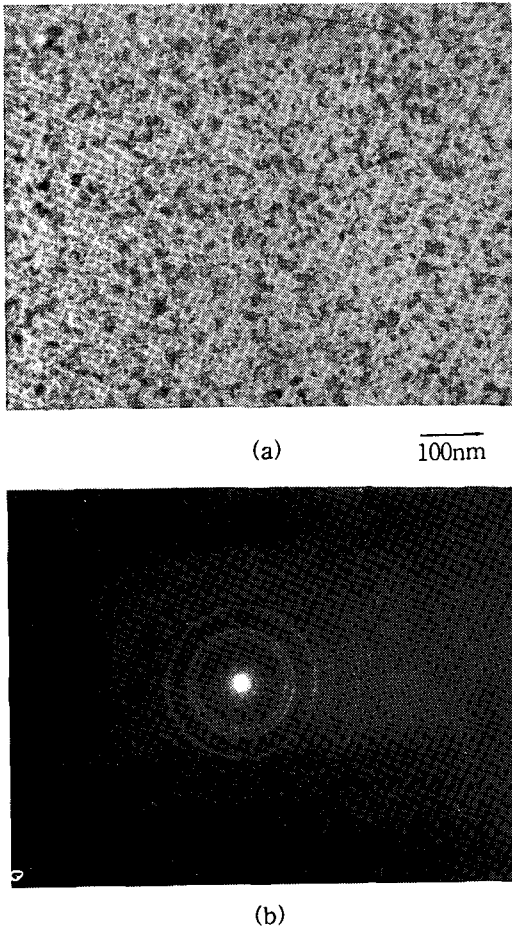


Fig. 5. TEM micrographs (a) and electron diffraction pattern (b) for a nickel oxide coating.

Fig. 7는 PAN-LiClO₄계 고분자 전해질을 사용한 EC창에 있어서 발색·소색 현상에 따른 전류의 변화(위)와 투과율 변화(아래)를 동시에 측정하여 나타낸 것이며, 일 면적은 14cm²이다. ±1.5V의 비교적 낮은 전위인가에 의해 주기적인 발색·소색 전류의 피크가 나타나고 있으며 이에 대응하여 투과율이 최대 및 최소치를 나타내었다. 이때의 최대 발색전류밀도는 215 μA/cm²이며 투과율 변화는 48%로 나타났다. 이 결과는 Passerini 등¹¹⁾이 제조한 셀인 glass-ITO-Li_yNiO_x/Li⁺ gel electrolyte/WO₃-ITO-glass의 투과율 변화량인 45%와 거의 일치한다. 또한, 그림으로부터 1000

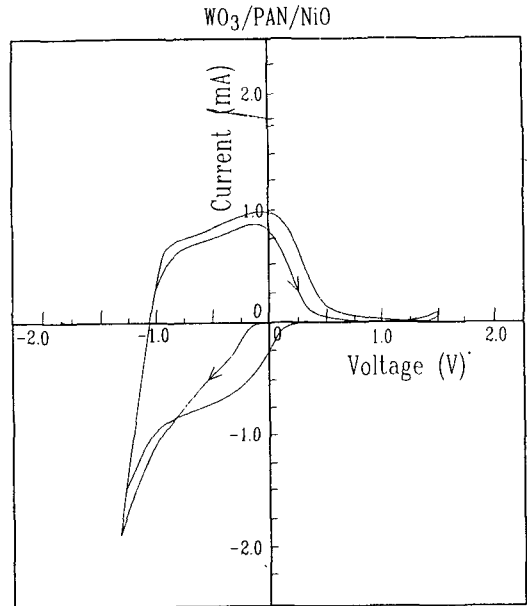


Fig. 6. Cyclic voltammogram of a EC window with ITO/WO₃ (400 nm) / PAN-LiClO₄ / NiO (300 nm) / ITO structure (scan rate 20 mVs⁻¹).

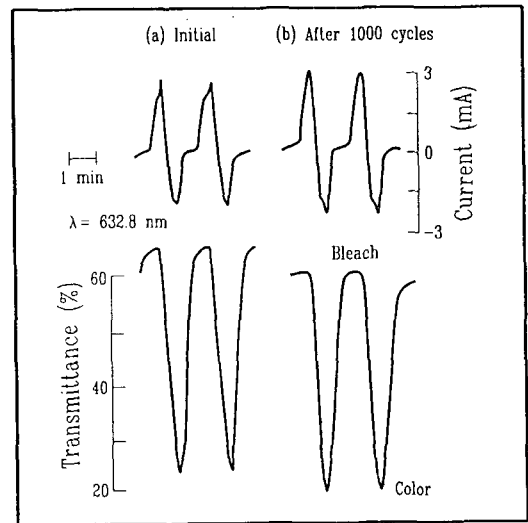


Fig. 7. Colored and bleached current changes and transmittance change used in EC window with ITO/WO₃ (400 nm) / PAN-LiClO₄ / NiO (300 nm) / ITO structure.

cycle 반복 시험한 결과 투과율의 변화량이 거의 일정한 것으로 나타나, PAN-LiClO₄계 고분자 전해질을 사용한 EC창은 연속 반복 사용에 대한 내구

성이 있음을 알 수 있었으며, 실용화를 위해서는 더욱 많은 횟수의 사이클 시험이 요할 것으로 생각된다.

Fig. 8는 PAN-LiClO₄계 고분자 전해질을 사용한 EC창을 충분히 소색(0 V)과 발색(-1.5V)을 시킨 후, 가시 및 근적외 파장영역에서의 투과율 변화를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 발색된 상태에서 가시 및 근적외 영역의 광을 차단하는 효과가 크며, 특히, 가시광 영역에서의 투과율 변화량이 최대 60%에 달해 조광용 유리로서 뛰어난 특성을 나타내 보이고 있다. 소색 상태에서 근적외 영역의 장파장 부분에서 투과율이 감소하는 것은 이 영역에서 ITO의 반사율이 증가하기 때문이다. 이러한 특성은, 온난한 기후 지역에서 과도한 태양열 에너지가 빌딩이나 자동차 내로 유입되는 것을 막을 수 있는 효과가 있으므로, 본 연구의 목적인 조광 유리에의 적용에는 더욱 효과적인 요인이 된다고 할 수 있다^{12), 13)}.

3. 2. PEO-LiClO₄계 고분자 전해질

Fig. 9은 PEO-LiClO₄계 고분자 전해질을 사용한 EC창(ITO의 면저항: 20Ω/□, 일면적: 14cm²)의 발색·소색 현상에 따른 전류의 변화(위)와 투과율 변화(아래)를 나타낸 것이다. ±1.5V 전위인가에 의해 5% 이하의 투과율 변화밖에 일어나지 않았으며, ±3.0V에서는 30%의 투과율 변화를 나타내 보이고 있으나 과도한 전위 인가로 인해 반응이 비가역성을 나타냈다. 이와 같이 PEO-LiClO₄계로 구성된 EC창이 PAN-LiClO₄계에 비해 같은 전위 인가에서 발색·소색 특성이 떨어짐은 PEO-LiClO₄계 고분자 전해질의 이온 전도도가 10⁻⁵S/cm¹⁴⁾ 이하로 비교적 낮기 때문이며, 따라서 이러한 계는 EC창의 전해질로는 부적합함을 알 수 있다.

3. 3. PVB-LiCl, PVB-H₃PO₄계 고분자 전해질

Fig. 10은 PVB-LiCl계 고분자 전해질을 사용하

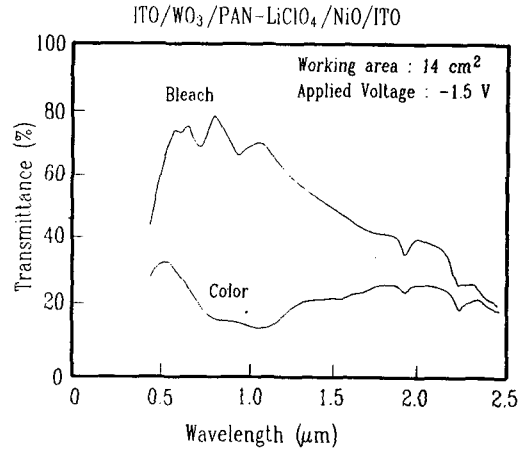


Fig. 8. Spectral transmittance of colored and bleached states used in EC window with ITO/WO₃ (400 nm)/PAN-LiClO₄/NiO (300 nm)/ITO structure.

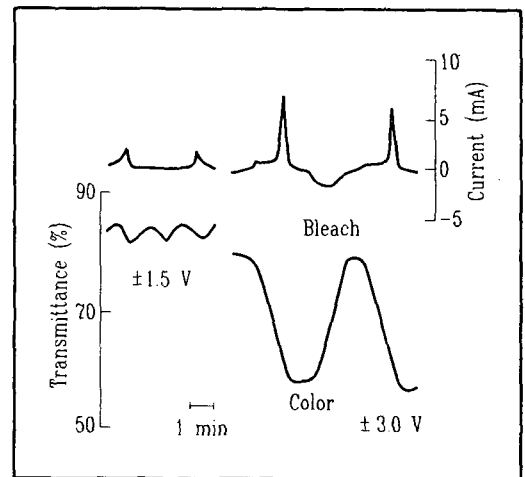


Fig. 9. Colored and bleached current changes and transmittance change used in EC window with ITO/WO₃ (400 nm)/PEO-LiClO₄/NiO (300 nm)/ITO structure.

여 제작한 EC창(ITO의 면저항: 20Ω/□, 일면적: 12cm²)의 전위 주사속도에 따른 발색·소색 전류 피크의 변화를 나타낸 것이다. ±2.2V 전위인가에 의해 발색·소색에 따른 전류의 피크가 가역적으로 변하고 있으나 anodic scanning시 -0.8~0.2V의 전위영역 그리고 1.4V에서 산화반응에 의한

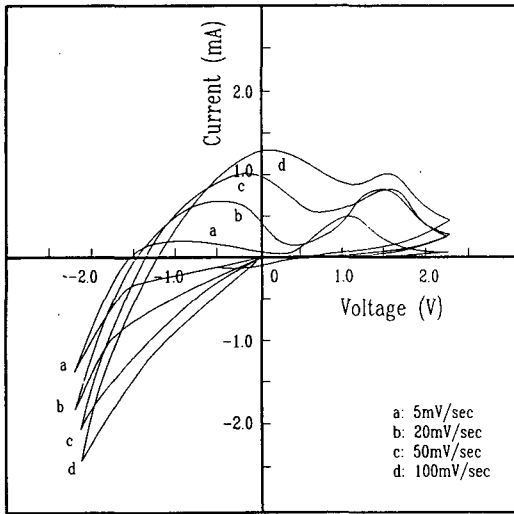


Fig. 10. Cyclic voltammograms of a EC window with ITO/WO₃ (400 nm) /PVB-LiCl/NiO (300 nm) /ITO structure (scan rate 20 mVs⁻¹).

피크가 나타났다. 이중 $-0.8\text{V} \sim 0.2\text{V}$ 에서의 피크는 LiClO₄-PC 액체 전해질계¹⁰⁾에서는 나타나지 않았으나 Fig. 6의 PAN-LiClO₄계 고분자 전해질을 사용한 EC창의 경우에는 형태는 다르지만 같은 전위 구역에서 관찰되었다. 이들 피크는 전위 주사속도가 증가할수록 양의 방향으로 이동함과 동시에 폭이 좁아지며 높은 전류 값을 나타낸다. 이로부터 이들 피크는 확산반응에 관계하며 전위 주사속도가 증가할수록 확산 층이 커지며 점점 가역성을 띄게 됨을 알 수 있다. O. Pohnke¹⁵⁾와 M. Armand¹⁶⁾ 등의 연구 결과에서도 이와 같은 피크들이 나타났으며 이들은 이러한 피크가 부반응에 의한 것이 아니고 계면 현상, 즉, 다공성 산화물 박막과 고분자 고체 전해질과의 접촉 특성으로 설명하였다. 한편, 1.4V에서의 피크는 PAN 계에서는 나타나지 않았던 것으로 보아 과전위 인가에 따른 폴리머의 산화¹⁷⁾ 등에 의한 것으로 사료된다. 이러한 부반응은 EC창의 균일한 발색·소색특성과 내구성에 좋지 않은 영향을 주게 될 것으로 생각되어 진다.

Fig. 11은 PVB-LiCl계 고분자 전해질을 사용한 EC창의 발색·소색 현상에 따른 투과율 변화를

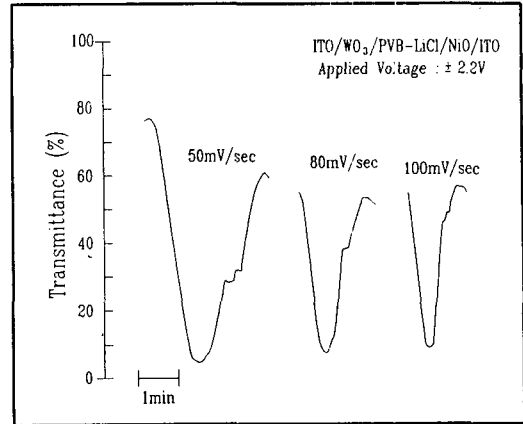


Fig. 11. Transmittance of colored and bleached states used in EC window with ITO/WO₃ (400 nm) /PVB-LiCl/NiO (300 nm) /ITO structure.

나타낸 것이다. $\pm 2.2\text{V}$ 전위인가에 의해 40% 이상의 투과율 변화를 나타내 보이고 있다. 소색 과정의 곡선에서는 도중에 소색이 둔화되는 현상이 나타나고 있다. 또한 이러한 현상은 Fig. 10의 전류 전위곡선에서의 산화반응에 의한 피크($-0.8 \sim 0.2\text{V}$)에 상응하여 전위 주사속도가 증가할수록 보다 양의 전위 쪽에서 나타나고 있으며, 100mV/sec의 속도에서는 거의 가역적으로 변화함을 알 수 있다. Fig. 12는 PVB-0.5H₃PO₄계 고분자 전해질을 사용한 EC창(ITO의 면저항: $20\Omega/\square$, 일면적: 12cm^2)의 발색·소색 현상에 따른 전류의 변화(상)와 투과율 변화(하)를 나타낸 것이다. 그림으로부터 $\pm 1.5\text{V}$ 전위인가에 의해 전류가 가역적으로 변화하며, 발색시 최대 전류밀도는 $170\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이며 이 때의 투과율 변화는 35% 정도로 같은 전위의 PAN-LiClO₄계(Fig. 7)에 비해 다소 떨어지나 응답 속도는 더 빠른 것으로 나타났다.

Fig. 13은 PVB · xH₃PO₄계 고분자 전해질로 구성된 EC창에 있어서 H₃PO₄의 농도 및 인가 전위가 EC창의 광학농도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림으로부터 PVB에 대한 H₃PO₄의 몰 비인 x의 값, 즉 프로톤양이 증가할수록 같은 전위에서의 광학 농도의 값이 증가함을 알 수 있다. PVB-

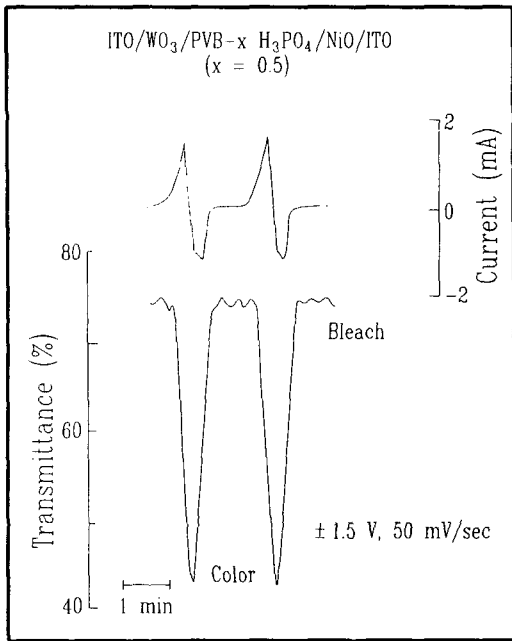


Fig. 12. Colored and bleached current changes and transmittance change used in EC window with ITO/WO₃(400 nm)/PVB-0.5H₃PO₄/NiO(300 nm)/ITO structure (scan rate 50 mVs⁻¹).

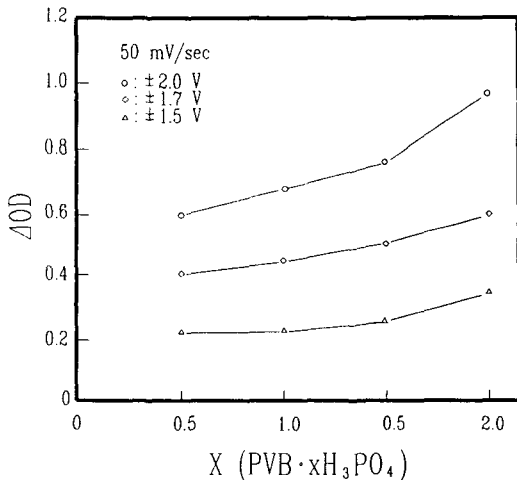


Fig. 13. Light intensity change as a function of H₃PO₄ concentration used in EC window with ITO/WO₃(400 nm)/PVB-0.5H₃PO₄/NiO(300 nm)/ITO structure.

H₃PO₄계는 PAN-LiClO₄계에 필적하는 발색·소색 특성을 나타내고 응답속도도 빠르지만 이러한

계가 실용성 있는 Smart Window의 전해질로 적합한가에 대한 결론을 얻기 위해서는 반복 사용에 대한 내구성 및 가역성 등이 충분히 검토되어야 한다.

4. 결 론

1) PAN-LiClO₄계 고분자전해질을 사용한 EC 창은 ±1.5V 전위인가에 의해 가시 및 근적외선 영역의 광을 차단하는 효과가 크며 특히 가시광선 영역에서는 투과율 변화량이 최대 60%로 나타났으며 1000회 연속 반복 사용에 대한 내구성이 있음이 확인되었고 발·소색 응답속도는 수초 이내로 나타났다.

2) PEO-LiClO₄계 고분자전해질을 사용하여 제작한 EC창은 PAN-LiClO₄계에 비해 투과율 변화량이 적고 가역성이 떨어지므로, 대면적화의 Smart Window를 위한 전해질로는 부적합하다.

3) PVB계로 구성된 EC창은 리튬이온보다는 프로톤이 함유된 전해질을 사용하였을 때 가역성 및 반응속도가 뛰어난 특성을 나타내었다.

감 사

본 논문은 1993년도 에너지자원 기술개발지원센터 지원자금으로 시행한 에너지절약기술개발사업의 기술개발결과 중 일부임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. R.B. Goldner and R.D. Rauh : Proc. SPIE, 428 (1983) 38
2. T. Saito, Y. Ushio, M. Yamada, and T. Niwa : Solid State Ionics, 40 (1990) 499
3. F.G.K. Baucke : Materials Science and Engineering, B10 (1991) 285
4. "Electrochromic 표시 소자 개발", N500-3579-6, 과학기술처, (1989) 11
5. "Electrochromic 표시 소자 개발", N608-3893-

- 6, 과학기술처, (1990) 11
6. T. Kobayashi, H. Yoneyama, and H. Tamura: *J. Electroanal. Chem.*, 161 (1984) 419
7. M. T. Nguyen and L. H. Dao: *J. Electrochem. Soc.*, 136 (1989) 2131
8. F. Croce, F. Gerace, G. Dautzemberg, S. Passerini, G. B. Appetecchi, and B. Scrosati: *Electrochim. Acta*, 39 (1994) 2187
9. F. Croce, S. Panero, S. Passerini, and B. Scrosati : *ibid*, 39 (1994) 255
10. “투과광 조절용 윈도우 개발에 관한 연구”, 상공자원부, (1994) 52
11. S. Passerini, B. Scrosati, V. Hermann, C. Holmblad, and T. Bartlett : in “Electrochromic Materials II,” K. C. Ho and D. A. MacArthur, Editors, PV94-2 (1994) 244
12. A.M. Andersson, Claes G. Granqvist, and J. R. Stevens: *Applied Optics*, 28 (1989) 3295
13. Niall R. Lynam: in “ELECTROCHROMIC MATERIALS: Transparent Electronic Conductors”, M.K.Carpenter, D.A.Corrigan, The Electrochem. Soc., Proceedings Volume 90-2 (1990) 201
14. “리튬 이차전지용 고채전해질 개발” UCN993-5007-6, 과학기술처, (1993) 35
15. O. Bohnke and C. Bohnke: *J. Electrochem. Soc.*, 138 (1991) 3612
16. M. Armand, D. Deroo, and D. Pedone: in “Proceedings of Solid State Ionics Devices Conference”, Singapore (1988) 515
17. J. Nagai, M. Mizuhashi, and T. Kamimori : in “Large-Area Chromogenics; Materials and Devices for Transmittance Control”, C. M. Lampert and C.G.Granqvist, Editors, SPIE Institute Series Vol. IS. 4 (1990) 368