

논문 22-12-10

비정질 실리콘 박막 트랜지스터의 광특성 분석을 위한 백라이트의 광자 에너지 스펙트럼에 대한 연구

A Study on the Photon Energy Spectrums of Backlight for the Analysis of the Photoelectric Characteristics of a-Si:H TFT

정경서¹, 권상직¹, 조의식^{1,a}
(Kyung Seo Jeong¹, Sang Jik Kwon¹, and Eou Sik Cho^{1,a})

Abstract

For the investigation of the mechanism of photoelectric characteristics of a hydrogenated amorphous silicon thin film transistor(a-Si:H TFT), spectral characteristics of various backlights were analyzed in terms of the photon energy at each wavelength. Photon energy spectral characteristics were obtained through the multiplication of each photon energy and spectral intensities of backlights at each wavelength and the total photon energies were obtained by the integration of the photon energy spectrums. From the comparison of the experimental photo leakage current and the calculated photon energy, it was possible to conclude that the absorption of illuminated backlight to a-Si:H layer and the generation of electrons and holes are mainly carried out at the wavelength less than 500 nm as described in previous reports.

Key Words : a-Si:H TFT, Backlight, Photon energy spectral characteristics, Absorption coefficient

1. 서론

수소화된 비정질 실리콘 채널이 부분적으로 식각된 박막 트랜지스터(a-Si:H TFT)는 주로 박막 트랜지스터 액정 표시 장치(TFT-LCD)의 각 화소에서 외부로부터 전송받은 신호를 화소 전극으로 전달하는 목적으로 사용되고 있다. 채널을 부분적으로 식각하는 etchback 방식의 경우 기본적으로 TFT 기판의 제조 공정시 5 장의 마스크를 사용하여 왔으나, 최근에는 공정비용절감 및 생산량 증대를 위하여 2번째 active 마스크 공정이 3번째 source/drain 마스크 공정으로 흡수되어 4장의 마스크를 사용하는 공정이 대부분의 제조 라인에서 적용되고 있다. 이 경우, 슬릿 마스크에 의한 사진

공정 직후 source/drain 전극의 1차 습식 식각 및 active 층 건식 식각이 진행되고, 이후 O₂ ashing 적용시 불가피하게 후면의 백라이트에 직접 노출되는 비정질 실리콘 층이 형성된다[1,2]. 이로 인하여 4 장의 마스크 공정의 경우 기존의 5장의 마스크 공정보다 더 큰 광 누설 전류를 가지게 된다. 또한, 최근 TFT 패널은 대부분 TV 용으로 제작되는데 TV의 경우는보다 고휘도의 광원 시스템을 요구하게 된다. 그러므로 광 누설 전류에 의하여 영향을 받는 요소들, 예컨대 누설 전류에 의한 명암비의 성능 저하, 플리커링에 의한 화면 떨림 및 그로 인한 잔상 문제 등을 고려해서라도 광 누설 전류를 최소화 시키는 것은 매우 중요하다.

광 누설 전류를 줄이기 위하여 최근까지는 주로 a-Si:H TFT의 공정 조건을 최적화 시키는데 연구가 집중되어져 왔다[3-5]. 그러나, 공정 조건의 경우 TFT 자체 특성에도 영향을 줄 수 있고, 최근 기판의 대형화로 공정의 균일성을 쉽게 보장할 수 없으므로, 다른 관점에서의 광전류에 대한 분석이

1. 경원대학교 전자공학과

(경기도 성남시 수정구 복정동 산65)

a. Corresponding Author : es.cho@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2009. 8. 17

심사완료 : 2009. 10. 26

필요하다. 최근 TFT-LCD 의 광원이 기존의 형광등(cold cathode fluorescent lamp : CCFL)뿐 아니라 색재현성 및 환경적으로 우수한 발광다이오드(light emitting diode : LED)등도 적용되고 있음을 고려해 볼 때, 백라이트 광원 자체의 광학적 특성이 광 누설 전류 및 그로 인한 결과에 미치는 영향에 대한 연구가 요구되고 있으며, 본 연구팀에서 실험으로 그 결과를 비교한 바 있다[6,7]. 이 경우, 광원의 intensity peak 중 파장대가 낮은 부분의 위치가 중요함을 설명하였지만, 광자 에너지의 관점에서 보다 더 정확한 설명이 요구된다. 본 논문에서는 기존에 발표된 논문의 데이터를 이용, 관련 이론의 보다 명확한 설명을 위하여 백라이트 광원의 광학 스펙트럼을 광자 에너지 관점에서 분석, 계산 후 실험값과 유사한지 여부를 확인하였다.

2. 실험

Etchback 방식을 이용한 비정질 실리콘 TFT는 기존의 5 마스크 공정을 이용하여 제작되었지만, 4마스크 공정과 유사하게 채널 근처 비정질 실리콘층이 백라이트에 직접 노출되는 면을 넓게 형성하였고, 이는 기존 논문과 동일하다[6,7]. TFT 채널의 W/L 은 20 $\mu\text{m}/6 \mu\text{m}$ 으로 설계되었고, 약 2300 cd/m^2 의 유사한 휘도를 가지는 서로 다른 CCFL, white LED, 할로겐 램프를 백라이트 광원으로 사용하여 TFT의 특성을 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 서로 다른 광원에 대한 비정질 실리콘 TFT의 누설 전류값을 비교, 그 차이를 보여주고 있다[6]. CCFL 및 LED 광원에 의한 광누설 전류가 할로겐 램프를 백라이트로 사용한 결과보다 비슷한 휘도에도 불구하고 10^1 배 이상 큰 값을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 이는 광자 에너지는 광원의 밝기보다는 광자 개개의 파장에 반비례함을 고려하면 이해가 가능하다[7].

그림 2 (a), (b), 그리고 (c)는 각각 실험에 사용된 CCFL, white LED와 할로겐 램프의 광학 스펙트럼을 보여주고 있다. 특정 파장에서 발생하는 전자-정공 생성 개수는 백라이트광의 해당 파장에서의 intensity 및 비정질 실리콘의 흡수 계수에 비례하게 된다. 각 광자의 에너지가 비정질 실리콘의 에너지 밴드 갭보다 클 경우 빛이 흡수, 전자-정공 쌍이 생성되는데 비정질 실리콘 층의 흡수 계수는

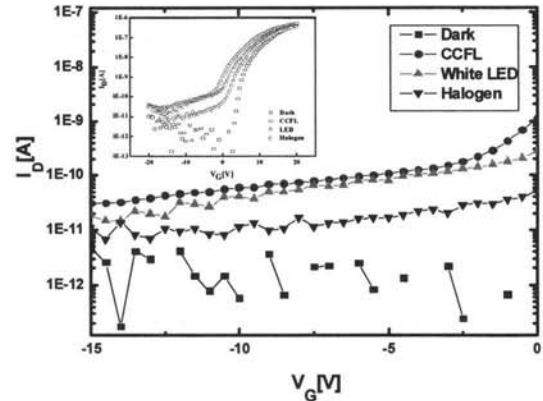


그림 1. 다양한 백라이트로부터의 광원에 대한 음의 전압에서의 비정질 실리콘 TFT의 특성.

Fig. 1. The transfer characteristics of a-Si:H TFT at the reverse gate bias under illuminations from various backlights.

2.4 eV 이상의 광자 에너지의 경우 10^5 cm^{-1} 보다 크고, 1.5~1.8 eV 범위에서는 10^2 cm^{-1} 정도로 떨어지게 된다[8,9]. 제작된 TFT의 비정질 실리콘 층의 두께 2000 Å를 고려할 경우, 비정질 실리콘 흡수 계수 10^5 cm^{-1} 이상인 경우만 고려해도 큰 오차는 없게 된다[6,7]. 광자 에너지가 2.4 eV 이상인 백라이트 광은 517 nm 이하의 파장에 대해서만 유효하다.

결국, 비정질 실리콘 TFT에 흡수되는 총 광자 에너지를 그림 2의 광원들에 대하여 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$E = \int_{380\text{nm}}^{770\text{nm}} \frac{hc}{\lambda} \cdot \alpha(\lambda) \cdot I(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

여기서 E 는 흡수된 광자 에너지, $\frac{hc}{\lambda}$ 는 각 파장에서의 광자 에너지, α 는 비정질 실리콘의 흡수 계수, I 는 광원 스펙트럼의 intensity이다. 적분시는 광 스펙트럼 파장의 경우 2 nm의 단위로 계산하였다. 그러나, 흡수 계수가 파장이 커질수록 급격히 작아지므로, 흡수 계수를 특정 파장 x 까지만 상수 1로 유효하다고 고려할 경우 식 (2)와 같이 수정 가능하다.

$$E(x) = \int_{380\text{nm}}^x \frac{hc}{\lambda} \cdot I(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

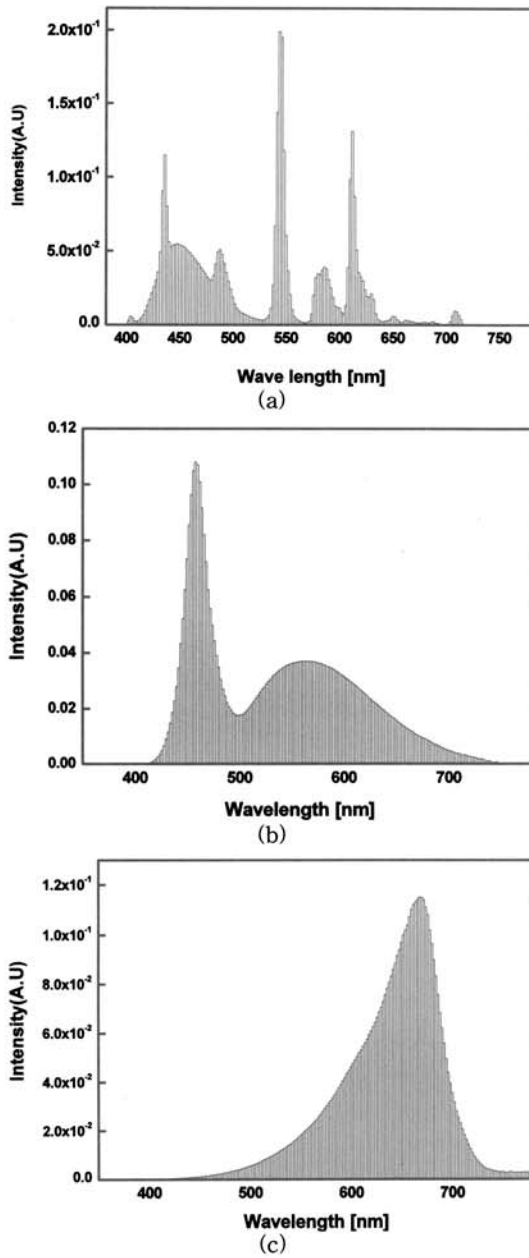


그림 2. 실험에 사용된 광원의 스펙트럼 특성. (a) CCFL (b) White LED (c) 할로겐 램프로 부터의 광자 에너지 스펙트럼 특성
 Fig. 2. Spectral characteristics of the backlight used in the experiment, (a) CCFL (b) white LED (c) halogen lamp.

그림 3은 식 (2)에서 광 스펙트럼 파장이 500 nm 인 경우에 대하여 계산한 광자 에너지 스펙트럼

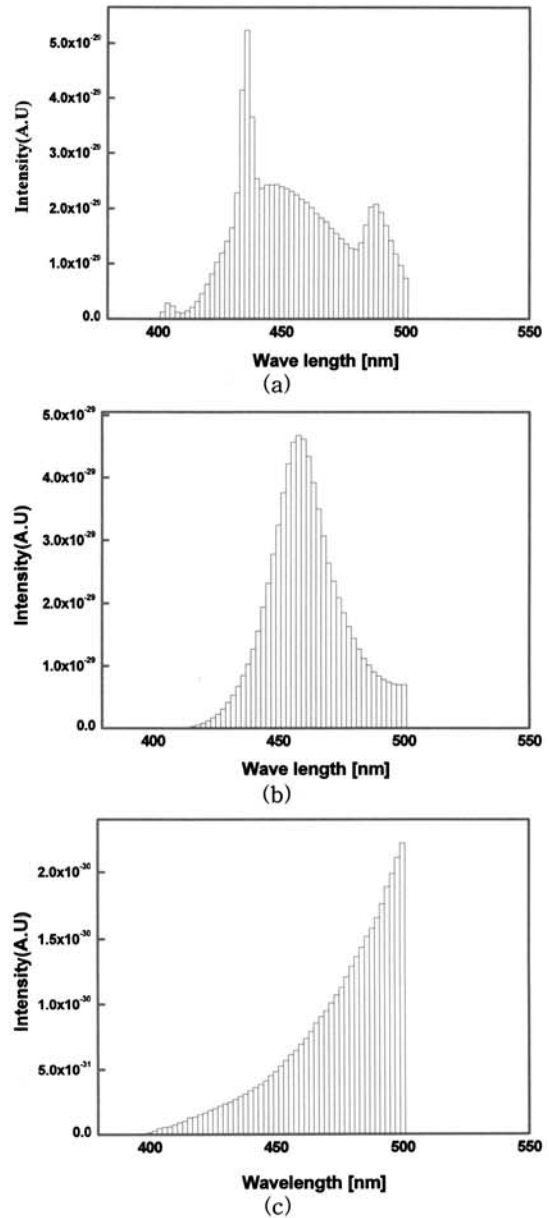


그림 3. 380~500 nm 파장의 범위에서 각 파장별 광자 에너지 및 파장별 스펙트럼의 intensity의 곱으로부터 계산된 광자 에너지 스펙트럼. (a) CCFL (b) white LED (c) halogen lamp
 Fig. 3. Photon energy spectral characteristics in a range of wavelength from 380 nm to 500 nm calculated from the multiplication of the photon energy and the spectral intensity at each wavelength (a) CCFL (b) white LED (c) halogen lamp.

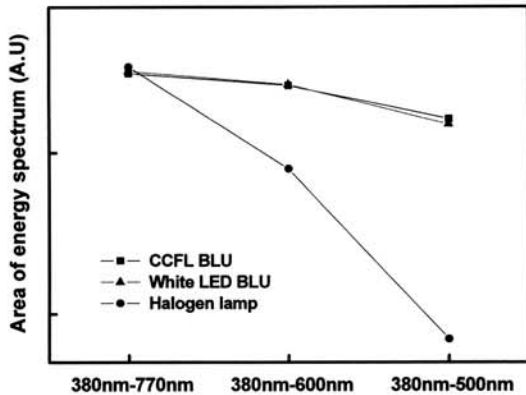


그림 4. 실험에 사용된 다양한 백라이트 광원의 여러 광 파장 범위에 대하여 계산된 에너지 스펙트럼의 광 흡수 에너지 비교.

Fig. 4. Comparison of the integrated photon energies of various backlights calculated from the energy spectrums for various ranges of wavelength.

특성을 보여준다. 그림 3(a), (b), (c)에서의 광자 에너지 스펙트럼의 면적, 즉 총 광자 에너지 값은 각각 5.24×10^{-29} (CCFL), 4.68×10^{-29} (LED), 그리고 2.22×10^{-30} (할로젠 램프)로 계산되었다. 식 (2) 가 500 nm 가 아닌 모든 가시광선 영역인 770 nm 까지 계산되었을 때는 총 광자 에너지 값이 3.09×10^{-27} (CCFL), 3.18×10^{-27} (LED), 3.39×10^{-30} (할로젠 램프)이었다.

그림 4는 광 흡수가 가능한 파장의 범위를 여러 경우로 가정할 경우 계산된 총 광흡수 에너지 값을 광원별로 비교, 보여주고 있다. 가시광선 전 범위에 걸쳐 광흡수 에너지가 계산되었을 경우, 할로젠 램프의 에너지가 가장 크게 계산되었는데 이는 할로젠 램프의 광 스펙트럼의 intensity 가 600 nm 이상에서 큰 값을 가지기 때문으로 여겨진다. 그러나, 광흡수 에너지가 600 nm, 500 nm 범위 내에서 계산될 경우 CCFL 및 white LED 의 광 흡수 에너지가 할로젠 램프보다 큰 값을 가지게 된다.

그림 5는 그림 3의 (a), (b), (c) 로부터 계산된 380~500 nm 파장 범위에서의 광원별 광흡수 에너지 및 기존의 TFT 실험시 -7.5 V 의 게이트 전압에서 측정된 광누설 전류와의 비교 결과를 보여준다[6]. 비교시 계산된 광흡수 에너지에 일정한 상수를 곱해서 CCFL의 값을 동일하게 하였다. 이 경우, 500 nm 파장까지 계산된 광흡수 에너지와

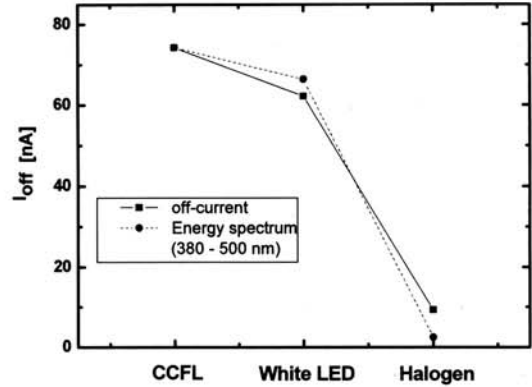


그림 5. 그림 2(a), (b), (c)로부터 표준화된 광 흡수 에너지 및 게이트 전압 -7.5 V 일때의 광누설 전류와의 비교.

Fig. 5. Comparison of the normalized photon energies from Fig. 2(a), (b), and (c) and the off-currents at the gate voltage of -7.5 V.

광누설 전류값의 상대적인 크기가 다양한 광원에 대하여 잘 fitting 되고 있음을 확인할 수 있으며, 결과적으로 비정질 실리콘의 광흡수 계수가 10^5 cm^{-1} 인 범위 안에서의 간략화된 광에너지 스펙트럼 특성 계산이 가능할 것으로 보인다.

4. 결론

다양한 백라이트 광원의 광스펙트럼 특성 및 비정질 실리콘의 광흡수 계수로부터 계산된 광원별 광흡수 에너지를 실제 비정질 실리콘 TFT 에서 측정된 광누설 전류값과 비교해 본 결과, 500 nm 이하의 파장에서의 광흡수 계수가 일정하다고 가정할 경우 계산된 값과 실험값이 상당히 유사한 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

결국 비정질 실리콘 TFT의 광전류 특성의 경우 짧은 파장, 특히 500 nm 이하 범위에서의 광원의 광특성에 크게 영향을 받는다는 기존 가설이 체계적으로 분석가능하다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구 중 백라이트 광원의 광스펙트럼 측정시 (주)엘엠에스의 도움에 의하여 진행되었음. 본 연

구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행되었고(No. 2009-0076193) 또한 2009년도 경원대학교의 연구 지원에 의한 결과임.

참고 문헌

- [1] S. Y. Yoo, H. S. Choi, J. I. Ryu, W. B. Lee, and J. Y. Lee, "Manufacturing process of 4 mask a-Si TFT panel by one step dry etching on Mo/Al/Mo data line", International Display Workshop '05, p. 1121, 2005.
- [2] S. Kido, M. Yamashita, K. Akagami, and Y. Mutayama, "Process evolution by photolithographic process techniques and improvement of conventional 4-mask process technologies", International Display Workshop '05, p. 2008, 2005.
- [3] C.-Y. Liang, F.-Y. Gan, P.-T. Liu, F. S. Yeh, S. H.-L. Chen, and T.-C. Chang, "A novel self-aligned etch-stopper structure with lower photo leakage for AMLCD and sensor applications", IEEE EDL., Vol. 27, No. 12, p. 978, 2006.
- [4] Y. J. Choi, B. C. Lim, I. K. Woo, J. I. Ryu, and J. Jang, "Low photo-leakage current amorphous silicon thin film transistor with a thin active layer", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 266-269, p. 1299, 2000.
- [5] J. H. Choi, C. S. Kim, B. C. Lim, and J. Jang, "A novel thin film transistor using double amorphous silicon active layer", IEEE ED, Vol. 45, No. 9, p. 2074, 1998.
- [6] 임승혁, 권상직, 조의식, "비정질 실리콘 TFT의 광누설 전류에 Backlight 광원의 광학적 특성이 미치는 영향에 대한 연구", 전기전자재료학회논문지, 21권, 9호, p. 844, 2008.
- [7] S. H. Im, S. J. Kwon, and E. S. Cho, "Photoelectric effects on the photocurrent of an a-Si:H thin film transistor due to the spectral properties of backlight sources", J. Kor. Phys. Soc., Vol. 54, No. 5, p. 1829, 2009.
- [8] N. Yoshida, Y. Shimizu, T. Honda, T. Yokoi, and S. Nomura, "A study of absorption coefficient spectra in a-Si:H films near the transition from amorphous to crystalline phase measured by resonant photothermal bending spectroscopy", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 354, p. 2164, 2008.
- [9] J. Melskens, G. van Elzaker, Y. Li, and M. Zeman, "Analysis of hydrogenated amorphous silicon thin films and solar cells by means of fourier transform photocurrent spectroscopy", Thin Solid Film, Vol. 516, p. 6877, 2008.