

이온빔 조사된 저온 소성 인듐 아연 산화막을 이용한 액정의 고속 스위칭 특성 연구

Fast liquid crystal switching performance on indium zinc oxide films with low curing temperature via ion-beam irradiation

오 병 윤*[★]

Byeong-Yun Oh*[★]

Abstract

Using the ion-beam irradiated indium zinc oxide (IZO) films which was cured at 100 °C, uniform LC and homogeneous alignment of liquid crystal (LC) molecules was achieved. The IZO film was deposited on the glass substrate at the curing temperature of 100 °C and irradiated by the ion-beam which is an LC alignment method. To verify the LC alignment characteristics, polarizing optical microscope and the crystal rotation method were used. Additionally, it was confirmed that the LC cell with the IZO films had an enough thermal budget for high-quality LC applications. Field emission scanning electron microscope was conducted as a surface analysis to evaluate the effect of the ion-beam irradiation on the IZO films. Through this, it was revealed that the ion-beam irradiation induced rough surface with anisotropic characteristics. Finally, electro-optical (EO) performances of the twisted-nematic cells with the IZO films were collected and it was confirmed that this cell had better EO performances than the conventional rubbed polyimide. Furthermore, the polar anchoring energy was measured and a suitable value for stable LC device operation was achieved.

요 약

100 °C에 소성한 인듐 아연 산화막 (IZO)을 이온빔 처리하여, 균일할 수평 액정 배향을 구현하였다. 유리 기판 위에 코팅된 IZO 박막을 100 °C에 소성하고 액정 배향 기술로 이온빔을 사용하였다. 이것을 이용하여 얻어진 액정 배향의 특성을 분석하기 위해서, 편광 현미경과 결정 회전법을 사용하였다. 또한 이온빔 처리된 IZO 박막을 이용하여 만든 액정 셀이 높은 품질의 액정 소자에 충분한 열적 안정성을 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 전계방출 주사 전자 현미경을 이용하여 이온빔의 IZO 박막의 표면에 미치는 영향을 분석하였다. 이것을 통하여 이온빔이 IZO 박막 표면의 거칠기를 변화시키고, 액정 배향에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 IZO 박막으로 제작한 액정 셀의 전기-광학 특성을 측정하였다. 그리고 이것이 기존에 사용되는 러빙법 처리된 폴리이미드 박막으로 제작한 액정 셀보다 뛰어난 특성을 가진다는 것을 확인하였다. 또한 액정 고정 에너지를 측정하여 이것이 균일한 액정 배향을 구현하기 위한 적합한 특성을 가진다는 것을 확인하였다.

Key words : Liquid crystal alignment, Indium zinc oxide, Ion-beam irradiation, Electro-optical property, Field emission scanning electron microscope

* BMC Co., Ltd.,

★ Corresponding author

E-mail : ohnleeu@gmail.com, Tel : +82-62-603-3799

※ Acknowledgment

Manuscript received Jul. 22, 2019; revised Sep. 23, 2019; accepted Sep. 26, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

균일한 액정(liquid crystal : LC) 분자의 배향은 액정 디스플레이(LCD) 기술에서 가장 중요하다[1, 2]. 균일한 액정 배향 없이는 액정 패널에 빛의 산란과 손상이 발생되며, 이것은 액정 소자의 품질을 심각하게 저하시킨다. 이것을 방지하기 위해서는 액정 분자를 배향시키는 방법이 필요하며 가장 대표적인 방법은 러빙법이다[3, 4]. 이 방법을 이용하여 액정 분자를 한 방향으로 배향시키며, 빛의 산란을 방지하기 위한 프리틸트 각을 발생시킨다. 하지만 이 방법은 액정 배향 면과 직접적으로 닿는 방식으로 러빙전에 의해 발생하는 먼지, 표면 결함 등의 문제점을 발생 시킨다[5]. 이러한 문제점들 또한 액정 소자의 품질을 저해시킬 수 있기에 극복할 수 있는 비접촉식 배향 방법의 연구가 꾸준히 연구되었다. 대표적인 비접촉식 배향 방법으론 이온빔 배향법이 있으며, 가속된 이온을 이용하며 조사된 표면의 특성을 변화시키는 방법이다[6]. 이것은 진공 시스템을 사용하기 때문에 얻어진 배향막의 청결도가 높다.

다양한 전자 소자에선 무기 산화막이 박막의 형태로 사용되며[7, 8], 그중에선 인듐과 아연이 높은 투과도와 전기적 특성으로 인해 다양한 분야에서 사용된다. 또한 인듐 아연 산화막(indium zinc oxide : IZO)은 낮은 온도에서 증착하는 것이 가능하기 때문에 용액 공정을 이용하여 기판 위에 박막을 형성하는 것이 가능하다[9, 10]. 또한 이것의 특성을 이용하여 액정 배향의 특성 중 하나인 전기-광학(electro-optical) 특성의 향상을 기대할 수 있다.

본 논문에선 100 °C에서 소성한 IZO 박막을 이온빔 처리하여 액정 배향 특성을 확인하였다. 용액 공정을 이용하여 유리 기판 위에 IZO 박막을 형성하고 100 °C에 소성시키고 이온빔 공정을 액정 배향법으로 사용하였다. IZO 박막 위의 액정 배향 상태를 분석하기 위해서, 편광 광학 현미경(polarizing optical microscopy : POM)와 결정 회전법(crystal rotation method)를 사용하였다. 그리고 이온빔에 의한 IZO 박막 표면 구조의 변화를 관찰하기 위해서 전계방출 주사 전자 현미경(field emission scanning electron microscope : FE-SEM)를 도입하였다. 마지막으로 액정 셀의 전기-광학 특성을 분석하기 위해 IZO 박막으로 twisted-nematic(TN) 셀을 제

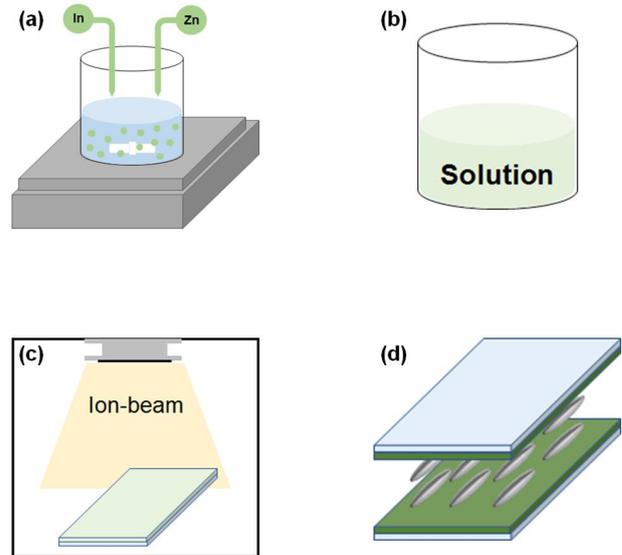


Fig. 1. (a) solution process using indium and zinc. (b) fabricated IZO solution. (c) ion-beam irradiation on IZO thin film. (d) fabricated LC cell with ion-beam irradiated IZO film.

그림 1. (a) 인듐과 아연을 이용한 용액 제작 공정. (b) 제작된 인듐 아연 산화 용액. (c) 인듐 아연 산막 위 이온빔 공정. (d) 이온빔 조사된 인듐 아연 화막을 이용한 액정 셀.

작하여 응답 속도와 문턱 전압을 측정하였다. 또한 액정의 고정 에너지를 측정하였다.

II. 실험 방법

IZO 박막을 기판 위에 형성하기 위해서, 먼저 IZO 용액을 제작하였다. 2-메톡시에탄올에 0.09 mol의 아연(zinc acetate dihydrate)와 0.01 mol의 인듐(indium nitrate hydrate)를 녹이고 아세트산과 에탄올아민을 안정제로 추가하였다(그림 1 (a)). 교반기 위에서 85 °C에 420 rpm의 속도로 2시간 동안 용액을 저어주고 최소 하루 동안 에이징을 시켰다(그림 1 (b)). 제작한 용액을 스핀 코팅기를 이용하여 유리 기판위에 코팅시키고(3000 rpm, 30초), 핫플레이트 위에 100 °C에 10분 동안 전열 처리 뒤 전기로에 넣어 100 °C에 2시간 동안 소성시켰다. 그 뒤에 제작한 IZO 박막을 이온빔 시스템에 위치하여 1700 eV의 세기로 2분 동안 조사시켰다(그림 1 (c)).

제작한 IZO 박막을 이용하여 60 μm 셀 갭의 anti-parallel 액정 셀과 5 μm 셀 갭의 TN 액정 셀을 만들고 액정 배향 특성을 측정하였다(그림 1

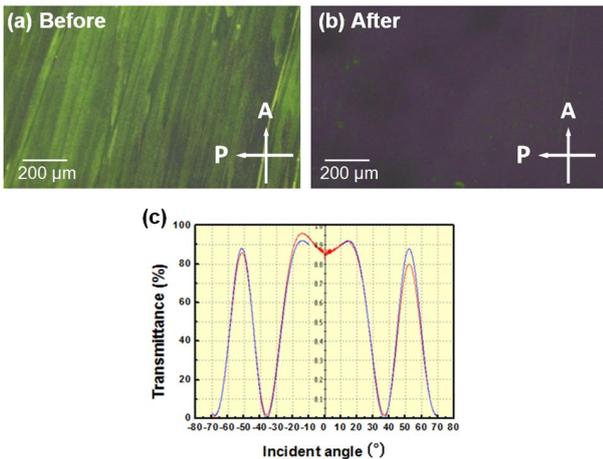


Fig. 2. POM images of LC cell with (a) before and (b) after ion-beam irradiated IZO films. (c) collected graph from crystal rotation method.

그림 2. (a) 이온빔 조사 전과 (b) 후의 IZO 박막을 이용한 액정 셀의 편광 현미경 사진. (c) 액정 셀 결정회전법 측정 결과 그래프.

(d). 모든 액정 셀은 모세관 힘을 이용하여 양의 액정(Merck; $n_e = 1.5859$, $n_o = 1.4872$, and $\Delta\epsilon = 8.2$)으로 채워졌다. POM(Olympus)과 결정 회전법(TBA 107)을 이용하여 액정 셀의 특성을 파악하였다. 그리고 액정 셀을 100 °C부터 160 °C까지 20 °C 씩 10분 동안 가열하고 냉각시키셔서 열적 안정성을 파악하였다. 그리고 이온빔에 의한 표면의 물리적 변화를 FE-SEM(S-4300SE, Hitachi)를 이용하여 분석하였다. 추가적으로 IZO 박막의 액정 소자로의 적용 가능성을 판단하기 위해서, 응답 속도와 문턱 전압을 포함하는 전기-광학 특성을 측정하였다. 또한 액정의 고정 에너지도 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

POM 분석을 이용하여 IZO 박막을 이용하여 제작한 anti-parallel 액정 셀의 액정 배향 특성을 그림 2와 같이 관찰하였다. 이온빔 조사 전에는 POM 사진 상에서 심각한 빛샘 현상과 균일하지 않은 색상이 관찰되었다. 이것은 이온빔 처리 되지 않은 IZO 박막 위에서는 액정 분자들의 배향이 균일하지 않다는 것을 의미한다. 이것으로 인하여 액정 셀을 통과하는 빛이 균일하게 조절되지 않아 결과적으로 불균일한 투과도가 발생된다. 반면에 이온빔 조사 후의 POM 사진 상에서는 균일한 투과도에 의한 검정 색상이 관찰되었다. 이것은 이온빔

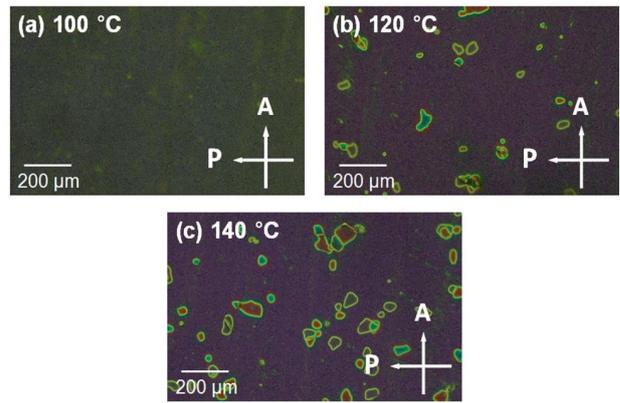


Fig. 3. POM image of LC cell based on ion-beam irradiated IZO films for thermal stability test.

그림 3. 편광 현미경을 이용한 이온빔 조사된 IZO 박막으로 제작한 액정 셀의 열적 안정성 테스트

처리된 IZO 박막 위에는 액정 분자들이 균일하게 배향되었다는 것을 의미한다. 균일하게 배향된 액정 분자들에 의해 액정 셀을 통과하는 빛이 균일하게 조절되며, 이 빛이 액정 셀에 부착되어있는 편광판들(그림 2 (a)와 (b)에서의 'A'와 'P')에 의하여 빛이 차단되어 균일한 검정 색이 POM 사진 상에서 관찰된다[11]. 결과적으로 POM 사진을 통하여 균일한 액정 배향이 이뤄졌다는 것을 확인하였다. 액정 배향에 있어서 또 다른 중요한 특성은 프리틸트 각이다. 전계가 액정 패널에 인가될 때 프리틸트 각이 존재해야 빛샘의 발생을 막을 수 있다. 액정 셀의 프리틸트 각은 회전 결정법으로 측정하였으며, 이 방법에선 액정 셀이 +70°에서 -70°까지 회전하며 통과하는 HeNe 레이저의 투과도를 측정한다(그림 2 (c)). 측정한 결과 그래프(붉은 선)과 시뮬레이션에 입력한 정보를 기초로 생성된 그래프(파란 선)이 얼마나 일치하는가를 확인하여 프리틸트 각을 얻을 수 있다. 이것을 통하여 이온빔 처리된 IZO 박막을 이용한 액정 셀이 0.07728°의 프리틸트 각을 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 이온빔 처리된 IZO 박막을 통해서 균일한 수평 액정 배향을 구현할 수 있었다.

액정 소자가 높은 품질을 유지하기 위해서는 열적 안정성이 반드시 필요하다. 열을 가한 액정 셀을 POM으로 분석하여 그림 3과 같이 열적 안정성을 분석하였다. 액정 셀을 100 °C에 10분 동안 가열한 후 냉각 시킨 뒤 POM으로 측정하고 균일한 검정 색상을 확인할 수 있었다. 이것은 액정 배향이 이 온도까지 유지된다는 것을 의미한다. 이 액정

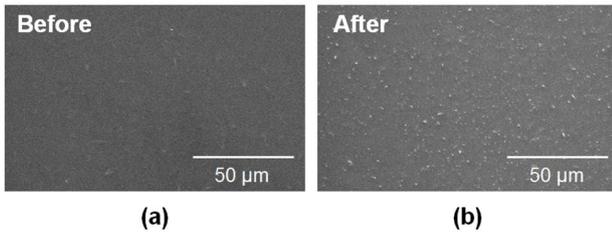


Fig. 4. Surface morphology analysis using FE-SEM image; before and after ion-beam irradiation.

그림 4. FE-SEM을 이용한 이온빔 조사 전과 후의 IZO 박막 표면 분석.

셀을 다시 120 °C에 10분 동안 가열한 뒤 냉각시켜 POM을 확인하였다. 전체적으로 균일한 검정 색상을 확인할 수 있었다. 약간의 손상이 보이긴 하지만 이것은 눈으로 확인하기에는 힘들다. 이것을 통해 이 액정 셀이 120 °C까지 액정 배향을 유지한다는 것을 확인했다. 하지만 액정 셀을 140 °C에서 가열한 뒤 측정한 POM 사진에서는 많은 손상들이 확인되었으며, 균일한 액정 배향이 유지되지 않음을 보이고 있었다. 하지만 기존 러빙 처리된 폴리이미드로 제작한 액정 셀이 100 °C까지의 열적 안정성을 가지는 것을 고려했을 때, IZO 박막으로 제작한 액정 셀은 뛰어난 열적 안정성을 가진다. 그리고 이것은 고품질의 액정 소자를 제작하는데 매우 적합한 특성이다.

이온빔 조사 전과 후를 비교해보면, 이온빔이 IZO 박막 위의 액정 분자의 균일한 배향에 영향을 줬다는 것은 명확하다. 일반적으로 이온빔은 조사된 박막 표면의 특성을 변화시키며 이로 인해 액정 분자들이 배향될 수 있다. FE-SEM을 이용하여 그림 4와 같이 IZO 박막 표면을 관찰하였다. 이온빔 조사 이전에는 표면에 눈에 띄는 특징이 존재하지 않으며, 이것은 IZO 박막이 매끈한 표면을 가진다는 것을 의미한다. 이온빔 조사 후에는 표면에 복합체들이 형성되어 있는 것이 확인 되었으며, 이것은 이온빔의 영향에 인하여 표면의 거칠기가 높아졌다는 것을 의미한다. 이온빔에 의해 거칠어진 IZO의 박막 표면은 이온빔 조사 방향으로 이방성을 가지게 된다. 그리고 이것을 통해 액정 분자들이 한쪽으로 정렬되고 균일한 배향이 얻어지게 된다. 결과적으로 이온빔에 의한 표면 구조의 변화가 균일한 액정 배향을 유도하게 된다.

이온빔 조사된 IZO 박막을 액정 소자에 사용할

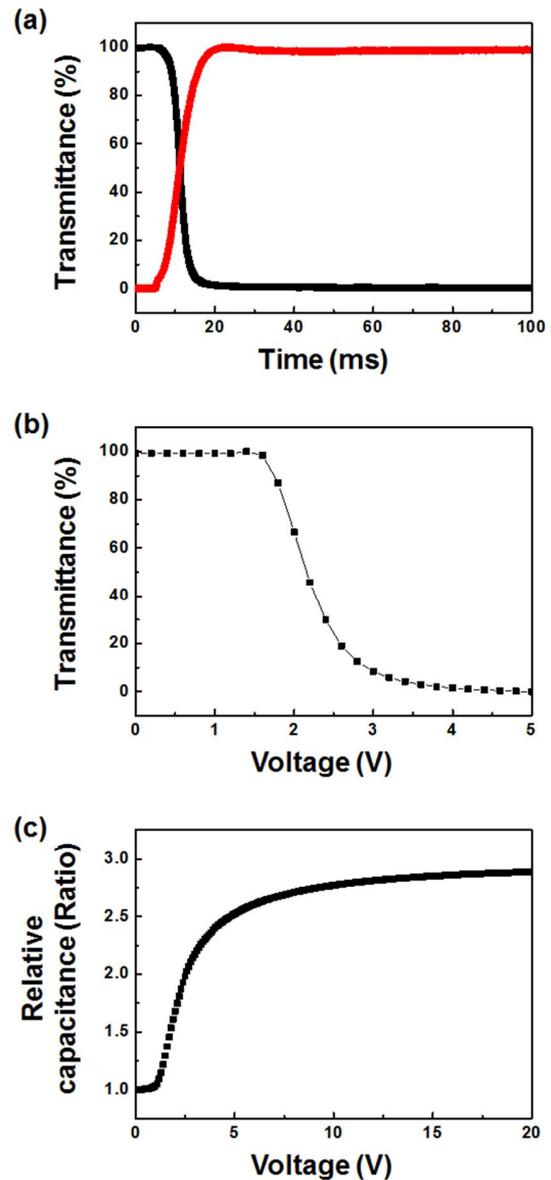


Fig. 5. (a) response time graph, (b) voltage-transmittance curve, and (c) anchoring energy characteristic of TN cells based on ion-beam irradiated IZO films.

그림 5. 이온빔 조사된 IZO 박막으로 제작한 TN 액정 셀로 측정한 (a) 응답속도 그래프, (b) 전압-투과도 그래프, (c) 액정 고정 에너지 그래프.

수 있는지를 판단하기 위해서 전기 광학적 특성을 분석하였다. 먼저 그림 5 (a)와 같이 IZO 박막으로 제작한 TN 셀의 응답속도를 측정하였다. 응답속도는 누워있던 액정이 전계에 의해 일어서는데 걸리는 시간인 상승시간(rise time)과 일어섰던 액정이 전계가 사라짐에 따라 다시 눕는데 걸리는 시간인 하강시간(fall time)으로 이루어져있다. 측정을 통해 TN 셀은 4.564 ms의 상승시간, 8.314 ms의 하

강시간을 가지며, 도합 12.878 ms의 응답속도를 가진다는 것을 확인하였으며 기존의 액정 소자에서 사용되는 러빙법 처리된 폴리이미드 기반 TN 셀에 뒤지지 않는 성능이다 [12]. 다음으로 TN셀의 중요한 특성인 문턱 전압 (threshold voltage)를 측정하였다. 그림 5 (b)에 측정한 전압-투과도 그래프를 표시하였다. 이 그래프에서 전체 투과도에서의 90% 때의 전압을 문턱 전압으로 판단한다. 그리고 이온빔 처리된 IZO 박막 기반의 TN 셀이 1.748 V의 문턱 전압을 가진다는 것을 측정하였다. 이것은 기존의 폴리이미드 기반 액정 셀보다 낮은 문턱 전압이다[12]. 추가적으로 액정 고정에너지를 그림 5 (c)와 같이 측정하였다. 이것을 통하여 IZO 박막 기반 액정 셀이 $8.07 \times 10^{-4} \text{ Jm}^{-2}$ 의 값을 가진다는 것을 확인하였으며, 약 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ Jm}^{-2}$ 의 고정 에너지를 가지는 폴리이미드 액정 셀에 비해 높거나 비슷한 값이다. 이러한 측정을 통해서 이온빔 조사된 IZO 박막으로 제작한 TN 셀이 매우 안정적이고 뛰어난 전기 광학 특성을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서 100 °C에 소성한 IZO 박막을 이온빔 처리하여 액정 셀을 제작하고 다양한 액정 배향 특성을 확인하였다. 이온빔 소정 전과 후의 배향 상태 비교를 통하여 액정의 배향에 이온빔이 중요한 역할을 한다는 것을 판단하였으며, 이것은 균일한 액정 배향을 구현하기 위해서는 IZO 박막에 이온빔 처리가 반드시 필요하다는 것을 의미한다. 또한 프리틸트 각 측정을 통해서 수평 배향이 구현된다는 것을 확인하였다. 이온빔은 조사된 박막 표면의 구조를 변화시키며 FE-SEM을 이용하여 분석하였다. 이온빔 조사 후 IZO 박막이 복합체들의 형성으로 인하여 거칠기가 증가하며, 이온빔 조사 방향으로 이방성이 발생된다. 이러한 표면의 변화로 인해 액정 분자들이 한쪽으로 정렬하고 균일한 배향이 얻어졌다. 마지막으로 전기 광학 특성 측정을 통하여 IZO 박막의 액정 소자로의 적용 가능성을 판단하였으며, 안정된 빠른 응답 속도와 낮은 문턱 전압을 확인하였다. 결과적으로 IZO 박막과 이온빔의 결합은 고품질의 액정 소자에 매우 적합하다. 그리고 이것은 액정 배향막을 형성시키는데 고온의 열

처리가 필요 없다는 것을 의미한다.

References

- [1] W. M. Gibbons, P. J. Shannon, S.-T. Sun, and B. J. Swetlin, "Surface-mediated alignment of nematic liquid crystals with polarized laser light," *Nature*, vol.351, pp.49-50, 1991. DOI: 10.1038/351049a0
- [2] M. Schadt, H. Seiberle, and A. Schuster, "Optical patterning of multidomain liquid-crystal displays with wide viewing angles," *Nature*, vol.381, pp.212-215, 1996. DOI: 10.1038/381212a0
- [3] J. Y. L. Ho, V. G. Chigrinov, and H. S. Kwok, "Variable liquid crystal pretilt angles generated by photoalignment of a mixed polyimide alignment layer," *Appl. Phys. Lett.*, vol.90, pp.243506, 2007. DOI: 10.1063/1.2748345
- [4] M. Liu, X. Zheng, S. Gong, L. Liu, Z. Sun, L. Shao, and Y. Wang, "Effect of the functional diamine structure on the properties of a polyimide liquid crystal alignment film," *RSC Adv.*, vol.5, pp.25348, 2015.
- [5] J. V. Haaren, "Wiping out dirty displays," *Nature*, vol.411, no.6833, pp.29-30, 2001.
- [6] J. Stöhr, M. G. Samant, J. Lüning, A. C. Callegari, P. Chaudhari, J. P. Doyle, J. A. Lacey, S. A. Lien, S. Purushothaman, and J. L. Speidell, "Liquid crystal alignment on carbonaceous surfaces with orientational order," *Science*, vol.292, pp. 2299-2302, 2001. DOI: 10.1126/science.1059866
- [7] J. M. Phillips, R. J. Cava, G. A. Thomas, S. A. Carter, J. Kwo, T. Siegrist, J. J. Krajewski, J. H. Marshall, W. F. Peck, Jr., and D. H. Rapkine, "Zincindiumoxide : A high conductivity transparent conducting oxide," *Appl. Phys. Lett.*, vol.67, pp.2246, 2000. DOI: 10.1063/1.115118
- [8] W. Beyer, J. Hüpkes, and H. Stiebig, "Transparent conducting oxide films for thin film silicon photovoltaics," *Thin Solid Films*, vol.516, pp.147-154, 2007. DOI: 10.1016/j.tsf.2007.08.110
- [9] J.-I. Song, J.-S. Park, H. Kim, Y.-W. Heo, J.-H. Lee, G. M. Kim, B. D. Choi, and J.-J. Kim,

“Transparent amorphous indium zinc oxide thin-film transistors fabricated at room temperature,” *Appl. Phys. Lett.*, vol.90, pp.022106, 2007.

DOI: 10.1063/1.2430917

[10] R. Martins, P. Barquinha, A. Pimentel, L. Pereira, and E. Fortunato, “Transport in high mobility amorphous wide band gap indium zinc oxide films,” *phys. stat. sol. (a)*, vol.202, pp.R95–R97, 2005. DOI: 10.1002/pssa.200521020

[11] J. H. Lee, H.-C. Jeong, H.-G. Park, and D.-S. Seo, “Hysteresis-free liquid crystal devices based on solution-derived oxide compound films treated by ion beam irradiation,” *RSC Adv*, vol.5, pp.54079–54084, 2015. DOI: 10.1039/C5RA09337F

[12] D.-H. Kim, “Fast Switching Properties of TN Cell with Graphene Quantum Dots,” *J. KIEEME*, vol.27, pp.110–114, 2014.

DOI: 10.4313/JKEM.2014.27.2.110

BIOGRAPHY

Byeong-Yun Oh (Member)



2004 : B.S. degree in Physics, Hanseo University.

2006 : M.S. degree in Metallurgical Engineering Yonsei University.

2011 : Ph.D. degree in Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University.

2011 ~ 2013 : Director, Optical Device Research Institute, LINKLINE I&C Co., Ltd.

2013 ~ 2014 : Research Fellowship, Materials Science and Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST).

2015 ~ 2018 : Chief Executive Officer (CEO), Administration Division, ZeSHTech Co., Ltd.

2018 ~ Present : Director, Research and Development Division, BMC Co., Ltd.