


고유전을 Yttrium Oxide을 이용한 네마틱 액정 디스플레이의 고속 응답 전기-광학 특성

정운호¹, 정해창² 

¹ LG 전자

² 연세대학교 공학연구원

Fast Switching of Twisted Nematic Liquid Crystals Display Based on a High-K Yttrium Oxide

Yoon Ho Jung¹ and Hae-Chang Jeong²

¹ LG Electronics, Seoul 07796, Korea

² Yonsei Institute of Engineering Research, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

(Received April 8, 2019; Revised April 30, 2019; Accepted May 4, 2019)

Abstract: We investigated a solution-derived Y_2O_3 film treated by ion beam (IB) irradiation as a liquid crystal (LC) alignment layer. With IB irradiation, homogeneous LC alignment was achieved irrespective of the annealing temperature. To verify the effect of IB irradiation, we conducted surface analyses such as X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and scanning electron microscopy (SEM). As Y_2O_3 is a high-k material, the electro-optical properties of the twisted nematic (TN) cells were superior to those of conventional TN cells based on a rubbed polymer, with an LC rising time of 4.1ms and falling time of 2.9ms. The IB-irradiated Y_2O_3 is a good alternative as an alignment layer for fast-switching TN LC displays.

Keywords: Yttrium oxide, Ion beam irradiation, Twisted nematic mode, Liquid crystals

1. 서론

최근 수십 년간 우리는 스마트폰, 고화질 곡면 TV 등 우리의 삶의 질을 비약적으로 높여준 디스플레이 산업의 두드러진 발전을 목격해 왔다. 액정디스플레이(liquid crystal display, LCD)는 최전선에서 디스플레이 산업의 발전을 이끌었으며, 여전히 유기발광소자(organic light emitting diode, OLED)와 함께 디스플레이 산업에서의 중요한 위치를 차지하고 있다. 최근

양자점(quantum dots, QD)을 적용한 생동감 있는 디스플레이 구현은 디스플레이 산업에서 액정디스플레이의 경쟁력을 보여 주었다 [1,2]. 이러한 액정 디스플레이의 지속적인 경쟁력 확보를 위해서는 더욱더 균일하고 우수한 화질의 구현과 고속응답 전기 광학 특성 연구가 필요하다 [3,4].

균일한 액정 분자의 정렬 제어 공정은 우수한 화질 구현을 위해서 매우 중요하다 [5,6]. 현재 액정디스플레이 제작 공정에서 사용되고 있는 방법은 천으로 둘러싸여 있는 롤러(roller)를 회전시켜 PI (polyimide) 고분자 박막 표면에 접촉하여서 일정 방향으로 PI 고분자를 정렬하는 러빙법이다 [7]. 정렬된 PI 고분자에 의하여 맞닿은 액정 분자가 분자간력에 의하여 정렬됨으로써 균일한 액정 배향이 가능해진다. 하지만 러빙법

✉ Hae-Chang Jeong; gundamhc@yonsei.ac.kr

에 의한 액정 배향 기술은 러빙천과 기판 사이의 마찰에 의하여 정전기와 먼지 그리고 불순물이 발생하는 문제점이 있다. 마찰에 의하여 발생한 정전기는 트랜지스터 소자를 파괴시키고, 먼지와 불순물은 균일한 배향을 방해하여 액정디스플레이의 성능을 현저히 떨어뜨리는 문제를 야기한다 [8]. 이러한 문제를 극복하기 위하여 비접촉식 액정 배향 공정 연구가 진행되어 왔다. 비접촉식 배향 방법에는 UV (ultra-violet)를 이용한 광배향법 [9], 경사 증착법 [10], 이온빔 방사법 [8,11] 등이 있다. 본 논문에서는 이온빔 방사법을 이용한 안정적인 균일한 화질의 액정디스플레이를 제작하였다. 이온빔 방사법은 다른 비접촉식 배향 방법과는 달리 표면 박막의 높은 앵커링 에너지에 의해서 균일하고 강력한 액정 분자 정렬이 가능하여, 안정적인 액정 배향이 가능하다 [8,11].

이와 더불어 빠르게 움직이는 영상의 원할한 이미지 처리를 위하여 액정디스플레이는 고속응답 특성을 요구한다. 액정의 응답특성은 인가한 전압에 큰 영향을 받는다. 따라서 최근에는 고속응답 특성을 위하여 고전압을 인가하는 오버드라이빙 기술을 이용하기도 하였다 [12]. 하지만 오버드라이빙 기술은 액정 디스플레이 구동 시 역잔상이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 고유전율의 Y_2O_3 박막을 사용하여 구동 임계전압을 낮추었으며, 이로 인하여 빠른 응답 속도를 구현하였다. 고유전율의 Y_2O_3 은 14의 유전상수를 가지고 있으며, 기존의 PI의 유전상수 2.6보다 매우 크다 [13]. 따라서 뛰어난 표면 전하 축적 능력을 가지고 있으며, 낮은 구동전압에서도 액정 구동 시 필요한 표면 전하를 달성할 수 있기 때문에 고속 응답 특성의 액정 디스플레이 구현이 가능하다. 또한, 6 eV 이상의 넓은 밴드 갭을 가지고 있어, 매우 투명하기 때문에 기존의 PI를 대체하여 액정 배향 막으로 사용하기에 매우 적합한 물질이다 [14].

2. 실험 방법

우선 졸 겔 공정을 이용하여 Y_2O_3 박막을 제작하였다. 실험에 사용할 재료로 2ME (2-methoxyethanol) 용액에 yttrium nitrate hexahydrate [$Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$]을 녹여 0.1 M의 Y_2O_3 용액을 제작하였다. 이때 monoethanolamine과 acetic acid를 안정제로서 첨가하였다. 제작된 용액은 75°C에서 5시간 동안 교반하고 1일 이상 에이징(aging)하였다. ITO (indium tin oxide)가 코팅된

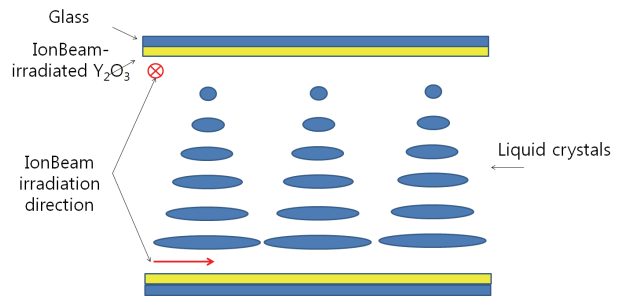


Fig. 1. Configuration of TN LC cell based on IB-irradiated Y_2O_3 film.

glass (Samsung Corning 1737: 표준 $32 \times 22 \times 1.1$ mm³, 면 저항 10 Ω /sq)를 기판으로 사용하고, 제작된 용액을 30초간 3,000 rpm에서 스핀코팅 하였다. 이후 100, 200, 300, 400 및 500°C의 온도에서 2시간 동안 소성하였다. 500°C보다 높은 온도는 유리가 열에 의해 변형되는 연화온도이기 때문에, 그 이하의 온도에서 디스플레이를 제작하는 것이 적합하므로 500°C 이하의 소성온도 조건에서 실험을 진행하였다. 각 조건의 샘플은 2분간 45°의 입사각도로 전력 1.8 keV, 전류밀도 1 mA/cm²의 이온 빔을 방사하였다. 액정 배향 특성을 확인하기 위하여 상하판의 이온빔 방사 방향이 180°인 anti parallel 액정 셀을 제작하고, 셀 갭을 60 μ m로 유지하도록 하였다. 전기광학 특성을 확인하기 위하여 그림 1과 같이 TN (twisted nematic) 액정 셀을 제작하였으며, 상하판의 이온빔 방사 방향이 90°가 되도록 하여 액정 배열 방향 또한 90°로 꼬이게 만들었다. 셀 갭이 5 μ m인 스페이서를 이용하여 유지하였다. 양의 유전율 이방성을 갖는 액정(MJ001929, ne = 1.5859, no = 1.4872 and De = 8.2, Merck)을 사용하였다. 그리고 액정 배향 특성을 확인하기 위하여 polarized optical microscopy (POM, Olympus, Japan)를 이용하였다. 액정의 프리틸트 각은 crystal rotation method (TBA 107, Autronic, Germany)을 이용하여 측정하였다. 각 조건당 10개의 샘플을 측정하여 평균값으로 나타내었다. 표면 젖음 특성을 확인하기 위하여 박막 위에 물방울을 떨어뜨려 surface angle analyzer (Phoenix 300, Surface Electro Optics, Korea)로 물 접촉각을 측정하였다. 각 샘플당 2번 측정하여 평균값을 나타내었다. 전기 광학 특성인 응답속도 및 임계전압은 LCD evaluation system (LCMS-200, Sesim photonics, Korea)을 사용하여 측정하였다. 이온빔 방사에 의한 Y_2O_3 막의 표면 변화를 조사하기 위하여 FE-SEM (field-emission

scanning electron microscopy, JSM-6701F, JEOL Ltd., Japan)을 이용하여 표면 형상을 관측하였고, XPS (X-ray photoelectron spectroscopy, K-alpha, Thermo U.K., U.K.)을 이용하여 Y₂O₃ 막의 화학 결합 상태를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

이온빔이 방사된 Y₂O₃ 박막의 액정 배향 특성을 평가하기 위하여, Y₂O₃ 박막의 소성온도에 따른 액정 셀 POM 이미지를 그림 2에 보여주었다. Anti parallel 액정 셀을 사용하여 액정 배향 특성을 평가하였으며, 액정 셀은 서로 방향이 90°로 틀어져 있는 상하 측 편광판 사이에 위치해 있다. POM으로 확인한 액정 셀은 이온빔이 방사된 Y₂O₃ 박막의 소성온도에 관계없이 검은색으로 나타났다. 하측 편광판을 투과하여 진행하는 빛이 균일하게 한방향으로 정렬된 액정 분자들을 통과하면서 상측의 90°로 틀어져 있는 편광판에 빛이 차단되어 나타난다. 이는 이온빔이 방사된 방향으로 액정 분자들이 정렬되었음을 나타낸다. 이온빔 방사는 박막의 소성온도와는 관계없이 균일한 액정 배향 특성을 보이도록 액정디스플레이를 제작할 수 있는 유용한 기술이라는 것을 의미한다.

그림 3은 이온빔이 방사된 Y₂O₃ 박막의 소성온도에 따른 액정의 프리틸트 각을 나타낸다. 프리틸트 각은 phase retardation을 이용하여 계산하였다 [15].

$$\Phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \left[\frac{(n_e^2 - n_o^2) \sin\theta \cos\theta \sin\psi}{(n_o^2 \cos^2\theta + n_e^2 \sin^2\theta)} + \frac{n_e n_o \sqrt{n_o^2 \cos^2\theta + n_e^2 \sin^2\theta - \sin^2\psi}}{(n_o^2 \cos^2\theta + n_e^2 \sin^2\theta)} - \sqrt{n_o^2 \cos^2\theta + n_e^2 \sin^2\theta - \sin^2\psi} \right] \quad (1)$$

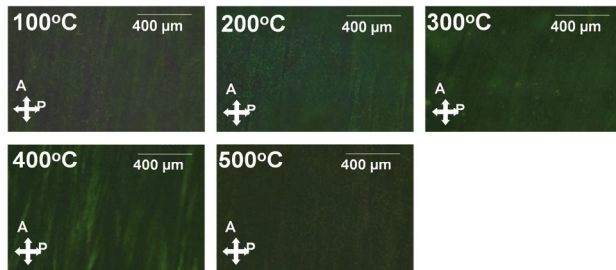


Fig. 2. POM images of anti-parallel cells with IB irradiated Y₂O₃ films at different annealing temperature.

Φ는 측정된 phase retardation, θ는 액정의 프리틸트 각, λ는 빛의 파장, ψ는 빛의 입사 각도, n_e와 n_o는 액정의 굴절률 이방성을 나타낸다. 위 식을 이용하여 계산한 프리틸트 각은 소성온도 100, 200, 300, 400, 500°C에 따라 각각 평균 0.25°, 0.15°, 0.32°, 0.87°, 0.43°의 값을 갖는다.

그림 4는 소성온도에 따른 이온빔이 방사된 Y₂O₃ 박막의 물 접촉각을 나타낸다. 산화 막 위의 액정 프리틸트 각은 Friedel-Creagh-Kmetz (FCK) 법칙에 따라 박막의 표면 에너지, 즉 젖음 특성과 밀접한 경향을 보인다 [16]. Y₂O₃ 박막의 물 접촉각은 소성온도 100, 200, 300, 400, 500°C에 따라 각각 43°, 40°, 46°, 53°, 50°을 갖는다. 이온빔 방사된 Y₂O₃ 박막은 소성온도와 관계없이 낮은 접촉각 특성을 확인할 수 있었고, 이로부터 친수성 표면인 것으로 확인된다. 이는 1° 이하의 프리틸트 각을 갖고 수평 배향된 앞선 프리틸트 각 결과와 일치한다. 또한 소성온도에 따른 접촉각 특성의 경향은 프리틸트 각과 매우 유사한 경향을 보였다.

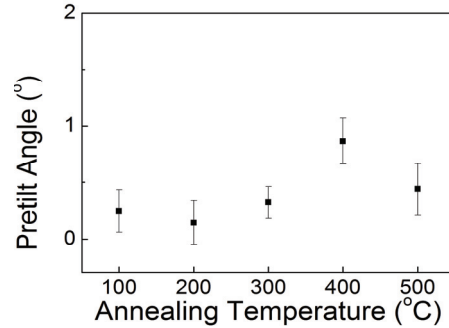


Fig. 3. Pretilt angle of LC molecules on IB-irradiated Y₂O₃ films at different annealing temperature.

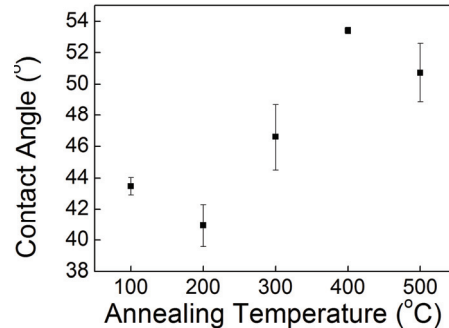


Fig. 4. Contact angle of water drop on IB-irradiated Y₂O₃ film deposited on glass substrates at different annealing temperature.

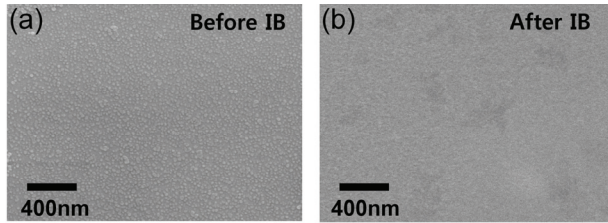


Fig. 5. SEM images of solution-processed Y_2O_3 film deposited on glass substrates annealed at $400^\circ C$ (a) without IB irradiation and (b) with IB irradiation.

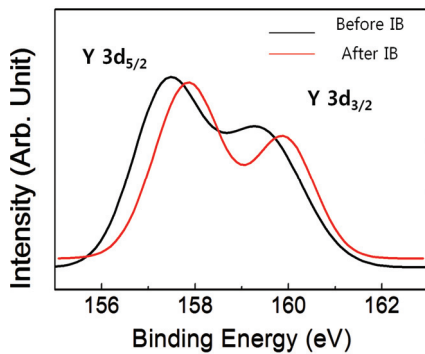


Fig. 6. XPS spectra of Y 3d from as-deposited Y_2O_3 films and IB-irradiated Y_2O_3 at annealing temperature of $400^\circ C$.

그림 5는 이온빔 방사 전과 후의 Y_2O_3 박막 표면의 SEM 이미지를 나타낸다. 이온빔 방사 전 박막 표면은 많은 수의 입자가 있었으나, 이온빔 방사 후 박막의 입자들이 줄어들어 것을 볼 수 있다. 이는 이온빔의 smoothing effect에 의하여 표면 거칠기가 줄어들어 것으로 볼 수 있다 [17].

그림 6은 이온빔 방사 전과 후 Y_2O_3 박막의 화학 조성 변화를 분석하기 위하여 조사한 XPS 스펙트럼이다. 155-163 eV 범위의 binding energy는 yttrium 3d 스펙트럼을 나타내며, spin orbit splitting에 의하여 두 가지 state로 나누어진다. 앞쪽 157 eV 근처 peak는 $3d_{5/2}$ 을 나타내고, 뒤쪽 159 eV 근처 peak는 $3d_{3/2}$ 을 나타낸다. 이온빔 방사 전 Y_2O_3 박막은 157.3 eV의 $3d_{5/2}$ peak와 159.3 eV의 $3d_{3/2}$ peak를 확인할 수 있었다. 이온빔 방사 후 Y3d 스펙트럼은 오른쪽으로 이동되는 것을 확인할 수 있다. 이는 이온빔에 의하여 yttrium과 oxide 원자의 재배열이 일어났기 때문이다. 이러한 원자 재배열은 이온빔이 방사된 방향으로 Y_2O_3 박막 표면에 이방성을 주어, 액정이 이온빔 방사된 표면 위에서 균일하게 배향될 수 있도록 하였다.

그림 7은 이온빔 방사된 Y_2O_3 으로 제작한 TN 액정

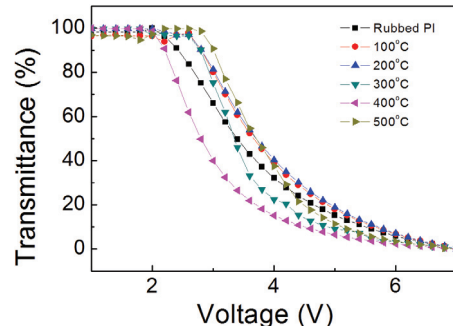


Fig. 7. V-T characteristics of TN-LC cells with IB-irradiated Y_2O_3 films.

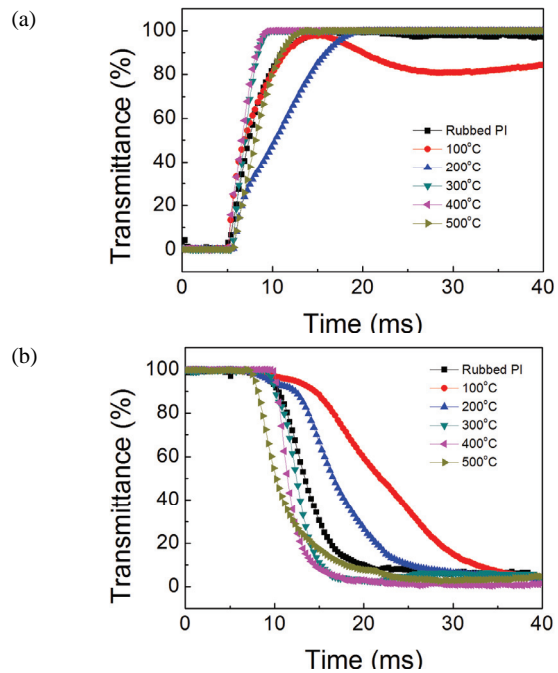


Fig. 8. Response time of TN-LC cells with IB-irradiated Y_2O_3 films (a) rise time and (b) fall time.

셀의 전압-투과율(V-T) 그래프를 나타낸다. Threshold voltage(투과도 90%에서의 전압, 임계전압)는 소성온도 $400^\circ C$ 에서 2.21 V로 가장 낮게 나왔다. 러빙 PI TN 액정 셀에서의 threshold voltage인 2.40 V와 비교하였을 때 더 낮은 임계전압을 보여주었다.

뿐만 아니라, 그림 8의 응답특성 그래프에서도 러빙 PI TN 액정 셀은 각각 8.5ms와 13.2ms의 rise time(전계 인가 시)과 fall time(전계 제거 시) 상승 시간과 하강 시간을 보인 반면, $400^\circ C$ 소성온도에서 4.1ms의 rise time과 2.9ms의 fall time을 보여주었다. 이는 감소된 threshold voltage에 의하여 빠른 응답속도를 보여준 것으로 보인다. 이러한 결과 감소된 임계전압

및 응답 시간은 이온빔 방사된 Y_2O_3 배향 막이 고성능 액정표시장치에 사용될 수 있음을 시사한다.

4. 결론

본 논문에서는 고유전을 Y_2O_3 박막에 이온빔을 방사하여 고속 응답 특성의 TN 액정 셀을 제작하였다. 박막의 소성온도에 관계없이 이온빔 방사 후 균일한 액정 배향 특성을 보여주었다. XPS와 SEM 분석으로부터, 이온빔의 smoothing effect에 의하여 표면 박막의 파티클이 줄어들었고, 구성 원자의 위치가 재배열되었음을 확인하였다. 또한, high-k 물질인 Y_2O_3 으로 인하여 threshold voltage를 낮출 수 있었으며, 4.1ms과 2.9ms의 rise time과 fall time를 얻었다. 위 결과는 기존의 러빙 PI TN 액정 셀보다 우수한 응답특성을 나타낸다. 이온빔 방사한 Y_2O_3 박막은 기존의 러빙 PI를 대체하는 배향 막으로서 고속 응답 특성의 TN 액정 디스플레이 구현 가능성을 보여주었다.

ORCID

Hae-Chang Jeong

<https://orcid.org/0000-0002-4888-2917>

REFERENCES

- [1] J. S. Steckel, R. Colby, W. Liu, K. Hutchinson, C. Breen, J. Ritter, and S. Coe-Sullivan, *J. Soc. Inf. Disp.*, **44**, 943 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2168-0159.2013.tb06377.x>]
- [2] J. S. Steckel, J. Ho, C. Hamilton, J. Xi, C. Breen, W. Liu, P. Allen, and S. Coe-Sullivan, *J. Soc. Inf. Disp.*, **23**, 294 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.1002/jsid.313>]
- [3] W. K. Lee, Y. S. Choi, Y. G. Kang, J. Sung, D. S. Seo, and C. Park, *Adv. Funct. Mater.*, **21**, 3843 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.201101345>]
- [4] H. Choi, H. Higuchi, and H. Kikuchi, *Appl. phys. Lett.*, **98**, 131905 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3564896>]
- [5] Y. Garbovskiy, *Appl. phys. Lett.*, **108**, 121104 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4944779>]
- [6] Y. Liu, J. H. Lee, D. S. Seo, and X. D. Li, *Appl. phys. Lett.*, **109**, 101901 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4962329>]
- [7] H. Miyata and K. Kuroda, *Chem. Mater.*, **11**, 1609 (1999). [DOI: <https://doi.org/10.1021/cm9900507>]
- [8] P. Chaudhari, J. Lacey, J. Doyle, E. Galligan, S.C.A. Lien, A. Callegari, G. Hougham, N. D. Lang, P. S. Andry, R. John, K. H. Yang, M. Lu, C. Cai, J. Speidell, S. Purushothaman, J. Ritsko, M. Samant, J. Stöhr, Y. Nakagawa, Y. Katoh, Y. Saitoh, K. Sakai, H. Satoh, S. Odahara, H. Nakano, J. Nakagaki, and Y. Shiota, *Nature*, **411**, 56 (2001). [DOI: <https://doi.org/10.1038/35075021>]
- [9] J. B. Kim, J. R. Lim, J. S. Park, H. J. Ahn, M. J. Lee, S. J. Jo, M. Kim, D. Kang, S. J. Lee, Y. S. Kim, and H. K. Baik, *Adv. Funct. Mater.*, **18**, 1340 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.200700747>]
- [10] S. H. Choi, J. Y. Hwang, S. Kim, B. Y. Oh, J. M. Myoung, and D. S. Seo, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45**, L1280 (2006). [DOI: <https://doi.org/10.1143/JJAP.45.L1280>]
- [11] 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, *Science*, **292**, 2299 (2001). [DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1059866>]
- [12] J. Someya and N. Okuda, *J. Soc. Inf. Disp.*, **13**, 517 (2005). [DOI: <https://doi.org/10.1889/1.1974006>]
- [13] L. Manchanda and M. Gurvitch, *IEEE Electron Device Lett.*, **9**, 180 (1988). [DOI: <https://doi.org/10.1109/55.682>]
- [14] P. de Rouffignac, J. S. Park, and R. G. Gordon, *Chem. Mater.*, **17**, 4808 (2005). [DOI: <https://doi.org/10.1021/cm050624+>]
- [15] T. J. Scheffer and J. Nehring, *J. Appl. Phys.*, **48**, 1783 (1977). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.323928>]
- [16] Y. F. Chung, M. Z. Chen, S. H. Yang, and S. C. Jeng, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **7**, 9619 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.5b01157>]
- [17] F. Frost, B. Ziberi, A. Schindler, and B. Rauschenbach, *Appl. Phys. A*, **91**, 551 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1007/s00339-008-4516-0>]