

나노 금속 격자형 편광필름 제작에서 증착 두께에 따른 광 특성 연구

김지원 · 조상욱 · 정명영[†]

부산대학교 인지메카트로닉스공학과

A Study on Optical Characteristic of Nano Metal Grid Polarizer Film with Different Deposition Thickness

Jiwon Kim, Sanguk Cho and Myung Yung Jeong[†]

Department of Cogno-Mechatronics Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

(Received March 18, 2015; Corrected March 26, 2015; Accepted March 27, 2015)

초 록: 본 연구에서는 대면적 나노 금속 격자형 편광 필름 제작에서 증착 두께에 따른 광 특성 연구를 수행하였다. 나노 금속 격자형 편광필름은 PET(Polyethylene phthalate)기판 위에 알루미늄 선 격자 구조로 구성된다. 본 연구에서는 대면적 편광필름 제작을 위한 증착공정을 통한 금속 격자 형성을 목표로 하였으며, 금속 격자형 편광 필름 제작에 있어 최적의 투과율과 소광비를 가지는 금속 박막 형성 조건을 도출하였다. 최적화 공정에 의해 나노 금속 격자형 편광필름은 140 nm 주기, 70 nm 선폭, 70 nm의 금속층 높이를 가지는 금속 격자 구조로 제작 되었다. 분석결과 600 nm 파장에서 80% 이상의 최고 투과율 및 10^6 이상의 소광비를 가지는 나노 금속 격자 편광필름의 높은 광 특성을 확인하였다.

Abstract: In this study, we demonstrate the change of optical characteristic by thickness of metal deposition on nano metal grid polarizer film fabrication. Nano metal grid polarizer film consists of aluminium grid polarizer layer on PET (Polyethylene phthalate) substrate. We aim at metal grid layer formation for the large nano wire grid polarizer fabrication. we draw process conditions of the nano metal grid polarizer film fabrication to improve transmittance and extinction ratio and Nano wire grid polarizer film (NWGP) film is fabricated with 140 nm pitch, 70 nm width, and 70 nm depth of metal grid on optimum design conditions. As a result, we get high optical properties of nano wire grid polarizer which is the maximum transmittance of 80% and the extinction ratio of 10^6 at 600 nm wavelength respectively.

Keywords: Nano wire grid polarizer, E-beam evaporation, Nano patterning, Roll to roll nano imprint lithography

1. 서 론

최근 디스플레이의 효율 향상은 매우 중요한 이슈이며, 이를 위해 예전부터 반사형 편광필름(Dual Brightness Enhancement Film : DBFE)을 대체 할 수 있는 나노 금속 격자형 편광필름의 연구들이 많이 진행되고 있다. 나노 금속 격자형 편광필름은 편광 효율이 높고, 광 시야각 및 장기 신뢰성이 뛰어나며, 명암비가 높아 고효율의 디스플레이 구현이 가능하다.¹⁾

기존 디스플레이는 광원으로부터 출력되는 빛의 5% 미만에 불과 하며, 기존 디스플레이의 효율 감소의 가장 큰 원인은 디스플레이의 구성요소로서 수직으로 요구되는 편광필름이 투광시키지 못하는 광원을 흡수하는 방법으

로 구성되어 있기 때문이다. 따라서, 기존의 디스플레이의 효율 향상을 위해서 기존의 흡수되는 광원을 다시 반사시켜 광원의 손실을 막는 금속 격자형 편광 필름이 제안되었으며, 효율의 극대화를 위해 피치 간격이 매우 조밀한 나노 금속 격자형 편광필름 개발 연구가 활발히 수행되고 있다.^{1,2)}

나노 금속 격자형 편광필름은 입사되는 광원의 파장보다 금속선의 배열주기를 조밀한 형태로 구성하여 입사되는 광원의 편광 성분 에 따라 금속선 배열주기와 평행한 파장은 반사되고 수직인 파장은 투과되는 특성이 나타난다. 따라서, 효율의 극대화를 위해서는 피치의 간격이 광원의 파장 길이의 반 이하가 되는 매우 조밀한 나노 금속선 격자 구조가 요구되어 진다. 이러한 금속선 격자구조의 편광 필

[†]Corresponding author
E-mail: myjeong@pusan.ac.kr

© 2015, The Korean Microelectronics and Packaging Society

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.

름의 제작을 위해서는 금속 주기의 미세화가 가장 핵심 기술이다.^{3,4)}

현재, 연구되고 있는 나노 금속 격자형 편광필름은 고분자 기관 위에 금속 증착공정을 통하여 일정한 금속층을 형성하고 나노 임프린트 리소그래피(nano imprint lithography) 공정 등을 통해 나노 격자 패턴을 제작한다. 나노 임프린트 리소그래피 공정을 통해 제작된 나노 격자 패턴은 식각공정을 위한 식각 마스크로 활용하여 최종 나노 금속 격자를 형성한다.⁵⁾

현재, 식각 공정을 통한 나노 금속 격자형 편광필름은 기존 공정에 의해 크기가 제한되어, 대면적화가 요구되어지는 디스플레이 분야에 적용하기가 어렵다. 따라서, 대면적 디스플레이에 적용 가능한 나노 금속 격자형 편광필름 제작 및 양산 공정을 위해 금속 증착 공정에 의한 금속 격자형성 연구들이 최근 진행 되고 있으며, 금속 격자를 나노 패턴이 형성된 기관에 정밀하게 형성하기 위한 다양한 방법들이 연구되고 있다.

증착 공정을 통한 나노 금속 격자형 편광필름은 롤투롤 임프린트 리소그래피 공정과 같은 연속 공정을 통해 나노 패턴을 형성 하고 형성된 나노 패턴을 증착 마스크로 이용하여 금속층을 형성한다. 금속 증착 공정은 양산성 및 대면적화와 같은 많은 장점을 가지고 있지만 나노 패턴의 상부 및 하부에 동일하게 증착이 형성되어, 투과율이 낮은 단점을 가지고 있다. 또한 디스플레이에서 요구하는 최적의 투과율 및 소광비를 위해서는 금속 증착 두께에 따른 광 특성 분석이 필요한 실정이다.⁶⁻⁸⁾

따라서, 본 연구에서는 증착 공정을 통해 제작 되는 나노 금속 격자형 편광필름의 금속 증착 두께 따른 광학적 특성을 평가하고, 투과율 및 소광비의 최적화된 나노 금속 격자형 편광필름 제작 연구를 수행하였다.

2. 나노 금속 격자형 편광필름 제작을 위한 격자 설계

디스플레이 적용을 위한 편광필름의 효율 저하를 개선시키기 위해서는 기존 흡수형 편광판에 의한 빛의 소실을 막는 반사형 편광판의 개발이 수행되어야 하며, 이를 위해서 나노 금속 격자 구조 설계 연구를 수행하였다.

나노 와이어 그리드 편광자는 Rayleigh 공명이론에 의해 금속 미세 격자와 y축으로 직교하는 편광이 임의의 입사각에서 1개 이상의 특정 파장의 투과율이 급격히 저하되는 현상을 이용하여, 아래의 이상편광 수식을 통해 나노 금속 격자의 주기를 설계하였다.

$$\lambda = \frac{P(n \pm \sin \theta)}{k}$$

이 때, 금속 격자의 물질은 알루미늄으로 P는 금속 미세 선격자의 피치(pitch)이며, n은 격자를 둘러싸는 매질의 굴절률, k는 발생하는 회절광의 차수에 대응하는 정수, λ는 공기 중에서 공명이 일어나는 파장, θ는 공기 중에서 공명

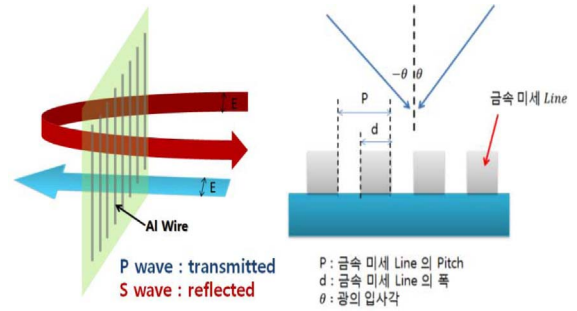


Fig. 1. Schematic of polarization recycling principle using metal wire grid polarizer film.

이 일어나는 입사각이다. 디스플레이에 사용하는 가시광선 영역(400 nm~750 nm)에서의 편광 현상을 위해서는 pitch의 크기는 최소 200 nm 이하가 되어야 하며, 최적의 이상 편광을 위해 pitch의 크기는 140 nm로 구조를 설계되어야 한다.⁹⁻¹¹⁾

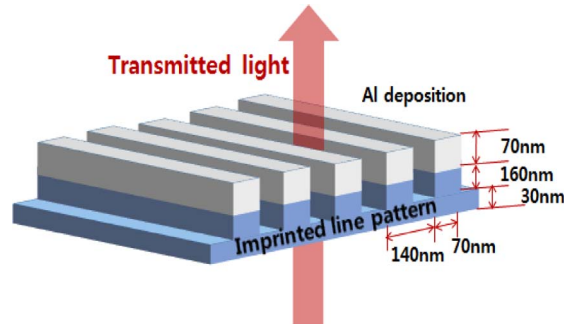


Fig. 2. Design of metal wire grid polarizer film.

따라서, 설계된 나노 와이어 그리드 편광자는 Fig. 2와 같이 알루미늄 격자의 피치를 140 nm로 설계하였으며, 기관은 롤투롤 임프린트 리소그래피와 같은 연속형 공정을 위해 PET 필름 기관을 사용하였다. 기관에 각인된 패턴의 높이는 160 nm, 알루미늄의 높이는 70 nm의 나노 금속 격자형 편광필름 격자를 설계하였다.

3. 나노 금속 격자 제작을 위한 나노 패턴 형성

설계된 나노 금속 격자형 편광필름 제작을 위해 연속형 공정인 롤투롤 임프린트 리소그래피 공정을 통해 나노 패턴을 형성 연구를 수행하였다.

나노 패턴 형성을 위한 롤투롤 임프린트 리소그래피 공정에서 미세 패턴 성형은 높이 방향의 성형 정밀도가 매우 중요하다. 롤투롤 임프린트 리소그래피의 특성상 일정한 속도로 필름 기관이 이송되며, 이러한 이송 속도는 미세 패턴의 성형 압력이 가해지는 시간에 영향을 준다. 또한 필름 기관에 가해지는 압력은 성형 후 발생하는 잔류층 두께 변화를 야기 시키며, 잔류층의 두께 증가는 편광 필름의 투과율 저하를 가져온다. 따라서, 본 연구에서는 설계된 나노 패턴의 성형을 위해 최적의 압력 조건 및 최소 잔류층 두께

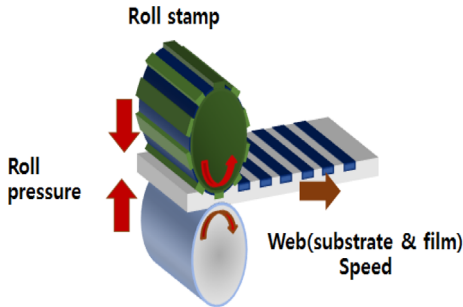


Fig. 3. Schematic of Roll to roll imprint lithography process.

를 고려한 공정 조건을 도출 하여 나노 패턴을 성형하였다. 설계된 160 nm의 패턴 높이의 성형 조건 도출을 위한 금형은 전자빔 리소그래피 공정을 통하여 제작 하였으며, 전자빔 공정에 의해 제작된 패턴은 Poly dimethylsiloxane (PDMS)를 통해 복제 주조 공정을 통해 탄성이 존재하는 몰드를 제작 하였다.

PDMS를 이용한 Mold 제작은 기존에 사용되는 석영 스탬프 및 실리콘 스탬프에 비해 가격이 저렴하며 제작 시간이 짧고, 다른 화학 물질과 반응성이 아주 작아 형상비, 기하학적 설계 등에 관계없이 복제할 수 있으며, 표면에너지 (21.6 mJ/cm²)가 낮아 계면에서 접촉되지 않는 많은 이점을 가지고 있다. 또한 PDMS 재료의 특성상 탄성이 존재하여 롤투롤 임프린트 리소그래피 공정을 위해 원통에 부착하여 성형이 가능한 원통 금형을 제작 하였다.

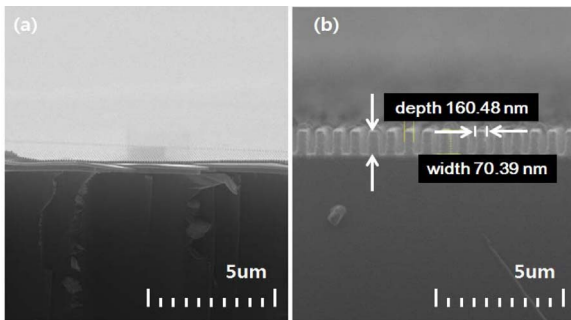


Fig. 4. SEM image of (a)cross section image of PDMS soft mold with a pitch 140.78 nm and grating height of 160.48 nm and its magnification by (b)factor of 5 times.

Fig. 4는 전자빔 및 복제공정을 통해 제작된 나노 패턴 금형의 SEM 사진으로 패턴 선폭 70 nm, 높이 160 nm로 정밀한 격자 모양으로 제작하였다.

제작된 원통 금형을 이용하여 롤투롤 임프린트 리소그래피 공정 연구를 수행하였다. 롤투롤 임프린트 필름 이송 속도는 30 m/s로 고정을 하고 Fig. 5와 같이 성형 압력의 변화에 따른 성형 패턴의 높이 및 잔류층 특성을 확인하여 최적의 성형 조건을 도출하였다.

Fig. 5와 같이 롤투롤 임프린트 성형 압력이 증가함에 따라 성형 패턴의 높이가 증가되며, 잔류층의 두께 또한 얇아

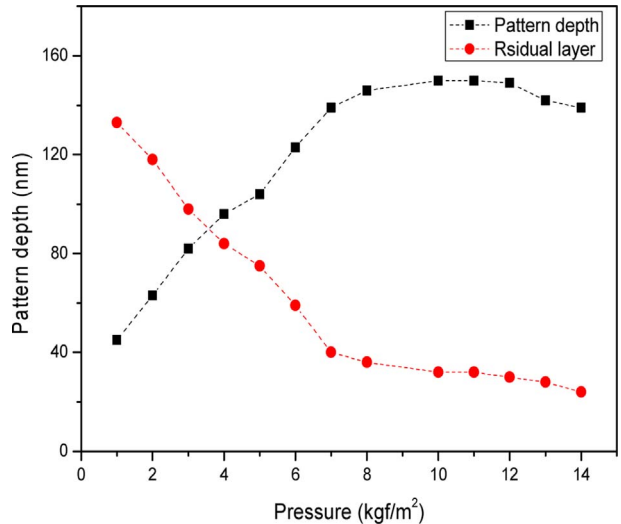


Fig. 5. Plot of imprinting pressure versus imprinted NWGP structure and residual layer height.

지는 특성이 나타난다. 하지만 일정 압력 이상에서는 성형 패턴의 높이가 줄어드는데, 이러한 현상은 높은 가압 조건으로 인한 기관 필름의 변화, 패턴 성형을 위해 주입되는 자외선 경화수지가 성형 영역 밖으로 넘치는 현상 또는 탄성이 높은 원통 금형의 변형에 의해 발생한다.

따라서, 설계된 성형 패턴의 높이 160 nm의 성형을 위한 롤투롤 임프린트 리소그래피 공정의 성형 압력 조건을 변화하여 최적의 조건을 도출하기 위한 공정연구를 수행하였다. 성형 압력의 변화를 통하여 성형된 나노 패턴의 최고 높이는 137 nm로 10 kgf/m²에서 형성이 되었으며, 임프린트 성형 후 존재하는 최소 잔류층 또한 10 kgf/m²에서 30 nm로 성형 특성을 확인하였다. 제작된 금형의 성형 높이인 160 nm에 비해 임프린트 성형 높이가 30 nm가 낮아지는 현상은 금형 자체가 가지고 있는 탄성에 의한 변형으로 판단된다.

4. 나노 금속 격자 제작 및 금속 증착 두께에 따른 광 특성 분석

롤투롤 임프린트 성형 공정을 통해 제작된 시편을 이용

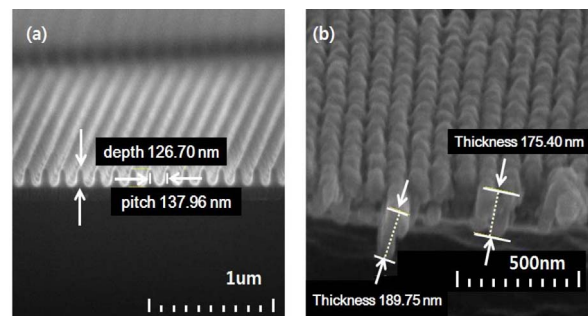


Fig. 6. Cross sectional SEM image of (a) Roll to roll imprinted pattern with a pitch 137.96 nm and grating height of 126.70 nm and (b) Aluminum deposition on imprinted pattern.

하여 나노 금속 격자형 편광 필름 제작 및 증착 두께에 따른 광 특성을 분석 하였다.

편광 필름 제작을 위해 제작된 패턴 선폭 70 nm, 피치 140 nm를 목표로 롤투롤 임프린트 리소그래피 공정을 통해 PET기판위에 나노 패턴을 제작하였다. 그 결과, Fig. 6(a)와 같이 높이 126.70 nm, 피치 137.96 nm를 가지는 나노 격자 패턴을 제작하였다. 이후 후속공정으로 E-beam evaporation 공정을 통하여 알루미늄을 증착하였다. Fig. 6(b)와 같이 증착 두께는 다소 차이가 있었으나 기판 두께를 제한 평균 두께를 계산하였다. 또한, 증착 두께에 따른 광학적 특성 분석을 위해 증착 시간과 조건을 달리하여 여러 두께를 가지는 NWGP를 제작하였다. 이에 따른 투과율 및 소광비의 특성을 확인하였다.

제작된 나노 금속 격자형 편광 필름의 광 특성 분석 및 평가하기 위해, 필름의 편광 투과율을 측정 하여 최대 투과도와 최소투과도를 측정하였으며, 이를 통해 투과율에 따른 소광비(Extinction ratio)를 계산하였다.

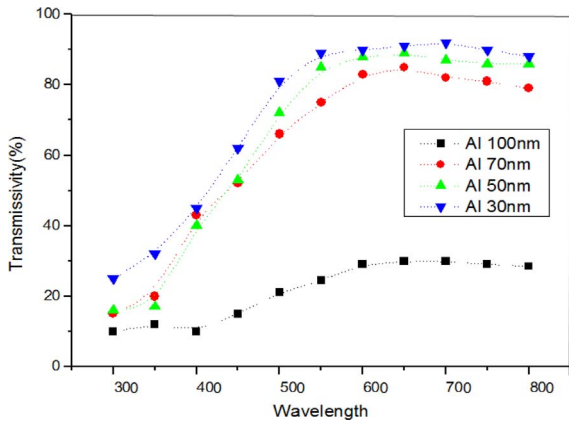


Fig. 7. Transmittance curves of NWGP with different Al deposition height.

이를 위해 텅스텐 할라이드 광원과 광파이버, 콜리메이팅 렌즈, 편광판, 조리개, 분광기로 구성된 투과도 평가 시스템을 이용하여 Fig. 7과 같이 금속 증착 두께에 따른 투과도를 측정하였다. 이때 증착 두께는 30 nm, 50 nm, 70 nm, 100 nm로 달리하였다. 증착된 편광 필름의 투과율 특성 분석을 위해 400 nm 파장에서부터 1000 nm의 파장까지 투과도를 측정하였으며, 디스플레이에 사용되는 600 nm 파장 영역에서의 최대 및 최소 투과율의 비율을 이용하여 소광비를 계산하여 최적의 금속층 두께에 따른 광 특성을 분석 하였다.

증착된 알루미늄의 증착높이가 낮을수록 높은 투과율을 나타내었으나, 최소 및 최대 투과율을 통한 소광비 또한 낮아지는 특성을 보였다. 따라서, 투과율이 높은 낮은 금속층 두께에서는 편광효율이 떨어지는 특성을 확인하였다. 높은 금속층 두께는 높은 소광비 특성이 보였으나 투과율이 낮아 디스플레이의 해상도가 떨어지는 특성을 확인 하였다. 따라서, Fig. 7과 Fig. 8에서와 같이 금속층 두께가

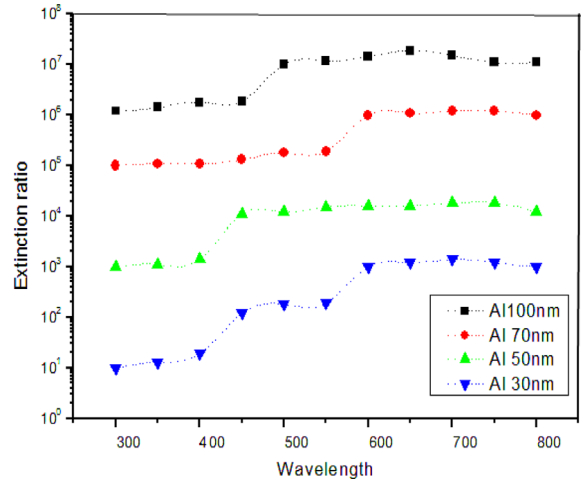


Fig. 8. Extinction ratio (TM/TE) of a metal wire-grid polarizer with different Al deposition height.

70 nm 형성되었을 때 적절한 투과율 및 소광비의 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 고효율 디스플레이 구현이 가능한 나노 금속 격자형 편광 필름의 대면적 대량생산이 가능한 금속 증착에 의한 편광 필름 제작에서의 금속층 두께에 따른 광 특성 연구를 수행하였다. 높은 투과율 및 소광비를 갖게 하는 금속층 형성에서 발생하는 최적의 공정조건을 도출하였다.

최적화 공정에 의해 제작된 나노 금속 격자형 편광 필름의 격자 140 nm 주기, 70 nm 선폭, 70 nm의 금속층 격자 높이로 제작 되었다. 분석 결과 600 nm 파장에서 최고 투과율은 80%의 특성을 확인 하였으며, 소광비는 10⁶ 이상의 높은 광 특성을 확인하였다.

따라서, 이 방법은 기존의 식각 공정에 의한 나노 격자형 편광 필름 공정에 비하여 제작이 용이하고 다양한 기판에 적용이 가능하며, 향후 대면적의 편광 필름의 양산에 유효한 기법이 될 것으로 판단한다.

Acknowledgments

본 연구는 “지식경제부”, “한국산업기술진흥원”, “동남광역경제권 선도산업지원단”의 “광역경제권 선도산업 육성사업”으로 수행된 연구결과입니다.

References

1. X. W. Lin, W. Hu, Z. J. Wu, X. K. Hu and G. Zhu, “Optimization of bi-layered nano-wire grids as high-efficiency polarizers for power recycling in liquid-crystal displays”, Journal of the Society for Information Display, 19(6), 441 (2011).

2. Y. J. Shin, C. Pina-Hernandez, Y. K. Wu, J. G. Ok and L. J. Guo, "Facile route of flexible wire grid polarizer fabrication by angled evaporations of aluminum on two sidewalls of an imprinted nanograting", *Nanotechnology*, 23(34), 344018 (2012).
3. S. U. Cho, S. H. Chang, D. S. Choi, S. H. Huh and M. Y. Jeong, "A study on the Nano Wire Grid Polarizer Film by Magnetic Soft Mold", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 21(2), 85 (2014).
4. S. H. Ahn and L. J. Guo, "High-speed roll-to-roll nanoimprint lithography on flexible plastic substrates", *Advanced materials*, 20(11), 2044 (2008).
5. G. Y. Jung, "Nanoimprint Lithography", *Polymer Science and Technology*, 20(1), 40 (2009).
6. J. H. Kim, S. H. Kim, H. J. Kang, S. U. Cho, T. H. Lee and M. Y. Jeong, "Implementation of PLC Device by Roll to Roll Process", *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, 31(6), 469 (2014).
7. S. U. Jo, H. J. Kang and M. Y. Jeong, "The Study of Optical Device embedded Optical Alignment fabricated by Roll to Roll Process", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 20(3), 19 (2013).
8. T. K. Lee, D. M. Kim, H. I. Jun, S. W. Ha and M. Y. Jeong, "The Optimization of FCBGA thermal Design by Micro Pattern Structure", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 18(3), 59 (2011).
9. P. Maury, D. Turkenburg, N. Stroeks, P. Giesen, I. Barbu, E. Meinders, A. van Bremen, N. Iosad, R. van der Werf and H. Onvlee, "Roll-to-roll UV imprint lithography for flexible electronics", *Microelectronic Engineering*, 88(8), 2052 (2011).
10. M. Burghoorn, D. Roosen-Mels, J. de Riet, S. Sabik, Z. Vroon, I. Yakimets and P. Buskens, "Single layer broadband anti-reflective coatings for plastic substrates produced by full wafer and roll-to-roll step-and-flash nano-imprint lithography", *Materials*, 6(9), 3710 (2013).
11. H. Goto, A. Hagiwara, K. Ishibashi, M. Kokubo, H. Okuyama and S. Fukuyama, "Micro patterning using UV-nanoimprint process", *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 20(4), 559 (2007).