

패턴 형상 및 입사각에 따른 Wire Grid Polarizer의 편광 특성 해석

정지윤*, 조영태#, 정윤교**

(* , # ,** 창원대학교 기계공학부)

Analysis of Polarization Characteristics of the Wire Grid Polarizer According to Pattern shapes and incident angle

JiYun Jeong* YoungTae Cho#, Yoon-Gyo Jung**

(Received 5 June 2014; received in revised form 23 June 2014; accepted 27 June 2014)

ABSTRACT

With the development of technology, the display industry has been focusing on the development of new types of displays, such as bendable and wearable displays. However, the PVA/TAC polarizing film used in the manufacturing of a normal display is associated with low luminance and low efficiency. If the existing polarization film is replaced with a wire grid polarizer, it is possible to reduce the thickness significantly. Moreover enhanced brightness can also be expected. This study confirms the optical properties of the WGP through a simulation.

Key Words : Wire Grid Polarizer(선격자편광판), Polarization Performance(편광성능), Incident angle(입사각), Polarizer degree(편광도), Transmittance(투과율)

1. 서 론

최근 휘어지는 디스플레이, 웨어러블 디스플레이 등 새로운 유형의 디스플레이에 대한 관심이 많아지고 있다. 디스플레이 소자에는 편광 필름이 필수적으로 사용되며 편광 특성이 소자 특성을 결

정하는 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 기존의 PVA/TAC 필름보다 휘도를 향상시킬 수 있고 소자의 두께를 획기적으로 감소시킬 수 있는 WGP(Wire Grid Polarizer)를 적용하고자 하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다[Ref 1~5]. WGP란, 투명한 기판 위에 주기적으로 전도성 와이어가 형성되어 있는 편광판으로서 와이어의 길이방향과 평행한 방향의 편광 성분은 반사시키며 수직인 성분은 선택적으로 투과시키는 성질을 가지고 있다. 이러한 반사형 편광필름을 디스플레이에 적용하게 되면 더 많은 빛을 재이용할 수 있어서 높은 휘도 향상 효과를 가져 올 수 있다. 반사형 편광 필름은 Glass 위에 반사율이 높은 알루미늄을 사용하여 나노 크기의 주기적인 패턴을 형성함으로써 제

Corresponding Author :

School of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.

E-mail : ytcho@changwon.ac.kr

* School of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.

** School of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.

작할 수 있다.

본 연구에서는 알루미늄 와이어의 형상 및 빛의 입사각에 따른 WGP의 편광도 및 투과율을 시뮬레이션을 통해 확인하고 시야각의 관점에서 최적의 편광 특성을 나타낼 수 있는 WGP 구조에 관해 논하고자 한다.

2. 해석 방법

2.1 WGP 형상 변수

Fig. 1은 WGP의 형상 변수들을 설명하기 위한 모델로서 투명기판 위에 단면이 직사각형 형태인 전도성 와이어가 길이 방향으로 길게 형성되어 있다. 편광 성능을 나타내는 요소로는 LCD의 편광판을 통과 후 패널에서 이용 가능한 광량을 나타내는 TM 성분의 투과율과 편광도가 있다. 편광도는 부분편광 강도와 완전편광 강도의 비로 나타낸다. 편광소자의 성능을 향상시키기 위해서 사용 편광성분의 투과율을 올리고 편광도를 동시에 증가시켜야 한다.^[1]

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 WGP의 편광 성능에 영향을 미치는 형상 변수에는 격자 단면의 높이인 Height, 격자 단면의 너비인 Line Width, 격자 간 거리인 Period, 그리고 Period와 Line Width의 비로 나타내어지는 Duty Cycle이 있다.

본 연구에서는 위의 형상 변수, 격자의 단면모양과 빛의 입사각을 변화 시켰을 때 RGB 파장에서 최적의 편광 특성, 즉 Transmittance와 Polarization

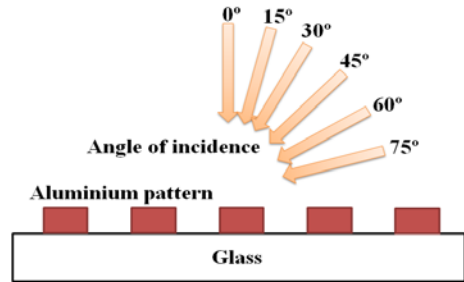


Fig. 2 Definition of incidence angle

degree를 동시에 최대화 할 수 있는 조건을 찾는 것을 목표로 하여 해석을 진행하였다.

편광 성능을 판단하는 파라미터로 사용될 편광도는 다음과 같이 TM투과율과 TE투과율의 차를 TM투과율과 TE투과율의 합으로 나눈 후 100을 곱한 값으로 정의된다.^[2]

$$\text{Polarization degree} = \left(\frac{TM \text{ transmittance} - TE \text{ transmittance}}{TM \text{ transmittance} + TE \text{ transmittance}} \right) \times 100 \quad (1)$$

입사각의 정의는 Fig. 2에서 보여주고 있다. 편광 필름에 수직으로 빛이 입사되면 입사각을 0°로 정의한다.

2.2 파라미터 설정

본 연구에서는 격자 간 거리인 d를 100nm로

Table 1 Parameters

Name	Value	Description
Period(d)	100nm	Grating constant
Height	50~250[nm]	Grating Height
λ	625[nm]	Red light wavelength
	525[nm]	Green light wavelength
	470[nm]	Blue light wavelength
α	0° ~ 75°	Angle of incidence

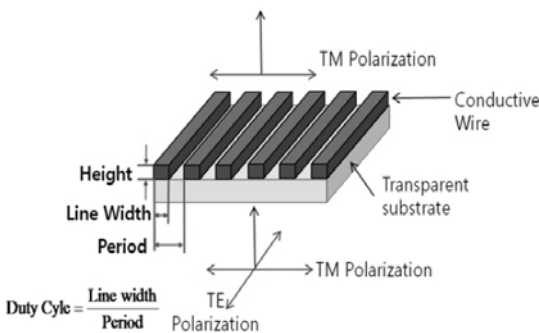


Fig. 1 Shape parameters of the WGP^[1]

Table 2 Optical Characteristics of Material

Vacuum wavelength	Complex Refractive Index	
	Real Part	Imaginary Part
Air		
-	1	0
Substrate (Glass)		
-	1.51360	0
Aluminium		
470nm	0.70362	5.6953
525nm	0.90906	6.3387
625nm	1.39838	7.457

Duty Cycle은 0.5로 고정하였다. 기판은 Glass wafer, 외기는 공기로 설정하였고, 재료는 일반적으로 사용되어지고 있는 금속 재료인 알루미늄으로 설정하였다.

Table 1은 공기와 유전체 각각의 굴절률, 격자 상수, 와이어 단면의 높이, 진공 파장, 입사각이 설정된 값을 보여주는 표이다. 파장은 RGB 파장 값인 625nm, 525nm, 470nm로 하였으며 격자의 높이와 빛의 입사각을 변화시키며 광학적 특성을 확인하였다.

Table 2는 공기와 Substrate로 사용한 Glass, 그리고 Grid에 일반적으로 사용되는 메탈인 알루미늄의 RGB 파장대에서의 굴절률이다.

3. 해석 결과

3.1 Wire의 단면 모양 변화

Wire의 단면을 삼각형, 사다리꼴, 사각형 형상을 가지는 경우에 대해 각각 해석을 수행하여 어떤 단면 형상을 가질 때 최적이 되며 최적 형상에서 벗어났을 경우 특성 변화가 어떻게 되는지 알아보고자 하였다.

격자의 형상은 Fig. 3 과 같이 삼각형, 사다리꼴, 사각형의 형상으로 설정하였으며, 사다리꼴의 경우 밑변과 윗변의 비가 5:3, 5:4 인 2가지 경우로 설정하였다. 본문에서는 밑변과 높이의 길이의 비가 5:3

인 사다리꼴을 사다리꼴 I, 5:4인 사다리꼴을 사다리꼴II로 설정한다.

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 은 밑변의 길이를 50nm, 격자에 입사되는 빛의 입사각을 0°로 고정하고 격자의 높이를 변화시켜 해석한 결과를 RGB 파장에서

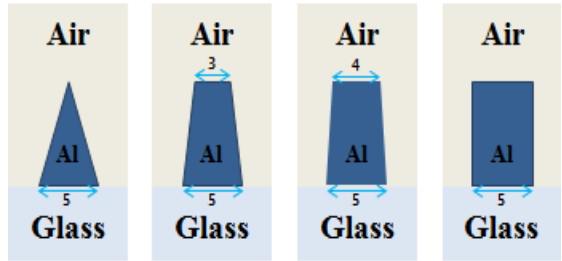


Fig. 3 Several cross section shape of Al grid pattern

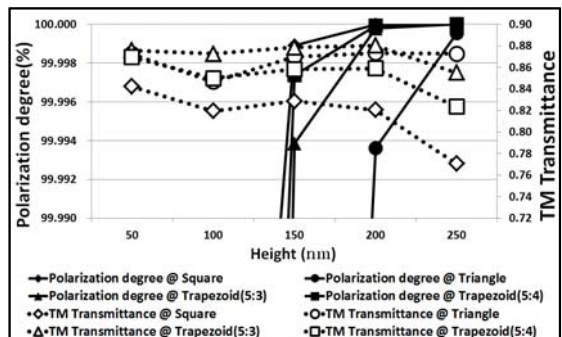


Fig. 4 TM transmittance and polarization degree for Red light ($\lambda=625\text{nm}$)

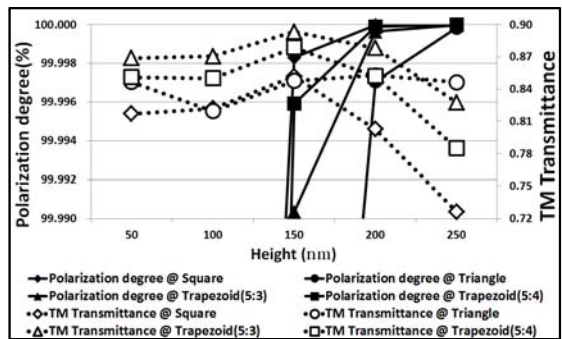


Fig. 5 TM transmittance and polarization degree for green light ($\lambda=525\text{nm}$)

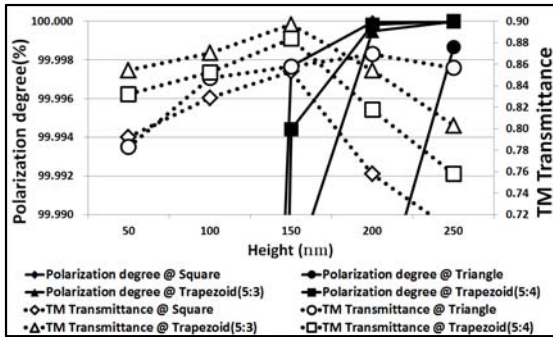


Fig. 6 TM transmittance and polarization degree for Blue light ($\lambda=470\text{nm}$)

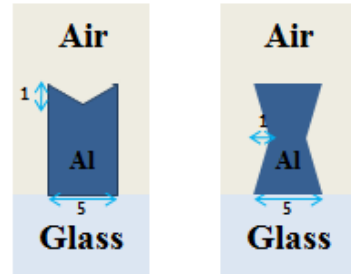
의 그래프로 나타낸 그림이다.

편광도의 경우, 실제 디스플레이에 사용되고 있는 편광소자의 편광도는 약 99.998% 이상이므로 본 연구에서도 이를 기준으로 하였다.

해석 결과, 4가지 형상 모두 격자의 높이가 150nm 이하일 경우에는 편광도가 99.998% 이하로, 디스플레이용 편광소자로는 적합하지 않은 값을 보였다. 사각형의 경우, 격자의 높이가 200nm, 250nm에서 99.998% 이상의 편광도가 나타났으며 TM투과율은 150nm에서 최대값을 보였다. 사다리꼴 I, 사다리꼴 II를 해석 한 결과 격자의 높이가 200nm, 250nm에서 99.998% 이상의 편광도가 나타났으며, 사다리꼴 II가 사다리꼴 I 보다 높은 편광도를 보였다. TM투과율의 경우 사다리꼴 I 이 사다리꼴 II 보다 모든 파장에서 높은 수치가 나타남을 알 수 있었다. 150nm이상에서는, 삼각형의 경우 격자의 높이가 250nm일 때 99.998% 이상의 편광도가 나타났으며, TM투과율은 격자의 높이가 200nm 이상에서 최대값이 존재하였다.

3.2 제작 공정에 따른 단면 형상 변화

실제로 Wire Grid Polarizer를 제작 할 경우 노광 공정이나 임프린트 공정 또는 에칭 공정을 통해 원하는 패턴 모양을 제작하게 된다. 이러한 공정을 거치면서 발생할 수 있는 다양한 기하학적인 형상을 고려하여 해석을 진행하였다.



(a) a-type (b) b-type

Fig. 7 Possible shapes after manufacturing

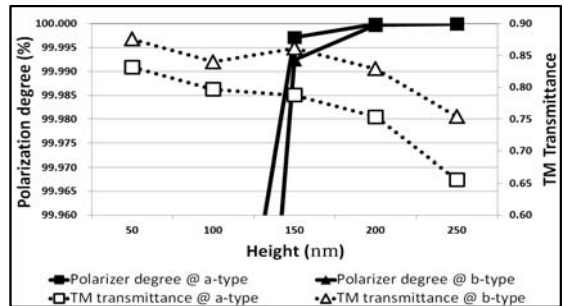


Fig. 8 TM transmittance and polarization degree for Red light ($\lambda=625\text{nm}$)

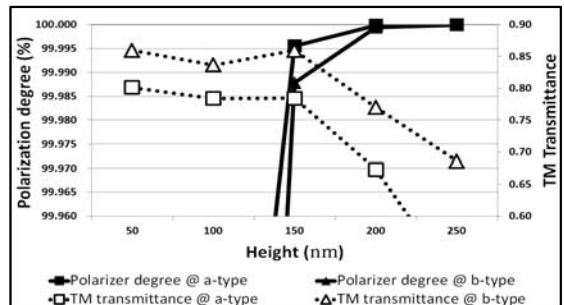


Fig. 9 TM transmittance and polarization degree for Green light ($\lambda=525\text{nm}$)

Fig. 7은 여러 가지 변수들에 의해 발생할 수 있는 두 가지 형상으로 패턴의 윗면이 파인 경우(a-type)와 옆면이 파인 경우(b-type)에 대한 모양을 보여주고 있다. 밑변이 5일 때, 파이는 정도는 1로 설정하여 해석을 진행하였다.

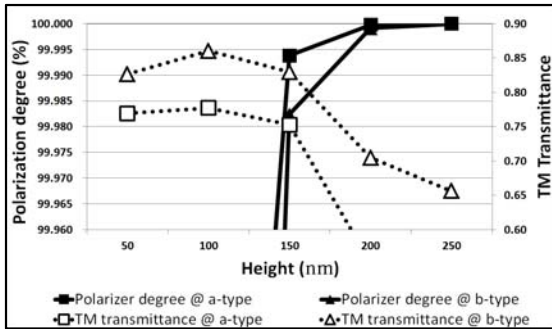


Fig. 10 TM transmittance and polarization degree for blue light ($\lambda=470\text{nm}$)

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 은 RGB 파장에서의 편광도와 TM투과율을 나타낸 것이다. 그래프를 살펴보면 RGB 파장에서 a-type이 b-type보다 낮은 TM투과율을 가지지만, 편광도의 경우 격자의 높이가 150nm 이상에서 a-type이 b-type보다 높은 편광도를 가짐을 알 수 있었다.

3.3 입사각에 따른 광학 특성변화

입사각의 변화에 따른 WGP의 편광 성능을 알아보기 위하여 격자에 입사되는 입사각을 변화시켜 해석하였다. 격자는 사각형, 사다리꼴, 삼각형의 형상을 사용하였으며, 높이는 사각형과 사다리꼴의 경우 200nm, 삼각형의 경우 250nm로 설정하였다.(3.1 참조) 사다리꼴은 TM투과율이 높게 나온 밀변과 높이의 비가 5:4인 사다리꼴II로 설정하였다.

Fig. 11은 격자 단면의 너비는 50nm, 높이는 200nm인 사각형 격자에 입사되는 입사각의 변화에 따른 TM투과율과 편광도를 나타낸 그래프이다. 사각형의 경우 입사각이 증가할수록 TM투과율이 상승하다가 입사각이 60° 이상이 되자 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 편광도의 경우 입사각과 관계없이 모든 값에서 100%에 가까운 수치를 보였다. Fig. 12은 격자 단면의 너비는 50nm, 높이는 250nm인 삼각형 격자에 입사되는 입사각 변화에 따른 그래프이다. 삼각형의 경우 입사각이 증가할수록 TM투과율이 서서히 감소되고 감소폭 또한

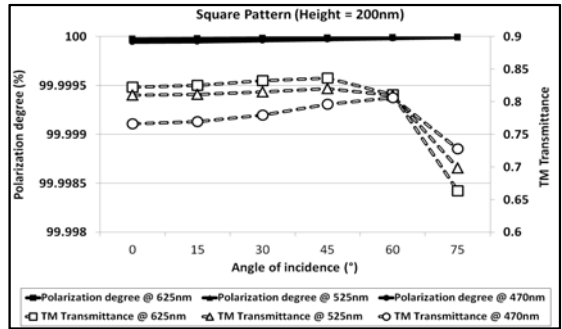


Fig. 11 The polarization performance according to angle of incidence (Square)

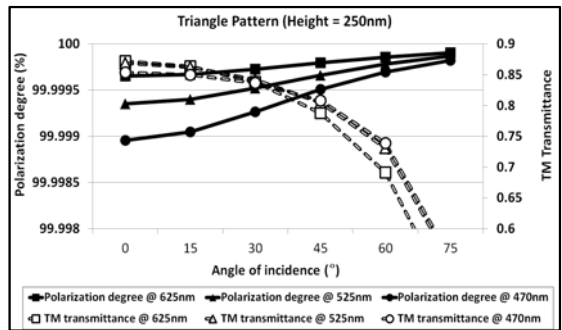


Fig. 12 The polarization performance according to angle of incidence (Triangle)

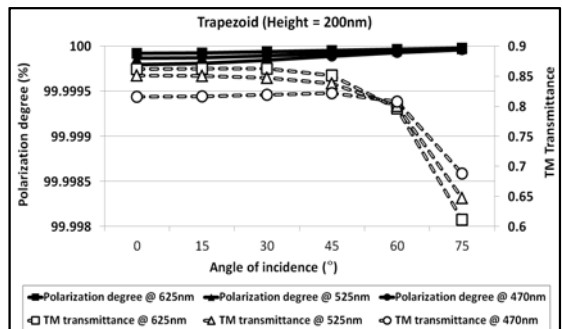


Fig. 13 The polarization performance according to angle of incidence (Trapezoid)

커졌다. 편광도의 경우 입사각이 커질수록 편광도가 높아졌지만, 최대값과 최소값이 0.001% 정도로 모든 값에서 높은 수치를 보였다. Fig. 13은 너비 50nm, 높이 200nm인 사다리꼴 격자에 입사되는 입

사각 변화에 따른 그래프이다. 사다리꼴은 밑변과 윗변의 비가 5:4인 사다리꼴 II의 형상으로 설정하였다. 사다리꼴 형상은 입사각이 45°까지는 큰 변화가 없었으나 이후에는 감소하였고 60° 이상이 되자 TM투과율이 급격히 감소하는 특성을 보였다. 편광도의 경우 모든 값에서 99.9997% 이상의 수치를 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 높은 편광도 및 투과율을 가지는 WGP을 설계하기 위하여 그리드의 형상, 빛의 입사각을 변화시키며 WGP의 특성변화를 해석하였다.

해석 결과, 모든 형상에서 격자 단면의 너비와 높이의 비가 1:2 이하일 경우에는 디스플레이에 적용하기에는 어려운 값을 보임을 확인하였다. 사각형, 사다리꼴의 경우 격자 단면의 너비와 높이의 비가 1:4일 때, 디스플레이용 소자로 적합한 값을 보였다. 삼각형의 경우에는 격자너비와 높이의 비가 1:5일 때 가장 높은 값을 보였다. 또한, 격자 단면의 윗면이 파인 경우(a-type)보다 격자 단면의 옆면이 파인 경우(b-type)가 높은 TM투과율을 가지며, 두 형상의 편광도의 차이가 0.0001% 내외이므로 격자 단면의 옆면이 파인 경우가 디스플레이용 편광 소자 패턴으로 적합하다고 판단된다.

격자에 입사되는 빛의 입사각에 따른 편광 특성 변화를 해석한 결과, 모든 형상에서 높은 편광도가 나타났으며, TM투과율의 경우 입사되는 빛의 각도가 60°까지는 0.75 이상을 만족하였다. 특히, 다른 형상과는 다르게 그리드 패턴의 단면이 삼각형인 경우 빛의 입사각이 0°일 때 가장 높은 TM투과율을 가지는 특성을 확인하였다. 향후 본 연구 결과를 바탕으로 실제 WGP를 제작하여 성능을 확인할 예정이다.

후기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임. (No. NRF-2013R1A1A1076118)

REFERENCES

- (1) YU, X. J.; KWOK, H. S. "Optical wire-grid polarizers at oblique angles of incidence." *Journal of applied physics*, 2003, 93.8: 4407-4412.
- (2) AHN, Seh-Won, et al. "Fabrication of a 50 nm half-pitch wire grid polarizer using nanoimprint lithography." *Nanotechnology*, 2005, 16.9: 1874.
- (3) WANG, Jian Jim, et al. "30-nm-wide aluminum nanowire grid for ultrahigh contrast and transmittance polarizers made by UV-nanoimprint lithography." *Applied physics letters*, 2006, 89.14: 141105.
- (4) J. J. Wang, F. Walters, X. Liu, P. Sciortino, and X. Deng, "High-performance, large area, deep ultraviolet to infrared polarizers based on 40nm line/78nm space nanowire grids" *Applied Physics Letters*, 90, 2007.
- (5) S. Ahn, K. Lee, J. Kim, S. Kim, S. Lee, J. Park, P. Yoon, "Fabrication of subwavelength aluminum wire grating using nanoimprint lithography and reactive ion etching", *Microelectronic Engineering* 78-79, pp. 314-318, 2005.
- (6) J. W. Huh, S. Y. Nam, "Fabrication of a Nano-Wire Grid Polarizer for Brightness Enhancement in TFT-LCD Display", *kgcs*, 29, pp. 106-107, 2011
- (7) LEE, Jong Hyuk, et al. "Optically bifacial thin-film wire-grid polarizers with nano-patterns of a graded metal-dielectric composite layer." *Optics express*, 2008, 16.21: 16867-16876.
- (8) TAMADA, Hitoshi, et al. "Al wire-grid polarizer using the s-polarization resonance effect at the 0.8- μ m-wavelength band." *Optics letters*, 1997, 22.6: 419-421.
- (9) YEH, Pochi. A new optical model for wire grid polarizers. *Optics Communications*, 1978, 26.3: 289-292.
- (10) YEH, Pochi. "A new optical model for wire grid polarizers." *Optics Communications*, 1978, 26.3: 289-292.
- (11) JONES, R. Clark; ENG, Phot Sci. "The wire grid as a near-infrared polarizer." *Journal of the Optical*

Society of America, 1960, 50.9.

- (12) YAMADA, Itsunari, et al. "Terahertz wire-grid polarizers with micrometer-pitch Al gratings." *Optics letters*, 2009, 34.3: 274-276.