

색 인지에 대한 심리보호효과를 가지는 나노홀어레이 광학필터 특성 분석

강태영*, 안희상*, 신동명**, 홍석원***, 김규정***,#, 이동훈****,##

*부산대학교 인지메카트로닉스공학과, **부산대학교 에너지융합기술연구소, ***부산대학교 광메카트로닉스공학과, ****부산대학교 심리학과

Characteristic Analysis of Nano-hole Array Optical Filter having Psychological Protection for Color Recognition

Tae Young Kang*, Heesang Ahn*, Dong-Myeong Shin**, Suck Won Hong***, Kyujung Kim***,#, Donghoon Lee****,##

*Department of Cogno-mechatronics Engineering, Pusan NAT. UNIV., **Research center for Energy Convergence Technology, Pusan NAT. UNIV., ***Department of Optics and Mechatronics Engineering, Pusan NAT. UNIV., ****Department of Psychology, Pusan NAT. UNIV.

(Received 28 November 2016; received in revised form 2 December 2016; accepted 5 December 2016)

ABSTRACT

We suggest and simulate an optical filter that a red wavelength range cannot transmit to protect the psychological stress that originates from the cognition of red color in emergency medical technicians. When a nanohole hexagonal array is fabricated on gold film using Anodic Aluminum Oxide (AAO), the blocked wavelength can be tuned by the hole diameter and film thickness. The characteristic of the transmittance for normal incident white light is simulated with Finite Element Method (FEM) in the MATLAB platform. Although the transmittance of the overall wavelength is reduced by 50% by the gold film, the transmittance of the red wavelength range is decreased by over 87%.

Key Words : Localized Surface Plasmon Resonance(국소 표면 플라즈몬 공명), Optical Filter(광학 필터), Nano Structure(나노 구조), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서 론

안전을 위협 받는 상황에 처한 국민의 꺼져가는 생명을 살리기 위해 소방 및 구급대원들은 인명 사고가 있는 어디든 출동한다. 현장 대원들은 화

재 현장이나 사고현장에서 구하지 못한 사람이 있다는 것에 심리적인 압박감을 느끼기도 하지만 현장에 난자한 혈흔에 의한 무의식적인 스트레스를 받기도 하며 현장에 진입하기 전 혈흔에 대한 공포심을 느끼기도 한다. Rochester 대학의 Elliot A. J. 와 Maier M. A. 의 연구에 의하면 인간의 시각 계에 비춰진 붉은 색상은 심리학적으로 공격적인 성향을 증가시키거나 스트레스를 증가시키고 또한 민감하게 되도록 영향을 미친다^[1]. 따라서 붉

Corresponding Author : k.kim@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-3918, Fax: +82-51-514-2358

Corresponding Author : dhlee@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-2132, Fax: +82-51-581-1457

은색의 색상을 무채색으로 느끼게 된다면 현장 대원들에게 심리적 안정감을 제공할 수 있고 직무 스트레스를 줄이는 데에 영향을 미칠 수 있다.

표면 플라즈몬 공명 (Surface Plasmon Resonance, SPR) 은 각각 음과 양의 유전상수를 가지는 물질 사이에서 입사된 광에 의해 발현된 유도 자유 전자의 집단적 진동, 즉 공명 현상을 말한다^[2,3]. 이 현상은 입사된 포톤의 진동수와 물질 내 원자와 전자 간의 고유진동수가 일치할 때 발생한다. 따라서 이 조건에 일치하는 입사각 또는 파장은 박막의 특성에 따라 매우 민감하게 변화하여 여러 가지 방면에서 응용이 이루어지고 있다. 대표적인 응용분야인 SPR 센서는 금속 표면 위에 접촉된 물질의 유전율의 변화로 인해 공명각 또는 공명파장의 변화를 관측하여 분석 및 감지하는 기술로, 변화가 명확하여 측정물질의 표지를 하지 않아도 물질을 감지할 수 있어 가스감지, 식품안정성, 생체분자분석 등의 다양한 분야에 응용되어 왔다^[4-6].

SPR 기술은 나노 수준의 물질에 대한 감지 및 분석에 대한 필요성이 대두되어 여러 방식을 통하여 개발되어 왔다^[7,8]. 박막에서 나타나는 SPR 현상과는 다르게 입자나 구조체 내에서 미세한 부분이나 극점에 전자의 유도가 집중되어 진동하는 현상을 국소 표면 플라즈몬 공명 (Localized Surface Plasmon, LSPR) 이라 정의한다^[9-11]. 국소화된 표면장은 입자뿐만이 아닌 나노 구조의 모양, 크기에 따라 표면장의 크기 및 세기가 변화할 수 있으며, 이는 LSPR 현상의 분해능에 중요한 인자로 작용한다. 표면장은 파장이 입자에 가하는 운동량과 관계가 있으므로 구조 변화에 따라 반사, 투과, 흡수되는 파장영역이 달라질 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 현장대원에게 붉은 색의 색인지로부터 오는 스트레스 및 트라우마와 같은 심리적 충격을 줄이기 위해 금으로 이루어진 박막에 식각된 다양한 조건의 홀 구조가 육각 배열로 이루어져 집합되었을 때 LSPR 현상에 의해 붉은 색 파장 영역대가 흡수 또는 반사되어 투과되지 못하게 하는 나노 구조 기반 가변형 광학 필터에 대해 설계하고 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 제시하는 육각형 배열을 제시하여 대면적 생산이 접

목되었을 때 Nano imprint 공정^[12]보다는 구조가 균일한 AAO (Anodic Aluminum Oxide) 공정을 이용하기 위함이다.^[13,14]

2. 광학필터의 시뮬레이션 설계 및 방법

Fig. 1은 본 논문에서 설계하고자 하는 나노홀어레이 기반 광학 필터의 개념에 대해 보여준다. 나노 홀 구조가 육각형 배열로 이루어져 식각된 금 박막 위로 백색의 자연광이 수직으로 입사하였을 때, 박막 아래로 투과된 광 성분 중 붉은 색 영역대의 파장이 투과되지 않는 것을 목표로 한다. 일반적으로 홀 구조가 식각된 금 박막은 LSPR 현상에 의하여 붉은 색 영역대의 파장이 잘 투과되지 못하는 것은 앞선 연구들에서 증명되어 왔다^[15]. 따라서 AAO 공정 방식에 따라 제작될 수 있는 나노홀어레이의 구조의 크기와 박막의 두께에 따른 제작물의 투과 특성에 대해 시뮬레이션 하여 분석할 것이다.

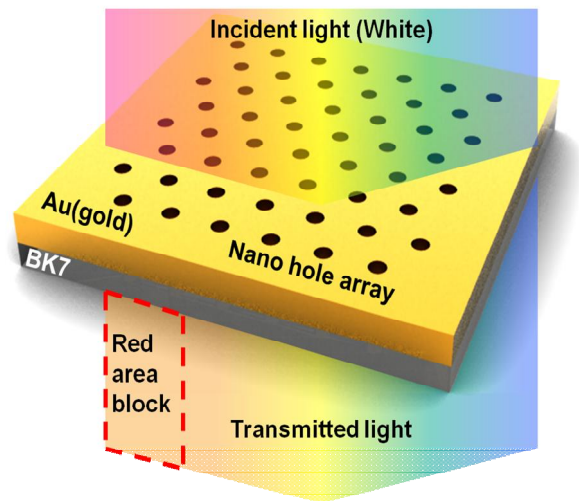


Fig. 1 The schematic image of the calculation concept for optical filter having nano hole array

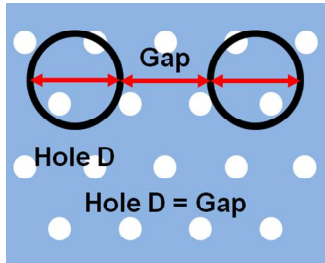


Fig. 2 The schematic image of the definition of the hole D and gap

계산되는 박막에 식각되는 나노홀어레이는 Fig. 2와 같이 육각형 배열도 설계되었으며, BK7으로 이루어진 기판 위에 TiO₂ 10 nm의 박막을 구성하고 그 위에 홀 구조가 식각된 금 박막을 형성하도록 설계했다. 홀의 지름은 75, 100, 125, 150 nm로 정의했고, 금으로 이루어진 박막의 두께는 10~20 nm로 지정하고 금속 박막의 상단면의 수직으로 입사되는 광의 파장은 300~1000 nm 대역으로 각각 1 nm 간격으로 조사하여 홀의 크기와 박막의 두께에 의해 파장별 투과되는 세기를 측정하여 투과도를 측정하도록 설계했다. Fig. 2에서 보듯이 AAO 제작방식에 의해 홀의 지름과 홀 사이의 갭이 일치한다^[16,17].

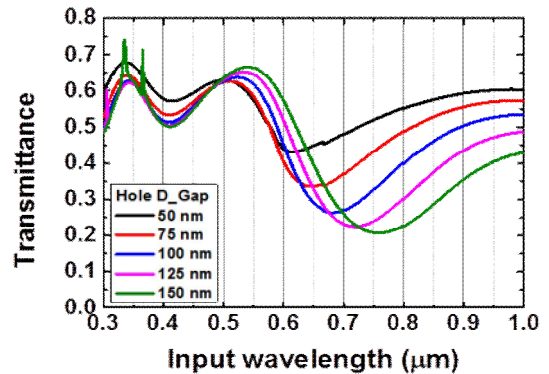
본 연구의 시뮬레이션은 MATLAB 기반의 유한요소법 (Finite Element Method, FEM)을 통한 Maxwell 방정식의 해석을 통해 이루어졌다^[18,19].

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

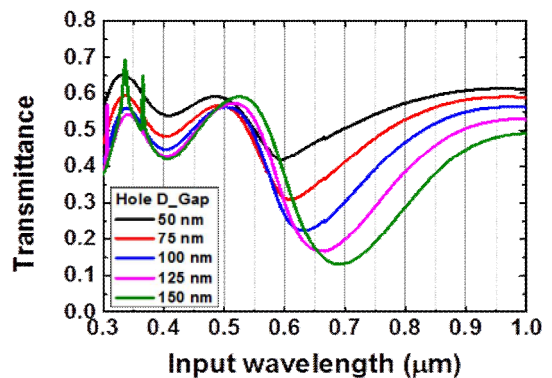
3.1 홀의 지름에 의한 투과도 변화

설계된 시뮬레이션을 해석하여 홀의 지름의 변화에 따른 파장별 투과도의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 박막의 두께가 10 nm일 때, 홀의 지름이 커질수록 투과도가 감소된, 즉 차단된 파장대가 0.6 μm에서 0.8 μm 대역으로 이동하는 것을 볼 수 있다 (Fig. 3(a)). 이러한 현상은 금속으로 이루어진 박막에서 홀 구조가 식각되었을 때, 홀 구조에 금속이 아닌 측정 물질이 채워져 전체적인 박

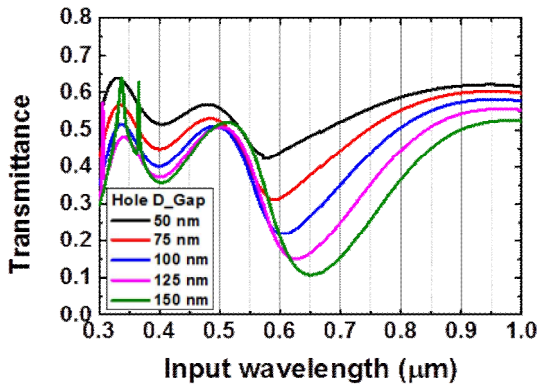
막의 유전적 성질이 유효한 값으로 변화하기 때문이며 또한, 홀의 구조적인 특성에 의해 플라즈몬이 구조에 구획되어 공명 현상이 일어나기 위한 에너지양이 줄어들기 때문이다. 따라서 감소되는 영역이 더 작은 에너지를 가지는 장파장 대역으로 이동하는 것이다. Fig. 3의 (a), (b), (c)의 그래프를 비교해 보았을 때, 차단된 파장 영역의 이동에 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 박막의 두께가 10, 15, 20 nm 일 때에 홀의 지름이 25 nm 단위로 변하면 차단되는 파장 영역 대는 약 40, 30, 21 nm 단위로 변화하는 것을 볼 수 있다. 이 현상은 구조적 특성에 의해 차단되는 파장 영역이 생기지만 박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 홀에 의한 박막의 유효 유전율의 변화가 작아지기 때문에 발생한다.



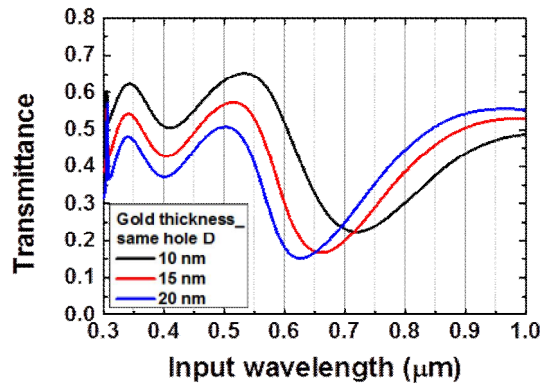
(a) Transmittance graph at 10 nm gold film thickness



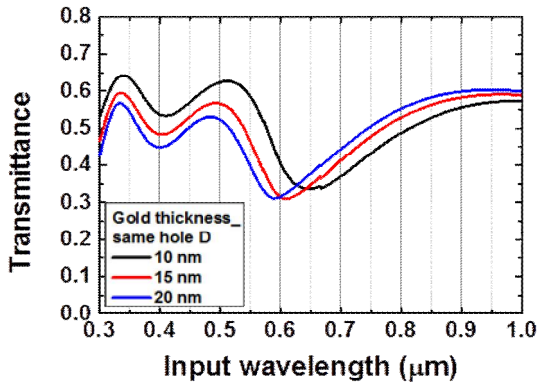
(b) Transmittance graph at 15 nm gold film thickness



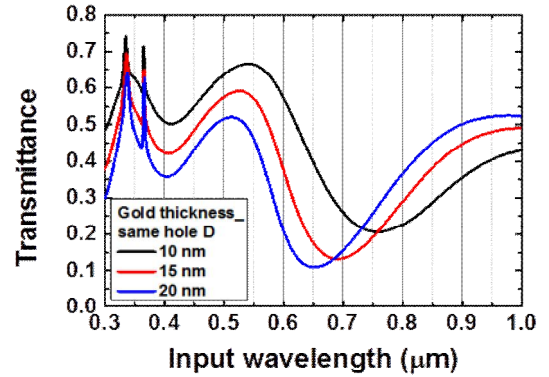
(c) Transmittance graph at 20 nm gold film thickness
 Fig. 3 The transmittance graphs as hole diameter (50, 75, 100, 125, 150 nm) with fixed gold film thickness



(c) Transmittance graph 125 nm hole diameter

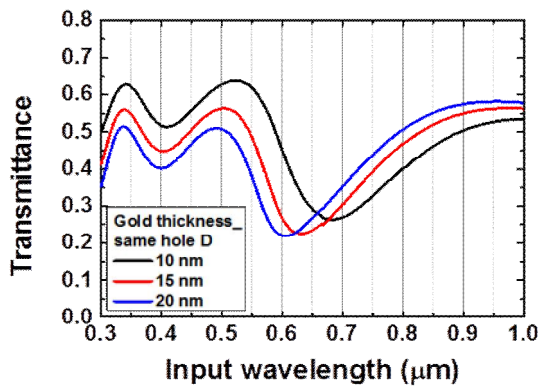


(a) Transmittance graph 75 nm hole diameter



(d) Transmittance graph 150 nm hole diameter

Fig. 4 The transmittance graphs as the gold film thickness (10, 15, 20 nm) with fixed hole diameter



(b) Transmittance graph 100 nm hole diameter

3.2 박막의 두께에 의한 투과도 변화

특정한 값으로 고정된 홀의 지름(75, 100, 125, 150 nm)에 박막의 두께를 변화(10, 15, 20 nm)하며 두께의 변화에 따른 투과도의 변화를 분석하였다. Fig. 4에 나타난 네 개의 그래프 모두 박막이 두꺼워질 경우 차단되는 파장의 대역대가 0.4 μm로 가까워지는 경향을 띤다. 이는 앞서 설명한 박막의 두께가 두꺼워짐에 따른 금속 내 전자를 표면에 여기 시키기 위해 더 많은 에너지가 이용되어야 하기 때문에 짧은 파장의 광이 LSPR 현상을 일으켜 투과도가 떨어지게 된다. 박막의 두께가 두꺼워 지게 되면 전체 파장 영역 대에 대해 투과

도가 떨어지지만 차단하고자 하는 파장을 짧은 파장 영역으로 옮기도록 조절할 수 있다. 따라서, 박막의 두께를 조절하여 차단되는 파장의 시작점을 조절할 수 있다. 0.3~0.4 μm 대역에서 특정한 픽이 발생하는데, 이는 구조가 변화하면서 플라즈몬 현상 중 하나인 특이 광 투과 현상이 생기는 것으로, 투과도가 일시적으로 증가하는 현상이 생긴다^[20].

4. 결론

본 연구에서는 금으로 이루어진 나노 홀 구조를 이용하여 특정 차단 파장을 차단하고 구조의 특성을 변화를 통해 차단 대역이 조절 가능한 가변형 LSPR 기반 광학 필터에 대해 시뮬레이션하고 투과 특성에 대해 분석하였다. 대면적 생산에 대한 방안으로 육각형으로 배열된 홀 구조를 차용했다. 설계된 광학 필터는 금 박막의 영향에 의해 목표한 파장대가 아닌 광세기도 줄이기도 하지만 목표한 붉은색 영역대의 파장(0.6~0.7 μm)을 약 87~90%까지 차단하였다. 홀의 지름의 크기 조절을 통해 차단되는 파장 영역의 넓이를 늘일 수도 있고, 크면 클수록 차단되는 정도 또한 크게 할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 보안경 표면 또는 콘택트렌즈 등에 적용하였을 때 현장 출동 대원에 대한 시각적 안전을 보장할 수 있다. 차후에는 콘택트렌즈 내에 구조를 삽입 또는 표면 위에 구조를 제작하여 렌즈를 착용했을 때 와 미착용일 때의 심리 검사를 시행하여 본 논문에서 제안한 광학 필터의 색인지 보호 효과에 대한 연구를 진행할 것이다.

후 기

“본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A5A7036513).

본 논문은 개인안전용 융합제품 개발을 위한 이공계와 비이공계(경영·디자인·심리학)간의 초학

제간 융합연구 결과이며, 그에 따른 공동교신저자의 기여도는 각자 50%로 균등하므로 공동명기한다.”

REFERENCES

1. Elliot, A. J., Maier, M. A., "Color and Psychological Functioning.", *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, Vol. 16, No. 5, pp. 250~254, 2007.
2. Locharoenrat, K., Sano, H., Mizutani, G., "Phenomenological studies of optical properties of Cu nanowires.", *Science and Technology of Advanced Materials*, Vol. 8, No.4, pp. 277-281, 2007.
3. Sinibaldi, A., Danz, N., Descrovi, E., Munzert, P., Schulz, U., Sonntag, F., Dominici, L., Michelotti, F., "Direct comparison of the performance of Bloch surface wave and surface plasmon polariton sensors.", *Sensors and Actuators B-Chemical*, Vol. 174, pp. 292-298, 2012.
4. Hiep, H. M., Endo, T., Kerman, K., Chikae, M., Kim, D. K., Yamamura, S., Takamura, Y., Tamiya, E., "A localized surface plasmon resonance based immunosensor for the detection of casein in milk.", *Science and Technology of Advanced Materials*, Vol. 8, No. 4, pp. 331-338, 2007.
5. Pillai, S., Catchpole, K. R., Trupke, T., Green, M. A., "Surface plasmon enhanced silicon solar cells.", *Jornal of Applied Physics*, Vol. 101, No. 9, pp. 093-105, 2007.
6. Korhonen, K., Granqvist, N., Ketola, J., Laitinen, R., "Monitoring of drug release kinetics from thin polymer films by multi-parametric surface plasmon resonance.", *International Journal of Pharmaceut.*, Vol. 494, No. 1, pp. 531-536, 2015 .
7. Roh, S., Chung, T., Lee, B., "Overview of the characteristics of micro-and nano-structured

- surface plasmon resonance sensors", *Sensors*, Vol. 11, No. 2, pp. 1565-1588, 2011.
8. Law, W. C., Yong, K. T., Baev, A., Prasad, P. N., "Sensitivity improved surface plasmon resonance biosensor for cancer biomarker detection based on plasmonic enhancement", *ACS nano*, Vol. 5, No. 6, pp. 4858-4864, 2011.
 9. Mayer, K. M., Hafner, J. H., "Localized surface plasmon resonance sensors.", *Chemical Reviews*, Vol. 111, No. 6, pp. 3828-3857, 2011.
 10. Lang, X., Qian, L., Guan, P., Zi, J., Chen, M., "Localized surface plasmon resonance of nanoporous gold", *Applied Physics Letters*, Vol. 98, No. 9, pp. 093701, 2011.
 11. Mayer, K. M., Hao, F., Lee, S. Nordlander, P., Hafner, J. H., "A single molecule immunoassay by localized surface plasmon resonance", *Nanotechnology*, Vol. 21, No. 25, pp. 255503, 2010.
 12. Lee, B. K., Kim, J. H., "Manufacturing of Micromolds for Plastic Molding Technologies via Synchrotron LIGA Process", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 5, pp. 1-7, 2015.
 13. Hamouda, F., Sahaf, H., Held, S., Barbillon, G., Gogol, P., Moyen, E., Aassime, A., Moreau, J., Canva, M., Lourtioz, J.-M., Hanbücken, M., "Large area nanopatterning by combined anodic aluminum oxide and soft UV-NIL technologies for applications in biology", *Microelectronic Engineering*, Vol. 88, No. 8, pp. 2444-2446, 2011.
 14. La, M. W., Park, J. M., Kim, D. E., "A Study on Plastic Injection Molding of NanosStructured Surface with a Local Mold Heating System", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 4, pp. 8-13, 2015.
 15. Najiminaini, M., Vasefi, F., Kaminska, B., Carson, J. J., "Optical resonance transmission properties of nano-hole arrays in a gold film: effect of adhesion layer", *Optics express*, Vol. 19, No. 27, pp. 26186-26197, 2011.
 16. Routkevitch, D., Tager, A. A., Haruyama, J., Almawlawi, D., Moskovits, M., Xu, J. M., "Nonlithographic nano-wire arrays: fabrication, physics, and device applications", *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 43, No. 10, pp. 1646-1658, 1996.
 17. Hulteen, J. C., Martin, C. R., "A general template-based method for the preparation of nanomaterials", *Jorunal of Materials Chemistry*, Vol. 7, No. 7, pp. 1075-1087, 1997.
 18. Min, B., Ostby, E., Sorger, V., Ulin-Avila, E., Yang, L., Zhang, X., Vahala, K., "High-Q surface plasmon polariton whispering gallery microcavity", *Nature*, Vol. 457, No. 7228, pp. 455-458, 2009.
 19. Jang, J. H., Cho, S. J., Kim, J. H., "Lumped Parameter Modeling and Analysis of Electromagnetic Linear Actuator", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 15, No. 5, pp. 18-24, 2016.
 20. Ebbesen, T. W., Lezec, H. J., Ghaemi, H. F., Thio, T., Wolff, P. A., "Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays", *Nature*, Vol. 391 No. 6668, pp. 667-669, 1998.