

SiO₂/SiON 다층박막 적용 투명보안필름의 광특성 연구

성형석, 권진구, 채희일, 한현성, 이성의^{id}

한국산업기술대학교 신소재공학과

Optical Characteristics of Transparent Privacy Film with SiO₂/SiON Multi-Layer

Hyeong Seok Sung, Jin Gu Kwon, Hee Il Chae, Hyeon Seong Han, and Seong Eui Lee
 Department of Materials Engineering, Korea Polytechnic University, Siheung 15073, Korea

(Received April 4, 2019; Revised May 13, 2019; Accepted May 20, 2019)

Abstract: Privacy films are typically manufactured by combining black resin and transparent louver-shaped patterns. The use of black resin results in excellent light-shielding. However, black resin can reduce the transmittance of privacy films at the front viewing angle. In this study, we applied SiO₂/SiON multi-layer thin films on a privacy film to maintain transmittance at the front viewing angle and improve light-shielding at the side viewing angle. We determined the optimum combination of thicknesses of the SiO₂/SiON multi-layer stacks to increase the overall transmittance; the light shielding could be maximized at the side viewing angle.

Keywords: Transparent privacy film, Louver pattern, SiO₂/SiON, Multi-layer, Thin film

1. 서론

보안필름은 소자의 표시 패널에 개인정보 유출 방지를 위해 부착하는 제품으로 [1], 필름 표면에 미세한 루버 형태의 격벽을 형성하여 정면에서의 투과율과 측면에서의 투과율을 상이하게 하는 원리를 가진다 [2,3]. 보안필름은 통상적으로 휴대용 전자기기의 표시 패널에 부착하도록 생산되고 있으며, 대표적 휴대용 전자기기인 휴대폰 또는 노트북 등의 크기에 맞게 시장에 유통되고 있다. 현재 보안필름 시장에서는 루버 형태의 패턴에 검은색 도료가 채워진 보안필름이 주로 생산 및 유통되고 있다. 검은색 도료를 사용하면 높은 광차폐성을 확보할 수 있지만 투과율이 현저히 낮아지는

단점이 있다. 또한 차세대 이동통신기기의 표시 패널로 투명 디스플레이 시장이 확대되고 있으며, 이에 따라 정면 및 측면뿐만 아니라 후면에서의 개인정보 유출 또한 예상된다. 따라서 개인정보 유출을 방지할 수 있는 보안필름의 연구 및 개발 필요성이 대두되고 있다.

위와 같은 이유로 광차폐성을 확보한 투명 보안필름 연구를 진행하기 위해 SiO₂/SiON 다층박막을 루버 형태의 패턴 상에 적용하여 무반사 코팅막을 형성하였다. SiO₂는 투과율이 좋은 세라믹 소재로 유리, 콘크리트, 반도체 재료 등 다양한 분야에 사용되는 재료이며 550 nm 파장대에서 유리과 비슷한 1.46의 굴절률을 가지기 때문에 높은 투과율을 가진다 [4,5]. 여기에 광학적 특성을 향상시키기 위해 550 nm 파장대에서 2.03의 굴절률을 갖는 SiON을 함께 적용하였다 [6-8]. 이와 같은 다층박막 재료를 스퍼터링으로 증착하게 되면 루버 형태의 패턴의 상부 및 측면의 증착률이 달라지며 상부는 무반사 코팅이 적용되어 투과율이 향상되지만 [9-11] 측면은 무반사 코팅의 최적화 조건과 다르게 증착되어

✉ Seong Eui Lee; selee@kpu.ac.kr

상대적으로 투과율이 낮아진다.

본 논문에서는 사용목적에 따라 정면 시야각 투과율에 대하여 낮은 측면 시야각 투과율을 갖는 보안필름의 구현을 목표로 하였으며, 이에 따라 Snell's law를 응용하여 루버 형태의 패턴이 형성된 필름에 일정 두께의 다층박막을 증착하여 SiO₂층의 두께 및 SiON층의 두께에 따른 광학특성 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

2.1 UV경화레진을 이용한 마이크로 루버패턴 형성

SiO₂/SiON 다층박막 적용, 투명보안필름의 제작을 위해 임프린팅 공정을 통하여 마이크로 루버패턴을 PET 필름상에 형성하였다.

그림 1에 PET 필름상에 UV경화레진을 이용한 마이크로 루버패턴 형성 공정을 나타내었다. UV경화레진의 성분으로는 경도 및 접착력을 결정하는 올리고머, 점도와 부착력 및 경화속도를 결정하는 모노머, 광개시제 등을 첨가하였다. 투명보안필름에 적용하고자 하는 마이크로 루버패턴이 성형되어 있는 실리콘 웨이퍼상에 UV경화레진을 도포하고 UV를 조사하여 1차 복제품을 형성한다. 1차 복제품에 다시 UV레진을 도포 후 UV를 조사하여 투명보안필름을 위한 마이크로 루버패턴을 형성하였다. 공정을 통해 형성된 마이크로 루버패턴은 높이 85 μm, 상부폭 25 μm, 하부폭 30 μm, 간격 10 μm의 사다리꼴 형태를 갖는다. 일반적인 루버패턴은 아래 수식과 같은 시야각 계산식을 가지며, 그림 2에 마이크로 루버층 모식도를 나타내었다.

$$\theta = \tan^{-1}(l/h) \quad (1)$$

본 실험에서는 보다 명확히 정면 시야각 및 측면 시야각의 투과율 차이를 관찰하기 위해 식 (1)을 통한 계산으로 위와 같은 규격을 갖는 루버패턴을 형성하여 시야각을 13.24°로 설정하였다. 그림 3에 마이크로 루버패턴의 SEM 관찰 결과를 나타내었다.

박막의 증착은 RF magnetron sputter를 사용하였으며 [12] 막의 두께는 SEM 장비를 사용하여 측정하였다. 투과율의 측정은 UV-Vis spectrometer (MEGA-800, Korea)를 사용하였으며, 정면 대비 측면 투과율의 측정은 spectrometer (C10083CA, Japan)와 분광구를 통하여 진행하였다.

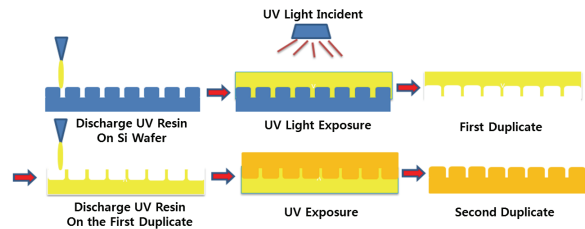


Fig. 1. Manufacturing process of micro louver patterns.

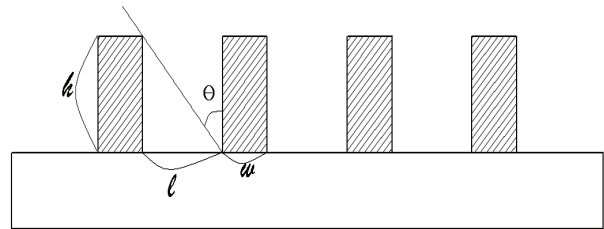


Fig. 2. Viewing angle of micro louver patterns.

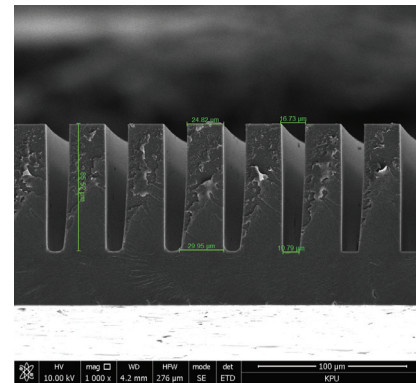


Fig. 3. SEM image of micro louver patterns.

2.2 Essential macleod software 광학시뮬레이션을 통한 투명보안필름의 투과율 예측

Essential macleod software 광학시뮬레이션을 통하여 마이크로 루버패턴 상에 형성할 SiO₂/SiON 다층박막의 두께조건을 최적화하였다. Essential macleod software는 재료 적층에 따른 투과율을 시뮬레이션할 수 있는 프로그램이다. 두께조건은 아래 수식의 Snell's law에 의해 최적화되었다. 시뮬레이션은 박막이 균질하다는 가정하에 진행되었으며 [13-15], 두께조건은 아래 식 (2)의 Snell's law에 의해 최적화되었다.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$

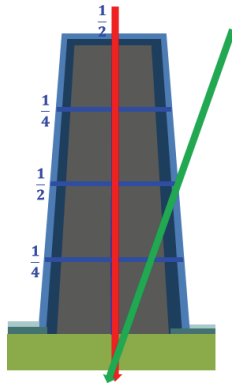


Fig. 4. Viewing angle calculation of privacy film.

시뮬레이션은 각도별로 진행되었으며, 각도별 시뮬레이션은 마이크로 루버패턴의 밑변 중심으로부터 각각 윗변의 1/2 지점 및 옆변의 1/2 지점을 통과하는 선에 대하여 다층박막의 두께 값을 계산하여 진행하였다. 그림 4에 각도별 시뮬레이션 모식도를 나타내었다.

2.3 RF magnetron sputtering 공정을 통한 SiO₂/SiON 다층박막 형성

Essential macleod software 시뮬레이션 결과에 따른 SiO₂/SiON 다층박막 최적화 조건을 바탕으로 투명보안필름의 상부에 다층박막을 형성하였다. 다층박막 형성 공정으로는 비금속물질 증착이 용이한 RF magnetron sputtering 공정을 진행하였다. Rotary pump 및 Turbo pump를 이용하여 1.0×10⁻⁵ torr 이하의 챔버 진공도를 형성 후 30 sccm의 유량으로 Ar gas를 주입하여 챔버 내부에 4.5×10⁻³ torr의 공정압을 형성하였다. RF power는 120 W를 고정조건으로 공정을 진행하였으며, 박막증착은 SiON층 다음 SiO₂층 순서로 진행하였다. SiO₂층 및 SiON층의 두께는 증착시간으로 조절하였다. SiO₂층의 증착시간은 64분, 104분, 144분으로 진행하였으며 SiON층의 증착시간은 24분, 36분, 48분으로 진행하였다. 표 1에 SiO₂/SiON 다층박막의 증착 조건을 나타내었다.

표 2에 SiO₂/SiON 다층박막의 증착조건을 나타내었다. 최초 조건은 essential macleod software 시뮬레이션 내부의 simplex 기능을 이용하여 최적화한 조건인 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm 두께조건을 기준으로 하였다. 시뮬레이션을 통한 최적화 조건을 기준으로 SiO₂층과 SiON층의 두께를 각각 40 nm씩 증가 및 감소시켜 총 9개의 증착조건을 결정하였다.

Table 1. SiO₂/SiON multi-layer deposition condition.

Classification	Unit	Value		
Work pressure (Ar)	torr	4.5×10 ⁻³		
Flow rate	sccm	30		
RF power	W	120		
SiO ₂ deposition time	min	64	104	144
SiON deposition time	min	24	36	48

Table 2. Conditions for the thickness of SiO₂/SiON multi-layer.

Classification	SiO ₂ /SiON multi-layer deposition								
SiO ₂ thickness (nm)	40	80	120	40	80	120	80	120	160
SiON thickness (nm)	80	120	160	80	120	160	80	120	160

3. 결과 및 고찰

3.1 Essential macleod software 광학시뮬레이션을 이용한 SiO₂/SiON 다층박막 적용에 따른 투명보안필름 광학특성 변화 예측

Essential macleod software 광학시뮬레이션 프로그램을 이용하여 SiO₂/SiON 다층박막이 적용된 투명보안필름의 각도별 예측 투과율 값을 산출하였다.

그림 5에 정면 시야각에서 SiO₂/SiON 다층박막이 적용된 투명보안필름의 SiON층 두께 변화에 따른 예측 투과율을 추세를 통해 나타내었다.

그림 5(a)는 SiO₂층 두께가 40 nm일 때 SiON층 두께 변화에 따른 투명보안필름의 예측 투과율 값이다. SiON층 두께가 80 nm에서 120 nm로 증가할 때 450 nm 파장대의 투과율은 97.8%에서 93%로 감소하였으나 550 nm 파장대의 투과율은 89.9%에서 89.6%로, 650 nm 파장대의 투과율은 84.7%에서 94.6%로 증가하여 전체적인 투과율이 증가하는 추이를 보였다. SiON층 두께가 120 nm에서 160 nm로 증가할 때 650nm 파장대의 투과율은 94.6%에서 96.4%로 증가하였으나 450 nm 파장대의 투과율은 93%에서 88.8%로, 550 nm 파장대의 투과율은 98.6%에서 89%로 감소하여 전체적인 투과율이 감소하는 추이를 보였다. 세 파장영역대의 투과율 평균치는 두께의 증가에 따라 90.8%에서 95.4%로 증가했다가 91.4%로 감소하였다.

그림 5(b)는 SiO₂층 두께가 80 nm일 때 SiON층 두께 변화에 따른 투명보안필름의 예측 투과율 값이다. SiON층 두께가 80 nm에서 120 nm로 증가할 때 550 nm 파장대의 투과율은 98.7%에서 98.3%로 감소하였으나 450 nm 파장대의 투과율은 95.5%에서 98.2%로,

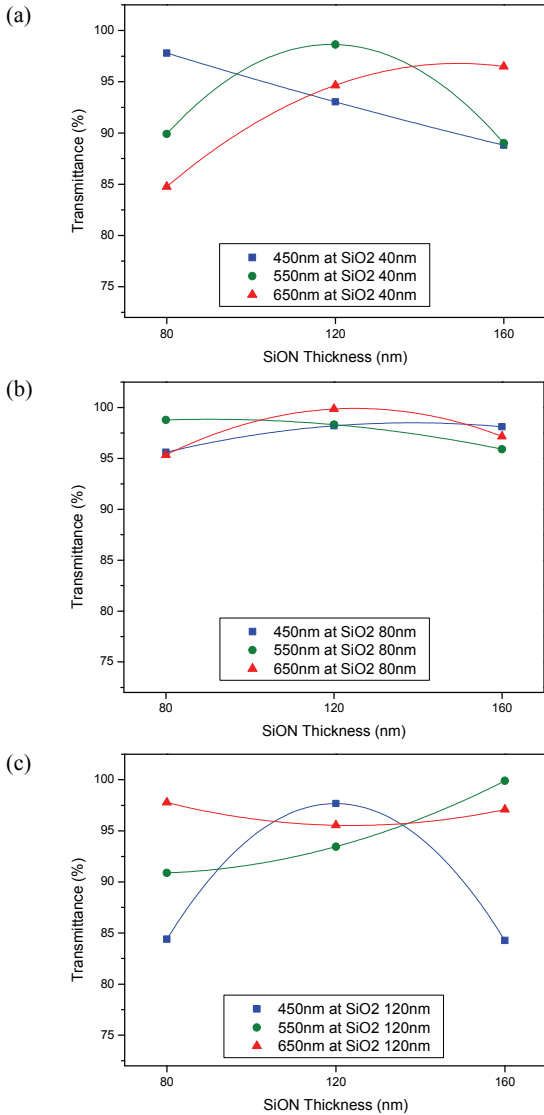


Fig. 5. Transmittance simulation results of privacy film at top viewing angle. (a) Transmittance at SiO₂ 40 nm, (b) at SiO₂ 80 nm, and (c) at SiO₂ 120 nm.

650 nm 파장대의 투과율은 95.3%에서 99.8%로 증가하여 전체적인 투과율이 증가하는 추이를 보였다. SiON 층 두께가 120 nm에서 160 nm로 증가할 때 450 nm 파장대의 투과율은 98.2%에서 98.1%로 변화하여 다소 유지되었으나 550 nm 파장대의 투과율은 98.3%에서 95.9%로, 650 nm 파장대의 투과율은 99.8%에서 97.1%로 감소하여 전체적인 투과율이 감소하는 추이를 보였다. 세 파장영역대의 투과율 평균치는 두께의 증가에 따라 96.5%에서 98.7%로 증가했다가 97.0%로 감소하였다.

그림 5(c)는 SiO₂층 두께가 120 nm일 때 SiON층

두께 변화에 따른 투명보안필름의 예측 투과율 값이다. SiON층 두께가 80 nm에서 120 nm로 증가할 때 650 nm 파장대의 투과율은 97.7%에서 95.5%로 소폭 감소하였으나 450 nm 파장대의 투과율이 84.3%에서 97.6%로 대폭 증가하고 550 nm 파장대의 투과율이 90.8%에서 93.4%로 소폭 증가하여 전체적인 투과율이 증가하는 추이를 보였다. SiON층 두께가 120 nm에서 160 nm로 증가할 때 550 nm 파장대의 투과율은 93.4%에서 99.8%로 증가하였고 650 nm 파장대의 투과율은 95.5%에서 97%로 증가하였으나 450 nm 파장대의 투과율이 97.6%에서 84.2%로 대폭 감소하여 전체적인 투과율이 감소하는 추이를 보였다. 세 파장영역대의 투과율 평균치는 두께의 증가에 따라 91%에서 95.5%로 증가했다가 93.7%로 감소하였다.

그림 5(a)~(c)를 종합하여 SiON층 두께가 80 nm에서 120 nm로 증가할 때는 전체적인 투과율이 증가하며 SiON층 두께가 120 nm에서 160 nm로 증가할 때는 전체적인 투과율이 감소한다는 것을 알 수 있었다. 그림 1에서 가장 최적화된 조건은 모든 파장대에서 97% 이상의 투과율을 나타낸 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm이다.

그림 6의 13.24° 시야각에서 SiO₂/SiON 다층박막이 적용된 투명보안필름의 SiON층 두께 변화에 따른 예측 투과율을 추세선을 통해 나타내었다.

그림 6(a)는 SiO₂층 두께가 40 nm일 때 SiON층 두께 변화에 따른 투명보안필름의 예측 투과율 값이다. SiON층 두께 80 nm에서는 450, 550, 650 nm 모든 파장대의 투과율이 각각 86.5%, 90.5%, 86.9%로 91%를 초과하지 못하여 정면 시야각 투과율에 대하여 약 5% 낮은 수치를 나타내었다. SiON층 두께 120 nm에서는 550 nm 파장대의 투과율이 80%로 650 nm 파장대 투과율에 대하여 약 13% 낮은 수치를 나타내었다. SiON층 두께 160 nm에서는 550 nm 및 650 nm 파장대의 투과율이 각각 93.3% 및 91%로 정면 시야각 투과율에 대하여 약 5% 낮은 수치를 나타내었다.

그림 6(b)는 SiO₂층 두께가 80 nm일 때 SiON층 두께 변화에 따른 투명보안필름의 예측 투과율 값이다. SiON층 두께 80 nm에서 550 nm 파장대의 투과율이 79.2%로 650 nm 파장대 투과율에 대하여 약 20% 낮은 수치를 나타내었다. SiON층 두께 120 nm에서는 550 nm 파장대의 투과율이 91.6%로 450 nm 및 550 nm 투과율에 대하여 약 8% 낮은 수치를 나타내었다. SiON층 두께 160 nm에서는 550 nm 파장대의 투과율이 92.3%로 650 nm 파장대 투과율에 대하여 약

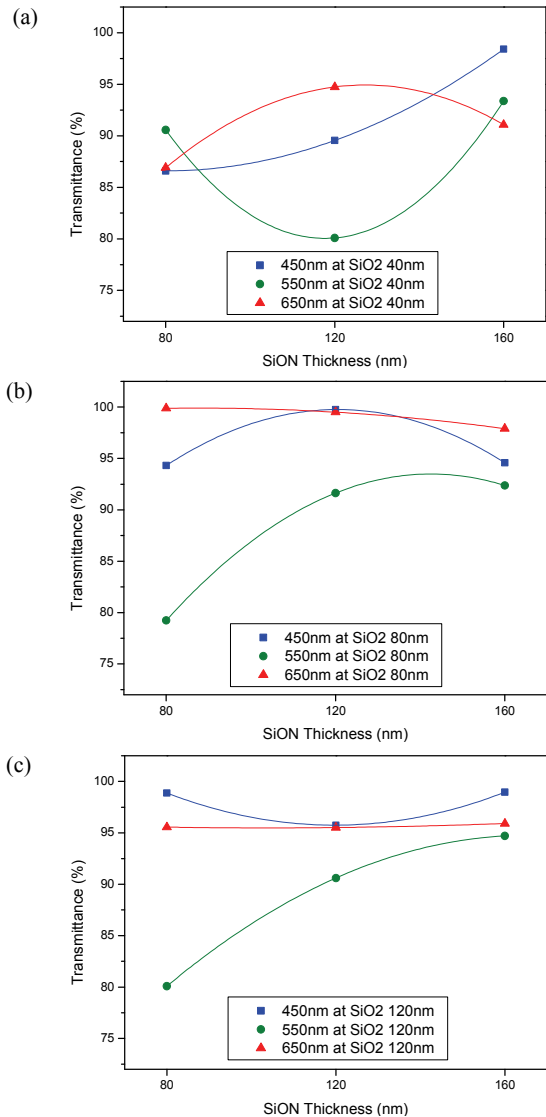


Fig. 6. Transmittance simulation results of privacy film at 13.24° viewing angle. (a) Transmittance at SiO₂ 40 nm, (b) at SiO₂ 80 nm, and (c) at SiO₂ 120 nm.

5% 낮은 수치를 나타내었다. 이에 따라 550 nm 파장대에 대하여 450 nm 및 650 nm 파장대가 94~99%의 비교적 높은 투과율 수치를 가짐에도 불구하고 전체적인 투과율은 낮은 수치를 갖는다고 할 수 있다.

그림 6(c)는 SiO₂층 두께가 120 nm일 때 SiON층 두께 변화에 따른 투명보안필름의 예측 투과율 값이다. SiON층 두께 80 nm에서는 98.8% 투과율을 갖는 450 nm 파장대와 95.5% 투과율을 갖는 650 nm 파장대에 비하여 550 nm 파장대의 투과율이 80%로 비교적 낮은 수준이었다. SiON층 두께 120 nm에서도 450 nm

및 650 nm 파장대 투과율이 각각 95.7% 및 95.5%임에도 550 nm 파장대의 투과율이 90%로 상대적으로 낮은 값을 보였다. SiON층 두께 160 nm에서도 550 nm 파장대의 투과율은 95%를 초과하지 못한 94.6%를 보였다.

그림 6(a)~(c)의 추이를 종합하여 정면 시야각에서의 예측 투과율과 비교하였을 때, 13.24° 시야각에서의 투과율은 전체적으로 정면 시야각에서의 투과율보다 상대적으로 5% 정도 낮은 값들을 보였고, 모든 파장대에서 95% 투과율을 초과하는 조건도 발생하지 않았다. SiO₂층 및 SiON층 두께 변화에 따라 투과율의 변화가 발생하는 것은 박막두께의 변화가 있을 경우 최적화된 무반사 코팅의 SiO₂/SiON 다층박막 두께조건에서 이탈하기 때문이며, 위와 같은 변화의 추이가 파장대별로 다르게 나타나는 것은 파장의 증가에 따른 SiO₂ 및 SiON의 굴절률이 감소하여 두께 및 굴절률에 기인한 투과율이 상이하기 때문이다. 이를 통해 측면 시야각에서는 다층박막 두께의 최적화 조건 이탈에 의하여 투과율 안정화 대신 차광효과가 발생할 것이라고 예측하였다.

3.2 RF magnetron sputtering 공정을 통한 SiO₂/SiON 다층박막 형성

Thin Film사 essential macleod software 시뮬레이션 결과에 따른 SiO₂/SiON 다층박막 최적화 조건을 바탕으로 RF magnetron sputtering 공정을 통해 투명보안필름의 상부에 다층박막을 형성하였다.

마이크로 루버패턴 상에서 magnetron sputter의 증착률을 직관적으로 확인하기 위해 표 2에서 각각 동일한 두께를 갖는 SiO₂ 120 nm/SiON 120 nm 조건을 선정하여, 표 1의 증착조건에 따라 다층박막을 증착하였다. 그림 7에 RF magnetron sputtering 공정을 통해 마이크로 루버패턴 상에 형성한 SiO₂/SiON 다층박막의 SEM 이미지를 나타내었다. 그림 7에 나타난 SiO₂/SiON 다층박막의 증착조건은 SiO₂ 120 nm/SiON 120 nm이다. 그림 7(a)는 마이크로 루버패턴의 상부에 증착된 SiO₂/SiON 다층박막 이미지이고, 그림 7(b)는 마이크로 루버패턴의 측면에 증착된 SiO₂/SiON 다층박막 이미지이다. 그림 7(a)에서 관찰되는 SiO₂층의 두께는 126.8 nm이고 SiON층의 두께는 110.6 nm이다. 두 층 모두 증착조건 및 목표두께와 비슷한 두께로 증착된 것을 확인할 수 있었다. 그림 7(b)에서 관찰되는 SiO₂/SiON 다층박막 두께는 총 110.6 nm로 정면에서의 증착 결과에 대하여 상대적으로 얇은 두께

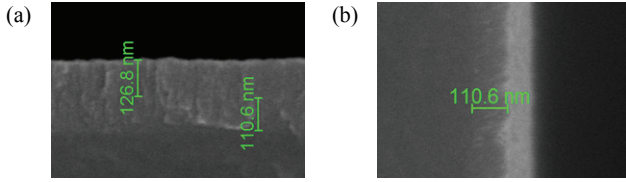


Fig. 7. SEM image of deposited SiO_2/SiON multi-layer. (a) Top and (b) side wall.

이며, 두 층 간의 구별이 난해하게 증착된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 sputtering 공정을 통해 마이크로 루버패턴에 다층박막을 형성하였을 때 패턴 상부는 목표하는 두께치에 근접한 두께를 갖도록, 측면은 목표하는 두께치와 상이한 두께를 갖도록 증착할 수 있다는 것을 확인하였다.

3.3 UV-Vis spectrometer를 이용한 다층박막 적용 투명보안필름의 광학특성 변화 측정

SiO_2/SiON 다층박막이 적용된 투명보안필름의 550 nm 파장대 투과율을 UV-Vis spectrometer (Mega-800, Korea)를 이용하여 측정하였다. 그림 8에 UV-Vis spectrometer 측정 결과를 SiO_2/SiON 다층박막 두께별로 정리하였다.

그림 8(a)에 SiON층 두께 변화에 따른 투과율 측정 결과를 나타내었다. SiON층의 두께가 80 nm에서 120 nm로 증가할 때는 SiO_2 40 nm 조건 투과율이 77.6%, SiO_2 80 nm 조건 투과율이 76.6%, SiO_2 120 nm 조건 투과율이 75.6%로 보안필름의 투과율 변화가 크게 나타나지 않았다. SiON층의 두께가 120 nm에서 160 nm로 증가할 때는 SiO_2 40 nm 조건 투과율이 76.5%에서 68.7%로, SiO_2 80 nm 조건 투과율이 76.7%에서 74.6%로, SiO_2 120 nm 조건 투과율이 78%에서 71.6%로 감소하였다.

그림 8(b)에 SiO_2 층 두께 변화에 따른 투과율 측정 결과를 나타내었다. SiON층의 두께가 40 nm에서 80 nm로 증가할 때는 SiON 160 nm 조건의 투과율 측정치만이 68.7%에서 74.6%로 증가하였으며 SiON층 80 nm 조건은 77.6%에서 76.6%로, SiON층 120 nm 조건은 76.5%에서 76.7%로 감소하였다. SiO_2 층의 두께가 80 nm에서 120 nm로 증가할 때는 SiON 120 nm 조건의 투과율 측정치만이 76.7%에서 78%로 증가하였으며, SiON층 80 nm 조건은 76.6%에서 75.6%로, SiON층 160 nm 조건은 74.6%에서 71.6%로 감소하였다. 또한 전체 조건에서 SiON 160 nm 조건의

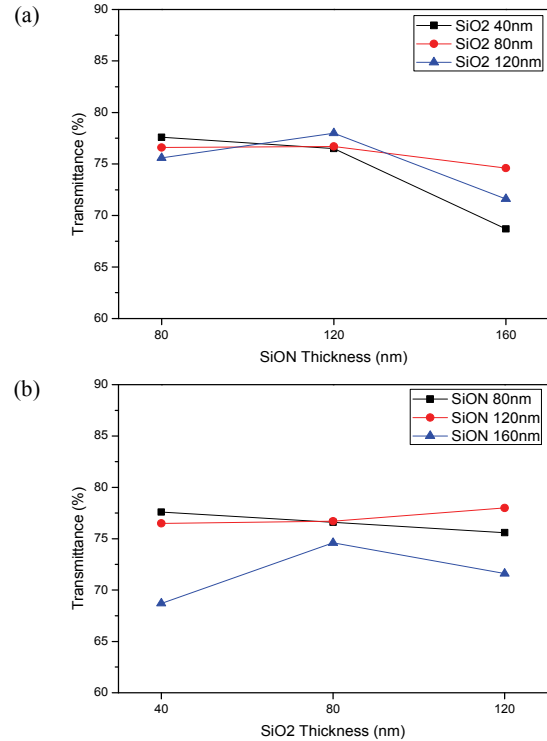


Fig. 8. Measurement results with Hamamatsu spectrometer at 13.24° viewing angle (550 nm). (a) Transmittance varying with SiON thickness and (b) SiO_2 thickness.

투과율 측정치가 80 nm 및 120 nm 조건에 비해 낮은 투과율 측정치를 갖는 경향을 보였다.

가장 높은 투과율 측정치를 보인 조건은 78%의 투과율을 갖는 SiO_2 120 nm/SiON 120 nm 조건이었다. 다층박막의 두께 변화에 따라 투과율이 감소 또는 증가하였으나, SiON층 160 nm 조건에서 80 nm 및 120 nm 조건에 비해 현저히 낮은 투과율 측정치를 보였다. 이를 통해 시뮬레이션 결과와 동일하게 SiON층의 두께가 120 nm를 초과하여 증가할 경우 투과율 값이 최대 68.7%까지 감소한다는 결과를 얻었다. 이는 다층박막의 두께조건이 Snell's law를 기반으로 한 무반사코팅 조건을 벗어났기 때문이다.

3.4 분광계 및 적분구를 이용한 다층박막 적용 투명보안필름의 각도별 광학특성 변화 측정

각도에 따른 SiO_2/SiON 다층박막 적용 투명보안필름의 광학특성을 측정하기 위하여 각도에 따른 광학특성을 측정할 수 있는 적분구와 spectrometer (C10083CA, Japan)를 이용하여 광학특성 평가를 진행하였다. 광원

으로는 삼성전자가 스마트폰을 사용하였다. 특성 평가에는 시뮬레이션을 통해 두께조건이 최적화된 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm 다층박막이 적용된 투명보안필름을 사용하였다. 그림 9에 적분구 및 spectrometer를 이용한 광학특성 평가의 모식도를 나타내었다.

그림 10은 SiO₂/SiON 다층박막의 각도 및 다층박막 두께별 분광계 측정 결과 값이다. 이는 정면 투과율 상승 및 측면 투과율 감소를 통한 광차폐성 확인을 위함이다. 그림 10(a)에 SiO₂층 두께가 80 nm일 때의 분광

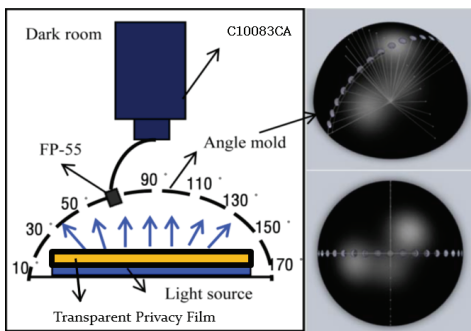


Fig. 9. Angular characteristic measurement process with spectrometer.

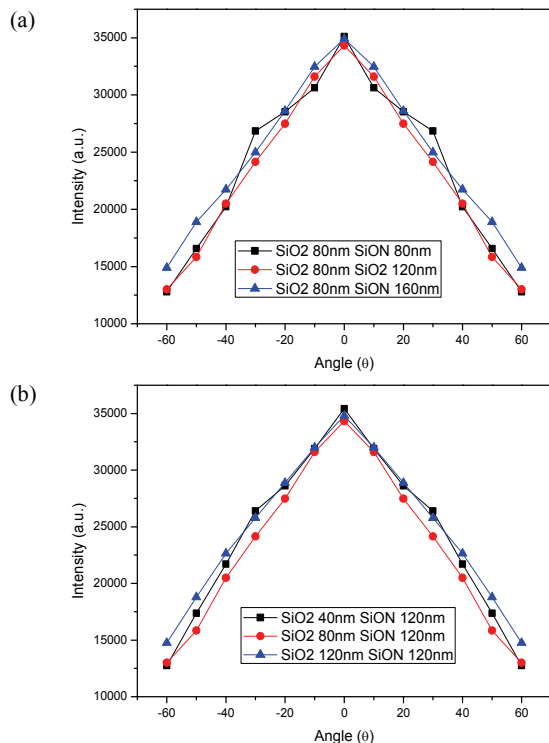


Fig. 10. Measurement results with Hamamatsu spectrometer at top viewing angle (550 nm). (a) Intensity varying with SiON thickness and (b) SiO₂ thickness.

계 측정 결과 값을 각도 및 SiON층 두께별로 나타내었다. 정면 시야각에서의 intensity는 세 두께조건 모두 비슷한 값을 보였으나, 측면 시야각에서의 intensity는 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm 조건에서 가장 낮은 수치를 나타내었으며, 이는 광차폐성이 우수하다는 것을 뜻한다. 이때 정면 대비 측면의 intensity는 34,000:13,000으로 38% 수준이었다. 그림 10(b)에 SiON층 두께가 120 nm일 때의 분광계 측정 결과 값을 각도 및 SiO₂층 두께별로 나타내었다. 정면 시야각에서의 intensity는 세 두께조건 모두 비슷한 값을 보였으나, 측면 시야각에서의 intensity는 그림 10(a)와 동일하게 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm 조건에서 가장 높은 감소폭을 보였다. 이때 정면 대비 측면의 intensity는 34,000:13,000으로 38% 수준이었다.

총 5개의 조건 중 정면 시야각에서의 투과율 및 측면 시야각에서의 광차폐성 최적화가 가장 잘된 조건은 정면 대비 측면에서 높은 intensity 감소폭을 보인 SiO₂/SiON 80 nm 조건으로 정의된다.

그림 11에 시야각 변화에 따른 SiO₂/SiON 다층박막 적용 투명보안필름의 표시효과 변화를 나타내었다. 그림 11(a)는 보안필름 적용 디스플레이의 정면 시야각을, 그림 11(b)는 보안필름 적용 디스플레이의 측면 시야각을 나타낸다. 그림 11을 통해 측면 시야각에서 광

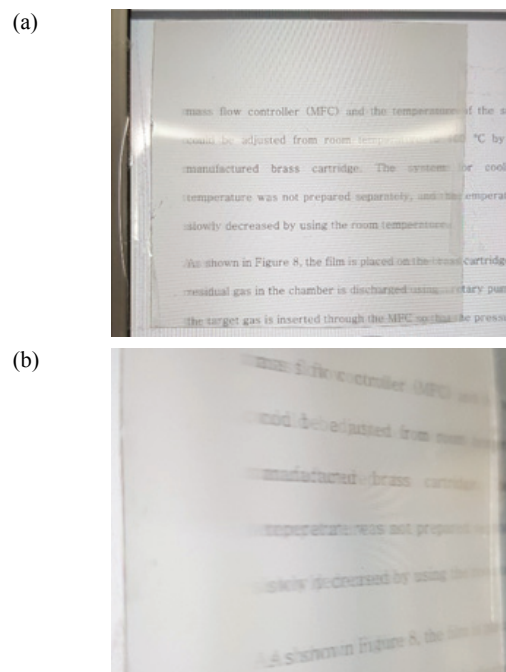


Fig. 11. Variation of display effect of SiO₂/SiON applied privacy film with varying viewing angle.

차폐효과를 통한 글자의 산란을 확인하였다.

그림 10과 11의 양상을 통해 시뮬레이션을 이용한 다층박막의 최적화 두께조건이 다른 두께조건에 비하여 Snell's law를 통한 광차폐효과의 향상을 관찰할 수 있는 수준으로 적용되었음을 확인하였다.

4. 결론

SiO₂/SiON 다층박막의 두께조건 최적화를 통한 정면 시야각 투과율 향상 및 측면 시야각 광차폐효과를 이용하여 측면 시야 차단이 가능한 투명보안필름에 대한 특성 연구를 진행하였다.

Essential macleod software 광학시뮬레이션을 이용한 투과율 예측을 통하여 SiO₂층의 두께 변화가 있을 때와 SiON층의 두께가 120 nm를 초과하여 증가할 경우 투과율 값이 최대 98.6%에서 84.77%까지 감소한다는 예측 결과를 얻었다. 최적화된 다층박막 두께조건으로는 정면 시야각에서 최대 98%, 측면 시야각에서 최소 80%의 투과율을 갖는 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm가 선정되었다.

최적화된 다층박막 두께조건을 기반으로 RF magnetron sputtering 공정을 통하여 마이크로 루버패턴 상에 SiO₂/SiON 다층박막을 형성하고 분광계 및 투과율 측정기를 이용하여 정면 시야각과 측면 시야각에 대한 광학특성을 평가하였다. 특성 평가를 통해 정면 시야각 대비 측면 시야각 투과율이 가장 낮은 다층박막 두께조건으로 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm를 선정하였으며, 이때 정면 대비 측면의 intensity는 34,000:13,000으로 38% 수준이었다. 투과율 측정을 통하여 가장 높은 투과율인 78%를 갖는 다층박막 두께조건으로 SiO₂ 120 nm/SiON 120 nm를 선정하였으며, 시뮬레이션 결과와 동일하게 SiON층의 두께가 120 nm를 초과하여 증가할 경우 투과율 값이 최대 68.7%까지 감소하는 것을 확인하였다.

위의 결과를 통해 다층박막의 층간 반사광의 위상 일치에 따른 투과율 증가 및 감소를 실제로 관찰하였으며, 위상 일치 조건 이탈에 따른 투과율 감소를 측면 시야각에서 광차폐효과 향상에 활용하여 최적화 조건을 선정하였다. 최적화된 SiO₂/SiON 다층박막의 두께조건은 SiO₂ 80 nm/SiON 120 nm로, 여러 조건 중 측면 시야각에서 가장 큰 광차폐효과를 가지며 정면 시야각에서 76.7%의 투과율을 가져 78%의 최대 투과율을 갖는 SiO₂ 120 nm/SiON 120 nm와 1.3% 차이 나는 값을 갖는다.

ORCID

Seong Eui Lee

<https://orcid.org/0000-0002-1396-8534>

감사의 글

This work was supported by Priority Research Centers Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the ministry of Education (NRF-2017R1A6A1A03015562).

REFERENCES

- [1] N. Ruchaud and J. L. Dugelay, *Privacy Protection Filter Using StegoScrambling in Video Surveillance* (MediaEval, Germany, 2015), p. 2.
- [2] J. M. Janic, H. J. Locker, and R. A. Resnick, *Privacy Filter Apparatus for a Notebook Computer Display*, U.S. Pat. No. 6,765,550 (2004).
- [3] R. R. Austin, *Privacy Filter for a Display Device*, U.S. Pat. No. 5,528,319 (1996).
- [4] J. Matsuoka, N. Kitamura, S. Fujinaga, T. Kitaoka, and H. Yamashita, *J. Non-Cryst. Solids*, **135**, 86 (1991). [DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(91\)90447-E](https://doi.org/10.1016/0022-3093(91)90447-E)]
- [5] J. H. Yang, *Thesis, A study on the optical and structural properties of TiO₂-SiO₂ multi-layered thin film by pulsed DC magnetron sputtering*, p. 12-13, Kyonggi University, Gyeonggi do (2017).
- [6] H. Teuri and M. Kobayashi, *Appl. Phys. Lett.*, **32**, 666 (1978). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.89848>]
- [7] M. I. Alayo, D. Criado, L.C.D. Gonçalves, and I. Pereyra, *J. Non-Cryst. Solids*, **338**, 76 (2004). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2004.02.025>]
- [8] K. Lee, *Thesis, SiON/SiO₂ multi-layer films deposition for sapphire with enhancement of transmittance and mechanical hardness by reactive magnetron sputtering*, p. 7-9, Kongju National University, Cheonan (2018).
- [9] W. Y. Kim, *Thesis, Antireflection Coatings Using Low Index Materials Prepared by Oblique Angle Deposition*, p. 3-5, Inha University, Incheon (2014).
- [10] J. Y. Jeon, *Thesis, Metamaterial based anti-reflection coating for plasmonic infrared sensor*, p. 15-17, Sejong University, Seoul (2016).
- [11] Y. J. Choi, *Thesis, Study on Antireflective Coating using Polymeric Nanoparticles and its Application*, p. 8-10, Pohang University of Science and Technology, Pohang (2009).

- [12] F. Rebib, E. Tomasella, L. Thomas, J. Cellier, T. Sauvage, and M. Jacquet, *Appl. Surf. Sci.*, **252**, 5611 (2006). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.12.130>]
- [13] H. J. Lee, *Thesis, Structural and Optical Properties of TiO_2 - SiO_2 Thin Films prepared by Sol-Gel Dip Coating Process*, p. 11-17, University of Ulsan, Ulsan (2002).
- [14] H. S. Kim, *Thesis, A study on the metal mesh for CuN_x - $Cu-CuN_x$ multi-layer touch electrode by reactive magnetron sputtering*, p. 7-9, Korea Polytechnic University, Gyeonggi-do (2016).
- [15] S. J. Park, *Thesis, Improvement of Light Extraction Efficiency of OLED Utilizing High Refractive Index Organic Material and Optical Simulation*, p. 21-27, Kyungpook National University, Daegu (2013).