

직류 스퍼터링법에 의해 제막된 SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂구조 열선반사유리의 열적안정성

김의수 · 유병석

한국유리공업주식회사 기술연구소, 인천 402-130
(1994년 12월 26일 접수)

Thermal stability of low-emissivity glasses consisting of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ films deposited by D.C. planar magnetron sputtering

Eui Soo Kim and Byung Seok Yu

Technical Research Institute, Hankuk Glass Ind., Inc. Incheon 402-130, Korea
(Received December 26, 1994)

요 약 - SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂층 구조로 이루어진 열처리 가능한 열선반사막을 직류 스퍼터링법에 의해 soda-lime silicate 유리위에 형성시켰다. 이 코팅유리를 650°C 에서 열처리하면 가시광선 투과율 85% 이상, plasma wavelength 970 nm 이하를 얻을 수 있었다. 따라서 이 구조의 막은 유리 곡가공에 견디는 열적 안정성을 나타내었으며, 코팅유리의 열처리에 따른 전기적 특성 및 열적 안정성은 각각 Ag 와 Al층의 두께에 의존하였다.

Abstract - Bendable low-E films consisting of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ was deposited onto soda-lime silicate glass by D.C. planar magnetron sputtering. After the heat treatment at 650°C, the transmittance of these low-E coated glass was more than 85% in the visible range and the plasma wavelength was less than 970 nm. The results showed that the SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ film was durable for the glass bending process. The electrical properties and heat stability of the films induced by the heat treatment depended on the thickness of Ag and Al layer, respectively.

1. 서 론

Low emissivity coating(low-E coating 또는 heat mirror)[1-2]유리는 건축물의 냉난방비용을 절감할 수 있는 대표적인 건축재료이다. 이 재료는 높은 가시광선 투과 특성과 열선반사 특성을 나타내는 박막 물질을 유리나 폴리에스터와 같은 투명한 기판위에 코팅하여 만들 수 있다[3-6]. 이상적인 low-E코팅의 경우 맑은유리와 마찬가지로 가시광선영역(380~780 nm)의 고투과 특성 외에도 적외선(IR: InfraRed)영역에서의 반사율도 90% 이상을 나타낸다.

이러한 코팅유리는 유전체/금속/유전체와 같이 다층구조[7]로 되어 있으며, 금속층은 열선을 반사시키

는 층이며 금속층 상하의 유전체층은 금속층의 반사를 낮추고 내구성을 증진시키는 역할을 한다. 그러나 이 구조의 low-E coating유리는 유리를 bending 또는 강화시킬 수 있는 350°C 이상의 온도에서는 내구성이 없다는 단점이 있다. 통상의 3층 low-E유리가 열처리시 변질되는 이유는 열처리를 할 경우에 열선반사막인 Ag층이 응집 또는 산화되거나 주위 박막과 glass층으로 확산되어 colloid 형태로 존재하게 되기 때문이다. 이 결과 코팅유리는 yellowish color를 나타내게 되고 전기전도성이 소멸되어 IR 반사특성을 잃게 된다. 따라서 열적 안정성을 높이기 위해서는 열처리시 Ag층의 변화 즉, 자체적인 agglomeration, 산화, 유리로의 확산 등이 일어나지 않도록 해야 한다.

이를 위한 여러 연구중 대표적인 방법이 Ag층의 상하에 수십 Å의 얇은 다른 금속층을 형성시켜 열처리시에 Ag층을 보호하는 것이다. 이 금속층은 열처리시 최외층의 산화물층을 통해 확산되어 들어온 산소와 결합하여 치밀한 산화물층을 형성하기 때문에 산소의 침투를 막아 Ag가 산화되는 것을 방지해 준다. 또한 Ag 자체의 응집과 유리층으로의 이동을 억제하여 열처리 후에도 금속 Ag층이 유지될 수 있게 한다. 이와 같은 방법에 의해 제조된, 강화, 곡면가공 등의 열처리가 가능한 low-E유리는 제작 직후에는 보호층으로 삽입한 금속층으로 인하여 가시광선 투과율이 낮지만 열처리후에는 통상의 low-E와 동일한 광학적 특성을 나타내게 된다.

본 연구는 이상과 같이 열처리가 가능하도록 금속 보호층을 삽입한 다층막 구조의 low-E유리를 제조할 경우 각 박막의 두께에 따른 열처리시 특성변화를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 제작방법

본 실험에 사용된 코팅장치는 Fig. 1과 같이 1개의

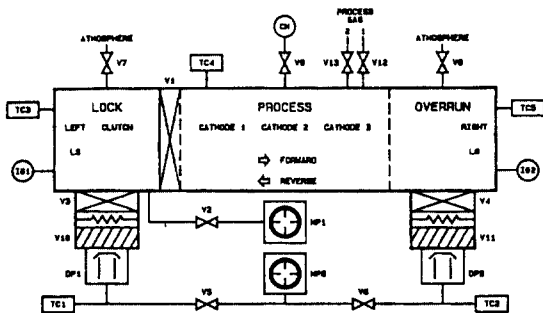


Fig. 1. Schematic diagram of ILS-1600 planar magnetron sputtering system.

Table 1. typical Coating Conditions

Conditions	Layerd	SnO ₂	Al	Ag	Al	SnO ₂
Film thickness(Å)		400	41	121	41	400
Gas flow rate (sccm)		Ar/O ₂ =14/55	Ar=50	Ar=50	Ar=50	Ar/O ₂ =14/55
Power (kw)		1.0	0.4	0.5	0.4	1.0
Conv. Speed (IPM)		20.6	118	118	118	20.6
Pass (times)		2	1	1	1	2

반응실에 3개의 cathode가 장착된 장치이며, 기판은 두께 2 mm의 soda-lime silicate glass를 사용하였다.

산화물을 제작할 경우는 cathode에 1 kw 정도의 power를 인가하고 기판을 1회 왕복(즉, 2 pass)하여 코팅하였으며, 금속막의 경우는 필요한 층의 두께가 매우 얇기 때문에 인가전력을 낮추어 제작하였다. 제작시의 반응실내 압력은 $4\sim6\times 10^{-3}$ torr 였다. 대표적인 제작조건은 Table 1과 같으며, 각 단층막의 두께 변화에 대해서는, 금속박막의 경우는 sputter전력을 바꿔가며 두께를 조절하였고 산화물 박막의 경우는 conveyor speed에 의해 두께를 조절하였다.

2.2. 열처리

코팅 후 열처리에 따른 박막의 특성변화를 조사하기 위하여 650°C로 유지된 전기로 속에 코팅된 유리를 투입하여 5분간 유지시킨 후 대기중에서 냉각시켰다.

2.3. 제작된 박막의 특성 시험방법

2.3.1. 분광투과반사율

광학적 특성 즉, 가시광선 투과율과 적외선 반사율은 UV-VIS-NIR spectro-photometer(Perkin Elmer사, Lambda 9)를 사용하여 300~2,500 nm의 파장범위를 측정하였다.

2.3.2. Emissivity

Low-E유리의 특성을 좌우하는 emissivity의 측정은 FT-IR spectro photometer(Perkin Elmer사, 1850)를 사용하여 코팅면에 대해 2.5~25 μm 파장범위의 반사율을 측정후 KSL-2514에 따라 계산하였다.

2.3.3. 면저항

제작된 막의 면저항은 열처리 전, 후에 걸쳐 4 point probe method를 사용하여 측정하였다.

2.3.4. ESCA depth profile

제작된 막의 열처리 전,후의 막구조를 확인하기 위해 ESCA(Vacuum Generation, ESCALab 200-D)를 사용하여 코팅막의 depth profile을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

통상의 low-E유리의 코팅막 구조는 산화물층/Ag/산화물층/기판유리의 3층의 구조로 되어 있으나 본 실험에서 제작한 low-E유리는 다음과 같이 Ag와 양산화물층 사이에 금속층이 포함된 구조로 되어 있다.

산화물층 | 금속 | Ag | 금속 | 산화물층 | 기판유리
 보호층 (IR반사층) | 보호층

즉, Ag층의 열적 안정성을 도모하기 위하여 금속보호층으로 Al층을, 광학적 특성을 향상시키며 내부의 금속층을 보호하기 위하여 금속 보호층 주위에 SnO₂ 산화물 유전체층을 사용한 SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂/기판유리 구조의 low-E유리를 제작하였다.

3.1. 광학적 특성

다음의 Fig. 2는 Al박막과 SnO₂박막의 두께를 각각 40Å, 410Å으로 고정하고 Ag박막의 두께를 95~145Å까지 변화시켜 제작한 후 650°C에서 5분간 열처리한 경우의 박막의 특성을 측정할 것이다. 반사 spectrum과 투과 spectrum이 교차하는 지점으로 low-E특성의 지표가 되는 P_w(Plasma wavelength)는 Ag층의 두께가 증가함에 따라 단파장으로 이동하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 Ag층의 두께가 95Å인 경우의

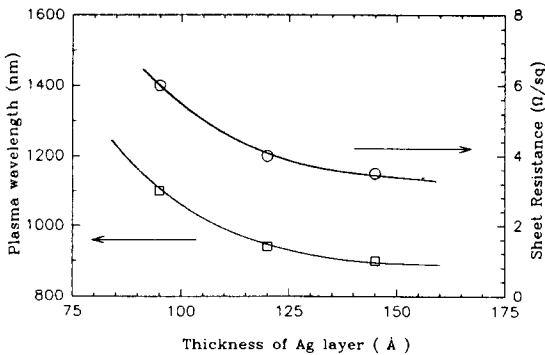


Fig. 2. The sheet resistance and the plasma wavelength of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (SnO₂ = 410Å, Al = 40Å) films as a function of Ag thickness after heat treatment at 650°C for 5 min.

P_w는 1,100 nm이었으나 145Å일 때는 900 nm로 이동하였다. 가시광선 영역에서의 투과 및 반사율을 관찰하면 Ag박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 반사율은 증가하고 투과율은 감소하였다. Ag층의 두께가 145Å인 경우 500 nm 파장에서의 투과율과 반사율은 각각 86%와 8%인 반면 95Å인 경우에는 반사율이 4% 정도로서 코팅유리의 유리면 반사를 고려하면 500 nm 파장에서는 코팅층에 의한 반사는 거의 일어나지 않음을 알 수 있다. IR영역에서의 반사는 Ag층의 두께가 증가됨에 따라 높아지며, 2,500 nm 이상의 파장에서는 90% 이상의 반사율을 나타내었다. 반면, Ag층의 두께가 얇은 경우는 IR반사율이 급격히 감소하는데, 이는 열처리시 Ag층이 파괴되기 때문인 것으로 추정된다.

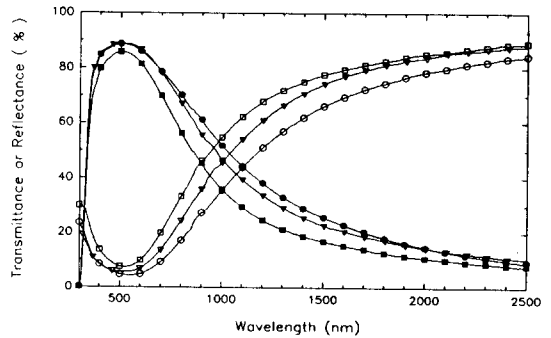


Fig. 3. The optical transmittance and reflectance of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (SnO₂ = 410Å, Al = 40Å) films as a function of Ag thickness after heat treatment at 650°C for 5 min. (○: 95Å, ▽: 120Å, □: 145Å, filled: transmittance, hollowed: reflectance)

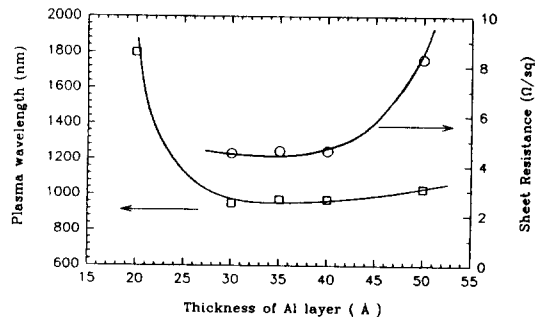


Fig. 4. The sheet resistance (○) and plasma wavelength (□) of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (SnO₂ = 410Å, Ag = 120Å) films as a function of Al thickness after heat treatment at 650°C for 5 min.

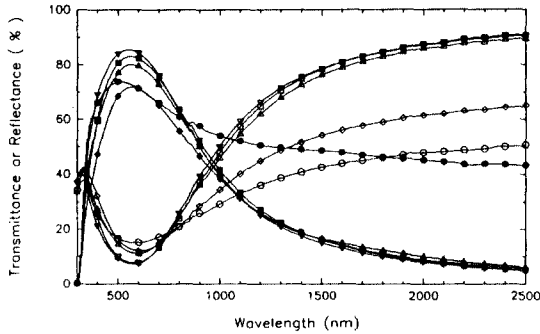


Fig. 5. The optical transmittance and reflectance of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (SnO₂=410Å, Ag=120Å) films as a function of Al thickness after heat treatment at 650°C for 5 min. (○: 20Å, ▽: 30Å, □: 35Å, △: 40Å, ◇: 50Å, filled: transmittance, hollowed: reflectance)

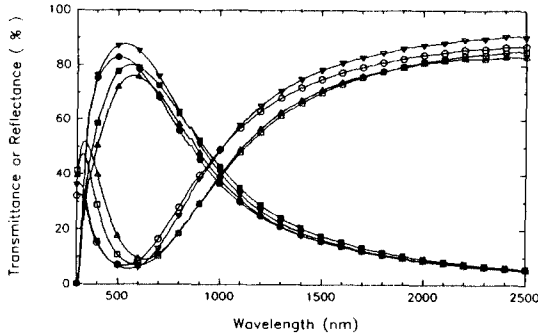


Fig. 6. The optical transmittance and reflectance of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (Ag=120Å, Al=40Å) films as a function of SnO₂ thickness after heat treatment at 650°C for 5 min. (○: 350Å, ▽: 400Å, □: 450Å, △: 500Å, filled: transmittance, hollowed: reflectance)

Fig. 4는 보호 금속층 역할을 하는 Al층의 두께를 변화시키면서 제작한 low-E유리에 대하여 650°C 에서 5분간 열처리한 후의 plasma wavelength 값과 면저항의 변화를 측정 한 것이다. Al층의 두께가 20Å 이상인 경우 열처리시에 Al층만 산화되고 Ag층은 그대로 안정하므로 P₀가 1,000 nm 이하로 되었으나 Al층의 두께가 50Å 이상일 때에는 Al층이 완전히 산화되지 않기 때문에 P₀는 1,000 nm 이상을 나타내었다(Fig. 5). Al층의 두께가 30~40Å인 경우 550 nm 파장에서의 투과율이 80% 이상, 그리고 반사율이 10% 미만인 전형적인 다층막 low-E유리의 분광특성을 나타내 Al

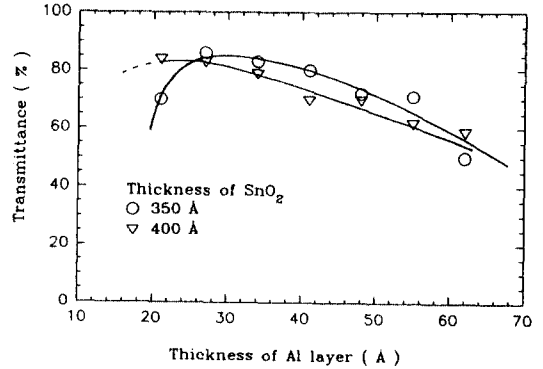


Fig. 7. The visible transmittance of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (Ag=120Å) films as a function of Al thickness after heat treatment at 650°C for 5 min.

층이 완전히 산화되었음을 알 수 있다. 그러나 Al층의 두께가 50Å 이상인 경우에는 완전히 산화되지 않은 Al막의 영향으로 인해 가시광선영역에서의 투과율은 70% 이하, 반사율은 15% 이상으로 나타났으며, 적외선 영역의 반사율이 낮기 때문에 low-E특성도 저하되었다. 반면에 Al층의 두께가 20Å 이하로 매우 얇은 경우에는 low-e층이 소멸되는 결과를 나타내었는데 이는 Al층이 보호층으로 충분한 역할을 하지 못하기 때문이라 여겨진다.

Fig. 6은 Al층의 두께를 40Å, Ag층의 두께를 120Å으로 각각 고정하고 SnO₂층의 두께를 변화시킨 즉, 유전체막의 두께에 따른 투과, 반사곡선을 나타낸 것이다. 통상의 경우 Ag만을 제막(두께: 120Å)한 코팅 유리의 가시광선 반사율은 50% 이상을 나타내지만, 이 Ag층 주위에 굴절률이 2.0 이상인 투명박막을 약 400Å 두께로 제막하면 반사율이 5% 이하로 낮아진다. 즉, 산화투명박막은 저반사 및 내부금속층의 산화방지 등 2가지 효과를 나타낸다. 본 실험에서는 SnO₂층이 저반사층의 역할을 하고 있기 때문에 이 층의 두께 또는 굴절률이 달라지면 저반사효과도 저하된다. Fig. 6의 결과에서 보듯이 SnO₂층의 두께가 400Å인 경우에 반사율이 가장 낮으며, 이 층의 두께가 두꺼워짐에 따라 가시광선 반사율이 증가하고 반사율이 최소가 되는 파장이 장파장쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. SnO₂층의 두께가 증가함에 따라 가시광선 투과율이 감소되는 것은 SnO₂층에 의해 반사율이 증가되는 이유 이외에도 Al층의 산화불량으로 인한 광흡수에도 영향을 받는 것으로 사료된다. SnO₂층의 두께가 500

Å으로 두꺼운 경우에도 Al층의 산화불량에 기인한 IR반사율의 저하현상이 나타났다. 이와 같이 산화물 박막이 내부금속층의 산화를 억제하는 결과는 E. Kusano 등의 실험[8]에서 ITO를 산화막으로 사용했을 때와 유사한 결과를 보이고 있다.

Fig. 7은 SnO₂층의 두께를 350~500Å 범위에서 변화시키면서 동시에 보호층인 Al층의 두께도 변화시켜 제막한 시편에 대한 열처리 후의 평균 가시광선 투과율을 나타낸 것이다. 가시광선 투과율은 SnO₂의 두께가 두꺼워짐에 따라 감소하는데 이는 다음과 같은 2 가지 효과 ① AR층으로서의 광학적 두께가 증가함에 따라 반사율이 증가되고 ② SnO₂층의 두께가 두꺼워짐에 따라 O₂가 Al층으로 확산되는 것을 방해하여 열처리에 Al이 완전히 Al₂O₃로 산화되지 않기 때문인 것으로 판단된다. 보호막의 산화불량은 SnO₂ 박막의 두께가 500Å 이상, 그리고 Al층의 두께가 40~50Å 이상인 경우에 나타났다.

3.2. 전기적 특성

Low-e 유리에서 면저항은 emissivity 값을 결정하는 중요한 요소이다. 통상 면저항값이 낮아지면 low-E 특성이 좋아지는데 emissivity 값이 0.1 전후인 low-E의 경우 면저항 값은 4 Ω/□ 전후의 값을 나타낸다. 본 실험의 다층막 low-E유리의 면저항은 일반적인 3층막 구조 low-E유리에 비하여 부가적인 Al층이 있음에도 불구하고 열처리전에는 낮은 값을 나타내었다. Al 금속은 비교적 전기전도성이 좋아 전도체로 많이 사용하고 있는 물질이지만 박막이 전기전도도에 기여하는 정도는 Ag에 비하여 매우 낮다. 또한 sputtering한 Al 박막의 비저항은 두께가 100Å 이상인 경우에 약 $1.184 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 로서 이 값은 bulk상태 Al의 비저항값인 $2.5 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ [9]에 비하여 5배

정도 높은 값으로서, 제막된 박막에서는 bulk 상태의 경우에 비해서 전자의 이동을 방해하는 결함이 많으며 더우기 막 두께가 얇을 경우에는 코팅물질이 상호 연결되지 못하고 고립되기 때문이라 추정된다. 따라서 Al층이 보호층으로 사용된 본 실험의 low-E유리에서는 Al층이 전기전도에 아무런 역할을 하지 못하는 것으로 나타났다.

Table 2는 전기적 성질을 주로 결정하는 Ag박막의 특성을 조사하기 위해 행한 실험 결과이다. 유리기판 위에 Ag만을 제막하였을때의 면저항값이 3.5 Ω/□로서 문헌[1]상의 값과 일치한다. 그러나 SnO₂막 위에 Ag박막을 제막한 경우는 면저항이 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 표면의 결함으로 인하여 Ag박막의 연속성이 감소되어, 국부적인 고립상태가 나타났기 때문이다. 이 Ag박막 위에 SnO₂박막을 또다시 제막한 경우에는 SnO₂막 제막시 형성되는 산화성 plasma에 의하여 Ag박막이 산화막으로 변했기 때문에 전도특성이 소멸되었다. 따라서 Ag박막을 산화물층 사이에 위치시키려면 Ag박막을 제막한 다음에 적당한 금속층을 5~10Å 정도 제막한 후 산화막을 제막해야만 Ag층의 산화를 방지할 수 있다.

Fig. 2에 SnO₂층의 두께가 410Å이며 Al층의 두께가 40Å인 경우에 대하여 Ag층의 두께에 따른 면저항값의 변화를 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 Ag층의 두께가 증가하면 면저항이 감소하며, Ag층의 두께가 120Å일때 면저항값이 4 Ω/□ 정도로 문헌[1]상의 값과 일치한다.

Ag층의 두께를 120Å으로 고정하고 Al 층의 두께를 변경시켜 제막한 low-E유리의 전기적 특성을 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 SnO₂층의 두께가 400Å일때 Al층의 두께가 20~40Å인 경우에는 면저항값이 4~5 Ω/□ 으로서 두께에 따른

Table 2. Effect of Substrates & Overcoating on Sheet Resistance

Sample	Layer	Gas(Ar/O ₂ , sccm)	Thick.(Å)	Power(kw)	Cv.(IPM)	Pass(회)	면저항(Ω/□)
AG1	Ag	40/0	150	0.5	94.4	1	3.5
AG2	SnO ₂	15/56	410	1.0	22.1	2	4.0
	Ag	40/0	150	0.5	94.4	1	
AG3	SnO ₂	15/56	410	1.0	22.1	2	∞
	Ag	40/0	150	0.5	94.4	1	
	SnO ₂	15/56	410	1.0	22.1	2	

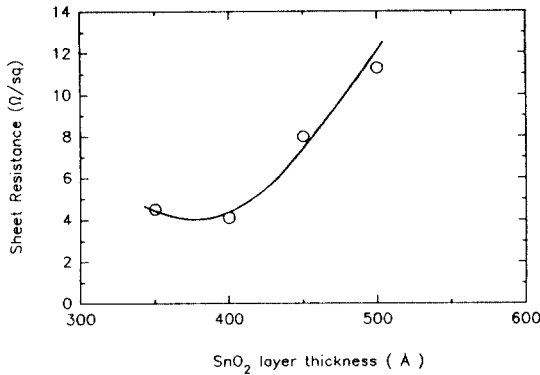


Fig. 8. The sheet resistance of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (Ag=120Å, Al=40Å) films as a function of SnO₂ thickness after heat treatment at 650°C for 5 min.

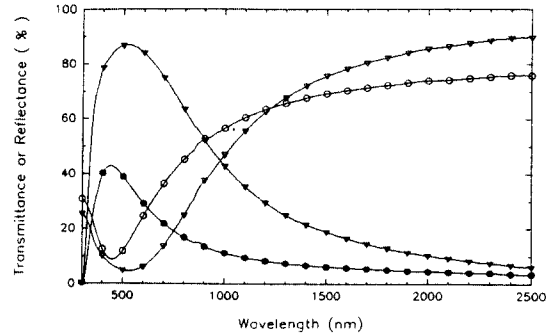
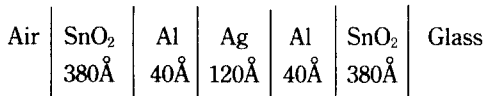


Fig. 9. The optical transmittance and reflectance of SnO₂/Al/Ag/Al/SnO₂ (SnO₂=410Å, Ag=120Å, Al=40Å) films, before(▽) and after(*) heat treatment at 650°C for 5 min. (filled: transmittance., hollowed: reflectance)

영향은 없었다. 그러나 Ag층의 두께를 120Å, Al층의 두께를 35Å로 고정하고 SnO₂층의 두께를 변경시켜 제작한 경우의 면저항측정값을 나타낸 Fig. 8의 결과와 같이 SnO₂층의 두께가 450Å 이상일 때에는 면저항이 8 Ω/□ 이상으로 상승되는데, 이는 Al층이 완전히 산화되지 않았기 때문으로 추정된다.

3.3. IR 투과 반사율 및 emissivity

Emissivity를 측정하기 위하여 아래와 같은 두께로 제작한 후 열처리 전후의 IR반사율 측정치로부터 emissivity를 계산하였다.



Emissivity를 측정하기 위해서는 2.5~25 μm 범위의 파장에 대해서 반사율을 측정해야 하지만, 2.5 μm 이상의 파장영역에서는 반사율이 다소 증가할 뿐이므로 가시광선-근적외선 부분의 spectrum을 Fig. 9에 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 열처리전의 시편은 투과율이 낮으며 가시광선영역의 반사율이 높다. 이는 금속 Al층에 의한 광흡수가 발생하고, 이로 인하여 주위의 저반사층(SnO₂)이 제대로 역할을 하지 못하기 때문이다. 또한 plasma wavelength도 단파장 쪽으로 이동하였는데 이는 Al층의 광흡수로 인하여 투과율이 낮아졌기 때문이다. 반면에 IR영역에서는 내부의 금속층(Ag와 Al)으로 인하여 어느 정도의 IR 반사특성을 나타낸다. 열처리전의 IR 반사특성이 부

가적인 Al층이 있음에도 불구하고 열처리후에 비하여 IR 반사율이 낮은 이유는 Al층에서의 광흡수 및 Al/SnO₂/Air층에 의한 IR광의 간섭현상 때문으로 추정된다. 이 시편을 열처리하면 가시광선 영역에서 투과율은 증가하고 반사율은 감소되는데, 이는 광흡수층이 없어져 정상적인 저반사 특성이 나타나기 때문이다. 또한 IR영역의 반사율은 90% 이상으로 상승되며, plasma wavelength는 980 nm로 정상적인 low-E 특성을 나타내었다. Low-e 특성의 지표가 되는 emissivity값은 열처리함에 따라 약 0.217에서 0.097 정도로 좋아졌다.

3.4. 물리 화학적 특성변화

열처리시 발생하는 여러가지 결함의 원인을 파악하기 위하여 Table 1의 조건으로 제작한 후 열처리 전후 시편에 대하여 ESCA분석을 수행하였다. Fig. 10-(a)는 열처리전의 코팅유리를 측정해 본 것으로 5개의 층이 모두 정상적으로 나타났다. 중간에 제작된 금속층(Al)에서도 oxygen 원자가 검출되는 것은 depth profile시 oxygen gun을 사용하였기 때문이다. 이 시편을 열처리한 후 정상적인 특성을 나타내는 시편의 경우를(Fig. 10-(b)) 열처리전과 비교해 보면 Ag층의 peak가 약간 커졌을 뿐 커다란 차이없이 5개의 층이 모두 순서대로 나타난다. 이는 단순히 Al층만이 산화되었을 뿐 확산에 의한 Ag의 이동이 일어나지 않은 것을 나타낸다. Fig. 10-(c)는 700°C에서 5분간 열처리한 경우의 시편에 대한 측정 결과이다. 열처리온도가

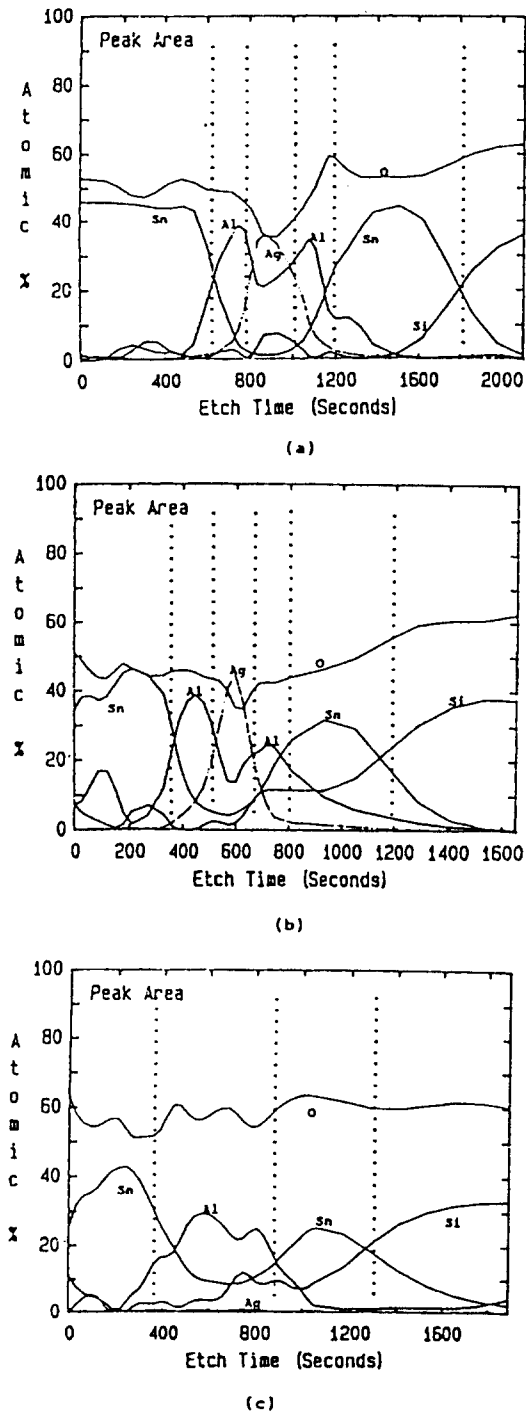


Fig. 10. The schematic representation of ESCA depth profile of $\text{SnO}_2/\text{Al}/\text{Ag}/\text{Al}/\text{SnO}_2$ films, a) before, b) after heat treatment at 650°C for 5 min and c) after heat treatment at 700°C for 5 min.

높아짐에 따라 Ag층이 소멸되고 2개의 Al층이 하나로 합쳐진 것을 알 수 있다. 어느 정도 깊이까지 depth profile하여도 Ag가 검출되지 않는 것은 열처리시 Ag가 유리내부 깊숙히 확산되어, 그 농도가 매우 낮아져 ESCA의 검출 한계를 벗어났기 때문이라 판단된다. 이 경우 유리의 색상은 yellowish하게 변하였는데 이는 Ag가 유리중으로 확산되어 나타나는 색상으로, EDS 정성분석을 통해 확인하였다. 열처리에 Ag층의 확산두께를 확인하기 위하여 변색된 부위를 불산(HF)을 사용하여 약 $1\mu\text{m}$ 까지 에칭하였으나 여전히 yellow색상이 남아있었다. 이로 미루어 보아 Ag는 $1\mu\text{m}$ 이상의 깊이까지 침투한 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

$\text{SnO}_2/\text{Al}/\text{Ag}/\text{Al}/\text{SnO}_2$ 구조 low-E유리를 구성하고 있는 각 구성막의 두께를 변화시켜가며 제작한 시편에 대하여 열처리한 경우, 각 막의 두께가 열적 안정성에 미치는 영향에 대한 실험 결과는 다음과 같다.

박막구조로서 $\text{glass}/\text{SnO}_2/\text{Al}/\text{Ag}/\text{Al}/\text{SnO}_2$ 구조에 대하여 실험한 결과, 열처리에 가장 안정적이며 우수한 IR 반사특성을 나타내는 각 층의 두께는 SnO_2 : $400\sim 450\text{\AA}$, Al: $30\sim 40\text{\AA}$, Ag: 120\AA 이었으며, 이 경우 열처리후의 가시광선 투과율은 85% 이상 그리고 plasma wavelength는 970 nm 이하 이었다.

박막의 전기적 특성 및 emissivity는 주로 Ag층의 두께에 의존하며 120\AA 두께로 제작한 경우 각각 $4.1\ \Omega/\square$, 0.097까지 얻을 수 있었다. 그러나 열처리에 따른 안정성은 Al 층의 두께에 크게 의존하였다.

참고문헌

1. Francis Ryan, Paul Young, "Heat processing of Transparent conductive coatings," Proceedings Coating technology Symposium, 14, AIRCO SOLAR PRODUCTS (1987).
2. H. Kostlin and G. Frank, "Optimization of Transparent heat mirrors based on a thin silver film between antireflection films," Thin Solid Films, 89(3), 287-293 (1981).
3. Kevin H. Betts, Robert R. Parsons, and Michael J. Brett, "Heat mirrors for greenhouses," Applied

- Optics, **24**(16), 2651 (1985).
4. John C. C. Fan and Frank J. Bachner, "Transparent heat mirrors for solar-energy applications," *Applied Optics*, **15**(4), 1012 (1976).
 5. Rucy L. Malobicky, H. Edward Littell, "Automotive Glass: Two approaches to reducing heat load inside a vehicle," U.S. Glass, Metal & Glazing, (7), 42 (1990).
 6. Cari M. Lampert, "Solar Optical Materials for innovative window design," *Int. J. Energy Research*, **7**(4), 359-374 (1983).
 7. John C. C. Fan, "Sputtered films for wavelength selective applications," *Thin Solid Films*, **80**, 125-136 (1981).
 8. E. Kusano, J. Kawaguchi, and K. Enjouji, "Thermal stability of heat-reflective films consisting of oxide-Ag-oxide deposited by DC magnetron sputtering", *J. Vac. Sci. Vac. Soc. A.*, **4**(6), (1986).
 9. 日本學術振興會薄膜第131委員會, Thin film handbook, 452-458, オ-ム社 (1984).