

졸-겔법으로 제조된 SiO₂막의 적외선 복사특성에 관한 연구

강병철[†] · 김영근 · 김기호*

한국건설자재시험연구원

*충북대학교 재료공학과

Infrared Radiation Properties for SiO₂ Films Made by Sol-Gel Process

Byungchul Kang[†], Younggeun Kim and Kiho Kim*

Korea Institute of Construction Materials, Seoul 137-073

*Dept. of Materials Engineering, ChungBuk National University, Cheongju 361-763

(2003년 2월 20일 받음, 2003년 10월 10일 최종수정본 받음)

Abstract FT-IR and thermograph were used to investigate the infrared radiation characteristics of SiO₂ film made by the sol-gel method. FT-IR spectrum of the SiO₂ film showed high infrared absorption by Si-O-Si vibration at 1220, 1080, 800 and 460 cm⁻¹. The infrared absorption and radiation wavelength ranges of the SiO₂ film measured by the integration method coincided with the reflection method, and the infrared emissivity was 0.65, equally. Depending on the bonding of elements, the infrared emissivity was high in the wavelength range where the infrared absorption rate was high, that follows the Kirchhoff's law. The emissivity showed the highest value in the wavelength range between 8~10 μm. SiO₂ film was considered as an efficient materials for infrared radiator at temperature below 100°C. The heat radiation temperature was 117°C for the aluminum plate, but 146°C for the SiO₂ film after 7 minutes heat absorption, consequently, 29°C higher than the former.

Key words SiO₂ film, Infrared emissivity, Radiance, Reflectivity, FT-IR

1. 서 론

졸-겔법이 새로운 소재의 유리 또는 세라믹을 만드는 새로운 방법으로 취급되기 시작한 것은 1970년도¹⁾ 경으로 연구자들에게 주목을 받기 시작했다. 1985년부터 졸-겔법에 의해 제조된 실리카 유리, 섬유,²⁾ 코팅막^{3,4)} 등의 제품이 실용화되고 무기유기 복합체를 합성시켜 화학제품, 전기재료 분야에서 주목을 받아서 발전의 계기를 마련했다.

최근에는 졸-겔법으로 부터 박막(thin film), 화이버(fiber), 유리, 고순도의 세라믹 분말 등과 같은 물질을 제조할 수 있기 때문에 더 많은 흥미를 끌고 있다. 특히 금속 산화물의 박막으로 반도체, 금속, 유리, 세라믹 코팅은 졸겔법의 가장 중요한 응용 분야의 하나로서 많은 연구가 행해져 왔다.⁵⁾ 어느 물질에 피복시켜 새로운 기능성을 제공하며 이들 표면 특성을 개선한다. 즉 다른 물질에 피복시켜 기계적 또는 화학적 보호기능, 광학기능, 전자기기능, 촉매기능을 부여한다.⁶⁾ 특히 광학적 특성으로는 유리의 착색, 광 흡수, 적외선 차단, 반사 방지막 등에 많이 연구가 되고 응용하여 왔다.⁷⁾ 그러나, 이러한 특성들 중에서도 적외선 흡수 및 복사특성에 대한

연구는 아직 찾아 볼 수 없었으며, 따라서 적외선 흡수 특성 연구에 의해 적외선 복사체로서 사용될 많은 가능성이 있다.

적외선은 온도를 가지고 있는 물질표면에서 방출되는 전자기파로서 에너지를 전달한다. 적외선에 의한 에너지 전달은 직접 피 가열 물체에 도달하여 에너지 손실이 적고 열효율이 양호한 특징이 있다. 이것은 종래의 수증기, 열풍 등의 열 매개체를 필요로 하는 대류열, 전도열에 의한 가열방식에 비해 적외선의 복사열에 의해 물체를 직접 발열시키는 것으로, 농수산물의 건조, 식품가공, 가열가공, 난방 등의 여러 분야에서 이용되고 있다.⁸⁾ 지금까지의 적외선 복사체로서 복사율이 큰 재료 또는 이들을 표면에 피복한 재료를 이용하고 있다. 적외선 복사 재료를 분류하면 Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂, TiO₂, MgO 등의 금속산화물이나, 탄화물과 같은 내열 무기재료들이 주로 사용되어 왔다.⁹⁾ 이들의 제조방법은 고온에서의 소결 또는 용융 용사 등의 세라믹스 성형기술을 이용한 경우가 많고 상온에서의 제조방법은 적다.

본 연구에서는 상온 제조방법으로 졸-겔법에 의해 SiO₂ 막을 제조하여 이 제조막에 대한 적외선 흡수 및 반사 스펙트럼을 측정하여 적외선 영역에서 SiO₂막의 적외선 흡수특성과 반사특성을 해석해서 결정구조를 분석하였다. 또한, 원자 결합에 따른 SiO₂막의 적외선 복사율과 복

[†]E-Mail : kabych@kiem.re.kr

사에너지에 대해 SiO₂막의 적외선 반사를 측정에 의한 간접적인 방법과 SiO₂막에서 방출되는 적외선을 직접 측정하여 비교하였으며, 알루미늄 표면과 SiO₂막의 적외선 복사온도를 비교하여 그 특성을 규명하였다.

2. 실험 방법

2.1 졸 제조

본 실험에서, SiO₂막의 제조에는 Aldrich사의 CH₃Si(O₂H₅)₃(MTEOS)과 에탄올을 3:1의 몰비로 하여 HCl을 촉매로 하고 증류수를 사용하였다. 즉, MTEOS와 에탄올을 칭량하여 500 ml 3구 플라스크에 넣고 30분간 교반시킨 후 증류수와 염산을 뷰렛을 통해 소정량을 적하시켜 90분간 교반하여 반응시켰다. 이때 건조조절 첨가제인 폴리비닐부틸알(polyvinyl butyral)을 0.5몰 첨가하였으며, 합성된 용액을 유리용기에 넣어 랩으로 밀봉을 하여 30°C의 건조기에 넣어 겔화시켰다. 그리고 전처리 과정을 거친 1100 알루미늄판에 스프레이 코팅으로 막을 형성하였다.

2.2 물성평가

얻어진 겔 시료의 열분해 및 상전이 특성을 조사하기 위하여 열분석 장치(DT-30, Shimadzu사, Japan)를 사용하여 상온에서 1000°C까지 공기 분위기에서 시차열분석(DTA) 및 열중량(TGA) 분석을 하였다. 또한 결정구조를 알아보기 위해 열처리 후에 X-선 회절분석기(D5005 X-Ray Diffractometer, BRUNKER AXS)를 이용하여 측정하였다. 또한 제조된 겔의 적외선 흡수스펙트럼을 확인하기 위해 열처리 후에 KBr 분말에 1% 정도 혼합하여 시료를 만들고, 8 cm⁻¹의 분해능으로 20회 스캐닝을 실시하여 적외선 흡수스펙트럼을 얻었다. 이때 FT-IR (MIDAC 2200, MIDAC, USA)를 사용하였으며, 적외선 반사 스펙트럼은 반사-흡수(reflection-absorbance)법을 이용하였고 금이 코팅된 거울을 반사 기준물로 하여 알루미늄 표면에 코팅된 SiO₂막을 측정하였다. 이때 어퍼처와 입사각이 30°가 되도록 하였다.

2.3 적외선의 복사 측정

적외선 복사를 측정장치는 FT-IR(MIDAC M2410-C, MIDAC, USA), 외부광학계, 복사율이 0.999인 흑체로(I.S.D. Corp. Model 563), 40~400°C까지 조절이 되는 시편 가열로로 구성되어 있으며 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 흑체와 시료가 동일온도가 되었을 때 먼저 흑체의 적외선 복사에너지 강도 $E_{b\lambda}$ 를 측정하고, 시료의 적외선 복사에너지 강도 $E_{s\lambda}$ 를 측정하여 복사율을 식(1)에 의해 계산하였다.

$$\varepsilon_s(\lambda, T) = \frac{E_s(\lambda, T)}{E_b(\lambda, T)} \quad (1)$$

여기서 $E_s(\lambda, T)$ 와 $E_b(\lambda, T)$ 는 물체표면과 흑체의 복

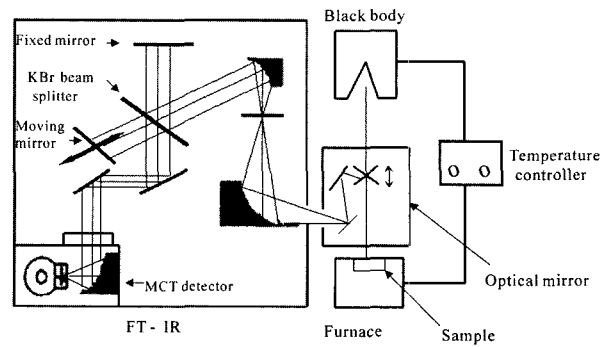


Fig. 1. Schematic diagram for measuring the infrared emissivity of sample.

사에너지이다. 흑체의 복사에너지는 식 (2)의 플랑크의 복사법칙(Plank's law)¹⁰⁾에 의해 구해진다.

$$E_b(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

여기서 $C_1 = 3.74 \times 10^8 [W \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2]$, $C_2 = 1.44 \times 10^4 [\mu\text{m} \cdot \text{K}]$ 이다.

λ_1 에서 λ_2 까지의 에너지분포를 적분하면 온도 T에서 흑체의 복사에너지가 된다.

알루미늄 표면과 SiO₂막의 열복사 온도를 비교하기 위하여 적외선 열화상 카메라(Thermovision 550, Agema사, Swiss)를 이용하여 일정 온도로 가열된 열판(hot plate) 위에 130×130mm 크기의 두 시료를 놓고 시간 경과에 따른 열 복사온도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 SiO₂겔 열분석 및 XRD분석

SiO₂겔의 열적거동을 알아보기 위하여 TG-DTA 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 겔을 70°C에서 1시간 건조 후 미분으로 분쇄를 실시하고 열분석을 한 결과 일반적으로 ~200°C까지의 온도범위에서 발생하는 용매와 수분의 증발에 따른 급격한 중량감소와 흡열피크는 약하게 나타나고 있는 것으로 보아 건조과정에서 증발이 된

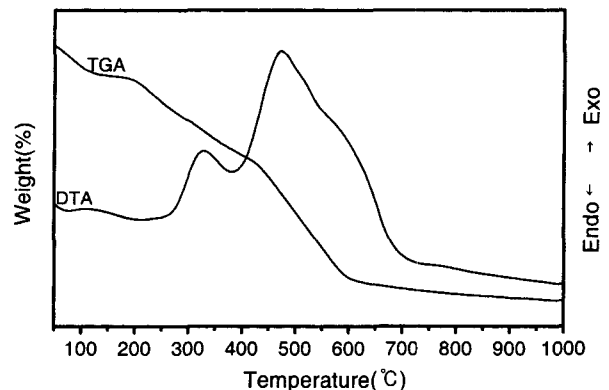


Fig. 2. TG-DTA curve of SiO₂ gel.

것으로 추측된다. 300~600°C 사이에서 중량감소와 발열 피크는 잔류 유기화합물의 열분해에 의한 것이며 450~600°C에서 가장 큰 피크로 보아 이 온도 범위에서 반응이 활발하게 진행되는 것으로 판단되며, 700°C 정도에서 반응이 완료되었다. SiO₂겔을 70°C, 200°C, 400°C, 700°C의 열처리 온도에 따른 X-ray 회절패턴을 Fig. 3에서 보여준다. 회절각 2θ에서 23° 부근에 넓은 산란대가 보이며 이것은 실리카 유리와 같이 원자배열이 불규칙한 것이 원인이며 10° 부근의 저각 산란은 SiO₂겔이 비정질의 미립자 집합으로서 극간에 미세한 공극이 있어 전자밀도가 분산되기 때문에 산란이 일어난다고 알려져 있다.¹¹⁾ 열처리 온도가 상승함에 따라 23° 부근의 이 피크에 대한 2θ각은 점차 작아지며 10° 부근의 산란피크도 700°C의 열처리 온도에서 모두 사라져 실리카 유리와 같은 곡선을 나타내고 있다.

3.2 적외선 흡수스펙트럼

Fig. 4에는 알루미늄판에 코팅된 SiO₂막의 열처리 온도를 120°C와 600°C로 하였을 때 반사-흡수(reflection-absorbance)법을 이용하여 적외선 반사스펙트럼을 측정한다

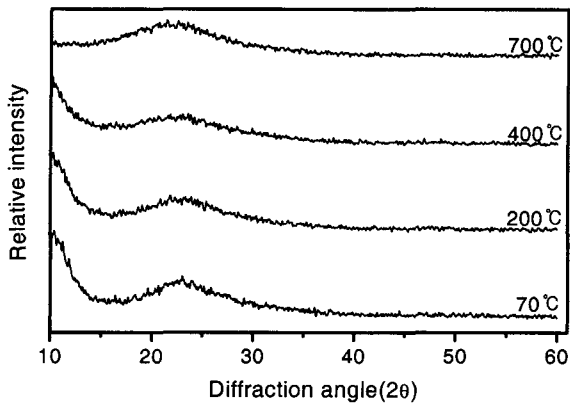


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of SiO₂ gel heated at different temperatures.

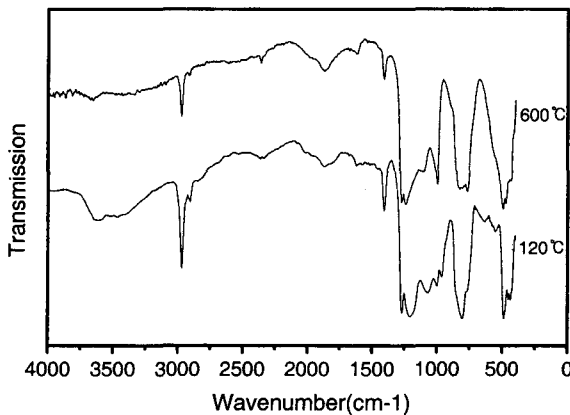


Fig. 4. IR spectrum of SiO₂ film heated at different temperatures(absorption-reflection).

결과를 나타내고 있다. SiO₂막은 1300~400 cm⁻¹영역에서 많은 IR 흡수밴드를 나타내고 있으며 SiO₂ 네트워크의 Si-O-Si 신축진동이 대부분을 지배한다.¹²⁾ Perry¹³⁾에 의하면 1220 cm⁻¹는 Si-O-Si 비대칭 신축의 세로 광학(LO) 모드가 원인이고 1080 cm⁻¹은 같은 진동의 가로 광학(TO) 모드에 의한 것이다. 800 cm⁻¹은 Si-O-Si 대칭 신축진동에 의한 흡수 밴드이며 460 cm⁻¹은 Si-O-Si 굽힘진동이다.¹⁴⁾ 3000-2800 cm⁻¹에서의 흡수는 C-H 신축진동이고 1400 cm⁻¹에서는 C-O 신축진동에 기인한 흡수밴드가 보이며 이들은 Si-OR 그룹의 불완전한 가수분해와 잔류 유기화합물에 의한 것이다.¹⁵⁾ 열처리온도의 상승으로 이들의 피크들은 감소하고 있다. 이들은 DTA의 분석결과에 따르면 700°C의 온도에서 분해가 완료될 것으로 예상된다. 또한 3500 cm⁻¹부근의 O-H 신축진동과 Si-OH에 해당하는 960 cm⁻¹의 흡수밴드도 600°C의 열처리 온도에서 사라졌다.

3.3 적외선 반사율

Fig. 5는 알루미늄 표면과 SiO₂막에 대한 적외선 반사율을 3~25 μm 파장범위에서 보여주고 있다. 알루미늄은 높은 적외선 반사율을 나타내고 있으며 일반적으로 금속은 내부의 자유전자가 자외선에서 X-선 영역의 전자파를 흡수하여 상위의 에너지 준위로 여기(excite)하지만 이 영역들 보다 장파장의 전자파는 반사한다.¹⁶⁾ 그러나, 알루미늄 표면상태 즉 표면조도, 표면에 생성된 산화물 등에 따라 적외선 반사율은 변한다.¹⁷⁾ 알루미늄에 코팅된 SiO₂막에 대한 반사율 그래프에서는 3~7 μm, 10~11 μm, 13~20 μm의 파장영역에서 적외선 반사율이 높으며 8~10 μm, 12~13 μm, 20~24 μm의 파장영역에서는 적외선 흡수율이 높다. 이와같은 반사·흡수 파장이 나타나는 것은 Fig. 4의 반사스펙트럼에서 3000~1300 cm⁻¹, 1000~800 cm⁻¹, 700~500 cm⁻¹ 범위에서 적외선이 투과하여 알루미늄 표면에서 반사되는 반사파장 영역과 1220~1000 cm⁻¹의 Si-O-Si 비대칭 신축진동, 800 cm⁻¹의 Si-O-Si 대칭 신축진동, 460 cm⁻¹의 Si-O-Si 굽힘진동에 따른 흡수에 의한 것이다.

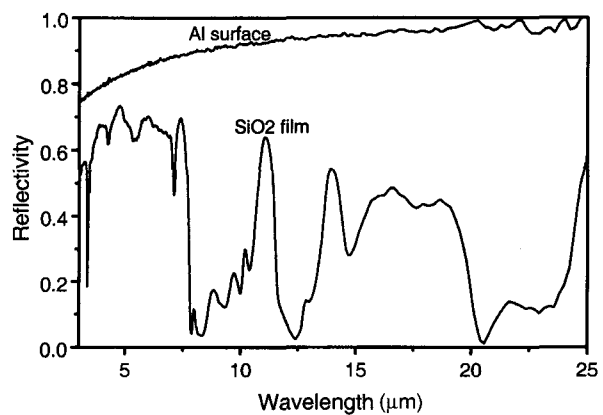


Fig. 5. IR reflectivity of Al surface and SiO₂ film heated at 120°C

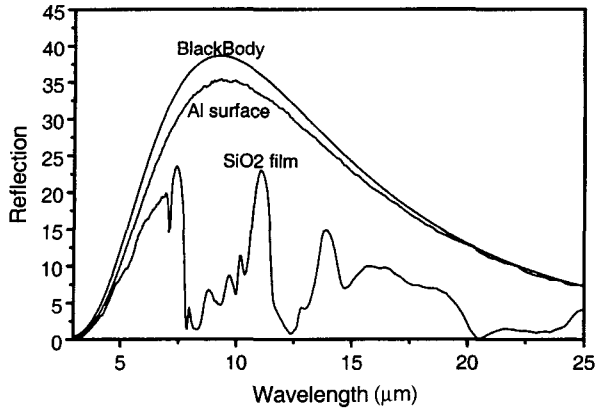


Fig. 6. IR reflection of Al surface and SiO₂ film heated at 120°C.

Fig. 6은 FT-IR 내부의 적외선 광원을 흑체로 가정하고 알루미늄 표면과 SiO₂막에서 각각 반사된 적외선량을 나타낸 것이다. 알루미늄 표면은 전 파장 영역에서 적외선 반사량이 높은 것을 알 수 있으며, SiO₂막은 파장에 따라 선택적인 반사특성을 나타내고 있다. 이것은 적외선 흡수스펙트럼에서 각 적외선 흡수밴드에 의한 것이다.

40°C의 온도에서 (2)식에 의해 각 표면의 반사량을 구하여 보면 3~23 μm 파장영역에서 흑체의 적외선 반사량은 445 W/m²이며 알루미늄 표면의 적외선 반사량은 412 W/m²이고 SiO₂막의 적외선 반사량은 151 W/m²이다. 따라서 알루미늄 표면의 적외선 반사율은 0.93이고 SiO₂막의 적외선 반사율은 0.34이 된다. 이들의 값을 Table 1에 정리하였다. 이와 같은 적외선 반사특성 때문에 알루미늄 재료는 적외선 반사재료로 사용이 많이 되고 있다.¹⁸⁾

Table 1. IR reflection properties of Al and SiO₂ film.

Sample	Reflection (W/m ²)	Reflectivity
Black Body	445	1
Al surface	412	0.93
SiO ₂ film	151	0.34

3.4 적외선 복사율

3.4.1 간접법에 의한 측정

복사에너지가 어느 물체에 입사되었을 때 그 물체표면에서의 광학적인 특성은 반사, 흡수, 투과 등으로 나눌 수 있으며, 에너지보존 법칙에 의해

$$\rho_{\lambda}(T) + \alpha_{\lambda}(T) + \tau_{\lambda}(T) = 1 \quad (3)$$

여기서 ρ는 반사율, α는 흡수율, τ는 투과율이다. 불투명 물체표면에서는 열복사에 대해 τ=0이므로

$$\rho_{\lambda}(T) + \alpha_{\lambda}(T) = 1 \quad (4)$$

이 된다. 즉 물체표면에서 반사된 나머지는 물체내부로 모두 흡수된다.

키르호프(Kirchhoff)¹⁰⁾에 의하면 어떤 물체의 분광복사율과 분광흡수율의 관계는 다음과 같다.

$$\epsilon_{\lambda}(T) = \alpha_{\lambda}(T) \quad (5)$$

알루미늄 표면과 SiO₂막에 대하여 반사-흡수(Reflection-absorbance)법을 이용하여 적외선 반사 스펙트럼을 측정하고 (5)식으로 계산한 복사율 그래프를 Fig. 7에 보여주고 있다. 이 Figure에서 알루미늄 표면과 SiO₂막에 대한 적외선 반사율 값은 Table 1의 값에 나타났다. 따라서 (4)식, (5)식에 의해 알루미늄 표면의 적외선 흡수율과 복사율은 0.07이며 SiO₂막의 적외선 흡수율과 복사율은 0.66이 된다. 또한 알루미늄 표면의 적외선 복사에너지는 33 W/m²이고 SiO₂막의 적외선 복사에너지는 294 W/m²로서 SiO₂막의 적외선 복사에너지가 훨씬 큰 것을 알 수 있다.

3.4.2 직접법에 의한 측정

Fig. 8는 알루미늄 표면에 코팅되어 있는 SiO₂막을

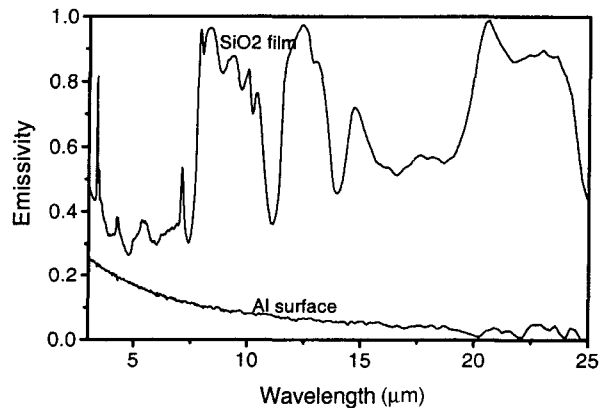


Fig. 7. IR emissivity of Al surface and SiO₂ film by absorption-reflection method.

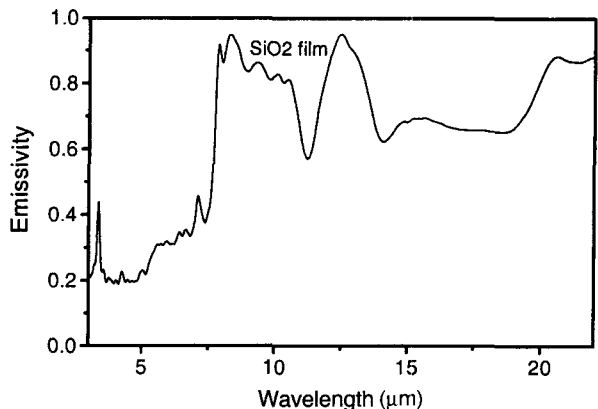


Fig. 8. IR emissivity of SiO₂ film by integration method.

100°C로 가열하여 표면에서 방출되는 적외선 에너지를 직접법에 의해 측정 한 것이며 SiO₂막의 적외선 복사율은 흑체의 복사에너지와의 비로서 나타내며, 1.0의 값은 흑체의 적외선 복사율에 상응하고 실존 물체표면의 복사율은 0~1 사이의 값을 갖는다. 직접법에 의해 측정된 SiO₂막의 복사파장은 반사법에 의해 측정된 복사파장과 일치한다. 3.3 μm과 7 μm에서의 복사파장은 적외선 반사스펙트럼에서 2900 cm⁻¹의 C-H 신축진동 흡수와 1400 cm⁻¹의 C-O의 신축진동 흡수에 의한 것이다. 8~10 μm와 13 μm에서 적외선 복사율이 높은 것은 1080~1300 cm⁻¹에서 Si-O-Si의 비대칭 신축진동과 800 cm⁻¹의 Si-O-Si 대칭 신축진동에 의한 흡수대에 기인한다.

20 μm 이상의 파장에서는 460 cm⁻¹에서 Si-O-Si 굽힘진동 흡수에 의한 것으로 이들 파장영역에서 높은 적외선 복사율을 보이고 있다. 따라서 어느 온도에서 열평형에 있는 물체가 동일한 파장에서 복사되는 에너지와 흡수하는 에너지의 비는 물질의 종류와 성질에는 관계가 없이 온도에 의존하여 일정한 값을 갖는다는 키르호프(Kirchhoff)¹⁰⁾법칙에 잘 일치한다.

Fig. 9는 100°C에서 측정된 SiO₂막에 대해 플랑크의 복사법칙(Plank's law)¹⁰⁾에 따른 적외선 복사에너지 분포를 3~22 μm의 파장영역에서 나타내고 있다. 흑체의 온도가 100°C일 때 복사에너지의 최대강도를 나타내는 파장은 빈법칙(Wien's law)¹⁰⁾에 따라 7.7 μm이고 이때 복사에너지 강도는 93 W/m²·μm이다. 또한 3~22 μm 전파장 범위에서 흑체의 적외선 복사에너지 총량은 947 W/m²이다. 이 Figure에서 알루미늄에 코팅된 SiO₂막에 대해 전파장에서의 적외선 복사에너지는 616 W/m²이고 적외선 복사율은 0.65로서 반사법에 의해 측정된 복사율 값과 일치한다. 8~10 μm 파장영역에서 가장 많은 적외선이 방출되며 8.3 μm 파장에서 87W/m²·μm의 최대 복사강도를 나타낸다. 100°C에서 측정된 적외선 복사에너지 분포의 결과로 보아 적외선 복사체의 온도가 100°C 이하이고 8 μm 파장 이상에서 적외선 흡수율이 높은 물질을 대상으로 한 적외선 복사체로서는 효율성 있게 사용이 가능하다고 판단할 수 있다.

알루미늄에 코팅된 SiO₂막을 250°C로 가열할 때의 적외선 복사에너지 분포를 Fig. 10에 나타내고 있다. 250°C의 흑체의 복사에너지 분포에서 최대강도를 나타내는 파장은 5.5 μm이며 이파장에서 복사에너지 강도는 503 W/m²·μm이다. 또한 3~22 μm 전파장 범위에서 흑체의 적외선 복사에너지 총량은 3100 W/m²이다. 전파장 범위에서 SiO₂막의 적외선 복사에너지는 2100 W/m²이며 적외선 복사율은 0.54로서 100°C에서 측정된 값 0.65보다 떨어진 다. 이와같은 이유는 흑체의 복사율이 1이기 때문에 표면온도가 상승함으로써 플랑크의 복사법칙(Plank's law)¹⁰⁾에 따라 100°C일 때보다 단파장 쪽에서 복사에너지 분포를 이루고 있고, 반면 SiO₂막의 최대 복사파장은 8~10 μm 영역으로 고정되어 있기 때문이다. 250°C에서 SiO₂막을 복사체로서 사용하면 비효율적이며, 이 온도에

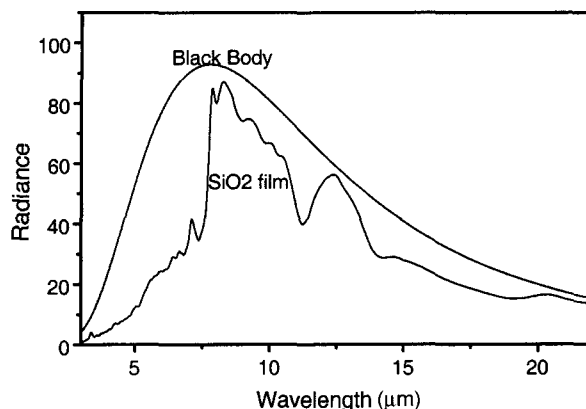


Fig. 9. IR radiance of SiO₂ film measured at 100°C.

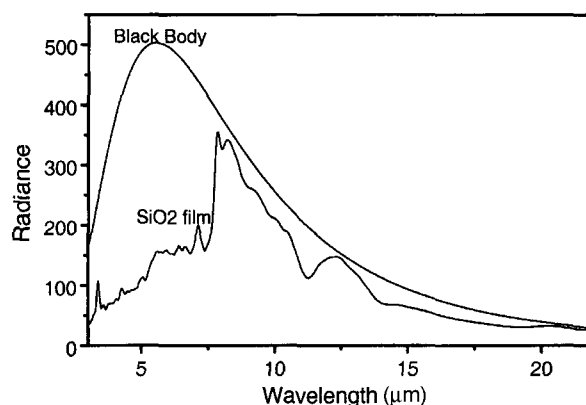


Fig. 10. IR radiance of SiO₂ film measured at 250°C.

서 적외선 복사체로 사용하기 위해서는 3~8 μm 파장영역에서 복사율을 높여야 할 필요가 있다.

3.5 적외선 복사온도 측정

알루미늄 표면과 알루미늄에 코팅된 SiO₂막의 적외선 복사율 차이에 따른 열복사 온도를 알아보기 위해, 두 시료판을 200°C로 가열된 핫플레이트(Hot plate) 위에서 가열하여 70 cm 거리에서 적외선 열화상 카메라를 이용하여 표면온도를 측정하였다. 이때 시간 경과에 따른 두 시료표면의 온도상승 곡선을 Fig. 11에 나타내고 있다. 두 시료표면의 초기 온도는 같지만 상승온도와 도달온도는 큰 차이가 있으며 7분 경과 후 도달온도에 이르고, 이때 알루미늄 판은 117°C지만 알루미늄에 코팅된 SiO₂막은 146°C로서 29°C 정도의 차이가 있다. 이같이 온도 차이가 발생하는 것은 두시료 표면의 적외선 복사율에 따라 복사되는 적외선 에너지 차이를 나타내는 것이다. 또한 시간이 경과 후에도 두 시료판의 복사온도 차이는 변화 없이 계속 유지가 되고 있다.

4. 결 론

졸-겔법에 의해 제조된 SiO₂막에 대한 광학적인 특성

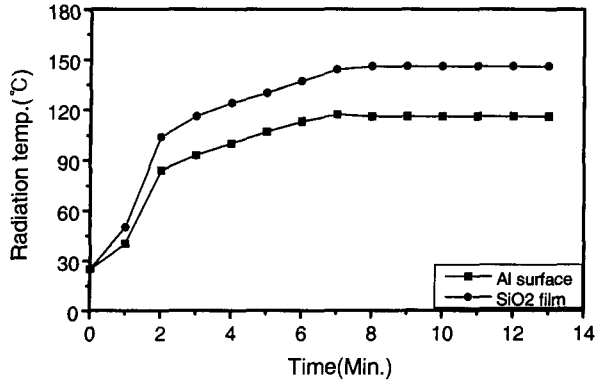


Fig. 11. Changes of radiation temperature with heating.

을 알아보기 위해 적외선 흡수스펙트럼을 측정하여 원소 결합에 따른 적외선 흡수, 반사 파장영역을 조사하고, 직접법과 간접법으로 적외선 복사특성을 비교 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) SiO₂막은 1220 cm⁻¹, 1080 cm⁻¹에서 Si-O-Si의 비대칭 신축진동과, 800 cm⁻¹에서의 대칭 신축진동에 의해 높은 적외선 흡수를 나타내었다.

2) 알루미늄에 코팅된 SiO₂막은 3000~1300 cm⁻¹, 1000~900 cm⁻¹, 750~500 cm⁻¹의 영역에서 적외선을 반사하고 1300~1000 cm⁻¹, 800 cm⁻¹, 500~400 cm⁻¹의 파장영역에서는 적외선을 흡수하는 선택적인 반사·흡수 특성을 나타내고 있다.

3) 간접법 및 직접법으로 측정한 적외선 복사율은 적외선 흡수가 높은 파장에서 적외선 복사율이 높았으며 반사특성을 나타내는 파장에서는 낮은 적외선 복사율을 나타내고 있다.

4) SiO₂막은 Si-O-Si의 신축진동 파장영역에서 적외선 복사율이 가장 높았으며 3~22 μm의 전파장에서 간접법과 100°C의 직접법으로 측정한 복사율은 0.65이다.

5) SiO₂막은 100°C 이하 온도에서 적외선 복사체로서 이용 가능하지만, 250°C의 온도에서는 8 μm 이하의 파

장영역에서 복사율이 낮아 비효율적이라고 판단되었다.

6) 알루미늄판과 SiO₂막이 코팅된 알루미늄판을 200°C의 가열판에 올려 놓았을 때 열복사 온도는 알루미늄판은 117°C이지만 알루미늄에 코팅된 SiO₂막은 146°C로서 29°C 정도의 열복사 온도 차이를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. H. Dislich, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **10**, 363 (1971).
2. S. Sakka, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **32**, 91 (1984).
3. H. Dislich, *J. Non-Cryst. Solid*, **57**, 371 (1983).
4. S. Sakka and T. Yoko, *Structure and Bonding*, **77**, Springer Verlag, 89 (1991).
5. L. M. Thomas, *Sol-Gel Technology for Thin Films, Fibers, Performs, Electronic and Specialty Shapes*, New Jersey (1988).
6. N. Tohge, *New Ceramics*, **7**, 1 (1995).
7. F. Geotti-Bianchini, M. Guglielmi, P. Polato and G. D. Soraru, *J. Non-Crystal. Solids*, **63**, 251 (1984).
8. S. A. Hujiya, *Painting Technology*, **3**, 95 (1990).
9. S. A. Hujiya, *Painting Engineering*, **25**(3), 241 (1990).
10. F. P. Incropera and D. P. Dewitt, *Fundamentals of heat and mass transfer*, 4th ed., p.672, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, (1996).
11. *Handbook of Ceramic Engineering*, The Ceramic Society of Japan, 296 (1989).
12. J. Gallardo, A. Duran, D. Di Martino and R.M Almeida, *J. Non-Crystalline Solids*, **298**, 219-225 (2002).
13. C. C. Perry, X. Li and D. N. Waters, *Spectrochim. Acta* **47**, 1487 (1991).
14. C. J. Brinker and G. W. Scherer, *Sol-Gel Science*, p.552, Boston, San Diego, New York, London, Sydney, Tokyo, Toronto (1990).
15. N. Primeau, C. Vautey and M. Langlet, *Thin Solid Film*, **310** 47-56 (1997).
16. D. A. Kouichi, E. G. Yohinobu and S. A. Hisao, *Far Infrared Ray*, p.192, Ningentorekishisha, Tokyo, (1999).
17. B.C Kang, J.J Choi and K.H Kim, *Journal of the Korean Institute of Surface Engineering*, **26**(3), 149 (2002).
18. N. S. Sena, *Eletro-Heat*, **22**, 32-38 (1985).