

금 증착 적외선 반사판의 반사율 및 수명에 미치는 제조공정 변수의 영향

최용선¹ · 이영기² · 이유기^{2†}

¹위덕대학교 일반대학원 정보전자공학과, ²위덕대학교 그린에너지공학부

Influence of Manufacturing Conditions on the Reflectance and Life Time of the Gold Protected IR Mirror

Yong-Sun Choi¹, Young-Ki Lee² and You-Kee Lee^{2†}

¹Dept. of Information & Electronics Engineering, Uiduk University, Gyongju 38004, Korea

²Division of Green Energy Engineering, Uiduk University, Gyongju 38004, Korea

(Received October 19, 2017 : Revised January 30, 2018 : Accepted March 12, 2018)

Abstract Infrared(IR) heating has many advantages, such as energy efficiency, reduced heating time, cleanliness, equipment compactness, high drying rate and easy automation. These features of IR heating provide widely industrial applications, such as surface heat treatment in semiconductor fabrication, thermoforming of polymers, drying and disinfection of food products, heating to metal forging, and drying of wet materials. In this study, the characteristics of a protected gold mirror were examined by spectrophotometer and the lifetime of the coating layers were evaluated by a cross-cutting method and salt spray test. The effects of manufacturing conditions on the protected gold mirror were seen and remedies for these effects were noted in order to improve the properties of the protected gold mirror in the drying process. The reflectance and lifetime of the protected gold mirror was influenced by manufacturing conditions, such as surface roughness and forming conditions of the anti-oxide layer, the adhesion layer, the reflecting layer and the protection layer. The results of this study showed that the protected gold mirror manufactured using a buffing method for pre-treatment resulted in the most effective reflectance. In addition, Al₂O₃ coating on an Al substrate as an anti-oxide layer was more effective than the anodizing process in the test of reflectance. Furthermore, the protected gold mirror manufactured by layers forming of various materials resulted in the most effective reflectance and lifetime when coated with Al₂O₃ as the anti-oxide layer, coated Cr as the adhesion layer, and coated MgF₂ as the protection layer.

Key words infrared heating, protected gold mirror, manufacturing conditions, reflectance, life time.

1. 서 론

피사체에 대한 가열 또는 건조에 있어 적외선(IR, infrared)을 이용하는 것은 매우 효과적인 방법이다. 적외선은 매질이 없어도 에너지 전달이 가능하며, 에너지 효율과 열전달율이 높고, 친환경적이며, 가열 또는 건조 설비의 소형화 및 자동화가 용이하다. 또한 적외선을 이용하면 급속가열 및 균일가열이 가능하다는 장점이 있다.^{1,2)} 이러한 특성으로 인하여 적외선은 반도체 생산 공정과 같은 표면열처리 분야, 식품의 건조 및 살균 분야, 제빵제과 분야, 도장라인 및 고분자 제조라인의 건조, 성

형(forming)분야 등 폭넓은 분야에서 활용되고 있다.³⁻⁶⁾ 적외선은 파장이 0.76~1,000 μm 범위의 전자기파로서 연구자들마다 광 대역(optical bands)에 대하여는 다소간의 차이는 있으나 근적외선(NIR, near-infrared, 0.76~2 μm), 중적외선(MIR, mid-infrared, 2~4 μm), 원적외선(FIR, far-infrared, 4~1,000 μm)으로 구분한다.⁶⁾

적외선을 가열 또는 건조에 활용함에 있어 고려할 사항 중에 하나는 에너지 효율 측면이다. 열성형(thermoforming) 공정에 있어 근적외선 방사체, 중적외선 방사체 및 원적외선 방사체의 에너지 효율을 비교 평가한 선행연구는 아르곤 램프를 이용한 근적외선 방사체의 에

[†]Corresponding author

E-Mail : leeyk@uu.ac.kr (Y. K. Lee, Uiduk Univ.)

© Materials Research Society of Korea, All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

너지 효율이 가장 우수한 것으로 보고하고 있다.⁷⁾

본 연구는 할로겐 램프를 방사체(emitter)로 이용하는 건조 설비에서 에너지 절감을 위해 설치한 적외선 반사판(IR mirror)에 관한 것으로서 기판으로 알루미늄(Al 6061)을 사용한 적외선 반사판의 제조공정 변수가 반사판의 특성에 미치는 영향에 관한 것이다. 구체적으로는 파장 0.76~2 μm 의 근적외선을 방사하고, 중심파장이 1 μm 인 할로겐 램프를 사용하는 건조 설비에서 방사된 적외선이 피건조물을 향해 반사되도록 하는 적외선 반사판을 제조함에 있어 알루미늄(Al 6061) 기판에 전자빔 증발법(electron beam evaporation; E-beam)으로 적외선 반사막을 성막하는 제반 공정 변수가 적외선 반사판의 반사율 및 수명에 미치는 영향을 평가하였다. 즉, 알루미늄을 기판으로 하고, E-beam 공정에 의한 적외선 박사막을 성막함에 있어 제반 공정 변수가 반사막의 적외선 반사율, 기판과 반사막간의 밀착력, 기판의 산화 및 부식 등에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험재료

실험대상 적외선 반사판은 알루미늄(Al 6061)을 기판으로 하고, E-beam 방법으로 제조한 반사판을 사용하였다. 적외선 반사판을 제조함에 있어 제조공정 변수가 적외선 반사율 및 반사판의 수명에 미치는 영향을 평가하기 위하여 기판에 대한 별다른 가공을 하지 않은 기판(bare plate), 버핑 가공한 기판(buffed plate), 버핑 가공 후 아노다이징(anodizing) 처리를 한 기판(anodized plate after buffed), 그리고 버핑 가공 후 산화방지막으로 Al_2O_3 를 코팅한 기판(Al_2O_3 coated plate after buffed)을 준비하였다. 이렇게 준비된 기판에 대하여 중간층(adhesion layer)으로 Cr 또는 Ni을 증착하고, 반사막(reflecting layer)으로 금(Au)을 증착한 후 보호막(protection layer)으로 MgF_2 또는 SiO_2 를 증착한 적외선 반사판을 제조하였다.

2.2 실험방법

기판의 전처리와 반사율 및 밀착력과의 상관관계를 평가하기 위하여 기판의 전처리를 달리한 상기 4종의 기판을 준비하였다. Al 기판은 경면가공(mirror-like polishing)하는 것이 바람직하나 Al의 경면가공은 다이아몬드 터닝 머신(diamond turning machine)을 이용하여야 하는 문제가 있어 본 연구에서는 버핑 가공으로 조도를 향상시키는 방법을 사용하였다. 이렇게 준비된 기판에 대하여 아세톤 초음파 세척과 알코올 초음파 세척을 실시하여 기판을 세정한 후 E-beam을 이용하여 증착을 실시

하였다. 증착공정은 초기진공도가 1.0×10^{-5} torr에 도달한 시점에서 증착을 실시하였으며, 증착 설비내 분위기 온도를 조절하지 않거나(room temperature), 150 °C 및 300 °C로 유지한 상태에서 증착 공정을 진행하였다.

Al 기판의 산화방지를 위해 Al_2O_3 (99.99%, 태원과학)를 1,000 Å 두께로 증착하거나 기판을 아노다이징 처리하는 방법을 사용하였으며, 중간층(adhesion layer)은 Cr(99.99%, 태원과학)을 사용한 것과 Ni(99.97%, 태원과학)을 사용한 것으로 2가지를 준비하였으며, 증착 두께는 500 Å으로 하였다. 적외선 반사층(reflecting layer)은 Au(99.99%, 정공사)를 2,000 Å 두께로 증착하였다. 보호층(protection layer)은 MgF_2 또는 SiO_2 를 사용하고, 보호층의 증착 두께는 1,300 Å과 3,000 Å으로 하여 모두 4종류의 보호층 증착을 실시하였다. 증착을 및 증착 피막의 두께는 진공챔버 내에 장착된 크리스탈 센서(quartz crystal thickness monitor, INFICON-XTM)를 이용하여 측정하였다.

반사판의 수명평가는 우선 증착된 박막을 1 mm 간격으로 cutting한 후 테이프를 이용하여 밀착력을 시험하는 방법(cross-cutting method, ASTM D3359)을 사용하여 기판과 박막의 밀착력을 평가하고, 2차적으로 cross-cutting method에 의해 박리가 발생하지 않은 반사판 제조공정 조건으로 제조된 반사판을 대상으로 복합 염수분무 시험기(Q-FOG Corrosion Tester, 나노텍)를 사용하여 염수분무 시험법(salt spray test, ASTM B117, 5% NaCl, 35 °C)으로 평가하였다.

반사판의 적외선 반사율에 대한 평가는 spectrophotometer (UV-1601, SHIMADZU)를 이용하여 측정하였으며, 비교시편으로서 반사율이 우수한 것으로 알려진 Al mirror (MIRO8, MIRO27, ALANOD)에 대해서도 함께 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 적외선 박사막 제조방법의 이론적 배경

적외선 반사를 위한 박막의 성막 방법은 크게 2가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 방법은 TiO_2 , SiO_2 등과 같은 굴절율이 다른 유전체 물질(dielectric material)을 번갈아 가며, 혹은 동시에 증착하는 방법으로⁸⁾ 다층의 박막(multi-layer)을 성막하여 반사막을 형성하는 방법으로서 ‘dielectric mirror’라고 부른다. 이러한 ‘dielectric mirror’의 특성을 향상시키고자 유전체 물질 사이에 금속을 증착하는 방법이 사용되기도 하는데 이를 ‘dielectric mirror’와 구별하여 ‘enhanced metal mirror’라고 부른다. 두 번째 성막 방법은 기판에 금속을 증착하는 방법이다. 이 방법은 비교적 넓은 파장대에서 광에 대한 반사율이

높은 알루미늄(Al), 은(Ag), 금(Au) 등을 기판에 증착하고, 반사막의 보호층으로서 MgF_2 , SiO_2 등을 증착하여 제조되는 것으로서 'protected metal mirror'라고 부른다.

Dielectric mirror는 유전체 물질을 증착할 때 증착율이나 증착 두께가 반사율이나 광 대역(optical band)에 영향을 미치기 때문에 정밀하게 제어되어야 할 필요성이 있다.⁹⁾ Dielectric mirror는 유전체의 종류 및 증착 박막 1세트(stack, layers of high and low reflective index materials)의 구성과 stack의 반복횟수에 따라 고반사율의 실현이 가능하다는 특징이 있으며,¹⁰⁾ 좁은 광 대역(narrow optical band)을 가지고 있어 넓은 범위의 파장을 반사하려면 15층 이상의 성막이 필요한 것으로 알려져 있다.^{9,11)} Enhanced metal mirror는 유전체/금속/유전체의 형태로 하나의 stack이 구성되는 데 stack을 구성하는 각각의 코팅층의 두께나 stack의 반복횟수를 달리함으로써 개별 응용분야에 적합한 반사막을 제조할 수 있다는 특징이 있다. 예컨대 enhanced metal mirror를 제조함에 있어 금속층의 두께를 두껍게 할수록 적외선의 반사율을 높일 수 있기 때문에 적외선의 반사율이 강화된 반사막을 제조할 수 있다.¹²⁾

한편 protected metal mirror는 금속을 반사막으로 사용하는 것으로서 금속의 특성상 넓은 파장대에서 일정 수준이상의 반사율을 보이기 때문에 많이 활용되고 있는 반사막 제조 방법이다. 특히, 알루미늄(Al) 및 은(Ag)과 금(Au)은 반사막을 성막하는 데 가장 많이 이용되는 물질이다.^{9,13)} 알루미늄은 은이나 금에 비해 제조비용이나 성막방법의 측면에서 볼 때 광의 반사막을 제조하는데 최적의 물질이나, 실내(room condition)에서도 자연발생적으로 반사막 표면에 산화막이 형성되는 문제점이 있고, 이를 극복하는 방안으로 SiO_x 를 증착하는 방안이 제시되기도 하였으나¹⁴⁾ 적외선 영역에서 흡수에 의한 손실률이 높아 적외선 반사막으로 활용함에 있어서는 한계가 있다.^{9,13)} 은(Ag)은 적외선 영역에서 가장 높은 반사율을 확보할 수 있으나 산화의 문제로 인하여 안정성의 유지가 어렵다는 단점이 있으며, 금은 자외선이나 가시광선의 영역에서는 반사율이 떨어지나 적외선의 영역에서는 높은 반사율을 가지며, 특히 산화나 부식으로부터 안정하다는 장점이 있다.^{9,13)} 본 연구에서는 이러한 선행연구들을 참조하여 근적외선의 반사막으로서 protected gold mirror의 제조공정 변수가 반사율 및 반사막의 수명에 미치는 영향을 평가하였다.

3.2 반사판의 수명

3.2.1 박막의 밀착력

반사막의 특성이 아무리 뛰어나다고 하더라도 기판과 반사막의 밀착력이 불량하여 반사막이 쉽게 박리된다면

이를 반사판으로 사용할 수 없다. 따라서 박막의 밀착력은 반사막을 제조함에 있어 가장 기본적으로 요구되는 특성이다. 박막의 밀착력은 기판의 세정 정도, 기판 물질계 및 코팅물질계, 증착률 및 증착 두께, 중간층(adhesion layer)의 형성여부, 기판 및 성막시의 온도, 응력 등 많은 변수에 영향을 받는다. 본 연구에서는 기판의 전처리, 기판의 산화방지 방법, 기판과 금 박막층과의 밀착력을 향상시키기 위한 중간층 물질계, 증착공정에서의 온도 등을 달리한 상태로 반사막을 제조하고 이에 대한 밀착력을 평가하였다.

Cross-cutting법(ASTM D3359)에 의한 1차적인 밀착력 평가결과 상기 기판 4종의 전처리 상태와 상관없이 중간층을 증착하지 아니한 모든 샘플에서 광범위한 박리(peeling-off)가 일어났다. 증착온도를 조절하지 아니하고 중간층을 증착한 샘플의 경우에는 모든 샘플에서 부분적인 박리가 발생하였으며, 증착공정 온도를 $150^\circ C$ 로 유지하며 중간층을 증착한 경우에도 온도를 조절하지 않은 경우보다는 양호하나 이 경우 역시 부분적인 박리가 발생하였다. 증착공정 온도를 $300^\circ C$ 로 유지하며 중간층으로 Ni를 증착한 경우에는 아주 미세한 박리가 관찰되었으며, Cr을 증착한 경우에는 박리가 발생하지 않았다. 금속을 반사막(reflecting layer)으로 증착하는 경우 기판의 물질계에 따라 차이는 있으나 기판과 박막간의 밀착력이 충분히 확보되지 않는 경우가 종종 발생한다.¹⁵⁾ 기판과 코팅층간의 밀착력을 향상시키기 위해 가장 광범위하게 사용되는 방법은 기판에 조도를 부여하는 것과 중간층을 형성하는 방법이다. 기판에 조도를 부여하는 것은 기판에 조도를 부여하면 기판의 요철구조에 코팅물질이 스며들어 기계적 결합이 향상된다는 이른바 '달 내림 효과(anchoring effect)'에 의하여 기판과 코팅층의 밀착력이 향상되기 때문이다.¹⁶⁾ 기판의 표면조도와 밀착력은 기판, 코팅물질계, 그리고 코팅방법 등에 따라 적정 표면조도가 다르다.^{17,18)} 적외선의 반사율은 기판의 표면이 경면에 가까울수록 그리고 색이 흰색에 가까울수록 향상된다. 따라서 적외선 반사판을 제조함에 있어 밀착력 확보를 위해 기판표면에 조도를 부여하는 방법을 사용할 수 없고, 중간층을 증착하는 방법을 많이 활용하게 된다. 금을 반사막으로 증착하는 경우에는 Cr, Ni, Ti 등이 중간층 물질계로 적합하다.¹⁵⁾ 본 연구의 실험결과에서는 중간층을 증착한 경우에도 공정온도가 충분히 높은 경우에만 밀착력이 확보되는 결과를 얻었다. 이와 같은 결과는 버핑 가공을 할 때 사용한 광택제가 아세톤 초음파와 알코올 초음파 세척만으로는 완전히 제거되지 않음을 시사하는 것이며, 증착온도를 높이게 되면 광택제가 모두 제거된다는 점과 증기(vapor)의 활성도가 높아져 증기가 높은 에너지를 가진 상태에서 기판에 증착

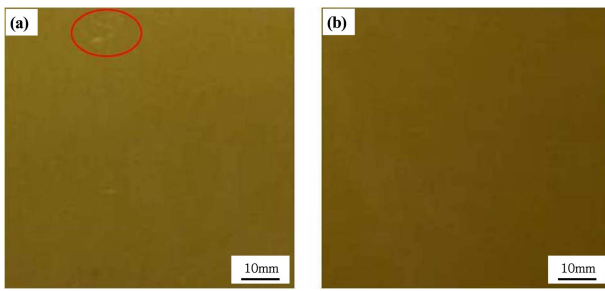


Fig. 1. Images of after adhesion test(cross-cutting method) of protected gold mirror treated different adhesion layer. (a) $MgF_2/Au/Ni$ /anodized Al substrate, (b) $MgF_2/Au/Cr$ /anodized Al substrate.

된 결과에 기인하는 것으로 판단된다. 높은 에너지를 가진 입자는 박막의 밀착력, 치밀도 등 제반 특성에 영향을 미친다.¹⁹⁾ Fig. 1은 증착공정 온도를 $300^\circ C$ 로 유지하며 중간층으로 Ni를 증착한 샘플과 Cr을 증착한 샘플에 대한 밀착력 평가(cross-cutting method) 후의 반사판 이미지이다. Fig. 1에서 보듯이 Ni를 중간층으로 사용하였을 경우 매우 미세한 박리가 관찰되었는데 그 이유에 대하여는 추가적인 연구가 필요하다.

3.2.2 기판의 산화 및 부식

기판으로 사용된 Al은 자연발생적으로 표면에 산화막이 형성되기 때문에 이로 인한 문제점을 해결할 방안을 마련하는 것이 중요하다. 선행연구에서는 보호층으로 SiO_x 를 증착하면 Al(선행연구에서는 반사막으로 증착된 Al)의 자연산화 문제가 해결된다는 보고가 있으나,¹⁴⁾ 본 연구의 실험에서는 보호층으로 SiO_2 를 증착한 경우에도 기판의 산화문제가 발생하였다. 이와 같은 결과는 보호층의 물질계로서 선행연구에서는 $SiO_x(1 < x < 2)$ 를 사용하였다는 점에 기인하는 것으로 판단되나 이에 대하여는 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 기판의 자연산화를 포함한 산화와 부식의 문제를 기판에 대한 아노다이징 처리와 기판의 산화방지층으로 Al_2O_3 를 증착하는 방법을 선택하였다. Fig. 2는 이들 적외선 반사판에 대한 실내(room condition)에

서의 경시변화(a change with the passage of time) 상태를 보여주는 이미지이다. Fig. 2에서 보듯이 bare plate 및 buffed plate를 사용한 샘플의 경우 실내에서 2개월이 경과한 시점에서 알루미늄 산화물이 표면으로 석출되었으며, 아노다이징 처리한 기판과 Al_2O_3 를 증착한 기판에서는 1년 이상의 시간이 경과하여도 알루미늄의 석출이 관찰되지 않았다. 이와 같은 결과는 기판인 Al의 자연산화 이외에도 아노다이징 처리나 Al_2O_3 를 증착하지 아니한 샘플에서는 Al과 Au의 전위차로 인하여 이종금속 접촉 부식(galvanic corrosion)으로 기판의 부식이 가속화된 것으로 판단된다. 한편 선행연구에서는 고진공 상태에서 금을 반사막으로 증착한 경우 4개월 이상의 시간이 경과하여도 적외선 영역에 있어서 반사율의 하락정도가 0.1%미만이었다는 보고가 있는데,¹³⁾ 이는 금의 경시변화 저항성이 크다는 의미로서 본 연구결과와 유사한 것이다.

3.2.3 적외선 반사판에 대한 염수분무 시험

기판으로 Al plate를 사용하는 경우에는 앞서 살펴본 바와 같이 기판의 산화 방지 대책이 필요하다. 본 연구에서는 산화방지층으로 기판을 아노다이징 처리하는 방법과 Al_2O_3 를 증착하는 방법 및 비교샘플로서 산화방지층을 형성하지 아니한 샘플에 대하여 protected gold mirror를 제작하고, 이에 대한 염수분무시험을 실시하였다. Fig. 3은 산화방지 방법으로 아노다이징 처리($7\mu m$)한 기판(anodized Al plate after buffed)과 Al_2O_3 를 증착한 기판(Al_2O_3 coated plate after buffed, $1,000\text{ \AA}$), 그리고 산화방지층을 형성하지 아니한 기판에 적외선 반사막을 증착하고, 이에 대한 염수분무 시험 결과의 이미지이다. 산화방지층을 형성하지 아니한 샘플은 237시간이 경과한 시점에서, Al_2O_3 를 증착한 샘플은 408시간이 경과하는 시점에서 흑청이 발생하였으며, 아노다이징 처리한 샘플은 480시간이 경과한 이후(본 연구에서는 960시간이 경과한 이후에도 흑청이 발생하지 않았다.)에도 흑청이 발생하지 않았다. 이와 같은 결과는 Al_2O_3 를 증착한 경우에는 그 두께가 $1,000\text{ \AA}$ 에 불과하고, E-beam 방

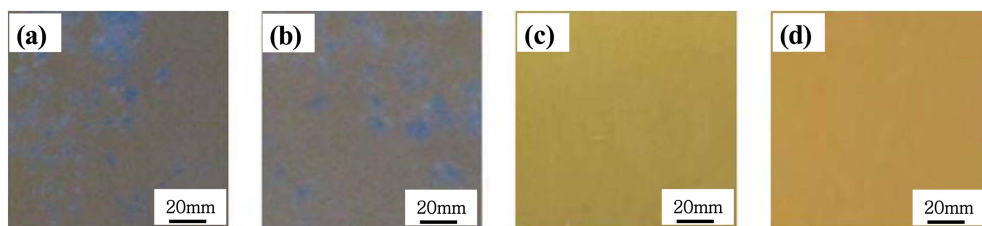


Fig. 2. Images of a change with the passage of time of protected gold mirror treated different anti-oxide layer. (a) $MgF_2/Au/Cr$ /bare Al substrate (2 months after), (b) $MgF_2/Au/Cr$ /buffed Al substrate(2 months after) (c) $MgF_2/Au/Cr$ /anodized Al substrate (a year after), (d) $MgF_2/Au/Cr/Al_2O_3$ coated Al substrate (a year after).

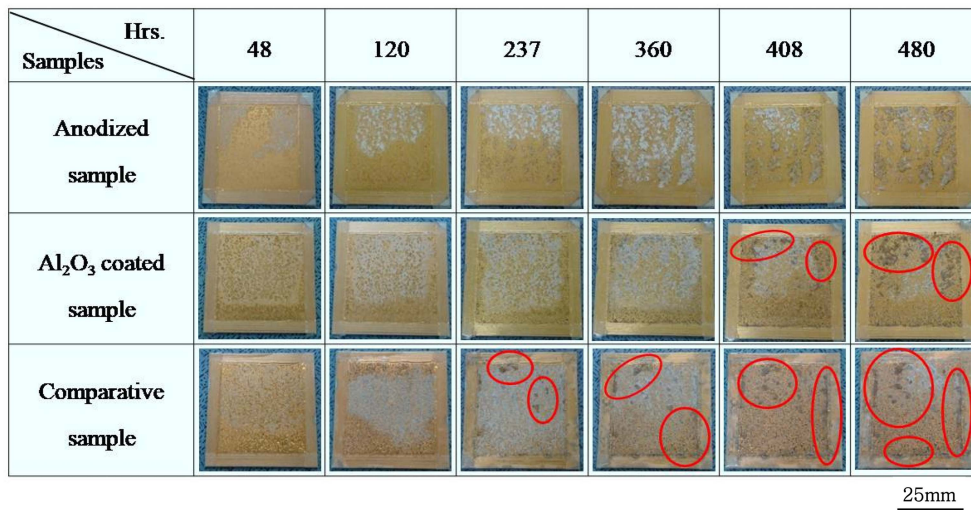


Fig. 3. Images of the salt spray test of gold mirror treated different anti-oxide treatment.

범으로 증착한 것이기 때문에 아노다이징으로 형성된 알루미늄 산화층에 비하여 박막이 치밀하지 못한 것에 기인한 것으로 판단된다. 다만, 산화방지층으로서 Al₂O₃를 증착함에 있어 반사율과 수명측면을 모두 고려한 적정 증착 두께에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 한편 Fig. 3에서 보듯이 산화방지층을 형성하지 아니한 샘플의 경우 237시간 경과시점에서 흑청이 발생한 이후에 급속히 흑청이 생성된 반면, Al₂O₃를 증착한 샘플의 경우 408시간 경과 후 흑청은 발생하였으나 그 이후에도 흑청의 생성속도가 매우 더딘 점을 고려할 때 산화방지층(anti-oxide layer)으로 Al₂O₃를 증착하는 것이 유용한 방법인 것으로 판단된다.

3.3 반사판의 적외선 반사율

3.3.1 기관의 전처리 및 보호층 두께가 반사율에 미치는 영향

적외선의 반사율은 기관의 표면이 경면에 가까울수록 그리고 색이 흰색에 가까울수록 향상된다. 본 연구에서는 기관의 전처리와 보호층(protection layer)의 두께가 적외선 반사율에 미치는 영향을 평가하였다. Fig. 4는 전처리 및 보호층 두께를 달리한 적외선 반사판의 반사율을 보여주는 이미지이다.

Fig. 4(a)는 기관에 대한 별다른 전처리가 없는 기관(bare Al plate)에 중간층(adhesion layer)으로 Cr을 증착하고 반사층으로 금(Au)을 증착한 후 보호층(protection layer)으로 MgF₂ 또는 SiO₂를 1,300 Å으로 증착한 반사판의 반사율을 측정된 결과이다. 이 경우 기관 자체의 반사율은 적외선 영역에서 36%로 측정되었으며, 반사막을 증착한 샘플은 58%의 반사율을 보였다. 반사막을 증착한 경우에도 이렇게 낮은 반사율을 보이는 것은 전처

리가 없는 기관은 표면조도가 나쁜 까닭에 산란(scattering) 손실이 발생한 것에 기인한 것으로서 판단된다. Fig. 4(b)는 보호층의 두께를 1,300 Å과 3,000 Å으로 달리한 것으로 이에 대한 반사율을 비교한 것이며, 보호층 두께 이외에는 (a)의 경우와 동일한 조건으로 증착한 샘플의 반사율을 측정된 결과이다. 보호층의 두께가 1,300 Å인 샘플은 반사율이 58%, 두께가 3,000 Å인 샘플은 56%로서 보호층의 두께가 두꺼우면 반사율이 낮아지는 것으로 측정되었다. 이와 같은 결과는 보호층의 두께가 너무 두꺼우면 산란(scattering)과 흡수(absorption)로 인한 손실이 발생하는 것 때문인 것으로 판단된다. Fig. 4(c)는 기관을 버핑 가공한 후 중간층으로 Cr을 반사층으로 금(Au)을 보호층으로 MgF₂ 또는 SiO₂를 1,300 Å으로 증착한 반사판의 반사율을 측정된 결과이다. 이 경우 적외선 영역에 있어서의 반사율은 96%로서 protected gold mirror는 적외선 영역에서 96%이상의 반사율을 보인다는 선행연구 결과와 일치하는 것이다.²⁰⁾ Fig. 4(d)는 기관을 버핑 가공한 후 7 μm 두께로 아노다이징 처리한 것 이외에는 (a)의 경우와 동일한 조건으로 증착한 샘플에 대한 반사율을 측정된 결과이다. 이 경우 적외선 영역에서의 반사율은 5% 수준으로 측정되었다. 이와 같은 결과는 아노다이징 처리로 인해 표면조도가 나빠졌고, 그 두께도 매우 두꺼워서 산란(scattering)과 흡수(absorption) 및 난반사(diffuse reflection)가 발생한 것에 기인한 것으로 판단된다. 결론적으로 살펴보면 기관에 대한 전처리 및 보호층과 반사율과의 상관관계는 기관의 표면조도에 가장 큰 영향을 받는다는 것으로서 이는 선행연구 결과와 일치하는 것이며,¹⁹⁾ 보호층이나 산화방지층은 두께가 두꺼워지면 산란과 흡수의 영향으로 반사율이 감소한다고 판단된다.

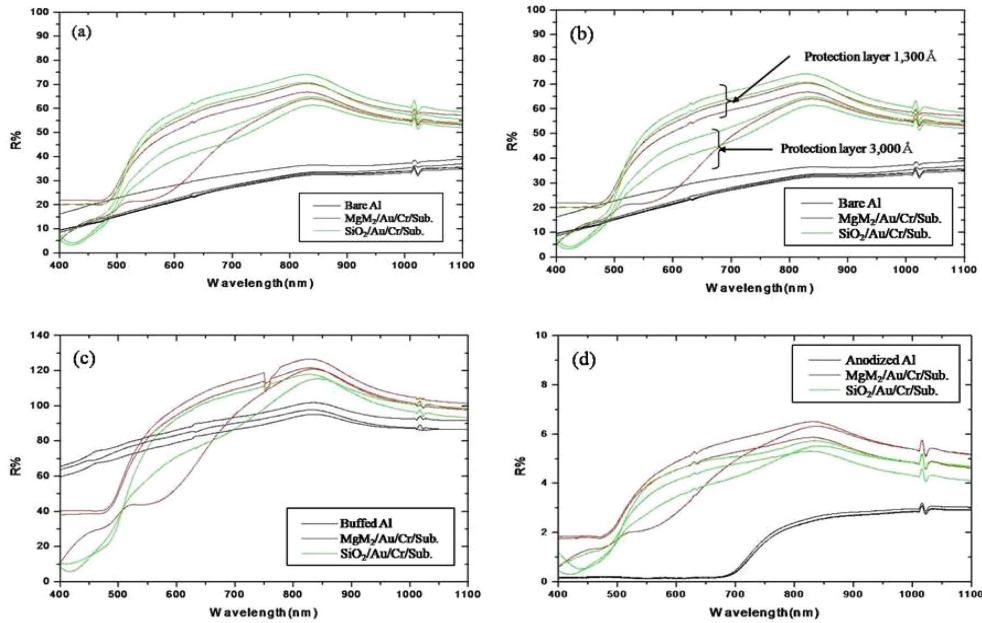


Fig. 4. Images of reflectance of protected gold mirror treated different pre-treatment. (a) protection layer/Au/Cr/bare Al substrate, (b) different thickness protection layer/Au/Cr/bare Al substrate (c) protection layer/Au/Cr/buffed Al substrate, (d) protection layer/Au/Cr/anodized Al substrate.

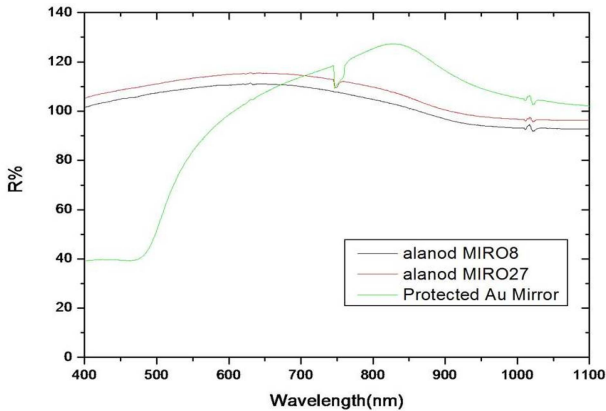


Fig. 5. Comparison of reflectance of commercial Al mirror and protected gold mirror.

3.3.2 산화방지층으로 Al₂O₃를 증착한 gold mirror의 반사율

본 연구는 다양한 제조공정 변수가 근적외선 반사판의 반사율과 수명에 미치는 영향을 평가한 것이다. 평가결과 버핑 방법을 사용하여 기관의 조도를 향상시킨 기관에 산화방지층(anti-oxide layer)으로 Al₂O₃를 증착하고, 중간층(adhesion layer)으로 Cr을 증착한 후 반사층(reflecting layer)으로 금(Au)을 증착하고, 보호층(protection layer)으로 MgF₂를 증착한 반사판이 근적외선의 반사율이나 반사판의 수명 측면에서 가장 효과적인 공정인 것으로 확인되었다.

Fig. 5는 Al mirror로서 가장 반사율이 우수하다고 알려진 ALANOD의 제품과 본 연구에서 가장 우수한 특성을 보인 반사판 제조공정 조건으로 제작된 protected gold mirror에 대한 반사율을 측정된 것이다. Fig. 5에서 보듯이 Al mirror는 가시광선 영역에서 90%이상의 반사율을 갖으며, 근적외선 영역에서는 85% 수준의 반사율을 보였다. 반면에 gold mirror 경우에는 가시광선 영역에서는 낮은 반사율을 보이나 근적외선의 영역에서는 96%이상의 높은 반사율을 보였는데 이러한 결과는 선행연구의 결과와 일치하는 것이다.^{9,13)} 다만, 선행연구¹³⁾에서는 gold mirror의 적외선 영역에서의 반사율이 99%에 비하여 본 연구에서 제작한 gold mirror는 반사율이 96% 수준에 머문다는 차이가 있다. 이와 같은 결과는 기관의 표면조도 차이에 의한 것으로 판단된다. Al의 경면가공은 다이아몬드 터닝 머신(diamond turning machine)을 이용하여야 하나 본 연구에서는 버핑 가공으로 조도를 향상시키는 방법을 사용하였기 때문에 상대적으로 기관의 표면조도가 나쁜 것으로 판단된다. 이는 기관의 표면조도가 반사율에 영향을 미치며, 조도가 좋을수록 반사율은 향상된다는 선행연구 결과와 일치하는 것이다.¹⁹⁾

4. 결 론

근적외선 반사를 위한 protected gold mirror를 제조함

에 있어 제조공정 조건이 반사율 및 반사판의 수명에 어떠한 영향을 미치는지에 알아보기 위하여 기관에 대한 전처리 조건, 산화방지층(anti-oxide layer), 중간층(adhesion layer), 반사층(reflecting layer), 그리고 보호층(protection layer) 증착 조건을 달리한 반사판을 제작하고, 이들에 대한 밀착력, 반사율, 내구성 테스트를 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) Al을 기관으로 하는 경우에는 기관의 산화방지 대책이 마련되어야 하며, 산화방지층으로 Al_2O_3 를 증착하는 것이 유효한 방법임을 확인하였다.

2) 증착공정을 진행함에 있어 공정 챔버의 분위기 온도는 $300^\circ C$ 이상을 유지하여야 박리가 발생하지 않음을 확인하였다.

3) 기관표면의 조도가 경면(mirror-like)에 가까울수록 반사율이 향상되었다.

4) Al 기관의 경면가공(mirror-like polishing)을 위하여 다이아몬드 터닝 머신(diamond turning machine)을 이용하지 않고 버핑 가공만 하더라도 96% 이상의 반사율을 확보하였다.

5) 본 연구에서 제조된 protected gold mirror는 경면가공된 Al mirror(ALANOD mirror)의 적외선 영역에서의 반사율 85%에 비하여 반사율이 113% 향상된 96%의 반사율을 보이는 것으로 확인되었다.

References

1. C. Ding, R. Khir, Z. Pan, J. Zhang, K. Tu and El-Mashad, *Cereal Chem.*, **92**, 441 (2005).
2. R. Khir, Z. Pan, Z. F. Thompson, A. S. El-Sayed, B. R. Hartsough and M. S. El-Amir, *J. Food Process. Preserv.*, **38**, 430 (2014).
3. R. Ranjan, J. Irudayaraj and S. Jun, *Drying Technol.*, **20**, 363 (2002).
4. J. Shi, Z. Pan, T. H. McHugh, D. Wood, Y. Zhu, R. J. Avena-Bustillos and E. Hirschberg, *J. Food Sci.*, **73**, 259 (2008).
5. E. E. M. Olsson, A. C. Trägårdh and L. M. Ahrné, *J. Food Sci.*, **70**, 484 (2005).
6. N. Staack, L. Ahrné, E. Borch and D. Knorr, *J. Food Eng.*, **86**, 17 (2008).
7. F. M. Schmidt, Y. Le Maout and S. Monteix, *J. Mater. Process. Technol.*, **143**, 225 (2003).
8. S. Chao, W.-H. Wang and C.-C. Lee, *Appl. Opt.*, **40**, 2177 (2001).
9. M. Bartek, J. H. Correia and R. F. Wolffenbittel, *J. Micromech. Microeng.*, **9**, 162 (1999).
10. S. M. Abed and S. N. T. Al-Rashid, *Appl. Phys. Res.*, **5**, 102 (2013).
11. Y. Fink, J. N. Winn, S. H. Fan, C. Chen, J. Michel, J. D. Joannopoulos, and E. L. Thomas, *Science*, **282**, 1679 (1998).
12. A. T. Matar, *Egypt. J. Solids*, **31**, 23 (2008).
13. J. M. Bennett and E. J. Ashley, *Appl. Opt.*, **4**, 221 (1965).
14. W. Pei and H. Liu, *Chinese Opt. Lett.*, **11**, S10214 (2013).
15. A. D. Quast, F. Zhang, M. R. Linford and J. E. Patterson, *Appl. Spectrosc.*, **65**, 634 (2011).
16. K. Mase and S. Ishibashi, Substrate Treatment Method for Portion to be Coated, US Patent, US 2008/0233838 A1 (2008).
17. S.-S. Lin, K.-S. Zhou, M.-J. Dai, F. Hu, Q. Shi, H.-J. Hou C.-B. Wei, F.-Q. Li and X. Tong, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China.*, **25**, 451 (2015).
18. J. Matějček, M. Vilémová, R. Mušálek, P. Sachr and J. Horník, *Coatings*, **3**, 108 (2013).
19. A. Bendavid, P. J. Martin and L. Wiczorek, *Thin Solid Films*, **354**, 169 (1999).
20. L. Chen, M. C. Y. Huang, C. F. R. Mateus, C. J. Chang-Hasnain and Y. Suzuki, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 031102 (2006).