

양면 코팅 시스템을 갖춘 대형 증착기에 의한 다층 반사방지막의 생산성 및 품질 향상

한 두 희

Improvement of Production Efficiency and Coating Quality of Multi Antireflection Filter with a Large Coating System Containing Two Faces Coating System

Doo Hee Han

요약 대형 진공증착기내에 대형 피코팅물 고정대를 방사형으로 배치하고 대용량의 피코팅물이 균일하게 코팅되도록 공전과 자전을 병행하도록 하여, 1회 진공으로 피코팅물의 양면을 동시에 코팅하므로 증착시간을 절약하고 전력소비를 줄일 수 있으며 대기 중 이물질에 의한 오염방지를 할 수 있었다. 내부에 이중 전자빔을 설치하여 자동 다층막 증착이 가능하며, 유효증착면적을 크게 할 수 있었다. 이런 장치를 이용하여 증착 시간의 30% 단축, 작업 생산성 50% 향상과 아울러 증착막의 전도막 특성도 향상되었으며 증착막의 균일도도 향상되었다. 증착막의 광학적 특성인 반사방지 투과율 특성도 향상되었다.

Abstract Auto DOME-reversing system had been installed in a vacuum coating chamber which decreased the coating time, the electric energy spending and the contamination by rotating and revolving substance. Auto multi coating with dual electron beam was accomplished and effective coating area was increased. The coating duration was decreased with 30%, the production efficiency were increased with 50%. Also the surface conductivity, the coated film uniformity and anti-reflection capability were also improved.

Key Words : Coating system, Multi coating, Anti-reflection filter

1. 서 론

1857년 Faraday가 처음 행한 진공증착법은 장치 전체의 구성이 비교적 간단하고 많은 물질에 쉽게 적용할 수 있으며 박막이 될 수 있는 메카니즘이 비교적 단순하기 때문에 박막 형성에 있어서 핵생성이나 성장의 이론과의 대응이 쉬우며 박막을 만들 때 열적 전기적 번잡함이 작기 때문에 박막 형성시의 막의 물성 연구에 적합하며 열역학적으로 평형의 조건에서 만들어지는 물질과 다른 결정구조를 지닌 물질이나 다른 성분비를 지닌 화합물을 만들 수 있다는 잇점이 있어 널리 이용되어 왔다[1]. 연구실에서 사용되던 소형 진공 증착기는 대량 생산이 요구되어지는 산업현장에서는 대형화되어 광학 증착 장비등으로 사용되고 있으며 전자 조정기도 자동화되어 증착 원료, 증착 시간, 증착 두께를 자동 조정할 수 있다. 한편 이런 대형 증착기는 DOME의 면적이 큰 관계로 중앙부와 가장자리의 증착 두께가 동일하지 않은 단점이 있다. 또한 기관에 양면

증착을 할 경우 진공을 해제하고 기관을 뒤집어 끼우고 새로 증착을 해야 하며 이과정에서 공기중 이물질을 제거하기 위하여 청소하여야 하기 때문에 공정이 길어져 생산성이 떨어지게 된다. 이것을 개량하기 위해서 진공 챔버 내에 한번 진공을 하여 피코팅물의 양면을 코팅할 수 있도록 피코팅물 역전장치를 개발하여 장착하였다[2]. 본 논문에서는 양면 증착 장치의 원리와 성능 개선을 위한 방법을 제시하고, 이러한 방법으로 제작한 전자파 차폐 기능을 갖는 다층막 반사방지막 필터의 성능을 비교 분석하였다.

2. 진공증착기 구조

개발된 장비는 AR(반사방지), AS(대전방지), AP(오염방지)증착용 대형 진공증착장비로서($\phi 3100 \times H1500$) 기존의 대형증착 장비가 정밀한 광학박막 코팅을 하지 못하는 단점을 개선하기 위하여 피증착물 고정대를 방사형으로 배치하고, 피증착물이 균일하게 증착되도록 기관 고정대가 공전을 하면서 동시에 자전을 할 수 있도록 기관 고정대 공전-자전 장치가 설치되어 있다[3].

*청운대학교 건축공학과

진공 챔버에는 진공을 유지하기 위한 배기계와 제어 장치를 구비하고 내부에는 코팅물질을 증착하기 위한 전자빔과 코팅 두께를 측정하기 위한 크리스탈 센서가 장착되어 있다(Figure 1). 챔버의 내부에 수직으로 설치된 주축을 하강시키고 대기압하에서 바닥판을 개방시킨 후 세정과정을 통하여 준비된 여러개의 피증착물을 동형 판(dome plate : DOME)에 설치하며, 이 DOME를 주축에서 방사상으로 설치된 여러개의 외팔보에 장착한 후 바닥판을 밀폐한다(Figure 2). 피증착물의 일면이 증착 완료되면 주축을 하강시켜 피증착물을 역전시킨 후 주축을 다시 상승시켜 통상의 방법으로 증착한다.

3. 역전장치 장착시와 미장착시 성능 비교

이 장치는 한 개의 DOME에 최대 7개의 피증착물이 설치되고 DOME 7개를 방사상으로 설치 피증착물 49개를 장착하여 주축을 기준으로 공전과 자전을 연속하여 코팅 공정을 수행함으로써 진공 챔버를 개방시키지 않은 상태에서 피증착물이 안착된 DOME를 자동으로 뒤집혀지게 하여 양면증착을 할 수 있다. 기존의 진공 증착 방법은 한번의 작업을 통해 피증착물의 어느 한 면을 증착시키므로 다른 면을 증착시키기 위해서는 진공 챔버를 열어 수작업으로 피증착물을 선행 작업과 반대로 뒤집어준 상태에서 증착을 한다. 따라서 진공도를 다시 유지하기 위해서는 많은 시간이 소요되었고 진공을 개방할 때 미세한 먼지등이 피증착물에 달라붙게 되면서 오염이 발생되어 재차 세척작업을 거친 후 진공 챔버에 장착하여 증착 작업에 임하게 됨에 따라 추가공정으로 인한 생산 원가의 상승이 초래되었고 공기중 노출로 인하여 진공도가 불안정하게 되어 증착 품질의 저하와 함께 불량률이 높다.

역전장치 장착시와 미장착시 공정 처리를 비교하면 Table 1과 같다.

Table 1. 역전 장치 장착시와 미장착시 코팅 처리 공정 비교

역전장치 장착시	역전장치 미장착시
1. 피증착물 장착	1. 피코팅물 장착
2. 진공챔버 진공	2. 진공 챔버 진공
3. 증착 처리	3. 증착 처리
4. 역전장치 작동	4. 진공 챔버 개방
5. 증착 처리	5. 피증착물 세척 및 장착
6. 진공챔버 개방	6. 진공 챔버 재진공
7. 증착 작업 완료	7. 증착 처리
	8. 진공 챔버 개방
	9. 증착 작업 완료

역전장치 장착시와 미장착시의 생산성을 비교하면 Table 2와 같다.

Table 2. 역전장치 장착시와 미장착시의 생산성 비교

구분	역전장치 장착시	역전장치 미장착시
증착 작업 시간(1회)	1시간 30분	2시간 34분
작업 생산성 (월)	약 14,112개 생산	약 9,408개 생산
피증착물의 상태	고진공 상태에서 연속작업으로 균일한 증착막 제조	진공 챔버 개방에 따른 대기중 오염물질 유입으로 증착막 불량 발생 가능

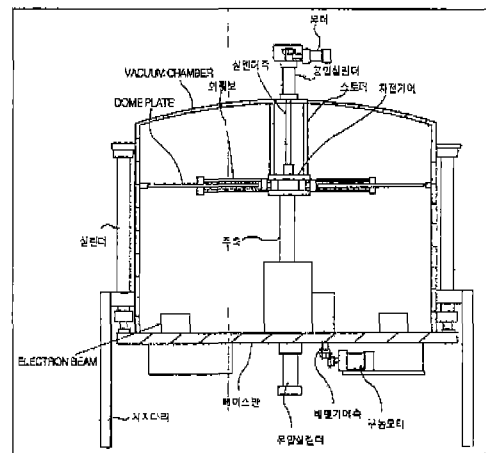


Figure 1. 고진공조 구조.

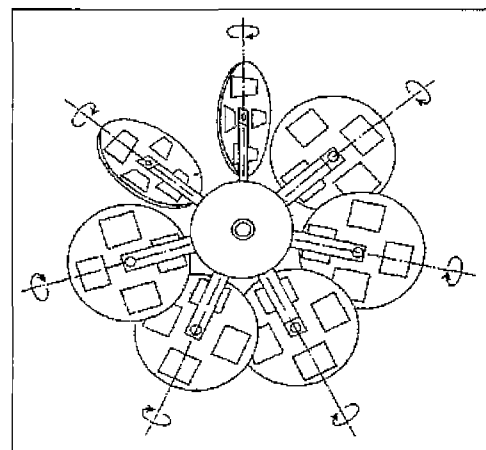


Figure 2. 기판 고정대 공전-자전 장치.

4. 전자파 차폐기능을 갖는 6층 다중증착 반사방지막 제작 및 특성 비교

SiO₂, ZrO₂, ITO 를 적용하여 6층 반사방지막을 설계 하였다[4,5]. 반사방지막은 굴절률 차가 큰 두 물질을 교대로 코팅하면 효과적인데, 실제 광학 필터 및 렌즈에는 TiO₂와 SiO₂를 이용한 설계가 많이 쓰인다. 하지만 제품화 했을 경우는 재료비의 절감이 요구되며, 따라서 SiO₂, ZrO₂를 많이 사용하며 또한 SiO₂, ZrO₂, ITO의 세가지 물질 중 ITO가 전자파 차폐 기능을 갖기 때문에 꼭 포함시켜야 하는데 ZrO₂ 와 굴절률이 거의 같다. 따라서 ZrO₂와 이웃하게 놓으면 두가지 물질이지만 광학적으로는 같은 물질로 취급할 수 있기 때문에 결국 두가지 굴절률이 다른 물질의 교대층으로 박막을 만들어 반사방지 기능을 극대화할 수 있다. 이런 이유로 SiO₂, ZrO₂, ITO의 세 물질을 선택하게 되었다. ITO는 In₂O₃ - SnO₂ 의 화합물로 가시광선 영역에서 80% 정도의 투과율과 20% 이하의 반사율을 갖는 광학적 성질을 가진다. ITO의 전기적 성질에 크게 영향을 주는 것은 산소의 흡착과 주석 불순물의 증가이다. 전자 밀도가 증가함에 따라 공동 이동도(hall mobility)가 증가하며, 주석이 첨가되었을 때가 없었을 때 보다 이동도가 상대적으로 낮다. 따라서 ITO는 가시광선 투과성이 좋고 전기전도도가 높은 재료로서 전자파를 차단하는데 적합한 재료가 된다. Table 3은 양면 대형형으로 만든 반사방지 전자파 차폐필터의 증착막 순서를 보여 준다.

인체에 유해한 자외선 영역은 반사율을 높이고 가시광선 영역은 반사율을 낮추도록 하였다. 이것은 가시광선 파장의 중앙부의 반사율을 최소화시키면 자연스럽게 이루어 진다. 6층의 다층막이지만 광학적으로는 ZrO₂, ITO 의 굴절률이 거의 같기 때문에 5층막으로 취급할 수 있다. 가시광선 반사율을 높이는 일반적인 방법은 기판 파장의 반파장이나 4분 파장등을 많이 이용하지만 표면 강화 코팅의 두께가 상대적으로 두껍고 균일성이 떨어지므로 기판으로부터 첫 번째의 막은 두껍게하고 나머지 층은 상대적으로 얇게 하는 방법을 썼다. 최적화 작업은 일반적으로 컴퓨터를 이용한다. 가시광선 영역의 반사율을 최소로 하는 작업은 Leybold사의 도스용 다층막 계산 프로그램을 이용하였다. 가시

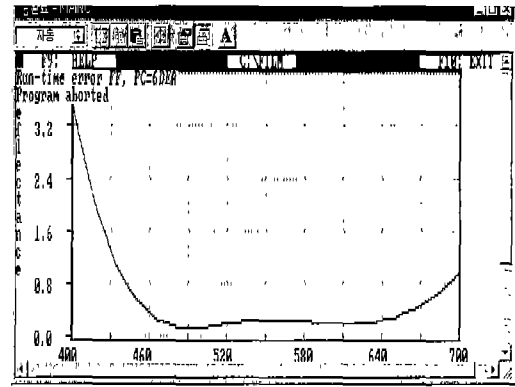


Figure 3. 반사율에 대한 컴퓨터 시뮬.

광선 전 영역의 반사율을 높이는 작업은 두께를 수동으로 변화시키는 방법을 택했다. 두께의 조정이 상대적으로 어렵고 오차가 심한 표면강화 코팅층을 제외한 반쪽을 적용하였다. Figure 3는 사용한 컴퓨터 시뮬의 하나이다. 가로축은 파장(단위:nm)이며 세로축은 반사율이다.

다음과 같은 단계로 전자파 차폐기능을 가진 반사방지 필터를 제작하였다.

- (1) 육안으로 원판을 검사하고 초음파 세척기를 이용하여 원판의 이물질 제거하였다. 원판은 2 mm 두께의 투명 아크릴판을 이용하였다,
- (2) 표면 강도 강화 코팅은 LG화학에서 생산하는 세라믹 표면강화액에서 담금(dip) 방식을 적용하였다. 진공 코팅보다 두께의 균일성이 떨어지고 두께의 정확한 제어가 어렵다.
- (3) 표면의 유해 가스를 날려 보내기 위하여 섭씨 80-90도에서 1시간 반 정도 적외선 열풍 건조를 시켰다.
- (4) 수분 침투를 방지하고 표면의 가스를 날려 보내기 위하여 오븐에 저장하여 건조시킨다.
- (5) 진공 증착기를 이용하여 프로그램된 자동 제어에 의하여 반사방지 및 전자파 차폐 코팅을 한다.

ITO를 고진공 중에서 증착할 경우 증착면이 진한 갈색으로 변하는 현상이 일어난다. 결과적으로 투과력이 몹시 떨어지게 되는데 이를 개선하기 위하여 잘 알려진 산소 이온빔 보조증착 방식을 적용하였다. 산소 이온빔 보조증착방식을 적용하여 투명한 코팅을 할 수 있었다. 좋은 반사율을 유지하면서 적당한 차폐율의 조건을 알아보기 위하여 유사한 반사율의 형태를 유지시키면서 ITO 코팅막의 두께를 변화시킨 5개의 시료를

Table 3. 양면 대형형으로 만든 반사방지 전자파 차폐필터의 증착막 순서

SiO ₂	ZrO ₂	ITO	SiO ₂	ZrO ₂	SiO ₂	hard coating	PMMA	hard coating	SiO ₂	ZrO ₂	SiO ₂	ITO	ZrO ₂	SiO ₂
------------------	------------------	-----	------------------	------------------	------------------	--------------	------	--------------	------------------	------------------	------------------	-----	------------------	------------------

Table 4. 역전장치 사용에 의한 증착막 성능 비교

구 분		기 준 치	역전장치 미사용	역전장치 사용
전도막 특성	제품 저항	1k Ω 이하	517 Ω	513 Ω
	면저항	450 Ω /□이하	424 Ω /□	353 Ω /□
	증착막 균일도	300nm 기준	최대 16.9% 변화	최대 5.3% 변화
무반사 특성(550nm)		1%이하	1.04%	0.79%
투과율 특성(550nm)		55% 이하	54.2%	52.3%

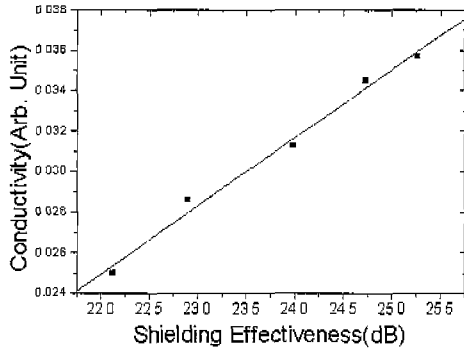


Figure 4. 차폐효과 대 표면 전기 전도도.

제작하였다. 유사한 반사율의 형태를 얻는 방법은 ITO와 ZrO₂의 굴절률이 거의 같으므로(n=2.0) 기본적인 반사방지 5층막을 만든 후 ITO와 ZrO₂를 이웃하게 하여 두께의 합이 같게 하는 방법을 사용하였다.

코팅 조건은 진공도 3.0 × 10⁻⁵ Torr를 유지하였고, 기관 가열 온도는 60 ℃를 유지하였으며, 기관 회전 속도는 4 RPM을 유지하였다. 전자빔의 가속전압은 5 kV, 전류는 50-200 mA를 유지하였으며, 이온 에칭은 2분 동안 실시하였다. ITO 이온빔 보조증착 조건은 산소를 8.0 × 10⁻⁵ Torr까지 주입시켰고, 양극전압(anode voltage)은 120 V, 양극 전류(anode current)는 20 A, 음극전류(cathod current)는 20 A, 중성화 전류(neutralizing current)는 350 mA를 유지시켰다.

시료 테스트에서 가시광선 영역의 반사율 0.3% 이하를 얻었다. 산소 이온 보조증착방식을 이용 ITO의 투명막 코팅을 수행하였고, ITO의 두께가 두꺼워 질수록 전자파 차폐효과가 dB 단위로 선형적으로 증가하였으며, 만든 시료에서 97.5%에서 99.7%의 차폐효과를 얻었다. 한편 차폐 시험용 원판의 표면 전기전도도를 측정 한 결과 dB단위의 전자파 차폐율과 비례함을 알 수 있었고, 따라서 표면 전기전도도를 측정함으로써 전자파 차폐효과를 간접적으로 측정할 수 있음을 알았다(Figure 4).

실제 제품의 사양과는 다르지만 전도막의 특성을 비교하기 위하여 ITO를 300 nm 두께로 증착하여 비교하였고, 무반사 투과율 특성은 6층 반사방지막 설계를 적용하여 측정 비교하였다. 증착막의 접착력과 수막처리 시험은

비교해 본 결과 큰 차이가 없었다.

역전장치를 사용하여 증착막의 성능을 비교한 결과 Table 4에 정리되어 있다[6].

5. 결 론

대형 증착기에서 나타나는 DOME의 각 위치에 따른 증착막의 불균일성을 개선하고 양면 증착시 진공을 해제하여야 하는 공정상의 번거로움을 개선하기 위하여 피증착물 역전장치를 장착하여 생산 공정에 사용한 결과 증착 시간의 30% 단축, 작업 생산성 50% 향상과 아울러 증착막의 전도막 특성도 향상되었으며 증착막의 균일도도 향상되었다. 증착막의 광학적 특성인 반사방지 투과율 특성도 향상되었다. 역전장치가 부착된 대형 진공증착기는 피증착물의 양면증착 수요가 증가함에 따라 기존의 다층막 증착기와는 달리 고진공 상태에서 피증착물의 역전을 통해 양산, 증착 시간 절약, 경비 절감, 타 제품과의 차별화를 할 수 있으므로 널리 사용되어질 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] 金原 泰, “박막 프로세스의 기초”(번역), 반도체출판사, p. 31, 1997.
- [2] 남용 외, “공전과 자전에 의해 코팅 되는 코팅 시스템의 피코팅물 역전장치”, 특허출원 제98-14855호, 1998.
- [3] 강태호, “공전과 자전에 의해 코팅되는 피코팅물 역전장치가 장착된 코팅 시스템”, 품질인증 신청서, 1998.
- [4] 한두희 외, “반사 방지 필터의 ITO 두께에 따른 전자파 차폐 효과”, 평택대학교 논문집 제10집 제2호, pp. 235-245, 1998.
- [5] 한두희, “반사방지 실재를 결합시킨 전자파 차폐 필터의 제작 및 특성”, 응용물리 Vol. 11, No. 6, pp. 744-748, 1998.
- [6] 한두희, “세라믹 코팅된 원적외선 방출 보안기 개발”, 1998년도 산학연 공동 기술개발 최종 보고서, pp. 201-221, 1999.