

논문 2007-44IE-2-4

광투과 전자파 차폐필름의 특성

(Characteristics of Transparent Electromagnetic Wave Shielding Film)

최 광 남*, 곽 성 관**, 김 동 식***, 정 관 수****

(Kwang Nam Choi, Sung Kwan Kwak, Dong Sik Kim, and Kwan Soo Chung)

요 약

본 논문에서는 표면저항을 이용한 차폐성능 및 다층박막의 광학설계 후, roll-to-roll DC 스퍼터링 공정을 이용하여 PET(Polyethylene terephthalate) 필름위에 투명 전도성 산화물 박막인 ITO와 금속을 다층박막 구조(Multilayer)로 균질하게 증착한 전자파차폐필름을 1m 넓이로 제작하고 광투과 및 전자파차폐특성을 조사하였다. 각 층의 면저항 및 두께에 따라서 전자파 차폐성능과 광투과도를 최적화 할 수 있도록 설계되었고, 그 조건에 따라 필름을 제작하였다. 제작된 전자파차폐필름은 2-18GHz 대역에서 99.5%의 차폐성능을 나타내었으며, 400-700 nm에서의 전광선 투과율은 83.1%로 우수한 시인성과 전자파차폐특성을 보유하였다.

Abstract

Multilayer transparent electromagnetic wave shielding film with 1 m wide, was fabricated by using roll to roll DC plasma coating with ITO and Ag layer on PET substrate. By optimizing properly the design parameters, such as a processing condition, the surface resistance and the thickness of each layers, the homogeneous film could be obtained. Electromagnetic wave shielding film showed the high shielding effectiveness of 23dB(99.5%) in 2-18 GHz range and the transmittance of 83.1% in 400-700nm.

Keywords : 전자파차폐, IMI(Insulator Metal Insulator), 광투과, ITO, 다층박막

I. 서 론

전자파 차폐란 불필요한 방해 전자파(Electro-Magnetic Interference)를 차폐함으로써 다른 공간으로의 전자기적 감응(Susceptibility)을 낮추는 기술이다. 최근 급증하고 있는 PDP의 칼라 필터, touch panel, 발광소자(EL, FED)등 평판 디스플레이 분야를 비롯하여

합정 원도우나 항공기 캐노피 등의 군수분야에서도 전자파차폐는 중요한 기술로서 인식되고 있다^[1].

전자파차폐물질로는 일반적으로 Cu, Ag 등의 저저항 금속 및 ITO(Indium Tin Oxide)를 위시한 전도성 산화물계가 사용되고 있으며, 높은 광투과율을 유지하면서도 표면전도도를 높이기 위하여 IMT재료, 즉 ITO-금속(metal)-ITO의 다층구조를 가진 재료를 메쉬, 개스킷 및 박막 등의 다양한 형태로 제조하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다^[2].

본 연구에서는 표면저항을 이용한 차폐성능 및 다층박막의 광학설계 후, roll-to-roll DC 스퍼터링 공정을 이용하여 PET (Polyethylene terephthalate) 기판위에 투명 전도성 산화물 박막인 ITO와 금속을 다층박막 구조(Multilayer)로 균질하게 증착한 전자파 차폐필름을 제작하고 광투과 및 전자파차폐특성을 조사하였다.

* 학생회원, **** 평생회원, 경희대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Kyunghee University)

** 정회원, 유한대학 전자정보과
(Dept. of Electronic Engineering Yuhan College)

*** 평생회원, 인하공업전문대학 컴퓨터시스템과
(Dept. of Computer Systems & Engineering, InHa Technical College)

※ 본 연구는 경희대학교 교내연구비(No. 20060536) 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2007년3월6일, 수정완료일: 2007년6월7일

II. 본 론

1. 전자파차폐 필름제작

가. 차폐필름 재료 및 스퍼터링 시스템

본 실험에서 사용된 광투과 전자파 차폐필름은 단면 하드코팅 처리된 두께 188 μ m, 폭 1050mm의 상용 PET 필름을 기재(器材)로 사용하였다. 전도성 물질의 다층 코팅을 위하여 각각 ITO와 Ag-alloy로 된 타겟을 사용하였다. ITO 타겟의 구성비는 90wt.%In₂O₃/10wt.%SnO₂이며, 타겟의 크기는 1300 × 150mm 이며, 각각 동 음극관에 부착하여 사용하였다.

또한 전자파차폐필름의 제작을 위한 스퍼터링 시스템은 DC & RF 전처리 스퍼터링이 부착된 Roll to Roll DC 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하였다. 스퍼터링 증착시 ITO의 저항과 광투과도는 챔버 내 산소분압과 밀접한 관계가 있다^[3]. 즉, 산소분압이 높아지면 증착 층은 다결정 구조를 가지기 쉬우므로 전자의 이동이 향상되나 스퍼터링 효율이 감소한다. 반면 산소분압이 낮으면 증착 층은 비정질 화하여 전자의 이동이 감소경향이 있다. 따라서 ITO증착 시 사용하는 목적에 맞도록 산소분압을 적절하게 하는 것이 매우 중요하다. 증착 전 초기 진공도는 3×10⁻⁵ torr로, ITO 증착이 챔버 분위기는 Ar 1600sccm과 O₂ 40sccm을 투입하여 1.5 mtorr의 진공도를 유지하였다. Power density 및 roll speed는 각각 2.3w/cm²와 70cm/min이었으며, Ag-alloy 증착시 조건은 1.03w/cm² 및 roll speed 400cm/min 이었다. 스퍼터링시 Ar 1250sccm을 투입하여 1.2mtorr의 진공도를 유지하였다.

상기 조건하에서 PET 필름 표면을 전 처리하여 스퍼터링시 증착될 물질과의 부착력을 향상시킨 후 먼저 ITO박막을 코팅하고 연속하여 Ag-alloy 박막을 증착시킨 후 불순물 제거 및 ITO 박막과의 부착력을 향상시킨 후 ITO박막을 증착하였다.

나. 특성 평가

전자파차폐필름의 표면저항은 4 probe 시험기를 이용하여 측정하였으며, 증착표면을 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope)으로 관찰하였다. 광투과도는 spectrophotometer를 사용하여 가시광선 대역인 400~700nm범위의 전광선 투과율을 측정하였다.

GHz대역에서의 전파차폐특성은 HVS사의 자유공간 전파흡수/차폐특성 측정기를 이용하여 수직 입사되는

2~18 GHz대역 전자파의 반사계수 S11을 측정하였다.

2. 실험 결과 및 고찰

가. 광투과도

일반적으로 높은 전도성을 위해 선택되는 금속 박막은 전도성이 우수한 반면 두꺼워지면 가시광선 대역의 광투과도가 급격히 감소하는 단점이 있다. ITO/Ag/ITO계 다층 금속 박막의 경우, 가시광선 대역의 파장에 대한 광투과도는 각 박막의 skin depth(δ)로 나타낼 수 있다.

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi k} = \frac{1}{\alpha} \tag{1}$$

여기서 λ 는 파장이며, k는 금속 소멸계수(extinction coefficient), α 는 재료의 흡수계수(absorption coefficient)이다. 유전 박막 층의 경우 k가 작아 무시할 수 있으나, Ag박막의 k는 1보다 크므로 전체 박막의 반사특성을 좌우하게 된다. 따라서 광투과를 높이기 위한 Ag의 조건은 두께를 위 식에서 나타낸 skin depth보다 얇거나 비슷하도록 설계하여야 한다^[4].

그림 1에서 전 주파수 대역에 걸쳐 Ag의 흡수계수는 큰 차이를 보이지 않은 반면, skin depth는 약 400nm 부근에서는 16nm 정도로 크다가 파장이 증가할수록 감소하다가 700~800nm이상에서 근적외선 대역까지는 거의 11nm로 일정한 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서의 Ag두께는 최대 11nm 이하로 제어하였다. ITO층은 Ag층의 상하에 증착되어 습기나 Cl, S 등에 매우 취약한 Ag를 보호할 뿐만 아니라, 반사율이 높은 Ag의 표면 반사를 감소시켜 전체 층의 광투과를 향상시키는 역할을 한다. 어떠한 매질에 광이

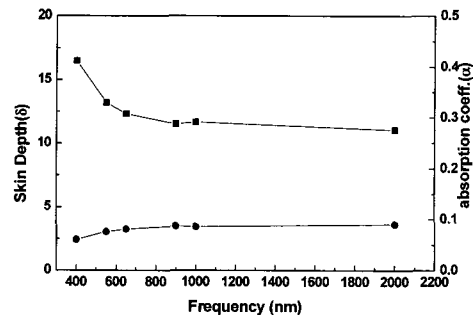


그림 1. Ag박막의 skin depth 및 흡수계수
Fig. 1. The skin depth and absorption coefficient of Ag thin film.

투과 시 반사계수, ρ ,는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{\text{reflected amplitude}}{\text{incident amplitude}} = \frac{(y_0 - y_1)}{(y_0 + y_1)} \quad (2)$$

여기서, y 는 입사되는 매질의 admittance이다. 이 경우의 반사율, R ,은 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$R = \left| \frac{y_0 - y_1}{y_0 + y_1} \right|^2 \quad (3)$$

현재 저 반사 박막은 박막간 간섭효과(interference effect)를 이용하여 두께를 파장의 1/4만큼 가지는 1/4λ형(Quarter-wave형)과 저 반사 특성을 향상시키기 위해 기재위에 다른 admittance를 가진 재료를 복층으로 중첩하여 제조한다.

$$y_1/y_2 = \sqrt{y_0/y_{sub}} \quad (4)$$

그러나 복층 박막은 간단히 제조할 수 있는 반면, 중간층에 적절한 굴절률을 가진 물질을 찾아야 하는 단점이 있다. 따라서 같은 굴절률을 갖는 재료로 이 중간층을 대체시키는 Quarter-half-Quarter형 저 반사 다층박막이 주로 사용되고 있으며 이 경우 사용되는 재료의 수를 줄여 제조경비를 낮출 수 있는 장점이 있다. 서로 다른 굴절률을 가진 다층(2x-1)박막의 반사율은 다음과 같다.

$$R = \left| \frac{y_0 - \frac{y_H^{2x}}{y_L^{2(x-1)} y_{sub}}}{y_0 + \frac{y_H^{2x}}{y_L^{2(x-1)} y_{sub}}} \right|^2 \quad (5)$$

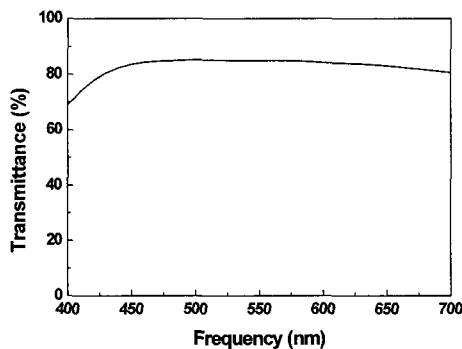


그림 2. Roll-to-Roll DC 스퍼터링법으로 제조된 전자파 차폐필름의 광투과도

Fig. 2. The transmittance of EMI film which was fabricated Roll-to-Roll sputtering method.

여기서, H 와 L 은 각각 특성 admittance y_H 및 y_L 의 1/4파장을, y_0 및 y_{sub} 는 각각 입사되는 매질과 기재의 admittance를 나타낸다.

그림 2는 식 (1)과 (5)로 도출된 Ag와 ITO의 두께를 최적화한 후, PET필름위에 ITO/Ag/ITO 3층막을 증착한 전자파차폐필름의 400-700 nm의 가시광선 대역에서 광투과도를 측정된 결과이다. 그림에서 보듯이, 전 가시광선대역에서 고르게 높은 투과를 나타내고 있으며, 측정된 전광선 투과율은 83.1%이었다.

나. 전자파차폐특성

입사되는 전자파를 차폐하는 방어막으로서의 전자파 차폐 필름의 차폐특성(Shielding Effectiveness, SE)은 일반적으로 입사되는 전기 혹은 자기장의 크기와 투과되는 전기 혹은 자기장의 크기의 비로 정의할 수 있으며, 그 크기는 데시벨(dB)로 나타낸다^[5].

$$SE = 20\log_{10} \left| \frac{E_i}{E_t} \right| = R_{db} + A_{db} + M_{db} \quad (6)$$

여기서, R_{db} , A_{db} 및 M_{db} 는 각각 차폐 재료에서의 반사손실, 흡수손실 및 다중반사 및 투과에 의한 손실로서, 차폐필름과 같은 매우 얇은 박막의 경우에는 다중반사손실은 무시할 수 있다. 재료 내 흡수손실은 식 (7)과 같으며, 전파 침투 두께인 skin depth에 의존한다.

$$A_{db} = 20\log_{10} \left| \frac{E_i}{E_t} \right| = 20\log(e^{-t/\delta}) \quad (7)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f\mu_0}} \quad (8)$$

여기서, ω 는 입자전파의 각진동수($2\pi f$), f 는 주파수 (frequency, Hz), σ 는 전기전도도(S/cm), ρ 는 저항 (resistivity, Ω/m), μ 는 차폐 재료의 투자율(H/m) 및 μ_0 는 진공 하에서의 투자율이다.

본 연구에서 제작한 전자파차폐필름은 나노두께의 ITO/Ag/ITO계 전도성 박막을 이용하고 있으며, 각각

표 1. ITO 및 Ag의 skin depth
Table 1. ITO and Ag skin depth.

	Frequency (GHz)	Resistivity ($\Omega \cdot cm$)	skin depth (μm)
ITO	10	6	1.23
		12	1.74
Ag	10	1.6	0.63

의 층의 skin depth를 표 1에 나타내었다.

차폐필름박막의 두께는 약 100 nm 정도로서 표 1에서 제시한 각 재료들의 skin depth에 비해 전기적으로 매우 얇은 것($d \ll \delta$)을 알 수 있으며, 이 경우 평면파에 대한 차폐특성(SE)은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$SE = 20\log_{10}\left(1 + Z_0 \frac{\sigma d}{2}\right) = 20\log_{10}\left(1 + \frac{Z_0}{2R_s}\right) \quad (9)$$

여기서 R_s 는 표면저항, Z_0 는 자유공간에서의 고유 임피던스(377Ω)이다.

그림 3은 전자파 차폐필름 박막의 표면저항에 따른 차폐특성(SE)을 식(9)에 의해 예측한 결과이다. 일반적으로 박막의 표면저항이 낮아질수록 차폐특성은 코팅되는 박막의 표면저항에 반비례하여 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 광투과 전자파 차폐필름의 표면저항은 적절하게 조절되어야 하며, 본 연구에서 제조된 전자파 차폐필름은 4 point probe 시험기로 측정결과

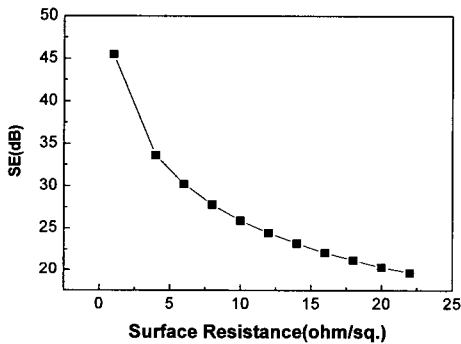


그림 3. 표면저항에 따른 차폐특성 변화
Fig. 3. Surface resistance and EMI shielding property.

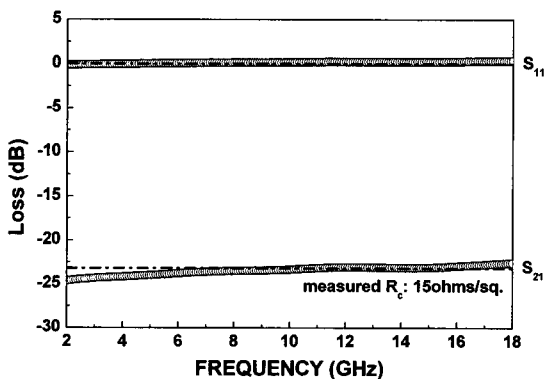


그림 4. 주파수에 따른 반사손실
Fig. 4. The return loss of frequency dependence.



그림 5. Ag 증착표면 SEM 사진
Fig. 5. The SEM image of the Ag deposited surface.

약 15 Ω/□의 표면저항을 보유하고 있다.

그림 4는 본 연구에서 제조된 다층형 전자파 차폐필름의 차폐손실을 2~11 GHz대역에서 자유공간 하에서 측정된 결과이다. 여기서 S₁₁과 S₂₁은 각각 입사 안테나와 수신 안테나 사이의 반사손실과 차폐손실을 의미한다. 그림에서 보듯이, S₁₁은 거의 0으로서 차폐필름 표면의 반사로 인해 반사손실이 1% 이하이며, S₂₁은 평균 -23dB가 손실되어 입사전파 대비 99.5%의 차폐특성을 나타내었으며, 이 결과는 예측한 결과와 매우 잘 일치하고 있다.

입사전파가 차폐필름을 투과하고 있음을 알 수 있다. 또한 차폐 필름은 전파손실이 모든 주파수대역에서 거의 일정한 값을 나타내고 있어, 증착된 전도성 박막이 매우 균질하다는 것을 예상할 수 있다.

그림 5는 증착된 박막의 표면을 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰한 것이다. 위의 결과에서 예상한 것처럼 매우 균질한 증착이 이루어 졌음을 확인할 수 있다.

III. 결 론

PET 기재위에 ITO산화물 층과 금속 층을 roll to roll 플라즈마 코팅하여 폭 1m의 다층 투명 전자파차폐 필름을 제조하였다. 공정조건 및 각 층의 면저항 및 두께를 이용한 차폐성능 설계 및 광투과도를 최적화하여 균질한 필름의 제조가 가능하였다.

제조된 전파차폐필름은 2-18GHz 대역에서 99.5%의 차폐성능을 나타내었으며, 400-700 nm에서의 전광선 투과율은 83.1%로 우수한 시인성과 전자파차폐특성을 보유하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. G. Gordon, Criteria for choosing trans- parent conductors, Aug. 52-57, 2000.
- [2] P. Grosse, R. Hertling, T. Müggensburg, Design of low emissivity systems based on a three-layer coating, 218, 38-43, 1997.
- [3] A. Klöppel, W. Kriegseis, B. K. Meyer, A.Scharmann, C.Daube, J.Stollenwerk, J.Trube, Dependence of the electrical and optical behaviour of ITO-silver-ITO multilayers on the silver properties, Thin Solid Films 365, 139-146, 2000.
- [4] M. Born, E. Wolf, Principles of Optics, 7th ed.(Cambridge Univ. Press, London,1999), pp. 738-739.
- [5] A. Kaynak, Electromagnetic shielding effectiveness of galvanostatically synthesized conducting polypyrrole films in the 300-2000MHz frequency range, Mat. Res. Bull., 31, 7, 845-860, 1996.

저 자 소 개



최 광 남(학생회원)
 2000년 경희대학교 물리학과
 전자공학과 학사 졸업.
 2002년 경희대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2007년 현재 경희대학교
 전자공학과 박사 수료.

<주관심분야 : 차세대 반도체, Lithography, TFT-LCD, 유기 TFT>

곽 성 관(정회원)
 제 37권 SD편 제3호 참조
 현재 유한대학 전자정보과 전임교원

정 관 수(평생회원)
 제 37권 SD편 제3호 참조
 현재 경희대학교 전자정보학부 교수

김 등 식(평생회원)
 제 38권 TE편 제2호 참조
 현재 인하공업전문대학 컴퓨터시스템과 부교수