

PVD법을 이용한 전자파 차폐용 시트 제조 및 차폐효율 특성

채성정* · 홍병표 · 이병수** · 변홍식†

계명대학교 화학시스템공학과, *계명대학교 신소재공학과, **계명대학교 기계자동차공학과
(2010년 5월 11일 접수, 2010년 6월 24일 채택)

Preparation of EMI Shielding Sheet by PVD Method and Its Characteristic of EMI Shielding Efficiency

Seongjeong Chae*, Byungpyo Hong, Byoungsoo Lee**, and Hongsik Byun†

Department of Chemical System Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

*Department of Material Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Received May 11, 2010; Accepted June 24, 2010)

Fe계 metal powder를 이용하여 최적화된 전자파차폐 시트를 제조한 후, 제조된 시트에 physical vapor deposition (PVD) 법으로 여러 금속들을 증착시켜 최종 전자파차폐용 시트를 제조하였다. 또한 증착된 금속들의 전자파 효율 특성을 분석하기 위하여 polyvinylidene fluoride (PVdF) 나노섬유 막을 시트로 활용하였다. 전기적 특성을 알아보기 위해 4-point probe로 측정하였으며, energy dispersive spectroscopy (EDS)를 이용하여 제조된 sheet에 금속이 증착되었음을 확인하였다. 차폐효율은 전자파차폐효율측정기를 이용하여 측정하였다. 전기저항은 1000 Å 일 때 Cu에서 641.95 Ω · cm 로 가장 낮은 저항 값을 나타내었다. 전자파 차폐효율은 증착된 금속의 두께의 증가에 따라 증가되었으며, Cu가 1000 Å 으로 증착된 sheet가 최고 효율인 32.5 dB를 나타내었다.

The optimized sheet for EMI shielding was prepared by metal power with Fe series. Then various metal powders were deposited on the sheet by PVD method. Moreover, the PVdF nanofiber membrane was used to compare the characteristic of EMI shielding efficiency of various metal powders. The electrical property was measured by the 4-point probe method. The result from EDS confirmed that the metal powder existed on the sheet. EMI shielding efficiency was analysed by EMI shielding measurement apparatus. The lowest electrical resistance, 641.95 Ω · cm, was obtained with 1000 Å deposition of Cu on the sheet. It was revealed that the EMI shielding efficiency increased with increase of the metal deposition thickness. The sheet deposited by Cu with 1000 Å showed the highest EMI shielding efficiency, 32.5 dB.

Keywords: EMI shielding, PVD, metal powder, nanofiber

1. 서 론

과학문명의 발전과 함께 인류의 편의를 위한 다양한 전기, 전자 및 통신기기의 사용이 확대되고 있다. 이러한 기기들은 인류 생활의 편의와 함께 원치 않는 여러 가지 유해요소를 동시에 유발시키고 있으며, 그 대표적인 것이 전자기파의 피해이다. 특히, 고주파 전자기기에서 발생하는 전자파는 인간의 뇌에 나쁜 영향을 줄 수 있으며, 인근 전자기기와의 상호교란작용(electromagnetic interference, EMI)으로 전자기기의 오작동을 유발하기도 한다[1,2]. 그리고, 전자레인지와 같은 가정용 전기제품에서 발생하는 마이크로파에 인체가 장시간 노출될 경우 마이크로파의 열작용에 의하여 인체에 악영향을 미치며, 생식능력의 저하와 같은 심각한 결과를 초래할 수도 있다[3]. 대기, 수질, 토양오염 등의 환경오염의 경우 인간이 오감을 통하여 직접적으로 느

껴 대책을 세울 수 있으나, 제 4의 공해인 전자파는 보이지도, 들리지도 않으며, 느낄 수도 없고, 그 피해가 아주 느리게 진행되므로 적극적인 대책을 세우기가 어려운 실정이며, 여러 종류의 전자파 가운데 인체에 영향을 미치는 전자파는 헤아릴 수 없을 정도로 널리 분포되어 있어 그 피해가 매우 심각할 수 있다[4,5]. 전자파의 피해를 해소하기 위해서는 기기에서 발생하는 전자파가 인간과 기기에 영향을 미치지 않도록 발생하는 전자기기로부터 전자파를 차폐함으로써 가능하다. 대표적인 차폐제품으로는 차폐도료가 있으며, 이것은 Ni, Cu 등의 금속을 고분자 재료와 혼합시켜 도료화한 제품이다. 차폐도료의 장점은 기존의 생산방식을 그대로 이용할 수 있으므로 신규 투자를 필요로 하지 않으며, 생산방식이 까다롭지 않아 다량의 제품생산이 가능하다. 또한 다른 전자파 차폐방법에 비하여 경제적이다. 그러나 단점으로는 도금 및 증착방법에 비하여 낮은 저항으로 도막의 두께가 비교적 두껍고, 도막의 떨어짐과 균일성에 문제가 있으며, 산화에 의한 장기 차폐효과가 떨어지는 문제점이 있다. 최근 전자파의 피해가 알려지면서

† 교신저자(e-mail: hsbyun@kkm.ac.kr)

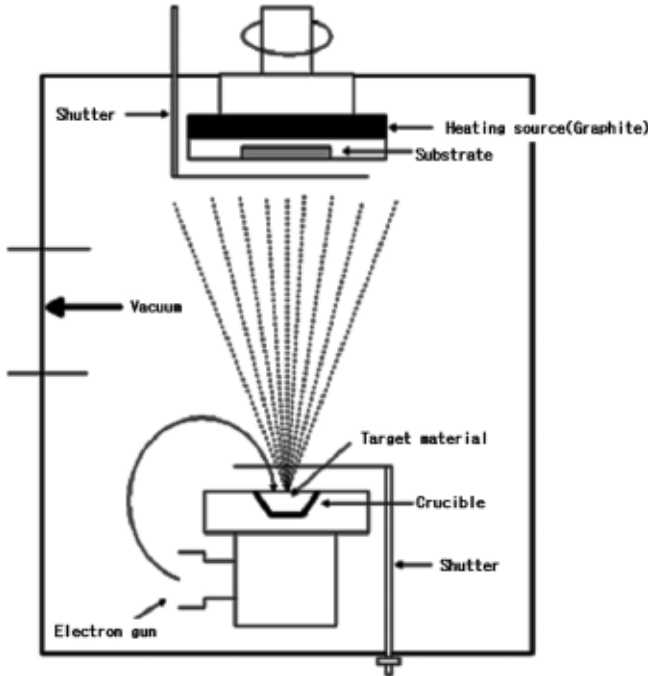


Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

각국의 전자파 허용 규제치가 엄격해지고 있어, 전자파 차폐 코팅제의 고성능화가 요구되고 있다. 이러한 배경으로 근래에는 금속의 산화를 방지하기 위해 표면을 코팅처리하고 통전성을 향상시켜 낮은 도막두께에서도 저항값이 양호하고, 충분한 차폐효율의 발현이 가능한 전자파 차폐 코팅제의 개발을 요구하고 있다[6,7]. 따라서, 본 연구에서는 전자파 차폐제의 고성능화에 목표를 두고 차폐금속으로 주로 사용되는 Ni, Cu, Mg, Zn, Ni-Cu alloy를 이용하여 전자파 차폐 및 흡수 sheet를 제조하였고, 제조된 sheet의 전자파 차폐효율을 분석하였다. PVD법을 이용한 전자빔 증착기를 활용하여 금속의 두께 및 금속의 종류에 따른 변수들을 조절함으로써 차폐효율의 최적화를 시도하였으며, Fe계 메탈 분말을 이용한 base 시트 외에도, 고분자 나노섬유를 이용한 base 시트를 사용하여 다양한 흡수시트를 제조하고 비교분석하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료

시트 제조에 사용된 메탈 분말은 Fe가 주성분으로 Cu, Cr, Si가 미량 첨가되어 있으며, 50~120 μm 크기의 구형입자로 대주전자재료에서 구입하여 후가공 없이 사용하였다. Binder는 Kuraha (Japan) 사의 SEN-3100으로 acrylicpolymer 종류로 고형분의 함량이 19.43%이다. 용매로는 덕산약품공업사의 methyl ethyl ketone (MEK)을, cyclohexanone은 Sigama Aldrich사에서 공급받아 정제 없이 사용하였다.

2.2. PVD법

본 연구에서는 전자파 차폐제 제조방법의 하나인 진공증착[8]을 이용하여 차폐효율을 증가시키고자 하였다. 이 장치의 개략도는 Figure 1에 나타내었다. 27000 rpm의 용량을 가지는 펌프를 이용하여 5×10^{-2} torr의 저진공으로 챔버 내의 공기를 제거한 후, 2×10^{-5} torr의 고진공의 상태를 유지한 채로 5 kV, 0.5 A의 전압과 전류로 전자빔을 가

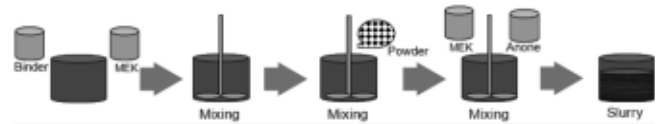


Figure 2. Schematic diagram of sheet manufacturing process.

Table 1. The Composition of EMI Shielding Sheet

	용질(75.37)	용매(24.63)	비율(용질 : 용매)
S1			85.37 : 14.63
S2			88.37 : 11.63
S3	Powder + Binder	MEK + Anone	90.37 : 9.63
S4			91.37 : 8.63
S5			92.37 : 7.63
S6			95.37 : 4.63

Table 2. The Viscosity of Slurry for EMI Shielding Sheet

sample code	viscosity (cP)
S1	6100
S2	7200
S3	9300
S4	11900
S5	21000
S6	32000

하여 증착하였다. 기판은 상부에 위치시켜 증착이 고르게 분포되도록 5 rpm의 속도로 회전시켰으며, 챔버 내부 온도의 조절은 기판의 정확한 온도를 위해 기판과 접촉된 K-type 열전대와 다이리스트(tyristor)형 조절기에 의해 조절하였다. 증착 base 시트로는 최적화된 Fe계 시트, 또는 PVdF 나노섬유 시트를 사용하였다.

2.3. 전자파 흡수시트 제작

본 연구에서 사용된 시트는 Fe가 92 wt% 첨가되고, Cu (0.8 wt%), Cr (0.6 wt%), Si (6.4 wt%) 등이 미량 첨가된 금속 분말을 주원료로 하여 binder, methyl ethyl ketone (MEK), cyclohexanone을 첨가하여 slurry상태로 mixing 한 뒤, 시트의 형태로 제작하였다. Slurry의 조성 및 시트 제작과정은 Figure 2에 나타내었다. 출발원료는 극성용매를 사용하기 때문에 적절한 교반속도(200~800 rpm), 적절한 온도(20~60 ℃), 휘발온도와 오염이 없을 것 등의 조건을 만족해야 한다[9]. Powder, binder와 MEK, cyclohexanone을 각각 용질과 용매로 조성을 다르게 하여 시편번호를 S1~S6로 지정한 시트를 제작하였다. 각각의 비율은 Table 1에 나타내었다. 완성된 slurry는 점도실험을 통해 조성을 결정하였으며, 용매의 조성이 줄어들수록 점도가 높아져 시트 제작이 불가능하기 때문에, 용매와 용질의 조성이 시트 제작에 적합한 점도를 가지는 S4를 최적화된 시편으로 결정하였다(Table 2). 또한 증착된 금속 파우더의 전자파 차폐특성을 분석하기 위하여 PVdF 나노섬유 시트에 금속 분말을 증착하여 전자파 차폐효율을 측정하였다.

2.4. 차폐효율 특성분석

차폐효율을 측정하기 전 시편의 4-point probe를 이용한 체적저항을 측정함으로써 전기적 특성을 우선 분석하였다. 사용된 장비는 CMT-

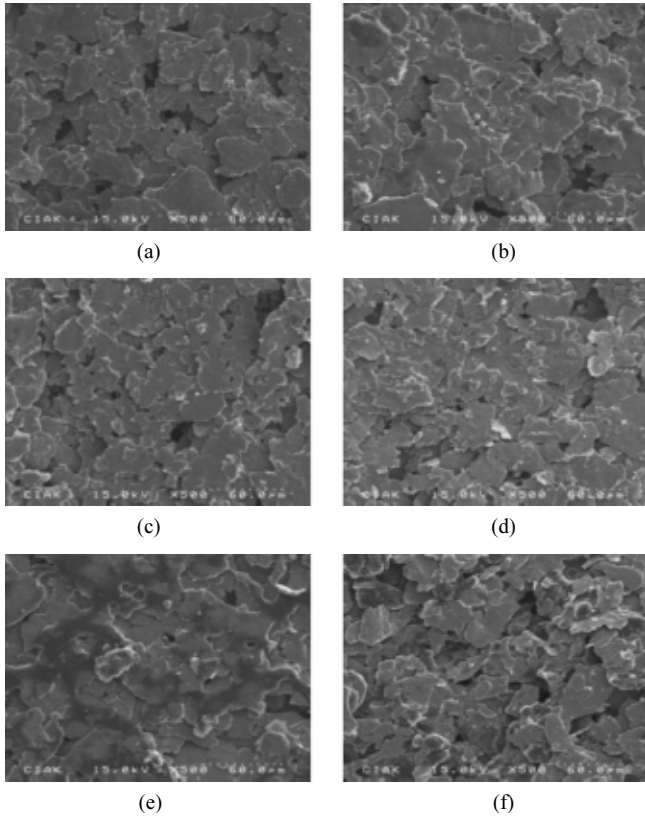


Figure 3. SEM of the sample evaporated 1000 Å on S4 sheet, (a) Ni, (b) Cu, (c) Zn, (d) Mg, (e) Ni-Cr alloy, and (f) S4.

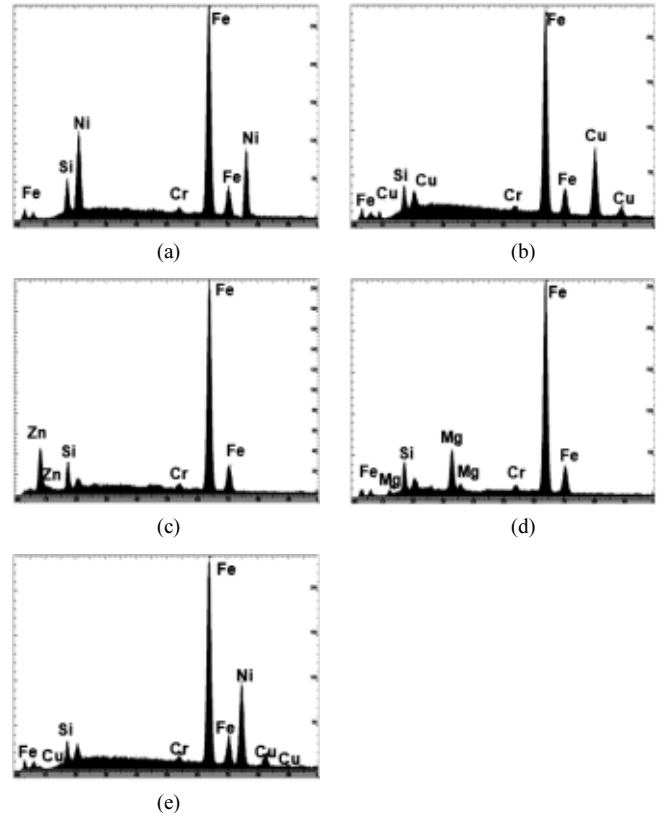


Figure 4. The EDS measurements of the sample evaporated 1000 Å on S4 sheet, (a) Ni, (b) Cu, (c) Zn, (d) Mg, and (e) Ni-Cu alloy.

SR1000N이었으며, 시편의 크기는 차폐효율 측정에 사용된 것과 동일한 11 cm의 원형인 것을 사용하였다. 증착된 시트의 차폐효율은 전자파 차폐효율 측정기(EMI System/Rhode & Schwartz, Germany)를 이용하여 평가하였으며, 시트의 주파수별 차폐효율을 알아보기 위해 30~1500 MHz의 영역에서 측정을 행하였다[10]. 측정을 위한 시편의 크기는 ASTM D-4935의 규격인 지름 11 cm의 원형으로 제작하였다.

2.5. SEM

미세구조 및 조성분석은 SEM과 EDS를 통해 분석하였다. 시편의 크기는 가로, 세로 0.3 mm인 정사각형으로 제작하였으며, 금으로 코팅한 후 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전자파 차폐시트 제조 및 SEM

Figures 3, 4는 S4 시트 위에 1000 Å으로 증착한 표면관찰 결과와 성분분석을 나타낸 것이다. Figure 3에서 볼 수 있듯이 증착한 샘플의 표면은 차폐성분을 증착하기 전인 S4 시트와 크게 다른 점이 없다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 1000 Å으로 증착하였지만 표면구조의 변화에 의한 차폐효율 영향은 거의 없다고 할 수 있다. 성분분석 결과는 시트에 포함되어 있는 다량의 Fe와 소량 첨가되어 있는 Si, Cr을 확인할 수 있으며, 표면에 증착된 차폐금속들을 확인할 수 있었다. 1000 Å의 아주 얇은 두께로 증착이 되어 있지만, 표면에 증착을 하므로 그 성분들이 다량 검출 되는 것을 확인할 수 있으며, 차폐효율과 직접적으로 연관 있는 체적저항에 크게 기여할 수 있다는 것을 예

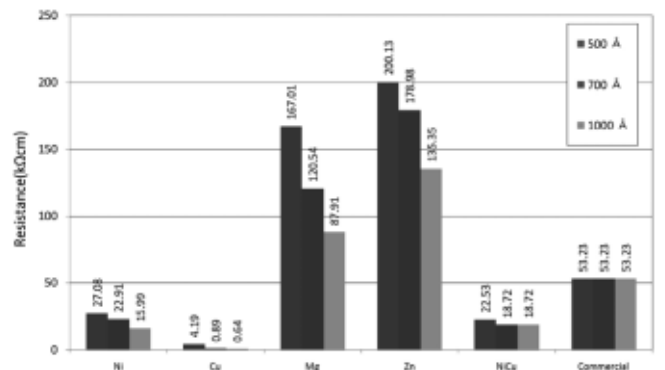


Figure 5. Resistance of the samples evaporated 500, 700 and 1000 Å on S4 sheet.

측할 수 있다.

3.2. 전자파 차폐용 시트의 전기적 저항

Figure 5는 S4 시트에 각각의 금속을 500, 700, 1000 Å으로 증착한 후 저항값을 측정한 것이며, 상업용 시트와 함께 비교해 보았다. 500 Å의 두께로 증착한 시트는 Ni, Cu, Ni-Cu alloy가 상업용 시트보다 낮은 저항을 나타냈으며, Mg, Zn 경우는 오히려 상업용 시트보다 높은 저항을 나타내었다. 이것은 증착기 내부에서 전자빔에 의해 금속을 용융시킬 때 빠른 속도로 증발되어, 금속입자들의 크기가 증가하게 되고 이로 인하여 시트 표면에 증착이 원활하게 이루어지지 않아 표면 저항의 측정값이 오히려 높게 나온 것으로 사료된다. 700 Å의 두께

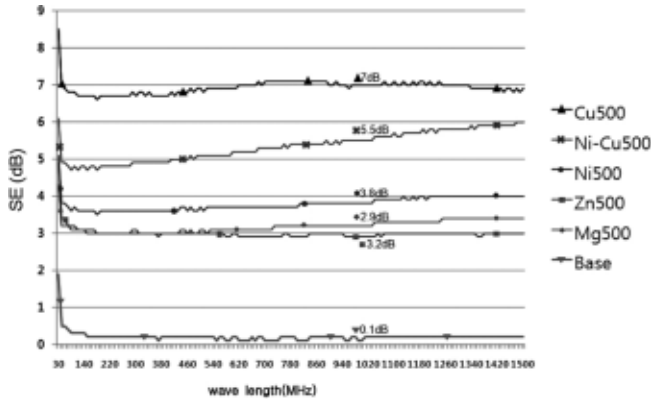


Figure 6. The EMI shielding efficiency of the samples evaporated 500 Å on PVdF nanofiber sheet.

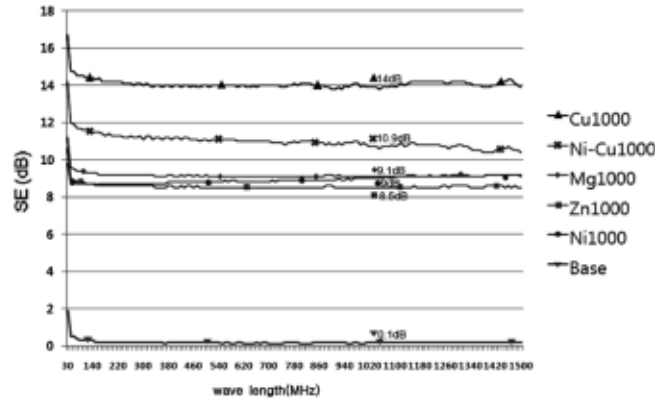


Figure 8. The EMI shielding efficiency of the samples evaporated 1000 Å on PVdF nanofiber sheet.

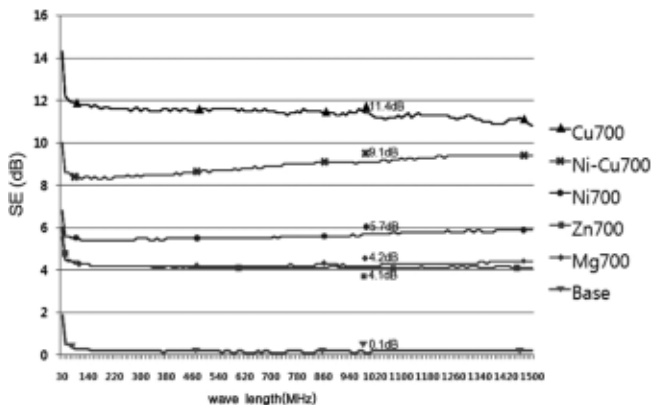


Figure 7. The EMI shielding efficiency of the samples evaporated 700 Å on PVdF nanofiber sheet.

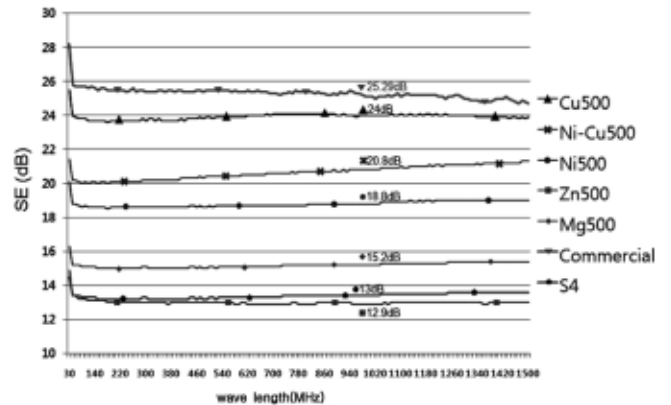


Figure 9. The EMI shielding efficiency measurements of the sample evaporated 500 Å on S4 sheet.

로 증착한 시트에서는 Cu, Ni, Ni-Cu alloy가 500 Å으로 증착하였을 때와 동일한 경향을 나타냈으며, Mg, Zn은 약 0.5배 가량 효율이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 1000 Å의 두께로 증착한 시트에서는 Cu, Ni-Cu alloy, Ni의 순서대로 낮은 저항값을 보였으며, Mg, Zn 또한 1.5 배 낮은 저항 값을 가지는 것을 보여주었다. 위의 자료를 통해 Mg, Zn의 경우 700 Å 이상으로 증착을 하여야 효율이 증가되는 것을 확인할 수 있었으며, 증착을 통해 저항값을 낮추는데 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있었다. 전기저항이 낮은 금속으로 알려진 Ni, Cu 이외에도 가공이 쉽고 비교적 가격이 저렴한 Mg, Zn으로도 저항 값을 낮추는데 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. 전자파 차폐용 시트의 차폐효율

체적저항측정 결과를 토대로 전자파 차폐효율을 측정하였다. 측정 영역은 30~1500 MHz까지로 대부분의 전자기기의 주파수영역인 1000 MHz의 값을 그래프 상에 표시하였다. Metal 증착의 base 시트는 최근에 전자재료분야에 널리 활용되고 있는 PVdF 나노섬유 시트를 이용하였다. PVdF 나노섬유시트는 차폐효율이 0.1 dB로 차폐효과가 거의 없으므로 증착된 metal의 차폐효율을 정확하게 분석할 수 있다. 이러한 PVdF 나노섬유시트에 전자파차폐의 기능이 부가된다면 그 활용범위가 더욱 다양하게 될 것이다. 본 연구에서는 증착두께를 500, 700, 1000 Å으로 변화시켜서 PVdF 나노섬유시트의 전자파차폐 효율을 측정하였으며 결과는 Figures 6~8에 나타내었다.

모든 영역에서의 전자파 차폐효율은 전기적 저항의 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 500 Å에서는 Cu만이 차폐성능이 가능한 영역에 있음을 볼 수 있으며, 700 Å에서는 Cu가 효과적인 차폐효율 범위인 10 dB 영역을 넘어서는 것을 알 수 있다. Ni-Cu alloy도 700 Å 증착으로 차폐성능을 보여주고 있다. 증착두께가 1000 Å일 때 차폐효율이 급격히 증가하며, 모든 금속이 8 dB 이상의 차폐 효율을 나타내었다. Mg, Zn의 경우 1000 Å의 두께로 증착하여 차폐효율이 약 2 배 정도 증가되었음을 확인할 수 있었다. SEM촬영에서 확인할 수 있듯이, Mg이나 Zn 증착을 하였을 경우 Cu, Ni와는 다르게 큰 입자를 가지고 있었기에 PVdF 나노섬유시트의 기공을 막으면서 차폐효율이 크게 증가한 것으로 판단된다. 이를 통해 1000 Å 이상으로 증착을 하게 되면 차폐효율 증가에 크게 기여할 수 있다는 것을 알 수 있다.

위의 실험으로 메탈증착의 차폐효율을 확인하였으며, 결과를 토대로 S4 시트 위에 금속을 두께별로 증착한 후 차폐효율을 측정하여 상업 시트와 비교하였다. 차폐효율 측정 결과는 Figures 9~11에 나타내었다. 500 Å으로 증착을 하였을 경우 모든 금속의 경우 상업용 시트보다 낮은 차폐효율이 나온 것을 확인할 수 있었다. 이것은 금속의 전기적 저항이 상당히 낮으나, S4 시트의 전기적 저항이 상대적으로 높아서, 금속의 특성이 잘 나타나지 않은 결과이다. 그러나 금속으로 증착된 모든 시트가 증착 전의 시트인 S4 시트보다 높은 차폐효율을 보이는 것을 알 수 있다. Mg, Zn으로 증착된 것은 S4 시트와 크게 차이가 없으나 나머지 금속의 경우 2배 높은 차폐효율의 결과가 나오는

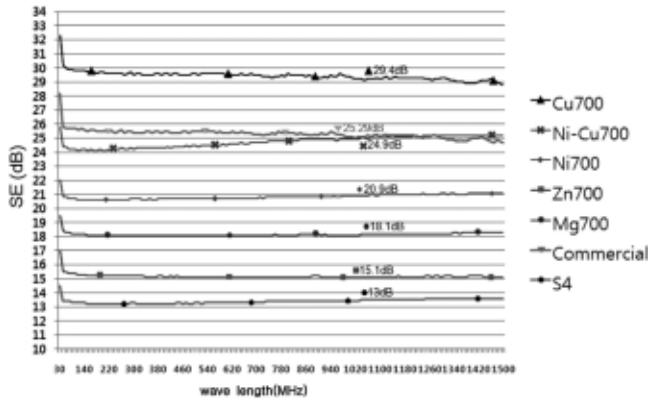


Figure 10. The EMI shielding efficiency measurements of the sample evaporated 700 Å on S4 sheet.

것을 확인할 수 있었다. 700 Å으로 증착을 하였을 경우에는 Cu가 상업용 시트보다 높은 차폐효율을 보이는 것을 알 수 있으며, Ni-Cu alloy의 경우 상업용 시트와 비슷한 차폐효율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 1000 Å으로 증착한 시트의 경우 Cu가 상업용 시트보다 0.5배 높은 차폐효율 값을 나타내었고, Ni-Cu alloy에서는 약 0.07배 높은 차폐효율을 나타내었다. 나머지 금속들은 700 Å으로 증착하였을 때와는 다르게 1000 Å의 증착에서 차폐효율 값이 상업용 시트와 크게 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

Fe계 금속 파우더를 이용하여 전자파 차폐시트를 제작하였다. 제작된 시트를 PVD법을 이용한 전자빔 증착을 통하여 차폐효율을 측정했으며, 전자파 감쇠 특성을 향상시키고자 하였다. 시트의 제조는 용질 : 용매가 91.37 : 8.63 (S4)의 비율에서 최적화가 가능하였다. PVD법을 이용하여 증착을 하였을 경우, Mg과 Zn의 차폐효율이 상업용 시트보다 낮은 값을 보여주었다. 이는 Mg과 Zn의 용융점이 낮아 빠른 속도로 증착이 되면서 시트에 고르게 분포되지 않았기에 전기적 저항이 높아진 것으로 판단된다. 그러나 1000 Å 이상의 두께를 가지게 되면 차폐효율이 상업용 시트와 비슷하게 나오는 것을 확인할 수 있었다. Cu, Ni-Cu alloy, Ni의 경우 상업용 시트와 비교하여 높은 차폐효율을 확인하였다. 또한 1000 Å 이상의 두께에서는 모든 금속이 상업용 시트보다 높거나 비슷한 효율 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 전자파 차폐에 거의 영향을 미치지 않는 PVdF 나노섬유 시트에 금속을 증착시켰을 때에도 Fe계 시트와 같이 유사한 경향을 보여, 차폐성능이 부가된 PVdF 나노섬유 시트를 제조할 수 있었으며, 이는 금속재

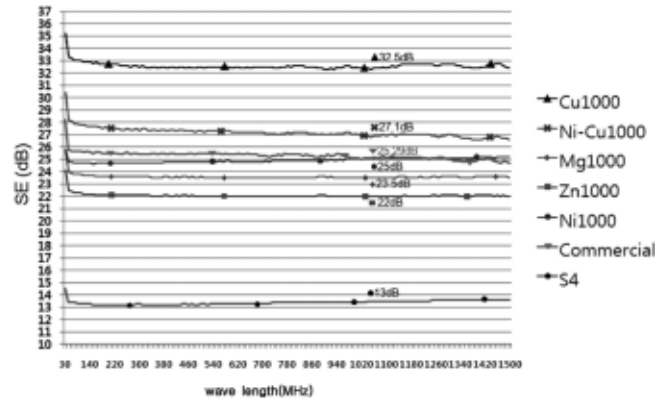


Figure 11. The EMI shielding efficiency measurements of the sample evaporated 1000 Å on S4 sheet.

료가 증착된 PVdF를 전자재료 분야에도 활용할 수 있음을 보여준다.

감 사

이 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

1. K. T. Chung, A. Sabo, and A. P. Pica, *J. Appl. Phys.*, **53**, 6867 (1982).
2. B. Bridge, *J. Mat. Sci. Lett.*, **7**, 633 (1988).
3. S. S. Tzeng and F. Y. Chang, *Mat. Sci. and Eng.*, **302**, 258 (2001).
4. B. Bridge, M. J. Folkes, and H. Jahankhani, *J. Mat. Sci.*, **23**, 1948 (1988).
5. J. S. Kim and Y. T. Jeong, *J. Kor. Sci. Precision. Eng.*, **24**, 7 (2007).
6. S. H. Park, D. I. Kim, D. H. Choi, and S. Y. Kim, *J. EM. Soc.*, **19**, 1051 (2008).
7. K. Ishino and Y. Narumiya, *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **66**, 1469 (1987).
8. W. S. Chin and D. G. Lee, *J. of the KSCM*, **17**, 68 (2004).
9. H. C. Chen, K. C. Lee, and J. H. Lin, *Composites Part A*, **35**, 1249 (2004).
10. K. B. Choi, E. M. Goh, and K. I. Ahn, *J. Kor. Ins. Chem. Eng.*, **33**, 521 (1995).