

GHz 대역에서의 순철 압분체-고무 복합체의 전도노이즈 흡수특성

김선태, 김성수
충북대학교, 재료공학과

1. 서론

최근 급성장하고 있는 정보처리 속도의 고속화 (고주파 화)와 IC기술의 고집적화에 따른 소형화와 모바일 화는 대부분 GHz 대의 고주파를 이용하며 인접소자 또는 배선 간의 상호간섭 (cross-talk), 배선을 통한 노이즈의 전도 및 방사를 유발하여 EMC (Electro-Magnetic Compatibility) 대책기술의 주요 과제로 대두되고 있다.

이러한 고주파 회로에서의 노이즈문제를 해결하는 방법으로 마이크로스트립 선로 위에 노이즈 감쇠 특성이 우수한 자성 후막을 장착하는 방법이 제안되고 있다. 전류가 흐르는 배선 주위의 전자계 분포는 주로 자계이기 때문에, 고손실 자성체의 삽입 또는 도포에 의해 전도노이즈를 감쇠시키는 방식이다. 이러한 전도노이즈 감쇠 재료는 매우 얇은 편상형의 금속 연자성 박막이 제안되고 있다. 철계 연자성금속의 경우 페라이트에 비해 포화자화가 2배 이상이기 때문에, 낮은 저항에 의한 와전류손실을 최소화 할 수 있으며 GHz 대역에서 높은 투자율을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 연자성 금속 자성체로 초기입도 10 μm , 70 μm 철 분말을 편상화하여, 재료정수 측정법인 동축법으로 초기입도에 따른 고주파 대역에서의 재료정수 (투자율, 유전율)를 측정하였다. 고주파 회로에서 발생하는 전도 노이즈의 흡수율을 측정하는 방안의 하나로 마이크로스트립 선로를 이용하여 철계 연자성 압분체의 초기입도, 두께에 따라 반사/투과 특성 및 전력흡수율을 측정하고, 흡수율의 광대역화를 위하여 고투자율과 고유전율 특성을 갖는 sheet를 적층 (duble-layer)하여 흡수율을 측정하여 이들 흡수재의 고주파 특성에 대해 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 노이즈 흡수재는 GHz 대역에서 복소투자율과 복소유전율이 큰 순철 압분체를 고무 매트릭스에 혼입시킨 복합재료이다. 초기입도 10 μm 와 70 μm 인 순철 분말을 각각 attrition mill 을 이용하여 판상의 압분체로 만들었다. 분말 100 g, steel ball 1.5 kg, 에탄올 400 g의 비율로 장입한 후 800 rpm으로 4시간 milling하였다. 이들 분말을 실리콘 고무와 혼합하여 (분말/고무 혼합 무게비 = 12:1) twin roller에 의해 각각 0.2, 0.5, 1 mm의 두께와 50×50 mm² 크기의 sheet를 초기입도의 크기에 따라 제조하였다.

이들 시편의 복소투자율과 복소유전율 측정은 동축관을 이용한 반사/투과법 (S-parameter법)에 의해 측정하였다. 노이즈 흡수재 sheet를 내경 3 mm, 외경 7 mm로 편칭하여 만들어진 시편을 동축 sample holder에 빈틈없이 장착한 다음 주파수대역을 0.5~10 GHz로 하여 S_{11} , S_{21} 을 측정하고, 이로부터 복소투자율 및 복소유전율을 계산하였다. 노이즈 흡수율 측정을 위해 마이크로스트립 선로위에 노이즈 흡수 sheet를 밀착시키고 GHz 대역에서 S_{11} , S_{21} 을 측정하여 노이즈 흡수율을 계산하였다.

측정변수는 분말의 초기입도가 다른 순철 압분체-고무 복합체 sheet, 선로를 덮는 sheet의 두께, 그리고 높은 복소유전율을 갖는 sheet와 높은 복소투자율을 갖는 sheet의 적층 (duble-layer)이었다. 이때 사용된 마이크로스트립 라인 (중심주파수 대역 3 GHz, 특성임피던스 50 Ω , PCB의 크기 100×100 mm², 라인의 폭 2.247 mm, 라인의 길이 79.536 mm)은 S_{11} 은 -60 dB로 반사가 0에 가깝고, S_{21} 은 0 dB로 100% 투과되는 특성을 갖는다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 복소투자율, 복소유전율

초기입도가 다른 10 μm , 70 μm 의 순철 압분체-고무 sheet의 복소투자율 ($\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$) 및 복소 유전율 ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$)의 주파수분산 특성을 각각 조사하였다. 복소투자율의 경우 초기입도 10 μm 의 sheet는 초기입도 70 μm 의 sheet보다 투자율 실수 (μ_r')와 투자율 허수 (μ_r'') 모두 높은 특성을 보였다. 초기입도 10 μm , 70 μm sheet 모두 μ_r' 은 주파수 증가에 따라 모두 감소하였고 μ_r'' 은 매우 폭넓은 주파수 분산 특성을 보였다. 특히 초기입도 10 μm 의 sheet의 경우 2 GHz에서 $\mu_r' = 8.9$, $\mu_r'' = 5.9$ 의 높은 투자율 값을

GHz 대역에서의 노이즈 흡수체의 구성 재료의 가능성을 보였다. 복소유전율의 경우 초기입도 70 μm 의 sheet가 초기입도 10 μm 의 sheet 보다 유전율 실수 (ϵ_r')와 유전율 허수(ϵ_r'') 모두 높은 특성을 보이며 두 가지 sheet 모두 ϵ_r' 은 주파수증가에 따라 감소하고, ϵ_r'' 은 넓은 주파수분산특성을 보였다. 초기입도 70 μm 의 sheet의 경우 2 GHz 대역에서 $\epsilon_r'=155$, $\epsilon_r''=60$ 정도의 높은 유전율 값을 보이며 복소 투자율과의 큰 차이를 볼 수 있다.

높은 투자율 값은 분말의 평판상에 따른 와전류손실의 감소에 기인하며 높은 유전율 값은 순철분말의 평판상의 표면적 증가에 의한 공간전하분극의 증가에 기인한다. 초기입도가 너무 큰 경우 표면적의 차이로 와전류손실에 의해 투자율은 낮은 값을 가지며 유전율은 높게 나오는 차이를 보였다.

3-2 노이즈흡수특성

초기입도가 다른 노이즈 흡수 sheet를 동일한 두께 (1, 0.5, 0.2 mm)에서 S_{11} , S_{21} 을 비교한 결과 S_{11} 은 전대역에 걸쳐 -10 dB로 시편의 종류와 두께의 변화에 큰 차이를 보이지 않았으며, S_{21} 의 경우 복소유전율이 큰 초기입도 70 μm sheet는 두께 1 mm에서 초기입도 10 μm sheet와 비슷한 낮은 투과손실 특성을 보였으며 두께가 0.5, 0.2 mm로 작아질수록 큰 차이를 보이며 S_{21} 값이 높아졌다.

노이즈 흡수 sheet의 두께변화에 따른 S_{11} , S_{21} 측정값은 복소투자율이 큰 초기입도 10 μm sheet의 경우 S_{11} 이 두께변화에 따라 그다지 큰 차이를 보이지 않았으나, 장착 전의 -60 dB에 비해 장착 후 -10 dB 정도의 S_{11} 값이 크게 증가함을 볼 수 있었다. S_{21} 또한 두께변화에 큰 차이를 보이지 않으며 0.5~3 GHz 대역에서 주파수 증가에 따라 점차 감소하다가 3 GHz 대역에서부터는 -40 dB의 일정한 값을 보였다. 복소유전율이 큰 초기입도 70 μm sheet의 S_{11} 의 경우는 초기입도 10 μm sheet의 S_{11} 의 경우와 비슷한 결과로 두께변화에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 S_{21} 은 두께변화에 민감하게 반응하였는데 sheet의 두께가 두꺼울수록 넓은 주파수대역에서의 S_{21} 의 현저한 감소를 볼 수 있었다. 이러한 S_{11} , S_{21} 의 측정값으로 전력흡수율 (Power Absorption)을 주파수 함수로 나타낸 결과 2~7.5 GHz 대역에서 자기손실계수가 $\tan\delta=0.9$ 이상의 높은 값을 가질 때 80% 이상의 전력흡수율을 보였다. 한편 초기분말 70 μm sheet는 두께가 얇아질수록 $\tan\delta$ 값이 낮아지면서 흡수율도 낮아졌다. 이는 노이즈 흡수재 장착에 의한 노이즈 흡수율의 증가는 재료의 반사손실과 투과손실에 기인하며 낮은 투과손실값은 자기손실계수의 증가에 기인한다고 볼 수 있다.

노이즈 흡수체의 광대역화를 이루기 위하여 큰 복소유전율의 초기입도 70 μm sheet와 큰 복소투자율의 초기입도 10 μm sheet의 큰 유전손실과 큰 자기손실을 적층 (duble-layer)하여 S_{11} , S_{21} 을 측정하였다. S_{11} 의 경우 -10 dB로 대부분 비슷한 값을 보이며 S_{21} 의 경우 높은 자기손실 sheet가 두께변화에 민감한 높은 복소유전율 sheet의 특성을 보완하며 약 -40 dB의 투과손실특성을 보였다.

4. 결론

정보처리 속도의 고속화에 따른 고주파회로에서의 노이즈 전도 및 방사의 흡수율을 측정하는 방안으로 $S_{11} < -60$ dB, $S_{21}=0$ dB의 이상적인 전송특성을 보이는 마이크로스트립 선로를 이용하였으며, 흡수재로 복소유전율, 복소투자율이 높은 순철 압분체-고무 복합체 sheet를 사용하여 자기손실계수가 전도노이즈 흡수율에 미치는 영향과 시편의 두께에 따른 흡수율을 조사하였다.

복소투자율이 높은 초기입도 10 μm sheet는 3~10 GHz 대역에서 -40 dB 이하로 투과손실이 작아지는 고주파적인 특성은 자기손실에 기인하여 마이크로스트립 선로의 신호선 주위의 자기장의 감쇠에 큰 영향을 주었으며 두께변화에 따라 투과손실 값의 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 2~7.5 GHz 대역에서 80% 이상의 높은 흡수율을 보여 고주파 박형 노이즈 흡수체로서의 특성을 보였다. 복소유전율이 높은 초기입도 70 μm sheet는 마이크로스트립 선로의 신호선 주위의 자기장의 감쇠에 필요한 자기손실 값이 낮아 두께 변화에 민감하게 반응하는 일반적인 흡수체의 두께가 두꺼워 지면 투과손실 값을 낮추는 성질을 갖추고 있었다. 큰 자기손실과 큰 유전손실을 이용한 광대역 double-layer 노이즈 흡수체의 흡수율은 마이크로 스트립 선로의 자기장분포로 자기손실이 높은 sheet의 특성이 두께변화에 민감하게 반응하는 유전손실이 높은 sheet의 흡수율을 보정하며 높은 흡수율을 보였다. 이와 같은 결과로부터 자기손실계수가 큰 주파수대역에서 노이즈 흡수율이 높다는 것을 알 수 있었으며 0.2 mm의 얇은 두께에서의 GHz 대역의 높은 80% 이상의 높은 흡수율을 가짐으로 더욱더 큰 투자율과 큰 자기손실계수를 가지는 흡수재는 보다 얇은 박형의 노이즈 흡수체를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.