P-5

[(Fe78.8Ta8.5)N/ Fe78.8Ta8.5N12.7]3 적층박막의 주파수특성과 자기적 특성에 관한 연구

홍익대학교 김충식*, 배 석, 정종한
금속·재료공학과 남승의, 김형준

Study on the frequency characteristics and magnetic properties of [(Fe78.8Ta8.5)N/ Fe78.8Ta8.5N12.7]3 multilayer films

Dept. of Metallurgy and Material Science, C.K.Kim*, S.Bae, J.H.Jeong,
Hong-ik Univ., S.E.Nam and H.J.Kim

1. INTRODUCTION

정보처리양의 급증 및 hybrid형 자기소자의 급격한 발전으로 인해 고주파대역에서 우수한 특성을 나타내는 자성박막의 필요성이 두각되어 지고 있다. 종래에 사용되어진 자성박막으로는 permalloy가 다수를 차지하였으나, 최근 Fe계와 Co계에 관한 연구가 다각도로 진행되어지고 있다. 물론 각각의 자성박막은 약간의 차이점을 갖고 있으나 종래에 사용되어진 페라이트와 같은 세라믹계 연자성 재료와는 달리 우수한 자기 특성을 갖고 있고, 현재까지 우수한 자기특성을 갖는 재료로서 많은 분야에 발전을 가져왔다. 또한 기기의 소형화 및 고기능화함에 따라 현재 사용되어지고 있는 자성박막을 이용하여 반도체 소자와 단일칩을 형성하는 하이브리드형 소자로서 급격한 전환과 소형화가 이루어 지고 있다.

그러나 미소자기소자의 사용 주파수 대역이 고주파화 됨에 따라 저주파수 대역에서 자기특성을 제어하는 이방성 에너지 및 자왜의 특성 외에 공진현상이나 와전류 같은 주파수에 관련된 특성의 제어가 중요한 변수로 제시되고 있다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 모색되고 있는 것이 적층형 박막에 관한 연구이다. 일반적으로 적층형 자성박막에는 자성재료/비자성재료, 자성재료/자성재료의 두가지 형이 있다. 자성재료/자성재료의 적층은 서로 자기특성이 다른 두 재료를 적층함으로서 절충된 자기특성을 얻고자 하는 것이므로 자성재료/비자성재료보다 우수한 자기특성을 얻을 수 있다. 물론 이때 적층의 형상을 가지므로 어느 정도 박막전체의 비저항 증가를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비저항이 높은 자성재료와 자기적 특성이 우수한 자성재료를 적층에 의한 미세한 구조를 제어함으로서 주파수 특성과 자기적 특성이 우수한 적층형 자성박막을 제조하여 그 특성을 비교, 분석하였다.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

사용한 자성박막은 자기적 특성이 우수한 FeTaN(15%)박막과 비저항이 높은 FeTaN(50%) 박막을 이용하였다. FeTaN박막은 Fe target위에 Ta소편을 얹은 복합 타겟 모드방식을 사용하였고, reactive magnetron sputtering방식으로 증착하였다. 적층형태는 N%만을 조절한 [FeTaN(15%)/FeTaN(50%)]3 형태였으며, 삽입된 FeTaN(50%)박막의 두께는 100Å이었고, 총 두께는 1㎛이었다. TCE/아세톤/메탄올 순으로 세척한 corning glass #1737을 기판으로 사용하였으며, 증착 전 초기 진공도는 5×10^{-6}mTorr, 작업 압력은 1.5mTorr, 투입전원은 DC 200W였으며 500℃에서 진공열처리를 행하였다. 자기 특성은 B-H loop tracer를 이용한 자기이력곡선과 one-turn coil method를 이용하여 GHz까지 투자율을 측정하였다. 또한 비저항은 4-point probe를 이용하여 측정하였다.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Fe-Ta-N 박막은 N이 Fe의 octaheral site에 침입하여 Fe의 구조를 bcc에서 bct구조로 distortion시킨다. 이러한 결과로 residual stress가 생성되어 박막에 anisotropy field를 형성하게 된다. 일반적으로 magnetostriction이 0이 될때 우수한 연자기적 특성을 나타내지만 박막에 residual stress에 의한 anisotropy field가 생성되면 비록 자성박막 고유의 특성인 투자율은 떨어지지만 anistotropy field의 증가에 의한 고주파대역까지 일정한 투자율을 유지한다.

적층수에 따른 B-H curve을 살펴보면 $[FeTaN(50\%)/FeTaN(15\%)]_n$ 적층형 자성박막의 적층수가 증가함에 따라 anisotropy field가 증가하다 다시 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 원인으로는 N이 Fe의 octaheral site 에 침입하여 Fe의 구조를 distortion시키기 때문이다. 그러나 적층수가 증가함에 따라 Fe와 N이 결합하여 Fe_3N과 같은 질화물상을 형성하므로 자기적 특성의 저해를 가져온다. 이러한 anisotropy field의 영향은 투자율과 또한 일치하는 경향을 보여준다. 즉 anisotropy field가 가장 높은 적층 박막에서의 투자율 은 easy axis와 hard axis의 차이가 가장 높다. 이러한 원인으로는 앞서 말했듯이 residual stress에 의한 anisotropy field의 생성이다. 제조한 Fe-Ta-N 자성박막의 single layer인 경우 약 400MPa정도의 stress를 받는다. 그러나 multilayer의 수가 증가함에 따라 stress는 증가하기 시작하여 최고 800MPa정도의 stress를 받게 된다. 이는 N에 의해 박막구조가 매우 distortion되었다는 것을 의미하는 것이다. N에 의해 distortion된 구조는 장축과 단축이 존재하게 된다. 이 때 같은 면적에 작용하는 stress는 장축보다 단축으로 더 크게 작용하게 되므로 이러한 anisotropy field가 생성되는 것이다. 그러나 이러한 residual stress는 anisotropy field를 생성시키기도 하지만 박막의 구조를 broken 할수 있다.

열처리 온도에 따른 투자율 거동과 anisotropy field의 변화는 같은 양상을 보여준다. Fe-Ta-N 자성박막은 결정화과정을 통한 결정립 미세화에 의한 우수한 연자기적 특성을 나타내므로 약 500℃근처에서 우수한 연자기적 특성을 나타낸다. 그러므로 열처리 온도에 따른 투자율 거동과 anisotropy field의 변화 역시 약 500℃에서 가장 높게 나타났다. 또한 비저항의 증가와 anisotropy field의 증가로 인해 고주파 대역까지 일정한 투자율을 유지한다.

XRD분석결과 적층수가 증가하면 α-Fe peak외에 자기적 특성을 저해하는 Fe_3N과 같은 peak이 나타나기 시작한다. 질화물상의 생성으로 적층수가 증가하면 비저항 또한 증가하여 고주파대역에서 eddy current loss와 같은 문제점을 줄일 수 있다. 그래서 고주파대역에서 일정한 투자율을 유지할 수 있다. 그러나 이러한 질화물상의 생성은 자기적 특성의 저해를 가져오기도 한다. 적층이 증가할수록 α-Fe의 peak이 shift된다는 것은 α-Fe의 구조가 distortion되어 α-Fe(110)의 면간거리가 증가하였기 때문이다. 그러므로 XRD 결과에서도 α-Fe의 구조가 distortion된 것을 확인 할 수 있다.

주파수에 따른 투자율 거동을 살펴보면 약 500MHz까지 일정하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인으로는 N에 의한 anisotropy field 의 증가, Fe_3N같은 질화물상의 생성으로 인한 비저항의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. single layer인 경우 수십 MHz대역에서 투자율이 떨어지기 시작한다. 그러나 N에 의한 anisotropy field 의 증가에 의한 FMR효과, Fe_3N같은 질화물상의 생성으로 인한 비저항의 증가는 skin depth의 영향의 최소화와 eddy current loss 또한 최소화 할 수 있으므로 고주파대역까지 일정한 투자율을 유지할 수 있다.

4. REFERENCE

[1] D.H.Shin, C.S.Kim, D.H.Ahn,S.E.Nan, and H.J.Kim, Journal of Applied Physics, 85(8), 4568(1999)