

0%, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%, 2.0%, 2.4%, 2.8%, 3.2%, 3.6%, 及び 4.0%と変化させ、膜厚を1000nmとなるように成膜した。

なお、基板には磁気特性ならびに結晶構造解析にはソーダ石灰ガラス基板を、組成ならびに定量分析には無酸素銅基板をそれぞれ用い、基板加熱は行わなかった。作製したSS(I)系薄膜の飽和磁化 M_s ならびに保磁力 H_c の測定には振動試料型磁力計(VSM),比実効透磁率 μ_r の測定にはインピーダンスアナライザによるフェライトヨーク法、組成分析ならびに定量分析には電子線マイクロアナライザ(EPMA),結晶構造解析にはCu-K α を線源とするX線回折装置(XRD),膜厚の測定には繰り返し反射干渉計,重量測定にはマイクロ天秤をそれぞれ用いた。

3. 実験結果及び考察

3.1 EPMAによる組成の定量分析

Ni-Zn フェライトチップとターゲットの面積比を変化させ、作製したSS(I)系薄膜のEPMAによる組成の定量分析の結果をTable.1に示す。

Table.1 Chemical composition of SS(I) system thin films on area ratio of Ni-Zn ferrite chip for target.

Ni-Zn ferrite area ratio[%]	Fe	Si	Al	Ni	O	Zn
0	82.0	8.41	6.15	3.45	1.00	0
0.4	81.8	7.5	6.31	3.23	1.05	0.03
0.8	81.7	7.01	6.40	3.55	1.36	0.05
1.2	82.0	7.03	6.21	3.48	1.23	0.07
1.6	80.9	7.12	6.46	3.43	2.04	0.10
2.0	81.4	6.93	6.50	3.43	1.73	0.12
2.4	80.9	7.34	6.19	3.72	1.83	0.15
2.8	80.6	6.77	6.52	3.51	2.60	0.17
3.2	79.4	7.07	6.70	4.00	2.86	0.18
3.6	79.7	7.31	6.43	3.80	2.78	0.20
4.0	79.6	6.88	6.60	3.68	3.21	0.22

Table.1より、Zn元素の含有が確認できた。このことからNi-Znフェライトの添加が確認することが出来た。Ni-Znフェライト面積比の増加に伴い、O元素、Zn元素の増加する傾向を示した。

3.2 XRDによる結晶構造解析

Ni-Znフェライトチップとターゲットの面積比を変化させ、作製したSS(I)系薄膜のX線回折図形をFig.2に示す。

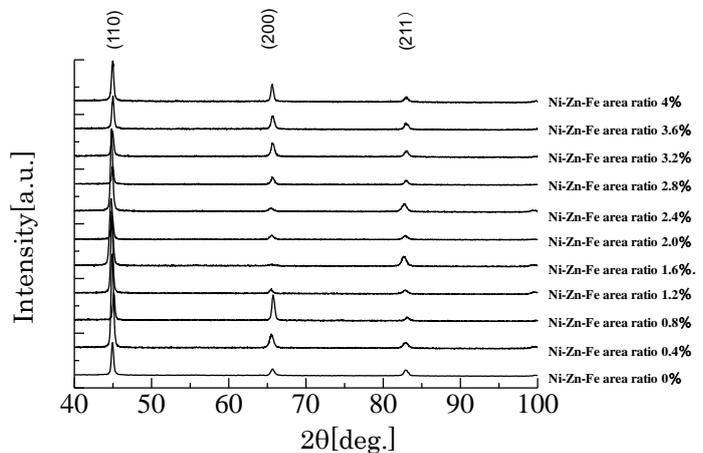


Fig.2 X-ray diffraction patterns of SS(I) system thin films.

Fig.2より、 $2\theta = 44.86^\circ$ 付近に(110)及び、 $2\theta = 65.55^\circ$ 付近に(200)、 $2\theta = 82.26^\circ$ 付近に(211)からの回折線が認められ、SS(I)系薄膜と同じ体心立方晶であることが明らかとなった。

また、Ni-Znフェライトの回折線が確認できなかった。

3.3 X線の結晶粒径 t のNi-Znフェライト面積比依存性

Ni-Znフェライトチップとターゲットの面積比を変化させ、作製したSS(I)系薄膜のX線の結晶粒径 t をFig.3に示す。

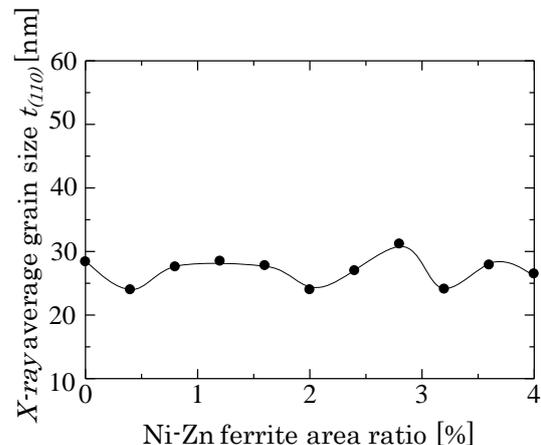


Fig.3 Dependence of X-ray average grain size $t_{(110)}$ on Ni-Zn ferrite area ratio of SS(I) system thin films.

Fig. 3 より, X 線の結晶粒径 t は顕著な変化が認められず, 24.0~28.5nm の間を推移することが明らかになった。

3.4 VSM による磁気特性の Ni-Zn フェライト面積比依存性

Ni-Zn フェライトチップとターゲットの面積比を変化させ, 作製した SS(I) 系薄膜の VSM による磁気特性を Fig. 4 に示す。

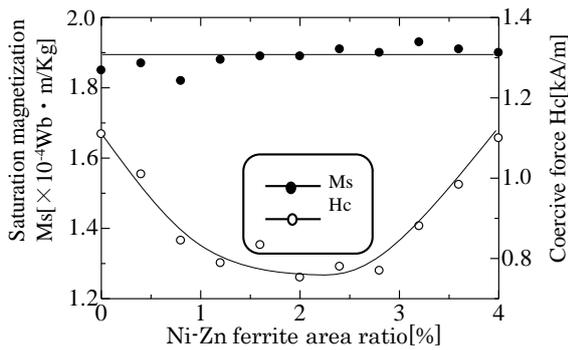


Fig.4 Dependence of M_s and H_c on Ni-Zn ferrite area ratio of SS(I) system thin films.

Fig. 4 より, 飽和磁化値 M_s は Ni-Zn フェライト面積比が 3.2%において, 最大値 $M_s = 1.93 \times 10^{-4} \text{Wb} \cdot \text{m/kg}$ を示した。Ni-Zn フェライト面積比の増加に伴い, 顕著な変化は認められず, $1.85 \sim 1.93 \times 10^{-4} \text{Wb} \cdot \text{m/kg}$ の間を推移する事が明らかとなった。

また, 保磁力 H_c は Ni-Zn フェライト面積比が 2.0%において, 最小値 $H_c = 0.75 \text{kA/m}$ を示した。Ni-Zn フェライト面積比の増加に伴い, Ni-Zn フェライト面積比 2.0%まで減少傾向を示し, その後増加する傾向が認められた。飽和磁化値 M_s 及び保磁力 H_c においては Ni-Zn フェライト面積比 2.0%が, 軟磁気特性において良好であることが認められた。

3.5 比実効透磁率の Ni-Zn フェライト面積比依存性

Ni-Zn フェライトチップとターゲットの面積比を変化させ, 作製した SS(I) 系薄膜について, 容易軸で周波数 $f = 10 [\text{MHz}]$ における比実効透磁率 μ_r の Ni-Zn フェライト面積比依存性を

Fig. 5 に示す。

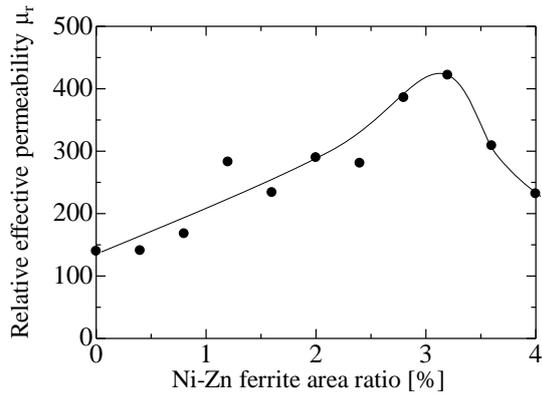


Fig.5 Dependence of μ_r on Ni-Zn ferrite area ratio of SS(I) system thin films.

Fig. 5 より, Ni-Zn フェライト面積比 3.2%において, 最大値 $\mu_r = 422$ を示した。Ni-Zn フェライト面積比の増加に伴い, 比実効透磁率は Ni-Zn フェライト面積比 3.2%まで増加傾向を示し, その後, 減少傾向が認められた。Ni-Zn フェライト面積比 3.2%が, 軟磁気特性において良好であることが明らかとなった。

3.6 保磁力 H_c ならびに X 線の結晶粒径 t 値の相関性の

Ni-Zn フェライトチップとターゲットの面積比を変化させ, 作製した SS(I) 系薄膜の保磁力ならびに X 線の結晶粒径 t 値の相関性を Herzer の (1) 式を基にして検討しその結果を Fig. 6 に示す。

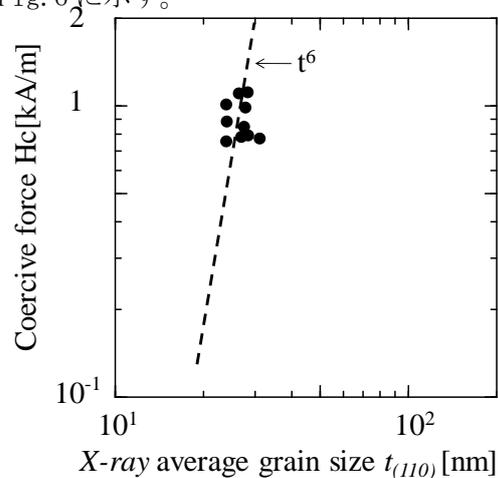


Fig.6 Dependence of H_c and $t_{(110)}$ on Ni-Zn ferrite area ratio of SS(I) system thin films.

Fig. 6 より, 保磁力 H_c と X 線の結晶粒径 t は $H_c \propto t^6$ の関係にあることが明らかとなった。このことより, Herzer の式の相関性が認められた。

4. まとめ

RF マグネトロンスパッタリング法により, 純 Ar ガス雰囲気中で Ni-Zn フェライトチップとターゲットの面積比を 0%, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%, 2.0%, 2.4%, 2.8%, 3.2%, 3.6% 及び 4.0% と変化させ, 作製した SS(I) 系薄膜の軟磁気特性に及ぼす諸物性の影響について検討を行った。本実験の結果をまとめると次の通りである。

- (1) X 線回折において作製した SS(I) 系薄膜はターゲットと同じ体心立方晶であることが明らかとなった。また, Ni-Zn フェライトの回折線が確認できなかった。定量分析の結果において Zn 元素の含有が確認でき, Ni-Zn フェライトの添加を確認する事が出来た。Ni-Zn フェライト面積比の増加に伴い, O 元素, Zn 元素の増加する傾向を示した。
- (2) X 線の結晶粒径 t は顕著な変化が認められず, 24.0~28.5nm の間を推移することが明らかになった。
- (3) 飽和磁化値 M_s は Ni-Zn フェライト面積比 3.2% において, 最大値 $M_s = 1.93 \times 10^{-4}$ Wb \cdot m/kg を示し, 保磁力 H_c は Ni-Zn フェライト面積比 2.0% において, 最小値 $H_c = 0.75$ kA/m を示した。飽和磁化値 M_s 及び保磁力 H_c においては Ni-Zn フェライト面積比 2.0% が, 軟磁気特性において良好であることが認められた。
- (4) 比実効透磁率 μ_r は Ni-Zn フェライト面積比 3.2% において最大値 $\mu_r = 422$ を示した。Ni-Zn フェライト面積比 3.2% が軟磁気特性において良好であることが明らかとなった。

(5) 保磁力 H_c と X 線の結晶粒径 t は $H_c \propto t^6$ の関係にあることが明らかとなった。このことより, Herzer の式の相関性が認められた。

- (6) Ni-Zn フェライト面積比 3.2%, 結晶粒径 $t = 25$ nm において
最大値 $M_s = 1.93 \times 10^{-4}$ Wb \cdot m/kg
 $H_c = 0.88$ kA/m 最大値 $\mu_r = 422$
を示しこれらは良好の軟磁気特性と言え, 高周波帯域に対応できることが分かった。このことから, スーパーセンダスト系薄膜の軟磁気特性に及ぼす Ni-Zn フェライトの添加効果が確認された。

参考文献

- (1) 山本達治, 移川欣男: 日本金属学会誌, VOL. 40, NO. 10, 975 (1975)
- (2) 田中陽一郎, 彦坂和志, 市原勝太郎: 日本応用磁気学会誌, VOL. 22, NO. 10 (1998)
- (3) 山口淳矢, 新妻清純, 移川欣男: 「スーパーセンダスト系薄膜の軟磁気特性に及ぼす Ni-Zn フェライトの添加の影響」 2010 年電気学会基礎・材料・共通部門大会講演概要集 VIII-9 (2010)
- (4) 金原稔: 「スッパタリング現象」 東京大学出版 (1984)
- (5) 近藤剛, 新妻清純, 移川欣男: 「ナノ結晶を有する Fe-Si-Al-Ni 系薄膜の軟磁気特性」 電気学会誌, 120 (2000), 174-179
- (6) 王鋒, 新妻清純, 移川欣男: 「SiO₂ を含有するスーパーセンダスト (I) 系薄膜の結晶構造と軟磁気特性」 (平成 19 年度修士論文)
- (7) 島田寛: 日本磁気学会誌, VOL. 4, N08, (2009) 402-404
- (8) 島田寛: 日本磁気学会誌, VOL. 4, N011, (2009) 544-550