

## FeSiCr에 Fe50Ni가 첨가된 폴리머 복합 시트의 전자파 흡수 특성

이석문<sup>1</sup>, 김상문<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> 금오공과대학교 LINC사업단

<sup>2</sup> 충남대학교 LINC사업단

## Electromagnetic Wave Absorbing Properties of FeSiCr and Fe50Ni Flaky Powder-Polymer Composite Sheet

Seok-Moon Lee<sup>1</sup> and Sang-Mun Kim<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> Department of LINC, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 730-701, Korea

<sup>2</sup> Department of LINC, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received April 30, 2014; Revised May 15, 2014; Accepted June 16, 2014)

**Abstract:** In this paper, we studied the magnetic composite sheets for electromagnetic wave noise absorber of quasi-microwave band by using soft magnetic FeSiCr and Fe50Ni flakes with the thickness of about 1  $\mu\text{m}$  and polymer. The magnetic hysteresis curve including saturation magnetization and residual magnetization and the complex permeability characteristics of the composite sheets were investigated to clarify the mixing effect on electromagnetic wave absorption properties. The saturation magnetization was decreased about 10% while the residual magnetization was increased about 15% and the real parts of complex permeability at below 500 MHz were increased 0.6~4 while those values at above 500 MHz were decreased 0.4~2.5 according to the change of contents of FeSiCr and Fe50Ni powders. As a result, the reflection loss can be moved to the lower frequency from 2~3 GHz to 1~1.5 GHz as the contents of Fe50Ni flaky powder into FeSiCr flaky powder was increased up to 50%.

**Keywords:** Electromagnetic wave absorbing, Flaked FeSiCr, Permalloy, Reflection loss, Metal powder

### 1. 서 론

최근 컴퓨터, 휴대전화 등 각종 전기전자 및 정보통신 기기의 디지털화 및 고주파로 인해 이들 부품으로부터 발생하는 전자파 노이즈의 주파수도 MHz 대역에서 GHz 대역으로 높아지고 있다. 또 이들 기기

의 경박단소화 및 이에 수반된 회로 부품의 고집적화에 의해 방사 노이즈의 발생 및 기기 내부의 반사, 회로 기관간의 상호 간섭 등 전자파 장애 문제가 심각해지고 있다. 이러한 전자파 장애 문제의 해결 방안의 하나로서, 각종 연자성 금속 박편을 폴리머 중에 분산시켜 만든 박막의 복합 시트를 전자파 노이즈 방사원 근방에 배치하여 입사된 전자파 노이즈를 흡수하여 열로 변환하여 소멸시키는 기술이 광범위하게 연구 개발되고 있다 [1-9]. 또한, 반도체 소자에서 회로의 높은 집적도와 전력의 대용량화로 인해 회로 동작 시 소자에서 상당한 열이 발생하여 소자의 기능을

a. Corresponding author; [lmoksm@cnu.ac.kr](mailto:lmoksm@cnu.ac.kr)

저하시킬 뿐만 아니라 주변 소자의 오동작, 기관의 열화 등의 원인이 되고 있다. 이러한 발열문제에 대한 대응책의 하나로서 전자부품의 표면에 방열 유닛을 설치하는 방법들이 폭 넓게 이용되고 있지만 종래의 방열 장치와 전자부품과의 접촉 표면에는 요철이 있어 긴밀히 접촉을 이루기 어려워 전자부품과 방열 유닛 사이의 열전도 효율을 높이기 위한 열전도성 재료를 이용한 시트를 설치함으로써, 계면 열 저항이 낮고 접촉면적을 증가시켜 방열효과를 향상시키려는 여러 가지 연구들이 진행되고 있다 [10,11].

고밀도화 및 고집적화된 회로부품에서 고열 및 전자파 노이즈가 동시에 발생할 경우 상기 전자파 흡수 시트 및 방열시트를 적층한 시트가 필요하나 두께 증가로 인해 두께의 슬림화가 요구되는 휴대전화 등 전자기기에 적용하는데 한계가 있어 적층 형태보다는 단일 층으로 방열 및 전자파 흡수기능을 하는 하이브리드시트에 대한 연구가 활발히 논의되고 있다 [12].

하이브리드시트는 연자성 금속 박편 분말과 열전도성 재료를 소정의 비율로 혼합하여 복합 시트로 제작할 경우 전자파 반사손실 ( $S_{11}$ )의 매칭 주파수가 2~3 GHz의 고주파대역으로 이동하여 1 GHz 대역의 휴대전화나 컴퓨터 노이즈를 억제하는데 제약이 따른다 [6].

본 논문에서는 이러한 하이브리드시트용의 고주파 흡수대역의 매칭 주파수를 1 GHz 대역으로 낮추기 위한 방법으로, 종래의 FeSiCr 분말을 이용한 복합 시트와 Fe50Ni Permalloy 분말을 FeSiCr에 혼합한 복합 시트를 제조하여 전자기적 각각의 특성들을 평가하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 91.7%Fe-6.5%Si-1.8%Cr(wt%)합금 분말과 Fe50Ni Permalloy 분말을 각각 어트리션 밀을 이용하여 편상화 가공을 실시하였다. 편상화 가공시 금속 분말의 깨짐 현상을 방지하기 위해 습식 가공으로 진행하였다. 습식 가공에 사용된 용매는 메탄올을 사용하였으며 윤활작용 및 가공효율을 높이기 위해 메탄올 대비 0.02%의 올레인산과 메탄올을 첨가하여 편상화 가공하였다. 편상화 가공된 합금분말은 체진동기를 사용하여 FeSiCr과 Fe50Ni은 100~120  $\mu$ m 크기로 분급한 후 진공 분위기에서 열처리하여 밀링에 의한 가공 스트레스를 해소시키며 표면 산화를

환원시켰다. FeSiCr 분말에 Fe50Ni을 표 2에 나타난 비율만큼 첨가하여 혼합 후 TTT 케미컬(주)의 아크릴계 바인더 SEN-3100과 순수 고형분 비율을 85:15의 중량비로 혼합하여 분산처리 후 테이프 캐스팅 방법으로 도포, 건조 처리하여 복합 시트를 제조하였다. 이렇게 제조된 복합 시트의 층진 밀도를 증가시키기 위해 100°C에서 4시간 가열-가압 후 3시간의 냉각-가압하는 핫 프레싱 공정을 거쳐 최종적으로 두께 1 mm의 복합 시트를 제조하였다.

편상화 가공되어진 자성 분말의 형상 및 복합 시트의 평면과 단면 미세구조를 주사 전자현미경 (SEM)으로 관찰하였으며, 진동 시료형 자력계 (VSM)로 자기적 특성을 평가하였다. 또한, 복합 시트의 자기적 특성 중 복소 투자율 특성은 임피던스 재료 분석기 (HP-4291B)를 이용하여 측정하였으며, 전자파 흡수 특성은 네트워크 분석기 (HP-8753D)를 이용한 반사 계수  $S_{11}$ 를 통해 평가하였다. 이때 전자파의 전송 특성  $S_{11}$ 은 50  $\Omega$ 계 Type-N Short connector의 샘플 홀더에 도넛 모양의 외경 7 mm, 내경 3.05 mm 크기의 복합 시트를 삽입 후 측정하였다 [13].

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 본 연구에 사용된 편상화 처리된 합금자성 분말 형상을 확인하기 위하여 전자현미경으로 관찰한 것이다.

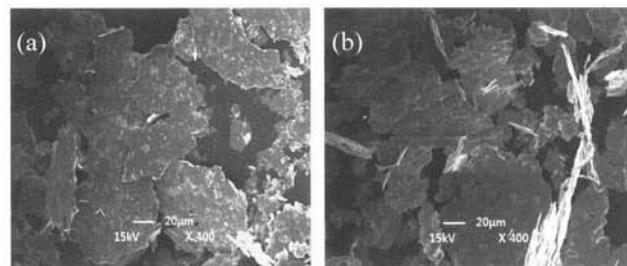
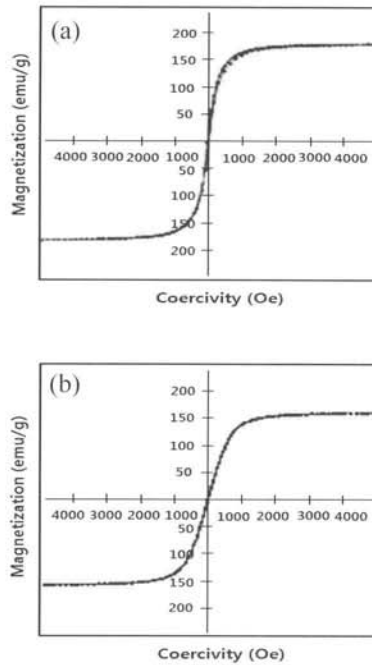


Fig. 1. SEM images of flaked metal alloy powders. (a) FeSiCr and (b) Fe50Ni permalloy.

그림 1로부터 FeSiCr과 Fe50Ni분말은 판상형 형태로 1  $\mu$ m 전후의 두께와 100~120  $\mu$ m의 크기를 가지고 있음을 볼 수 있다. 그림 1과 같이 편상화 가공을 실시하지 않으면 금속 연자성 합금의 낮은 전기저항

**Table 1.** Magnetic characteristics of each flaked powders from VSM data.

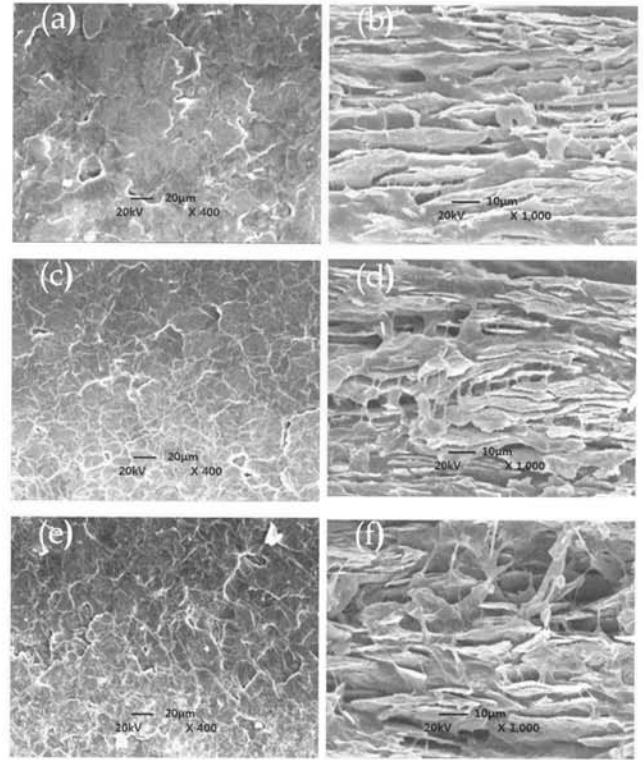
Material	Coercive (Oe)	Saturation mag.(emu/g)	Residual mag.(emu/g)
FeSiCr	0	178.39	2.52
Fe50Ni	0	162.10	2.84

**Fig. 2.** Magnetic hysteresis curve of the flaked soft magnetic metal powders of electromagnetic wave absorber. (a) FeSiCr and (b) Fe50Ni.

특성 때문에 높은 주파수에서 큰 와전류 손실로 인해 큰 투자율을 얻기가 어려우므로, 편상화 가공을 통해 표피 깊이 (skin depth) 만큼 박편 (flakes)으로 분말을 가공하여 형상 이방성의 증대와 와전류 손실이 저감되어 높은 주파수 대역까지 큰 투자율을 얻을 수 있기 때문이다. 대부분의 자성체는 스누크 한계로 인해 고주파에서 높은 투자율을 얻기가 쉽지 않다고 보고되어 있다 [14]. 전자파 흡수체에 있어서 자기공명 주파수와 자기적 특성의 관계는 다음과 같다.

$$(\mu' - 1)f_r = \frac{2}{3} \cdot \frac{\gamma}{2\pi} \cdot 4\pi M_S \quad (1)$$

여기서  $\mu'$ 는 투자율,  $f_r$ 은 자기공명 주파수,  $\gamma$ 는

**Fig. 3.** SEM images of electromagnetic wave sheets according to the change of content of FeSiCr and Fe50Ni powders. (a) plane of sheet with FeSiCr 100%, (b) cross-section of sheet with FeSiCr 100%, (c) plane of sheet with FeSiCr 50% and Fe50Ni 50%, (d) cross-section of sheet with FeSiCr 50% and Fe50Ni 50%, (e) plane of sheet with Fe50Ni 100%, and (f) cross-section of sheet with Fe50Ni 100%.

자기회전 계수 (gyromagnetic factor),  $4\pi M_S$ 는 포화 자화를 의미한다. 식 (1)로부터 GHz 대역의 고주파 대역에서 큰 투자율을 얻기 위해서는 자기공명 주파수를 높여야 하나 자기공명 주파수와 투자율은 상반된 특성을 갖고 있으므로 포화자화가 높아야 한다.

그림 1에 나타난 자성분말의 자기이력 곡선을 VSM으로 살펴보면 모든 분말들은 보자력 ( $H_c$ )이 0 Oe으로 초상자성적 거동을 보이고 있다. 특히, Fe50Ni permalloy 자성분은 FeSiCr 합금에 비해 포화자화 특성이 162.10 emu/g으로 낮고 잔류자화 특성은 2.84 emu/g으로 높게 나타나고 있다.

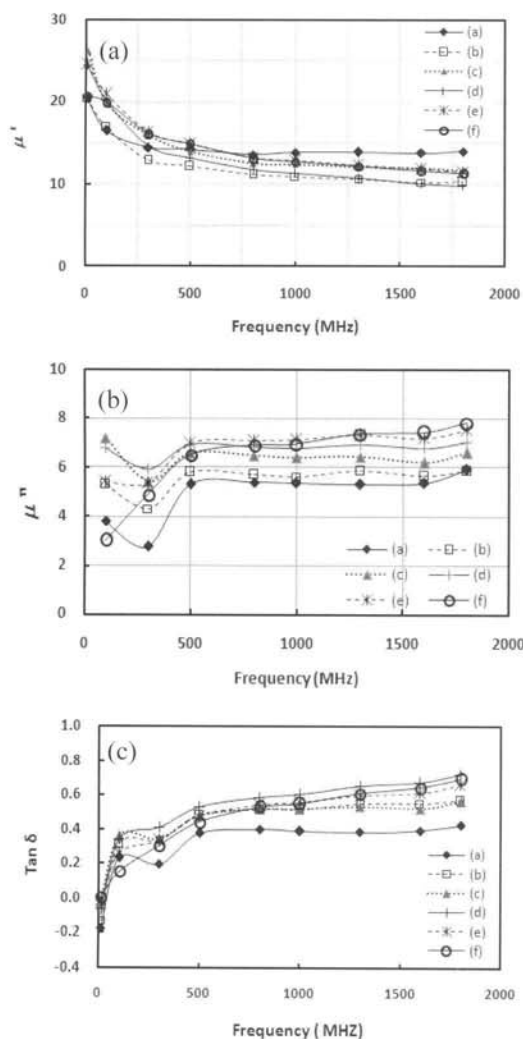
식 (1)과 표 1의 결과로부터 FeSiCr에 Fe50Ni 분말이 첨가될 경우 포화자화의 저감되어 자기공명 주파수가 저주파 대역으로 이동하는 효과를 얻을 수 있

**Table 2.** Magnetic characteristics of according to the change of Fe50Ni powder into FeSiCr powder from VSM data.

Material	Coercive (Oe)	Saturation mag.(emu/g)	Residual mag.(emu/g)
Fe50Ni 0%	0	167.9	1.94
Fe50Ni 5%	0	158.6	2.22
Fe50Ni 10%	0	154.3	2.04
Fe50Ni 15%	0	162.9	2.15
Fe50Ni 50%	0	150.2	2.24
Fe50Ni 100%	0	135.6	2.68

**Table 3.** Real part of complex permeability( $\mu'$ ) according to the change of content of FeSiCr and Fe50Ni powders.

Freq. (MHz)	0%	5%	10%	15%	50%	100%
10	20.38	20.42	26.06	24.39	24.51	20.62
100	16.42	16.83	19.80	20.09	20.90	19.90
300	14.36	12.88	15.90	14.60	16.26	16.06
500	14.18	12.12	13.91	13.18	14.81	14.86
800	13.57	11.11	12.53	11.71	13.17	13.08
1,000	13.83	10.94	12.40	11.28	12.83	12.68
1,300	13.89	10.67	12.07	10.73	12.33	12.13
1,600	13.77	10.24	11.92	10.10	11.81	11.63
1,800	14.00	10.30	11.72	9.81	11.50	11.31



**Fig. 4.** Complex permeability characteristics according to the change of content of FeSiCr and Fe50Ni powders. (a) real part of complex permeability( $\mu'$ ), (b) imaginary part of complex permeability( $\mu''$ ) (c) loss factor  $\tan\delta$ . (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, (d) 15%, (e) 50%, and (f) 100%.

을 뿐만 아니라 전자파 흡수시트의 잔류자화 특성이 개선되어 전자파 흡수율에 영향을 줄 것으로 생각된다.

그림 3은 FeSiCr에 Fe50Ni의 함량비를 변경하여 만들어진 전자파 흡수체 복합 시트의 미세구조를 전자현미경으로 관찰한 것이다. 그 결과 모든 시편들에서 평면 사진을 보면 대부분의 자성분들이 누워있고, 단면 사진들은 자성분들이 겹쳐져 적층되고 자성분과 자성분 사이에 바인더가 존재하는 모습으로 나타나고 있다. 이처럼 판상화 가공된 자성분말을 사용할 경우 자성체들이 서로 적층되어지는 미세구조를 형성하여 단위 두께 당 자성체의 충전율을 향상시키는 것으로 보여진다.

표 2는 FeSiCr 자성분말에 Fe50Ni 분말을 첨가하여 만든 전자파흡수 복합 시트에 대하여 자기적 특성을 VSM으로 측정된 결과이다. 표 2로부터 Fe50Ni의 함량이 증가됨에 따라 포화자화 값은 감소하고, 잔류자화 값은 증가하는 것으로 나타나고 있다.

이와 같은 Fe50Ni 함유량에 따른 자기공명 주파수의 변화를 검토하기 위해  $\mu = \mu' - j\mu''$  ( $j$ : 복소수)로 주어지는 주파수에 따른 복소 투자율의 변화를 조사하여 그림 4에 나타내었다.

그림 4(a)와 표 3으로부터 복소 투자율의 실수부  $\mu'$  값의 변화를 보면 Fe50Ni 자성체를 첨가하지 않았을 때보다 감가하였을 경우 500 MHz 이하의 저주파 영역에서는 복소 투자율의 실수부  $\mu'$  값이 0.6~4 정도 높게 나타나고 있지만 500 MHz 이상의 영역에서는  $\mu'$  값이 0.4~2.5 정도 더 낮게 나타나고 있으며 고주파 영역으로 갈수록  $\mu'$  값의 차이는 더 커지고 있지만, Fe50Ni을 5% 이상 첨가하였을 때의 시료 간의 차이는 10% 이내의 차이를 나타내고 있다.

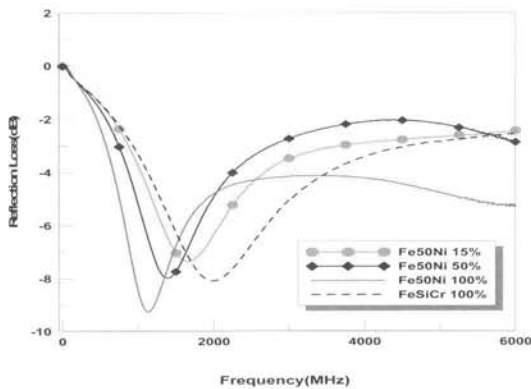


Fig. 5. Reflection parameter  $S_{11}$  of composite sheet according to the change of content of FeSiCr and Fe50Ni powders.

그림 4의 (b)로부터 복소 투자율의 허수부  $\mu''$  특성을 살펴보면 Fe50Ni을 첨가할 경우 전주파수 영역에서  $\mu''$  특성 향상되어 나타나고, 첨가량이 증가됨에 따라 더 높은 값을 나타내고 있다. 또 복소투자율의 실수부와 허수부 값으로부터 얻을 수 있는 손실계수  $\tan \delta$  특성은 식 2와 같이 나타난다.

$$\tan \delta = \frac{\mu''}{\mu'} \quad (2)$$

주파수 별 손실계수 특성을 나타낸 그림 4(c)로부터 FeSiCr 자성체에 Fe50Ni을 첨가할 경우 손실계수 특성이 전주파수 대역에서 첨가하지 아니하였을 때보다 높게 나타나고 또 첨가량이 증가함에 따라 손실계수 값이 더 커지는 것을 볼 수 있다.

FeSiCr 자성체에 Fe50Ni을 첨가하여 혼합 후 고분자 폴리머 바인더에 분산시켜 건조한 후 hot-pressing 공정을 거쳐 만든 자성체 복합 시트에 대하여 네트워크 분석기를 사용하여 전자파의 반사 특성에 대한 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다.

복합 시트의 전자파 반사계수를  $\Gamma$ 라고 할 때 이들과 반사 파라미터  $S_{11}$ 은

$$S_{11} = 20 \log |\Gamma| \quad (3)$$

의 관계로 주어진다 [15].

그림 5로부터 Fe50Ni 함유량이 증가함에 따라 반사

손실의 매칭 주파수에 해당되는 return loss의 peak에 대응되는 주파수가 2 GHz 대역에서 1 GHz 대역으로 이동되는 것을 볼 수 있다. 이는 판상화된 FeSiCr 분말 대비 Fe50Ni의 포화자화가 낮고, 저주파에서의 손실계수  $\tan \delta$  값 증가하여 반사손실의 매칭 주파수가 저주파 대역으로 이동하는 것으로 판단된다. 또한 FeSiCr의 잔류자화 특성이 높아 매칭 주파수에서 낮은 반사손실 특성을 얻을 수 있다. 따라서 FeSiCr 분말에 Fe50Ni 분말 첨가를 통해 더 낮은 주파수에서 반사손실 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

어트리션 밀과 진공 열처리 공정을 통해 두께가 1~2  $\mu\text{m}$ , 표면 길이가 100~120  $\mu\text{m}$  범위가 되도록 편상화 처리된 연자성 비정질 FeSiCr 합금 분말을 바인더 용액과 혼, 분산처리하여 VHF~UHF 대역의 전자파 노이즈 흡수용 복합 시트를 제조하는데 있어서 FeSiCr 분말에 Fe50Ni을 첨가하여 전자파 흡수용 복합 시트를 제조하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

FeSiCr에 Fe50Ni 분말을 Fe50Ni 함유량이 증가함에 따라 보자력 특성은 거의 변화가 없지만 포화자화가 167.9 emu/g에서 135.6 emu/g으로 감소하면서 잔류자화 특성이 1.94 emu/g에서 2.68 emu/g으로 증가하였으며 500 MHz 이하의 저주파 영역에서는 투자율  $\mu'$ 이 0.6~4 정도 증가하였으며 500 MHz 이상의 고주파 영역에서는  $\mu'$ 이 0.4~2.5 정도 감소하였으며, 복소 투자율 중  $\mu''$  값과 손실계수  $\tan \delta$ 가 모든 주파수 영역에서 증가하는 것으로 나타났으며, 반사손실 특성은 2 GHz의 고주파 영역에서 1 GHz 대역으로 이동하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 FeSiCr 합금 분말을 사용한 복합 시트보다 낮은 저주파 영역의 반사손실 매칭 주파수를 얻는 한 가지 방법으로 FeSiCr 분말에 Fe50Ni 분말을 50% 내외로 첨가하여 복합 시트를 제조하면 1~1.5 GHz 대역의 반사손실 매칭 주파수를 갖는 전자파 흡수체 특성을 구현할 수 있을 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

- [1] B. E. Mulhall, *Proc. IEE*, 111, 188 (1964).
- [2] Z. Huibin, Z. Peiheng, L. Haipeng, X. Yangqiu, X.

- Jianliang, and D. Longjiang, *Electronics Lett.*, 48, 435 (2012).
- [3] S. Yoshida, H. Ono and S. Ando, M. Yamaguchi, and Y. Shimada, *Electromagnetic Compatibility, IEEE International Symposium*, 2, 962 (2003).
- [4] H. Ono, Y. Takase, S. Yoshida, and O. Hashimoto, *Electromagnetic Compatibility, IEEE International Symposium*, 2, 962 (2003).
- [5] V. B. Bregar and A. Znidarsic, *Proc. of Asia-Pacific Microwave Conference, IEICE*, 1, 540 (2006).
- [6] T. Tobana, T. Sasamori, K. Abe, Q. Chen, and K. Sawaya, *Electromagnetic Compatibility, IEEE International Symposium*, 2, 1248 (2003).
- [7] M. M. Dias, H. J. Mozetic, J. S. Barboza, R. M. Martins, L. Pelegrini, and L. Schaeffer, *Powder Technology*, 237, 213 (2013).
- [8] J. B. Kim and T. H. Noh, *J. Korean Magnetics Society*, 23, 83 (2013).
- [9] T. H. Noh and J. B. Kim, *J. Korean Magnetics Society*, 20, 143 (2010).
- [10] S. M. Kim and S. M. Lee, *J. KIEEME*, 25, 431 (2012).
- [11] S. M. Kim and S. M. Lee, *J. KIEEME*, 25, 462 (2012).
- [12] J. S. Lee, S. H. Cho, S. H. Yoon, and K. H. Kim, *J. Appl. Phys.*, 115, 17A503 (2014).
- [13] D. I. Kim, *Electromagnetic Wave Absorber* (Daeyoungsa, Seoul, 2006) p. 175.
- [14] O. Acher and S. Dubourg, *American Physical Society*, 77, 104440 (2008).
- [15] S. Yoshida, H. Ono, S. Anto, S. Ohmuma, M. Yamaguchi, and Y. Shimada, *Materia Japan*, 42, 193 (2003).