

軟性電磁波吸收材料特性之研究 The Performances of the Flexible Electromagnetic Wave Absorber

孫長春 高振育 蘇惟隆
Chang Chun Sun, Jenn Yu Kau, Wei Long Su

黎明技術學院 電子工程學系
Department of Electronic Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

彭正雄
Chen Hsiung Peng

明新科技大學 化學工程與材料科技系
Department of Chemical and Materials Engineering,
Minghsin University of Science and Technology

摘要

本文是探討利用球磨機將球型羰基鐵粉(Carbonyl Iron)與鈷粉材料扁平化，藉以增加單位面積內之磁疇面積，再將此扁平型之軟磁粉添加至以橡膠為膠合劑(Binder)的配方中，研製成可彎曲之軟性電磁波吸收膠片(Flexible electromagnetic absorber)；由結果顯示，扁平型磁粉含量由 70%增加至 85%時，電磁波之吸收效能則由 20dB 提升至 30dB，顯示磁粉含量與吸收效能成正比；結果亦顯示，當電磁波吸收膠片厚度由 1.30 mm 增加至 3.30 mm 時，電磁波的最大吸收頻譜由 5.6 GHz 降至 1.75 GHz，顯示膠片厚度與電磁波吸收頻率成反比。

關鍵詞：羰基鐵粉、電磁波吸收片

ABSTRACT

This paper discusses the performances of the flexible electromagnetic wave absorber which is constructed by rubber, carbonyl iron, and cobalt powder. With the ball machine, carbonyl iron and cobalt powder are flatted in order to increase the area of the magnetic domain size, which can promote the performances of the flexible electromagnetic wave absorber. The results show that the electromagnetic wave absorption performances increase from 20dB to 30dB as we



increase the amount of the flatted magnetic powder in the rubber from 70% to 85%. The absorption efficiency is proportional to the increased amount of the flatted magnetic powder. And we find that when the thickness of the electromagnetic wave absorber increases from 1.30 mm to 3.30 mm, the maximum absorption frequency decreases from the 5.6 GHz to 1.75 GHz. The thickness of the absorber is inversely proportional to the maximum absorption frequency.

Keywords: carbonyl iron 、electromagnetic wave absorber



1.前言

所謂「電磁波干擾(Electromagnetic Interference, EMI)」,是指所有會影響到電子、電器設備性能之非所需的電壓、電流、磁場等不正常的訊號,此不正常訊號的電磁能量通常是藉由兩種路徑傳輸:一為傳導雜訊(conductive noise),另一為幅射雜訊(radiation noise),其對電子元件、輸配電路或系統電路之干擾方式如圖 1 所示,因此 EMI 的發生一般有三個要件:一為雜訊產生體(Emitter),其二為接受雜訊之感受體(Susceptibility),第三則為傳送雜訊的媒介體。電磁干擾的防護方法一般分為三種(1-6):濾波(Filtering)、吸收(Absorbing)、屏蔽(Shielding),其中濾波防護通常用於消除電纜或導線上之「傳導雜訊」,吸收及屏蔽則用於消除空間體之「幅射雜訊」,防護示意圖如圖 2 所示。

電磁波吸收材料之能量損失機構有下列三種:(1)共振損失(Resonance Loss): $1/4\lambda$ 、(2)歐姆損失(Ohm Loss): ϵ 、(3)磁性損失(Magnetic Loss): μ ,其中共振損失主要是依據電磁波之波峰與波谷相互干擾以達消除雜訊之目的,重點在於干擾電磁波之頻率及結構材料之設計上;歐姆損失則在於考慮材料之電性特徵(ϵ),例如碳粉;磁性損失則需考慮材料之磁性特徵(μ),例如鐵酸鹽、磁性金屬粉等。電磁波吸收體一般常製作成片狀或塗料,是利用材料電磁特性將電磁波轉變為熱再加以吸收,吸收體的製造通常是在膠材或樹脂中加入導電碳粉、鐵粉、鍍鎳碳纖維等導電材料混鍊製成。

本文是開發以羰基鐵粉為填充料之軟磁材料配方,並以橡膠為膠合劑(Binder)作為基材(Matrix),研製成軟性電磁波吸收複合材,進而探討配方組成及吸收片厚度對干擾電磁波吸收效能之研究。

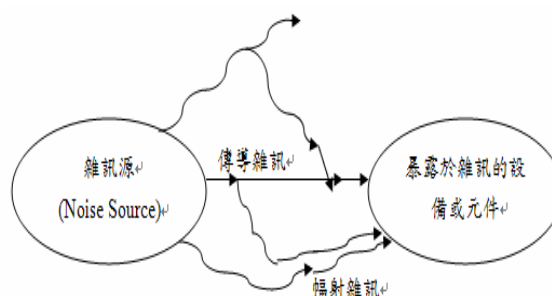


圖 1、電磁波干擾傳播路徑

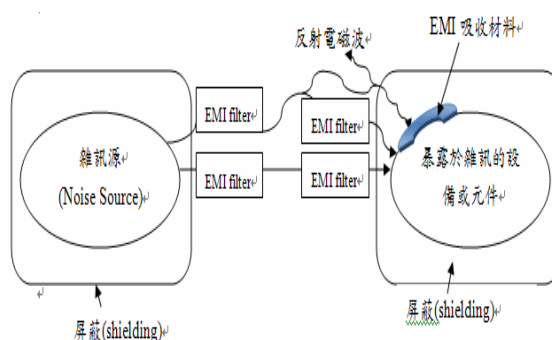


圖 2、電磁波干擾防護系統示意圖

2.電磁波的吸收

入射電磁波在介質中傳播時,每碰到一個界面都會發生折反射而分成折射波與反射波(如圖 3 所示),由於吸波層是有限

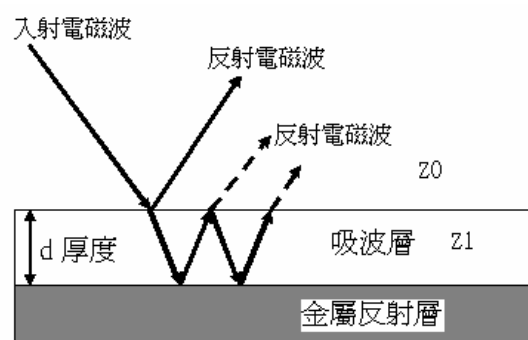


圖 3、電磁波折反射與吸波層關聯圖

介質,其對電磁波會造成損耗吸收,吸收層的整體吸收效能一般是由反射係數(Reflection coefficient, R_r)來決定,吸收層



的反射係數又是吸波材料的電性與磁性參數的函數：

$$R_{\lambda} = F(\varepsilon', \varepsilon'', \mu', \mu'') \quad (1)$$

式中 ε 是材料的介電係數(permittivity)， μ 是材料的導磁係數(permeability)，二者均是以複數(complex number)形式表示：

$$\varepsilon = \varepsilon' + i \varepsilon'' \quad (2)$$

$$\mu = \mu' + i \mu'' \quad (3)$$

其中虛數部分(imaginary component)顯示出材料的損失行為。

所謂的損失(loss)，是指電磁波能量的耗損，其特徵十分類似於當電流通過一電阻時所造成的能量損耗。當電磁波穿透吸波材料所造成的損失行為，實際上是將電能轉變成熱能，此種能量轉變主要發生於原子與分子的層級。對磁性吸收體(magnetic absorbers)而言，在微波頻率下的主要損失機構，是在磁性材料中之磁疇(domains)的磁化旋轉(magnetization rotation)強度所造成。電磁波吸收材料整體吸收效能，均歸納為材料之導電(介電)係數(ε)與導磁係數(μ)，上述之材料的電性與磁性特徵，均可由最終整體之反射係數(R_{λ})來決定吸收效能。

反射係數與入射電磁波和材料之阻抗性質(impedance properties)有關，其間之關係如(16)式所示：

$$R_{\lambda} = \left(\frac{1 - \frac{Z_1}{Z_0}}{1 + \frac{Z_1}{Z_0}} \right) \quad (4)$$

式中 Z_0 為自由空間(free space)阻抗， Z_1 為吸波材料之阻抗，二者定義如下：

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}}} = 376.82\Omega$$

$$Z_1 = \sqrt{\frac{\mu_1}{\varepsilon_1}}$$

若要 $R_{\lambda} = 0$ ，則 $Z_0 = Z_1$ ，但實際上此種情形不可能發生，因此工程人員必須選擇適當的材料性質，使電磁波經由該材料能有效降低反射係數(R_{λ})值，而達到較佳的吸收效能；因此，設計一組能提供最佳電磁波吸收損失的系統，實際上就是提供從自由空間至遮蔽之導體間之「阻抗匹配設計」。

3.實驗部分

A.原料部分

1.磁粉配方

(1)羰基鐵粉

羰基鐵粉與一般鐵粉的差別在於其表面經化學方法改質後，表面附有羰基鍵(-C≡O)，圖 4 所示為五羰基鐵(pentacarbonyl iron)分子式，羰基鐵粉屬於非金屬磁性材料。

(2)鈷粉

鈷粉為金屬磁性材料。本研究所使用之磁粉材料規格如表 1 所示，羰基鐵粉與鈷粉比例為 4：1。

表 1. 磁粉配方規格

原料名稱	規格
HQ 羰基鐵粉	4~4.6 μ m
鈷(Co)粉	3.8~4.2 μ m

2. 橡膠配方

採用氣平橡膠(Neoprene)及多種添加劑，其配方如表 2 所示。



表 2. 橡膠配方

原料名稱	公司與等級
Neoprene B-10	日本東洋曹達(SODA)公司
抗氧化劑	優品公司，工業級
MBTS	Uniroyal 公司，工業級
Na-22	Uniroyal 公司，工業級
ZnO	Merck 公司，EP 級
Steric Acid	Merck 公司，EP 級
MgO	Fluka 公司，EP 級

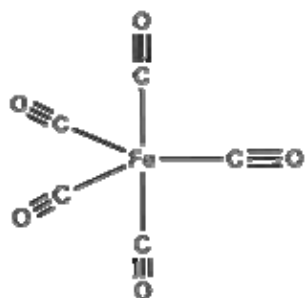


圖 4. 五羰基鐵(pentacarbonyliron)

B. 設備部分

設備包含加工設備及量測設備，加工設備有：雙滾筒橡膠混練機、球磨機、烘箱、量測設備。

C. 研製程序

(1) 磁粉加工

本製程主要是將球狀之羰基鐵粉及鈷粉，經由球磨機將其扁平化與細微化。首先將鉻錳鋼珠清洗後放入球磨機中，再將 1.6 公升的無水酒精及 800 克羰基鐵粉與 200 克鈷粉加入球磨機中，將球磨機封好後轉速設定為 100 rpm，時間設定為 100 小時；研磨完成後，利用 400 mesh 篩網篩分，再用無水酒精清洗後置入烘箱烘烤 6~8 小時，所得磁粉平均粒徑約為 0.9~1.0 μm 。

(2) 吸波片製作

a. 白膠混練

稱適當比例重量之 B-10 氣平橡膠，於雙滾筒混練機上進行碾壓、切割、翻料之素練，再將添加料逐次加入後混練，薄通數次直到膠料達均勻程度後，拉出白膠靜置。

b. 磁粉與白膠混練

稱適當白膠進行初步升溫碾壓混練，再稱適量之磁粉加入白膠中進行混練，薄通數次直至均勻程度後進行後續製程。

c. 出片

使用四滾筒出片機，調整適當間隙延壓，量測厚度至所需規格後取出靜置。

d. 壓片熟化

將出片機所得之膠片至於壓片熟化機上，設定熟化溫度(160 $^{\circ}\text{C}$)、熟化壓力(150 Kg/cm 2)及熟化時間(20 min)，製作出電磁波吸收膠片成品，再進行電磁頻譜之吸收量測。

軟性電磁波吸收片之製程如圖 5 所示。

本研究研製三組不同磁粉含量之電磁波吸收配方，再壓製不同厚度之吸波片，量測其對不同頻譜電磁波之最大吸收效能及吸收頻譜，配分組成如表 3 所示。

表 3. 軟性電磁波吸收配方組成分

配方編號	磁粉含量(%)	吸波片厚度(mm)
A-70	70	1.03
A-75	75	1.18
A-85	85	1.3
		2.0
		3.3



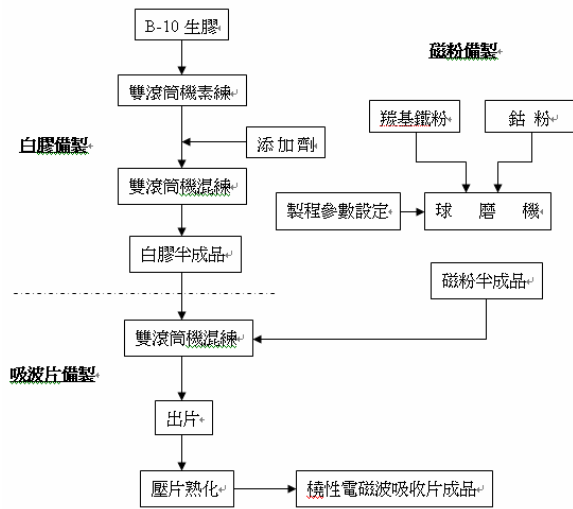


圖 5. 軟性電磁波吸收材料研製流程圖

4.結果與討論

羰基鐵粉屬於軟磁性材料，為球狀，製程中利用球磨機將球狀粉體撞擊成片狀，以提升電磁波吸收片單位面積內之磁疇面積，當電磁波能量進入吸波片後，磁疇範圍的增加，可提升吸波片將電磁波能量轉換成改變磁疇之能量消耗，而達到較優之吸波效果。

由圖 6~圖 8 的結果顯示，磁粉含量為 70%，吸收片厚度為 1.03 mm 時，最大吸收頻率約在 12.4 GHz，吸收效能約為 20 dB(圖 6 所示)；當磁粉含量為 75%，厚度為 1.13 mm 時，最大吸收頻率降至 9.6 GHz，吸收效能約為 22 dB(圖 7 所示)；若再將磁粉含量提高至 85%，厚度增至 1.30 mm 時，最大吸收頻率降至 5.6 GHz，吸收效能大幅提升至 32 dB(圖 8 所示)。由結果得知，造成最大吸收頻率由 12.4 GHz 降至 5.6 GHz 的主要原因，是因為吸波片厚度由 1.03 mm 增加至 1.30 mm；最大吸收效能由 20 dB 增加至 32 dB 的原因，則為吸波片內磁粉含量由 70% 增至 85% 所致。

圖 8~圖 10 結果更顯示出，當磁粉含量為 85%，吸波片厚度分別為 1.3 mm、2.0 mm、3.3 mm 時，最大吸收頻率分別為 5.6 GHz、2.9 GHz、1.75 GHz，此結果更明確的說明，吸波片厚度與最大吸收頻率成反比的關係。

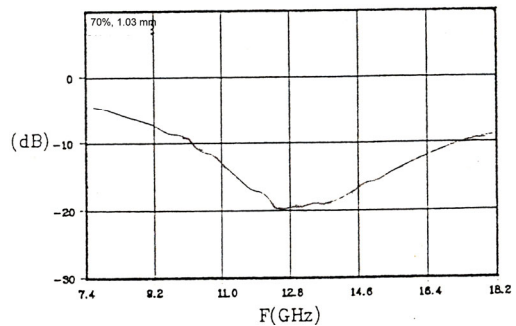


圖 6. A-70-103 配方電磁波吸收頻譜圖

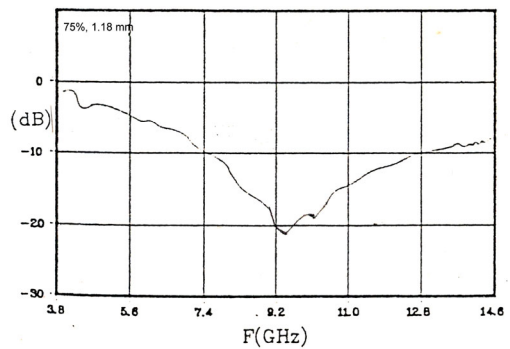


圖 7. A-75-118 配方電磁波吸收頻譜圖

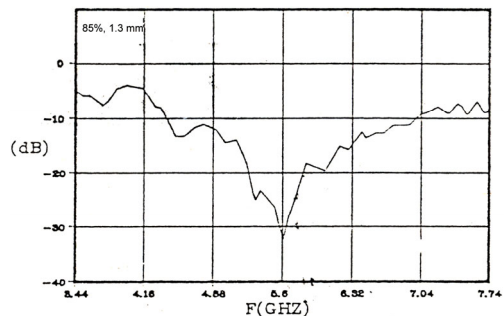


圖 8. A-85-130 配方電磁波吸收頻譜圖



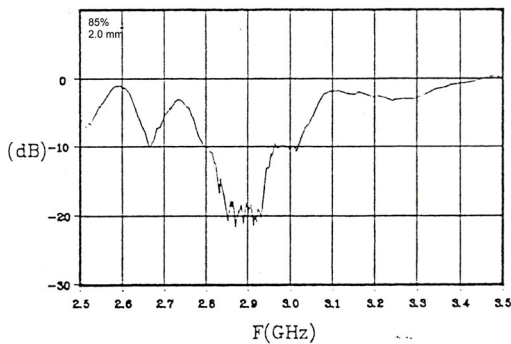


圖 9. A-85-200 配方電磁波吸收頻譜圖

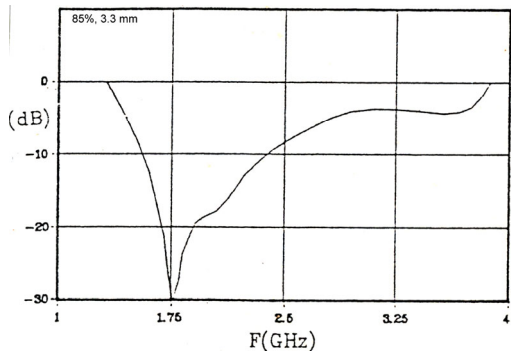


圖 10. A-85-330 配方電磁波吸收頻譜圖

5. 結論

由實驗結果顯示，電磁波吸收片之磁粉含量與吸收片之厚度，對吸波效能及最大吸收頻率有下列之關係：

1. 磁粉含量與吸收效能成正比，磁粉含量由 70% 增至 85% 時，吸收效能則由 20 dB 大幅增加至 32 dB 左右。
2. 吸波片厚度與最大吸收頻率成反比(與波長成正比)，此一結果與電磁波傳播理論吻合，在相同磁粉含量(85%)時，吸波片厚度由 1.30 mm 增加至 3.30 mm 時，最大吸收頻率則由 5.6 GHz 降至 1.75 GHz。

參考文獻

1. Gui X, Wang K, Cao A, Wei J, Lv R, Kang F, Shu Q, Jia Y, Wu D, "Selective microwave absorption of iron-rich

carbon nanotube composites," J Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 10(3), pp.1808-13, 2010.

2. Yan L, Wang J, Han X, Ren Y, Liu Q, Li F, "Enhanced microwave absorption of Fe nanoflakes after coating with SiO₂ nanoshell," Nanotechnology, Vol. 21(9), 2010.
3. J. Cao, W. Fu, H. Yang, Q. Yu, Y. Zhang, S. Liu, P. Sun, X. Zhou, Y. Leng, S. Wang, B. Liu, G. Zou, "Large-scale synthesis and microwave absorption enhancement of actinomorphic tubular ZnO/CoFe₂O₄ nanocomposites," J Phys Chem B, Vol. 113(14), pp. 4642-7, 2009.
4. Ramesh GV, Sudheendran K, Raju KC, Sreedhar B, Radhakrishnan TP, "Microwave absorber based on silver nanoparticle-embedded polymer thin film," J Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 9(1), pp. 261-6, 2010.
5. T. Inui, K. Koniski, and K. Oda, "Fabrications of Broad-Band RF-Absorber Composed of Planar Hexagonal Ferrites," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35(5), pp. 3148-3150, 1999.
6. J. T. Gear, "Microwave absorbers manage military electronics RF interference," pp. 6-9, August 2004.
7. B. T. Lee and H. C. Kim, "Prediction of Electromagnetic Properties of MnZn Ferrite-Silicone Rubber Composites in Wide Frequency Range," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35(6A), pp. 3401-3406, 1996.
8. S. Sugimoto, S. Kondo, K. Okayama, H. Nakamura, D. Book, T. Kagotani, M.



- Homma, H. Ota, M. Kimura, and R. Sato, "M-Type Ferrite Composite as a Microwave Absorber with Wide Bandwidth in the GHz Range," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35(5), pp. 3154-3156, 1999.
9. 余寄仲、柯文淞，"電磁波吸收及屏蔽材料介紹"，工業材料雜誌，178 期，pp.107-149，2001。
10. 周梁，"日新月異的隱身技術"，現代軍事，pp. 40-41，Feb. 2001。
11. 曲東才，"隱身巡航導彈的發展及主要隱身技術分析"，中國航天，10 期，pp. 40-44，2000。

