

高分子磁性材料与移动通讯小天线^①

林展如^② 干久志 林云

四川师范大学化学系 610066 四川特种磁体应用开发中心

[摘要]本文简介了高分子磁性材料的本征性及综合应用性电磁参数,概述了传统的介质(铁氧体、高分子及陶瓷材料)加载小天线的极限性,介绍了新型的高分子磁性介质加载小天线的特点及其在移动通讯(大哥大)、加载螺旋天线和无绳电话的应用。

1 前言

现代的电子器件向轻量化、小型化和平面化,即轻、小、薄方向发展,传统的无机磁性材料已难以满足,因此,寻求新一代轻质磁性材料已成为当前迫切的课题。近年来,我们成功地研制出多种常温稳定的高分子磁体,目前,我们已用这种新材料研制多种可用于高频、微波的电子器件^[1-2],还研制成功移动通讯(大哥大)(850~960MHz),加载阿基米德螺旋天线(0.8~4.0GHz)及无绳电话(48.5MHz)高分子磁性加载小天线。预料,这种新型的小天线将在军工和民用高科技上获得广泛的应用。

2 高分子磁性材料的本征性磁参数

2.1 饱和磁化强度(σ_s)与温度(T)的关系

通常,铁氧体的磁化强度随温度发生剧烈变化,其关系曲线呈向下抛物线型,而高分子磁性材料的磁化强度基本不随温度而变化,这一关系可延伸到450K。因此,用高分子磁性材料制备的电子器件在设计上无需进行电容或温度补偿。

2.2 磁滞回线

磁滞回线反映了磁性材料的许多磁特性,这对磁性材料的应用和设计有重要的参考价值。在298K观察到高分子磁性材料的磁化强度与作用磁场的关系。它在常温时的自发磁化强度 $\sigma_s=18.5$ emu/g ($H=6.36 \times 10^5$ A/m),剩磁 $\sigma_r=1.04$ emu/g,矫顽力 $H_c=3.264 \times 10^3$ A/m。磁滞回线表明了高分子磁性材料具有铁磁材料的特征,在常温下是一种有用的软磁材料(图略)。

2.3 低磁损耗和低温度敏感性

通常的无机磁体,当传输的电磁波频率超过500MHz以后,磁性器件对所传输电磁波产生的磁损耗急剧增大。而高分子磁性材料在10~3000MHz电磁波频率范围内,对传输信号产生的磁损耗很小。因此,用高分子磁性材料制成的磁性线圈,在-60℃~80℃范围内其感抗几乎和温度的变化无关。

2.4 良好的抗辐照及抗自然老化性能

高分子磁性材料样品经Co60 γ 射线以 1.5×10^6 rad/h,连续辐照1000h,总剂量达

①国家自然科学基金及八六三新材料领域资助项目

②通讯联系人

1.5×10^5 rad, 再用红外光谱跟踪其微小化学结构的变化, 证明高分子磁性材料有极好的抗辐照能力, 此外, 高分子磁性材料在空气中放置四年, 其磁参数基本不变, 证明它有良好的抗自然老化性能。

2.5 高分子磁性材料的综合应用性电磁参数

近年来, 我们对适于制作小天线的高分子磁性基板进行了电磁性能测定, 结果简述如下: 高分子磁性基板的基本电磁参数

A 高分子磁性基板

- 1 规格: $150 \times 150 \times (1 \sim 5\text{mm})$
- 2 磁参数: $\mu' = 3 \sim 5$, $\mu'' = 1 \times 10^{-3}$
- 3 介电参数: $\epsilon_r = 6 \sim 8$ (10GHz);
介电损耗角正切: $\operatorname{tg} \delta = 1 \times 10^{-3}$ (GHz)
- 4 适用温度: $-80 \sim +150^\circ\text{C}$

B 高分子磁性覆铜(双面)基板

- 1 规格: $120 \times 100 \times 1\text{mm}$
- 2 磁参数: $\mu' = 2 \sim 3$ (10GHz), $\mu'' = 1 \times 10^{-3}$ (10GHz)
- 3 介电常数: $\epsilon_r = 6 \sim 8$ (10GHz);
介电损耗角正切 $\operatorname{tg} \delta = 1 \times 10^{-3}$ (10GHz)
- 4 适用温度: $-80 \sim +150^\circ\text{C}$
- 5 剥离强度: 常态 $> 12.0 \sim 14.0\text{N/cm}$
- 6 耐焊性
 260°C 浸焊 10 秒后不起泡不分层, 剥离强度基本不变。
- 7 线膨胀系数: GB1036-70 标准
 $-60 \sim +100^\circ\text{C}$, $7.7 \times 10^{-5} \text{ } 1 / ^\circ\text{C}$.

上述综合应用性电磁参数表明, 这种新型的高分子磁性材料不但有一定的磁导率和介电常数, 其电磁损耗也较低。因此, 有可能制成高效率和低损耗的介质加载小天线。

3 高分子磁性介质加载小天线

随着各种无线电元器件的小型化以及空间技术的发展, 人们对缩小天线尺寸的要求更加迫切, 移动通讯的出现极大地促进了小天线的研制与发展, 它们或在外形上、结构上、材料上或者从相应的技术上改造小天线材料, 反过来又极大地推动了移动通讯的飞跃发展。

3.1 传统介质小天线的缺陷与高分子磁性材料的优势

对于高度 h 的鞭天线, 若它又是无损耗的, 则小天线的 Q 值随 (λ/h) 三次方的关系上升, 但带宽却迅速变窄, 如不考虑天线的热耗, 配谐电路产生的损耗, 鞭天线的效率将随 h/λ 的三次方而下降, 因此, 对空间尺寸受限制的场合, 直接截短鞭天线将导致带宽太窄和效率太低。

众所周知, 当电磁波通过具有相对介电常数 ϵ' 和相对磁导率 μ' 的介质材料时、电磁波的波长缩短了 F , 介质加载小天线的高度较其在空气中的天然高度可降低 $1/F$ 倍, 其中缩短因子

$$F = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

显然, F 的大小与介质材料的 ϵ' 、 μ' 和 $\operatorname{tg} \delta$ 有关, 也影响天线的输入阻抗和效率等参数,

然而，传统的铁氧体介质材料虽有较高的 ϵ' 和 μ' ，但磁损耗较大，而聚苯乙烯、聚四氟乙烯等高分子材料，虽然 $\tan\delta$ 很小($\approx 1 \times 10^{-4}$)，但 ϵ' 仅2~2.5，而陶瓷介质材料虽有高的 ϵ' 和较低的 $\tan\delta$ ，但它既硬又脆，极难加工，因此，长期以来，人们不得不遗憾的认为传统介质天线的低效率抵消了它的方向性与带宽上的好处，并使小天线的发展受到一定限制。

由上可知，既有一定磁导率和介电常数的低电磁损耗高分子磁性材料的出现，有可能使介质加载天线的小型化带来转机，因为它的缩短因子大于聚苯乙烯与聚四氟乙烯，电磁损耗又比铁氧体小，而良好的加工性(可热压成型及切、钻、锯)更是陶瓷介质天线无法比拟，因此，有可能制成高效率低损耗的介质加载小天线。

3.2 高分子磁性加载小天线

(a) 移动通讯(大哥大)与加载螺旋小天线

与长度为144mm的Motorola鞭天线比较，高分子磁性加载天线仅 $\Phi 10 \times 32\text{mm}$ ，而两者性能相当(两者对比图共6幅，略)。用 $150 \times 80 \times 5\text{mm}$ 的高分子磁板制作的军用加载阿基米德螺旋天线可将原来2.0~4.0GHz的工作频段扩宽到0.8~4.0GHz，并在0.8~2.2GHz有良好的方向图^[2]是制作小型测向仪的良好材料(方向图共16幅，略)。

(b) 高分子磁性无绳电话小天线

近年来，无绳电话的普及相当快，销售量占电话的10%左右，而发达国家为28%。国内的无绳电话有侨兴和步步高等多家生产，前者为350mm的金属控杆天线、后者为250mm的鞭天线，而用高分子磁性材料制作的无绳电话小天线仅 $\Phi 8 \times 35\text{mm}$ ，我们研究了高分子磁性小天线与侨兴和步步高无绳电话天线(工作频率48.25~48.75MHz)在30~60MHz, 10~100MHz, 10~200MHz, 以及10~1000MHz的幅频特性和回波损耗，表明高分子磁性小天线具有长度短和响应好的特性，是目前市售无绳电话天线更新换代的良好选择(三者的幅频响应曲线和回波损耗图共24幅，略)。

参考文献

- [1] 林展如，倪训铭，胡汉杰. Progress in Nature Sci. 1996, 6(1):120
- [2] 林展如，倪训铭. 第九届全国微波磁学会议. 论文集 P22 (1998.3.温州)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>