

低温共烧陶瓷 (LTCC) 技术应用进展

曾志毅, 王浩勤, 尉旭波

(电子科技大学 电子科学技术研究院, 四川成都 610054)

摘要: 作为一种新兴的集成封装技术, 低温共烧陶瓷 (LTCC) 技术以其优良的高频和高速传输特性、小型化、高可靠而备受关注。介绍了低温共烧陶瓷技术的工艺、材料特性、应用及发展趋势, 分析其在功能模块领域应用的可行性。

关键词: LTCC 技术; 工艺; 材料特性; 应用; 发展趋势

中图分类号: TM28

文献标识码: A

文章编号: 1001-3830(2007)02-0007-04

Development of Low Temperature Co-fired Ceramic (LTCC) Technology

ZENG Zhi-yi, WANG Hao-qin, WEI Xu-bo

*Research Institutes of Electronic Science and Technology, University of Electronic
Science & Technology of China, Chengdu 610054, China*

Abstract: As a new integrating and packing technology, the low temperature co-fired ceramic (LTCC) technology attracts close attention for its excellent high frequency and high speed transfer characteristics, miniaturization, high reliability. In this paper, the technics, material characteristics, application and development trend of LTCC technology are introduced, and its application feasibility in the function module area is analyzed.

Key words: LTCC technology; process; material characteristics; application; development trend

1 引言

近年来随着军用电子整机、通讯类电子产品及消费类电子产品迅速向短、小、轻、薄方向发展, 手机、PDA、MP3、笔记本电脑等终端系统的功能愈来愈多, 体积愈来愈小, 电路组装密度愈来愈高^[1~3]。若能将部分无源元件集成到基板中, 则不仅有利于系统的小型化, 提高电路的组装密度, 还有利于提高系统的可靠性。

目前的集成封装技术主要有薄膜技术、硅片半导体技术、多层电路板技术以及 LTCC 技术。LTCC 技术是一种低成本封装的解决方法, 具有研制周期短的特点。本文综合介绍了 LTCC 技术的现状、工艺及其优势, 探讨了 LTCC 技术在开发功能器件及模块, 特别是高频功能模块应用的可行性。

2 LTCC 技术概述

LTCC 技术是一门新兴的集成封装技术。所谓

LTCC 技术, 就是将低温烧结陶瓷粉制成厚度精确而且致密的生瓷带, 在生瓷带上利用激光打孔、微孔注浆、精密导体浆料印刷等工艺制出所需要的电路图形, 并将多个无源元件埋入其中, 然后叠压在一起, 在 900℃左右烧结, 制成三维电路网络的无源集成组件, 也可制成内置无源元件的三维电路基板, 在其表面可以贴装 IC 和有源器件, 制成无源/有源集成的功能模块。总之, 利用这种工艺可以成功地制造出各种高技术 LTCC 产品。以多层 LTCC 开发的产品具有系统面积最小化、高系统整合度、系统功能最佳化、较短的上市时间及低成本等特性, 从而具有相当的竞争力。相对于传统的封装集成技术 LTCC 技术具有如下优点:

- (1) 陶瓷材料具有优良的高频高 Q 特性, 使用频率可高达几十 GHz;
- (2) 具有较好的温度特性, 如较小的热膨胀系数、较小的介电常数温度系数;
- (3) 可以制作层数很多的电路基板, 并可将多个无源元件埋入其中, 除 L、R、C 外, 还可以

将敏感元件、EMI 抑制元件、电路保护元件等集成在一起，有利于提高电路的组装密度；

(4) 能集成的元件种类多、参数范围大，可以在层数很多的三维电路基板上，用多种方式键连 IC 和各种有源器件，实现无源/有源集成；

(5) 可靠性高，耐高温、高湿、冲振，可应用于恶劣环境；

LTCC 技术以其优异的电学、机械、热学及工艺特性，将成为未来电子器件集成化、模块化的首选方式，从技术成熟程度、产业化程度以及应用广泛程度等角度来评价，目前，LTCC 技术是无源集成的主流技术。

3 LTCC 工艺概述

图 1 给出了 LTCC 工艺流程，主要有混料、流延、打孔、填孔、丝网印刷、叠片、等静压、排胶烧结等主要工序，下面简单介绍各个工序工艺。

第一步：混料、流延。将有机物（主要由聚合物粘结剂和溶解于溶液的增塑剂组成）和无机物（由陶瓷和玻璃组成）成分按一定比例混合，用球磨的方法进行碾磨和均匀化，然后浇注在一个移动的载带上（通常为聚酯膜），通过一个干燥区，去除所有的溶剂，通过控制刮刀间隙，流延成所需要的厚度。此工艺的一般厚度容差是 $\pm 6\%$ 。其他流延

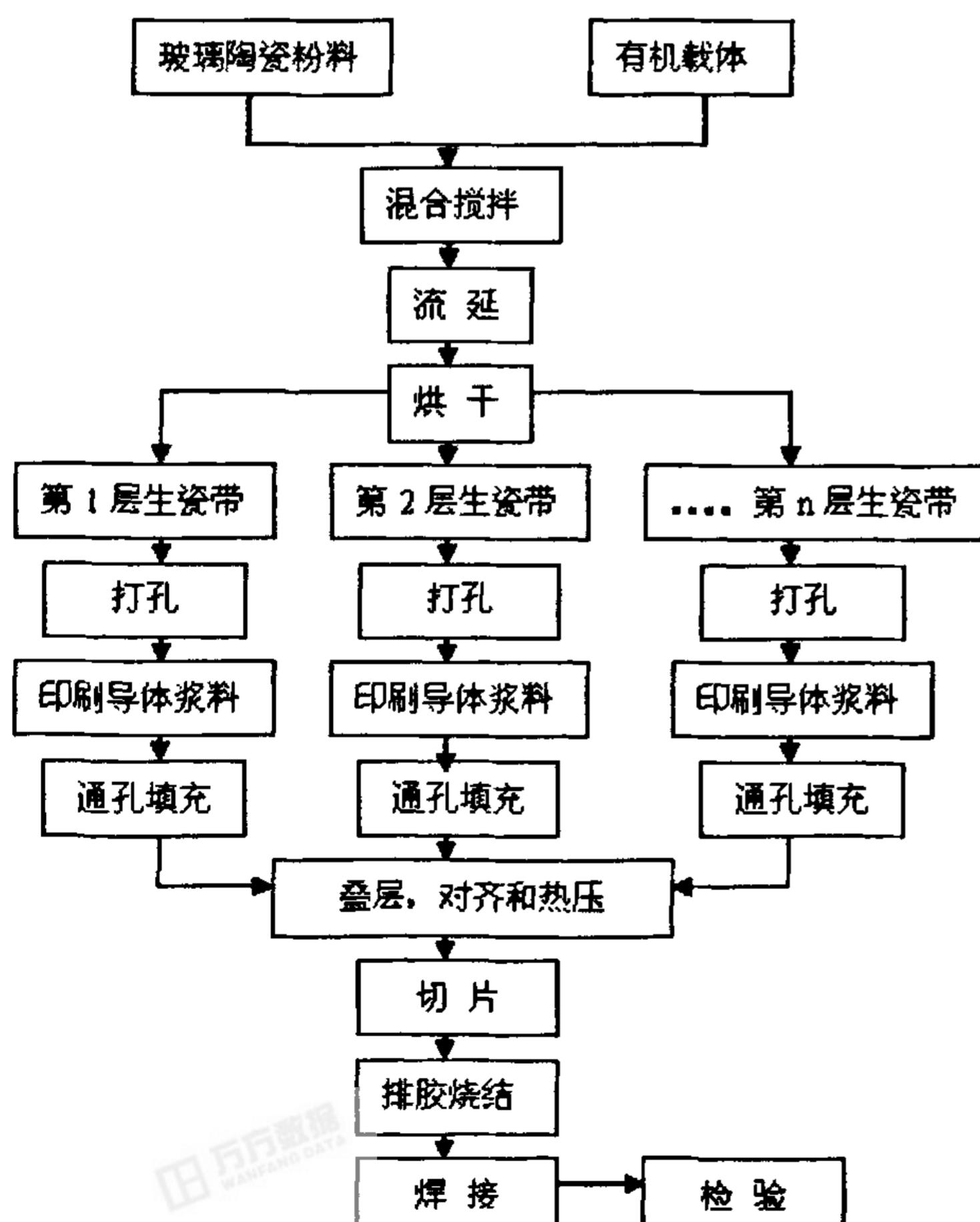


图 1 LTCC 工艺流程

技术可实现更小的容差。

第二步：把生（未烧结）瓷带按需要的尺寸进行裁切。

第三步：利用机械冲压、钻孔或激光打孔技术形成通孔。通孔是在生瓷片上打出的小孔（直径通常为 0.1~0.2mm），用在不同层上以互连电路。在此阶段还要冲制模具孔，帮助叠片时的对准；对准孔用于印刷导体和介质时自动对位。

第四步：通孔填充。利用传统的厚膜丝网印刷或模板挤压把特殊配方的高固体颗粒含量的导体浆料填充到通孔。

第五步：利用标准的厚膜印刷技术对导体浆料进行印刷和烘干。通孔填充和导体图形在箱式或链式炉中按相关工艺温度和时间进行烘干。根据需要，所有电阻器、电容器和电感器在此阶段印刷和烘干。

第六步：检查、整理和对准。检查、整理和对准不同层，使每层中的对准孔同心并准备叠层。叠层期间（无论是单轴还是等静压），整理和对准的基板层被热压在一起（通常为 60~70℃，21MPa 下 10~30min）。然后一步共烧叠层。

第七步：排胶、烧结。200~500℃之间的区域被称为有机排胶区（建议在此区域叠层保温最少 60min）。然后在 5~15min 将叠层共烧至峰值温度（通常为 850℃）。气氛烧成金属化的典型排胶和烧成曲线会用上 2~10h。

烧成的部件准备好后烧工艺，如在顶面上印刷导体和精密电阻器，然后在空气中烧成。如果 Cu 用于金属化，烧结必须在 N₂ 链式炉中进行。然后对电路进行激光调阻（如果需要）、测试、切片和检验，LTCC 封装中可用硬钎焊引线或散热片（如果需要）。

4 LTCC 材料的特性

4.1 生瓷带材料

LTCC 器件对材料性能的要求包括电性能、热机械性能和工艺性能三方面，介电常数是 LTCC 材料最关键的性能。由于射频器件的基本单元——谐振器的长度与材料介电常数的平方根成反比，当器件的工作频率较低（如数百 MHz）时，如果用介电常数低的材料，器件尺寸将大得无法使用。因此，最好能使介电常数系列化以适用于不同的工作频率。介电损耗也是射频器件设计时一个重要考虑参

数, 它直接决定了器件的损耗。理论上希望越小越好。而介电常数的温度系数, 也是决定射频器件电性能温度稳定性的重要参数。

为了保证 LTCC 器件的可靠性, 在材料选择时还必须考虑到许多热机械性能。其中最关键的是热膨胀系数, 应尽可能与其要焊接的电路板相匹配。此外, 考虑到加工及以后的应用, LTCC 材料还应满足许多机械性能的要求, 如弯曲强度 σ 、硬度 H_v 、表面平整度、弹性模量 E 及断裂韧性 K_{IC} 等等。

工艺性能大体可包括如下方面: 第一, 能在 900°C 左右的温度下烧结形成致密、无气孔的显微结构。第二, 致密化温度不能太低, 以免阻碍银浆料和生带中有机物的排出。第三, 加入适当有机材料后可流延成均匀、光滑、有一定强度的生带。

4.2 金属导体

导体浆料通过丝网印刷在烧结后形成电路的导体部分。颗粒尺寸、颗粒组织和尺寸分布在决定烧成导体的最终电性能和物理性能上起着重要作用。选择合适的金属导体取决于各种因素的组合; 如电阻率、可焊性、引线键合力、用途(通孔填充、焊接、接地层)、附着力、电子迁移、衰减、RF 性能、外观和成本。表 1 列举了 LTCC 技术采用的各种金属化材料。

表 1 LTCC 采用的导体材料

导体	Au	Ag	Ag/Pd	Pt/Au	Cu
烧成气氛	空气	空气	空气	空气	氮气
电阻率/(mΩ/□)	4~12	2~9	7~40	30~40	3~4

5 LTCC 技术应用的现状及动态

LTCC 技术已广泛应用于宇航工业、军事、无线通信、全球定位系统、无线局域网、汽车等产业。美国、日本等著名的 DuPont、CTS、NS、Murata、Soshin、TDK 等大公司力推 LTCC 技术的应用。利用 LTCC 技术, 既可制造单一功能元件(如电阻、电感、天线、双工器、滤波器等), 还可以整合前端元件, 如天线、开关、滤波器、双工器、LNA、功率放大器等制成 RF 前端模块, 可有效地降低产品重量及体积, 达到产品轻、薄、短、小、低功耗的要求^[4~7]。LTCC 产品按技术层次划分, 可粗略地分为以下四类:

(1) 高精度片式元件: 如高精度片式电感器、电阻器、片式微波电容器等, 以及这些元件的阵列。

(2) 无源集成功能器件: 如片式射频无源集成组件, 包括 LC 滤波器及其阵列、定向耦合器、功分器、功率合成器、Balun、天线、延迟线、衰减器, 共模扼流圈及其阵列, EMI 抑制器等。

(3) 无源集成基板: 如蓝牙模块基板、手机前端模块基板、集中参数环行器基板等。

(4) 功能模块: 如蓝牙模块、手机前端模块、天线开关模块、功放模块等。

近年来, 以 LTCC 技术为基础的多层片式介质天线取得了长足的进步。Murata, Allgon, Toko and Rangestar 等著名公司已经开发出各种结构类型、用于移动通信设备的片式多层天线, 并已面市, 如 Murata 最近推出了专门用于蓝牙高频模块的 LDAGZ 型叠层天线, 工作频带 0.8~2.4GHz, 尺寸为 9.5mm×2.0mm×2.0mm, 在水平 360° 方位内天线增益 -3dBi, 在垂直平面为 -3~20dBi, 可用于 CDMA、PDC、蓝牙技术等电子产品中。

在片式多层天线发展的同时, 片式多层双工器、滤波器、平衡-不平衡转换器也相继研究开发, Sheen 等利用 DuPont 低介电常数材料设计, 较好解决了高介电常数难以集成问题, 把两个叠层滤波器(带通和带阻滤波器)集成在 RF 电路中, 组合成双工器, 适用于 DCS。随后, 松村定幸等发明了一种具有叠层结构的双工器, 包括并联 LC 谐振器的第一个三级带通滤波器和具有并联 LC 谐振器的第二个三级带通滤波器。研制生产用于移动通信的片式叠层 LC 滤波器品种较多, 如中心频率为 0.9~1.0GHz, 外形尺寸 3.2mm×2.5mm×1.65mm 的高通滤波器; 中心频率覆盖 1.9~5.8GHz, 外形尺寸 4.5mm×3.2mm×1.6mm、3.2mm×2.5mm×1.8mm、2.5mm×2.0mm×1.0mm 的带通滤波器。Tang 和 sheen 采用阶梯阻抗模式, 利用多层结构、曲折线和多节耦合线设计了片式多层平衡-不平衡转换器, 多节耦合线具有不同的阻抗比, 缩小了 $\lambda/4$ 耦合传输线, 易于与各种平衡输出阻抗匹配, 平衡-不平衡输出阻抗为 50Ω , 在工作频率范围内, 插入损耗小于 1.02dB, 回波损耗小于 14.5dB, 振幅平衡度小于 0.43dB, 相平衡度小于 1.23° , 可应用于 WLAN、Bluetooth 等通信设备。

美国的半导体公司已开发多种 LTCC 功能模块, 其中用于无线通信的频率合成模块, 有 14 层陶瓷层, 内置谐振电容、反馈电容、级间耦合电容、输出电容、谐振电感及输出匹配电感等无源电子元

件, 然后在表面上安装 IC、压控振荡器、变容二极管, 形成一个表面贴装型微波功能模块, 体积大大减小。Motorola 制作的移动通信接收模块, 包括收发开关、四个滤波器、低噪声放大器, 阻抗匹配电路、倒置尺寸仅为 $12.5\text{mm} \times 12.5\text{mm} \times 2.2\text{mm}$, 元件组装密度达到 34 个/ cm^2 。另外, 对于短距离无线通讯用的蓝牙组件, 也可使用 LTCC 多芯片组件, 由于采用内埋式无源元件及倒装焊芯片, 从而使整个组件实现了小型化。日本松下公司制作的超小型蓝牙模块, 在该模块 LTCC 基板内置有电容器、滤波器、阻抗变压器及天线, 在 LTCC 基板表面安装有蓝牙射频、基频、快速存储器、晶体振荡器及开关二极管等。

6 LTCC 技术的问题及未来展望

6.1 LTCC 技术的问题^[8-10]

虽然与其他封装技术相比 LTCC 技术有不可取代的优越性, 但 LTCC 技术本身仍然存在收缩率控制和基板散热等问题。

(1) 收缩率问题。LTCC 存在许多涉及可靠性的难点, 基板与布线共烧时的收缩率及热膨胀系数匹配问题即是其中的一个重要挑战, 它关系到多层金属化布线的质量。LTCC 共烧时, 基板与浆料的烧结特性不匹配主要体现在三个方面: ①烧结致密化完成温度不一致; ②基板与浆料的烧结收缩率不一致; ③烧结致密化速度不匹配。这些不匹配容易导致烧成后基板表面不平整、翘曲、分层。不匹配的另一个后果是金属布线的附着力下降。

(2) 散热问题。虽然 LTCC 基板比传统的 PCB 板在散热方面已经有了很大的改进, 但由于集成度高、层数多、器件工作功率密度高, LTCC 基板的散热仍是一个关键问题, 成为影响系统工作稳定性的决定因素之一。随着微电子技术的进步, 器件工作能量密度越来越高, 如何把热量及时有效地散发出去, 保障器件的稳定工作, 是封装所面临的艰巨挑战。采用高导热率的材料及新型的封装设计是提高封装部件散热效率的常用方法。但对 LTCC 来说, 其明显的不足之处就是基片的导热率低 ($2\sim6\text{W/m} \cdot \text{K}$), 远低于 AlN 基片的导热率 ($\geq 100\text{W/m} \cdot \text{K}$), 比 Al_2O_3 基片的导热率 ($15\sim25\text{W/m} \cdot \text{K}$) 也低了不少。这限制了 LTCC 在大型、高性能计算系统中的应用。

6.2 LTCC 技术未来展望

目前, 尽管 LTCC 技术为多层线路设计带来了巨大的灵活性, 但有些相关技术尚未成熟或待开发, 也缺乏使用 LTCC 设计线路的技术标准。业已成熟或即将发展的有关 LTCC 关键技术如下:

(1) 高电导率介质浆料: 用以实现高容量。如 Cu 布线技术一直是发达国家重点研究项目之一, 现在一般采用的是 Ag 进行金属化。

(2) 内埋无源元件: 目前, 电阻和电容已经能够内埋于 LTCC 基板中, 但是对于电感的内埋仍有一些问题。

(3) 内埋有源元件: 借助该技术可集成那些无需共烧在 LTCC 基板的有源元件或芯片, 加工出一种带有空腔的 LTCC 载体或基板, 装入芯片, 加盖并焊接后封闭箱体。

(4) 顶底球形阵列: 通过安装组成高性能器件, 并带有许多有源器件。

(5) 零收缩率: 由于在烧结过程中 LTCC 生瓷带的不均匀收缩, 限制了导体印刷的线宽和线间距。零收缩率生瓷带将带来性能更卓著的多层线路结构。

(6) 高热传导率: 随着多层芯片线路集成度的提高, LTCC 的 $2.0\sim2.5\text{W/m}$ 热传导率已经不能满足数瓦级大功率散热的多芯片模块设计的要求, 开发基于 LTCC 大功率散热材料及技术势在必行。

(7) 砖箱系统: 它由 LTCC 材质的部件(载体或盖子)组成。这些部件可通过焊接联在一起, 组成一个完整的箱体, 各部件上都带有(电气、光学、液体)孔连接结构和接口, 用以连接被安装的芯片。

相信随着上述技术的不断成熟, 基板收缩率控制和散热问题得到逐步解决, LTCC 技术将会在各个领域得到越来越广泛的应用。

参考文献:

- [1] Sutono A, Apham A, Laskar J. [A]. Proc Elect Perf Electron Packag[C]. 1998. 83-86.
- [2] Albert Sutono, Anh-Vu H Pham, William R Smith. [J]. IEEE Trans Adv Pack, 1999. 326-331.
- [3] Sarmad Al-Taei, David Haigh, George Passiopoulos. [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2001. 43-46.
- [4] Scramton C Q, Lawson J C[A]. IEEE Int Microwave Symp Dig[C], 1998. 193-200.
- [5] Brown R L, Polinski P W. [J]. Int J Microcirc Electron Packag, 1993. 328-338.
- [6] Fathy A, et al. [A]. Proc IEEE Int Microwave Symp[C]. 1998. 1281-1284.

(下转 22 页)

能要求越来越高,提高锰锌铁氧体的性能是一个复杂的系统工程。一般来讲,锰锌铁氧体中各种化学成分比例的调整、各种添加剂的掺杂、制备过程工艺参数的优化及新型专用生产设备的开发等对提高锰锌铁氧体的性能都起着重要作用。在诸多提高材料磁性能的方法中,化学掺杂不失为一种行之有效的方法。掺杂元素的筛选、掺杂方式方法的研究、掺杂量的确定、掺杂物作用机理的探索及化学掺杂对材料微观结构与性能的影响等,这些问题有待进一步研究;而掺杂物作用机理及性能与其微观结构关系的进一步研究与探索显得更为迫切又具有重要意义。

参考文献:

- [1] 曲远方. 功能陶瓷及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 王长振, 谭维, 周甘宇, 等. [J]. 中国锰业, 2002, 20(3): 37-40.
- [3] 古映莹, 谭小平, 桑商斌, 等. [J]. 中南工业大学学报(自然科学版), 2001, 33(4): 364-366.
- [4] Arulmurugan R, Jeyadevanb B, Vaidyanathana G, et al. [J]. J Magn Magn Mater, 2005, 288: 470-477.
- [5] 大森丰明(刘代琦, 梁宇青译). 磁性材料手册[M]. 1985.
- [6] 周志刚. 铁氧体磁性材料[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [7] 陈敬中. 现代晶体化学—理论与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [8] 余忠, 兰中文, 王京梅. [J]. 材料研究学报, 2004, 18(2): 176-180.
- [9] 马如璋. 功能材料学概论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.
- [10] Rao A D P, Ramesh B, Rao P R M, et al. [J]. J Alloys and Compds. 1999, 282: 268-273.
- [11] 谭小平, 古映莹, 梁叔全, 等. [J]. 磁性材料及器件. 2004, 35(2): 20-21.
- [12] Fan J, Sale F R. [J]. J Euro Cera Soci, 2000, 20: 2743-2751.
- [13] 冯则坤, 李海华, 何华辉. [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 79-81.
- [14] Tatsuji Aoyama, Sinsuke Enomoto, Masaru Yoshinaka, et al. [J]. J Mater Sci Lett, 1999, 18: 497-499.
- [15] 郭秀盈, 颜秀茹, 崔晓亮, 等. [J]. 无机化学学报, 2004, 20(8): 910-914.
- [16] Sattar A A, Samy A M, El-ezza R S, et al. [J]. Phys Stat Sol (a), 2002, 193(1): 86-93.
- [17] Sung Park. [J]. Phys Stat Sol (c)1, 2004, (12): 3619-3622.
- [18] Nie J H, Li H H, Feng Z K, et al. [J]. J Magn Magn Mater, 2003, 265: 172-175.
- [19] Andrej Zndiansic, Miha Profen. [J]. J Am Cera Soc. 1998, 82(2):359.
- [20] Liu C S, Wu J M, Tsay M J, et al. [J]. IEEE Trans Magn, 1996, 32(5): 4860-4862.
- [21] Akashi T. Precipitation in grain boundaries of ferrites and their electrical resistivity[R]. Part 1 NEC Research & Development. 1966, 8, 89.
- [22] 聂建华, 李海华, 冯则坤, 等. [J]. 磁性材料及器件, 2003, 34(3): 14-16.
- [23] Hideaki Inaba, Teruyoshi Abe, Yoko Kitano, et al. [J]. Journal of Solid State Chemistry, 1996, 121: 117-128.
- [24] Su-Li Pyun. [J]. Am Ceram Soc Bull, 1985, 64(4):585-588.
- [25] Rao A D P, Rao P R M, Raju S B, et al. [J]. Mater Chem Phys. 2000, 65: 90-96.
- [26] Ravinder D, Suresh K. [J]. Mater Lett, 2000, 44: 253-255.
- [27] Ravinder D, Kumar B R. [J]. Mater Lett, 2003, 57: 1738-1742.
- [28] Ravinder D, Kumar B R. [J]. Mater Chem Phys. 2003, 82: 321-326.

作者简介: 席国喜 (1959-), 男, 教授, 博士, 主要从事无机材料的研究。

88-99.

- [10] Albert Sutono, Deukhyoun Heo, Yi-Jan Emery Chen. [J]. IEEE Trans Microwave Theory and Techniques, 2001, 1715-1723.

作者简介: 曾志毅 (1962-), 男, 硕士, 主要从事低温共烧陶瓷技术方面的研究, 现工作于电子科技大学科技处。

- [71] 程琼, 彭图治, 刘爱丽. [J]. 化学学报, 2004, 62(24): 2447-2450.

- [72] Millen R L, Kawaguchi T, Granger M C, et al. [J]. Anal. Chem, 2005, 77(20): 6581-6587.

作者简介: 贺全国 (1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事纳米材料与生物传感等方面研究。

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

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，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 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。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…



课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出, 是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装, 所有课程都由经验丰富的专家授课, 视频教学, 可以帮助您从零开始, 全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装, 还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



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, 可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线, 让天线设计不再难…

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

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授, 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>