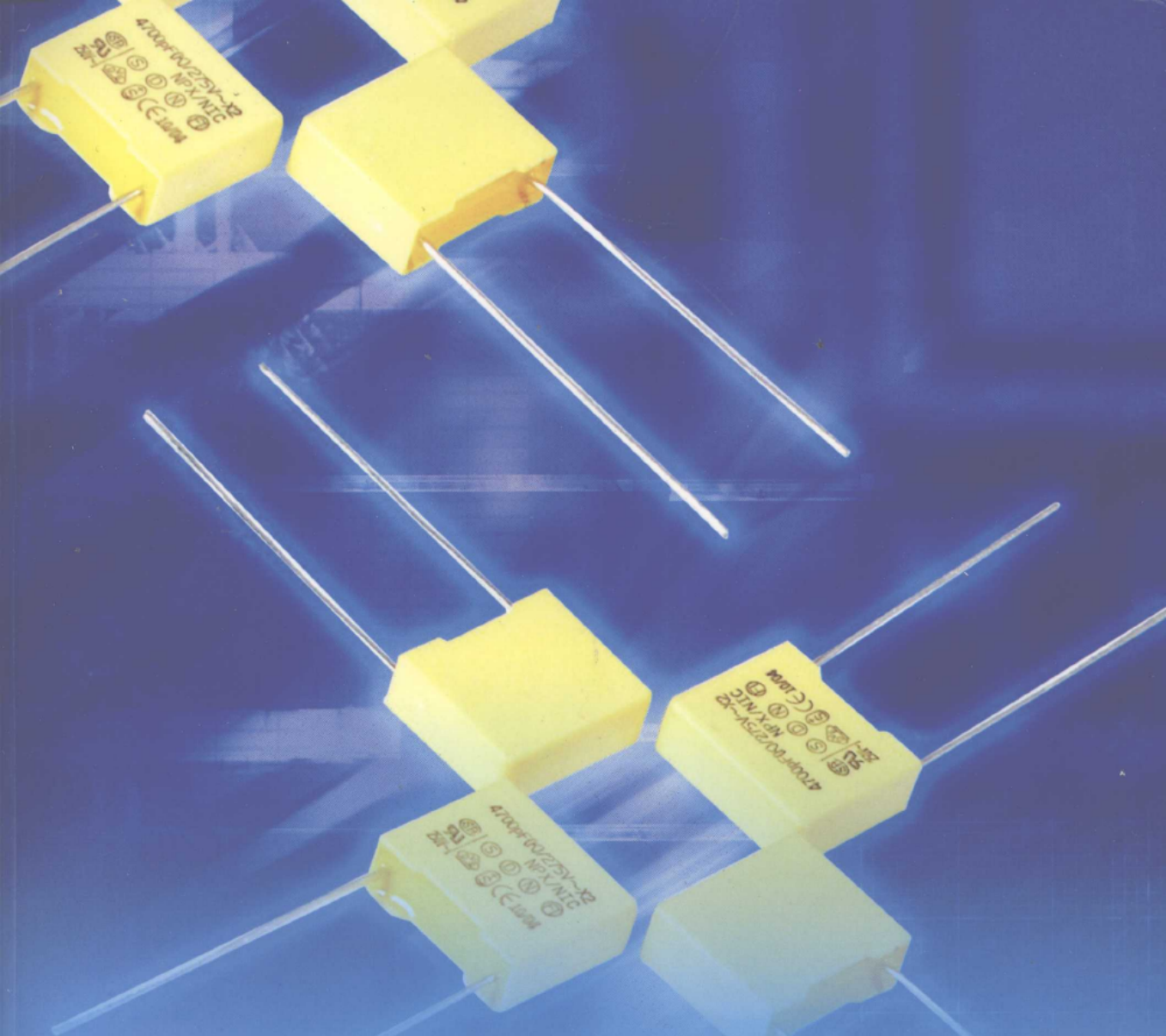




梁力平 赖永雄 李基森◎编著

片式叠层陶瓷电容器

MLCC的制造与材料



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS



片式叠层陶瓷电容器 MLCC 的制造与材料

责任编辑：王泉巍

责任校对：周明恩 曾红明

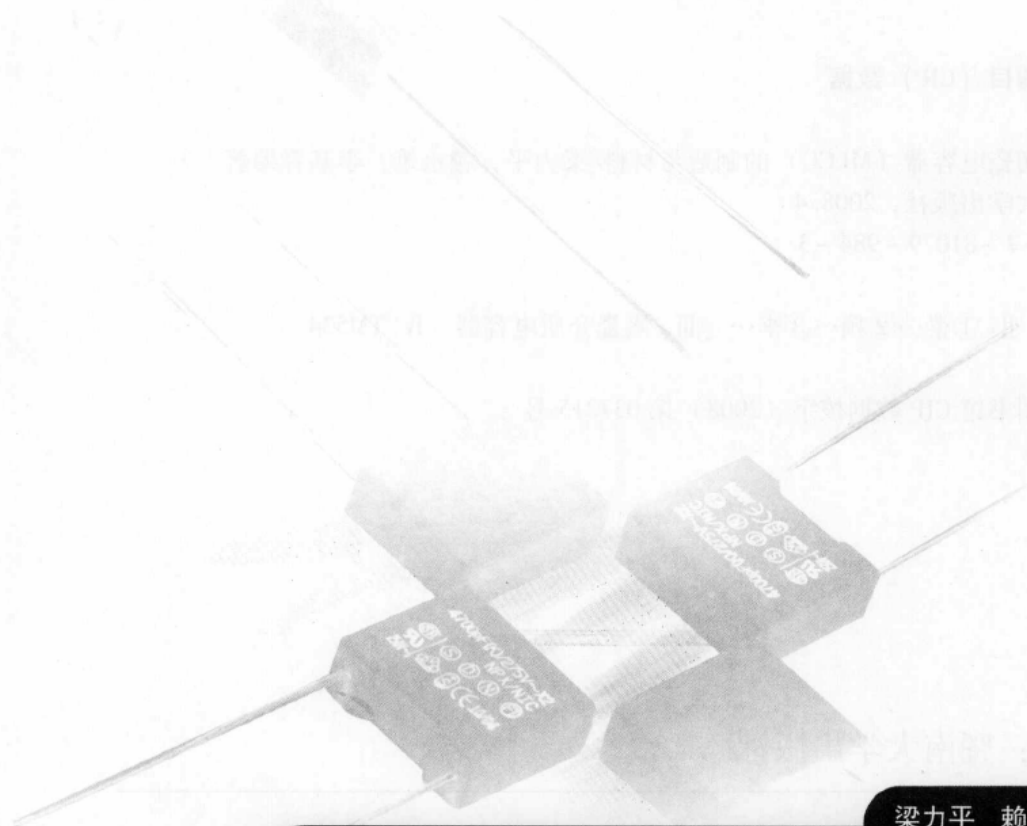
封面设计：[传欣] 设计

ISBN 978-7-81079-984-3



9 787810 799843 >

定价：60.00元



梁力平 赖永雄 李基森◎编著

片式叠层陶瓷电容器

MLCC的制造与材料



暨南大学出版社

JINAN UNIVERSITY PRESS

中国·广州

图书在版编目 (CIP) 数据

片式叠层陶瓷电容器 (MLCC) 的制造与材料/梁力平, 赖永雄, 李基森编著.
广州: 暨南大学出版社, 2008. 4
ISBN 978 - 7 - 81079 - 984 - 3

I. 片… II. ①梁…②赖…③李… III. 陶瓷介质电容器 IV. TM534

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 037215 号

出版发行: 暨南大学出版社

地 址: 中国广州暨南大学

电 话: 总编室 (8620) 85221601

营销部 (8620) 85225284 85228291 85220693 (邮购)

传 真: (8620) 85221583 (办公室) 85223774 (营销部)

邮 编: 510630

网 址: <http://www.jnupress.com> <http://press.jnu.edu.cn>

排 版: 暨南大学出版社照排中心

印 刷: 广东省农垦总局印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 27.5

字 数: 668 千

版 次: 2008 年 4 月第 1 版

印 次: 2008 年 4 月第 1 次

定 价: 60.00 元

(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社总编室联系调换)

前言

电子材料与元器件是各种电子整机设备的基础，是现代科学技术的一个先行领域。电子元件通常分为有源元件（主动元件）与无源元件（被动元件）两大类。有源元件通常包括真空电子器件，固态电子器件和集成电路等。无源元件泛指电容器、电阻器、电感器三者。各种需要使用电力来驱动的产品，皆需要这三类无源元件来实现电子回路的控制功能，其应用范围极广，涉及3C产业及其他工业领域。产品的电子化程度越高，对于此三者的依赖程度就越大。随着电子电路集成化、小型化的发展，具有小型化特点的贴片式元件的应用也越发广泛。片式叠层陶瓷电容器（MLCC）作为贴片元件的一个重要成员，在此过程中得到了长足的发展。

广东风华公司自1985年8月从国外引进一条完整的片式叠层陶瓷电容器生产线，形成年产1亿只电容器的生产规模后，1995年再次引进生产设备，达到年产100亿只的生产能力，在2000年又引进全自动生产线，目前已经具备了年产600亿只的生产能力。

当前电子整机的发展迅速，对片式电容器的小型化、高比容、低成本、高可靠性等提出了严格的要求，由于陶瓷材料、内电极金属材料的成本不断攀升，电子元件的利润急剧下降。2000年，由于国际市场钯价的急剧上涨，传统的采用贵金属体系MLCC的生产厂商已经出现亏损现象。因此，推进Ni/Cu取代Pd/Ag作为内外电极成为MLCC的一个重要发展阶段。由于Ni、Cu金属烧结必须在还原性的保护气氛下进行，因此采用Ni/Cu取代的工作是一个系统工作，包括材料、设备、工艺等都必须做出相应的调整。20世纪60年代，国外就提出贱金属体系MLCC的思路，但一直到90年代初期，日本厂商才开始逐步实现量产。从开发到产业化走了几十年的道路，技术难度可想而知，该技术的丰厚利润也造成了技术上的严格封锁。风华公司于2001年组建了技术攻关小组，独立自主，自行研发摸索，经过短短一年半的时间，就解决了抗还原陶瓷材料、气氛保护烧成设备、分段气氛保护烧结工艺、表面处理工艺技术等一系列技术难题，并在2002年底产品研发成功并开始量产，MLCC制造水平上了新台阶。但是，与国外同行相比，国内的MLCC制造技术仍然存在差距。据报道，目前日本村田、京瓷等已经完成0603规格（1.6mm×0.8mm×0.8mm）X5R特性10μF容量产品的量产，介质厚度达到1.0μm，叠层数达到500层，可以说代表了目前MLCC制造技术的最高水平。而目前国内量产MLCC最薄介质才3~4μm，叠层数仅达到200层，与国外差距明显。

风华公司在20多年的MLCC生产和研究过程中，边生产边学习，积累了一些经验，编制了大量的工艺文件、培训材料。为了MLCC行业的快速发展，我们总结了这些经验、教训和材料，编著了本书。其目的是一方面可为员工提供一个系统的培训教材，另

一方面希望能为同行提供一些参考。本书对 MLCC 制造工艺技术、设备、相关材料的研究进行了比较系统的阐述,内容包括陶瓷介质薄膜制作、MLCC 内外电极的制作、MLCC 芯片成型、MLCC 性能评价以及 MLCC 的制造材料等等。但限于水平和经验,本书肯定存在许多不足之处,殷切希望同行、读者积极提出宝贵的意见,共同为 MLCC 制造水平的不断提高而努力。

本书由多年从事 MLCC 的制造与材料的生产和研究技术人员编写而成,其中梁力平、李基森负责编写第一章,齐坤、卢艺森负责编写第二章,黄必相负责编写第三章,赖永雄、黎清乐负责编写第四、五章,肖培义、陈红梅负责编写第六、七、八章,张尹、田述仁负责编写第九章,付振晓、宋永生负责编写第十章,孟淑媛、吴海斌、安艳、江志坚、罗文忠、梁朝霞、陈伟等负责编写第十一章,李基森、陈玫、娄红涛负责编写第十二、十三、十四章,李江竹、杨利娟等编辑附录部分。全书由李基森、娄红涛、唐浩负责整理和编排,梁力平、赖永雄、李基森审定。本书的编写过程中,得到了风华公司领导的热情支持,得到刘会冲、冯超球、祝忠勇、钟建薇、刘展华等同志的热情指导与帮助,在此一并感谢。

编著者

2008 年 2 月 25 日

目 录

前言	(1)
----------	-----

第一部分 MLCC 的制造工艺

第 1 章 概论	(1)
----------------	-----

1.1 MLCC 简介	(1)
-------------------	-----

1.1.1 MLCC 基本情况	(1)
-----------------------	-----

1.1.2 MLCC 的发展历史	(2)
------------------------	-----

1.2 MLCC 产品结构及制作流程	(3)
--------------------------	-----

1.3 MLCC 分类	(5)
-------------------	-----

1.3.1 按照温度特性分类	(5)
----------------------	-----

1.3.2 按照尺寸分类	(6)
--------------------	-----

1.3.3 按照额定工作电压分类	(6)
------------------------	-----

1.4 MLCC 的发展趋势	(6)
----------------------	-----

第 2 章 陶瓷介质薄膜制作	(9)
----------------------	-----

2.1 配料	(9)
--------------	-----

2.1.1 瓷浆中各种组分的作用	(9)
------------------------	-----

2.1.2 配料过程中需要注意的几个关键点	(12)
-----------------------------	------

2.1.3 普通分散设备的工作原理	(12)
-------------------------	------

2.1.4 锆球运动的两种状态	(12)
-----------------------	------

2.1.5 球磨罐装料量与填充率	(13)
------------------------	------

2.1.6 锆球大小、密度与浆料的关系	(13)
---------------------------	------

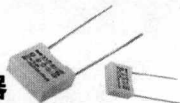
2.1.7 分散设备转速	(13)
--------------------	------

2.1.8 分散设备种类	(13)
--------------------	------

2.2 流延	(14)
--------------	------

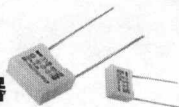
2.2.1 流延操作流程	(14)
--------------------	------

2.2.2 流延设备简介	(14)
--------------------	------



2.2.3 流延膜片质量控制	(16)
第3章 内电极制作	(20)
3.1 半自动化丝印	(20)
3.1.1 半自动化内电极印刷前的准备工作	(21)
3.1.2 半自动化丝印的优缺点	(22)
3.1.3 半自动化丝印易出现的质量问题	(23)
3.1.4 半自动化丝印关键的质量控制点	(25)
3.1.5 半自动化丝印添加电极图形浆料的方法	(25)
3.1.6 半自动化丝印电极图形的烘干方法	(25)
3.1.7 半自动化丝印丝网的使用方法	(27)
3.2 全自动化丝印	(28)
3.2.1 全自动化丝印简介	(28)
3.2.2 全自动化丝印机设备常见的质量问题、原因和措施	(29)
3.2.3 全自动化丝印的关键控制点	(30)
3.2.4 陶瓷介质印刷过程常见问题	(30)
3.2.5 全自动化丝印添加内电极浆料的方法	(31)
3.2.6 全自动化丝印电极图形的烘干方法	(31)
3.3 叠层	(31)
3.3.1 半自动叠层	(32)
3.3.2 全自动叠层	(34)
第4章 电容芯片制作	(38)
4.1 层压	(38)
4.1.1 概述	(38)
4.1.2 层压的目的	(38)
4.1.3 操作流程	(38)
4.1.4 关键控制点	(39)
4.2 切割	(40)
4.2.1 概述	(40)
4.2.2 工艺流程图	(43)
4.2.3 主要切割控制参数	(43)
第5章 烧结成瓷	(44)
5.1 排胶	(44)
5.1.1 概述	(44)
5.1.2 工艺流程	(45)
5.1.3 工艺要点	(46)
5.1.4 排胶常见质量问题	(47)

5.2 烧成	(48)
5.2.1 概述	(48)
5.2.2 镍电极 MLCC 烧成工艺流程	(51)
5.2.3 工艺要点	(51)
5.2.4 Ni/Cu 电极 MLCC 烧成工艺的影响	(53)
5.2.5 烧成常见外观质量问题	(57)
5.2.6 烧成常见电气性能质量问题	(58)
5.3 倒角	(59)
5.3.1 概述	(59)
5.3.2 倒角流程图	(59)
5.3.3 主要设备及辅助材料	(60)
5.3.4 关键的质量控制点	(61)
第 6 章 外电极制作	(63)
6.1 封端	(63)
6.1.1 主要设备	(63)
6.1.2 关键质量控制点	(67)
6.1.3 封端常见质量问题分析及解决方法	(69)
6.2 烧端	(70)
6.2.1 银端电极的烧结技术	(71)
6.2.2 铜端电极的烧结技术	(73)
6.3 电镀	(79)
6.3.1 原理	(79)
6.3.2 电镀生产流程图	(79)
6.3.3 电镀工艺过程	(79)
6.3.4 主要设备以及要求	(82)
6.3.5 质量控制关键点	(83)
6.3.6 甲基磺酸镀锡体系中工艺条件对锡镀层性能的影响	(84)
6.3.7 常见的质量问题及处理方法	(89)
第 7 章 分选、测试、包装	(91)
7.1 分选、测试	(91)
7.1.1 外观分选	(91)
7.1.2 电性能测试分选	(92)
7.2 包装	(95)
7.2.1 编带包装	(96)
7.2.2 散包装	(98)

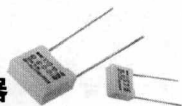


第 8 章 MLCC 产品的设计	(99)
8.1 材料选择	(99)
8.1.1 瓷粉的选择	(99)
8.1.2 内浆的选择	(100)
8.1.3 端浆的选择	(101)
8.2 丝网设计选择	(101)
8.2.1 产品本身的不同要求	(101)
第 9 章 MLCC 性能评价	(104)
9.1 原材料控制	(104)
9.1.1 瓷粉	(105)
9.1.2 内浆	(109)
9.1.3 端浆	(111)
9.2 过程控制(PQC)	(113)
9.2.1 瓷浆制备	(116)
9.2.2 流延	(117)
9.2.3 丝网叠印	(117)
9.2.4 层压	(118)
9.2.5 切割	(118)
9.2.6 排胶	(119)
9.2.7 烧成/倒角	(119)
9.2.8 封端/烧端	(119)
9.2.9 电镀	(121)
9.3 瓷介分类	(121)
9.3.1 第 I 类瓷介	(122)
9.3.2 第 II 类瓷介	(122)
9.4 MLCC 的检验试验	(123)
9.4.1 MLCC 的外观检查	(123)
9.4.2 电容器的尺寸测量	(126)
9.4.3 电容器的电性能检测	(127)
9.4.4 内部结构分析(DPA)	(135)
9.4.5 电容器的可靠性试验	(137)
9.5 MLCC 失效模式分析	(150)
9.5.1 电性能失效	(150)
9.5.2 外观失效模式分析	(152)
9.5.3 尺寸失效	(154)
9.5.4 内部缺陷失效模式分析	(155)
9.5.5 安装 MLCC 的注意事项	(155)

9.6 MLCC 制造过程中的环保问题	(162)
9.6.1 背景	(162)
9.6.2 业界情况	(163)

第二部分 MLCC 的制造材料

第 10 章 陶瓷介质材料	(165)
10.1 概论	(165)
10.1.1 MLCC 用陶瓷材料的分类和特点	(165)
10.1.2 陶瓷材料常用的分析法	(166)
10.1.3 MLCC 用陶瓷材料发展动态	(167)
10.2 介电性能	(167)
10.2.1 介质的极化	(168)
10.2.2 介质损耗	(172)
10.2.3 介电强度	(178)
10.2.4 铁电性	(182)
10.3 粉体制备技术	(189)
10.3.1 工艺流程及粉体性质	(189)
10.3.2 粉体配方及粉体预处理	(190)
10.3.3 粉体制备方法	(191)
10.4 陶瓷介质材料	(192)
10.4.1 高频 I 型瓷料	(192)
10.4.2 低频 II 型瓷料	(196)
10.4.3 超低温烧结材料	(197)
10.5 镍电极 MLCC 用陶瓷介质材料	(199)
10.5.1 钛酸钡基镍电极瓷料	(199)
10.5.2 其他镍电极瓷料	(202)
第 11 章 MLCC 的电子浆料	(203)
11.1 电子浆料概论	(203)
11.2 电子浆料相关理论	(204)
11.2.1 流变学理论	(204)
11.2.2 几类流体的特性	(208)
11.3 金属粉	(212)
11.3.1 电容器用电子浆料对金属粉的要求	(212)
11.3.2 超细金属粉的制备方法	(213)



11.3.3	超细金属粉体的表征	(219)
11.3.4	超细金属粉体发展趋势	(221)
11.4	电子玻璃	(221)
11.4.1	无机黏结相	(221)
11.4.2	玻璃性能的影响	(223)
11.4.3	端浆缺陷与无机黏结相	(224)
11.4.4	玻璃粉制备与使用	(228)
11.5	有机载体	(228)
11.5.1	有机载体简述	(228)
11.5.2	高分子树脂	(230)
11.5.3	溶剂	(233)
11.6	电子浆料制作	(236)
11.6.1	电子浆料制作工艺	(236)
11.6.2	金属粉的评价方法	(238)
11.6.3	MLCC 用浆料的评价方法	(243)
11.7	电子浆料具体实例	(245)
11.7.1	MLCC 用可镀银端浆	(245)
11.7.2	贱金属电容器用铜端浆	(247)
11.7.3	银钯内电极浆料	(250)
11.7.4	MLCC 用镍内电极浆料	(253)
第 12 章	黏合剂	(255)
12.1	概述	(255)
12.1.1	黏合剂的组成	(255)
12.1.2	黏合剂应具有的基本性能	(255)
12.1.3	黏合剂的分类	(256)
12.1.4	黏合接头	(256)
12.1.5	黏合力	(257)
12.1.6	黏合理论	(258)
12.1.7	如何正确选择黏合剂	(259)
12.1.8	黏合工艺	(259)
12.2	制造 MLCC 用的黏合剂	(260)
12.2.1	聚乙烯醇缩丁醛树脂(PVB)	(260)
12.2.2	溶剂型 MLCC 黏合剂	(262)
12.2.3	水基型黏合剂	(267)
12.3	黏合剂的配制	(270)
12.3.1	溶剂型黏合剂的配制	(270)
12.3.2	水基型黏合剂的配制	(270)

第 13 章 三层镀电镀材料	(271)
13.1 电镀溶液中主要成分和作用	(271)
13.2 三层镀的材料	(273)
13.2.1 表面处理材料	(273)
13.2.2 镀镍材料	(274)
13.2.3 镀锡铅合金材料	(276)
13.3 无铅可焊镀层	(278)
13.3.1 无铅可焊镀层	(278)
13.3.2 无铅焊料	(279)
第 14 章 其他材料	(281)
14.1 溶剂	(281)
14.2 电子元件整理剂	(282)
14.3 铜端电极非电镀可焊技术材料	(283)
附录	(284)
附录一 MLCC 制造类主要中国专利技术汇编	(285)
附录二 MLCC 制造类主要国外专利技术汇编	(289)
附录三 MLCC 制造类主要中国文献索引	(358)
附录四 MLCC 材料类主要中国专利技术汇编	(362)
附录五 MLCC 材料类主要国外专利技术汇编	(368)
附录六 MLCC 材料类主要中国文献索引	(407)
附录七 广东风华公司 MLCC 主要论文集	(429)

第一部分 MLCC 的制造工艺

第 1 章 概论

电容器是一种能够存储电能的元件，是电子设备中大量使用的电子元件之一，被广泛应用于隔直、耦合、旁路、滤波、调谐回路、控制电路等方面，具有使用面广、用量大、不可取代的特点，其产量占电子元件产量的 40% 以上，产值约占电子元件产值的 10% 以上。随着电子技术的飞速发展，尤其是整机产业的发展，如以手机、平板显示、汽车电子等为代表的新型电子产品的不断涌现，给电容器的发展带来了良好的发展机遇。

电容器按照使用的介质通常可分为：有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器和空气介质电容器等。对于大量使用的小型电容器而言，主要包括以下类型：金属化纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、聚苯乙烯电容器、固体钽电容器、玻璃釉电容器、金属化涤纶电容器、聚丙烯电容器、云母电容器。相对于其他的介电材料，无机介电材料一般具有很高的耐热性和热稳定性，老化速度慢，并且具有良好的抗环境变化、耐化学性的能力，加之其资源丰富，取材容易，加工制造方便，故广泛应用于电子工业的各个领域。但无机介电材料的比重较大，性脆；抗弯曲强度虽高，但抗冲击强度较低；耐热性虽好，但耐热冲击能力较差。

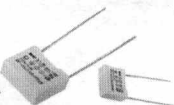
陶瓷类无机介电材料是电容器行业中使用最广泛的材料，它具有优越的电学性质、力学性质、光学性质和热学性质，特别是具有高机械强度，耐高温、高湿，抗辐射，有较宽的介电常数，优良的介电特性，良好的机电耦合系数，较高的抗电强度和较大的绝缘电阻，以及较好的老化性能。其不足是缺乏韧性、抗冲击强度低。而且比重大，这对电子元器件及设备的轻量化不利。

陶瓷电容器的一个重要部分就是片式叠层陶瓷介质电容器（Multi-layers Ceramic Capacitor，缩写为 MLCC），俗称独石电容器，本章仅对它的基本情况作一个简述。

1.1 MLCC 简介

1.1.1 MLCC 基本情况

MLCC 结构类似于并联叠片的瓷介电容器，其特点是将涂有金属电极的瓷介坯体与



电极同时烧结成一个整体,这种结构称为独石结构,故有独石电容器之称。它是电子信息产业最为核心的电子元件之一,除具有一般瓷介电容器的优点外,还具有体积小、容量大、机械强度高、耐湿性好、内感小、高频特性好、可靠性高等一系列优点,并且可制成不同容量温度系数、不同结构形式的片形、管形、穿心形及高压的小型独石电容器。各种类型独石电容器被作为外贴元件广泛地应用于混合集成电路和其他对小型化、可靠性要求高的电子设备中。其技术质量水平的高低对于一个国家的电子信息产业的制造水平有着重大的影响。纵观 MLCC 的发展历程,持续的技术创新大幅度提高了 MLCC 的技术水平,时至今日,MLCC 以其在电性能、可靠性方面的卓越表现替代了越来越多的铝电解电容器、钽电解电容器、圆片瓷介电容器的市场,已在电容器市场尽显霸主风采。目前全世界 MLCC 的年销售量已达 10 000 亿只左右,国内需求量已经达到 3 000 亿只,产品广泛地应用于家电、手机、电脑、军工、航天等电子信息类领域。

1.1.2 MLCC 的发展历史

1. MLCC 在世界的发展

在早期的陶瓷电容器市场中,圆片陶瓷介质电容器一直是主流产品,到 20 世纪六七十年代以后,随着钽内电极和银钽合金内电极制作技术的不断完善,制作层数的不断提高,尤其是 20 世纪 80 年代表面自动贴装技术(SMT)在电子行业广泛应用以后,适合自动贴装的 MLCC 产品逐渐取代圆片陶瓷介质电容器产品成为市场主流。

20 世纪 90 年代至 21 世纪初期,是 MLCC 行业大发展的时期。在这期间,MLCC 行业掀起了一次技术方面的革命,通过材料、设备、制作工艺方面的开发,成功地实现了镍内电极取代钽内电极和银钽合金内电极,使 MLCC 产品制作成本下降 70% 以上,同时在小型化、高容量方面进展飞速。在小型化方面,由 20 世纪 90 年代初的 1206 规格、中期的 0805 规格、晚期的 0603 规格,到 21 世纪初的 0402 规格、0201 规格以及 2005 年后的 01005 规格,MLCC 行业在小型化方面几乎每隔 2~3 年便出现一个新的规格。在高容量 MLCC 开发方面,不断追求更薄介质与更高设计层数,使得 MLCC 行业在近 10 年来不断推出更大容量的产品,如目前世界最新技术制作的介质厚度达到 1 微米,设计层数达 1 000 层以上,可以采用 0402 规格,制作出 1 μ F 容量、X5R 温度特性的产品,以及采用 0603 规格制作出 10 μ F 容量、X5R 温度特性的产品。这些产品的成功开发是依靠 MLCC 制作材料、设备以及工艺技术方面的持续技术创新,这些数字的背后折射出整个行业对于技术创新的不懈追求。

2. MLCC 在中国的发展

20 世纪 80 年代中前期中国电容器产业的片式化率几乎为零,仅有少量多层陶瓷电容器半成品芯片以手工方式贴装于厚薄膜混合集成电路基板。在传统引线电容器中,电解电容器、陶瓷电容器、有机薄膜电容器三分天下,当时铝电解电容器和单层圆片形陶瓷电容器占绝对优势,钽电解电容器和 MLCC 寥寥无几。

80 年代初,第一个完全采用 SMT 技术的终端产品为彩电调谐器,日本进口的 MLCC 牢牢占据了这一市场。时至今日,随着国际 IT、AV 与通信终端产品制造商纷纷落户中国,全面促进了包括 MLCC 在内的新型片式元件等上游产业的国际化趋势,同时,中国本土 MLCC 制造商的实力也在严酷的国际化竞争中得到全方位提升。

MLCC 的发展历程可分为如下四个阶段：

第一阶段：20 世纪 80 年代中期，原电子工业部下属 715 厂、798 厂以及若干省市直属企业先后从美国引进 13 条 MLCC 生产线，标志着中国 MLCC 生产核心技术从早期的轧膜成型工艺过渡到现代陶瓷介质薄膜流延工艺，在产品小型化和高可靠性方面取得实质性突破，并于 1987 年成立了以引进生产线为组成单位的 MLCC 行业联合体。其中有代表性的是 1985 年风华公司率先从美国引进了具有当时国际领先水平的年产 1 亿只片式多层陶瓷电容器生产线和技术，吹响了中国片式多层陶瓷电容器追赶世界先进水平的号角，大大缩短了中国新型电子元器件与国外发达国家的差距，为中国新型电子元器件产业的发展打下了基础。

第二阶段：20 世纪 90 年代前期，以上述企业与后续进入的达利凯、特威等外资企业间相互兼并整合，以及风华集团（风华公司）的脱颖而出为标志。1994 年，风华集团（风华公司）攻克 MLCC 低温烧结高性能 Y5V 瓷料这一国际性技术难关，产品总体性能指标达到世界先进水平，不仅填补了国内空白，而且产品以其高介、低烧、高可靠性及低成本等独特优势打入国际市场，结束了中国电子陶瓷材料长期依靠进口的局面。在这期间，三层端电极电镀工艺的突破，实现了引线式叠层陶瓷电容器向完全表面贴装化的 MLCC 的过渡。

第三阶段：20 世纪 90 年代中后期，日资大型 MLCC 制造企业全面抢滩中国市场，先后建立了北京村田、上海京瓷、东莞太阳诱电等合资与独资企业。另外，以天津三星电机为代表的韩资企业也开始成为一支新型力量。在这期间，克服了困扰十余年的可靠性缺陷，以贱金属电极（BME）核心技术为基础的低成本 MLCC 开始进入商业实用化阶段。

第四阶段：在新旧世纪相交之际，飞利浦在产业顶峰放弃并出让了被动元件事业部，中国台湾地区 MLCC 业全面普及 BME 技术。国巨、华新、达方、天扬等台资企业的全面崛起，彻底打破了日资企业在 BME 制造技术的垄断，高性价比 MLCC 为 IT 与 AV 产业的技术升级和低成本化作出了重大贡献。同时，台湾企业无一例外地开始将从后至前的各道工序制程不断向祖国大陆工厂转移。

与此同时，风华、宇阳及三环这三家国内元器件企业集团也相继完成了 BME-MLCC 的技术改造和产业化，成为 MLCC 主流产品本地化制造供应源。它们与内地企业兼并改制后保留的军工及非标特殊品种供应点共同构成了国内 MLCC 产业界的新格局。

1.2 MLCC 产品结构及制作流程

MLCC 是由陶瓷介质和金属电极交互叠层构成的多层瓷介电容器（见图 1-1）。其中交替又不相连的内电极分别与两端的外电极相连形成多个电容器的并联结构。早期的金属电极由贵金属银、铂和钯等构成，在 20 世纪末全世界开始采用贱金属镍、铜取代银、钯，大大降低了 MLCC 的成本。

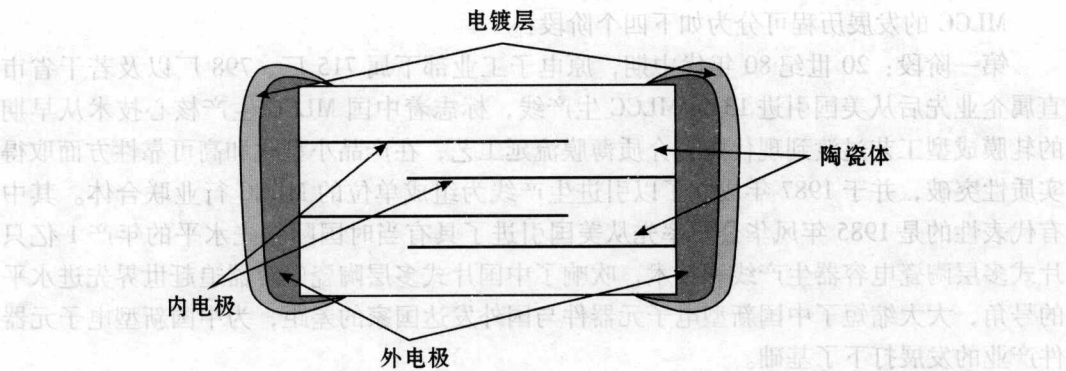


图 1-1 MLCC 结构示意图

从 MLCC 的构造来看，似乎 MLCC 的制造很简单，但是实际制造过程很复杂，制造步骤很长、难度很大。

MLCC 产品的制作主要包括陶瓷介质薄膜成型、内电极制作、电容芯片制作、烧结成瓷、外电极制作、性能测试、包装发货等工序。工艺制作流程如图 1-2 所示。

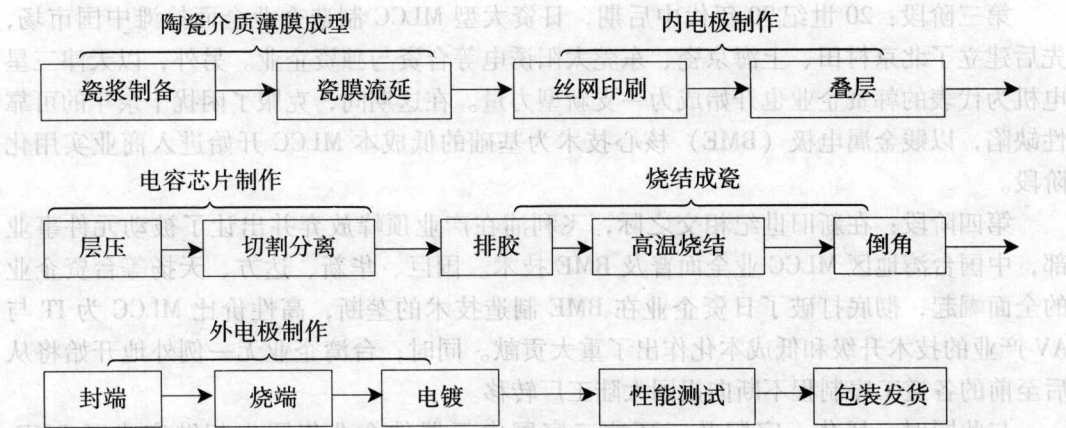


图 1-2 MLCC 制造工艺工序图

MLCC 产品主要电性能指标有容量、损耗、绝缘电阻、耐电压四个参数。其中对于容量方面，需要满足相应的容量误差级别，具体误差级别对应的容量误差范围见表 1-1。

表 1-1 误差级别对应的容量误差范围

代码	B	C	D	F	G	J	K	M	S	Z
误差	$\pm 0.10\text{pF}$	$\pm 0.25\text{pF}$	$\pm 0.5\text{pF}$	$\pm 1.0\%$	$\pm 2.0\%$	$\pm 5.0\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	+50% -20%	+80% -20%

备注：B、C、D 级误差适用于容量小于等于 10pF 的产品。