

文章编号:1673-9981(2019)01-0071-04

绕线片式电感表面金属化研究进展*

李洪¹, 林松盛¹, 石倩¹, 韦春贝¹, 崔骏², 蔡畅², 黄裕坤²

1. 广东省新材料研究所, 现代材料表面工程技术国家工程实验室, 广东省现代表面工程技术重点实验室, 广东 广州 510650; 2. 中山国磁真空技术有限公司, 广东 中山 528445



摘要:随着信息通信技术快速发展, 绕线片式电感在3C电子行业、智能装备、航空航天、汽车能源等领域的市场需求量迅速增长, 同时朝着小型化方向发展. 金属化作为绕线片式电感制造过程中关键工序, 其质量直接影响到电感的性能. 本文针对绕线片式电感表面金属化这一关键工艺过程, 介绍了国内外的相关研究进展, 为绕线片式电感持续发展提供一定的信息支撑.

关键词:绕线片式电感; 金属化; 薄膜

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

电感作为信息通信技术电子电路中不可或缺的元器件, 其质量是该行业快速发展的重要因素. 绕线片式电感作为一种常用电感, 表面金属化是其制造过程中的核心工序, 因此绕线片式电感表面金属化是影响电感行业发展的关键工艺. 本文将从电感出发, 重点介绍绕线片式电感表面金属化工艺在国内外外的研究现状, 为电感行业发展提供一定的信息支撑.

1 电感行业现状

随着信息通信技术行业的迅速发展, 2018年集成电路产业规模超过5000亿元, 电子专用设备产业规模超过6000亿元, 物联网产业规模更是超过1万亿元, 电感的需求量也随之大幅增长, 并朝着微型化的方向发展^[1]. 铁氧体片式电感的电感值大且损耗小, 在3C行业、智能装备、航空航天、汽车能源等领域应用广泛^[2]. 常用的铁氧体片式电感可分为叠层片式电感和绕线片式电感. 叠层片式电感是采用多层印刷技术和叠层生产工艺制作而成, 具有良好的磁屏蔽性、烧结密度高、机械强度高、耐热性好、可焊

性好和形状规则等优点, 但产品合格率较低、成本高、电感量小、损耗大(Q值小)、ESR值小. 绕线片式电感是采用将线圈焊接到软磁材料表面的方法制作而成, 具有电感量范围广、电感精度高、损耗低、线圈紧凑、电感量大、损耗小(Q值高)及容许电流大等优点, 在电子元器件行业得到广泛应用^[3]. 在制备绕线片式电感的过程中, 首先需要对铁氧体陶瓷两端进行金属化, 即在铁氧体两端镀上一层金属膜, 以便于线圈引线焊接在铁氧体上. 国内外普遍采用水电镀工艺和真空镀复合金属化薄膜制备工艺对铁氧体陶瓷进行金属化处理. 绕线片式电感表面金属化的质量直接关系到电子元器件的质量, 常出现的虚焊、电极早期脱落、钎料扩散至铁氧体致其中毒等问题都与金属化工艺有着直接的关系, 同时金属化电极与铁氧体的结合力对铁氧体的稳定性具有重要影响^[4].

2 绕线片式电感表面水电镀金属化研究进展

国内外制备绕线片式电感表面金属化薄膜的主

收稿日期: 2019-02-20

* 基金项目: 广东省科技计划项目(2017A070701027); 中山市广东省科学院技术转移专项(2017G1FC0006); 广东省科学院科技提升项目(2017GDASCX-0111); 省属科研机构(广东省工业技术研究院)创新能力建设项目(2014B070705007)

作者简介: 李洪(1987-), 男, 四川省资阳市人, 工程师, 博士, 研究方向为PVD涂层方向.

要工艺过程包括刷涂银浆-水电镀镍-高温烧结被银,水电镀镍层是金属化薄膜的焊接层,对金属化薄膜的可焊性、膜/基结合力具有重要影响. 化学镀 Ni 法是 1946 年 Brenner 和 Riddle 发现的,镀液的主要成分包括硫酸镍、次磷酸钠、柠檬酸钠和氯化氨,在 80 ~ 90℃ 下,利用柠檬酸钠的还原性在活化铁氧体表面将硫酸镍还原得到镍层. 由于镍层具有自催化能力,上述反应会自动执行,最后得到 Ni-P 金属化层. 利用化学镀制备的金属化层具有耐蚀性好、硬度高、耐磨性好、孔隙少且不需要电源的优点,但是存在膜层结合力差、抗拉强度低、原材料成本高、工艺较复杂,且沉积过程存在严重的重金属 Cr^{6+} 污染等问题,现已基本被淘汰. 电镀 Ni 是 1950 年 Brenner 等人发现的,电镀是一个化学过程,也是一种氧化还原过程. 电镀镍是将零件浸入含硫酸镍、硫酸镁、硼酸和氯化钠的溶液中作为阴极,金属镍板作为阳极,接通直流电源后,在室温条件下在零件表面就会沉积出金属镍镀层. 用电镀法制备的镍层具有结合力强、内应力小等优点,但存在样件均镀能力差、缺陷较多,且沉积过程也存在 Cr^{6+} 污染等问题^[5]. 针对化学镀及电镀 Ni 中 Cr^{6+} 污染的问题,刘海萍等人对无铅无镉电镀镍层结构及性能进行了研究,结果表明用不含铅和镉的镀液制备的镍层,其耐蚀性与传统镀镍层相当^[6]. 镀液中的 Cr^{6+} 不仅会造成污染,还会造成镀镍层减薄和镀层脆性增加. 陈永言等人^[7]介绍了一种利用还原剂处理法和碳酸铅沉淀法去除镀镍槽中 Cr^{6+} 杂质的方法. XIE Zhihui 等人研究了硫酸铵对镍沉积速率、次磷酸盐效率、镀液稳定性和化学镀镍-磷沉积物特性的影响,结果表明合适的硫酸铵最佳浓度可以减小镀镍层的晶粒尺寸,改善微观结构及耐腐蚀性^[8]. 由于银具有导电能力强、可焊性好、抗氧化性强等优点,因此银成为国内外最常见的陶瓷表面金属化最外层材料. 高温烧结被银法是应用最普遍的方法,其工艺过程是将含铅银的料浆涂布到铁氧体端面,再高温烧结. 这种工艺广泛应用于太阳能电池、压电陶瓷以及柔性电路板的制作中^[9]. 但是由于银与敏感陶瓷的机械性能不匹配,不能在陶瓷表面直接形成欧姆接触,使电极的接触电阻较大. 不含铅的银电极与陶瓷表面的结合力很弱,这使得元器件的可靠性差,寿命短;而含铅的银浆电极在制备过程中会产生严重的污染^[10-11].

目前,国内外采用水电镀镍和高温烧结被银的方法存在如下问题:一是水电镀过程中容易产生重

金属 Cr^{6+} 等污染,在全国多地电镀已被列为淘汰产业;二是高温烧结银浆的过程中,铅会大量挥发到大气中并产生重金属铅,对环境造成污染,现已受到很多国家的限制.

3 绕线片式电感表面真空镀金属化研究进展

传统绕线片式电感表面金属化制备方法因存在污染而受到限制,因此采用环保型真空镀膜技术在陶瓷表面制备金属化薄膜得到广泛关注. 真空镀膜技术主要包括真空蒸发镀、真空磁控溅射镀、真空离子镀、真空束流沉积、化学气相沉积等方法^[12-14]. 21 世纪初,日本村田、京陶公司等国际知名电子陶瓷公司采用单机式真空蒸发镀膜技术进行陶瓷表面金属化. 真空蒸发镀膜技术是一种清洁工艺,但是由于蒸发的金属原子动能较低,使金属膜层与陶瓷的结合力较差,容易造成电极早期脱落. 这种方法还存在膜层厚度不易控制、均匀度与一致性差、材料利用率较低等缺点. 真空磁控溅射镀膜技术是在真空环境中,在电场的作用下电子与氩原子发生碰撞,产生 Ar 正离子和新的电子,新电子飞向样件,Ar 正离子在电场作用下加速飞向阴极靶,并以高能量轰击靶表面,使靶材发生溅射. 在溅射粒子中,中性的靶原子或分子沉积在基片上形成薄膜. 利用磁控溅射技术制备的薄膜致密均匀、表面粗糙度小,工艺过程简单、制备过程无污染^[15],在电感表面金属化领域中得到关注,也是今后绕线片式电感表面金属化的发展方向.

在金属化薄膜结构上单层金属膜无法满足膜/基结合、焊接性能等要求,金属化复合膜一般采用过渡层-保护层-焊接层的结构. 过渡层通常是利用 Cr, Ti, Ni 等活性较高的金属可以与铁氧体陶瓷表面扩散附着基发生化学反应而形成化学键,达到机械铆和,提高金属化薄膜和铁氧体陶瓷基体之间结合力的目的^[16-17]. 对于焊接层,需要选择与焊料具有较好浸润性的涂层材料,浸润性受材料成分、表面氧化物、助焊剂、固体表面粗糙度和温度等因素的影响^[18-19]. 水电镀金属化薄膜具有 Ag 层表面张力小、导电能力强、可焊性好、抗氧化性强等优点,是真空镀金属化薄膜理想的焊接金属材料^[9]. 保护层主要用于防止金属化薄膜在焊接过程中发生熔蚀,在绕线片式电感焊接工艺过程中首先要在高温焊锡中去除锡包线,这就要求铁氧体陶瓷在超过 400℃ 环境

中承受 10 s,这一工艺过程对铁氧体金属化膜层的热稳定性提出了更高的要求^[20].具有高温稳定性、热扩散系数小的镍及其合金是较理想的保护层材料,因为纯镍是导磁材料,一般选择使用镍钒(镍中掺入 7% 钒可消除镍的磁性)^[21]或镍铜合金作为保护层材料^[22-24].通过抗熔蚀试验,发现具有一定厚度的金属化薄膜具有较高的抗熔蚀性能^[25].

近年来,众多学者针对磁控溅射镀金属化薄膜技术开展了系列研究,CEN J^[26]采用磁控溅射技术在陶瓷表面成功制备出 Cr(Ti)/NiCu/Ag 不同膜结构的金属化薄膜,该薄膜能与陶瓷基体形成良好的欧姆接触,而且具有较好的附着性和焊接性能.目前,国内的林芝电子公司和安培龙电子公司已采用上述膜层体系.金浩^[27]采用磁控溅射技术在铁氧体陶瓷表面制备出结构为 Cr(150nm)/Ni-Cu(460nm)/Ag(200nm)膜层,其平均抗拉强度可达 6.15 MPa,焊接合格率大于 98%,能在 450℃ 耐受 10 s 的高温无铅焊锡熔蚀.HAO Y^[28]利用磁控溅射技术在陶瓷表面沉积的金属镍层,发现无需热处理就可与陶瓷基体形成良好的结合力.董树荣^[29]采用磁控溅射在 PZT 高频陶瓷表面制备了 Cu/Ni/Ag 金属化薄膜,这种膜可以改善陶瓷与金属的结合,并减少反浸润发生,显著提高结合力,从而改善器件的电学性能.近年,兴勤、西门子等外资企业采用磁控溅射对陶瓷表面进行金属化,已经实现批量生产^[30].

4 结 语

随着各国环保政策的出台,针对铁氧体陶瓷表面的金属化处理,传统的水电镀和高温烧结等工艺逐渐被淘汰.采用环保型的真空磁控溅射技术制备金属化复合薄膜成为国内外学者和企业的研发重点.经过近几年的研究开发,基本固化了磁控溅射镀金属化薄膜结构,即过渡层-保护层-焊接层的结构.随着绕线片式电感的小型化发展,对薄膜的结构提出了更高的要求;对于采用磁控溅射银或银锡合金作为复合薄膜的焊接层,需要控制成本及提高贵金属银利用率等问题.

参考文献:

[1] 周志刚. 铁氧体磁性材料[M]. 北京:科学出版社,1981.
[2] 任远,刘晓燕,刘久澄,等. 电感耦合等离子体刻蚀 GaN

材料的工艺研究[J]. 材料研究与应用,2016, 10(3): 214-218.
[3] 高陇桥. 陶瓷金属材料实用封接技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
[4] AIGNER R. High performance RF-filters suitable for above IC integration: film bulk-acousticresonators (FBAR) on silicon[J]. IEEE Custom Integrated Circuits Conference, 2003,1(1):141-146.
[5] 马元远,王德苗,任高潮. 氧化铝陶瓷金属化技术的研究进展[J]. 真空电子技术,2007,270(5):41-43.
[6] 刘海萍,李宁,毕四富,等. 无铅无镉化学镀镍复合添加剂的研究[J]. 电镀与涂饰,2008,27(3):19-21.
[7] XIE Z H, YU G, HU B N, et al. Effects of (NH₄)₂SO₄ on the characteristics of the deposits and properties of an electroless Ni-P plating solution[J]. Applied Surface Science,2011,257(11):5025-031.
[8] 陈永言,彭舒. 镀镍槽中 Cr⁶⁺ 杂质的处理[J]. 电镀与涂饰, 2003,22(6):59-61.
[9] 夏庆水,李海波,曹坤. 多层共烧氮化铝陶瓷金属化工艺研究[J]. 电子与封装,2009, 9(11):34-36.
[10] 李盛涛,刘炜,刘辅宜. 线性电阻陶瓷体与烧银电极的电接触功能材料[J]. 功能材料,1998,29(1):85-88.
[11] 刘畅,乔利杰,古宏伟,等. 银电极组成对负温度系数热敏电阻电性能的影响[J]. 金属世界, 2009, S1: 38-39.
[12] 侯惠君,代明江,林松盛,等. 表面处理技术在模具上的应用[J]. 材料研究与应用,2012,6(04):219-223.
[13] 肖晓玲. 纳米多层膜的研究进展[J]. 材料研究与应用,2007,1(1):1-10.
[14] HEINEN B, WASER R. Influence of the thickness and area of NiCr/Ag electrodes on the characteristics of BaTiO₃-ceramic based positive-temperature-coefficient thermistors[J]. Journal of Materials Science, 1998, 33(18):4603-4608.
[15] 王伟. 浅析真空镀膜技术的现状及进展[J]. 科学技术创新, 2018(28):146-147.
[16] CHANEL C, GUILLEMETFRITSCH S, SARRIAS J, et al. Microstructure and electrical properties of Ni-Zn manganite ceramics[J]. International Journal of Inorganic Materials,2000,2(2-3):241-247.
[17] 郑传涛. 薄膜材料与薄膜技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2007:90-98.
[18] 沈小虎. 铁氧体耐高温磁控溅射金属化膜系及产业化关键问题的研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.
[19] 袁章福,柯家骏,李晶. 金属及合金的表面张力[M]. 北京:科学出版社,2006.
[20] HONMA H, KANEMITSU K. Electroless nickel plating on

alumina ceramics [J]. Plating and Surface Finishing, 1990,6:54-58.

[21] CHEN C C, CHEN S W. The Sn/Ni-7wt. % V interfacial reactions [J]. Journal of Electronic Materials, 2006, 35 (9):1701-1707.

[22] YIN L M, ZHANG X P, LU C S. Size and volume effects on the strength of microscale lead-free solder joints [J]. Journal of Electronic Materials, 2009, 38 (10): 2179-2183.

[23] HO C E, LIN Y W, YANG S C, et al. Effects of limited Cu supply on soldering reactions between Sn/Ag/Cu and Ni [J]. Journal of Electronic Materials, 2006, 35 (5): 1017-1024.

[24] YANG S C, CHANG C C, TSAI M H, et al. Effect of Cu concentration, solder volume, and temperature on the reaction between Sn/Ag/Cu solders and Ni [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2010, 499(2):150-153.

[25] 马元远. 铁氧体陶瓷无害金属化技术的研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2008.

[26] CEN J, JIN H, WANG D. Ti/NiCu/Ag and Al/NiCu/Ag thin film deposited on positive temperature coefficient (PTC) thermistor by direct current magnetron sputtering [J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2012, 23(1):290-294.

[27] 金浩, 马元远, 王德苗. 铁氧体表面无铅焊接薄膜的磁控溅射制备研究 [J]. 真空科学与技术学报, 2008, 28 (4):341-345.

[28] HAO Y, ZHAO J, ZHENG Y, et al. Magnetron sputtering electrode on the BaTiO₃-based PTCR ceramics and the effect of heat treatment on their properties [J]. Materials Science & Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology, 2003, 99(1-3):516-519.

[29] 董树荣, 王德苗, 任高潮, 等. PZT 高频陶瓷表面金属化薄膜及其结构 [J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(1):168-172.

[30] 王文婷. 敏感陶瓷溅射金属化机制及产业化研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2014.

Research progress on surface metallization of wire wound chip inductors

LI Hong¹, LIN Songsheng¹, SHI Qian¹, WEI Chunbei¹, CUI Jun², CAI Chang², HUANG Yukun²

1. Guangdong Institute of New Materials, National Engineering Laboratory for Surface Engineering Technology, The Key Lab of Guangdong for Modern Surface Engineering Technology, Guangzhou 510650, China; 2. Zhongshan Guoci Vacuum Technology Co., Ltd., Zhongshan 528445, China

Abstract: Wire-wound inductors are one of the commonly used inductive components. With the rapid development of information and communication technologies, their market demand in the 3C electronics industry, intelligent equipment, aerospace, automotive energy and other fields is growing rapidly. The development of miniaturization. Metallization is a key process in the manufacturing process of wound chip inductors, and its quality directly affects the performance of the inductor. This paper introduces the relevant research progress at home and abroad for the key process of wire surface inductor metallization, and provides some information support for the continuous development of wound chip inductors.

Key words: wire wound chip inductors; metallization; film