

# 小型化恒温晶体振荡器的封装技术研究

胡云霞

河北远东通信系统工程有限公司 河北 石家庄 050000

**摘要:** 小型化恒温晶体振荡器 (Oven Controlled Crystal Oscillator, OCXO) 因其低相位噪声和高频率温度稳定性在通信、军事、科研等领域得到广泛应用。然而, 传统OCXO的体积较大, 限制了其应用范围。本文旨在探讨小型化OCXO的封装技术, 通过优化封装材料和结构, 实现更小的尺寸和更优的性能。

**关键词:** 小型化恒温晶体振荡器; 封装技术; 陶瓷封装

## 引言

恒温晶体振荡器通过保持晶体谐振器温度恒定, 显著减小了由温度变化引起的频率漂移, 从而提供高频率稳定度的时钟信号。然而, 随着便携式设备和无线通信系统的快速发展, 对小型化、高性能OCXO的需求日益增加。封装技术作为影响OCXO尺寸和性能的关键因素, 成为当前研究的热点。

## 1 封装技术的理论基础

### 1.1 封装技术概述

封装, 作为集成电路制造流程中的关键一环, 是将精密的芯片结构以绝缘的塑料或陶瓷等材质进行包裹与固定的技术工艺。这一过程不仅为脆弱的芯片提供了坚实的物理保护, 有效隔绝外界湿气、尘埃及机械应力的侵扰, 还极大地促进了芯片在安装、运输及后续集成应用中的便捷性与可靠性。封装技术的进步, 对于提升芯片的整体性能、实现更小巧的尺寸设计以及降低生产成本具有不可忽视的推动作用, 是现代电子技术发展中不可或缺的一环。

### 1.2 封装技术分类

在封装技术的广阔领域中, 存在着多种不同类型的封装方式, 它们各自拥有独特的优势和应用场景。其中, DIP (双列直插式封装) 作为一种早期且经典的封装形式, 以其简单易用的特点, 在早期的电子产品中得到了广泛应用。然而, 随着电子技术的飞速发展, 对封装密度和性能的要求也在不断提高。QFP (方型扁平式封装) 应运而生, 它采用了更为紧凑的引脚排列方式, 有效提高了封装密度, 使得电路板的布局更加灵活。然而, QFP在引脚数量较多时, 焊接和可靠性方面会面临一定挑战。BGA (球栅阵列封装) 技术的出现, 则进一步推动了封装技术的高密度、高性能发展。BGA通过底部排列的球形引脚与电路板相连, 不仅实现了更高的封装密度, 还大大增强了引脚之间的连接可靠性。这种封

装方式特别适用于CPU、主板南桥芯片等高密度、高性能、多引脚的元器件, 成为了现代电子产品中不可或缺的封装技术之一。BGA技术的广泛应用, 不仅提升了电子产品的整体性能, 还为实现更小巧、更复杂的电子设计提供了可能。

## 2 小型化 OCXO 的封装需求

### 2.1 小型化需求

小型化并不仅仅是简单地将OCXO的尺寸进行缩减, 而是要在确保其功能完整性和性能优越性的基础上, 实现体积的精简与重量的减轻。这一需求驱动着封装技术的不断创新, 要求在有限的封装空间内, 巧妙地布局电路元件, 优化信号传输路径, 以减少不必要的空间占用和信号损耗。

### 2.2 高性能需求

小型化OCXO还需在缩减尺寸的同时, 坚守其作为高精度频率源的核心价值。这意味着它必须保持低相位噪声、高频率稳定度等关键性能指标, 以确保在各类应用场景中的准确度和可靠性。这对封装材料和结构的设计提出了更为严苛的要求。一方面, 封装材料需具备良好的绝缘性、导热性和机械强度, 以有效保护OCXO内部电路免受外界环境的干扰和破坏; 另一方面, 封装结构需经过精心设计, 以确保信号的稳定传输和散热的高效进行, 从而在有限的空间内实现性能的最大化。

## 3 小型化 OCXO 的封装技术研究

### 3.1 封装材料选择

#### 3.1.1 陶瓷封装

陶瓷封装, 以其卓越的综合性能, 在小型化OCXO的封装中展现出了无可比拟的优势。首先, 陶瓷材料具有极佳的气密性, 能够有效隔绝外界环境中的湿气、尘埃和有害气体, 为OCXO芯片提供了一个稳定、可靠的工作环境。这一特性对于保持OCXO的长期稳定性和准确性至关重要。其次, 陶瓷封装在电传输性能方面同样出色。

陶瓷材料具有低介电常数和低损耗角正切,这意味着信号在传输过程中的衰减和失真可以被最小化,从而保证了OCXO输出信号的纯净度和准确性。对于需要高精度频率源的应用场景来说,这一点尤为重要。此外,陶瓷封装还具有良好的热传导性。陶瓷材料的高热导率使得芯片产生的热量能够迅速散发到外界环境中,避免了因过热而导致的性能下降或损坏。这对于提高OCXO的可靠性和延长使用寿命具有重要意义<sup>[1]</sup>。最后,陶瓷封装的机械特性也值得称赞。陶瓷材料具有高硬度和良好的耐磨性,能够抵抗外部机械应力的影响,保护芯片免受物理损伤。这一特性在便携式设备或需要承受一定机械冲击的应用场景中尤为重要。然而,陶瓷封装也并非没有缺点。其高昂的制造成本和复杂的生产工艺是限制其广泛应用的主要因素。此外,陶瓷材料的脆性也增加了封装过程中的破损风险。因此,在选择陶瓷封装时,我们需要综合考虑其性能优势与成本、生产难度之间的权衡。

### 3.1.2 塑料封装

与陶瓷封装相比,塑料封装在成本和生产工艺方面具有明显的优势。塑料材料来源广泛、价格低廉,且生产工艺相对简单,这使得塑料封装成为降低小型化OCXO制造成本的有效途径。同时,塑料封装还易于实现大规模自动化生产,提高了生产效率。然而,塑料封装在气密性和热稳定性方面相对较差。塑料材料的透气性和透水性较高,容易导致封装内部环境的波动,从而影响OCXO的性能。为了解决这一问题,塑料封装通常需要采用特殊的密封技术和结构设计来提高其气密性。例如,可以采用多层复合结构、密封胶圈或金属盖等方式来增强封装的密封性能。此外,塑料材料的热导率较低,不利于热量的快速散发。因此,在设计塑料封装的小型化OCXO时,需要特别关注散热问题。可以通过优化封装结构、增加散热片或使用高热导率的塑料材料等方式来提高散热效率。尽管这些措施会增加一定的成本和复杂度,但对于满足特定应用场景下的性能要求来说是必要的。

## 3.2 封装结构设计

### 3.2.1 多层结构设计

随着电子技术的飞速发展,对小型化OCXO的尺寸要求越来越严格。为了满足这一需求,多层结构设计应运而生。通过采用多层结构设计,我们可以在有限的空间内实现更多功能模块的集成,从而显著减小封装尺寸。具体来说,多层结构设计通常包括振荡电路层、控温电路层和恒温槽层等。振荡电路层是OCXO的核心部分,负责产生稳定的振荡信号。控温电路层则用于控制和调节恒温槽的温度,以确保晶体振荡器在恒定的温度下工

作,从而提高频率稳定度。恒温槽层则是放置晶体谐振器的空间,通过精确的温度控制来保持晶体的稳定振荡。将这三个功能模块集成在同一封装内,不仅可以减小封装尺寸,还可以提高信号传输的效率和可靠性。因为多层结构设计可以缩短信号传输路径,减少信号衰减和干扰。同时,各层之间可以通过金属化过孔或微带线等结构进行电气连接,实现信号的稳定传输。然而,多层结构设计也带来了一些挑战<sup>[2]</sup>。例如,层间绝缘、信号完整性、热管理等问题都需要仔细考虑和解决。为了确保层间绝缘性能良好,需要选择高质量的绝缘材料,并严格控制制造工艺。为了保持信号完整性,需要优化信号传输路径和阻抗匹配。为了有效管理热量,需要设计合理的散热结构和热传导路径。

### 3.2.2 热设计优化

热设计是小型化OCXO封装中的另一个关键环节。因为OCXO在工作过程中会产生一定的热量,如果热量不能及时散发出去,就会导致温度升高,进而影响OCXO的性能和稳定性。因此,优化封装内部的热传导路径和散热结构,对于提高OCXO的热稳定性和降低功耗具有重要意义。在热设计优化方面,我们可以采用多种措施。首先,可以选择高热导率的材料来制作封装外壳和散热元件,如金属散热片、热管等。这些材料具有良好的热传导性能,可以迅速将热量从OCXO内部传导到外部环境中<sup>[3]</sup>。其次,可以设计合理的散热结构来提高散热效率。例如,可以在封装外壳上增加散热鳍片或散热孔,以增加散热面积和空气流通量。还可以采用热管或液冷等先进的散热技术来进一步提高散热效果。此外,还可以通过优化OCXO的电路设计和工作方式来降低功耗和发热量。例如,可以采用低功耗的电路元件和优化的电路设计来减少能量消耗。还可以采用间歇工作模式或智能温控技术来降低OCXO在待机或低功耗状态下的发热量。

## 3.3 封装工艺优化

### 3.3.1 精细加工技术

精细加工技术,作为现代制造业的重要组成部分,为小型化OCXO的封装提供了前所未有的高精度和微型化可能。激光切割、微电铸等先进技术的引入,使得封装结构能够实现微米级甚至纳米级的精确加工,从而大幅提高了封装密度和减小了封装尺寸。激光切割技术,以其高能量密度、高加工精度和非接触式加工的特点,成为小型化OCXO封装中切割陶瓷、金属等硬质材料的首选方法。通过精确控制激光束的聚焦点和移动路径,可以实现复杂形状和微小尺寸的精确切割,确保封装结构的尺寸精度和表面质量。微电铸技术,则是一种利用电

化学原理在基底上沉积金属层以形成微细结构的技术。通过精确控制电镀液的成分、浓度、温度和电流密度等参数,可以在微米尺度上实现金属结构的精确复制和成型。这一技术在小型化OCXO的封装中,特别适用于制作微小尺寸的金属散热片、引脚和连接器等部件,提高了封装的集成度和可靠性。精细加工技术的应用,不仅提高了小型化OCXO的封装密度和尺寸精度,还为产品的多功能集成和性能提升创造了有利条件。例如,通过精确加工技术制作的微小尺寸的恒温槽和控温电路,可以更有效地控制晶体振荡器的工作温度,从而提高频率稳定性和长期可靠性。

### 3.3.2 自动化封装技术

自动化封装技术,作为现代电子制造业的重要发展趋势,为小型化OCXO的封装带来了显著的生产效率和品质提升。通过引入自动化设备和生产线,可以实现封装过程的自动化和智能化控制,从而提高封装质量和一致性,降低生产成本和人工干预。在小型化OCXO的封装过程中,自动化封装技术可以应用于多个环节。例如,在贴片环节,自动化贴片机可以精确地将芯片、电阻、电容等元器件贴装在电路板上,提高了贴装的准确性和效率。在焊接环节,自动化焊接设备可以实现精确的焊接温度和焊接时间的控制,确保焊接质量和可靠性。在测试环节,自动化测试设备可以对封装后的OCXO进行全面的性能测试和筛选,确保产品的一致性和可靠性<sup>[4]</sup>。自动化封装技术的应用,不仅提高了小型化OCXO的生产效率和品质,还为产品的规模化生产和成本控制提供了有力支持。通过优化封装工艺流程、减少人工干预和降低废品率,可以显著降低生产成本,提高市场竞争力。同时,自动化封装技术还可以实现封装过程的可追溯性和数据化管理,为产品的质量控制和售后服务提供有力保障。

## 4 小型化 OCXO 封装技术的发展趋势

### 4.1 高密度封装

集成电路技术的飞速发展,为小型化OCXO的封装密度提升铺设了坚实基础。未来,通过持续探索更先进的封装技术和选用高性能材料,我们将能够突破现有技术

瓶颈,实现更高密度的集成。这意味着,在保持甚至提升性能的同时,OCXO的封装尺寸将进一步缩减,为各类电子设备的小型化、轻量化设计提供有力支持。

### 4.2 三维封装技术

三维封装技术作为封装领域的一次革命性突破,正逐渐成为小型化OCXO封装的重要发展方向。这一技术通过巧妙地在三维空间内集成和堆叠不同功能模块,不仅极大地减小了封装尺寸,还显著提高了集成度。未来,随着三维封装技术的不断成熟和完善,我们有望见证更加紧凑、高效的小型化OCXO产品的诞生。

### 4.3 绿色环保封装

在当今社会,绿色环保已成为全球共识。小型化OCXO封装技术也不例外,绿色环保封装技术正逐渐成为主流趋势。通过采用无毒、可回收的封装材料和工艺,我们不仅能有效降低封装过程对环境的影响,还能促进整个电子产业的可持续发展。未来,随着绿色环保技术的不断创新和应用,小型化OCXO的封装将更加环保、节能,为构建绿色地球贡献一份力量。

## 结语

小型化恒温晶体振荡器的封装技术是实现其高性能、小型化目标的关键。通过优化封装材料和结构、采用先进的封装工艺和技术,可以显著提高小型化OCXO的性能和可靠性。未来,随着集成电路技术的不断发展和创新,小型化OCXO的封装技术将迎来更加广阔的发展前景。

## 参考文献

- [1]李玉梅,李刚炎,胡剑,等.微型晶体谐振器封装设备生产平衡问题研究[J].机械设计与制造,2020(10):284-287.
- [2]邢恩博,李江龙,戎佳敏,等.超高品质因子晶体谐振腔制备及棱镜耦合封装[J].测试技术学报,2022,36(4):277-280.DOI:10.3969/j.issn.1671-7449.2022.04.001.
- [3]李林.考虑封装结构的AT切石英晶体谐振器的有限元分析[D].浙江:宁波大学,2017.
- [4]张杨.微型晶体谐振器封装设备布局及生产节拍设计[D].湖北:武汉理工大学,2019.