

前言

本应用笔记可作为 MEMS 麦克风生产过程中最佳实践的参考。为实现高可靠性的设备，ST 生产过程已经经过仔细研究和发展，因此这些产品已经经历了详细的质量和可靠性测试。

[第 1 节：质量保证](#)详细说明了对麦克风执行的各种测试。

本文还就在由客户执行的过程中，如何适当管理麦克风提供了建议，包括接收后验证设备、适当处理设备以及生产线方面的考虑。

目录

1	质量保证	4
1.1	可靠性测试	4
1.1.1	HTOL：高温工作寿命	4
1.1.2	HTS：高温储存	4
1.1.3	PC (JL3)：前提条件（焊接模拟）	4
1.1.4	TC：温度循环	4
1.1.5	静电放电（人体模型、机器模型、 充电设备模型）	4
1.1.6	LU (CI)：闭锁（过电压和电流注入）	4
1.1.7	THB：温湿度偏置	5
1.1.8	LTS：低温储存	5
1.1.9	重复自由落体	5
1.1.10	MS：机械震动	5
1.1.11	VVF：振动变量频率	5
1.1.12	MTC：湿度和温度循环	5
1.1.13	空气压缩	6
1.2	最终测试信息	8
1.3	取放设置	9
1.4	装运前	12
2	客户制造考虑	13
2.1	客户处理建议	13
2.1.1	污染	13
2.1.2	电过载 (EOS)	13
2.1.3	机械过载	14
2.1.4	腔面分离	15
附录 A	书目	16
3	版本历史	17

图片索引

图 1.	空气压缩测试	6
图 2.	最终测试核查表	8
图 3.	取放机器	9
图 4.	4 x 5 麦克风的拾取区域	9
图 5.	4 x 5 取放过程	10
图 6.	3 x 4 麦克风的拾取区域	10
图 7.	3 x 4 新设计管口	11
图 8.	HLGA 3 x 4 麦克风的拾取机器机械细节	11
图 9.	用于 ST 生产设施的实际取放管口	12
图 10.	后端流程	12
图 11.	EOS 示例	13
图 12.	尖峰抑制配置	14
图 13.	MEMS 传感器裂缝举例	14
图 14.	腔面分离举例	15
图 15.	腔面顶部分离举例	15

1 质量保证

1.1 可靠性测试

本节列出了对麦克风执行的所有可靠性测试。

1.1.1 HTOL：高温工作寿命

设备处于动态配置中，接近工作的最大绝对额定，包括结温、负载电流、内部功率耗散。本测试旨在模拟最差情况下的应用逆境条件。执行本测试可研究氧化故障、金属退化等典型的IC故障模式，以及检查总的IC参数稳定性。

1.1.2 HTS：高温储存

设备储存于封装材料允许的最高温度无偏条件，有时会高于最高工作温度。执行本测试可研究高温引起的故障机制；一般为引线焊接连接老化、数据保留故障，以及金属应力无效。

1.1.3 PC (JL3)：前提条件（焊接模拟）

在受控的湿度吸收之后，设备放置在用于表面贴装的典型温度曲线。执行本测试可研究通过封装水吸收的强化后，客户制造焊接总的效果。作为一个单独的测试，它被用于研究湿度灵敏度等级。作为其它可靠性测试的前提条件，它被用于验证表面贴装应力对随后的可靠性效果没有影响。

1.1.4 TC：温度循环

设备被放置于循环的温度范围，即空气中的热室和冷室。这样做的目的是研究在芯片封装系统中，材料交互的不同热扩展产生的热-机械应力相关的故障模式。典型的故障模式与金属位移、介质断裂和成型焊线故障有关。

1.1.5 静电放电（人体模型、机器模型、充电设备模型）

设备所有引脚放置于高压峰值，根据不同的仿真模型模拟 ESD 条件。本测试通过将设备暴露于静电放电，根据其易受损程度分类设备。

1.1.6 LU (CI)：闭锁（过电压和电流注入）

本测试包括强制电流进入输入引脚，或令电流流出输出引脚。在这些条件下，移除该电流，必须不能观察到供电电流幅度变化。这样可验证体寄生效应的存在 - 包括闭锁。

1.1.7 THB：温湿度偏置

设备在静态配置中偏置，使其内部功率耗散最小化，在受控条件处（环境温度和相对湿度）储存。本测试旨在研究芯片封装环境中产生的、由电场和湿度条件导致的故障机制。它的主要目的是突出在电化学腐蚀等条件下的典型 IC 故障机制。

1.1.8 LTS：低温储存

设备储存于封装材料允许的最低温度无偏条件，有时会低于最低工作温度。这对于研究由长时间极冷条件产生的故障机制很有用。

1.1.9 重复自由落体

设备遭受重复的机械掉落。执行本测试的目的是检查当遭受重复的机械应力时，MEMS 麦克风的稳健性。

1.1.10 MS：机械震动

设备遭受 $10000 \text{ g} / 0.1 \text{ ms}$ ，每个轴 5 次震动。其目的为确定当受到由处理、运输或现场操作产生的突发力量或运动时，元件是否能抵挡相对严重的震动。

1.1.11 VVF：振动变量频率

设备遭受峰值加速度为 20 g ， 20 Hz 至 2000 Hz 的振动，应用于三个垂直方向。执行振动变量频率测试来确定在一个给定频率范围内，振动对内部结构单元的影响。

1.1.12 MTC：湿度和温度循环

设备暴露于周期性的温度和湿度。本测试用于研究设备对抗湿度和温度组合影响的稳健性。

1.1.13 空气压缩

本测试为向麦克风的声音入口施加高压空气。1秒钟内五次，从不同距离施加压缩空气。使用空气枪执行测试，目的是检查 MEMS 薄膜的稳固性。若灵敏度没有变化，则设备通过测试。

图 1. 空气压缩测试



ST MEMS 麦克风的可靠性结果如下表所示。本表使用 MP34DT01 数据作为例子。

表 1. MP34DT01 的可靠性测试结果

测试名称	条件 / 方法	频率周期
前提条件 (Jedec 等级 3)	湿度 灵敏度 3 1 周 < = 30°C/60%RH 峰值 体 温 = 260°C 回流 曲线 = J-STD-020C	最终
HTOL	Vdd(max) = 3.6 V; Tamb = 125°C JESD22a108	168 H
		500 H
		1000 H
THB	Vdd(nom) = 1.8 V T = 85 °C / RH = 85% JESD22a108	168 H
		500 H
HTS	Ta = 120°C JESD22a103	500 H
		1000 H
TC	Ta 周期: -40°C/+125°C JESD22a104	100 Cy
LTS	Ta = -40°C JESD22a119	500 H
		1000 H
ESD HBM	电压 +/-2000 V JEDEC / JESD22-A114E	-
ESD MM	电压 +/-200 V JEDEC/JESD-A115-A	-
ESD CDM	电压 +/-500 V ANSI / ESD STM 5.3.1 ESDA	-
闭锁和 过电压	电流 注入 +/-200 mA 过电压 1.5 x Vmax EIA/JESD78	-
重复 自由落体	掉落 高度 = 1 m IEC 60068-2-32	300 次掉落
MTC	Ta 周期: +30°C/+65°C RH=+90%/+93% IEC 60068-2-30	144 H
ms	10000g/0.1ms 5 次 震动 每 轴 MIL STD 883MIL	-
VVF	振动 加速 峰值 20G, 频率变化 从 20Hz 到 2000Hz ; 施加于 三个 垂直 方向 16 分钟 每 方向, 总共 48 分钟 JESD22-B103B	48 分钟

1.2 最终测试信息

在生产之后，必须测试麦克风，以避免有故障的部分产品被发往最终客户。测试电气参数与声学参数。首先，测试麦克风的电气特性。每个引脚上的 ASIC 都被严格分析，以发现任何开路或短路。此外还会分析设备是否有电流泄露。最后，会检查参考电压和电流消耗。验证完所有电气参数之后，要测试麦克风的声性能。要确定麦克风是否工作正常，测试灵敏度和频率响应即可。可使用灵敏度来确定薄膜是否损坏，在这种情况下 THD 以及底噪会超过规格值。最后会在声音频段检查灵敏度。

每个麦克风都根据前面提到的标准测试，以避免有故障的部分产品被装运。

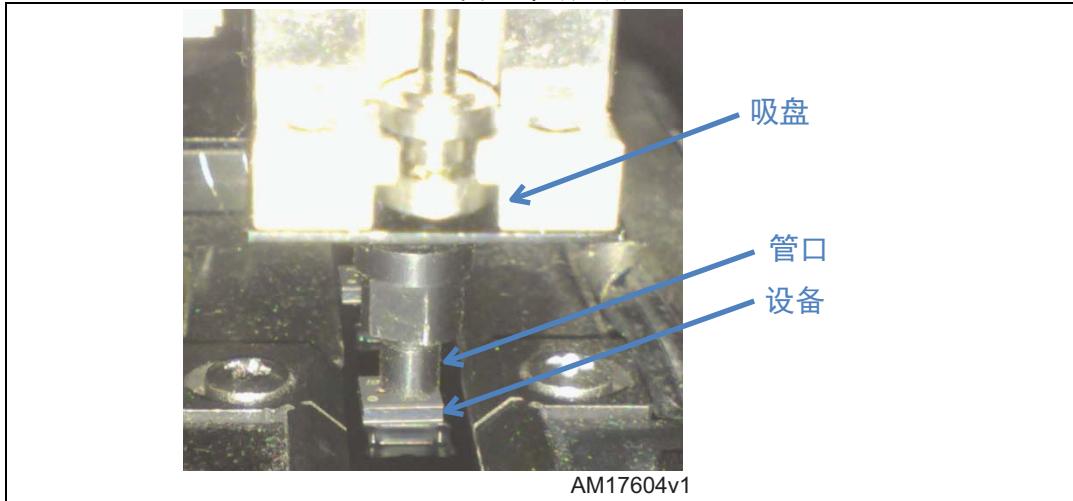
图 2. 最终测试核查表

↓	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><tbody><tr><td style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">开路/短路</td><td style="padding: 5px;">• Vcc开路/短路至gnd • LR开路/短路至Vcc/gnd • CLK开路/短路至Vcc/gnd</td></tr><tr><td style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">泄漏</td><td style="padding: 5px;">• LR泄漏低/高 • CLK泄漏低/高</td></tr><tr><td style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">电参数</td><td style="padding: 5px;">• 参考电流 • 带隙电压</td></tr><tr><td style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">供电电流</td><td style="padding: 5px;">• 上电 • 下电</td></tr><tr><td style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">灵敏度</td><td style="padding: 5px;">• 1Pa处的1kHz灵敏度</td></tr><tr><td style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">频率响应</td><td style="padding: 5px;">• 1Pa处的100Hz灵敏度 • 1Pa处的4kHz灵敏度</td></tr></tbody></table>	开路/短路	• Vcc开路/短路至gnd • LR开路/短路至Vcc/gnd • CLK开路/短路至Vcc/gnd	泄漏	• LR泄漏低/高 • CLK泄漏低/高	电参数	• 参考电流 • 带隙电压	供电电流	• 上电 • 下电	灵敏度	• 1Pa处的1kHz灵敏度	频率响应	• 1Pa处的100Hz灵敏度 • 1Pa处的4kHz灵敏度
开路/短路	• Vcc开路/短路至gnd • LR开路/短路至Vcc/gnd • CLK开路/短路至Vcc/gnd												
泄漏	• LR泄漏低/高 • CLK泄漏低/高												
电参数	• 参考电流 • 带隙电压												
供电电流	• 上电 • 下电												
灵敏度	• 1Pa处的1kHz灵敏度												
频率响应	• 1Pa处的100Hz灵敏度 • 1Pa处的4kHz灵敏度												

1.3 取放设置

印刷电路板的组装过程完全由专用机器自动化完成。这些机器基本上用于高速、高精度地将电容、电阻、集成电路等电子元件放置在 PCB 上。这些系统一般使用气动吸盘，在末端，一个管口会精确地将设备从指定区域拾取。

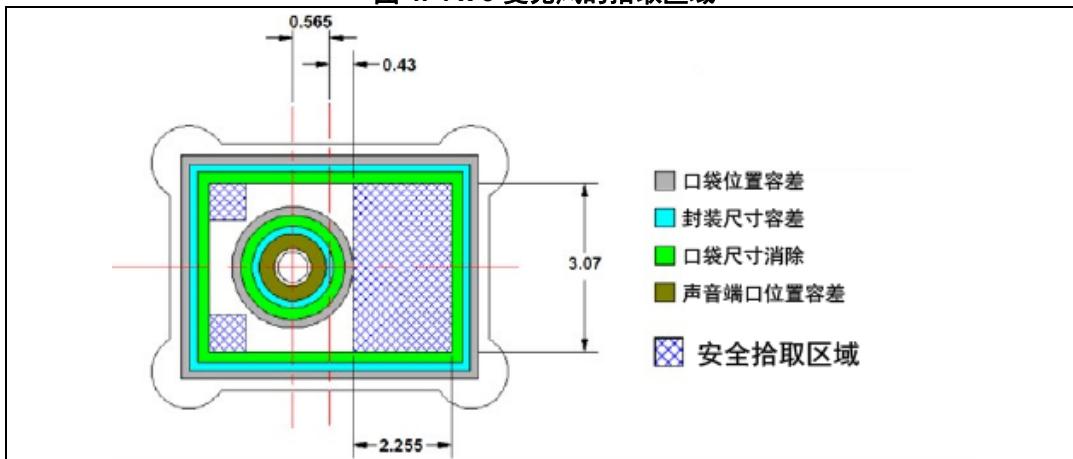
图 3. 取放机器



对于麦克风的情况，必须严格控制此过程，因为管口的位置、取放中的力量、机械参数都可能会损坏麦克风的结构。因此，根据封装的尺寸，每种麦克风都定义了参考 / 安全的拾取区域。

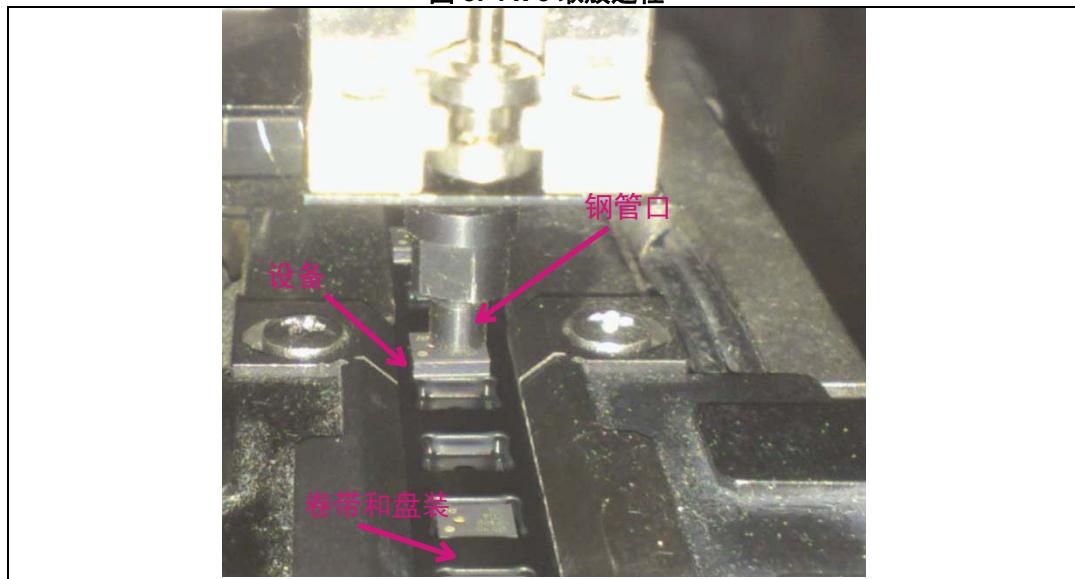
普通 4x5 顶部端口 MEMS 麦克风的参考拾取区域示于图 4 中。

图 4. 4 x 5 麦克风的拾取区域



安全区域基本上设置为不拾取麦克风声音端口顶部的元件，这样能防止损坏 MEMS 薄膜及错误取放。此外，该安全区域已经考虑了过程中所有机械参数的容忍度而划分尺寸，即声音入口的位置，麦克风封装尺寸、口袋尺寸。

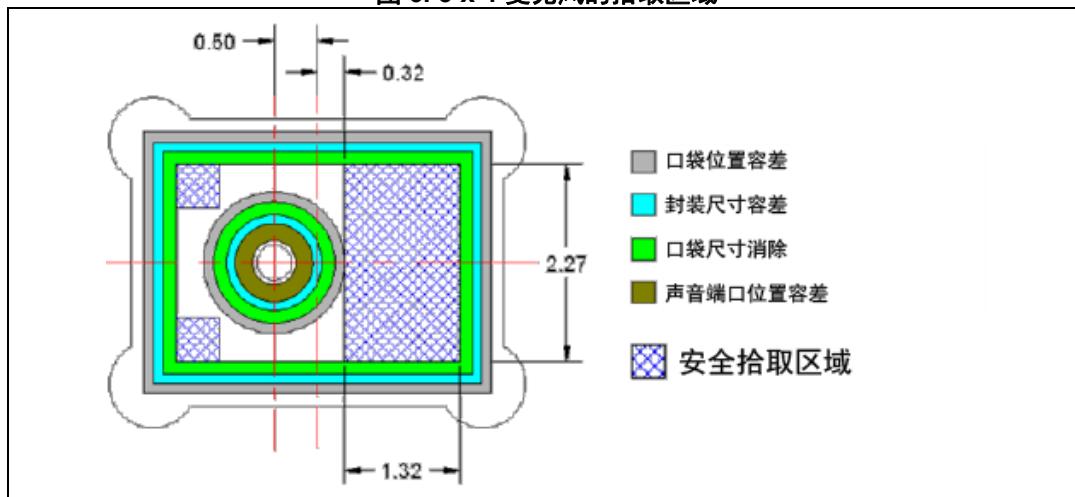
图 5. 4 x 5 取放过程



拾取 4 x 5 麦克风的管口一般是钢制拾取器，安全区域为圆柱形，在[图 4: 4 x 5 麦克风的拾取区域](#)中标明。拾取器底部的真空口是一个直径 1 mm 的孔。

3 x 4 麦克风的安全拾取区域几乎相同，只是由于封装外形不同而尺寸不同。如前面设计中所示，下述安全区域已经考虑了过程中所有机械参数的容忍度而划分尺寸，即声音入口的位置，麦克风封装尺寸、口袋尺寸。3 x 4 安全区域如下图所示。

图 6. 3 x 4 麦克风的拾取区域



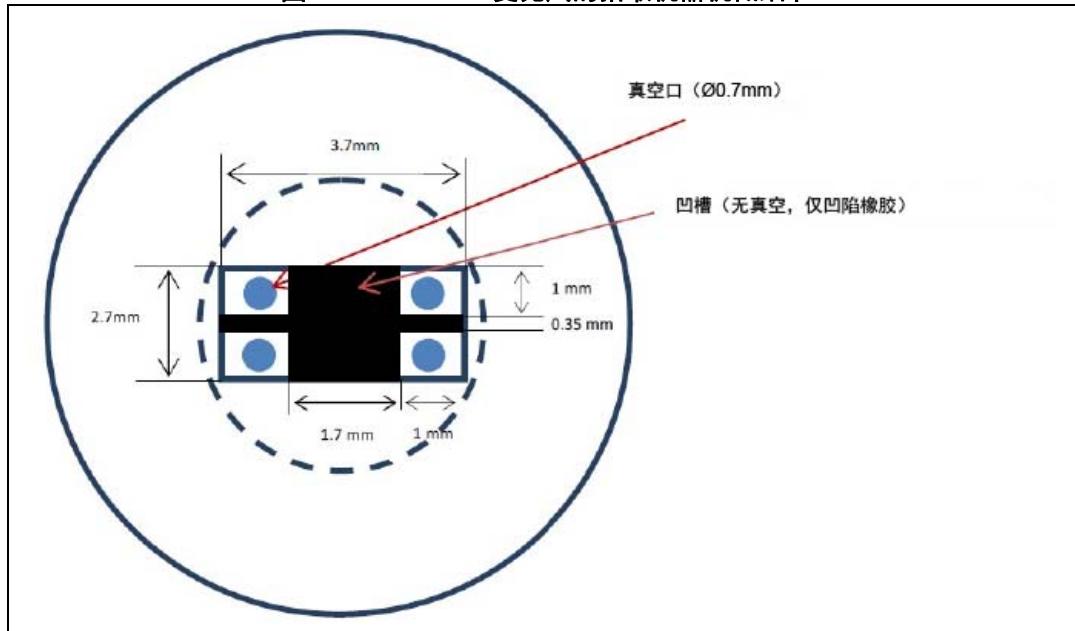
为优化麦克风的产能，设计了专用的拾取器以完全匹配允许的安全区域；因此当前用于 3 x 4 麦克风的管口在每个角上有 4 个真空孔（请参考[图 7](#)）。

图 7. 3 x 4 新设计管口



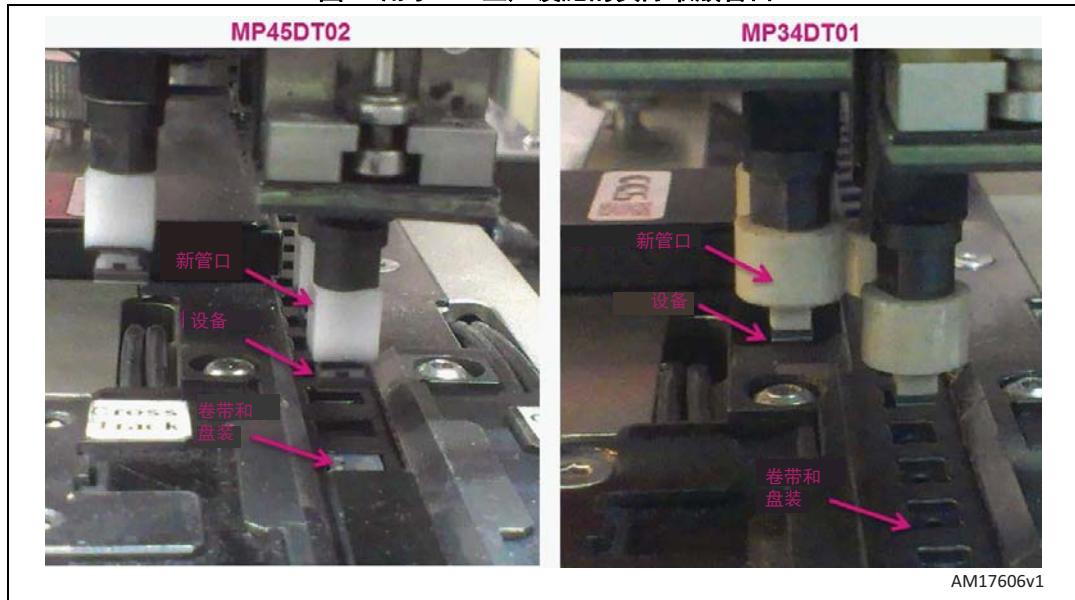
本设计确保了用于真空和鼓风的孔总是远离设备的端口孔（设备角上的 4 个真空孔）。此外，该新设计还有一个下凹处，它以交叉的形式，令端口孔一直处于大气压力。在这些条件下，在卷带中取放设备的过程中，薄膜不会遭受任何突然的空气扰动。[图 8](#) 显示了新型拾取器的详细机械尺寸、真空孔的位置以及凹进的宽度。

图 8. HLGA 3 x 4 麦克风的拾取机器机械细节



4 x 5 和 3 x 4 麦克风的安全区域相同，只是尺寸有差别。4 x 5 麦克风的安全区域包含了 3 x 4 麦克风的安全区域；因此，除了这一差别，4 个真空口管口可用于两种麦克风封装。下图显示了在 ST 生产线中 4 孔拾取器的使用（完成）。

图 9. 用于 ST 生产设施的实际取放管口



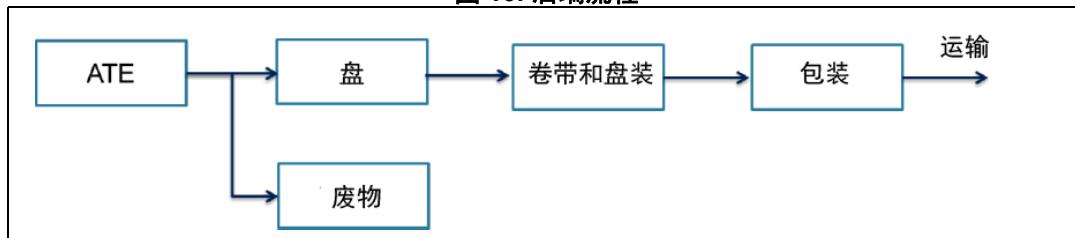
最后，必须严格控制其它参数以适当处理设备：基于麦克风封装的真空力量及管口压力。管口压力取决于拾取设备的速度和高度，还取决于在安全区域上放置管口所设置的力量。为正确控制取放过程中的力量，必须考虑下述指示：

- 真空力量不要超过 7 psi^(a)
- 通常，拾取器设为与元件的距离最小（100-200 μm）
- 安全区域上建议的放置力量为低于 500 g

1.4 装运前

下面的流程图表示了从测试到装运的后端过程。总的来说，根据电气和声学参数（ATE）测试设备，它们被放在托盘中，然后使用自动取放机放在卷盘内，最后包装麦克风并运往客户。

图 10. 后端流程



a. $1 \text{ kPa} = 0.145 \text{ psi (lb/in}^2\text{)} = 0.0102 \text{ kgf/cm}^2 = 0.0098 \text{ atm}$ 麦克风封装上最大允许的压力

2 客户制造考虑

2.1 客户处理建议

本节的目的为总结客户生产线上可能出现的典型故障，通常由对设备处理不当导致。首先会解释问题，然后建议解决方法或者给出避免这种故障的建议。

2.1.1 污染

当元件提供的 PDM 输出在听或测量时显示 SNR 性能差或输出噪声很大时，问题一般是 MEMS 薄膜污染。

客户的生产线上，可能在 PCB 浸泡、PCB 清洁或清洗的过程中产生污染。若汽相焊接工艺用于回流，或一些焊膏偶然掉到声音入口内，则在设备焊接过程中可能会发生进一步污染。

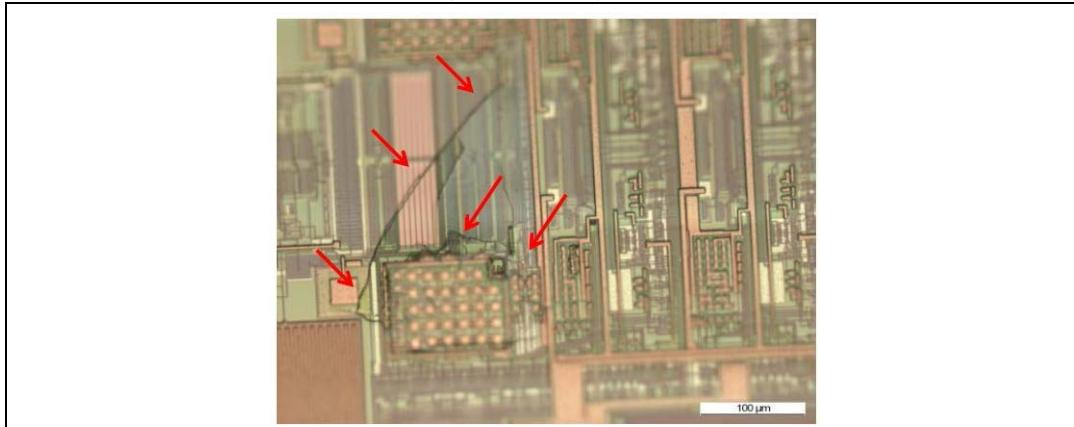
为避免这些种类的污染，建议在浸泡之前使用泡沫 / 带子密封声音入口，以防止灰尘进入麦克风。事实上，必须避免使用汽相焊接工艺，以防止薄膜损坏及污染。

2.1.2 电过载（EOS）

当元件输出处无任何信号，或输出为 GND（或 Vcc），很可能 ASIC 已经电过载。

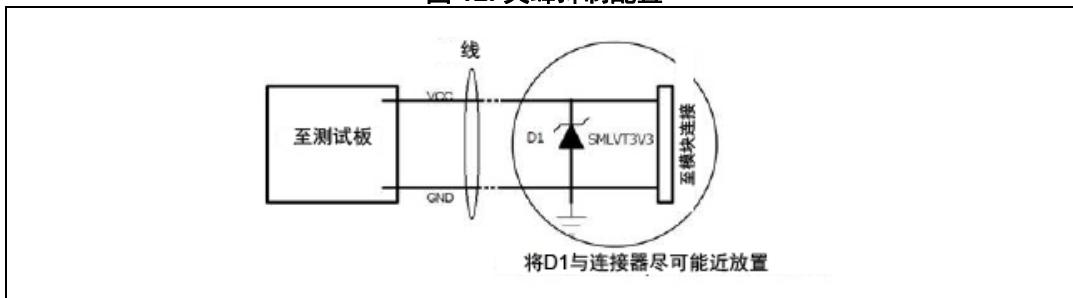
电过载，例如高压放电，是一种意外的电现象，可导致 ASIC 产生无法还原的损坏，例如区域烧焦或硅片无效。

图 11. EOS 示例



为避免此问题，强烈建议验证供电电压 vs. 麦克风工作和最大绝对电压规格，或者当热插入测试夹具时验证电压波纹。使用下述配置，可在测试设备中包括一个二极管（尖峰抑制）。

图 12. 尖峰抑制配置



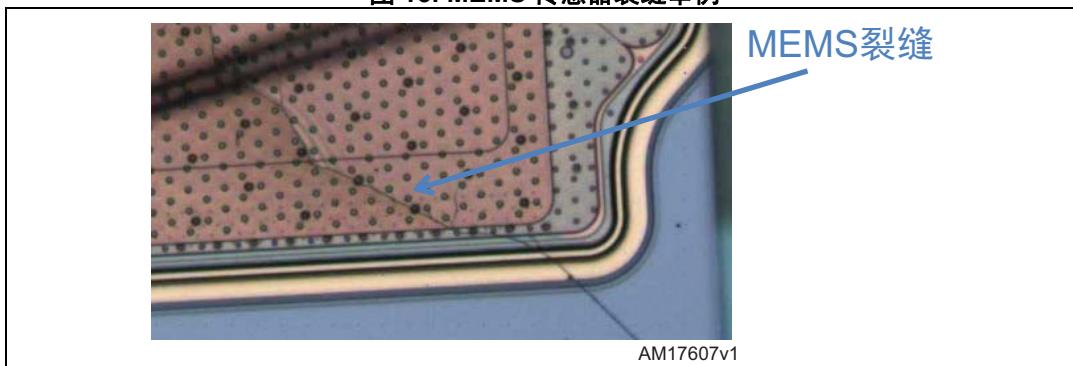
静电放电也会导致尖峰。当控制器或设备接地错误或接地不良时，ESD 可能成为问题。此外，必须仔细检查 ESD 没有超过元件的声明值。强烈建议在生产线上提高 ESD 保护，以防止此类问题。

2.1.3 机械过载

若元件敏感性极大超过规格值，则很可能薄膜已经损坏。这种损坏一般由机械过载导致。

元件中的 ASIC 工作正常，但用目视检查显示 MEMS 麦克风薄膜损坏。薄膜可能由于重机械力而裂纹或漏孔。多种原因可能导致这种力。当麦克风装在模块上时，控制模块在最终设备（一般为笔记本电脑）上的组装非常重要。在组装过程中，螺丝刀可能会碰到麦克风，损坏薄膜。一般来说，由于设备设计或配置，高于 10,000 g 的高震动事件也可能在处理过程中的其它情况发生。取放设备也可能导致机械震动，比如管口没有拾取正确的区域，或机器取放力量过大。最后，若压力过高，使用空气清洁 PCB 也可能很危险。

图 13. MEMS 传感器裂缝举例



为防止以上问题，客户必须关注生产线参数的设置，例如模块上螺丝刀的路径（若有），并仔细设置设备以防止任何种类的危险震动。接下来是关于取放设备的建议。ST 强烈建议使用专门设计的具有 4 个真空孔的管口，以使生产线上与机械过载相关的问题最少。由于同样原因，必须控制取放过程中的力量。高压力（若干 bar）、长距离（若干 mm）会令速度达到约 3 至 5 米 / 秒。产生的震动影响会远高于 10000 g。在拾取过程中，拾取器设为与原件的距离最小（100-200 μm）。反之，对于放置过程，建议的力量必须低于 500 g。最后建议，如果使用空气枪清洁 PCB，则 ST 建议限制气流的压力。

2.1.4 腔面分离

设备的任何失灵，例如声音参数、灵敏度、SNR、频率响应、THD，都可能与腔面分离有关。

腔面分离是一种封装部分分离的现象。这可能由元件从1米以上到刚性表面自由落体导致。另一种可能的原因是当需要分离板子的不同部分时切割PCB引起。腔面分离一般由机械过载导致，但也可能由热过载导致。事实上，若回流曲线与标准不同，则封装上的胶可能松了，失去了它的固定能力。最后一种原因是，超过2.5 g的移除胶带的力（当为顶部端口设备使用胶带覆盖麦克风时）也会导致分离。

图 14. 腔面分离举例

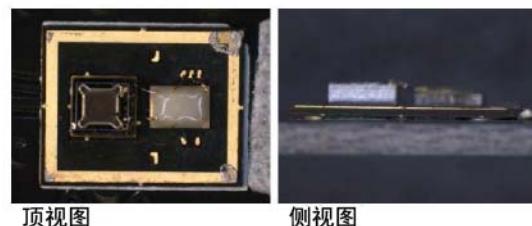
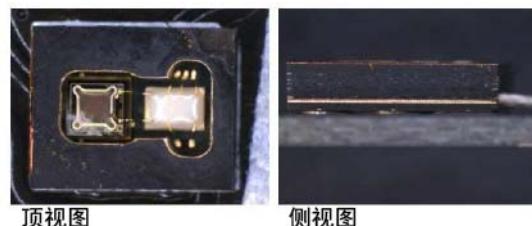


图 15. 腔面顶部部分分离举例



为避免腔面分离，建议避免[第 2.1.3 节](#)中列出的任何机械过载。此外，建议当移除胶带时，遵循ST建议的回流曲线并将力量降为1kg。

附录 A**文献目录**

1. IPC/JEDEC J-STD-020D.1. 非密封固态表面贴装设备湿度 / 回流灵敏度分类
2. 意法半导体 - AN4211 焊接 MEMS 麦克风指导
3. 意法半导体内部文档：在生产线中使用 MEMS 麦克风最佳实践 v1.31
4. 意法半导体 MP34DT01 可靠性报告

3 版本历史

表 2. 文档版本历史

日期	版本	变更
2014 年 1 月 9 日	1	初始版本。

表 3. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2015 年 11 月 17 日	1	中文初始版本。

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用， ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2015 STMicroelectronics - 保留所有权利 2015