

精密电子产品的微量敷形涂敷

Jon Urquhart
PVA

摘要

由于移动消费产品以及手持电子产品对采用敷形涂敷进行保护的需求变得越来越占据主导地位，所以诸如国防、航天和汽车电子行业等传统细分市场正面临着大批量涂敷任务的挑战，并且所要求的是比较小型的、更为精密的和精确的涂敷工艺。要求在小型的、元件密布的区域上进行微量敷形涂敷的工艺正在迅速地取代着在尺寸宽大、元件稀少的区域上进行敷形涂敷的工艺，在前者中批量、精度和工艺控制是至关重要的。

关键词：敷形涂敷 微电子 涂敷应用

背景

当制造厂家们正在不甘落后地力图适应于能够满足微量敷形涂敷的创新方法时，这些要求给他们提出了一系列新的挑战任务。为了达到最佳的效果，涂敷工艺必须要解决涂料特性的均匀一致性、基底位置控制、涂敷工艺等问题，同时还要解决工艺过程的控制以及质量反馈功能等问题。这些参数中有许多在过去是靠人工检测粘度、机械工具和定期的质量检验加以控制的。但是，由于目前制造厂家的目标是零缺陷，而且涂敷区域和公差比以往任何时候都要严格，所以所要求的控制也就比以往任何时候都要先进。

粘度的稳定性

在涂敷行业中一般要求粘度的变化范围在 $\pm 5\%$ 至 10% 之间。这个变化范围会随着各个批次而不同。除了这个变化范围之外，在整个时间内的其它变化（其原因是温度、使用时

限、储存期或者与水分接触后发生的粘度变化等) 以及保证您所要进行涂敷产品的一致性有可能是相当困难的工作。

对一致性的测量也有一系列的困难。测量粘度值的传统方法是用粘度杯进行测量。典



型的粘度杯是一个不锈钢的杯子，而在杯子的底部加工出了一

图 1. 用粘度杯测量

个精密的圆孔。在杯子中注满液体并让液体从该精密圆孔滴出

即可测量出液体的粘度。当将粘度杯从液体中提起来的时候，操作人员会计算液流断开的
时间长度。目前这种方法仍然在广泛地使用着，得出的结果是粘度杯的读数或者以“X”秒种表
示的“粘度”。只要粘度杯的读数在目标范围之内，则在一般情况下，这种测量方法是可以被
接受的。

这种方法只能在读取读数的时候 (例如每班一次或者两次) 对一个参数进行校正，而且
没有反馈，也没有连续的控制机制，从而也就无法保证在各次检查之间的时间段内会有相同
的结果，也就是说在整个工艺过程中没有连续不断的控制。

影响涂敷工作人员最常见的实质性问题往往是温度。不同
日期中甚至在同一天中的温度变化都会给涂料的名义粘
度带来不利的影响。从制造厂家的温度 - 粘度曲线中往往
可以预计粘度的变化情况。为了解决这个问题，可以通过
温度控制系统对温度进行严格控制，进而控制涂料的粘

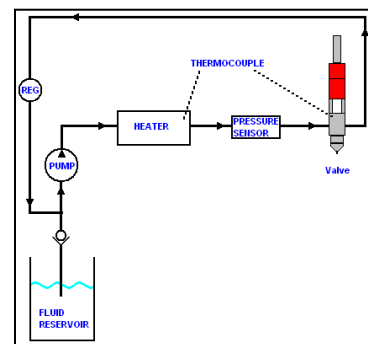


图 2. 配备
普通温度控
制和循环系
统的液体供

度。温度控制是一个多层面的系统，借助这个系统可将各个部分的温度都维持在一个连续一
致的水平上，包括涂料罐、涂料液压调节器和涂料传送管道等。这一点是很容易做到的，只
要在整个液体涂料供应系统中配备一套加热装置就可以将温度控制在温差 2°C 以内。

粘度控制工艺过程中的第二步是将液体涂料进行再循环。经过加热后，涂料的均匀一致性就得以保证了，涂料必须要源源不断地在液体涂料供应系统中进行循环，所采用的方法是配置一台伺服控制的齿轮泵使涂料在整个液体管路中流动并返回涂料罐。这个过程保证了整个液体供应系统中涂料的温度可维持在一个均匀一致的水平上。

精确的涂敷应用

当您已经稳定了相关的涂料化学特性后，关键就是电路板位置和涂料涂覆形状应该是可靠的。这两点要求在微量敷形涂敷中是特别重要的，因为涂敷的覆盖区域和涂料的容积是非常小的。在典型的宽大区域涂敷操作中使用的涂敷工艺有雾化喷涂、非雾化膜、流涂、某些喷射方法、流动或者简单的线条涂敷工艺等。在微量涂敷工艺中，专业阀门起着更为关键的作用。

因此，传统的电路板工装例如气动挡板器、销钉定位器以及提升和定位等的解决方案不大可能满足微量涂敷工艺对于定位精度的高要求。所以，在采用微量涂敷工艺中的下一步工作就是解决电路板定位精度和喷涂阀门一致性的问题。

提高涂敷位置精度

机械手涂敷系统的重复精度是非常高的，其平均精度在 $\pm 0.025\text{mm}$ (0.001")之内。长期保持这个精度是任何涂敷工艺达到要求的关键因素。几乎是毫无例外地，所有比较挑剔的涂料生产厂家都采用了悬挂式装置，其特点是由无电刷直流伺服电机驱动的精密滚珠丝杠滑轨并配备完全程控的三轴或者四轴驱动系统。伺服控制不同于步进电机或者气动方式的移动，它采用了光学编码器，可连续不断地提供位置反馈从而让机械手随时了解其当前位置，这样就大大提高了定位精度。

即使是采用了最精密的机械手解决方案,但是基底位置的变化还是会给涂敷工艺造成不利的影响。由于机械手是将涂料喷涂在同一位置并周而复始地重复进行的,所以要保证所需要的元件的确处于合适的位置是另外一件困难的事情。传统的做法是在工作区域中将电路板用简单的气动止动器固定住,这是一种标准的做法。提高定位精度的方法有采用定位销固定基底或者增加提升和定位工序,还有其它的方法。当然这些都可以保证电路板的位置正确无误,但是对于微量涂料涂敷中的甚小涂敷区域和最严格的精度要求来说,是无法对实际涂敷区域进行验证的。

在最近一个时期中,机器设备制造厂家已经开始将他们在诸如底部充填、打线结、封装等等电子封装产品中使用的技术用于涂敷工艺中以改进涂敷工艺中的定位精度。最为广泛应用的是在 XY 平面中进行基准点校正的主动视觉系统。



图 3. 主动视觉系统在校正 XY 偏差的方面

采用主动视觉系统可保证元件水平的精度并可校正涂敷工艺过程中的任何偏离。这种方法的成本比较低,而且其效果良好,可大大地提高任何一种微量涂敷工艺的水平。

除了在定位精度方面的优点以外,主动视觉系统还能让用户获得其它的益处:利用图像和十字准线发生器就可以非常容易地进行编程(工作区域从上往下看的图像)和检验,这一点将在本文的后文中进行讨论。

微量涂敷阀门技术

尽管喷射非常小颗粒的技术已经存在数十年了,但是这种技术在涂敷行业中的应用还仅仅是在近几年中才开发出来的。在最初的时候这是一种重新装配快速点阀(dot valve)的技术,具有“喷射”或者“流涂”功能,这种技术导致了一系列涂敷头的开发,这些涂敷头的涂敷

速度很快，而且对所涂敷的涂料也控制得更好。这些工艺方法与不断改进的喷涂技术相结合就为设备供应商们开辟了一条新的道路并且给电路板制造厂家提供了更大的灵活性。

微量阀在电路板表面上方 3mm-8mm 处将涂料流涂敷到电路板上，形成精密的点状涂层。由于这种阀门能够从共用工作高度精确地涂敷涂料，所以就无需 Z 轴方向的移动。这种工艺经常被称之为“非接触式”涂敷，尽管任何一种典型的喷涂工艺也是符合这个定义

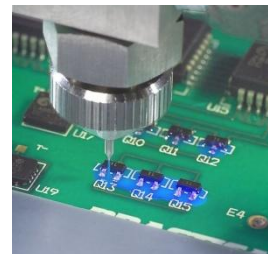


图 4. 用微型阀对单

的。很简单，请设想一种典型的点状喷涂工艺，只是其喷嘴的直径要小得多、也精密得多，其死区也减小了。喷嘴的出口是机加工的（通常是不锈钢），所以由 1mm-2mm 长的塑料针头或者柔性不锈钢针头造成的定位不准的问题即不复存在。其端部的刚性和重复精度都很高，毫无普通塑料针头或者薄壁钢制喷嘴发生变化的问题。

有些微量阀技术采用的是将阀门快速进行脉冲动作以产生点，并且依靠机械手的移动和重复进行点状喷涂操作从而形成一条线，这些喷涂的点在理论上是可以流动聚集在一起的。

更为先进一些的微量阀技术让用户可以使用软件在项作业中对所涂覆模式进行控制。这就保证了点状喷涂的重复性和均匀一致的喷涂线条，而使得工艺更好地适合于您的需求。利用这种技术，操作人员一般都可以达到小到 0.25mm 的液流和每个涂敷点上微升级别的涂料数量。

结果：这是一种精密的工艺过程，适用于微电子行业，这种工艺不会将元件淹没，也不会涂敷到刻意留出来的区域上。

喷涂和流涂工艺

随着微量阀技术涂敷区域变得越来越小，喷涂和流涂工艺也朝着这个方向发展。尽管和微量阀技术相比这些技术是相对大型的（3+mm 对 1mm），但是它们在和精密设计工艺结合在一起时，仍然在使用中。虽然对于微量涂

敷区域来说这些阀门远非是理想的，但是它们一般都会和流涂工艺联合在一起使用，在较大涂敷区域中对电路板上分散分布的元件进行涂敷也是很有有效的。一般来说，雾化喷涂对于 100% 固体、紫外或者较高粘度的涂料(>100 cps) 是理想的工艺，其中使用的超低雾化气压（2-4 psi）可产生薄至 25 微米的薄膜，而其阀门移动速度可达 100-300mm/sec。含有大百分比溶剂的涂料往往会用于薄膜涂覆中或者流涂工艺中，而不利用雾化气压，其阀门移动速度可达 500mm/sec，而且其边缘精度是非常好的。

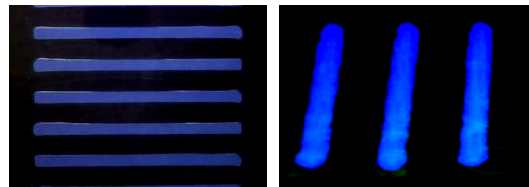


图 6. 采用非雾化（左）和雾化（右）

介于良好的边缘精度以及准确的涂敷区域，这些工艺方法也不仅仅用于微量涂敷。在过去的五年中，这些工艺技术所能够达到的涂敷宽度已经减小了一半，如果说它们还没有完全纳入微量涂敷市场的话，它们也正在处于进入该市场的开端。在今后的十年中，随着这些技术的不断改进，它们会在微量敷形涂敷中获得更多的应用。

在线即时固化

如果所使用的是紫外线固化涂料的话，当将敷形涂料涂敷到表面上后，一种简单而成本低廉的进一步控制涂料附着位置的方法是在移动之前就在涂敷室内将涂料固化。举例来说，配置小型

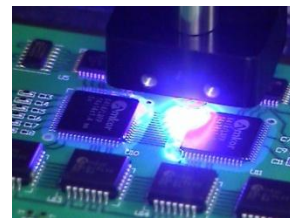


图 7. 紫外线灯使

的高强度紫外线灯在涂敷工序后立即将涂料进行固化就是一种非常好的措施，从而消除由于

操起人员移动电路板而造成的不希望出现的涂料流动或者不平坦的表面,也不需要成本昂贵和占据很大空间的在线固化单元设备。

检验和验证

一旦采取了保证涂敷均匀一致以及基底位置的所有合理步骤而且选择了微量涂敷工艺的合理数值之后,最后一步的工作就是对工艺过程进行评估了。对涂敷区域的检验往往是人工密集的定期工作。小型和中型批量涂敷工艺的标准做法是进行人工检验和批准。高产量的涂敷生产线一直是依赖于操作人员每一班次中的定期人工检验的。在一般情况下,工艺过程的验证都不会是连续不断地进行的。虽然我们在控制方面进行了投资以限制工艺过程的变化,但是我们怎样才能知道它们是否是在我们的参数范围内进行工作的呢?

容积法验证

对于涂敷工艺过程的评估往往是个两步的过程。首先是要保证每次涂敷量的容积是正确的,这可以用两种不同的方法完成。可以用秤定期秤重量并对工艺过程的参数进行调整以重新检定涂敷循环过程的容积。这样做的问题是:除了涂料参数的经常变化(压力、速度或者流量等)以外,这样的做法是要定期进行的。它让您及时了解并通知操作人员进行调整。那么在两次检验之间工艺过程是怎麽样的呢?事实上,如果您用称重法进行检验并经常进行调整的话,这本身就足以说明您的工艺过程是不稳定的。理想的解决方案是自始至终连续不断地对涂料的容积进行检验。

实时流量检测是目前被广为接受的核实不同工作循环中涂料容积一致性的标准方法。可以在涂料罐和涂敷阀门之间配置一台在线安装的流量监视器,其设计可以是柱塞泵,也可以是齿轮泵。当涂料在一个工



图 8. 流量监视器可提供关于涂料容积的

作循环中流经该流量监视器的时候,其流过的容积就会被记录下来并和事先确定的规范数值范围进行比较。至于数值范围究竟有多大,是完全可以人员设制的。只要工艺过程保持在该范围内,操作就会继续进行而不会受到干扰,也无需操作人员的介入。在该过程中,容积数据会被采集起来并加以存储以备将来进行评估时使用。当工艺过程发生变化而超出了范围时,就必须启动纠正措施。目标容积也和每个程序捆绑在一起,从而不同的产品可在同一涂敷系统上进行涂敷,而且流量监视器也可调整其参数。流量监视器的精度极高,其分辨率超过了 0.0009 cc。

流量监视器不仅测量每个循环中涂敷涂料的容积,该方法还是监测任何涂敷过程中粘度变化的优良工具,还能监测液体管路中的阻碍、阀门的变化、压力设置的变化等,这些都会影响涂料的容积,甚至造成监视器的故障。

目检

虽然流量监视器是提供实时容积反馈的一种理想方法,但是其问题是该方法是基于用户假设涂覆系统保证将涂料涂覆在适当的位置。由于涂敷机械手的精度和我们所对于其它工艺参数的确定的控制,这个假设是有根据的,却仍然是无法定量的。若非是对从涂敷线上下来的每一件产品都进行人工检验,那么能够证明正确数量的涂料被涂敷到合适位置上的、配置了流量监视器的自动监测方法仍然是大受市场欢迎的。

涂敷区域的自动检验能够被利用主动视觉系统的涂敷设备很快地完成。由于在黑光灯下呈现荧光的涂料层和电路板的表面有对比度,所以摄像机就能够摄取涂敷层的图像,并将该图像和作为可接受式样的标准图像进行对比。与流量监视器非常类似,图像的灵敏度是可以调整的以适合于您所需要的水平。所摄取的图像将叠加在主图像的上面以判定涂敷区域是否可以接受。

与流量监视器方案类似，摄像机检验仅能够对一个参数进行检验。在这种情况下，在涂敷位置上并没有对于实际流量的反馈，这就是为什么往往会同时使用摄像机和流量监视器来提供两个参数的原因。

结论

各个制造厂家正在加速改变他们面临淘汰的工艺，以满足日益增长的微电子元件和设计的需求。现在比以往任何时候都有更多的工具不仅可以满足这些日益苛刻的要求，而且还可以对工艺过程进行控制和验证。这项功能给电路板设计师们在一个全新市场中提供了可选择性涂敷方案的高度灵活性。