

印制电路板设计,生产与组装 • PCB DESIGN, FABRICATION & ASSEMBLY

I-Connect007
GOOD FOR THE INDUSTRY

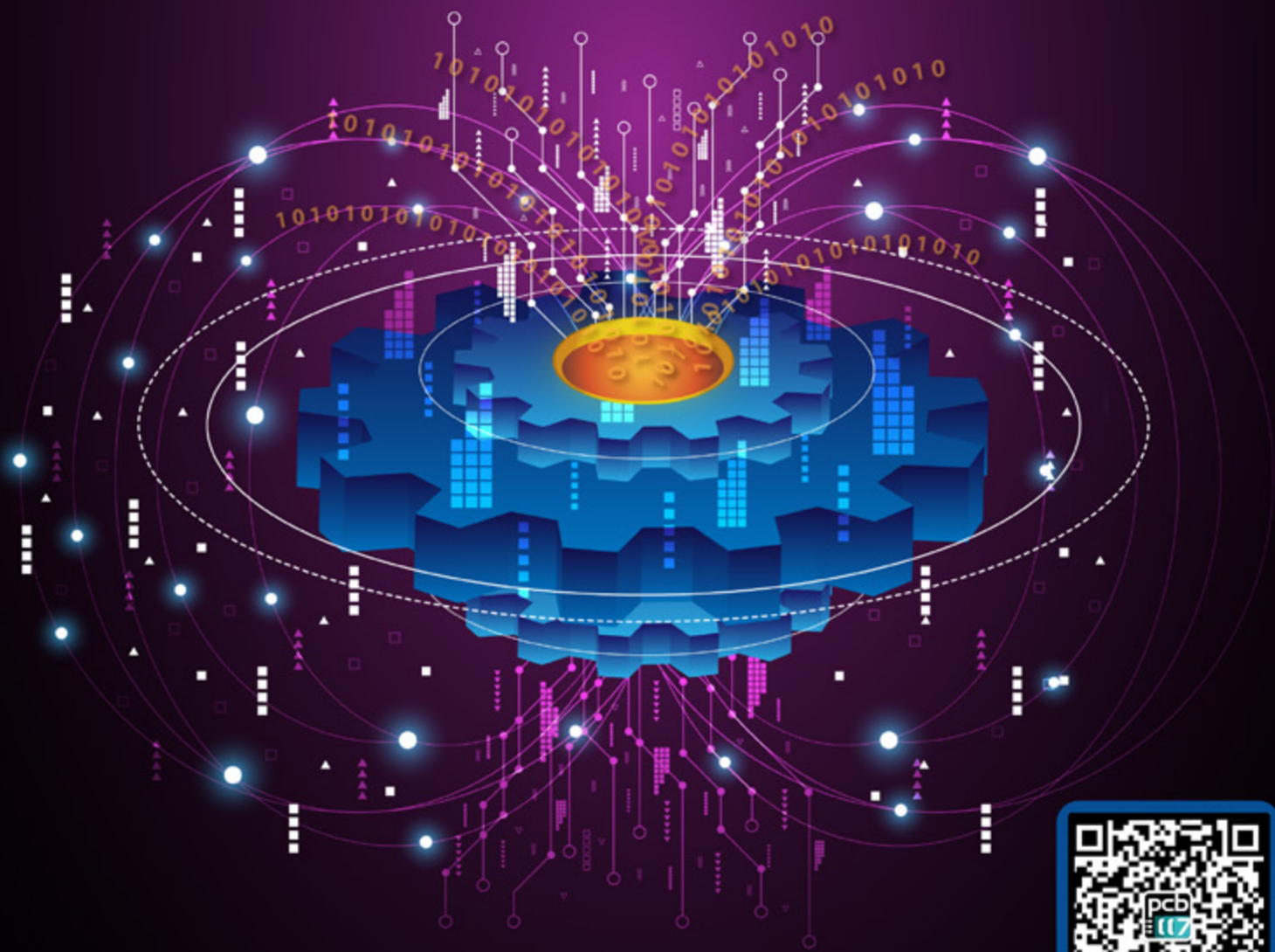
pcb007 中国

线上杂志

CHINA MAGAZINE

I-Connect007china.com

2022年10月号



扫码订阅

电子电路制造业新时代

电子电路制造在全球范围内蓬勃发展，创新每天都在发生，而亚洲又是制造中心。世界的发展无时无刻都离不开对电子电路的需求；世界的进步，每时每刻都在对电子电路制造商提出更多新的要求。随着电子电路产业进步，逐渐甩掉了高排放、高污染、劳动密集型等低端制造业的帽子。电子电路制造业正迈入新时代，未来在很长一段时期里都将是朝阳产业。

首先我们请到了全自动 PCB 制造工厂规划专家 Alex Stepinski 谈谈《新形势下 CTO 的新职责》，他深入剖析了 PCB 制造工厂的自动化。本次采访的切入点并不是新设备和面板搬运装置，而是更多地讨论了自动化策略。

Michael Carano 是著名的过程控制、电镀及金属化技术、表面处理和可靠性专家。因此，I-Connect007 编辑团队特邀请他探讨在如今多变的环境下如何实现现有设备的自动化。

PCB 制造中，制造良率是质量的关键衡量标准，用良好部件占总产量的百分比来表示。除非是极为简单的 PCB 设计，实现 100% 的良率极具挑战性。《良率先行》一文中我们采访了 Sunstone Circuits 的 Matt

Stevenson。

您正在考虑自动化 PCB 生产线吗？如果是，那么您可能会担心新的自动化技术所需要的一切。好消息是，实现生产线自动化比想象中要简单。专栏作家 Chemcut 的 Christopher Bonsell 本期将为我们介绍《如何实现湿制程自动化》。

近年来 Dana Korf 一直在与全球最大的覆铜板和批量层压服务供应商之一——台耀科技股份有限公司（TUC）进行合作。他简述 TUC 以及全球材料发展趋势，同时 TUC 技术副总裁 John Strubbe 也加入了此次采访。

近期 IPC 的总裁兼 CEO John Mitchell 参加了在印度的 IEMI 庆祝活动，他在文章中为我们介绍了《电子制造业在印度的发展机遇》。印度会否在未来成为全球制造业中心，成为下一个充满活力的电子制造行业市场？

紧接上一期的内容，我们的欧洲技术编辑 Pete Starkey 继续其 EIPC 研讨会的报道——《2022 年 EIPC 夏季研讨会：第 2 天》，这次的报告主题是新工艺技术。

随后 Pete 还带来了 9 月份举行的第 18 届





pluritec®

MACHINES FOR PRINTED CIRCUIT BOARDS

INSPECTA S1 TWIN

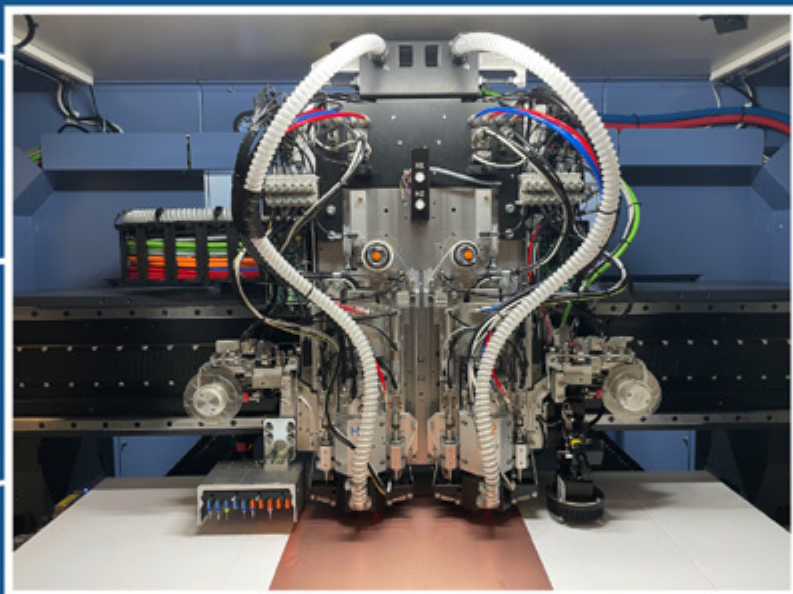
X 射线优化器和蚀刻后钻孔

用于高质量钻孔及薄材料（25μm）的特殊双钻头X射线系统

X射线探测器

高精度高速
空气轴承主轴

带有扩散真空
锁的工作台，可处理
非常薄的材料



入口材料管
以控制孔质量

双头可处理
双直径钻孔

多模式索
引的全台面钻孔
能力

载板行业的又一次飞跃

- 开放式设计，易于与现有自动化系统集成
- 整个电路板区域内的多个内层目标数据采集
- MES集成和电路板可追溯性
- 强大的统计和数据处理功能



学到更多 pluritec.com

EIPC Technical Snapshot 线上研讨会报道，该线上研讨会聚焦汽车电子技术领域新型激光制造工艺。

电测专家 Gardien 公司的 Todd 本期讲解空洞。电气测试 (Electrical test, 简称 ET) 因可鉴别常规断路和短路而为人熟知。但困扰 ET 和制造商的通常是孔壁空洞。这些空洞是钻孔壁镀层断裂，从一层穿过叠层到另一层，导致电路“开路”。

早在机械钻孔技术出现之前，铜箔蚀刻技术就已经存在。本期化学专家 Michael Carano 将带领读者纵览 PCB 内外层蚀刻工艺中涉及的机械操作、不同的化学药水配方以及其他特殊要求。

SUSS MicroTec 的加成法系列，本期继续《通过油墨控制阻焊层厚度》。传统阻焊油墨涂覆工艺中，整个电路板的厚度为单一参数。在喷墨阻焊油墨的时代，厚度是由高 DPI 值使液滴易聚合的原理来调整的。

Happy Holden 谈技术系列本期带来《用于微通孔的纳米铜导电膏》。复杂的积层 HDI 技术的应用不断扩展。导通孔的镀铜工艺已经很成熟，但需要维护且耗时。目前的导电膏填充物导电性不如实心铜，但可以缩短周期时间，并且具有高导电性和成本效益。本文回顾了该产品的发展过程与应用前景。

PCB 组装专区中，首先我们请到了 Emerald EMS 公司供应链物流副总裁 Chris Lentz 和市场营销副总裁 Joe Garcia，两位分析了过去两年在与经过审核的采购渠道合作时遇到的问题，相关内容请见《元器件供应链的喘息空间》一文。

接着，智能制造专家 AEGIS 的 Michael Ford 先生带来《设备智能化发展》一文。几

十年来，制造业一直过度关注短期业务目标，很少考虑风险和适应性。这种疏忽一直存在于自动化项目和数字转型中。

《Axiom 采取措施应对行业挑战》一文中，Axiom 的供应链总监 Michael Schindele 讲述了经历了两年多的疫情肆虐之后，如何面对目前电子行业面临的问题。

美国将在制造企业推行网络安全成熟度模型认证 (Cybersecurity Maturity Model Certification, 简称 CMCC) 2.0 合规要求。虽然我国还未有这类要求，但随着物联网和智能制造的普及，生产设备的网络安全值得关注。这方面的专家 Divyash Patel 带来一篇专题文章。

PCB 设计专区中，NextFlex 的 Malcolm Thompson 撰写了《芯片短缺推动创新》一文，文中指出芯片短缺一段时间内不会消失，预计会持续到 2023 年。这场危机会促使行业开发长期适用的解决方案。

过去几年，行业发生了许多变化，其中最明显的莫过于元器件采购。采购已成为当今 PCB 设计师和设计工程师面临的最大挑战之一。《采购新模式》一文，就该问题采访了我们的老朋友 Kelly Dack。

Keysight Technologies 的 Heidi Barnes 带来《EM 解算器的实际应用》。在数字电子产品和有线通信的发展中，基于 Maxwell 方程组的电磁 (Electromagnetic, 简称 EM) 解算器被证明是非常有价值的。

以上就是本期的全部内容，2022 年转眼已进入第四个季度了。全国疫情又进入了拉锯战阶段，希望这是新冠疫情困扰我们的最后一个冬天，祝我们的读者与行业友人身体健康。

PCB007CN

微信扫描二维码关注 即可免费获得面向中国电子电路 市场的技术书籍与实时资讯

印制电路组装商

适用于恶劣
环境的三防漆



印制电路组装商指南

工艺验证



Graham K. Naisbitt
Gen3

1007
Books

印制电路组装商指南

数字时代
先进制造



Oren Manor
Mentor, A Siemens Business

1007
Books

印制电路组装商指南

低温焊接



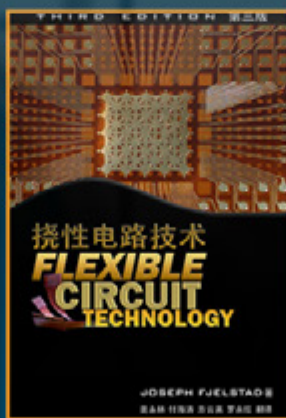
Morgana Ribes, et al
Alpha Assembly Solutions

1007
Books



印制电路板
绿色生产之旅
——零废水与
化学品回收

Peter Molloy
Happy Holden



挠性电路技术
**FLEXIBLE
CIRCUIT
TECHNOLOGY**

JOSEPH FJELSTAD
EAGLE HAWK DESIGN



HDI手册
Happy Holden



电子制造业新时代

世界的进步，每时每刻都在对电子电路制造商提出更多新的要求。随着电子电路产业进步，逐渐甩掉了高排放、高污染、劳动密集型等低端制造业的帽子。电子电路制造业正迈入新时代，未来在很长一段时间里都将是朝阳产业。

专题文章

9 封面故事

11 新形势下 CTO 的新职责
by the I-Connect007 Editorial Team

21 Michael Carano 谈：过程控制重点
by the I-Connect007 Editorial Team

31 注意：良率先行
by Matt Stevenson

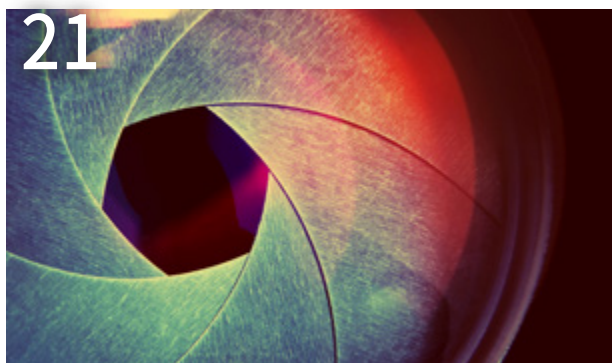
35 如何实现湿制程自动化
by Christopher Bonsell

39 Korf 和 Strubbe
——材料业发展的见证者
by the I-Connect007 Editorial Team

45 电子制造业在印度的发展机遇
by John Mitchell

49 2022 年 EIPC 夏季研讨会：第 2 天
by Pete Starkey

57 EIPC Technical Snapshot 线上研讨会
汽车电子技术领域新型激光制造工艺
by Pete Starkey



如何选择高性能材料

这本书告诉你如何以尽可能低的成本，
选择适合你的材料以实现预期的性能要求

印制电路设计师指南

高性能材料



Michael Gay
Isola

1.007e
Books



现在下载

1.007e
Books



扫码订阅公众号推送



其他栏目

- 56 PCB007 中文网站 Top Ten
- 113 行业活动日历
- 114 广告索引、下期预告
工作人员名单

行业要闻

- 55 疫情、供应链和通货膨胀风暴中的
4 大希望
- 102 金属开采需要长远眼光

专题文章

- 61 剖析空洞
by Todd Kolmodin
- 65 工艺工程师指南：最终蚀刻，第 1 部分
by Michael Carano
- 69 加成法：通过油墨控制阻焊层厚度
by Luca Gautero
- 71 用于微通孔的纳米铜导电膏
by Happy Holden

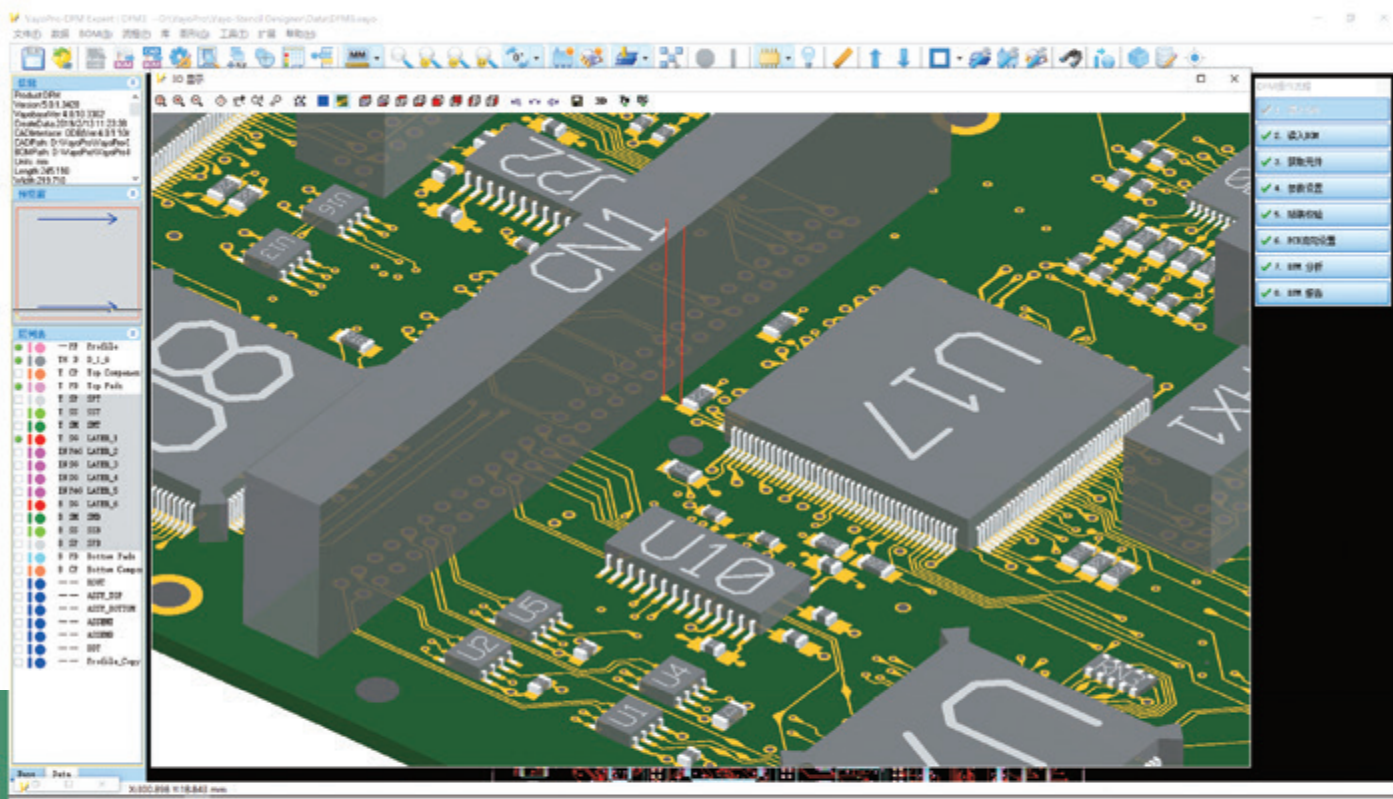
PCB 组装专区

- 77 元器件供应链的喘息空间
by Nolan Johnson
- 87 设备智能化发展
by Michael Ford
- 91 Axiom 采取措施应对行业挑战
by Michael Schindele
- 96 CMMC 2.0 倒计时：你准备好了吗？
by Divyash Patel

PCB 设计专区

- 99 芯片短缺推动创新
by Malcolm Thompson
- 103 采购新模式
by the I-Connect007 Editorial Team
- 109 EM 解算器的实际应用
by Heidi Barnes

望友可制造性设计分析软件



减少试产次数
2-3次



缩短NPI周期
30%-50%



减少品质缺陷
>80%



降低售后维修率
>40%

☑ 3D实体模型库

包含元器件各类实体信息

☑ 1200+条组装规则

线路层、丝印层、阻焊层、焊膏层、
钻孔层.....

☑ 300+条裸板检查规则

印刷/红胶工艺、贴片工艺、回流工艺、
插件工艺、波峰焊工艺、测试检查、返修.....

☑ 模板化设计审查报告

支持多种格式输出，
提供分析报告定制服务



CTO 剖析

21世纪担任CTO需具备的条件

具有强大的财务知识



CTO需整合财务、技术和销售；
能够规划投资、研究投资回报率
并平衡必要融资。

具备极佳的销售技能



如今的CTO直接与销售团
队合作,以获取新的项目
并将其与投资联系起来。

具有前瞻性思维的制程规划者



CTO需要为每个制程制定
计划,以实现最大产出。
制程必须稳定才能实现自
动化。

整体系统架构师



CTO是改进资本支出/运营
支出的主宰,负责寻找项目
并将其结合在一起,
以证明资本的合理性。

具备工业4.0经验



收获优秀的CTO可能使组织在当
今市场上获得更高的投资回报率。

来源: “The Brave New World of the CTO”, PCB007 Magazine

点播:免费的 11讲网络研讨会

电子产品的可靠性预测

专家:Graham Naisbitt, Chris Hunt

该网络研讨会系列解释了新的具有突破性的测试标准,有助于电路板达到预期可靠性。

SPONSORED BY



开始观看

新形势下 CTO 的新职责

by the I-Connect007 Editorial Team

Alex Stepinski 接受了 I-Connect007 编辑团队的采访，他深入剖析了 PCB 制造工厂的自动化。但本次采访的切入点并不是新设备和面板搬运装置，而是更多地讨论了自动化策略。Alex 详细阐述了 21 世纪 CEO 要承担的新职责，并强调行业严重短缺可以胜任这个岗位的人才。

Nolan Johnson : Alex, PCB 制造的自动化进程不断受到来自各方面的压力，涉及生产能力、相关的人工以及人员配置能力。PCB 工厂负责人如何才能在不斥巨资或不聘用程序员、软件工程师的前提下推动自动化进程？

Alex Stepinski : 自动化是很引人关注的主题。它是 CFO 负责的投资管理与 CTO 负责的技术革新之交汇点。一家公司如果聘请了具有强大财务背景的 CTO，那这个人就很有可能成为推动自动化进程的关键人物。并不需要聘用现场工程师提供支持，只需要一位整体架构师即可。重点在于通过精益启动法进行内部创业。问题在于“公司要如何实施商业计划以提高生产效率，包括人工、资本利用效率、资本投资回报率和商品策略？”需要针对特定制程范围制定的计划——如果公司升级到某个程度，能从中得到哪些收益？能生产出哪些产品？具备哪些应急能力？又该如何将其货币化？只有认真审

视这些具体结果，才能高效完成自动化的实施。

比如，当投资回报率较高时，很难监管资本投资不足的传统工厂中工人的工作。这些员工用着已经使用 30 年的设备进行生产，使设备能正常生产出产品本身就已经是非常了不起了，因为设备的设计落后，无法生产出目前设计出的新产品。一般情况下，不会对使用 30 年的设备做自动化升级，而会购置一套能够生产工厂目前订单中最新产品的现代设备。为了实现自动化，制造流程必须稳定，事情就是





珠海镇东有限公司
GOAL SEARCHERS CO.,LTD ZHUHAI

镇东，让塞孔、研磨更轻松！

2021年刷辊类共销售**83323**支，油墨共销售**6240**KG



GSH陶瓷刷辊



GSH缠绕式不织布刷辊



GSH放射式不织布刷辊



GSH高密度尼龙针刷辊



GSH匹配型塞孔油墨



新品上市
全自动联线式高效真空丝印塞孔机



销售实绩：**159**台
CCD真空丝印塞孔机



销售实绩：**138**台
双面对磨砂带机



销售实绩：**546**台
智能化刷板机

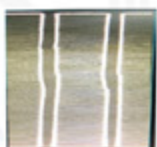
●以上数据截止到2022年8月

● 解决各类真空塞孔&研磨问题 ●

2021年共计加工**2068281**片



盲孔



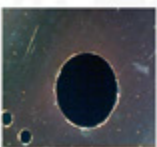
高纵深比通孔



单面背钻孔



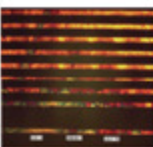
双面背钻孔



孔口去披锋



铜帽去除



防焊前处理



地址：广东省珠海市香洲区前山明珠南路2007号2栋
HTTP://www.goalsearchers.com

TEL: +86-756-8633473
E-mail: info@goalsearchers.com



这么简单。这是首先要克服的困难，尤其是老工厂，非常依赖操作员去操控制造流程以使生产正常。在自动化环境下，制造流程是否能稳定生产？如果答案是否定的，那么首要做的是升级制造流程。

Barry Matties：必须要把所有需要用到操作员的环节去除，才能实现制造流程自动化。



Alex Stepinski

Stepinski：确实如此。坦白说，现在很多成立时间更久的工厂都遇到了这种情况。同时会听到很多公司说：“没有足够的空间进行自动化升级”，因为多年前在刚刚创业时从未想过部署自动化策略。当设备既需要用到操作工，内部又不具备足够空间，且制造流程不稳定时，最佳方案通常是购置一台新设备。但是工厂的一系列设备中，有多少设备需要被替换掉？如果只占到百分之几，那就大胆去做吧。我敢肯定能找到融资渠道 / ROI。如果大部分设备都要被替换掉，那就完全是另一回事了。必须要仔细斟酌要做的事情。甚至可以趁现在把工厂卖掉，因为当下是估值倍数比较高的时候。

但如果觉得公司的业务很有前景，比如生产某种特定类型的 PCB，那么可以预估一下投资回报率，为更大的项目进行融资。如今设备的体积一般会比 20 个世纪 90 年代以及美国早期使用的设备小一些，所以只需较小的占地面积。

自动化投资的关键在于制造流程和自动化水平。不能是随随便便在一台可以从事一定生

产活动或刚刚升级完的设备上安装好装载机和卸载机就认为大功告成了。希望新产品的复杂度有多高？想生产什么类型的产品系列？有多少种面板尺寸？在北美市场，我们能生产出各种尺寸的面板；国外市场就做不到这一点。自动化程度越高的工厂，能够生产的面板尺寸就越少。

材料成本通常要比加工成本少很多，优化面板尺寸可节省更多成本。通过减少面板尺寸数量，能够在不增加 TCOQ（质量总成本）的前提下提高供应链的效益、减少额外费用。如果可供选择的面板尺寸过多，需要加宽装载机区域的轴距和优化传送带宽度来避免面板触碰到设备边缘，从而提高产品的整体质量，但这种做法会增加自动化成本。装载机可以根据需求调整面板尺寸，也可以手动进行调整，但这种做法又有悖于自动化的理念。

面板的一般宽度是 24 英寸，这种情况下可以加工 18"×24" 至 24"×36" 的面板。或者也可以加工小一些的基板，例如 12"×18"、16"×18"、18"×24" 等。这些尺寸涵盖线路卡、HDI 和载板。确定所生产面板尺寸策略有助于降低自动化成本，同时也可以减少设备的占地面积，因为要生产的面板尺寸越多，自动化配套设备就越多。想选用哪种装载机 / 卸料机？可以选择机器人系统或固定轴距的系统。这些系统都有高配置、低配置和无编程界面选项。

协作式机器人的使用如今也非常普遍。最近，行业从 20 年前使用的独立式装置发展到了像 Kuttler 模型一样的封闭式装置，但拥有成本较低，出于安全考量还在里面加上了更多

传感器，避免重复进给垫片或一次拾取 2 块面板。也可以通过检查 2D 代码的方式来确保是正确的工件。

除此之外，还可以选择更高端的机器人，或者使用通过自动时钟方法处理工件的系统。但一旦选择了高端系统，就要由供应商为公司编程，这是他们收取客户费用的策略组成部分。如果公司选择高端领域，是否需要向供应商支付额外费用来为公司完成所有工作并维护设备？公司愿意支付这笔费用吗？

如果工厂历史比较久，尚不需要考虑这些，协作式机器人和封闭式装置就足够了。但如果是一家新建 OEM，可能就需要全面实施自动化，并且公司内部也需要配备一支工程设计团队。有的公司会委托自动化供应商来完成编程，有的公司则会由内部团队来完成编程。具有内部编程能力是最安全的，从长期来看也是最可持续的一种方式，因为谁也说不坏供应商会发生什么情况。

所以从整体策略角度来看，如果工厂比较旧，自动化程度几乎为零，那么全面的工业 4.0 方案并不适合。需要先按照前文所说的这些阶段一步步去落实，有了回报之后，再考虑接下来该怎么做。

Matties：这个过程中会遇到哪些阻碍？

Stepinski：过去一年，我发现一家制造厂的系统架构师并不同时具备实现自动化所需的技术技能、金融技能和销售技能。没有能同时具备以上这些技能的员工。所以组建团队很难。规模比较小的工厂，甚至都无法组建这样的团队，人们都非常忙碌。

我认为这是最大的阻碍。聘请一位可靠

的 CTO 可能是 ROI 最高的一项投资，且能让组织价值在 2022 年达到帕累托边界。如果成立时间较久的工厂想雇用刚毕业的年轻人，很难留住他们。据目前估计，现在毕业的学生在 35 岁之前会更换 10~14 份工作。这是我从一位伦敦商学院的教授那里听来的数据，它出自普林斯顿大学最近的一项研究。

这种变化发人深省。工厂通常会招收年轻人加入学徒项目，这是多年形成的惯例。但现在来看，这种模式并不是很理想，因为 PCB 行业的工作环境比较恶劣，除非一座小镇上绝无仅有的工厂，即便如此，年轻人也更青睐远程工作。所以说必须要想好要如何应对人们的频繁跳槽。在这种大环境下，最好聘请一位可以担任架构师的 CTO。CTO 主要负责技术部分，但也具备一定的金融背景，能够做投资规划，能够研究资本的投资回报率，以及如何平衡新设备的必要融资。如果公司的 CTO 不具备金融背景，可以为其报名相关培训课程，让其掌握相关知识。

美国对能够完成工厂改造升级人才的需求巨大，他们需要做的就是将计划里涉及到制程环节都串联起来。就我最近的经验来看，现在市场的 ROI 很高，整个大环境非常利于推进业务。只需要聘请一位能够串联制程环节的人才。

Johnson：Alex，听起来像是有些制造厂已经优化了组织内部的研发流程。

Stepinski：通常，具有多个战略性项目的大型企业才有能力组建研发团队。对于小型工厂而言，关键并不是要组建开发自动化制程的研发团队，也不在于是否有财力去组建研发团

队，而是根本就不具备实现自动化的基础。假如想更换现在使用的电镀生产线，可是给不出合理的理由，这时就需要一个人来说，“如果要达到这个容差，就能有更换这条生产线的合理理由，这些新项目可以带来收入。”一般情况下，说这句话的人应该是公司 CTO。

然后就是跟客户沟通，得到他们的一些承诺和保证，当然这种做法也不是没有风险，但也不会没有回报。这时可以说，“我之所以要这样做是因为一旦完成升级，就可以拿到这些项目。”这就是所有业务的风险回报基础。在我看来，这是做事的正常流程，在实际中却并不常见。在很多美国工厂，市场往往依赖工程设计团队，却不知道他们也是巧妇难为无米之炊。而且供应商也常常被拿来当做杠杆，他们都有各自的利益诉求（与制造商的利益诉求可能并不一致）。

Happy Holden : 没错，研发能力是不同于制造流程和计划扩展的技能组合，必须专注于目标和推动目标实现的业务计划。需要保持简单的实用性。

Johnson : 我的问题是，有些人认为自动化是一种工程设计和制程研发类型的活动，需要涉及到更多技术 / 研发工作。你的意思是这属于一种业务计划方案？

Stepinski : 没错，市场已经准备好迎接这种方案了。如果采用了这种方

法，那公司业务从现在开始就会突飞猛进。现在，供应链非常不稳定，政治局势动荡不安，正是采用这种方法的好时机。

Holden : 所以我才会强调投资回报率、资本成本以及目前的净值和安装这些工程的经济数据。

Matties : 你怎么看目前业内的销售工作和销售人才？CTO 的领导力要展现在技术、财务和销售能力上。

Stepinski : 一家公司的 CTO 在 2022 年确实应该思考这些事情。我就会定期参加一些顶尖院校的课程。CTO 既要非常懂技术，还要非常了解财务知识，与此同时还是公司的销售业务骨干。可以说 CTO 是技术、财务和销售方面的集大成者。

这些人往往拿着非常高昂的佣金，所以一家公司最多只能聘用一名 CTO。这个岗位要处理的事情非常多。现在是启动这一岗位的关键时刻。身为公司 CTO，要与销售人员合作。

希望 CTO 能掌握一些市场情报，然后去找到可获得项目并和投资联系在一起。

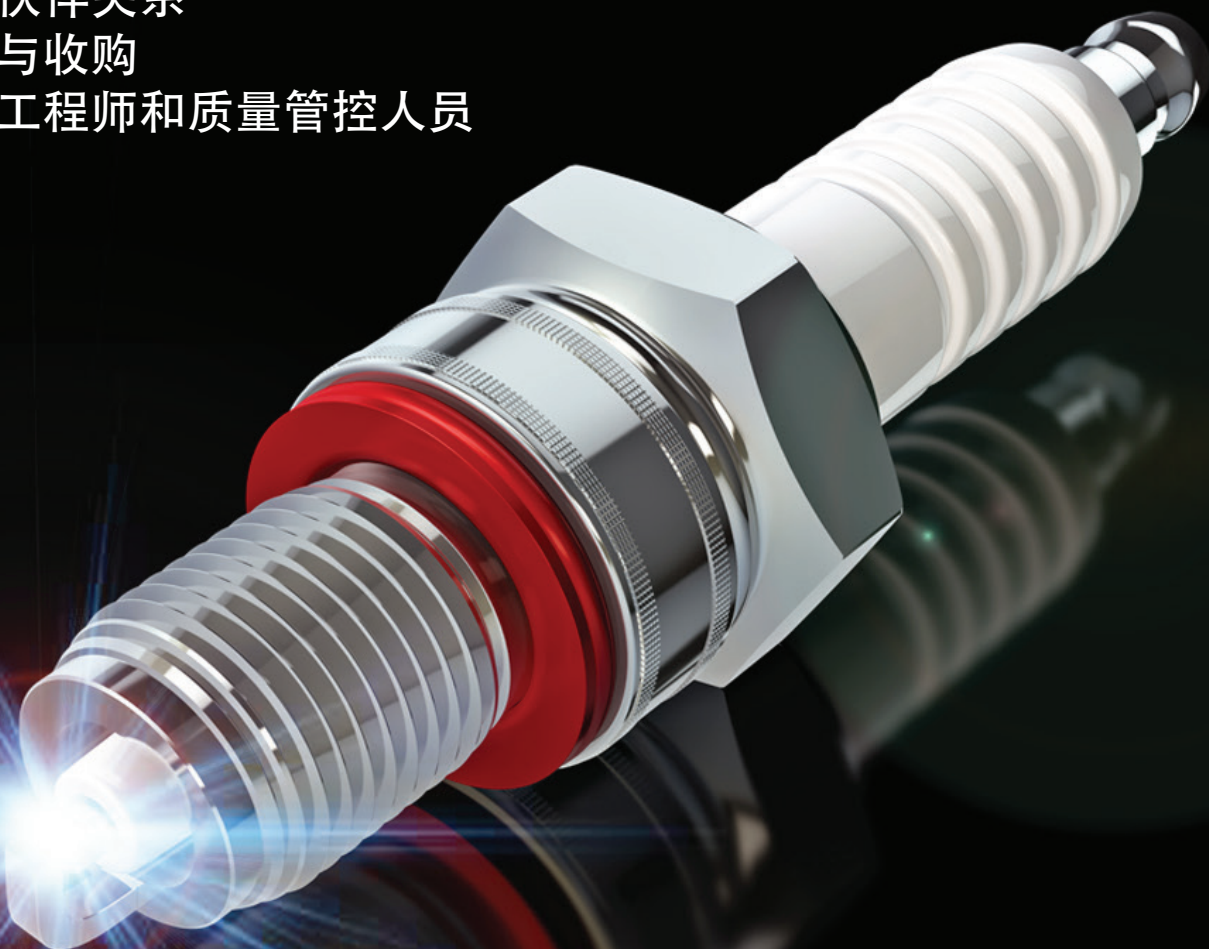
然后可以问客户，“如果我们投资了这种工艺，能不能解决你们现在面临的问题？我们能不能合作完成这个项目，一起生产这个系列的产品？”我通常会问客户需要为他们提供哪些技术帮助，或者我



准备好把产品销往海外了么？ 准备好提升您在北美市场的业绩了么？

D.B. Management为您提供所需的一切服务：

- 营销
- 销售人员/直接广告代理
- 客户增长
- 美国伙伴关系
- 兼并与收购
- 寻找工程师和质量管控人员



20年来致力于帮助海外公司在美国拓展销售



点击了解如何拓展您的业务

☎ 207-649-0879 ✉ danbbeaulieu@aol.com

们怎么样才能帮助他们。他们目前无法生产哪些产品系列，然后设计出一种可以生产这些产品系列的工艺，且用现有的工具包，再确定要升级的部分。做完所有调查之后，汇总成投资报告。可以跟客户 A 说：“如果我跟客户 B 合作完成这个项目，我们只需要做很小的调整就能得到最快回报，也许和其他方案相比，这样做是最有战略意义的。”这是做此类评估后的常规操作。基于这些信息，就可以制定业务计划方案，得到潜在系列项目清单，这样有助于降低投资风险。

这种方式不仅仅可以计算出 NPV 或某项业务的内部回报率，还可以连接制程的各个环节。作为 CTO，要不断寻找挖掘节省资本支出 / 运营支出的方法——要找到一些项目，并且要将这些项目联系到一起，证明资本投资的合理性。但很少有人能满足这个要求。放眼全球 PCB 行业，可以说只有 10~20 个 CTO 真正能发挥出这个岗位的综合作用，而其他人也只是模仿前辈的成功经历，照葫芦画瓢。现在没

有可以培养出这类人才的项目，没有可以促进行业发展的项目。这一块是完全缺失的。

Matties：大多数小型工厂都不会设 CTO 这种岗位。一般都是由制程工程师或具有工程设计背景的总裁兼任。

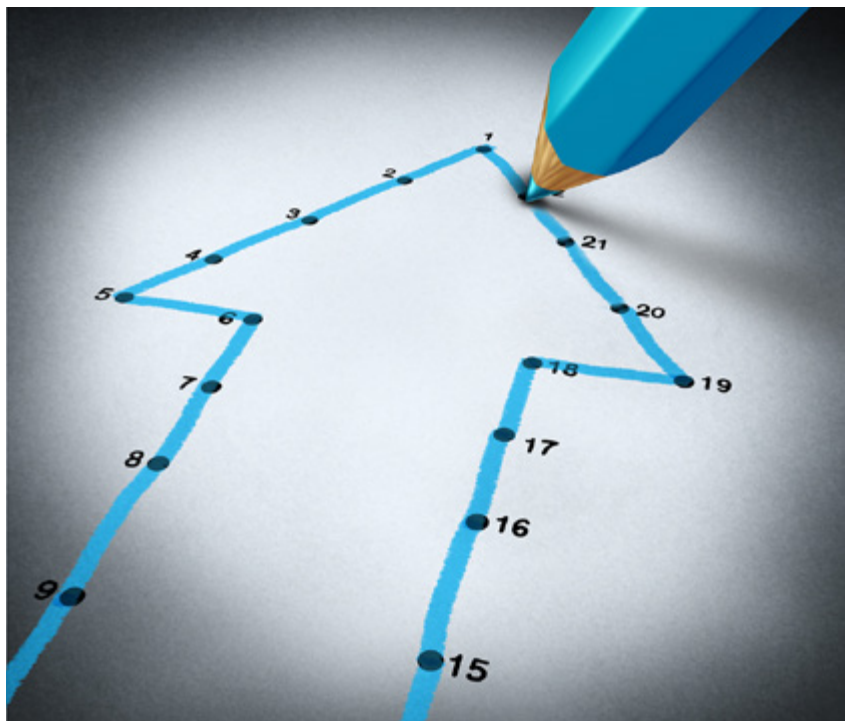
Stepinski：不论工厂大小，都需要设置 CTO 岗位。除非是只需要生产一种部件，并且总裁有充足的时间。另一种方法是公司总裁去学习技术、财务和销售有关的课程，具备相应知识后，就可以既担任 CTO 又担任 CEO 了。

Matties：这倒并不意外，我们也谈论了建立稳定制程的基准。要从已有的模式调整到新的模式，要具有前瞻性思维而不是被动管理思维。是否存在你特别关注的领域？

Stepinski：没有。老实讲，我之所以会拒绝掉很多项目是因为我觉得他们并不适合。但我自己创业以后，我意识到市场缺少这样的综合性人才，这是再次振兴公司业务途径。

Holden：可以分享你最初采取的措施吗？你如何一步步发展达到目前的水平？过去 10 年，你可能比其他人做得更多。

Stepinski：在创业之前，我休息了一段时间。我利用这段时间去上了财务课和工程课，还去商学院学习了一段时间，然后将我学到的东西都整合到了一起。确定了市场这一重大需求



之后，制定了我自己的计划并朝着这个目标发展，事情似乎也进行得很顺利。我觉得这是一个其他人可以模仿的模式，因为行业需要更多这样的人才。

Johnson : Alex, 听起来你担任的角色是咨询 CTO。你帮其他公司制定计划，帮他们的 CTO 提高技能。

Stepinski : 我不是工厂的 CTO，但我为公司的高管提供咨询服务。这要取决于公司想达到的发展速度。如果计划持续投资和再投资，那公司就需要这些服务，也需要设立 CTO 岗位。如果只是想要获得短期成效，那就是只需要连接制程环节，确定改进业务计划的正确投资，我也可以提供帮助。投资包括设备投资和人力投资，也可以是像软件一样的承包服务。公司肯定不想雇用太多“35 岁之前要换 10~14 份工作的年轻人”，而且也要认识到了在当前经济环境下，合同商才是关键所在，因为这样既能让人们有足够的自由，生活在自己想生活的地方，做自己想做的事，而且还能实现更高的投资回报率。当然，聘用正式员工仍有价值，但现在有很多工作都是一次性的，并不需要全职员工去做。正式员工比较少时，CTO 需要做的行政工作就会少一些，可以把精力更多地集中在技术上。

如果想在 2022 年取得成功，就需要顺应这种发展趋势。作为 CTO，会认为并不需要太多工程师，这种方式并不适合。鉴定能够带来投资回报的改进项目，让不同类型的承包商（没有相互有利益冲突的供应商）和公司内部资源来执行这些项目。CTO 的职责在于要准备好相关设备、所需提供服务的作业说明书，以

及相关人员岗位 / 技能说明书。

CTO 的价值就在于如何更好地开发与人员、服务和设备相关的作业说明书。制定完作业说明书后，只需要指定内部 / 外部资源去执行任务，并且按照计划落实投资。高技能人才是非常稀有的资源。让他们学习更多相关知识，才能懂得如何管理这些工作。通过课程项目的形式让 CTO 学习如何整合技术、财务和销售这 3 种职能，让公司有再次对业务进行投资的机会，这本身就很难做到。但如果能让合适的人在合适的岗位上发挥作用，就可以提高公司的投资回报和估值。

Matties : 贵公司是否只专注裸板加工领域？

Stepinski : 公司的业务是跨行业的，大多数都和新工厂有关。我现在不会直接从事与 PCB 工厂相关的业务，我会研发全球范围内的制造流程，并研发出利于 PCB 工厂发展的 IP。我和其他行业的有直接的联系，且我目前的工作足迹遍布美国和 EMEA（欧洲、中东、非洲三地区的合称）。我从来没想过要直接从事与 PCB 工厂相关的业务，因为通常这个市场需要头脑冷静。

Matties : 这是否意味着裸板工厂会迎来光明的未来。

Stepinski : 可以这样来思考问题：为什么亚洲和欧洲可以实现自动化生产，但美国却做不到？

Matties : 对此你有什么看法？

Stepinski：亚洲和欧洲的生产会更多一些，升级成自动化以后，竞争格局就变成了看谁能生产出更便宜的小部件。美国把所有生产业务都外包了出去。欧洲也是，但德国还是有一些工厂在为汽车市场进行大量生产。这些工厂就已经实现了自动化。其他欧洲工厂虽然不能像德国工厂一样从事如此大规模的生产，但他们也参照德国工厂实现了自动化。可以去拜访德国的工厂，学习他们是怎么实现自动化的。在美国，我们没有可以参照的榜样。每家公司都紧闭大门，对同行不太友好。

我发现 EIPC 研讨会就比 IPC APEX EXPO 研讨会的氛围要友好很多，制造商、供应商都很积极地沟通交流。同时，欧洲各工厂之间的合作也要高于美国工厂。美国和欧洲在很多方面都是很相似的。欧洲虽然也把生产任务外包了出去，但还是保留了汽车制造业，于是也就取得了一些发展。但是在美国，我们把所有生产都外包了出去，曾经已经实现自动化的很多工厂也相继关停。

亚洲也在全力以赴进行自动化生产，因为亚洲是世界工厂。自动化生产能带来规模经济，具备自动化生产能力以后，竞争优势也会随之增强。

如果要实现灵活的生产，就不能采用与专门从事批量生产的工厂相同的自动化策略。只能是采用半自动化策略，因为设备不能一天只生产同一种编号的部件。这种情况下，就要把每个流程当成一个工作单元，重点关注哪个产品要在何时以何种形式通过哪个工作单元。从运营规划的角度来看，美国的工厂内，一台设备通常需要应对多种不同工艺，而不同的工艺又涉及不同的方法。如果需要用到化学镀铜、去钻污等工艺，使用的设备就不能仅仅是可去

除通孔的钻污或在通孔中进行化学镀铜，还需钻盲孔、可完成图形电镀用环氧树脂填充的导通孔。

设备还可以用来完成图形电镀或全板电镀，或管理晶种层，产品的复杂程度越来越高。美国可以生产需要 400 个工序的产品，但是那些简化制程、有更大生产线、增加生产线的步骤和标准化生产的工厂，对此类产品就束手无策。

在美国，如果想完成繁杂的生产步骤，最好使用产品寿命周期管理（Product Lifecycle Management，简称 PLM）系统。这类系统的性价比非常高，可以用 PLM 创建工艺清单——如何落实生产配方以及如何让各个环节相互作用。这样一来，就得到了工厂自动化升级方案的框架。只需要较低的成本就能用这种软件工具创建出方案框架。我也会用 DSM（Design-Structure-Matrix，即设计结构矩阵）来优化工艺清单（Bill of Process，简称 BOP）。

如果不使用科学的方法，只是对不断演变的操作进行自动化升级，那么长期来看不会有很高的资本效率和 ROI。不能因为只追求敏捷的速度就只使用标准的工作单元，然后给每个工作单元都配备同样的装载机和卸料机。相反，要考虑到所有设备都是不同的，所以对每台设备都要应用不同的方案、不同的系统架构，且要考虑如何管控这个系统才能达到最大 ROI。不要为了标准化而标准化，即使从系统层面上来看这样会呈现出非常好的书面效果，而是要更关注分系统层以节省支出。每个工作单元都有截然不同的系统。要根据投资回报率逐个去解决。首先要做的就是把工作单元与客户的项目联系在一起，这就是方法。

我们如何才能通过加速这个进程来改善美国市场?正如前文所讨论的,培训是一种很好的方式,但开发一个课程项目还需要更多的人来集思广益。另一种方式是单独建立一二处工厂进行自动化升级,让人们看到自动化带来的好处。Schweitzer Engineering Labs 在这方面可能是思维最开放的,他们以美国市场为导向,愿意向同行展示他们现在掌握的技术。其他工厂虽然拥有很多 IP,或者说只是有很多秘而不宣的东西,他们最担心的就是分享这些信息。

Holden : 在密歇根西部,至少有 12 家企业专注研究自动化制造,尤其是机器人。比如 JS Automation 公司就不仅能满足底特律地区的需求,还能给日本、德国和全球其他一些地区供货。

Stepinski : 我也认为在美国境内,这样的工厂数量比其他任何地方都要多。

Holden : 不幸的是,工程师的需求量永远都得不到满足,而失业率又降到了 2.8%。行业正依靠社区大学培养具有技能的技术人员。

Stepinski : 但这样并不是正确的方法。我把这种情况称之为用全面的方案去解决不确定的问题。最好去想一想采取什么行动才能解决这个问题。首先,行业可以联合起来起草一份工作清单,降低境内自动化工艺和设备的成本。要给基本的商品设备制定标准的技术规范要求,并在美国境内完成生产。大多数工具在美国售卖的价格通常是亚洲的两倍。通过标准化的分系统,可以缓解这一问题。

如果我们都有相同的工作重点,所有设备就都能高度自动化,这些技术人员自然也会去选择做工程师了。其次,要充分利用这些知道如何使用设备的人才,这才是工作的重点。下一步就是找到负责运营工厂的人。如果使用了协作式机器人自动化技术,老实讲,CTO 也不是多有技术含量的工作。

我们太过于关注那些技能型人工(并不是说这类人工没有价值或是没有存在的必要),但工作重点应该是撰写出更清晰的作业说明书,以实现任何人都能操作的简单自动化技术和制造流程。这样做才能具备更高的成本效益,然后就可以利用内部的自动化专业人才来进一步完善制程。这样做才更合理。

Matties : 最后你还有什么想与读者分享的信息吗?

Stepinski : 如果想帮助这些工厂扭转现在面临的局面,需要和他们认真探讨,需要组建团队,用几天的时间制定出有利于行业发展的良好战略。

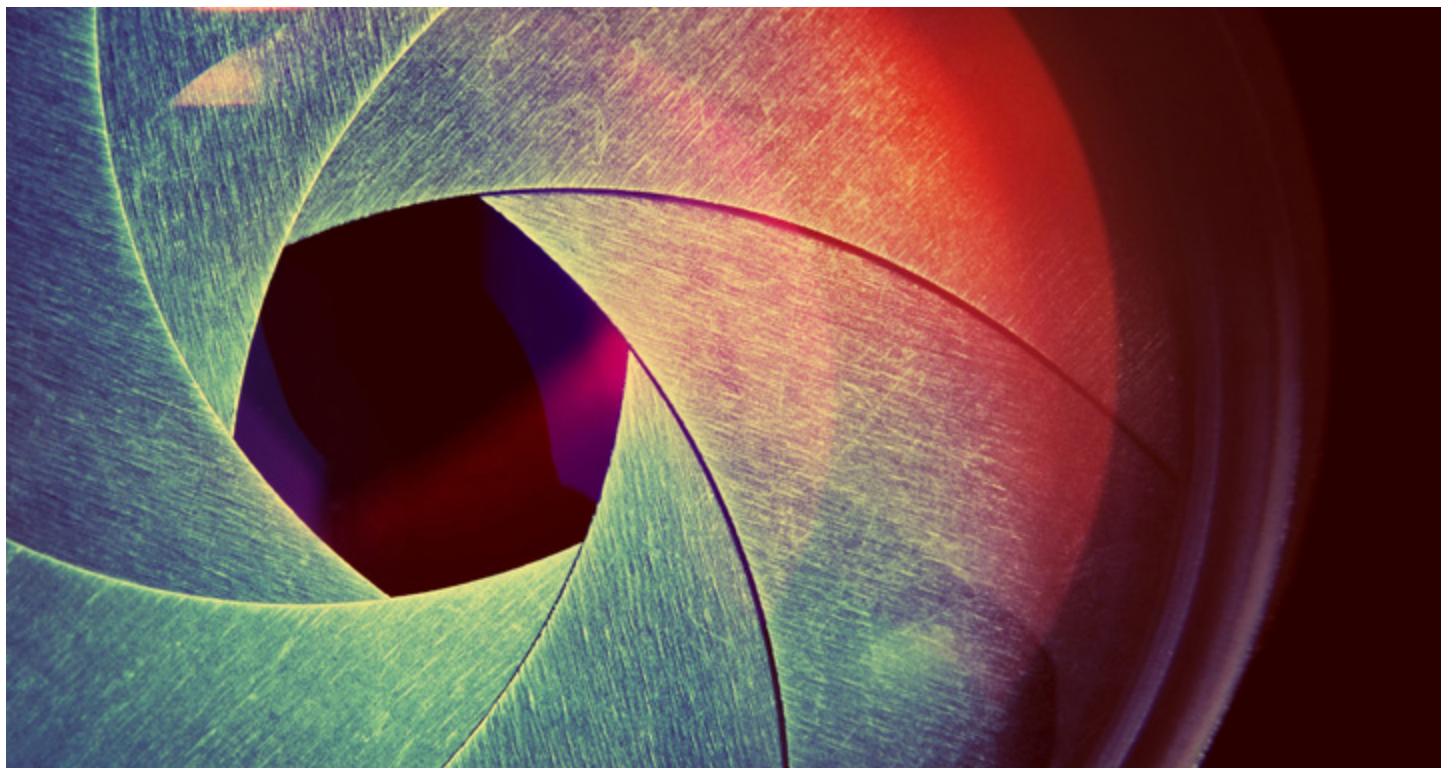
Matties : 我们一定要找机会继续这场采访。一定会有足够的时间让我们把所有信息都汇总到一起。

Stepinski : 谢谢你们。

Johnson : 非常感谢。PCB007CN

Alex Stepinski 任 Smart Process Design 国际技术设计工作室负责人兼总裁。

Michael Carano 谈： 过程控制重点



by the I-Connect007 Editorial Team

Michael Carano 是著名的过程控制、电镀及金属化技术、表面处理和可靠性专家。因此, I-Connect007 编辑团队特邀请 Michael Carano 探讨在如今多变的环境下如何实现现有设备的机械化。《CHIPS 法案》的政府资金是否会惠及 PCB 裸板制造业?可以调整工厂车间的何种工艺?他强调重点是不仅仅需要关注生产和产品出货,更需要关注过程控制。

Nolan Johnson : 您就目前市场以及制造商应该如何提高自身能力有全面深入的见解。是

否可以简要介绍您撰写的论文《IPC 思想领袖计划》(IPC Thought Leaders Program) ?

Michael Carano : 首先, 行业都在谈论政府补贴资金高达 520 亿美元的《CHIPS 法案》, 但 PCB 行业的同仁都说: “嘿, 这项法案很好, 但芯片不会飘在空中, 芯片将置于何处?” 除非同时增加 PCB 产能, 否则芯片仍将“漂洋过海”, 进入海外的半导体封装测试外包企业 (Outsourced Semiconductor Assembly and Test, 简称 OSAT) 或类似企业。因为美国本土没有 IC 载板生产能力。

我的论文探讨了如何通过升级设备使现有

Galaxy X 系列

适用于IC载板检测的最先进AOI

- ◆ 可检测细至4微米线宽/线距
- ◆ 拥有最低假点率的最佳检测能力
- ◆ 可搭配二维和三维量测功能
- ◆ 可完美兼容工业4.0技术
- ◆ 占用更小的空间

Galaxy 4x

(最细4 μ m线宽/线距)

Galaxy 5x

(最细5 μ m线宽/线距)

Galaxy 7x

(最细7 μ m线宽/线距)

Galaxy 10x

(最细10 μ m线宽/线距)



康代中国 | WWW.CIMS.COM

如需了解更多资讯，请直接联络当地康代销售代表。



Michael Carano

制造产能翻番。每家制造商大约需要 1000 万至 1200 万美元资金，目前美国约有 100 家制造商，总计需要投资约 12 亿美元。如果把基建投资也计算在内，那么这个数字可能要达到约 35 亿美元，过几年再翻一番，将达到 70 亿美元的市场。这些投资资金，无论是来自政府、实物贷款还是其他方式，必须要保证。

需要升级和投资的设备，包括水平式设备、新电镀技术、可靠性、内部测试、材料搬运、导通孔形成、激光钻孔等。我研究了所有新设备，最先进的是飞针测试设备。

如果从头开始建设新厂，那投资可能需要 2500 万至 4000 万美元。以美国 5~6 家主要制造商为例，如 TTM、Summit、APCT、FTG、Calumet，都拥有多家制造工厂，拥有高素质的人才和极佳的工程设计能力。

Johnson：对于《CHIPS 法案》高达 520 亿美元的政府补贴资金，PCB 制造商所需的投资资金只占到了约 2%。

Carano：没错。美国的制造商能力强且稳定，企业管理很好，但在进行投资时，他们需要帮助，以最小化或降低投资风险。我知道他们可以做到，并且做得很好。

化学工艺不断发展，材料不断改进。全球 PCB 制造商用的是同样的化学药水，没有什么秘密配方；全球 90% 的化学药水和材料是由美国公司开发的。他们可能在全球各地都有机构，而且都在使用这项技术。有人告诉我美国不使用电镀技术，那不是真的。

数字工厂

Barry Matties：你认为 PCB 裸板制造商应该如何对待数字工厂？似乎很多制造商都持有“我们的规模很小，数字工厂不适合我们”的态度，不愿实施“数字工厂”计划。

Carano：你了解 CFX 和“未来工厂”。组装公司了解设备、设备相互连接的需求、数据传输方式、基本监控，以及出现故障时如何快速返修。

然后是区块链。实际上，区块链是任何交易、软件开发或工厂运营安全的重要组成部分。他们不了解这种联系，或者成本似乎是主要问题。此外，我们为什么不投资更多的半加成或加成法工艺？通常，制造商并不认为 CFX、数字工厂对他们来说是一项会提升其在行业中地位的重大举措。

Johnson：制造商很难为旧工艺配备足够的

员工。

Carano：劳动力问题在各个行业都面临挑战。我在加利福尼亚州旅行，到处都是制造业的招聘广告，不仅仅是 PCB 行业存在人工不足问题。行业并不需要博士或硕士学位的电气工程



师。我们正在努力吸引那些能够胜任这项工作的人，成为 CAD/CAM 或钻孔操作员团队的一员，或是能处理化学药水并控制生产线的人。

IPC 正在努力促进劳动力开发，向大学和高中学生伸出橄榄枝，使他们对电子产品及其功能产生浓厚的兴趣。IPC 做得很好，行业需要更多这样的行动。也许加利福尼亚州的所有制造商和组装厂都可以共同努力，分享信息，例如，“展示 PCB 行业真正能做的一切，向他们说明在 PCB 行业工作是伟大的职业。你可以得到发展和进步。这很令人兴奋，PCB 行业所做的一切可以改变和改善人们的生活。”

重建利润

Matties：PCB 行业的利润已经很低，已成为资本投资的阻碍。如何帮助行业提高利润？

Carano：据我所知，约 20 年前就有了向近岸技术的转变，但现在还没有全面恢复。然而，大多数人并没有意识到，所报告的电路板价值中有近 200 亿美元是在 iPad、手机、智能手机和其他无论如何都不会在美国生产的产品中。

我们从未在本土真正生产过手机用 PCB。然而，这种模式已经从整体上推动了电子技术的发展。半导体和电路板之间存在融合，有机会可专注于利润更高的工艺，因为这些工艺受到了保护。我们不想这类工艺被输出，而是留在这里。这就是应用于本土军事、航空航天、医疗、汽车和互联网基础设施产品的工艺。制造商会认为，与其说是提高利润，还不如说是提高良率。如果有更高的良率，他们会赚更多的利润。但问题是，如何将良率从 90% 提高到 95%？这点可能非常重要。

良率主要与劳动力开发、培训、认证、设备、仪器等有关。我拜访过几家制造商，他们的设备还没有升级，其中一些设备已经使用 20 年，无法从 3 mil 线宽线距升级到 1mil 线宽线距。如果投资能够提高良率，那么就有机会获取更多利润。另一关键点是，美国大约有 180 座 PCB 生产厂房，其中可能近一半厂房员工不足 50 人。

如果大型 OEM 说：“我认可贵公司的质量和生产能力。我每周需要 10000 件产品。”你如何帮助他们？它将占用公司的全部产能，公司空间有限。这就是我的论文观点，建议将产

能翻倍、雇佣更多员工的原因。这种举措可以帮助美国 PCB 行业恢复到几年前的水平。

让我们面对现实，与 15 年或 20 年前市场开始向亚洲转移时相比，今天的技术更加先进。好消息是我们保留较高的行业地位。我们不需要拥有一切，只要有 IC 载板、高端航空航天、国防、医疗、安全和安保应用即可，这是一项大业务。网络安全处于最前沿，将拥有受保护型行业的所有 PCB 生产订单的机会。如果能得到汽车企业、各种安全软件公司，以及军事航空公司的支持，我们就有机会在北美重塑 PCB 行业。

Matties：关于良率，已经有了过程控制，这不是管理层的规则吗？如果管理良好的公司，仍存在过程失控，那么管理规则可能需要做出很大改进。

Carano：是的。这些年来，可用不到 50000 美元的投入，完成数条生产线的完全自动化，实现过程控制。通过控制器、在线控制器进行在线监控，当漂洗不良而受到离子污染时，用电导率探针测量水的电导率。这些小探针大约只要 180 美元，可把它们像笔一样放在口袋里，检查过程也很方便。但是应用不广。重点要监控的不仅仅是生产和发货，还需要过程控制。

很多次我去到工厂，在化学镀铜生产线边，检查化学镀铜控制器。不知道多少

次发现：“哦，这是一个很好的控制器，但它没有连接或运行不正常，最近也没有校准。如果不打算使用它，为什么要拥有它？”这就是发生变化的关键点，当出现变化时，就会出现

Matties：所以，制造商投资部分必须源于工艺考虑，比如过程控制工程师、工艺工程师等。但当你开始谈论拥有 50 名员工的工厂时，你可以走进工厂，花 50000 美元进行调整。他们不知道吗？因为 50000 美元不是资源限制。

Carano：对。这并不是说他们没有相关知识。问题是只有一位可做所有工作的工程师，其他人员都是行政人员。工厂需要有更多工程人才，能了解过程和过程中发生一切的员工。但工厂只有一个年轻人，他进来后，第一天做成像，第二天做阻焊，第三天又要做电镀，因为“火”发生了，需要他到处救火。哪里都需要他，有些事情失控了。我现在要解决什么问题？随着控制装置的自动化程度提高，仪器将可提供在线分析。

不要仅仅依靠供应基地来为公司做这一

切；需要在现场解决问题，并且需要更严格的控制。如果正在构建 4~8 层板，也许不需要做所有这些投资，但无论如何都需要过程控制。只有少数过程在控制方面真正实现了自动化。也许备选蚀刻设备有进料和出料功能，但即



2022

IPC中国区活动

> IPC CEMAC

IPC CEMAC作为IPC中国区会员专属的电子制造年会盛典,2022年将呈现一系列丰富、精彩的活动,包括:一年一度会员答谢晚宴、标准技术开发组志愿者表彰典礼、IPC会员专属宣讲区(线下线上同步直播)、IPC标准&教育展示区。

> IPCSkills电子装联大师赛

IPC技能竞赛至今已连续举办12年,旨在为业界从业者打造一个提升技能水平、展示自我风采的宝贵平台。2022年竞赛全新升级为电子装联大师赛,除了涵括手工焊接竞赛、线缆线束装配竞赛,还将推出新的竞赛项目,赛制也将适应行业需求进行优化升级,敬请期待。

> IPC技术会议

线上研讨会是IPC为满足业界不同细分行业客户对于标准、技术、应用案例等解读需求,组织的技术性专题研讨会。2022年计划推出24场专题性会议,请随时关注IPC官方平台。

> CIT区域聚会

CIT区域聚会是IPC全新推出的新活动,2022年将定期组织区域性CIT线下聚会,希望以面对面的方式,进一步为CIT提供相互认识、交流的平台,最大程度上实现行业信息共享,资源整合,创造共赢。

> 在线平台

IPC亚洲会员社区(community.ipc.org.cn)是IPC为会员单位打造的线上交流平台,主要以行业技术交流为主。目前,会员社区已成功邀请近70位行业拥有丰富经验的专家入驻会员社区。

> 公益项目

IPC亚洲实习生计划于2020年创办以来已连续两年获得成功,通过提供有意义且富有挑战性的实习项目,将顶尖学生与电子行业最具创新和影响力的公司联系起来。

关于IPC

IPC致力于提升全球3000多家会员企业的竞争优势并帮助他们取得商业上的成功。IPC的会员单位涉及电子行业的设计、印制板制造、电子组装与测试等各个领域。作为会员驱动型组织以及行业标准、培训、市场研究和公共政策倡导的领导者,IPC通过开展各种项目以满足全球产值达2万亿美元的电子行业的需求。



了解活动赞助机会,
请扫描二维码

使如此，也要确保设备得到维护，以便能提供精确的读数，并使化学药水保持在严密的操作窗口内。另一点更广泛，这就是工程设计的作用。成像有很多工作要做，所有工艺必须结合在一起，不仅仅涉及电镀、材料或材料处理，还包括蚀刻、成像、表面制备、工作流程以及管控方式。在这个行业中，同时进行的事情太多了，且相互关联。

现有工厂的特有挑战

Johnson：《IPC 思想领袖计划》一文中，重点强调了机械化和自动化。现有工厂投资 1000 万美元，可在生产车间实现更多的机械化和自动化吗？

Carano：这是个好问题。公司在这个角落里，有蚀刻设备，那里有成像设备，可使面板通过成像工序到蚀刻工序再到显影工序。在我职业生涯的早期，通过直接金属化水平加工 PCB。从裸铜开始，经过水平去污，然后钻孔。所以，它是水平去污，一直发展到目前的直接金属化

生产线。因为直接金属化可缩短生产过程，确实压缩了大量时间，提高了生产率和质量。然后 PCB 进入有开口的薄板层压设备，光致抗蚀剂层压，面板成像。然后进行显影、蚀刻和剥离，全部自动化，全部水平加工。

通过自动化可以做很多事情，可以适当调整设备可加工的尺寸，用最新的蚀刻技术替换设备。新设备的占地面积可能较小，可水平加工。在亚洲，可能除了电镀，几乎所有工艺都是以某种方式或外形进行水平加工。有的公司可连续不断地水平电镀，现场有很多工程师一直在监控生产线，专门解决技术问题。

我家附近有一家杂货店，大部分收银设备都实现了自动化，但他们并没有裁员。相反，他们让员工站到货架过道中，帮助顾客找到需要的货品；如果找不到，他们会去储藏室帮顾客拿。

这就是需要员工做的工作。如果有工程师在现场，他们可解决问题，并严格控制一切，而无需担心水平生产线的运行。定期审核这些工艺是不是失控了？温度上升了还是失控了？重

点是变化。有些人，如 Happy Holden，坚定地相信工艺审核和控制生产过程。当我和 Happy 沟通时，了解到可以用更少的成本以合理的方式实现自动化。大多数人认为自动化将需要花费数百万美元。事实并非如此。

Johnson：如果是工作流程非常复杂的现有工厂，那么会遇到问题。他们必须从零开始，开发工作流程，然后才能利用自动化。



Carano：完全正确。

Matties：听起来工厂应该做的审核之一是确定工艺工程师做的工作。一天的日常工作？如果愿意，如何将他们从那些你所说的客户不关心的事情中解放出来？

Carano：没错。切记，生产线工人正在车间给蚀刻设备装载面板并移动面板。你要投资于他们的培训，这样当出现问题时，他们会注意到，停止生产线，并致电工程师。这是“面向客户”解决问题，并进行改进。

我与一位工程师一直在研究其公司的化学药水总成本，他告诉我：“生产成本可能太高了。”他怎么知道的？他是如何分析的？他是如何控制的？如果公司的电镀槽受到污染，就会被送到废物处理站。这就增加了成本。它在哪个环节被污染了，为什么？也许这是要做的第一件事。这是工程师的工作。多年来，我与一些真正了解如何控制事物和优化过程的优秀工程师合作。他们投入时间研究这些问题，并培训生产线上的操作员。这些工程师改进了化学药水的管控、添加的控制方式。这样做不仅提高了良率，而且减少了浪费，降低了成本。

人们总是关心每升或每加仑的成本。过程控制不是针对价格，而是拥有成本。做这块 PCB 花了多少钱？其包括很多事项，包括搬运质量、良率。要寻找一种有效利用过程的方法，可以通过人们的关注来实现。

曾有人告诉我，他们的化学镀铜成本是每平方英尺 2 美元。检查后，我发现他们在浪费化学药水。晚上不能适当关闭电镀槽，造成化学药水流失。可以做一些不花任何成本的简单事情：调低温度，打开空气泵，保持镀槽在夜



间的稳定，或者在周末清理镀槽，以防出现任何问题。当电镀槽恢复正常运行时，每平方英尺的成本会下降 50% 或更多，可靠性也会提高。可以做一些简单的事情，但这涉及到教育、培训、认证，以及让每个人都参与进来，包括老板和管理层。

Matties：对。如果管理层不积极参与，那就实现不了过程控制。

Carano：不，不会，这是同一个故事。如果 OEM 没有带着设计来找他们，说“我需要贵公司生产这个设计。希望可达到 20μm 的线宽和线距”，他们就不会对下一代技术进行投资。因为有一些很好的机会可以改进过程、化学药水、材料，但没有实施。本来能接下这笔订单，但很遗憾。

Matties：对于现有工厂，设施改造的优先顺序是什么？

Carano：我会从对所有工艺进行自上而下的审核，包括成像材料、搬运存储和湿度室。公司是如何控制电镀工艺的？匹配工艺在哪里？审核后再提出建议，比如需要更好的控制和更好

的实验室设备。不能只使用滴定管和滴定法，需要一些其他方法来控制过程。

为了生产高端产品，必须确定可靠性。生产过程有多高的可靠性？这很重要。有机会进行 D 型附连板测试、CITC 以及 IST。可以使用外部资源来鉴定可靠性。我会研究最新的对准和成像工艺。怎样才能自动化蚀刻？可以将蚀刻工艺和成像工艺连接在一起吗？至少我可以改进蚀刻设备吗？可以用新的通孔填充技术来提高对电镀的控制和改进电镀槽设置吗？

现在有很好的电解铜技术，而且发展得越来越好。所有供应商都在利用新的设备和化学药水推动导通孔填充技术。要升级设施，必须有信念的飞跃。

要升级设施， 必须有信念的飞跃。

军事 / 航空航天中心正在呼吁北美制造商提供一些帮助，否则他们将把生产外包到海外。他们会向国防部争辩，如果不能在这里生产，那怎么办？要关闭整个战斗机项目？我认为这将是 PCB 行业的灭顶之灾。

Johnson：美国制造业的所有者有这样做的动机吗？

Carano：我已经和几位企业所有者沟通过，特别是过去几年里收购了一家新公司的所有者，他们都很坚定、聪明、积极。他们的工作是全面的，对有需要的工厂进行升级，寻找人才，提升到他们需要的水平，投资一些设备，

可能是电镀设备和飞针测试设备。

行业发展的下一步是超高密度技术，具有更精细的线宽线距，不仅可以应用于信号层，还可以应用于 IC 载板。这需要另一层次的投资。目前的激光设备非常棒，精度达到了 1mil(25.4 μ m)，但将来会降至 0.5 mil(12.7 μ m) 或 0.8 mil(20.32 μ m)。这将需要投资，通常成本会更高。可能需要新的激光 CO₂ YAG 钻头，这需要额外的成本。

我相信军事航空集团会得到一些帮助。投资资金将会分散，对每家制造商的投资不会超过 10 亿美元。只要 1000 万或 2000 万美元，就可以完成升级。然后，让人们兴奋起来；与其在铸造厂工作，不如进入 PCB 企业、电子企业、互连企业。他们会说，“这些设施真的很酷。”

Johnson：有了自动化工厂，讨论的焦点更多的是工程设计功能，而不仅仅是操作员技能。

Carano：没错。技术学校或两年制项目的毕业生会说：“嘿，PCB 行业很有趣，我想学习更多相关知识。”他们可能想通过夜校或其他培训，以便在工作中做更多。这样将改变他们的生活，了解他们所生产的产品可帮助别人。例如，如果是为医疗行业生产产品，可使支架或心脏监护器对人体健康更可靠。虽然 PCB 不是终端产品，但这些支架进入人体后需要发挥作用，而不会被腐蚀或引起问题。

Matties：非常感谢。

Carano：谢谢你。PCB007CN

您是否在考虑使用低温焊接呢？

印制电路组装商指南™

低温焊接



Morgana Ribas, et al.
Alpha Assembly Solutions

100%
Books

Yes!

在最近的调查中有75%
的人选择了Yes

调查来源: I-Connect007 Research

随着电子产品向轻、薄、短、小方向发展，常规SAC305系无铅焊接带来的PCB变形、温度冲击、焊接缺陷等影响越来越明显，因此，业界一直没有放弃降低焊接温度的努力，本书全面介绍了低温焊接的历程，并从配方和应用角度出发，介绍了第二代低温焊料的特性、可靠性等关键指标，为相关产品的应用提供了较为实用的指南。

——前中兴总工程师 刘哲

免费下载

扫码注册免费下载
更多内容欢迎关注
“PCB007中文线
上杂志” 公众号



注意：良率先行

by Matt Stevenson
SUNSTONE CIRCUITS

PCB 制造中，制造良率是质量的关键衡量标准，用良好部件占总产量的百分比来表示。除非是极为简单的 PCB 设计，实现 100% 的良率极具挑战性。大多数 PCB 制造商的良率不到 95%，这就会产生废板和重新设计的成本。PCB 制造商可以采取提高良率，通过解决制造中常见的错误提高安全性，并将精益方法集成到所有过程中，可以达到 98% 以上的良率。

解决常见错误

在制造、组装过程中，许多错误都容易被忽视。在原型制造过程中找到这些错误，就能

在批量生产之前确定导致低良率的主要原因。虽然测试增加了样品迭代的成本和周转时间，但在批量生产中，良率的提高将可抵消这些成本。

牢记这些指导原则可加速发现错误的过程：

- 始终仔细检查物料清单中的元件是否符合布局占位图。更换与电路板上的位置或尺寸不匹配的元件非常困难，就算可以，也会增加很多成本。不匹配的电路板通常无法使用。
- 确保电路板材料能够承受设计的电气和机械要求。材料选择不当可能会出现热应力或物理应力导致的故障。
- 在间距和间隙方面，不要偷懒。许多 PCB 布局错误是因违反间隙要求造成的，



创新性+精确性+可靠性



厂内客服实验室

可为每位Chemcut客户提供如下协助：

- 研发新工艺流程
- 产生初始原型
- 小型试生产
- 可行性研究
- 产生放大数据
- 操作员培训和教育



联系人Chris



要了解有关我们实验室的更多信息，请通过电子邮件
sales@chemcut.net与Christopher Bonsell联系。

www.chemcut.net

 **CHEMCUT**
BOUNDLESS INNOVATION | UNBEATABLE PRECISION

例如，电路板边缘或钻孔间隙不足。元件损坏通常是由于焊点过于紧密造成焊点桥接而导致的。还要注意其他 PCB 布局错误，如缺失阻焊层导致铜氧化或因铜不平衡导致 PCB 弓曲。

- 确保电路板的挠性适合其功能要求。用增强板或固定装置正确支撑挠性板，以满足其结构要求并确保耐用性。尽管如此，这些做法也只能解决一部分难题。

利用技术提高准确性

整体应对制造速度和精度问题，对高良率制造至关重要。使用统计过程控制（statistical process control，简称 SPC）软件，制造商可以监控效率并精确定位错误，以确保更高的精度。自动化工程设计在提高产量的同时，进

一步提高了一致性的精确度。这为高技术制造商和制造人员留出了时间，可以专注于需要专业知识和实时质量控制的高水平任务，所有这些都有助于实现具有竞争力的高良率生产。

注重质量和安全

组织中所有部门都有提高质量的决心，才能造就高质量的产品，这是提高良率的核心。如果不重视产品从样品到客户应用的安全性，就无法维持高质量的产品。安全支持质量，质量确保安全。

尽管听起来很简单，但使用高质量的材料才能确保高质量的产品、提高良率。避免低成本材料或设计捷径，可能会带来代价高昂的错误。除了生产出有缺陷的电路板外，还会导致工人受伤、产品质量和良率降低。



确保员工安全也是高质量、高良率生产的基础。有安全感的员工可以将注意力集中在高质量的工作上。为员工提供可以充电和休息的地方，并维持健全的安全措施，促进员工福祉并为其发展投资。定期的设备维护也将极大地影响工人的安全，并可确保流程的顺利进行。在安全和低压力环境中工作可以提高员工的忠诚度，有助于维持稳定的、有动力的专家团队，生产出优质产品。



实施 QMS 并采用精益原则

明确的操作程序是高良率生产的另一个关键组成部分。建立质量管理体系（QMS）并获得国际标准化组织（ISO）9001 认证标志，是高价值质量的保证。虽然认证过程中时间和资源的成本可能令人望而却步，但投资于此可以促进持续质量改进。确保公司遵守 ISO 的认证要求、规范和指南，意味着过程的一致性和产品的质量保证。

QMS 不断记录生成的改进数据，为正确的决策奠定了基础，为达到可实现的目标提供有效方法。在确定有价值的领域进行持续和更新的培训，这将有助于提高员工技能，并使员工继续致力生产任务。它还能对流程进行准确、定期的审查，以消除浪费并保持精益生产。

此处描述的组合策略与精益制造理念一致，该理念专注消除任何无法为客户提供价值的生产组成部分。这种方法需要全面和持续的

过程改进。

从客户对及时、具有经济效益的 PCB 需求出发，精益方法从终端产品到制造开端进行改进，是逆向方法。它评估了过程的各个方面，抓住机会、提高效率，并在过程中消除浪费。它不仅仅着眼生产车间层面，还要进行流程的创新改进，并确保愿意为之付出的领导层在每个层面设定适当的期望值。这种全面的系统为实现与日益复杂的现代技术相适应的高良率铺好了前进的道路。

不要满足于 95% 以下的良率，采用这些原则和过程的制造商可以做得更好。PCB007CN



Matt Stevenson 任 Sunstone Circuits 公司销售及市场营销副总裁。如需阅读往期专栏或联系 Stevenson，可[单击此处](#)。

如何实现湿制程自动化

by Christopher Bonsell
CHEMCUT

您正在考虑自动化 PCB 生产线吗?如果是，那么您可能会担心新的自动化技术所需要的一切。好消息是，实现生产线自动化比想象中要简单。无论是购买新设备，还是自动化一台已使用多年的旧设备，可以像拧紧几个螺栓和连接几条线一样简单。

得益于低成本、用户可配置的机械臂，自动化工艺生产线比以往任何时候都容易。PCB 制造工序中大部分工艺已经实现自动化（至少在湿制程中），只有装卸环节还没有实现自动化。在大多数生产过程中，员工站在设备的末端装卸物料。众所周知，这样操作不是很划算，因为这些人员通常可以执行更重要、更专业的任务。通过在工艺的装载和卸载端使用低成本、用户可配置的机器人（装载机器人），为 PCB 生产提供了改进机会。首先也是最重要的是可降低成本，提高利润率（见表 1 和图 1）。

除了降低成本之外，还可以将员工的工作重点转移至维护设备，从而提高设备的使用寿命和效率。如果这正是你期盼的 PCB 生产线工作方式，那么需要考虑以下因素。

需要装载多少台机器人？

在考虑使用装载机器人自动化工艺之前，首先要考虑成功实现工艺自动化所需的最少装

每位员工的成本	每个机器人的成本	倒班	每周工作时间
每工作小时 20 美元	26000 美元 (每工作小时 1.25 美元)	2	80 小时

表 1：装载方案的成本估算和参数对比

成本比较 (机器人&人工装卸)

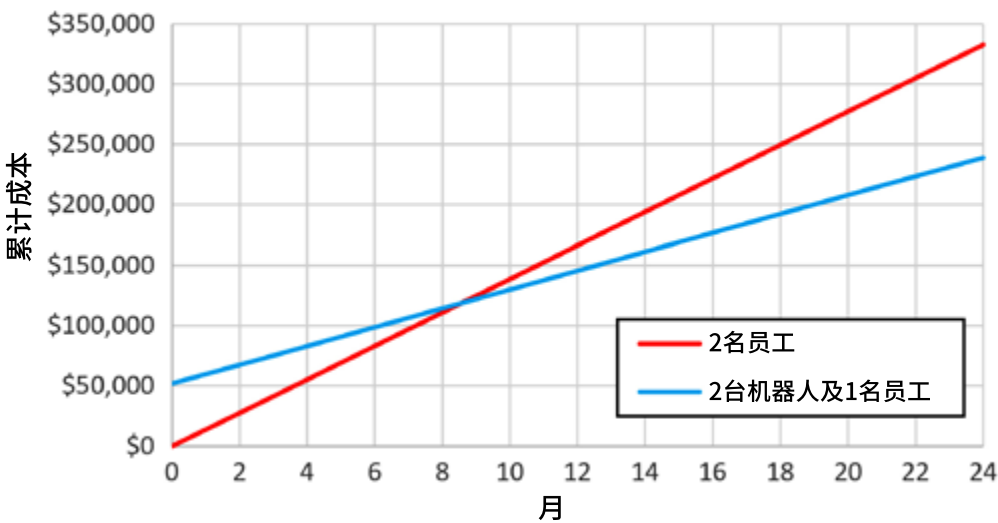
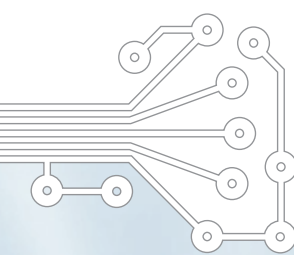


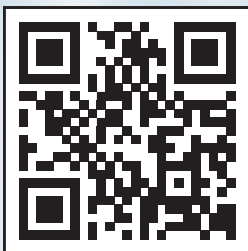
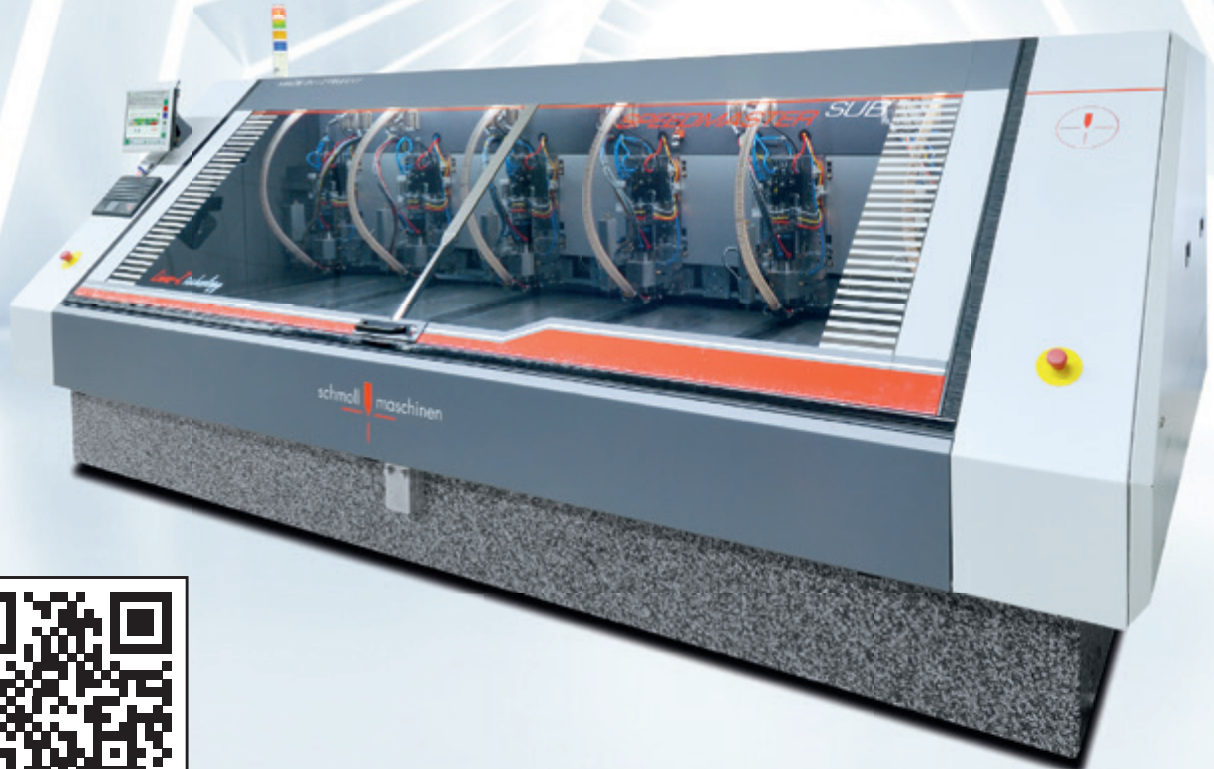
图 1：两名员工与两台机器人及一名员工（负责设备维护）分别运行 PCB 制造工艺的成本对比。数据来自表 1，假设生产批量相同。图表显示装载机器人的长期成本将低于人工装载 / 卸载的成本。



SPEEDMASTER^{SUB}

Substrate Drilling 载板钻孔

- 内建温度稳定功能的高精度载板钻孔机
Highest precision for substrate drilling with temperature stabilization system
- 可选择20/25/30万转载板钻孔主轴
200/250/300 krpm substrate drilling spindles available
- X、Y和Z轴使用高速线性马达驱动
High-speed linear motors in X, Y and Z-direction
- 长时间生产精度稳定
Highest accuracy throughout the entire process



载机器人数量。这个数字取决于以下问题：

- 每天需要生产多少面板？
- 传送带速度是多少？
- 面板有多大？
- 运行多少条加工通道（同一传送带上平行排放的面板数量）？
- 是否有需要在装载前取下放置在面板之间的垫片或从输送带上取下面板时在面板之间放置垫片？

大多数情况下，只需要两个装载机器人即

大多数情况下, 只需要两个装载机器人即可实现湿制程自动化: 一个装载, 一个卸载。

可实现湿制程自动化：一个装载，一个卸载。尽管大多数情况都是如此，但肯定会有一些例外。如果生产中包括小面板、高速传送带、多个加工通道或生产中包括垫片，则可能需要两个以上的装载机器人来保持最大生产能力而不会出现任何错误。这是为了保持高效率的生产水平，装载机器人的每一个动作都需要有目的地控制。装载机器人移动速度是一定的，其被要求执行的每一项额外任务越多，确保传送带得到充分利用的时间就越少。即使在传送带速

度很高和有垫片的情况下，标准的双装载机器人仍然可以很好地完成工作。但是如果有多种特殊情况，应该告诉设备供应商想要实现的要求。这样他们可以运行测试并与您一起确定运行所需工艺的最少机器人数量。一旦知道需要多少装载机器人，那么就会清楚需要为它们预留多少资源。

装载机器人运行的基本必需条件

装载机器人的一大优点是配备电力、空气和空间即可运行。

将插头插到墙壁上的 9V 插座，装载机器人即可运行，但明智的做法是规划并提供靠近机器人运行位置的电源。为安全起见，最好安排永久性接线，避免使用延长线。

还要为装载机器人提供空气。由于湿制程设备通常要使用压缩空气，可以通过管线从源头连接到调节阀，由调节阀控制机器人的头部框架进行抽吸。

需要提供空间，分配给装载机器人。其

需要为装载机器人提供空间，因此不需要太多规划。但需要额外的空间来提供托盘来容纳面板。这意味着每个机器人都需要一个触手可及的托盘（见图 2）

这些托盘需要略大于正在加工的面板，但如果也在使用垫片，则可能也需要这些托盘。如果计划重复使用垫片或用它分隔加工电路板，则需要额外





图 2：安装在倾斜拼板托盘旁的装载机器人

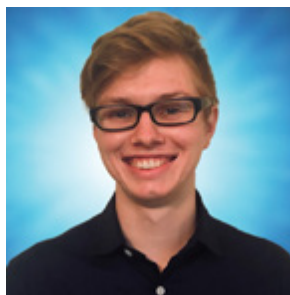
的托盘来存放垫片。

准备好所有这些资源后，剩下要做的就是安装机器人并创建机器人的运行例行程序。

结论

为实现自动化湿制程非常简单，关键是规划。一旦规划好了所有必需条件，就可以实现即插即用。找到时间实施该项目，为机器人开发例行程序。之后就可以拥有一条可在无需人

工干预的情况下运行数小时的自动化湿制程生产线。PCB007CN



Christopher Bonsell 是 Chemcut 公司的一名化学工艺工程师。如需阅读往期专栏或联系 Bonsell，可[点击此处](#)。

Korf 和 Strubbe

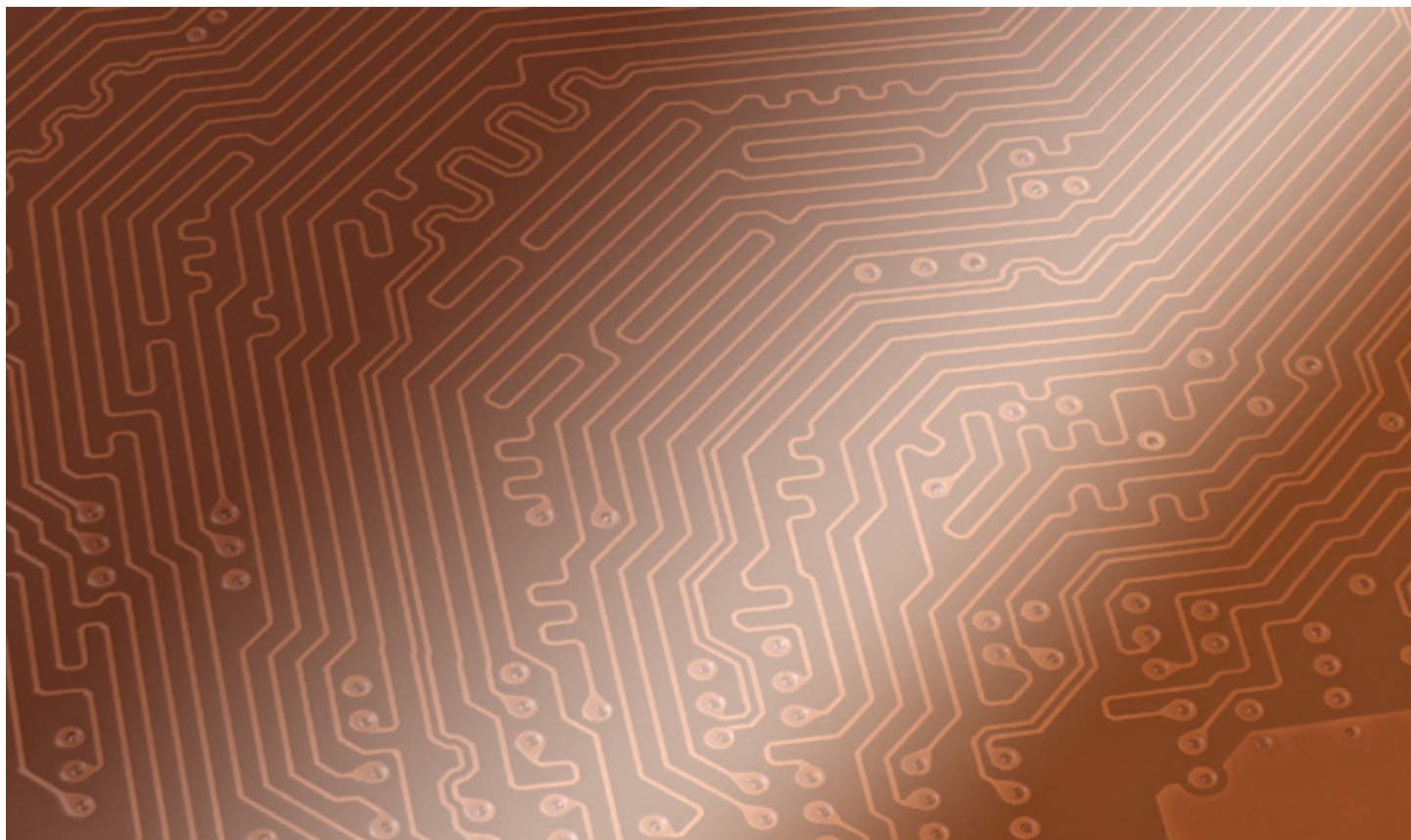
——材料业发展的见证者

by the I-Connect007 Editorial Team

近日,I-Connect007 编辑团队采访了专栏作家 Dana Korf, 他一直在与全球最大的覆铜板和批量层压服务供应商之一——台耀科技股份有限公司 (Taiwan Union Technology Corporation, 简称 TUC) 进行合作。Dana 简述 TUC 以及全球材料发展趋势, 铜材仍是最重要材料的原因, 以及有潜力迅速发展的一些非传统材料。Dana 还邀请了 TUC 技术副总裁 John Strubbe 加入了此次采访。

Nolan Johnson : Dana, 你观察到材料有哪些发展趋势?

Dana Korf : 如果只看 FR-4, 确实没有什么新发展。因为汽车行业对高压的需求与日俱增, 为了使 FR-4 可承受 1500~2000 伏的电压, 材料领域只需略作调整即可。人们当然也希望这类材料可以保持长期可靠, 但属于相对不太重要的技术需求。对于传统 HDI 技术, 也只不过开发出了更薄的玻纤布。层厚变得越来越薄, 所需要的层压循环次数也在增加, 但也只



当可靠性最为重要时



Pallabond® – 用于高端电路具高可靠性的直接化学纯钯自我催化(EPAG)工艺

印制线路板和封装板技术的超细线路特征, 需要具有高解像度的最终精饰, 另外这种最终精饰也需要高通用性、更加环保和高度可靠, 即使在外太空也能承受最恶劣的条件。Pallabond®是我们最近开发的一套创新的工艺系列, 它不仅完全符合新的环境法规, 而且是一种不含镍和磷的最终精饰, 还具有生物兼容性、高度可靠性, 并可用于汽车、医疗或航空航天市场中的关键部件的高频细线电镀应用。我们新的自我催化纯钯表面精饰, 包括高通用性的钯和金电镀液组成, 可在同一条电镀线中进行组合生产 (ENEPIG 和 EPAG 电镀)。使用 Pallabond®, 沉积层的间隙损失最小, 同时通过使用高导电性沉积层, 将信号损失的影响降至最低。与其他竞争对手相比, Pallabond® 有更低的操作温度, 同时提供高焊点可靠性。其他应用包括: 金、铜-钯、铜和银的打线键合。

如需了解有关 Pallabond® 的更多信息, 请扫描右侧的二维码。





Dana Korf

是对材料属性进行了调整。

芯片封装已经供不应求，成为限制因素。很多像 TUC 这样的公司目前都可提供芯片级封装材料，这种材料的核准流程和汽车一样，比较长。

John Strubbe：我主要研究数字应用所用低损耗材料。我经常跟别人说，我的工作就是试着用与 FR-4 材料价格相同的成本“在没有损耗的情况下节省更多空间”。现在对很多铜箔和树脂进行研究，也对玻纤布进行了大量分析。材料领域又开始研究石英和聚合物材料。虽然目标是将数字应用使用的材料损耗降到最低，但设计师面临的问题在于：即使把损耗降低到了一定程度，材料的性能还是不够理想。很多大型材料供应商现在也在分析研究降低损

耗后节省的成本与为降低损耗而付出的成本孰轻孰重。而在 RF 领域，人们几乎只是在研发更好控制的 RF 材料以降低成本。

Korf：我在中国工作时，发现数字设计师依靠 RF 材料来降低损耗，而研发 RF 材料的人又依靠数字性能材料降低成本，这种现象目前仍在继续。我发现大多数材料研发工作背后的驱动因素都是为了降低数字技术领域的损耗和 Df。FR-4 材料种类不计其数，所以看起来这种材料已经可以满足市场需求；但是汽车行业需要能承受更高电压的材料，给其技术规范参数施加了一些压力，但压力并不是很大。

材料领域引人关注的是我们开始探究非玻纤替代方案。比如又开始关注石英，就像 20 世纪 80 年代一样。石英玻纤的问题在于用激光切割时会融化，材料不会蒸发掉。这是多年前我们尝试使用这种材料时就遇到的问题。

Johnson：这样就很难使用激光加工石英。

Korf：事情也因此变得有意思起来。

Johnson：现在在评估哪些非传统材料？

Strubbe：我们在研究表面粗糙度为 0 的铜，这种材料研发面临哪些局限？材料表面最后能否牢牢粘在树脂上？像很多技术一样，往往每二三十年循环一次，每个循环都有所提升。但从本质上来看，现在研究的都是之前研究过的材料。

Johnson：是否在研究其他可以替代 FR-4 的材料？就像 IC 中的摩尔定律一样：我们即将面



John Strubbe

临上限，那之后要采取什么措施？

Korf：上个月我做了一场材料技术主题演讲，有观众问“为什么要研发如此多不同的低损耗材料”。我回答说：“这是材料研发进程导致的结果。我们当时只能做到这些，过了一年，我们能根据现有的材料技术再把损耗降低一些，于是我们也这样做了。但当真的降低了损耗后，之前用过的材料突然间又变得更有吸引力了，因为这些材料要比新的低损耗材料成本更低。”制造商调整材料的组成之后就能接着使用以前的材料。如果能直接从 A 跳到 Z，我们又何乐而不为呢？问题是我们做不到。过渡材料之所以能沿用很久，是因为在一些小众应用中使用这类材料可以降低成本。

Johnson：你对材料核心有什么看法？

Korf：目标是不要使用光纤。我们行业在尽其所能避免使用光纤，整个研发过程的宗旨就是“继续使用铜”。

Johnson：这对设计师在整体选材上有什么帮助呢？不久前我们讨论了增材制造技术，如果根据现有的增材制造技术去重新设计产品，就能减少设计层数，例如从 16 层减为 8 层。

这样不仅可以降低成本，而且还能提高良率和行业的整体产能，因为曾经需要用到的材料能节省一半。设计师如何才能改变其工作方式和材料的选择？

Strubbe：其实这么多年来只是需求发生了变化。从本质上来看，增材制造工艺并不是什么新技术，Kollmorgen (PCK) 公司在 20 世纪 70 年代就发明此种工艺。随着时间推移，这种工艺也得到了不断改进。如果能在 30 英寸的空间内加工出 2mil 的线宽和线距，就能减少 PCB 层数。但并不是所有设计都能做到这一点。有些设计中的信号可以在超精细走线内传输，并且不需要担心电流问题，这种设计在很多应用中都是行得通的。如果从设计师的角度来看待技术和材料，决定性因素主要是信号完整性 (signal integrity, 简称 SI) 和功率/热量。目前出现了越来越多的厚铜设计，同一区域内需要装载的电子产品越来越多，产生的热量也就越来越多。

Korf：SI 工程师会说，“我需要降低设计的损耗，但是用这种材料只能降低这么多，所以我必须把铜走线设计得更宽、更厚一点。但我也不能

为了增加板面的密度让板层变得太厚，否则阻抗又会降低，导致出现其他问题。”设计师大多数工作都是从定时、损耗和材料走线的角度来控制限制因素。当材料对损耗的影响已经达到极致时，业界就开始研究走线的宽度；可是当走线宽度达到一定程度时，又会引起一系列其他问题。用电镀通孔的方式在层之间传输信号，这些通孔都需要焊盘，也就意味着要占用大量的板面积。

SI 工程师不断地去研究铜的属性：铜表面粗糙度、铜的晶粒结构以及粗糙度。难点在于要把走线宽度增加到足以降低信号损耗的程度，可是宽度增加了，又造成板密度问题。对于设计师而言，他们面临的难题是为了保证 SI 要把走线设计得足够宽，可是阻抗又必须保持在 50Ω ，涉及到了 5 个限制因素中的 2 个。可以使用更低损耗铜箔、更低损耗玻纤或更低损耗树脂，归根结底是在各个方面投入的成本要实现平衡。信号完整性是导致这些改变的主要因素。

Strubbe：在汽车领域，设计师要问，“我设计出的产品现在要承受很大的电流，要怎么才能让这些电流从电池流回发动机？”这是他们

要面临的挑战。可以从成本的角度出发略微调整传感器和现有材料，以满足不同频率应用要求——现在有很多公司都从事微波领域相关的生产，这是因为汽车行业让微波技术变得非常重要。设计师之所以会说“我要保证走线足够宽，但是 BGA 间距要小一些”，是出于信号完整性的考量。这两者之间有着天然的矛盾性。现在有一些真正的 3D 技术陆续问世，这类技术让设计师又多了一些不同的选择，可是这种技术也有其限制。

Johnson:
TUC 有没有开展 3D 领域的研究?

Korf：现在有一些研发项目，但尚不方便对外公开。我能说的是，大多数材料都是以油墨为基础。层压板制造商也开始提供 3D



解决方案。

对于设计师而言，面临的还是由来已久的难题：要在有限的空间内纳入所有走线，但用于保证信号完整性的空间却变得越来越少。总是存在减少板层数的驱动因素。有句话说的很对，每增加 2 层，成本就会增加 20% 甚至更多。这是传统的成本问题。设计师能做的就是尽量不增加板层数。工程师在设计低端服务器时有最大板层数的要求，是为了保证材料成本

不超出预算。此外，就算他们想要用低损耗材料，他们也不会用，仅仅是因为成本预算有限。但对于高端服务器而言，成本控制就不如降低损耗重要了。材料选择取决于具体应用。

我很喜欢最近那期主题为可制造性设计的《Design007 Magazine》杂志，尤其是讨论了设计师和制造商之间联系的文章，详述了设计师现在与制造商之间缺乏沟通的情况。这种情况多年来都没有得到改善，甚至还变得更糟了。因为买家在指定材料时并没有充分了解情况，他们不知道设计师如何才能使设计在降低成本和优化材料属性之间达到平衡。

Johnson：这和 20 世纪 70 年代的情况很不一样，当时我的邻居们都在 Tektronix 工作，电化学工厂和 PCB 设计团队的办公室仅一街之隔。设计师只要过个马路，去生产车间问一问技术人员，工厂生产能力是怎样的，这样的沟通可贯穿整个设计阶段。

Korf：那时候很多像 Tektronix、Digital Equipment、Data General 和 IBM 这样的大公司都有自己的制造厂，根据设计师确定的产品成本和性能就能在内部完成生产过程的调整。他们那时候的利润非常高，所以推动技术发展的驱动力来自公司内部。同时，他们也愿意投入更多时间研发新技术，可现在这种情况几乎都不存在了。

Andy Shaughnessy：我诧异的是这么多 PCB 竟然都能被制造出来。即使设计师在最后关头才和制造商沟通产品的设计，还是有很多设计能够成功实现。

Korf：上周我与一位 IC 行业的人聊天，说到了 PCB 行业的数据文件质量很差，需要用 3D 技术来改善数据文件，并且我们现在有机会从头做起。他问我，“什么意思？数据文件一直质量很好啊。”我说，“不是这样的，你们 IC 制造业如果接收到了有问题的数据文件，修正一个错误可能要花 10 万美元。但在我们行业，修正错误是不需要额外成本的。”

IC 行业如果出现了不合格的数据文件或者错误，就要付出昂贵的代价，但对于 PCB 制造行业却并非如此。不幸的是，这就是问题的核心所在。可是对于设计师而言，这只是与材料有关，他们既要用成本高的材料改善线路性能和可靠性，又要尽可能保证成本足够低。这是设计师需要考虑的主要因素。

Strubbe：挑战一直存在。更多客户对速度要求越来越高，所以要担心的问题也越来越多。过去 PCB 设计师就是用 CAD 工具做好板面布局，可是现在的设计师都是电气工程师，因为产品设计的限制因素越来越多了。

Johnson：没错，这就是行业的发展演变。

Korf：是的，这些发展趋势并不是只出现在 TUC，所有材料供应商都面临同样的问题。有些材料供应商只生产低端 FR-4 和 CEM 材料，这个市场非常大。

Johnson：这次采访我们收获颇丰，谢谢 Dana，谢谢 John。

Korf：不客气，我们也很开心。PCB007CN

电子制造业在印度的发展机遇

by John Mitchell

IPC president and CEO

作为全球电子行业协会的总裁兼 CEO，我有很多机会参观全球各地的电子制造公司。最近，在印度期间，我有幸参加了集成电子制造与互连（Integrated Electronics Manufacturing & Interconnections，简称 IEMI）庆祝活动，庆祝 IPC 在印度、斯里兰卡、孟加拉国和

中东非洲地区成立 10 年。我对 IPC 过去十年在这些国家及地区的增长感到鼓舞。印度即将成为全球制造业中心，将成为电子制造行业充满活力的市场。印度政府已向外国投资者敞开了大门，为制造业公司铺设了红毯，印度的电子制造行业将蓬勃发展。

据估计，到 2026 年，印度的制造业机会将为该行业带来 2000 亿美元的市场；与印度目前的 750 亿美元市场相比，这将是大幅增长。显而易见，为什么电子制造业如此密切地关注印度及其所能提供的一切。人工成本低，该行业要求具备技术经验的人员，并广泛使用英语（商业领域的主导语言）。

印度向重要制造业中心的转型，包括苹果本地开设工厂、制造手机，提供印度人消费“本地”制造商生产的最大产品。政府将根据投资目标补贴公司部分投资，尤其是鼓励半导体制造业投资，希望吸引企业将印度作为潜在的工厂地点。

为了庆祝 IPC 在印度成立十年，IPC 的高层管理人员 Sanjay Huprikar、David Bergman 陪同我出席了首届 IEMI 庆祝活动。IEMI 旨在鼓励设计师、制造商、贸易商、供应商、服务提供商和技术专家通过成员联谊活动、研讨会和技能挑战赛相互交流学习。未来，IPC 将继续在印度构建扩大电子行业交流社群。

社群构建工作中有一项目是与位于



John Mitchell 发表主题演讲

《电子制造拥抱数字化》

我们提供

盲孔可靠性的完整解决方案



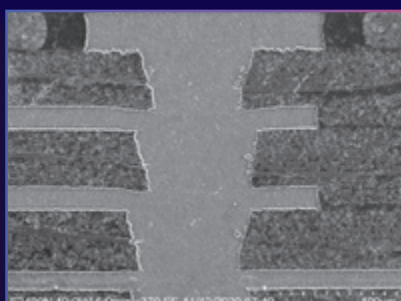
胶体钯



离子钯

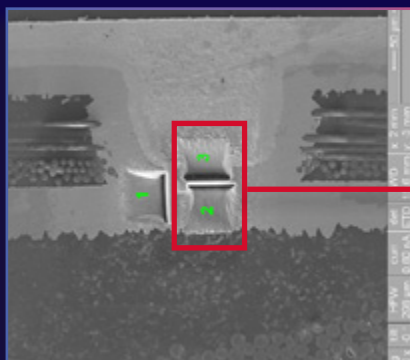
M-ACTIVATE 和 M-ACTIVATOR AP

精选钯活化剂技术, 适用于各种应用



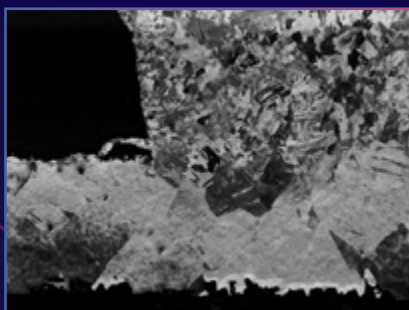
BLACKHOLE LE / ECLIPSE LE

提高良率的低咬蚀直接电镀制程, 改善 mSAP 流程中有限的可蚀刻铜总量状况



SHADOW + MACUSPEC VF-TH 300

优化的金属化制程搭配方案, 可在关键界面处实现完整的外延晶粒生长



VIA DEP 4550 ELECTROLESS COPPER

无应力化学铜, 达成目标铜垫高深镀力的楔形孔填充镀铜



MacDermid Alpha
ELECTRONICS SOLUTIONS





在新德里举办的开幕环节, John Mitchell 参与了 Nachiarkoil 灯点亮仪式, Nachiarkoil 灯象征着光明和知识将永远战胜黑暗, 将克服无知。



John Mitchell 向参加班加罗尔 IEMI 庆祝活动的主要嘉宾 C.N. Ashwath Narayan 博士献花。

迈索尔的 Vidya Vikash Institute of Engineering & Technology 学院签署谅解备忘录。该项目可确保获得毕业文凭的学生参加 IPC 的电子组装操作员培训课程, 它是该学院开发的新课程的一部分, 该课程旨在让学生接触更多的电子实践工作。由于这项举措有助于发展未来的人工队伍, 因此得到了迈索尔地区数家 EMS 和 PCB 工厂的积极支持, 这些公司为这些学生提供实习机会, 增加实践经验。学生们将在几周后开始参加课程, 并在 11 月结束。我们计划与 Karnataka 州政府高等教育、科学技术及技能发展部长 C.N.Ashwath Narayan 博士及其团队共享评估结果。Narayan 博士作为重要嘉宾, 参与在班加罗尔举办的 IEMI 2022 庆祝活动。

IEMI 活动鼓励与会者更多地参与制定和采用全球标准及劳动力开发(“技能提升”和“技能再提升”)计划, 如印度政府的“印度制造”和“印度技能”计划, 以及了解 IPC-CFX 作为成功实现工业 4.0 的最终数据协议标准的重要性。

我出席印度 IEMI 庆祝活动, 表明了 IPC 支持当地建立具有坚定理念的电子社群, 也使当地业界坚信, 通过协会、培训、学术机构、本地行业和政府与有影响力的电子制造中心合作, 可以解决重大问题。我强烈鼓励印度的行业领袖们投入更多的时间, 自愿参与围绕行业标准、教育、宣传和解决方案开展的重要活动, 这些行业活动将有利于整个电子制造行业价值链健康发展。PCB007CN

有关 IPC 在印度举办行业活动的更多信息, 可发邮件至: GaurabMajumdar@ipc.org, 联系 IPC 印度执行总监 [Gaurab Majumdar](#)。



John Mitchell 博士任 IPC 总裁兼 CEO。如需阅读往期专栏, 可[单击此处](#)。

工业4.0： 这一步要深思熟虑

I-Connect007为您带来
西门子Mentor新书
数字时代先进制造



点击或扫码下载



2022 年 EIPC 夏季研讨会：第 2 天

by Pete Starkey
I-Connect007

上期我们刊登了 Pete Starkey 先生带来的 EIPC 夏季研讨会第 1 天的概要，本文是该会议的第 2 天。参会者在前一晚的联谊晚宴上聊得酣畅淋漓，虽然难得与老友相见、相谈甚欢，但他们也没有完全放松，都早早休息了。早上 9 点，多数人都已来到了研讨会现场参加第 4 场会议，这场会议的主题是新工艺技术，主持人是 Polar Instruments 公司 CEO Martyn Gaudion。



Kai Keller

数字技术在不断重塑电子制造业的发展趋势，德国 Notion Systems 公司业务开发总监 Kai Keller 博士分享了他对增材制造数字工艺发展现状



的观点，并在发言过程中引用了 Gartner 的技术成熟度曲线。该曲线是对技术革新常见发展模式的图形描述。曲线首先从技术诞生的萌发期开始，迅速上升至膨胀的期望峰值，然后下跌到泡沫化的底谷期，随后又进入稳步上升的复苏期，最后走向生产力成熟期。

Keller 博士表示，制造电子产品是一项很



Geode™

加快创新

您有应对新兴市场挑战的工具吗？

看到HDI和IC封装钻孔的新愿景

Geode的设计宗旨是在提供所需的吞吐量、精度的同时减少拥有成本。

凭借40多年激光与材料相互作用专业知识的创新新功能，Geode是我们成为PCB世界领导者的最新例证。



 **mks**

ESI®

www.ESI.com



浪费资源的工作，尤其是整个过程会消耗大量的水。所以他的初心是探索整个电子产品的功能增材制造。在 2004 年，喷墨打印 OLED 才刚刚起步，但到了 2021 年，已经实现了高分辨率 OLED 显示器的批量生产。他说：“这个过程可能会需要很长时间，但增材制造工艺最终会得到普及，因为使用这种工艺具有深远的意义。”

他重点介绍了 PCB 阻焊喷墨打印工艺，回顾了该工艺自 2003 年以来的发展历程，如何一步步发展为成熟稳健、被市场接纳的技术。

Keller 概述了这项工艺的基本原理，介绍了数据准备过程和全面的工作流程集成，评价了阻焊效果。数字喷墨阻焊打印工艺除了可重复性较高外，还有其他优点：孔内和焊盘上不会出现阻焊油墨，阻焊层厚度可调节，阻焊坝尺寸小且可靠。他还详细介绍了喷墨阻焊层天然的隆起曲线：更宽的底部提高了附着力，同时侧蚀区域无截留化学药水或污物。除此之外，他还展示了很多实例来说明此项技术可以

精密控制尺寸。

Notion Systems 公司的研发团队仍在进一步加大数字增材制造工艺的窗口，已经成功研发出适用于导体、介质、抗蚀剂、黏合剂、活化层、光学元件和涂层的 40 多种不同增材制造工艺。

Kunal Shah

美国 LiloTree 公司总裁兼首席科学家 Kunal Shah 博士带来了精彩的演讲，主题为适用于新一代 PCB 技术的新型无镍表面涂层。



Shah 博士表示高频 PCB 是电子行业发展速度最快的领域之一，所以很有必要研发新的表面涂层方法，以获得最佳性能、更高的电子组件可靠性。

尽管化镍浸金 (electroless nickel/immersion gold, 简称 ENIG) 是目前高端 PCB 广泛使用的表面涂层工艺，对于 5G 频率却不是最佳的涂层，因为镍层会产生较高的插入损耗。ENIG 还具有高腐蚀性问题和焊点过脆导致的失效问题。

目前可用于 5G PCB 的替代涂层包括直接浸金、化学镀钯浸金和化学镀钯自催化金，可这些涂层仍然存在高插入损耗和焊点脆性问题。同时，更厚的贵金属镀层本身性价比不高且不利于环保。

Shah 介绍了一种新型



无镍表面涂层，即在铜层上添加纳米工程级阻挡层的 50 纳米厚无氰金。这种表面涂层不仅能形成稳固的焊点，而且还能形成薄而明显的金属间化合物。它的性价比高，与现有的所有替代涂层相比，它能大幅减少贵金属层的厚度。新涂层的工艺设置简单，只需要用到 4 个处理槽和 4 个漂洗槽。

在 0~100GHz 频率范围内，无镍涂层和裸铜的插入损耗几乎相同，经过 6 次回流焊后的接触电阻数值变化可以忽略不计，且纳米工程级阻挡层可防止铜扩散到金中，保证表面无腐蚀。该工艺无氰无卤，符合 RoHS 和 REACH 法规要求。在插入损耗相对较低的情况下，这种工艺还能实现稳固的焊点，且能防止脆性金属间化合物失效。

Marko Pudas

Marko Pudas 博士是芬兰 Picosun 公司的高级工程师兼项目经理，他阐述了如何用原子层沉积方法在 PCB 组件施加薄阻挡层。该方法由欧洲航天局资助。

Pudas 简述了原子层沉积（atomic layer deposition，简称 ALD）的原理：两种或两种以上化学气相 / 气态前驱体在基板表面依次发生反应，形成坚固的薄膜。此工艺周期包括引入含有 A 元素的分子，分子吸附在表面上，引入含有 B 元素的分子并在表面与 A 元素发生反应，最终形成单层的化合物 AB。重复操作以上步骤，直至达到理想的膜厚度。

ALD 是一种批量涂覆真空沉积工艺，即使是面对条件极其苛刻的 3D 结构，且孔径小于 100 纳米，也能全面覆盖所需涂覆表面。这种



工艺可以沉积多种材料，例如氧化铝和二氧化钛，厚度和质量都可控制。涂层的附着力通过化学药水实现，涂层不会被剥离。常见的涂层厚度一般在 100 纳米 ~0.5 微米之间。

Pudas 通过案例展示了 ALD 在太空应用中的优点——不仅能缓解锡晶须的形成，而且防腐蚀、抗氧化，甚至还能给气体容器内部酒涂覆涂层以防泄漏。在高可靠性的电子产品中，ALD 涂层相当于为 PCB 组件提供有效的三防漆作用。他还在演讲过程中引用了大量性能测试和认证测试结果。

iNEMI 的三防漆评估项目对比了不同测试环境下的三防漆，证明了银和铜上的 ALD 涂层在腐蚀性极强环境下是有效的。ALD 已被提议替代关键应用中的聚合物阻焊层。

Stig Källman

第 5 场会议的主题是 5G 及今后通讯技术应用的制造技术，由爱立信公司 Stig Källman 主持。

Circuit Foil 公司的技术服务工程师 Sebastien

Depaifve 博士介绍了他们针对高速数字应用和无线频率应用所开展的新一代超平整电解铜箔研发工作。他描述了过去十年甚低轮廓金属箔到超低轮廓金属箔的发展，并解释在高频应用中，信号主要在导体的边缘进行传递，表面粗糙度对信号损耗的影响。

他总结了影响插入损耗的因素：硅烷黏合处理的类型和含量，有结节或无结节金属箔处理的金属含量，结节的大小和形状（如果有），基箔两面的粗糙度和铜的粒度。

随着鼓表面制备的优化和特定有机整平剂



的使用，电沉积工艺技术已逐步改进。此工艺使用了晶粒细化添加剂将晶粒尺寸优化到 1 微米，实现了最大导电率；Circuit Foil 公司还研发了一种模型来研究结节处理形状对插入损耗的影响。较低轮廓的铜箔会减少传输损耗，特别是在高频环境下，所以开发出了无金属钝化工艺。

随着粗糙度的降低，有必要用硅烷或其他化学附着力促进剂来弥补因此产生的机械附着力损失，而硅烷成分已被证实对插入损耗不会产生明显的影响。

最后总结时，Depaifve 重申了所有不同参数的优化对于新一代材料的研发是必不可少的，并且必须与树脂及玻纤供应商协作完成优化。

Jim Francey

随后，Isola Group 集团欧洲公司 RF 业务发展部总监 Jim Francey 作为 iNEMI 5G 铜箔项目的代表，分享了 5G 应用中铜箔可靠性和损耗特



性的最新研究进展。iNEMI 团队将不同铜表面处理进行了分类，目的是在减缓信号损耗的同时仍保持良好的附着力，保证 PCB 的耐久性。此外，该团队还进行了一项对比研究，以确定 PCB 制造过程中通过氧化替代化学黏合处理铜粗糙化时信号损耗的效果。

铜附着力的传统测量方法（例如剥离强度）不总是代表印制电路的耐久性和可靠性，而接触轮廓测定法又不足以测量超低轮廓铜箔。IPC TM 650 2.2.22 测试方法规定的无接触 3D 工具，例如白光干涉法和激光扫描显微镜都能更准确地测量出 3D 高度轮廓。

该团队也明确了一些与超低轮廓铜箔相关的可靠性问题，特别是覆箔层压板或氧化替代面与介质之间的分层情况，以及半固化片与蚀刻后的层压板表面出现的介质分层。这种界面处可能会形成黏合线 CAF 生长。

iNEMI 项目通过制定材料性能标准纲要以及交叉引用一套现有标准，帮助用户指定满足电气性能要求和可靠性要求的材料类别，同时最大限度地避免因规格要求过于严格而产生的额外成本，以使行业受益。减少因满足 OEM 规格要求所需的设计迭代次数和重新认证次数



也可以节省额外的成本和时间。

此项目完成后，将可实现指定铜箔拓扑结构，制定黏接处理的通用标准，并为满足 PCB 电气性能特性要求提供更好的保证。同时，针对不同铜表面涂层所产生的信号损耗，该项目还能预测出铜箔附着力的持久性和可靠性，且能减少产品认证成本并缩短相应的周期。

Helmut Kroener

PTFE 多层结构的黏接一般会存在很多挑战。Showa Denko Materials 公司 PWB 材料部高级营销总监 Helmut Kroener 介绍了可应用于 PTFE HDI 和多层结构任意层的新型低损耗热固性黏结膜。



随着无线频率下的应用变得越来越先进、越来越多样，对具有良好介质及低损耗特性的高性能基板的需求在持续增加。在所有的低损耗材料中，PTFE 虽然价格较高，但传输损耗最低，而且基于 PTFE 的多层基板具有极佳的低介电特性。这类材料的熔点较高，多层层压工艺较困难，特别是在混合结构中，组成材料无法承受如此高的黏接温度。

Kroener 介绍的低损耗黏结膜能在 200°C 温度下加工多层结构，提供了成本更低、加工速度更快的解决方案。热固性材料中的官能团和 PTFE 材料发生剧烈反应，并且能和低轮廓铜箔产生极佳的附着力，可进一步降低传输损耗。

该膜未经过玻纤增强，但含有无机填料，因此其性能是各向同性的，Dk 为 3.0，Df 为 0.0023。在 50 微米的聚酯载体膜上，其宽度

可达 520 毫米，厚度为 25、50 或 65 微米。也可以作为树脂涂覆铜箔的介质，具有相同的厚度，黏合在 12 微米或 18 微米的铜上。这种树脂具有较低的熔体黏度及良好的间隙填充能力。一经固化，可以使用激光钻孔或机械钻孔的方式钻微通孔，并使用普通的 PTFE 工艺来电镀。

Tommy Höglund

接下来的演讲内容和前面的主题完全不一样。EIPC 夏季研讨会最后一场演讲的主题是制作卷对卷挠性电路的非化学工艺。瑞典 DP Patterning 公司市场营销经理 Tommy Höglund 介绍了干相成图技术。



他介绍的这项工艺不用在 PCB 工厂中生产挠性电路，而是在 EMS 工厂里直接将挠性电路加工引入贴装生产线。

用到的治具是激光雕刻的金属圆柱体。设置用时 5 分钟，加工时间约 1 小时，就可出加工出具有所需电路图形的金属辊，其中，电路图形区域被雕刻为轮廓清晰的负像，原始表面部分为绝缘区域。

生产线长 18 英尺，为制造单面挠性板的卷对卷传输系统，成像机构以卷筒速度旋转制备好的工具（称为 cliché）。cliché 的间隙与高速旋转的圆柱形切割机间隙接近，大小对应挠性层压板基膜的厚度（聚酯纤维的厚度通常为 35~75 微米）。

材料在 cliché 的张力下进料，并通过 cliché 和切割机之间的辊隙。覆金属层（通常是铜或铝）在对应 cliché 原始表面的区域被铣

切掉，以留下所需的电路。在生产天线、加热器、RFID 电路，以及在 18 微米厚铜层上加工 300 微米线宽和 200 微米线距的常见挠性电路时，这一系统的加工效果非常好。

干相成图工艺可持续性优点包括碳足迹低、能耗低、不使用化学品、不耗费水资源以及残留物可回收等。其目标细分市场通常为通讯、汽车、LED 照明及加热器。

随着研讨会接近尾声，参会者一致认为本次研讨会取得圆满成功，同时也向大会组织者 Kirsten Smit-Westenberg、Tarja Rapa-

la-Virtanen 和 Carol Pelzers 表达了诚挚谢意。
PCB007CN

特别鸣谢 Alun Morgan 提供现场照片。



Pete Starkey 任 I-Connect007 杂志技术编辑。

疫情、供应链和通货膨胀风暴中的4大希望

在目前的经济形势下，可能很难看到任何亮点。全球都受到了疫情、供应链问题以及最近的通货膨胀的影响。然而，作为一家国际材料供应商 Indium Corporation 公司的高级技术专家和常春藤盟校（达特茅斯学院）的工程教授，我认为电子行业有以下 4 点希望。

希望 1：需求

由于疫情和供应链问题，对电子产品存在着无法满足的需求。几乎所有行业都依赖电子技术。例如，许多汽车已完成结构组装，但在等待电子设备安装。例如，我目前正在等待 5 月份订购的沃尔沃汽车，预计要到 10 月份才能拿到汽车；阻碍是缺乏电子设备。

希望 2：更大的供应独立性

疫情期间的供应短缺和最近的供应链问题正在促使人们认识到，像美国这样的国家必须

更加独立于来自不稳定国家和地区的供应。最值得注意的是，最近通过的《CHIPS 和科学法案》正是针对这一担忧而采取的措施。正如希望 1 一样，这项法案尽管在许多方面存在争议，但几乎肯定会为电子行业带来更多就业机会。

我认为，我们将看到这种独立的驱动力不仅涉及电子产品，还会扩展至制药、机床、稀土金属以及其他关键材料和成品。

希望 3：STEM 教育

美国不仅需要更多的工程师和技术人员来开发和制造半导体和其他高科技产品，如电动汽车，而且全球也看到了供应链挑战对人们生活的影响。我们需要更多的科学家和工程师来改善 21 世纪繁荣发展所需物品的运营、运输和最终交付。

更多详细的内容，请[点击这里](#)。



Ronald C. Lasky

[1.2022 国际电子电路（华南）展览会公告](#)

原定于 2022 年 10 月 12 日至 14 日在深圳国际会展中心（宝安）举办的“2022 国际电子电路（华南）展览会”无法如期举办，有关展会的下一步安排，将积极协调后再另行公告。

[2. 一博科技今日在深交所创业板挂牌上市](#)

2022 年 9 月 26 日国内 PCB 设计及 PCBA 制造企业深圳市一博科技股份有限公司股票简称：一博科技，股票代码：301366 在深交所创业板挂牌上市！

[3. 荣誉奖项 | IPC 亚洲区 2021 年度奖项揭晓](#)

IPC 通过提供行业标准、认证、教育和培训、倡导和产业研究等项目，帮助 OEM、EMS、PCB 制造商、线缆和线束制造商以及电子行业供应商打造更可靠、高质量的电子产品，促进电子制造业的可持续发展。

[4. IPC 新标准开发技术组招募：IPC-6921 有机封装基板的要求与验收](#)

IPC 将启动一份关于封装基板 (IC Substrate) 标准的开发。新开发标准的正式代码及名称为：IPC-6921《有机封装基板的要求与验收》，技术组代码为 3-14a。新标准现面向全球招募技术组成员。

[5. 关于将“印制电路板制造”从“高污染、高环境风险产品”名录中删除的提案建议](#)

今年两会，中国电子电路行业 2 名全国人大代表：中国电子电路行业协会副理事长、广东鼎泰高科技股份有限公司董事长兼集团总裁王馨提交了《关于将“印制电路板制造”从“高污染、高环境风险产品”名录中删除的建议》的提案。

[6.2023 IPC APEX EXPO 开放注册报名](#)

IPC APEX EXPO 2023 是北美电子制造业最大的盛会，以世界级的贸易展、尖端技术展示等为特色。欢迎各位于 1 月 21 日至 1 月 26 日前往加利福尼亚州圣地亚哥与我们相聚。

[7. 逸豪新材成功上市!募资 7.46 亿元助力产能扩充](#)

2022 年 9 月 28 日，赣州逸豪新材料股份有限公司（股票简称：逸豪新材）成功登陆深交所创业板，正式挂牌上市，股票代码：301176。

[8. 关于“2022 亚洲电子生产设备暨微电子工业展 \(NEPCON ASIA 2022\)”延期举办的公告](#)

“2022 亚洲电子生产设备暨微电子工业展 (NEPCON ASIA 2022)”将延期至 2022 年 11 月 30 日-12 月 2 日于深圳国际会展中心（宝安新馆）举办。

[9. 最扑朔迷离和难以预测的一年（刘述峰专稿转载）](#)

本文采集大量数据概述了 2021 年全球经济发展情况以及对 2022 年全球经济发展的预测，分析了当前的经济情况及各种影响因素，以及在这种背景下覆铜板和 PCB 面临的挑战和发展前景

[10. 创智物联顺德互联工厂成为佛山市首家通过国际 IPC QML 审核认证的企业](#)

2022 年 10 月，佛山市顺德海尔智能电子有限公司（以下简称顺德互联工厂），经过 IPC 专家严格审核，顺利通过 IPC QML 001/610 三级认证，公司荣列 IPC 全球可信资源库。佛山市顺德海尔智能电子有限公司成为佛山市首家通过 IPC QML 认证的企业。

EIPC Technical Snapshot 线上研讨会

汽车电子技术领域新型激光制造工艺

by Pete Starkey

I-CONNECT007

“夏天结束了，现在又该回归工作了！”这是9月14日第18届EIPC Technical Snapshot线上研讨会的开场白。此次研讨会的主题是汽车电子技术新发展，由EIPC总裁Alun Morgan主持。

第一位演讲人是Fraunhofer激光技术研究所薄膜处理专家Jonas Mertin，他的演讲题目是《结合增材制造和传感器的全打印智能元器件》。

他介绍了如何通过薄膜处理来增强打印电子产品，以及嵌入式传感器中绝缘及导电涂层的性能和功能，并给出了两种方法：已涂覆元器件表面的激光改性，以及通过涂覆和热后处理的薄膜增材生产。

他详细说明了第二种方法的处理工序：表面预处理、溶胶凝胶或纳米颗粒分散体的化学



Alun Morgan

沉积、激光干燥和激光功能化。该方法不涉及批处理或真空处理，能够自动在线操作。资源高效、灵活且成本低。功能材料可以涂敷于基材的选定区域，实现批量产品的个性化生产，可用于聚酯箔等温度敏感性基材。

对集成功能元器件的需求持续增加。Mertin展示了打印传感器的若干应用和集成概念，并提到Fraunhofer的“超越4.0”灯塔项目，该项目致力将传统生产方法与面向未来的技术和数字制造方法相结合，以开发汽车生产等市场相关应用领域的新策略及创新工艺。在他所举的案例中，用于材料增材打印和激光烧蚀材料的数字模块已集成到现有工艺，以将压电早期碰撞报警传感器集成到车门结构中，使用激光构建嵌入打印层，打印和激光干燥介电绝缘



Jonas Mertin

HDI手册 免费下载



我们广受欢迎的HDI中文版手册是您电子藏书库中不可或缺的一本。

HDI手册由行业专家撰写，他们是HDI的奠基人与开拓者，其中就有HDI教父 Happy Holden。

现在注册，免费下载该书 @
www.hdihandbook.cn

层，在绝缘层上打印和激光固化导电层。进一步的案例是用于大功率电子器件的嵌入式应变仪和功能层。将功能直接打印到半成品或成品元器件上是一种易于实现自动化的制造方法，也可用于向 3D 打印元器件添加各种功能。Mertin 的总结性案例不仅是终端产品，也是 3D 打印铣刀工具，打印和激光烧结的应变仪嵌在切削头后。

第二位演讲人是德国 IQ evolution 业务发展副总裁 Christopher Rocneanu，他介绍了一种大功率电子元器件热管理新方法，详述了 3D 打印液冷不锈钢散热器的生产和应用。为什么用不锈钢代替铜或铝？答案不仅在于它的耐腐蚀性，还在于它能够通过选择性激光熔化形成超薄壁结构。无工具制造过程包括由 3D-CAD 文件驱动的激光设备逐层熔化不锈钢粉末，可以实现壁厚为 150 μm 的复杂无泄漏形状，而铜或铝的等效几何形状需要 800 μm 以上。

该工艺不仅可以实现快速样品生产，而且适合批量生产。

金属粉末被涂敷成超薄层，并通过激光束熔化，在激光熔化粉末的点处形成均匀的金属结构。粉末的剩余区域保持不变，可在工艺结束时清除。几何形状是光束直径、粉末粒度、层厚度、激光束速度和功率以及选定连续扫描之间间隔的函数。由此工艺形成的不锈钢散热片能够以极低的热阻抗耗散大量热负荷。

由于 3D 打印工艺的灵活性，实际上没有标准产品，但他展示了许多工业和汽车应用中常用的冷却器设计案例。

汽车电子产品中，通常要求散热器在低于其工业等效物的冷却液压力下工作，因此已对其进行了调整，以实现更高的流速。Rocneanu



Christopher Rocneanu

展示了一系列性能对比图。

汽车应用的关键好处是，这些薄壁不锈钢冷却器可以显著减轻质量。他举的案例是耗电 1.5 千瓦，但质量只有 28 克的冷却器。不锈钢材料可以使用焊接或铜 / 银烧结实现其与模块的连接。

减轻质量和节省空间的极端案例是卡车用 DC/DC 转换器，其总功率为 210 千瓦，功耗为 4.4 千瓦。从传统的冷板到 3D 打印散热器的变化，使转换器能够装入有限的空间，质量减轻了 97%。

以色列 ioTech 集团业务发展总监 Ralph Birnbaum 是最后一位演讲人，题目为《电子产品的数字批量制造——打破模具》，主题是使用无喷嘴激光喷射技术打印无法打印的材料。

他回顾了限制目前增材制造技术的基本挑战。由于电子制造批准和认证的材料通常过于黏稠，因此增材制造仅用于样品生产。

他介绍了连续激光辅助沉积技术，该技术基于激光诱导正向转移技术，专为增材制造开



Ralph Birnbaum

发。该技术于 2021 年获得 productronica 创新奖。

该技术基本包括将任何黏度的材料涂覆到透明载体膜上，在激光下将涂覆面朝下传递。聚焦激光能量的短脉冲从上方撞击载体，将一致的材料液滴释放到下方的基材上，然后可以在线烧结或固化。

该技术能够以高分辨率打印聚合物、硅酮、陶瓷、金属、焊料和粘合剂等其他无法打印的工业材料。可以以每小时 700 万点的速度、以每秒 1 米的线速度同时打印多达 5 种材料（包括聚合物、金属和陶瓷等）。

Birnbaum 展示了一系列已成功打印的材料，分辨率低至 $25\mu\text{m}$ ，添加剂尺寸从 $2\mu\text{m}$ 到 $20\mu\text{m}$ 不等。在线固化选项包括热固化或 UV 固化，可使用激光烧结或激光烧蚀进行表

面处理。他说这种环保技术提供了丝网印刷的生产力，具有点涂的灵活性和喷射的精密性，拥有成本低，维护简单，且无需昂贵的耗材。

在讨论印制电路制造和电子组装中的应用时，他展示了 FR-4 基板单层 PCB 上的概念验证，可在同一工作台打印金属走线和阻焊膜。演示了以每秒 10000 滴以上的速度涂敷银膏的芯片黏结，比点涂工艺快得多，SMT 组装可以每秒 2000 滴以上的速率打印高分辨率焊膏，同样也比点涂快得多。

可以打印分辨率低至 $50\mu\text{m}$ 的各种粘合剂，可以通过以 $5\mu\text{m}$ 精度重叠均匀分布和完全对准的液滴来实现以前无法打印的设计。如有必要，可在单个设计中加入多种粘合剂。

除了裸 PCB 上的阻焊膜外，连续激光辅助沉积技术还能以 $50\mu\text{m}$ 的精度在 PCB 组件上选择性沉积多种涂层材料和密封剂。

Birnbaum 最后列举的应用案例是在腔体和共形基材上形成导电互连，使用标准商用金属膏，线宽可低至 $20\mu\text{m}$ ，可在线激光烧结，并可根据需要与介质和金属组合。可填充小至 $60\mu\text{m}$ 的通孔。

会议结束时，Morgan 感谢演讲者极其精彩的演讲，感谢 Kirsten Smit Westenberg 和 Tarja Rapala Virtanen 策划组织了又一场精彩的活动，并感谢了所有参会的观众。

下一次 Technical Snapshot 网上研讨会定于 10 月 19 日星期三举行。PCB007CN

I-Connect007
GOOD FOR THE INDUSTRY

剖析空洞

by Todd Kolmodin
GARDIEN SERVICES USA

电气测试 (Electrical test, 简称 ET) 因可鉴别常规断路和短路而为人熟知。但困扰 ET 和制造商的通常是孔壁空洞。这些空洞是钻孔壁镀层断裂, 从一层穿过叠层到另一层, 导致电路“开路”。在某些情况下, 镀层断裂严重, 导致在电气试验期间即可检测到开路状况。

然而, 在标准 ET 期间, 可能会存在某些无法检测到的电镀异常。必须切记, 无论存在

何种状况, 都必须遵循欧姆定律。也就是说: $V=I \times R$, 其中 V 为电压, I 为电流, R 为电阻。

孔壁中最明显的隐藏电镀异常是薄铜, 有时称为“锥形电镀”, 如图 1 和图 2 所示。这是一种接近 PCB 外层的铜为可接受, 而孔壁深度中心铜可能变薄的状况。孔壁上存在铜, 是一种通常不会被发现的危险异常。工厂一般会问, “Todd, 这怎么可能? 根据欧姆定律, 薄铜应该像保险丝一样被熔断!” 电路板中的大多数电路, 依照欧姆定律, 薄铜很可能会被熔断。原因是大多数窄宽度走线经受不起大电流。

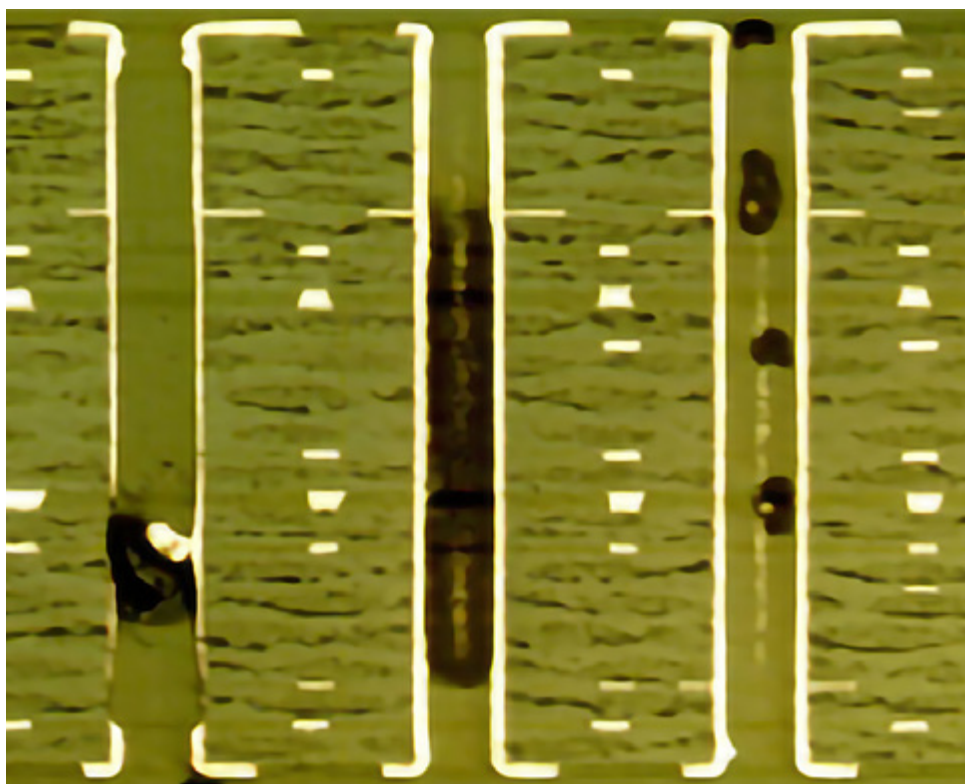


图 1：锥形电镀空洞（左孔孔壁）

ET 与欧姆定律

欧姆定律不能违反。然而, 我们可以在保持 PCB 和底层电路安全的同时符合定律。许多技术规范要求在测试期间施加测试电压。工业和军用要求测试电压最低为 40V, 所以我们使用该电压值。计算器准备好了吗? 好的, 我们看到测试电压为 40V。假设连通性电阻阈值为 20Ω 。现在将它们代入欧姆定律: $40V=I \times 20$ 。欧姆定律可以简化为求解任何变量。例如, $V/R=I$ 或 $V/I=R$ 。现在测试电压为 40V, 电

您可以
依靠的。
测试和
测量设备

40⁺
YEARS
EXPERIENCE

我们设计、制造和销售

测试与测量设备，经过三代人

的努力，我们的设备遍布电子行业，

保护您的电路免遭现场失效的尴尬。

精度为
标准

 **GEN3**TM
Precision as Standard



#THEPEOPLEWHOPROTECT

B2, ARMSTRONG MALL, SOUTHWOOD BUSINESS PARK, FARNBOROUGH, HAMPSHIRE, GU14 0NR, UK

GEN3SYSTEMS.COM

TEL: +44 (0)12 5252 1500

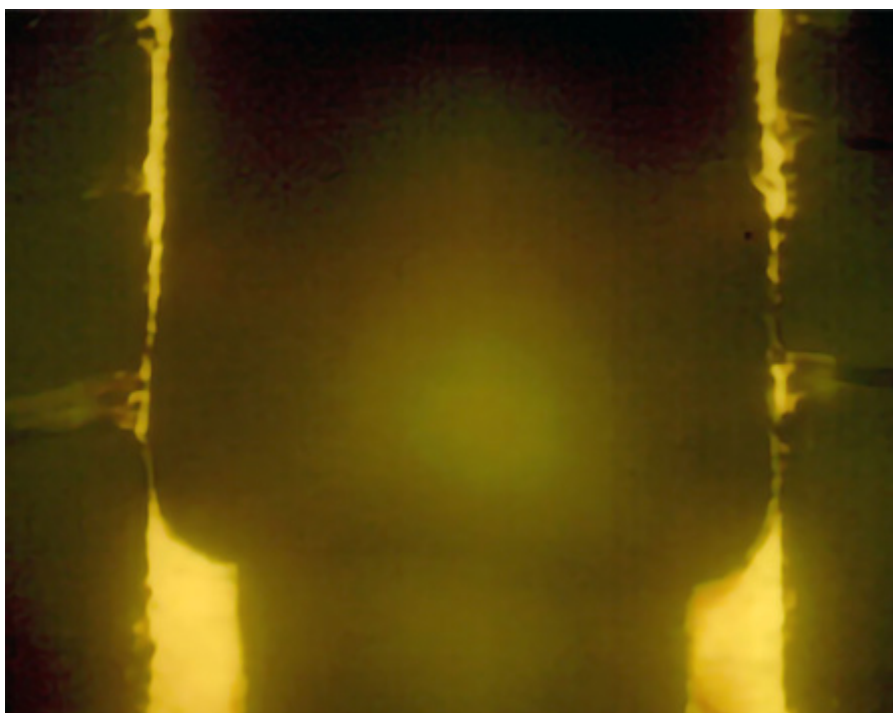


图 2：可通过 ET 的孔壁薄铜（放大图）

阻为 20Ω 。通过 $V/R=I$ ，求解 I ， $40/20=I$ ，为 $2A$ 。3~5 mil [$76.8\mu m \sim 127\mu m$] 的走线几乎都无法通过测试，更不用说测试设备中的待测电子产品了。

现在，许多人可能不了解 ET 以及设备检查开路及短路的过程，因为“测试电压”要求不适用于开路或连通性测试。如前所述，过大的电流将是毁灭性的。在开路测试期间，有两个不同的过程。首先，电压被限制为低值，通常为 12~20V，暂不考虑测试电压要求。仅仅是因为在 10V 或低电压下就能检测出开路，因此不需要高电压。第二种是在连通性测试期间，设备使用旁路电路限制施加到被测电路的电流。设备中的并联电阻网络将分流电路中的电流，仅允许安全地进行连通性测量。很狡猾吧？的确。

在短路或不连通测试期间施加更高的电压。验证电路存在开路后，向电路施加较高电

压以鉴别是否存在短路。此时，仍可应用欧姆定律。然而，在测试短路时，我们只是不施加电压，且希望得到最好的结果。在这种情况下，我们知道施加的电压，但其他变量未知。由于正在测试网络可能存在短路，预计电阻值将非常高乃至无穷大。使用 $V=I \times R$ ， V 是已知的，在我的案例中，我将使用 100V。我们不知道电流 I ，但我们知道理论电阻 R 。然而，我们不能使用“0”或无穷大，因为定律不允许。 $100 = I \times 0$ ？当我们知道已知电压值为 100V 时，它无法工作。因此，短路阈值必须具有电阻值。大多

数情况下为 $10M\Omega$ 或更高。此时又可应用欧姆定律。 $100=I \times 10M\Omega$ 或 10000000Ω 。求解电流， $100V/10M\Omega=0.00001A$ 或 $10\mu A$ 。现在，如果可能存在短路，仍然有不允许在电路之间通过的过大电流。短路测试期间，配有电流限制触发器，当检测到网络之间有电流时，该触发器可有效停止网络测试。因此，标准的自动电气测试很少会导致电路损坏。该测试可在故障触发前瞬间加热短路，但通常不会导致短路消失。

现在再来看空洞。基于我对开路和短路测试工作原理的冗长解释，我们无法依靠 ET 来检测所有类型的孔壁空洞。我们会限制电流，因此不会熔断保险丝（窄走线）。此外，对于具有可接受特征的网络与具有锥形电镀或薄铜壁的网络，其电阻差异不会太大。这些电阻变化通常以毫欧为单位。而大多数电气测试设备使用公差为正负百分比的阈值，

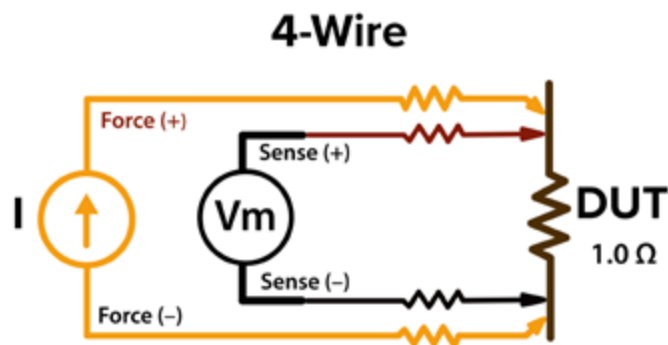


图 3：开尔文计

例如 $20\Omega \pm 5\%$ 。所以，公差约为 1Ω 。锥形电镀空洞情况可能只会使网络的总电阻改变 $5\sim 10\text{m}\Omega$ ，这种变化在连通性测试中达不到故障的水平，因此检测不出。

William Thompson 解决了这一难题。如果熟悉四线开尔文测试，应该了解 Thompson 大约在 1861 年发明了这种测试。这种高分辨率测量系统基于 Thompson (后来称为 Kelvin 勋爵) 发明的 Kelvin 电桥 (图 3)。使用该理论，可以进行高分辨率测量，同时消除引线 and 电子器件的杂散或寄生电阻。四线开尔文可以检测毫欧和微欧范围内的有限电阻差。该测试可检测锥形电镀异常和微通孔结合不良。

在制造过程中，通常会对电镀孔壁进行破坏性分析。如果这些孔壁的微切片是整个订

单的系统性或严重错误，则可以识别电镀异常。切记，这些微切片只是样品，而 PCB 可能有数千个孔。因此，这并不一定警示的是孤立问题，例如电镀中的飞巴或一个不良的搅拌周期，都会导致一组可疑的板。这正是四线开尔文通过检测此类问题可以节省时间和成本的关键作用。如果将四线开尔文集成到制造过程中，可以抽样监控高厚径比的钻孔和电镀孔。应测试来自不同飞杆的随机拼板样品，以鉴别任何可能的异常。如果发现异常，可以隔离飞杆，并根据四线开尔文测试指南对拼板进行全面测试，以验证完整性。符合要求的产品组可以通过，进行后续制程。这样做的目的是消除由于微导通孔的孔壁或接合不良而导致的潜在缺陷威胁。虽然需要在制造过程中投入时间，但与退回产品的成本和对客户声誉损害所造成的损失相比，非常值得。质量成本与不合格产品造成客户损失的成本有着质的区别。在今天尤为如此，因为产品上市时间至关重要。

PCB007CN



Todd Kolmodin 任 Gardien Services USA 公司质量副总裁，是电气测试和可靠性领域专家。如需阅读往期专栏，可[单击此处](#)。



工艺工程师指南

最终蚀刻，第 1 部分

by Michael Carano

RBP Chemical Technology

简介

早在机械钻孔技术出现之前，铜箔蚀刻技术就已经存在。但随着电路密度的不断发展，线宽和线距变得越来越细，蚀刻的机械加工技术和相应的化学药水也在不断推陈出新。本期专栏文章旨在带领读者纵览 PCB 内外层蚀刻工艺中涉及的机械操作、不同的化学药水配方以及其他特殊要求。

蚀刻工艺

PCB 蚀刻工艺出现的多数问题分为两类。

最常见也最明显的诱因是蚀刻设备本身出现故障，例如温控问题或比重测量故障。

第二大常见问题，其诱因出现在蚀刻步骤之前，但直到 PCB 过蚀刻线时才能发现。比如残留在 PCB 上的抗蚀剂残渣，导致蚀刻不均匀；或者化学药水（酸碱度控制、操作温度）导致过度侧蚀、抗蚀剂浮起、表面变暗或锡抗蚀剂被蚀刻去除等缺陷，表面制备、操作和抗蚀剂的曝光 / 显影等参数设置不对也可能导致这些问题。

本文中将列举蚀刻过程中由最常见诱因导致的问题，以及可以采取哪些措施来纠正。如果能在前一个加工步骤中找到对应问题的诱因，并记录下来，读者就能直接定位问题的诱



因。

本专栏文章围绕蚀刻化学药水展开讨论。第一部分首先讨论蚀刻过程中使用任何化学药水都有可能遇到的常见问题。后续介绍与镀液控制、过度蚀刻、蚀刻不足和表面残渣等有关的问题，这部分将在未来的专栏文章里详细阐述。

蚀刻药水的主要类型

根据操作单元的不同（内层蚀刻或外层蚀刻），制造商可以选择使用氯化铜（酸基）或碱性氨蚀刻。简言之，前者用于内层，采用金属抗蚀剂保护底层电路时后者作为蚀刻剂。经

过调整后，含氨的碱性蚀刻剂也可以用于蚀刻内层。但制造商必须考虑光致抗蚀剂和每种蚀刻药水的兼容程度。

了解这些不同的化学品之后，与蚀刻剂相关的几个常见问题也值得读者进一步了解。

设备和其他工艺产生的影响

蚀刻机一般最好是采用传送带方式，其工艺对成品的质量起关键作用。导致不合格的常见原因之一就是面板铜蚀刻不均匀（从一侧到另一侧）。表 1 列举出了导致蚀刻不均匀的诱因以及推荐的纠正措施。

喷嘴会渐渐被残渣堵塞。在反复使用之

诱因	补救措施
喷嘴堵塞	必要时检查并清理喷嘴
喷管错位	按照设备制造商的建议调整喷管
传送轮错位问题 (特别注意：如传送轮杆未交错排布，会遮蔽 PCB 部分区域)	将轮子交叉排布，轮子就不会排在一条线上
喷管水流调整不当 (若设备规定要调整每根喷洒管)	检查每根喷管喷射水压，作出相应调整
喷管泄漏，导致喷射水压不足（特别注意喷管与给喷洒管供料的歧管连接处）	检查喷洒管是否出现泄漏，特别是喷洒管和歧管连接处，必要时进行维修或更换
液面过低，出现泵气蚀	补充溶液

表 1 导致蚀刻不均匀的诱因以及推荐的纠正措施（来源：RBP Chemical Technology）

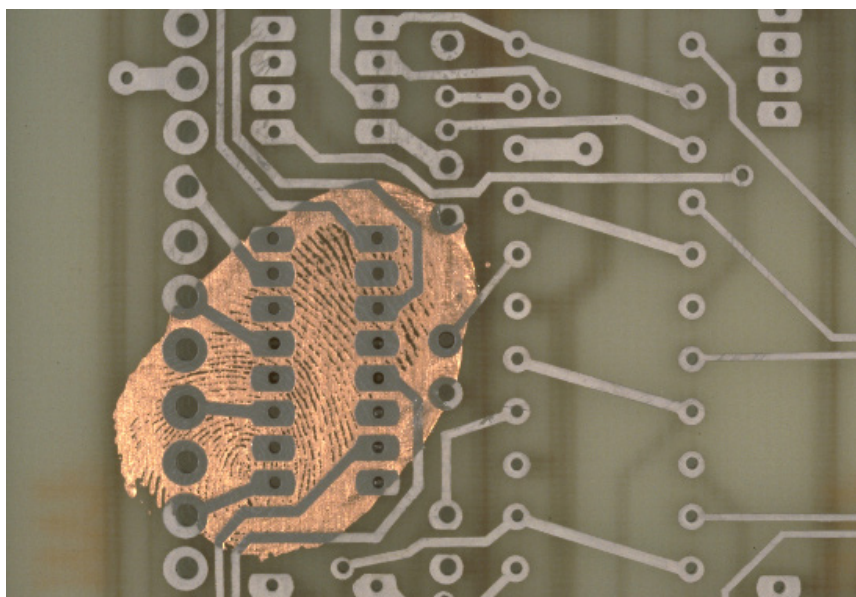


图 1：不当操作造成铜未蚀刻去除

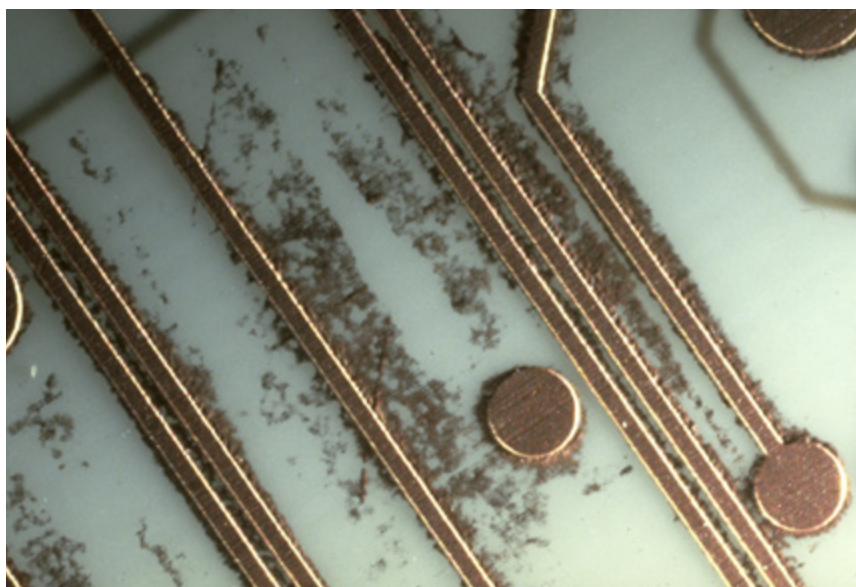


图 2：未蚀刻去除的铜（来源：Michael Carano）

后，喷嘴也会出现老化磨损。压力降低会导致流向 PCB 的蚀刻液减少。此外还要定期检查压力表，如发现压力骤降，则喷嘴或过滤器可能被堵塞。

另一个和设备及工艺有关的问题——蚀刻不均匀，也很耐人寻味（并不是指蚀刻药水）。面板上有些区域是完全蚀刻掉的，有些地方则有残铜。下文会介绍一种检查的好方法。图 1

所示为未蚀刻去除的铜。

造成蚀刻后板面残铜的原因有很多。本文的第 2 部分会介绍蚀刻药水的可选类型，现在重点介绍非化学工艺相关的问题。

正如前文写道，很多导致蚀刻不完全问题的诱因都能追溯到显影/成像工艺步骤。残铜通常都是随机分布的，有时呈铜点状分散，有时残留更大面积的铜（见图 2）。

本案例中，一定要在最终蚀刻前检查多个方面，包括：

- 根据 pH 值和抗蚀剂的用量调整显影剂；
- 面板湿气或氧化情况；
- 调整显影点；
- 过度曝光，导致抗蚀剂局部聚合的位置不对；
- 抗蚀剂贴膜和曝光以及层压和显影之间的停留时间过长。

如果你是负责这类工艺的工程师，千万不要低估上下游工艺所产生的影响。某个工艺步骤之后显现出的缺陷，其源头可能出现在若干工艺步骤之前。PCB007CN



Michael Carano 任 RBP Chemical Technology 公司技术和业务发展部副总裁。如需阅读往期专栏文章或联系 Carano，可[点击此处](#)。

电子电路制造中的 自动化与高阶制程



自1960年代以来，Happy Holden一直在从事PCB制造自动化方面的工作，并不断改进这一方法。可以说，他是制造业自动化领域最博学的专家之一。在这本书中，

Happy用丰富多彩的轶事和他在职业生涯中遇到的各种例子解释了制造自动化的基础。如果您对制造工艺的自动化、机械化和化学控制感兴趣，那么这本书将会非常适合您。在制造中成功应用自动化所具有的共同特征是业务和技术管理人员理解并推崇现代制造业中使用的战略、战术和理念的程度。通过审核CIM、自动化、管理角色、机械化、SPC、TQC、LEAN、MRP 和可制造性设计这些理念。



电子电路制造中的
自动化与高阶制程

Happy Holden
IConnect007
GOOD FOR THE INDUSTRY



扫码注册免费下载

感谢我们的赞助商 对本书的大力支持

Pangus  **珠海镇东**

请关注我们的微信公众号“PCB007中文线上杂志”
获取免费的电子技术以及技术书籍



加成法： 通过油墨控制阻焊层厚度

by Luca Gautero
SUSS MICROTEC

传统阻焊油墨涂覆工艺中，整个电路板的厚度为单一参数^[1]。铜的高度（某些情况下铜特征的截面）决定层压板或铜上的油墨量会存在差异。总的来说，外表看起来是均质的绿色，并且很容易估计油墨用量。

均质的颜色取决于不透明的添加剂，添加剂用量很小，可以减少涂层厚度对透明影响。在俯视图中，几乎看不出阻焊层的实际厚度。唯有金像切片中，有关铜层、层压板（及其许多层）和阻焊层的细节清晰可见。

材料消耗的可预测性并不意味着涂层厚度的确定性：材料消耗的 $\pm 20\%$ 变化是通过临

时更大的库存空间来解决的，与账单预定的波动相比甚至可能微不足道。相反，由于电路板形貌的可预测性差，阻焊层厚度的同样变化可能会带来 PCB 组装问题。

在喷墨阻焊油墨的早期阶段，通过模仿传统工艺来评估，此外，由于相同的 CAM 程序在打印机工具上定义阻焊层，因此它不能自定义。但是，出现新的可定义阻焊膜厚度等参数的 CAM 协议可消除该约束。

需要说明的是，厚度是由高 DPI 值使液滴易聚合的原理来调整的。抖动，作为减少覆盖的一种手段，可以微调材料用量以达到厚度规格要求。

射频信号的走线根据其几何和电气参数提供信号保真度，阻焊膜作为涂层也起了一定的

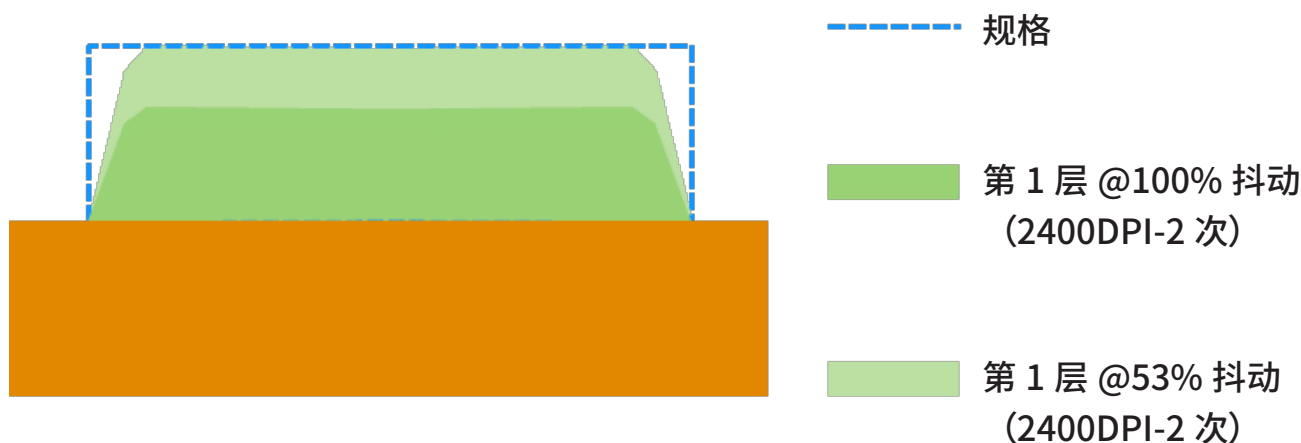


图 1：1200 NPI 打印头形成阻焊膜案例

作用。设计师的任务是通过设计控制射频性能。复杂的软件包通过模拟各种情况为设计师提供支持。最简单的例子是有涂层的单一走线；阻焊膜厚度的变化对阻抗产生二阶效应。对于更复杂的结构，如差分走线、单层结构（走线 + 接地面）或边缘耦合走线^[2]；涂层的任何变化都变得更加关键。尽管如此，无论模型模拟的最终性能如何，从模拟设计转变而来的变化将导致批次间的波动，或者在最坏的情况下，损失良率。在此，精确控制喷墨的厚度是很有帮助的。最后，在射频电路上完全避免涂覆阻焊油墨是一种很好的方法。对于传统的阻焊工艺，这意味着先涂覆阻焊油墨，然后将其去除，这本身就可能引发关于清洁度的辩论。通过喷墨方式，从一开始就不存在阻焊膜。因此，喷墨工艺所带来的未被污染表面可为最大限度提高射频性能带来好处。

电源电路得益于厚铜走线和高电压，以最大限度地减少热损耗，然而，这会导致阻焊层加厚，很难均匀固化。阻焊层固化水平的变化会导致离子在阻焊层中迁移和随之而来的导电物质蠕变，最终会导致 PCB 失效^[3]。对于喷墨打印，即使再厚的阻焊层，每单位厚度也会得到相同的固化量。由于分层固化，可保证最底层完全固化。

最后，且重要的是组装问题：

- 厚阻焊膜造成的墓碑现象
- 由于 NSMD 的“安全选择”导致的 BGA 桥接

当厚度设计成为标准时，新一代高集成、高良率的 CAM 将定义元件本身可界定阻焊层的轮廓。



之前的专栏文章强调了增材制造的指数级采用。新的 CAM 定义将在不久后发布。

PCB007CN

参考内容

1. Like curtain coating, screen printing, spray coating, and variations thereof.

2. “Edge-coupled Coated Microstrip,” Polar Si9000 Transmission Line Field Solver, Polar Instruments, 2022.

3. “Influence of voltage, electrical field and material ageing on humidity induced failure mechanisms of electronic printed circuit boards (PCBs) during high voltage load,” by K. Lux, L. Henneken, S. Maass, and M. Nowottnick, European Corrosion Congress, Kraków, 2018.



Luca Gautero 任 SUSS MicroTec (Netherlands) B.V 公司产品经理。

用于微通孔的纳米铜导电膏

by Happy Holden

I-CONNECT007

复杂的积层 HDI 技术的应用不断扩展。导通孔的镀铜工艺已经很成熟，但需要维护且耗时。目前的导电膏填充物导电性不如实心铜，但可以缩短周期时间，并且具有高导电性和成本效益。

简介

Karl Dietz 在他的 Tech Talk 系列文章中多次探讨了这个问题。其中有不少于 5 篇独立的专栏文章专门讨论了纳米技术和导电导通孔填充。Tech Talk 专栏的有关文章如下：

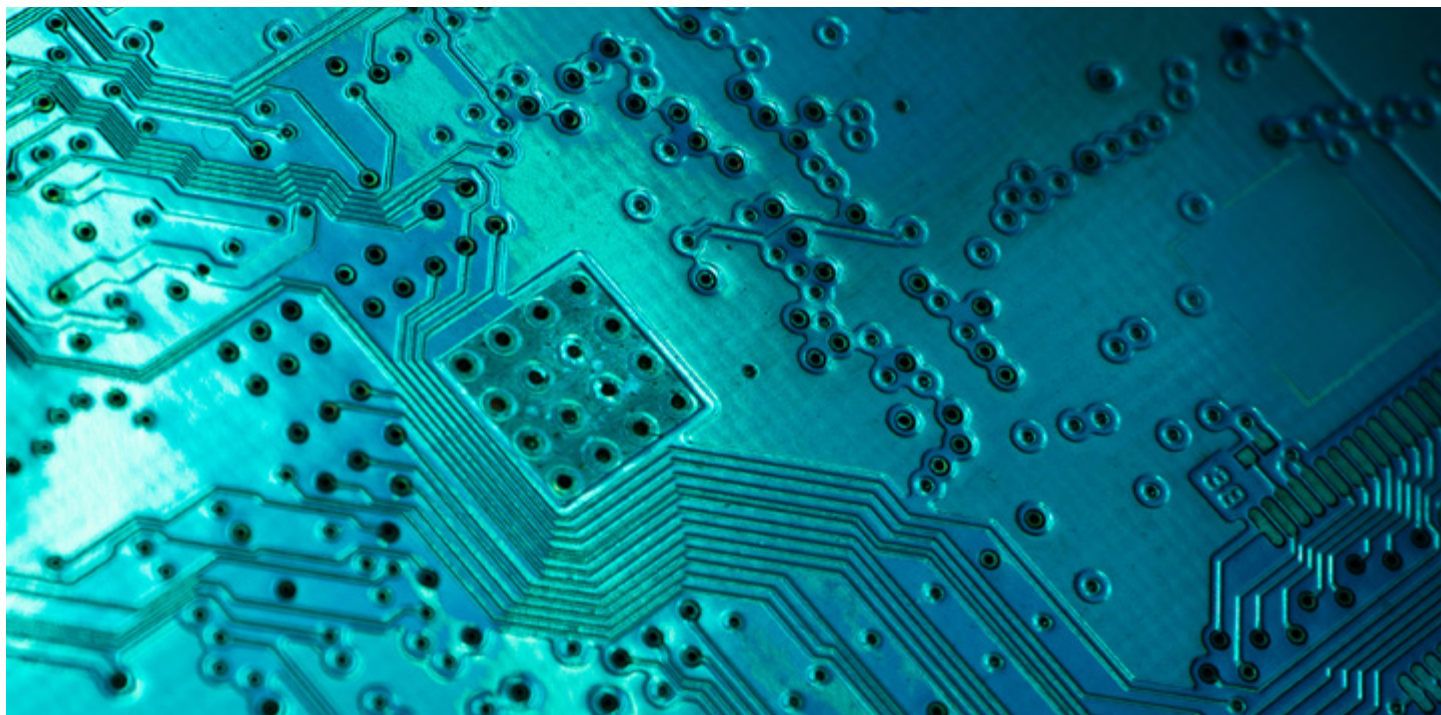
- “创新的困境”（《CircuiTree》，2000 年

10 月）

- “HDI 工艺”（《CircuiTree》，2000 年 12 月）
- “导通孔填充”（《PCBmagazine》，2006 年 7 月）
- “电子产品中的纳米颗粒”（《PCBmagazine》，2008 年 10 月）
- “导电膏和油墨”（《PCBmagazine》，2011 年 5 月）

金属化导电膏

金属填充膏已经存在很长时间了。20 世纪 60 年代初首次用于导电跳线，用银油墨连接双面非镀覆孔 PCB，多年来其用途不断扩大。20 世纪 80 年代中期，ORMET 开发了一项



高性能 高性价比 制程控制解决方案

全新的
APOGEE 90
半自动X射线
检测机

VJ Electronix 是
PCB智能 X 射线检测机
计数机和返修系统的
全球领导者



CONFIDENCE DELIVERED

vjelectronix.com | electronixsales@vjt.com | (800) 858-9729 

搜索公众号“PCB007 中文线上杂志”订阅 72

创新技术——瞬时液相烧结（transient liquid phase sintering，简称 TLPS）导电膏，该导电膏可以烧结成固态金属结构，可用于导电走线、板间多层化和内层制造，见图 1 所示。

许多金属化导电膏最初在 21 世纪 00 年代早期创建的日本 HDI 工艺中用作导通孔连接，例如任意层内部导通孔（Any layer Internal Via Hole，简称 ALIVH）、B²IT 或 PALUP。这些导电膏使用导电颗粒，不同于纳米金属膏或 TLPS 膏。

其优点是：

- 提高了可靠性（避免截留空气或液体）
- 改善了多层结构的平面度（用于更可靠的表面贴装或改进光刻）
- 更高的互连密度（例如，焊盘内导通孔与狗骨设计）
- 更好的热量管理
- 可实现叠层微导通孔结构

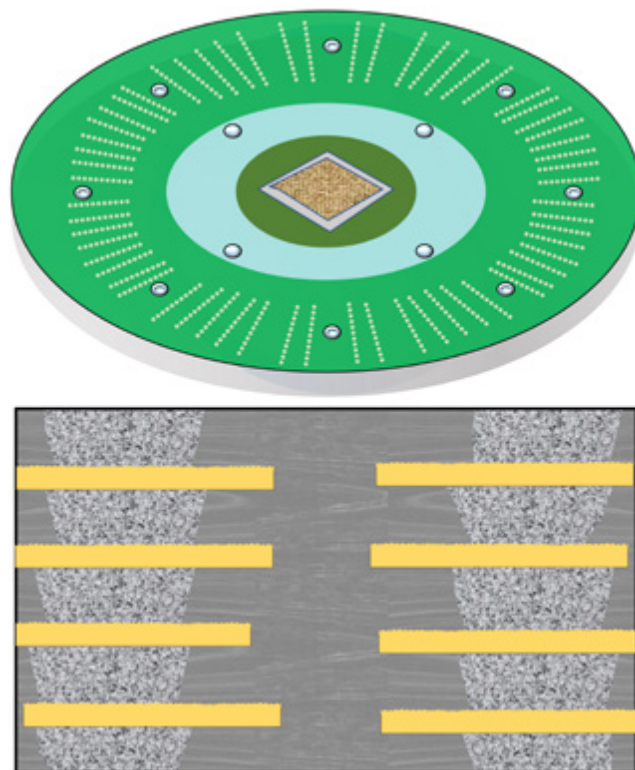


图 1：TLPS 系列导电膏实现板间或内层互连的典型应用^[1]

现。丝网印刷或喷墨是最常用的方法。

制造工艺

导通孔填充工艺（图 2）如今非常普遍。可以使用自动化设备以及简单的样品仪器实

材料特性

载银导电膏出现于 20 世纪 60 年代初。



图 2：导通孔填充工艺流程^[2]

纳米技术的引入彻底改变了这些导电膏。主要产品是铜基或碳纳米管基导电膏。但即使是最好的纳米颗粒膏，其体电阻率也超过主体镀铜的 20 倍。最新开发的是一种纳米铜颗粒，可防止氧化。通过将纳米颗粒与微米级铜颗粒混合，电阻率可以降至主体铜的 6 倍 [2]。

瞬态液相烧结膏

最具导电性和导热性的金属膏是瞬态液相烧结 (transient liquid phase sintering, 简称 TLPS) 膏。这些金属膏在助熔聚合物粘合剂中组合小颗粒焊料材料（许多纳米颗粒）与小颗粒可焊金属。

在烧结之后以及在将子组件芯或盲孔层压成单个 PCB 的过程中，焊料颗粒熔化、润湿可焊颗粒并形成互连的金属网。形成的金属网的熔点高于原始焊料合金，因此在随后的热偏移（例如无铅组装操作）中可保持稳定。焊料颗粒也可润湿 PTH 上的铜盖，铜帽永久冶金

结合到烧结焊膏互连的金属网上，并通过烧结金属接点提供连续和稳健的热和电传导。表 1 显示了对此类膏的测试。

通孔填充实验

尽管这些纳米膏的电阻率高于主体镀铜，但理想的应用是填充盲孔，因为它们很小且对电阻率不太敏感。表 2 列出了对直径为 125μm (0.005”) 盲孔的测试结果，不同的基板的盲孔，深度不同，随后用纳米铜导电膏填充并烧结。将样品蚀刻到焊盘中，并作为覆铜板电镀样品。通过 808nm 二极管激光器、光子闪光灯 (BB 闪光) 进行烧结或者在还原环境温度下烘烤。

在其他研究中，铜膏被用作硅导通孔 (TSV)、玻璃导通孔 (TGV) 和有机基板的填充材料。在基板表层形成的直径为 10~60 μm、深度为 90~150μm 的非通孔填充有铜膏，硅和玻璃的通孔直径为 30~300μm，有机基

测试	测试条件	结果
热冲击	-55°C – 125°C, 500 次循环	通过, 最大电阻变化 7.5%
温度循环	0-100°C, 1000 次循环	通过
湿度 + 偏压测试	85°C, 85% RH, 50V 偏压, 保持 240 小时	通过
湿度 + 热老化	85°C, 85% RH, 保持 1000 h	通过, 最大电阻变化 4.0%
高温储存	150°C, 保持 1000 h	通过, 最大电阻变化 7.0%
焊膏回流测试	在 260°C进行回流, 5 次循环	无分层
电气测试	无短路或开路	通过

表 1：烧结膏互连 PCB 的可靠性分析 [3]

板的通孔直径为140~3000μm。所有铜膏均已烧结，结果见表3所示^[4]。使用真空框架和压板填充通孔的过程见图3所示。

烧结

烧结指通常通过热将颗粒混合物熔合在一起的过程。烧结混合物可用作结构、介质以及导体。导电烧结产品已通过陶瓷厚膜技术（金属陶瓷）应用于电子产品。金属陶瓷需要高温(>800℃)进行烧结，而基于聚合物的导电膏在较低温度(<220℃)下烧结。这些聚合物厚膜(Polymer Thick Films，简称PTF)一般为未固化的液态聚合物，通常是带有导电

基板	导电性	烧结法	附着力	添加剂
	X 主体铜		胶带测试	
蚀刻 FR-4	12X	激光	通过	
	100X	BB 闪光	失败	
	>100X	烘炉 250℃	失败	
	8X	烘炉 225℃	通过	纳米
覆箔 FR-4		激光	失败	
		BB 闪光	失败	
	6X	烘炉 250℃	通过	基板失败
	6X	烘炉 225℃	通过	纳米
玻璃	8X	烘炉 225℃	通过	纳米

表 2：在 FR-4 和玻璃上使用纳米铜导电膏填充盲孔的实验结果汇总^[2]

颗粒的环氧树脂或丙烯酸基填料。当聚合物固化和收缩时，颗粒相互接触并与基板接触，形成连接。幸运的是，我们目前拥有诸如光子烧结技术，可以在不加热基板的情况下烧结导体^[5]。

编号	基板	通孔类型	导通孔尺寸 (μm)	导通孔深度 (μm)	厚径比	通孔填充方法	烧结条件
1	硅 (TSV)	非通孔	10	90	9	印刷	甲酸 220℃ (1 h)
			20	120	6		
			50	150	3		
2	硅 (TSV)	通孔	30	300	10	压合	甲酸 220℃ (1 h)
3	玻璃 (TGV)	通孔	30	300	10	压合	甲酸 220 °C(1 h)
4	有机基板	非通孔	90~180	160	0.9~1.8	压合	甲酸 150℃ (1 h)
			180	300	1.7		
5	有机基板	通孔	140	3000	21	压合	氢气 220℃ (1 h)

表 3：工艺和检查项目^[4]

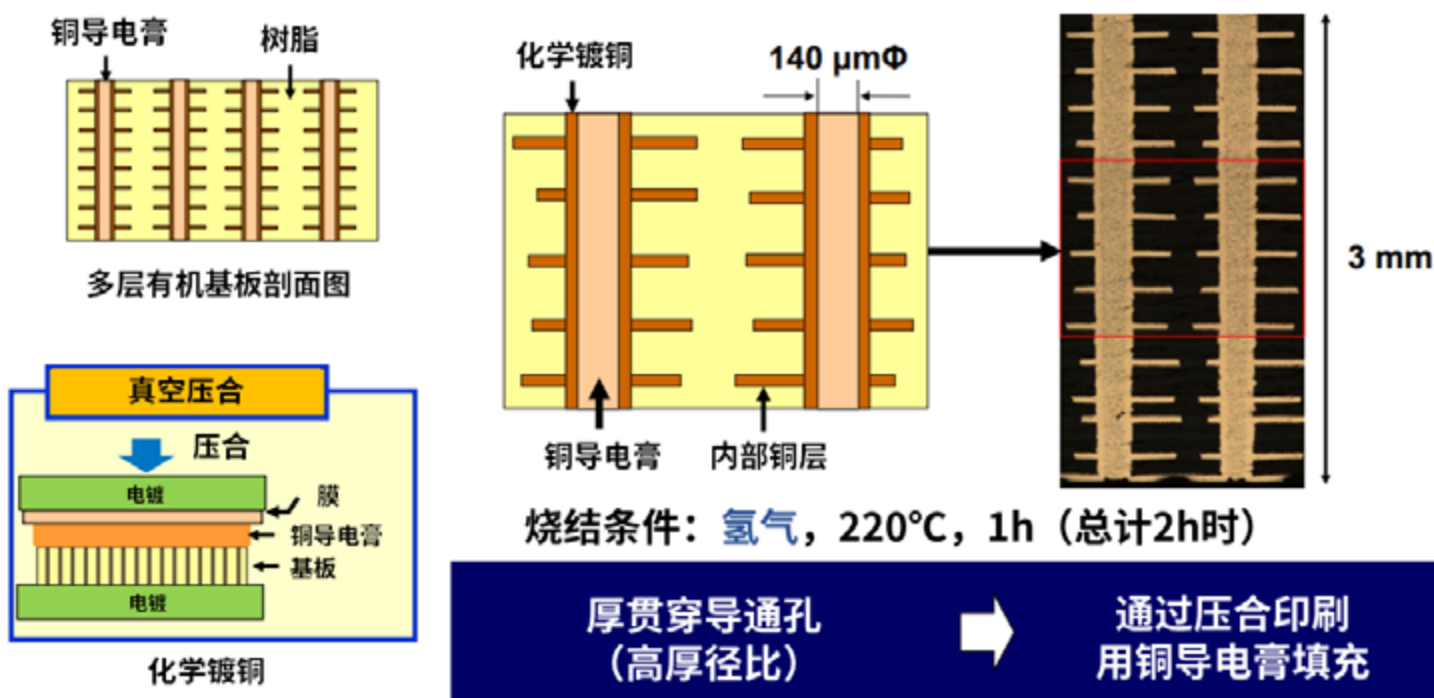


图 3：将 TLPS 铜膏压入各种基板并烧结。结果显示盲孔和贯穿通孔均通过了所有可靠性测试^[4]

结论

在考虑用电镀盲孔或贯穿通孔工艺时，新的导电铜基 TLPS 膏比电镀工艺更快、具有几乎相同的导电性，且可能成本更低。此外光子焊接 / 烧结的使用使这些导电膏可用于成本较低的基板，例如纸、塑料薄膜或其他不适合浸入酸性电镀液的有机材料。PCB007CN

参考内容

1. Tatsuta, all4-pcb.us.
2. “Nano-Copper Paste for Solid Copper Via Fill,” by Sujatha Ramanujan, IPC APEX EXPO 2015.
3. “PTH Core-to-Core Interconnect Using Sintered Conductive Pastes,” by Michael Matthews, et al, IPC APEX EXPO 2012.
4. “Cu Conductive Paste as Via Filling Materials for Through Silicon Via and

Through Glass Via,” SMTA International, Nov. 15, 2021.

5. “Photonic Soldering,” by Happy Holden, PCB007 Magazine, December 2021.



Happy Holden 自 1970 年以来一直专研于印制电路技术，先后效力于惠普、NanYa Westwood、Merix、Foxconn 和 Gentex 等公司。目前，Happy 担任《I-Connect007》杂志的技术编辑，并著有 [《印制电路制造中的自动化和高阶制程》](#) 和 [《25 项电子工程师必备技能》](#)。如需联系 Holden 或阅读往期专栏，可[点击此处](#)。

元器件供应链的喘息空间

by Nolan Johnson

I-CONNECT007

电子制造商发现，随着消费市场需求放缓，供应链矛盾减轻，挑战却依然存在。Emerald EMS 公司供应链物流副总裁 Chris Lentz 和市场营销副总裁 Joe Garcia 分析了过去两年在与经过审核的采购渠道合作时遇到的问题，解决之道在于与客户建立更好的合作关系。他们收获的经验之一是如何创造性地找到元器件，同时保证公司在客户中的声誉。在网上发现元器件的价格更便宜，这并不意味着可以采购。

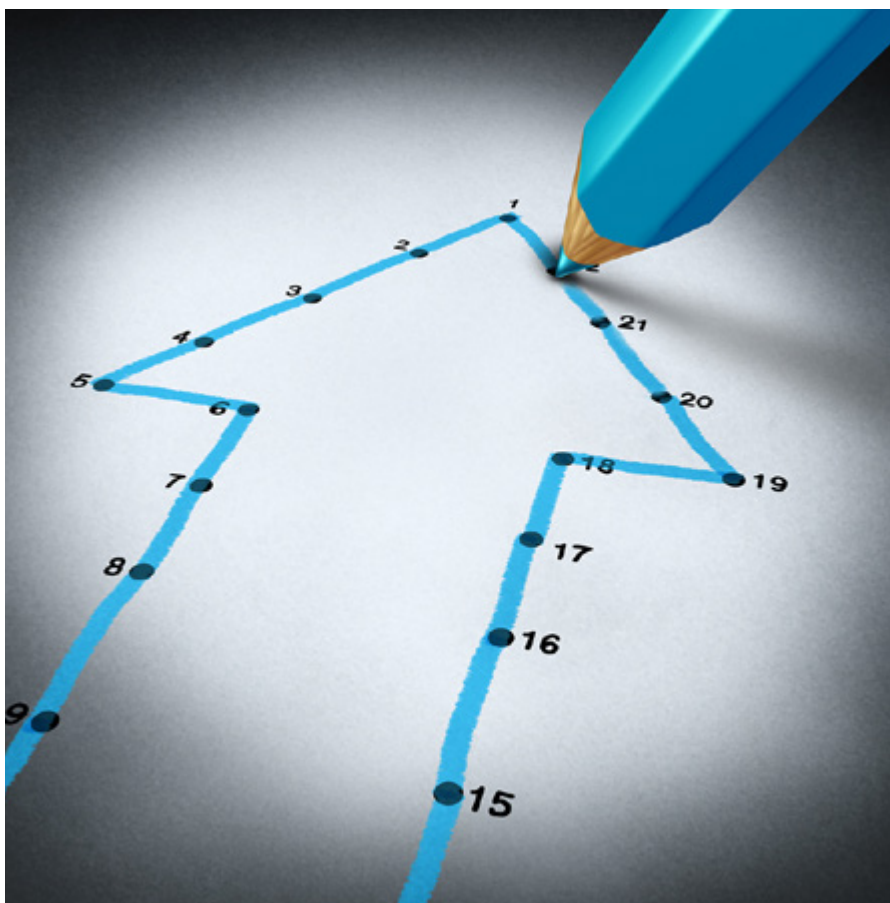
Johnson：作为可对客户要求做出快速响应的 EMS 供应商，Emerald 目前面临的最大挑战是什么？

Chris Lentz：去年，我们必须比以往任何时候都更多地使用非特许经营商，比我经历过的任何时期都更多。我们将已经审核的非特许经营商限制在 3~4 家。但今年，由于市场变得更加受限，很难找到汽车制造商需要寻找的相同部件。突然涌现出来很多经销商，他们的定价令人难以置信，当他们手握很难采购到的元器

件，定价甚至可达正常价格的 50 倍。这使得今年变得更加艰难。

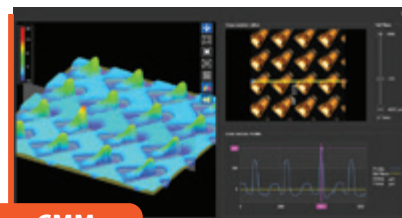
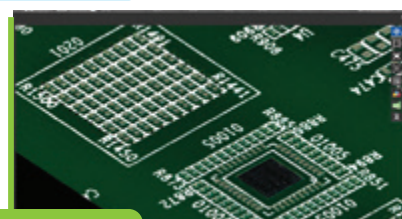
随着消费市场需求放缓，如手机和其他产品的需求减弱，我们看到了一些机会，也采购到了预计 6 个月都无法看到的元器件。我与制造商有很多直接的高层接触，虽然他们不会说现在市场持续低迷，但也了解人们担心经济可能衰退，所以一些订单被取消。这对我们有利，可争取更多原材料。

公司首要任务是处理与供应商的关系，利用与客户的合作关系，尽所能解决供应短缺。



历经挑战，处变不惊

终极多工艺检测系统，
具有极高的速度，准确性和易用性。



SQ3000™ 多功能一体机解决方案

搭载强大工具，涵盖AOI、SPI和CMM的检验与测量。

快速、高精度、可复验和可重复测量，适用于各种产品（如PCB，半导体和消费电子产品）制造中的计量应用。

SQ3000™ 采用革命性的多反射抑制（MRS）技术，通过识别和抑制由反光组件引起的反射，提供无与伦比的精确度。有效抑制多次反射对于精确测量至关重要，使MRS成为各种应用（包括质量要求非常高的应用）的理想技术解决方案。

CYBEROPTICS®

www.cyberoptics.com

Copyright © 2019. CyberOptics Corporation, Inc. All rights reserved.

我们要求客户提供中长期预测，根据这些信息以备有更长的准备时间。大多数客户非常了解行业目前的状况，他们会邀请 EMS 供应商的供应链专家，了解行业动态以及需要预测的信息。我们竭尽所能向客户提供帮助，涉及长交付周期 BOM、安全库存等。



Chris Lentz

“他们一直在向生产线提供交付周期长的元器件。”没有比这更好的事情了。我们看到客户在这方面的行为发生了一点变化，但我们仍然受到缺乏预测信息的严重影响。比如采购周期是 52 周，但在 15 周后才收到订单，然后只能紧张地组装，去追赶进度。

Johnson：客户向你们提供了更准确的预测信息吗？

Johnson：应对这类问题非常棘手吧？

Lentz：有些客户可以，但有些客户仍在犹豫是否披露他们的需求，这也是可以理解的。

Joe Garcia：我们可以越来越清晰地了解预测信息，但他们是否真的能更准确地预测，我们不能确定。我们认为确凿的（也可能不是真的）事情是，客户可能会重复下订单，或者发出信号来激励供应链，他们可能认为这会产生更多针对采购部件的行动。通过预测，我们能得到越来越多的信息；只是不能确定信息是否更准确。

Johnson：最近，在参观你们的工厂时，我问过客户的行为是否发生了变化。例如，他们是否发送了更多配套部件的订单？是否看到客户的行为发生了变化？例如，在这种环境下试图更多地控制部件的采购？

Lentz：在 NPI 中心，我们看到了更多的交付套件，但从生产层面来看并没有那么多。客户是否试图向生产线输送更多部件？是的，一些客户确实是这样做的。当 Joe 带来新客户时说：

Lentz：我在这个行业工作了 35 年，其中管理供应链的时长为 32 年，这是迄今为止我所见过的最具挑战性的状况。有很多因素导致了这种状况，必须小心接受订单，不能把一切订单都推出去。现在，市场就是这种状况，如果要采购交付期为 52 周的元器件，且未提供与之匹配的替代元器件，就会有订单被延迟的风险；分销商和制造商会将把替代元器件发给其它公司。我们必须小心谨慎。

显然，保持库存有压力。如果价格非常高，我们将要求客户来支付库存成本，并让我们寄售。客户对此反应很好。当我们进一步提供全面信息时，他们能理解我们无法保证库存的难处。我们也不想因元器件短缺困扰而买入数百万美元的元器件。我们正在尝试许多不同的途径来解决这些问题，包括与我们的客户合作，在可采购到替代部件时，让他们能够快速重新设计。我们还在需要时借助经销商的力量。

相同处境下，我相信行业都会这么做。这是解决元器件短缺的必经过程。制造商会取消供应承诺。正如我告诉客户的那样，只有部

件到达工厂后，才能称之为采购到了部件。有一些重量级公司有很大的影响力，针对缺货高风险的元器件有确切消息时，可以做出战略决策。当与此类客户合作时，他们可以帮助我们一起满足生产需求，如此降低了风险，保证了公司的声誉。



Joe Garcia

Johnson：供应链状况如此复杂，你们是不是采取不同的方法，或使用不同的程序？

Lentz：是的，比如通过自己的商业情报，创建一些工具和报告，简化系统报告，以便向供应商提供信息。我们使用 CalcuQuote 作为报价工具，每天至少检查 6 次元器件的供应情况，罗列短缺清单，查寻元器件可获取性。我们的系统目前无法自动化完成以上工作。5~7 年前，检查元器件每天的供应情况是采购人员的全职工作。现在，通过分销商使用自动化方法检查日常供应。CalcuQuote 可全球范围内每日搜索首选合格经销商的供应情况。

Johnson：这个软件工具如何改变了你们的采购流程？贵公司的全球知名度越来越高，在采购这些部件时，这种知名度对你们意味着什么？

Lentz：某件元器件一旦有货，往往第二天（或更早）就销售一空。公司在中国的团队每天 6 次、每次 4 小时，不停检查。我们希望尽可能多地覆盖全球范围，也有能力在元器件有货时立即抢购。希望可以在 Emerald 内进行 ERP

集成，以利用 ShopCQ 的 API 功能。

我们通过 WatchCQ 和 CalcuQuote 来出售公司多余的元器件，利用此工具，可使集团 EMS 供应商和 OEM 能够查看库存的可获取性。

我喜欢 CalcuQuote，因为当我们提出修改建议时，他们非常灵活。例如，最初设置 WatchCQ 时，一次只能导入 1 个元器件。我与 CalcuQuote 总裁 Chintan Sutaria 沟通道：“如果我们能一次上传一份清单，那就太好了。”第二天，功能就实现了，几分钟内就完成了 150 个元器件的查询。而过去，报价合作伙伴要进行实时变更很困难。物料单上大概有近 20 个部件有货。听起来可能不多，但每个部件意义都是巨大的，意味着收入可能从 10 万美元升级到 100 万美元，甚至 500 万美元。

我们努力获得客户的预先批准：如果价格高出 20%，我们会经过批准后采购。有时，客户需要两周时间才能完成批准流程，那时部件早都没货了。大多数客户现在能够在 24~48 小时之内完成批准流程。

Johnson：你提到公司目前增加了新的供应商，并且已经完成了供应商审核流程，且随着元器件供应紧张的状态开始缓解，贵公司是否计划保留这些供应商？是否发现拥有更广泛、更分散的供应商网络的价值？

Lentz：是的，公司有这个计划，但要看具体情况。北美的特许经销商与欧洲或亚洲的特许



经销商不同。审核后的特许经销商对我们来说是新的合作伙伴，无论是在欧洲还是亚洲。我们在中国的分公司可能直接与他们打交道；我们没有让他们在美国国内建立办公机构，但现在我们做到了。供应缓解后，我们会在将来继续与他们合作吗？是的，当然，但其可能不是第一选择。我们将考虑限制经销商或非特许经销商，因为我们有首选供应商名单；我喜欢保持三四家。话虽如此，我们认识到，对于我们拥有的供应商而言，欧洲不是他们的主要服务地区，因此我们在欧洲选择了一家非常受尊敬的、经认证的非特许经销商，该经销商为我们做了大量工作。

Johnson：我认为，即使频繁地使用软件工具，但如果公司只有两个供应商，软件可以报告的内容也会非常有限。

Lentz：没错。

Johnson：谈到与客户合作，你们要求针对特别难采购的部件重新设计，这对 Emerald 来说意味着什么？

Lentz：我们更加积极主动。比如 Emerald 所有工厂使用第三方软件工具。我们希望向客户表达紧迫性，并尽可能多地向他们提供信息。Silicon Expert 允许用户查询 AVL 供应的部件。我们有可研究替代方案的元器件工程团队，客户可以精确对比两种方案。

客户的工程资源都很紧张，但如果我们提前向客户提供其需要的信息，可以更快速地做出决策，确定解决方案。

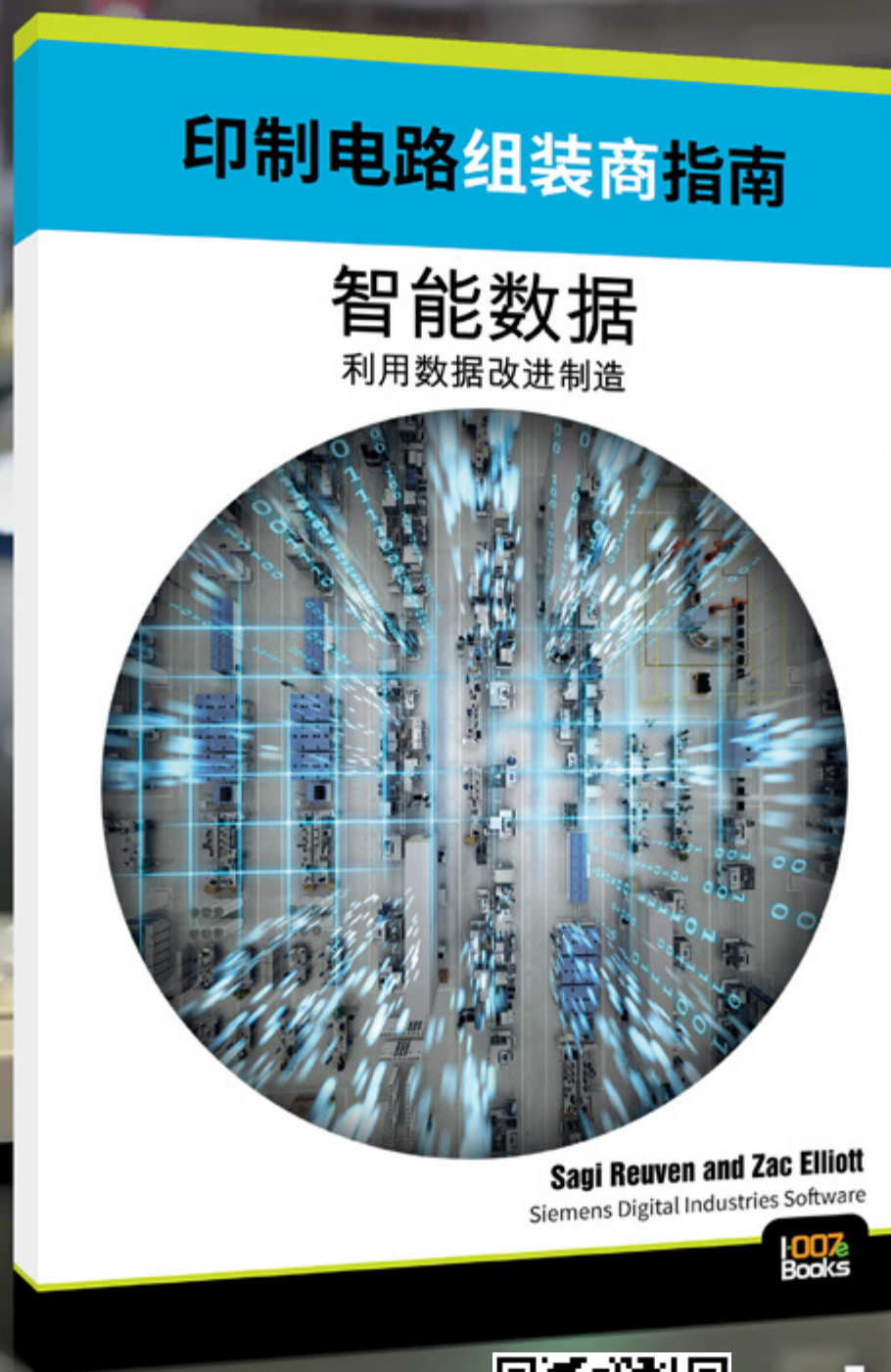
我们目前的供应链计划之一是进一步简化备选方案流程。工具可以很好地检查问题，为客户提供主动反馈。他们已意识到供应短缺给工程资源带来的压力，必须更加关注此问题。没有设计权限，只能由客户来更新其 AVL。

Johnson：这种分析和反馈过程是公司主动为 OEM 客户提供服务的吗？是否存在触发点或阈值，或者仅根据客户要求来启动该过程？如何启动它？

Lentz：我们尽可能主动地完成该过程。很多时候，他们不会提出季度业务总结（Quarterly Business Review，简称 QBR）或只做定期业务讨论。

让您的数据发挥作用！

数据分析可以帮助您做出更好的决策、
降低成本并消除浪费。



⬇ 现在就下载



1007e
Books

获得数据后，客户会问：“有哪些可用的替代方案？”深入讨论导致了更多的工作。我们的合作伙伴确实是这样做的，是需要付出时间和精力。一些客户通过查看产品的 BOM 清单来利用数据。我们可以为新客户做快速检查。如果客户发 BOM，我们可以提供生命周期分析，但并不会提供所有的备选方案，而是告知哪些元器件生命周期即将结束。

现在制造商会更快地结束元器件的生命周期。这是我们了解到的信息。

Johnson：到目前为止，我们一直在讨论寻找部件，一旦它们进入接收工厂，如何验证它们？验证方法发生改变了吗？

Lentz：元器件卷带上的标记是标准要求。根据卷带标记扫描，验证其是否与系统中的信息匹配。对于其他部件，我们进行全面检验。一些客户对检验有不同的要求。我们与一些主要分销商有非常好的 VMI 计划，规定并确保标签完全匹配。通过自动方式或人工方式检查向

非特许供应商采购的每个元器件。

Johnson：是进行外部检查还是 X 射线检查？

Lentz：有些客户要求 X 射线检查，但我们不在现场进行。一些非特许供应商将进行 X 射线检查作为提供的服务，这是我们的首选，但一些主要客户要求进行第三方测试。我们必须送到 GETS 机构或其他测试机构。

Johnson：你认为 X 射线测试要求在增加吗？

Lentz：是的，当然。我们遇到过这样的情况——首选经销商停止供应元件。我们已通过 GETS 找到了替代元器件。今年，元器件库存已经探底，但是我们对不了解的经销商非常谨慎。如果是客户指定经销商，我们要求客户在采购文件上签名，并对此承担责任。

Johnson：进入组装后，会否在生产工艺中发现问题，其原因指向为采购了不良部件？我指的是假冒部件，而不是生产质量。

Lentz：我们会告诉客户，即使有第三方测试，也不是万无一失的。我们的担心是，即使通过第三方测试，也存在测试等待时间问题，在处理元器件工程设计时，仍然有一点担心。

我们的经销商很好；如果有任何问题，他们会立即停止供应。这就是我们选择合作的原因。显然，我们不想使用至少不



是国际电子经销商协会（Electronics Reseller Association International Incorporated，简称 ERAI）会员的经销商，他们不具备认证要求。当客户推荐没有合作历史记录经销商时，我们会非常谨慎。如果我们的经销商找不到元器件，而这类经销商碰巧有这些元器件，确实存在这种情况——我们会有点紧张，需要确保不会将客户或自己置于风险之中。

有一次，一位客户急需的一种元器件突然有货了。这是一个价值 50 美元的元器件，我们向制造商确认，他们从未以低于 47 美元或 48 美元的价格出售过，但经销商却以 6 美元的价格出售，还希望提前付款。每个环节都存在危险信号，所以显然不能继续向该经销商采购。

Johnson：你谈到与客户合作，进行元器件寄售，否则你将成为每个公司的银行，贮存价值数百万美元的元器件。

Lentz：你说得对。我总是说我最好的朋友是资金，这是真正需要客户合作之重点。我们正在与供应商合作并与主要分销商保持良好的关系，因与制造商有着直接的关系，他们将尽可能为我们保持更长的库存周期。这是我以前从未见过的合作关系。过去，出现过钽电容、DRAM 和 PCB 物料短缺，但从未出现过物料的交付周期从 12 到 40 周不等。

Johnson：现在，EMS 公司的增值服务是帮助客户保持生产和预测按计划进行。由于目前存在的供应紧缺问题，为了使客户的生产按计划进行，找部件就像在寻宝。在这方面，贵公司如何使自己有别于竞争对手，以及如何将这种



增值服务货币化？

Lentz：我们确实在为客户提供这种增值服务，迅速发现问题并解决问题。显然，与客户的交流沟通非常重要。他们的严苛要求是什么？如何能帮助他们解决难题？如果他们需要 20000 个部件，我们正在与 Analog 公司合作，福特公司也在寻找同一部件，如果我能得到 2000 个部件，这将帮助他们解决难题。这就是我们与客户合作的密切程度。作为升级服务的一部分，让客户立即参与解决问题具有巨大价值。我们并不羞于告诉他们其订单生产出现的问题。

我们希望让客户作为合作伙伴立即参与解决问题。这一模式将我们与其他竞争对手区别开来，我们希望客户理解，并能通过解决问题双方都有所收获。我们告诉客户，“因有长交付期的 BOM，所以应该做一些风险采购。同时，切记，这是该元器件几个月前的采购状况。”他们更欢迎这种合作模式，他们真的很理解并感谢我们提供的服务。这一直是问题所

在，客户会认为你试图让他们寄售只是为了提供帮助；不，供应链的困境是真实存在的。除了电子制造行业之外，有很多大公司都在抢夺相同的部件。

我惊讶于我们的工厂与客户之间的紧密关系，比如为了解决元器件短缺问题，员工全力以赴，每天都在打电话协调。客户很感谢这种服务，这是过去两年的一大变化——建立更为牢固的合作伙伴关系。我告诉客户：“我们的供应商希望能够与我们达成交易，而我們希望能够与你们达成业务合作。”我们都希望尽快解决这些问题，让客户满意。

Johnson : *Chris 和 Joe, 两位最后还有什么吗?*

Lentz : 我想强调的是，我们正在扩大与供应商和分销商的关系，比如合作构建计划，采购 BOM 中的物料，采购供应商管理库存 (Vendor Managed Inventory, 简称 VMI) 中的物料。我们努力直面一切，与供应商和客户合作，构建有助于确保供应的计划。

Garcia : 我认为公司的存在是为了解决问题，要具有创造性，而不是仅仅坚持一成不变的方法。这种量身定制的解决方案确实可帮助 Emerald 在供应短缺的时代变得更为灵活。并不是说我们没有受到影响，我们的库存有所增加，但这对我们的客户有利。如果我们能采购到最后的关键部件，就可以生产数百万美元的产品。我们的方法始终是快速响应、灵活多变和开放思维，未来将继续寻找创造的方法，以便与客户实现共赢。

Johnson : *你们对 EMS 同行有什么建议?*

Lentz : 早些时候，我与一家大型制造商和其当地代表进行了一次会面。他们讲述了另一家新英格兰合作伙伴——一家规模较小 CM 的情况。这家公司为了维持业务，要求其主要客户为他们提供一笔贷款。我所能说的是，必须与客户深入交流，并与他们合作。当确定某些元器件的交付周期延长时，不要隐瞒，尽早与他们沟通。我很同情这些同行。必须对客户敞开心扉，尽可能与分销商建立良好的关系。遇到问题，不要害怕，及时与客户沟通存在的问题。

我与一些制造商交流时，他们说 CM 几乎是在乞求他们缩短目前 52 周的交付期，因为 CM 在 10 周后就需要这种元器件，而 CM 还没有告诉其客户供应环节出现极大困境。当我听说小公司因资金问题需要贷款时，也非常震惊，这还是我从业以来第一次听说。好在其客户最终给他们提供了贷款，以保证企业继续运营。

重点是与客户及供应商的合作关系。这是我喜欢 Emerald 的原因之一，因为它被视为合作方的一级供应商。我们的工作重心是建立合作关系和利用分销合作伙伴提供的计划。我并不是说 Emerald 不存在问题，但我们已经解决了一些问题，我们的客户也非常满意，值得自豪。

Johnson : *Chris 和 Joe, 谢谢分享。*

Lentz : 不客气。谢谢。PCB007CN

2022亚洲电子生产设备 暨微电子工业展览会

2022.11.30-12.2 | 深圳国际会展中心(宝安新馆)



主办单位



CCPIT Electronics & Information Industry
Sub-council
中国国际贸易促进委员会电子信息行业分会



励展博览集团
同励百业·共展商机

同期展会



AUTOMOTIVE
WORLD CHINA
新动力 新智能·新趋势
New Energy New Intelligence New Trends



深圳电子元器件及物料采购展览会
Electronics Sourcing Show



微信扫一扫
关注NEPCON电子展服务号

设备智能化发展

by Michael Ford
AEGIS SOFTWARE

逆境可推动专注、目标实现及创新。对于受到近期挑战影响的制造业，尤为如此。几十年来，制造业一直过度关注短期业务目标，很少考虑风险和适应性。这种疏忽一直存在于自动化项目和数字转型中。如今，创新者意识到已没有退路，必须拥抱智能——我们都应该把握的一线生机。

当一段时间内没有什么麻烦事发生时，风险就会被低估，而青睐短期结果，自满情绪就会占据上风。但在经历了一二十年的相对平静之后，我们看到了商业世界的脆弱。制造业自动化的长期焦点主要停留在工业 3.0 阶段，也就是说，即曾经由人类执行的物理任务自动

化。然而，最近人类思维的自动化（与工业 4.0 一致）已成为整个制造业真正数字化转型的源点。但是，在行业相对平静时，许多公司再次关注短期利润而不是长期弹性。现在改变，为时不晚。

人力资源问题是根本

最近，全球受到疫情、多个地区政局动荡和不稳定的气候等一系列挑战，造成了供应短缺、通货膨胀和人力资源等根本性问题，导致损失重大。在许多情况下，现有软件自动化暴露了其局限性。优化操作的相对简单自动化，只能满足短期目标，而不考虑长期挑战，已被证明几乎毫无用处。对重大事件做出反应、快速决策、跨越障碍以及寻找机会，都要依靠人类的智慧。缺乏对灵活性的投资，接受对偏远



KYZEN

持续改善 不虚其名

超越需求的解决方案



立即了解我们最新的清洗解决方案，
AQUANOX® A4626! | KYZENPREMIER.COM

KYZEN一词意味着创新和持续改善，我们全天候致力于研究，创建和改进行业最先进的清洗解决方案和工艺。

KYZEN.COM

享誉全球的环保清洗技术

地区生产的材料和产品的依赖性，以及对公司中能够执行某些任务关键人员的依赖，导致许多公司面临的挑战变得相当极端。

在不断变化的新环境中，我们试图避免几乎无法控制的事情。由于制造业面临不确定的未来，关键材料的本地采购、运营和数据的安全性以及为同时运营的商务模式提供灵活性的自动化选择，应该位列“待办事项”清单的首位。

在不断变化的新环境中， 我们试图避免几乎无法控制的事情。

然而，最意想不到和最引人注目的挑战是，在这种动荡中，我们发现不能依赖人类智慧。我们正在经历通货膨胀，处于潜在衰退的经济模式，对于那些经历 20 世纪 80 年代经济大萧条的人来说似乎很熟悉。然而，传统经济工具解决这些问题似乎并不合适，因为与以往的情况恰恰相反，现在的就业水平很高。当公司专注商业挑战时，人们也在做出自己的改变，因为他们决定（或被迫）寻求“更好的生活”，从可以接受的角色转向能够激励他们的角色。从数字化转型的角度来看，人工市场的这种动荡可以被视为好消息。

所以，让机器发出指令

硬件自动化解决方案的选择比以往任何时候都多。然而需要认真审视灵活性和优化之间的优先级。我们了解到，与其让一个人或一个自动化系统专门负责某个特定的角色，不如让

这些资源变得灵活，允许在整个优先任务选择中动态分配资源。人类具备身体的灵活性；同样自动化也需不断发展，使其具备灵活性。

然而，在这两种情况下，真正的挑战是提供如何执行和完成每项任务的连续性指导。这样人类就不再需要依赖市场很小、但使用频率较低的培训，也不再需要依赖专业知识。信息以电子工作指令的形式传递给人类，并通过基于工业物联网的命令和数据交换实现自动化。这项创新带来了对运营整体局面的需求，其源自 MES 领域，MES 已经提供了运营的中央控制和管理。整个车间基于标准的“即插即用”互操作性，例如通过 IPC-CFX 实现的交互操作，正在证明其价值以及与旧数据交换机制的区别，因为它为各种设备或解决方案提供了安全协议和全面定义的明确语言。

这种 MES 智能的扩展使驱动操作事件的决策过程实现了自动化。人类智慧不再对搜索数据和利用数据进行无意识的日常决策感兴趣。保留这种可持续的人类智慧将适用于那些基于即时、准确和情境化知识的可用性，以简单、及时的方式做出复杂决策而获得工作满足感的人。MES 内的智能基于内部复杂的数据模型，根据多年经验而创建，其中数据跨多个因素进行联动分析，使软件能够做出常规决策并采取相应行动，例如补充材料的最佳时间选择。这增强了人类对制造业的贡献，人类可以用更高水平工作，也提高了人类的工作满意度。

这是我们的一线生机。作为数字化转型的固有部分，基于软件的自动化具有智能性和灵活性，即有助于解决日常业务操作，又可支持具有挑战性的例外情况。它始于对人类智慧的尊重，我们已经开始认真对待这一变化，这可

能是迄今为止所面临的最根本的挑战。尽管这些迹象已经存在了一段时间，但还是令人惊讶。人们希望自动化发展得更深入，人们完成繁重而有油污的工作时，只是因为自己的爱好，而不是日常必须完成的义务。由于出于各种各样的原因人们离开了制造业，他们的技能、知识和智慧财富也随之流失。在许多情况下，这是理所当然的。在最近的挑战中，当需要处理许多关键业务异常时，这一点尤为明显。自动化和设备内置的智能软件，尤其是现代 MES 解决方案，将填补这一空白。关键需求是丰富而成熟的内部数据模型，具备有关制造运营、制定和执行日常决策各个方面的知识，具有显著的灵活性，并为人类提供关键信息。通过这些信息，人类的智慧将导致真正的业务差异化。

结论

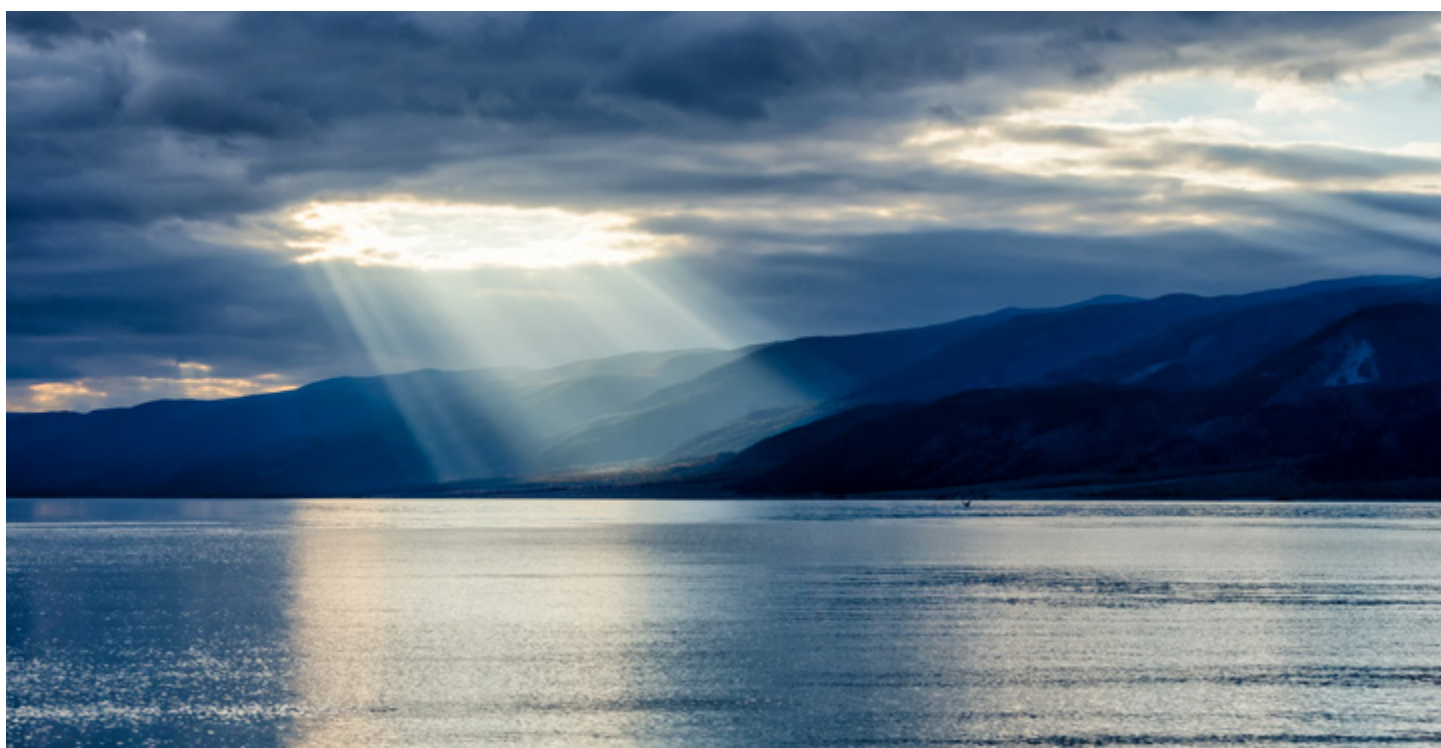
随着不断向前发展，每个公司都需要重新

审视业务实践。供应链中的运营风险和依赖性，以及环境影响和能源使用方面的低效问题，必定会成为行业企业首要考虑的因素。我们必须重新审视数字化转型战略，不仅要实现现有固定业务的自动化和优化，还要提供灵活性，让人类摆脱数据收集和琐碎决策的干扰，创造可持续的、有弹性的环境。

我们会禁不住诱惑，转而过于专注于短期目标；这样的策略只能在短期内帮助企业，但却侵蚀了未来的潜力。让我们抓住这一线生机带来的好处，并为挑战做好准备。如此，可提高人类的生活质量，这对实现可持续的业务目标至关重要。PCB007CN



Michael Ford 任 Aegis Software 公司新兴产业战略高级总监。如需阅读往期专栏，可[点击此处](#)。



Axiom 采取措施应对行业挑战

by Michael Schindele
Axiom

经历了两年多的疫情肆虐之后，我们很了解目前电子行业面临的问题。我们目睹了工厂停工数月，劳动力减少导致人工供应中断，各个国家、地区及城市范围的疫情法规及封控。本文将介绍 Axiom 公司目前面临的一些问题，阐释如何发挥创造力并在困境中寻找一线希望。

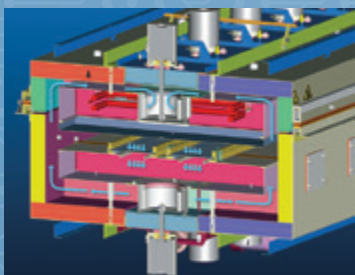
供应商问题

与过去的极端分配时期不同，行业目前的交付承诺并不可信，这使得我们很难计划和履行业务承诺。例如，由于材料供应的持续波动，“承诺”的采购订单交付日期是变动的；且变化是实时发生的，期望在承诺日期之前交付的材料现在延迟几周甚至几个月后才能交付。这导致我们和客户都存在滞留库存，在能够开始、完成订单及从工厂发货之前，都有可能需要等待一些部件到位。



专为基板平整度而推出的新型回流焊炉技术

Pyramax 
WITH **TrueFlat**
TECHNOLOGY



闭环对流加热实现出色的热均匀性

TrueFlat建立在业界领先的Pyramax平台上，是独特的可抑制基材翘曲的回流焊炉。专为0.15至0.30mm的基板厚度而设计，TrueFlat技术消弭了芯片倾斜。

由于Pyramax的闭环对流加热，可重复确保一致的平整度与出色的热均匀性。

**END
DIE
TILT**

- 闭环对流加热实现出色的热均匀性
- 维护成本低-无真空泵
- 搭载Wincon回流焊炉界面，简单操作
- 可选2倍吸力，提供更强大的基板平整度解决方案



www.btu.com

而且，我们看到了相反的情况：我们得到了两年后交付的承诺，即使在客户协助与制造商讨论之后，我们仍面临着向独立分销商下高价 NCNR 订单，只是得到了制造商在几周后反馈回的“好消息”——部件将于 30 天后发货。

不仅在下采购订单时会遭遇价格上涨，而且，当物料准备好发货时，又遭遇一波价格上涨。如何向管理层、董事会和 / 或股东解释计划的突然变化？过去当收到承诺日期或价格时，你可能不满意，但尚可信赖它。然而这样的日子一去不复返，至少现在是这样。

这场全球性事件的发生感觉就像一场完美风暴；不仅仅是地区或制造商的特有事件，还有会影响日常生活的其他依赖关系的额外负担，例如物流、下游供应商、原材料、外部流程等。

许多军用 / 航空客户为供应链流程增加了“难度”指标。这些客户出于各种原因无法提供订单预测，因此我们很难将预测信息传递给供应商。好消息是，一些客户由于自身在供应链中的经历而愿意为我们提供到 2024 年的采购订单。虽然制造商 / 供应商要求提供 2024 年的预测 / 订单信息，但由于对未来的未知，不愿意做出承诺，这些制造商 / 供应商不会接受 2024 年交付的订单。

我现在管理 EMS 供应商关系。客户依赖其 EMS 合作伙伴拥有与供应商的关系，并拥有管理客户供应链的技能 and 能力。挑战在于，作为 EMS 供应商，我们对原始元器件制造商 (Original Component Manufacturers，简称 OCM) 的影响力很小。在设计 / 新产品导入过程中，客户与这些制造商和 / 或分销商合作设计其产品，并协商数量、定价和交付时间等条款，因此他们影响力。曾经有一家 OCM 非

常清楚地告诉我：“我们拥有客户。”在 OEM 领域，我必须向 OCM 和分销商明确表示，当我们的 EMS 合作伙伴同行联系他们时，他们可代表我们发言，所以要做出相应的回应。

劳动力挑战

我们所面临的劳动力挑战对供应商和制造商发展的影响均超过了预期。我们已经看到：

- “大辞职”的影响已经全面显现
- 由于封控和保持社交距离，疫情对劳动力可获取性产生影响
- 降低了对客户的服务水平，包括产品交付时间延长、查询的响应时间增加、处理报价时间增加、不能按时履行承诺等。

至于 Axiom 的增长，目前的挑战在于：随着员工不断离职，需要更多的员工填补离职者的职位，需要找到更多具备技能的员工来填补空缺职位。

希望是什么？

尽管存在这些挑战，但在过去两年中 Axiom 仍有许多值得学习和赞赏之处。我们从这些困难和挑战中吸取了教训，目前正在实施长期改进。以下是一些成绩：

1. 由于交付期延长且不可靠，客户对独立 / 经销商 / 替代元器件市场更加开放；即使是军用 / 航空企业目前对以下选项也很感兴趣：

- Axiom 保证“合格”独立分销合作伙伴的库存可获取性。
- 使用 BOM 工具，如 Z2Data、Silicon Expert 或 IHS；审查替代元器件制造商，以及具备等效功能的元器件。
- 使用 CalcuQuote 的 StockCQ 和 WatchCQ 等工具，通过 EMS 联盟，了解

特许或独立分销市场之外是否有可用的元器件库存。

2. 我们正在努力提高 Axiom 和客户供应链团队之间的透明度，包括：

- 简短的内部升级流程，可使客户尽早了解元器件短缺状况，并参与其中，帮助大家尽快找到解决方案，而不是为时已晚时才告知他们。
- 要求客户利用与制造商和供应商的关系来帮助我们。

3. 为应对供应链数字化的需求，可在供应商的网站上使用客户自助服务功能。

- 这使我们的采购人员可以看到可获取性、定价、交付时间和替代元器件；审查公开的采购订单报告的完整性；实时验证承诺日期。

4. 将应用程序编程接口（Application Programming Interfaces，简称 API）用于实时机器与机器（Machine-to-Machine，简称 M2M）数据交换，以替代或补充传统 EDI 或 B2B 的使用。

- 采购订单管理：能够通过电子邮件或供应商门户直接将采购人员目前正在“手动”执行的适当数据录入我们的 ERP 系统。包括生产线项目请求日期、生产线项目承诺日期、生产线项目定价（以查看是否进行了任何更改）等。提供对已确认的所有采购订单和生产线项目的验证。（有多少次供应商会对你说：“我们没有了采购订单，你能把它发给我吗？”）
- 直接向采购人员和 / 或 ERP 系统提供实

时库存状态 / 可获取性、交付时间和其他关键属性。

- 提供一种直接从 ERP 系统到供应商的在线下单方式，并将结果返回到 ERP（通过人工审核）。
- 向 ERP 系统提供任何更改 / 更新的承诺日期。
- 通过计划、接收等直接将物料出货通知反馈到 ERP 系统并进行审核。

5.Axiom 劳动力挑战

- Axiom 人力资源团队正忙于参加招聘会。
- 我们已经将用工市场的限制变成了从内部提升的机会。最近提拔了 Axiom 团队两名长期成员担任供应链职务，他们的工作非常出色，这绝对是正确的行动。

结论

审查供应链运营，了解过去两年行业发展概况。很可能会发现供应链出现了新的瓶颈，而过去开展业务的方式可能不再适用于如今的世界。我建议行业同仁探究技术如何帮助应对影响行业的日常变化，以及可以做些什么以提供帮助。

不要惊讶供应商能为客户做的一切。大家面临同样的问题，许多供应商已经有了解决方案，为此你可以主动向他们询问。PCB007CN



Michael Schindele 任
Axiom Electronics 公 司
供应链总监。



CMMC 2.0 倒计时： 你准备好了吗？

by Divyash Patel
MX2 Technology

如果你负责工作单位的 IT 决策，需要了解网络安全成熟度模型认证（Cybersecurity Maturity Model Certification，简称 CMCC）2.0 相关要求。现在就开始按照 CMMC 要求采取合规性行动，否则未来将需要投入比预期更多的时间来纠正。

从我在过去几个月的所见所闻来看，有更多公司正在关心并听取供应商、上下游合作伙伴或其他企业拥有人关于如何认真对待 CMMC 的意见。但不能仅凭主观愿望引导决策的制定，所以，应该听取专家的意见。

美国国防部表示，预计 CMMC 2.0 的最终实施规则将于 2023 年 3 月发布。该计划不断延迟、反复和修订，应该会准时出台。规则出台 60 天后，对于国防部供应链任何环节的制造商来说，CMMC 认证都是不可协商的要求。

60 天的准备时间完全不够。

我最近和一家我很熟悉公司的 IT 主管进行了交流。他非常清楚 CMMC 即将到来，国防部业务在其公司收入中占相当大的比例。他也知道，为了及时做到合规，公司需要现在就开始采取行动。公司的老板也了解这一点，他是一个非常聪明、能干的人，但最终的决定是暂时搁置合规性工作。

得知延误的原因，我感到沮丧，但并不完



免费
试用



通过有组织的工艺流程管理进行换线

数字双胞胎 缩短NPI时间

当前，为完整订单采购组件是一项挑战，甚至是不可能的。为了防止机器闲置并适应部分批次，制造商需要进行比以往更多的换线操作。数字双胞胎技术是管理频繁NPI的首选，其是满足多品种、小批量生产工程需求的关键。

www.siemens.com/ProcessPreparation

SIEMENS

全惊讶。该公司老板已经联系了其他供应商和制造商，听取他们的 CMMC 计划，但大多数供应商和制造商什么也没做。在最近的一次 CEO 论坛上，我听到了类似的推理，据我粗略估计，其中只有不到 10% 的公司正在积极采取措施，力争早日达到合规要求。

似乎有一种感觉是，如果大多数小供应商不符合 CMCC2.0 要求，将以某种方式迫使国防部放弃这些要求，或将推迟 CMMC2.0 实施的最后期限。

这是不负责任的说法。

诚然，关于 CMMC 和中小型承包商的信号喜忧参半，但有一点要问：在该项目开发的 3 年左右时间里，网络攻击的威胁或网络钓鱼欺诈的有效性是否降低了？不，没有；总的来说，网络攻击只会增加，尤其是针对小企业的攻击。

对于小企业来说，观望是非常糟糕的策略，即使是存在不太可能发生的事件导致政府进一步推迟实施。只需要一个或两个大型主承包商就可以使政府的最后期限变得无关紧要，但我知道一些大型主承包商已经将 CMMC 法规纳入了他们的合同中。你真的相信支持的主要承包商或供应的大型制造商希望通过与弱势供应商合作来承担自己数百万美元合同的风险吗？我不相信。

对于那些认为遵守 CMMC 的一级要求是可以很快做到的公司，需要三思。我已经参与了几家制造商的合规性工作，即使是管理完善、效率高的企业，这个过程也不简单。

我的一家客户收到了他们的客户——国防部总承包商的通知。要求自通知之日起 6 个月内，他们需自行证明 CMMC 一级合规性，否则他们将被取消投标资格。

CMMC 一级有 6 个域（高级类别），每个域进一步细分为若干能力和实践。从表面上看，这些要求听起来很直截了当，其中一些领域确实如此。例如：限制授权用户对系统和数据的物理访问（后文将进一步解释）。但在实践中，确定哪些用户目前可以访问哪些内容，以及谁应该被授权访问哪些内容，可能需要花费大量的时间和精力。

该特定客户已通过 AS 9100 认证，当收到通知时，访问控制处于良好状态，已能满足一级要求。但大多数企业并非如此。简单地说，访问控制要求定义和限制访问网络的人员。简单地让每个人都可以访问一切并不是符合要求的答案——共享驱动器和开放网络是 CMMC 最初面世的重要原因。为了确保网络的安全，用户访问必须是可跟踪的，并且是有具体规定的。这意味着没有更多的共享密码，意味着只有操作人员才能访问操作数据；销售人员只能访问特定于销售的文件夹和文件；对于每个部门、职能领域或业务线都是一样的。然后，在每一种情况下，需要通过个人的工作说明来规定对数据的访问权限。

尽管我的客户做好了充分的准备，但使他们合规的整个过程几乎花了整整 6 个月。在我解释原因时，可问问自己，贵公司是否可能面临类似的挑战。其中一部分时间用于为其服

尽管我的客户做好了充分的准备，但使他们合规的整个过程几乎花了整整6个月。

务器建立符合要求的物理环境，这需要更改房间的位置并改装灭火设施和 HVAC 设施。但服务器环境的改并不是最耗时的部分。该公司正在定义、开发和培训员工新的 IT 政策和程序，包括安全和灾难恢复计划。

这些事情不可能一蹴而就，因为每家公司各不相同，现成的计划不会奏效。必须根据公司的具体技术环境以及与之连接的人员和设备定制公司的具体计划。

定制计划

和其他制造商一样，这家公司拥有多样化的技术环境，随着时间的推移，环境不断发展变化，根据实际或预计的需求增加人员、设备和技术，公司发展长达几十年，达到了目前的状况。结果是，这家公司没有人完全了解其完整的 IT 环境，即连接其网络的一切，包括每个用户的设备、每台生产设备、每个软件程序，甚至是休息室的智能冰箱和自动售货机。当然，我们需要对整个网络以及与之连接的任何设备进行漏洞扫描。仅仅检查一天是不够的，我们必须花大量时间查看网络，才能真正了解正在发生的一切。

其他制造商处于相同的状况；会发现公司已经很好地遵循实践要求，但未进行差距分析，具体的补救工作就像是盲人摸象。在未了解需要做的补救工作之前，无法实施合理的措施。

此外，必须考虑到某些任务的生产停机时间，以及其他任务必须由了解透彻的人在非工作时间完成……所有这些都会影响公司的实施进度。

即使企业内部有 IT 人员，这项工作也需要全职员工 3 到 6 个月的努力。谁将接替公司

IT 人员原有的日常职责？

寻找专家

一级合规需要完成年度自我认证程序。该认证必须由公司所有者、首席执行官或另一名 C 级高管签署。以下是我的预测：一些小企业主会尝试自己做这件事，相信他们正在按照 CMMC 要求正确地做事。然而，迟早会有客户、供应商或精通这些需求的 IT 安全专家来咨询我：“能否指导我们做 CMMC 合规性工作。”

现在，最好找到一位公司信任的专家来进行差距分析，并制定公司策略、程序和系统安全计划。这将使公司合理了解 CMMC 合规性工作需要在时间和材料方面配合些什么。总而言之，合规性成本应该只是 IT 资源的一小部分。与错过订单合同相比，这部分成本只是沧海一粟。

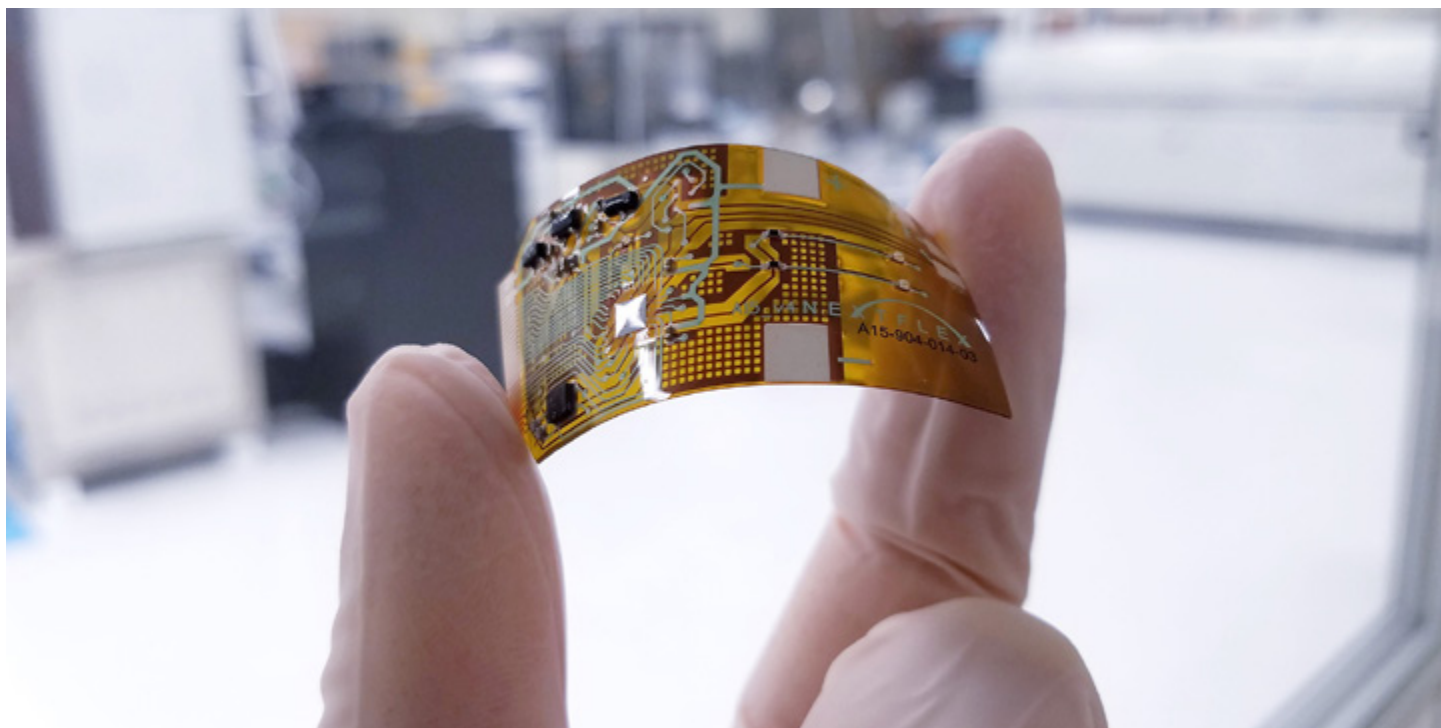
幸运的是，这是一次性成本。一旦获得了安全的 IT 环境，并制定了策略和程序，只需维护网络和遵循协议即可保持合规性。

我相信大多数公司更愿意关注销售、采购、生产和运输的基础问题。如果是为国防部工作或计划为国防部工作，那么合规性是首要问题，如果不够重视，很不幸，即使解决了基础问题也没有实际意义。

据预测，联邦政府的其他部门和机构也很快将采用类似的网络安全要求。PCB007CN



Divyash Patel 任 MX2 Technology 公司总裁。



芯片短缺推动创新

by Malcolm Thompson
NEXTFLEX

芯片短缺一段时间内不会消失，预计会持续到 2023 年。有些人认为持续的时间会更久，如 Intel 公司 CEO Pat Gelsinger，他认为电子生产设备领域的芯片短缺会持续到 2024 年^[1]。这种状况也有好的一面，那就是这场危机会促使行业开发长期适用的解决方案。这种情况下，支持美国境内半导体生产的政府投资会增加。一旦《CHIPS 法案》开始实施，就能加速在美国境内建造半导体生产厂，避免再次遇到芯片短缺的局面。

每项挑战背后都孕育着新机

芯片短缺对汽车制造和消费类电子产品的

影响，突显了电子产品在立法者及消费者日常生活中的重要作用。芯片生产和供应端的持续动荡已波及到医疗、工业、国防和航空航天业。Everstream 数据^[2]显示，高阶芯片的平均交付周期是 52 周，这种情况影响到了每个人。好在这种广泛的影响使立法者和行业都认识到引起芯片短缺问题的不仅仅是硅晶圆生产厂。

为了从整体上解决问题，有了《CHIPS 法案》的支持，在投资建设晶圆生产厂的同时还要投资于为芯片配套的高阶封装技术。如果没有配套的封装技术，很多芯片还是要发到海外去封装，这也就违背了《CHIPS 法案》促进境内芯片生产发展的初衷。好在法案中已经考虑到了这一点，电子行业也对此给予了更多关注。

有些人担心高阶封装行业的大型公司会得

支持Flex 刚性Flex和嵌入式组件设计 现已上市！

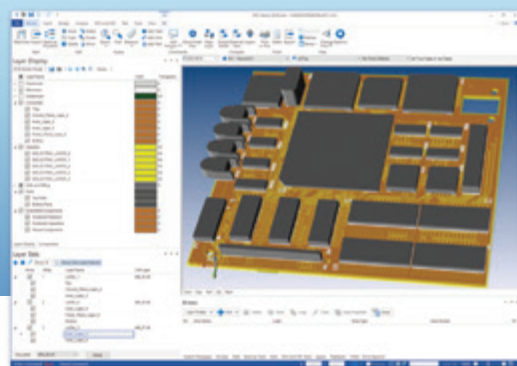
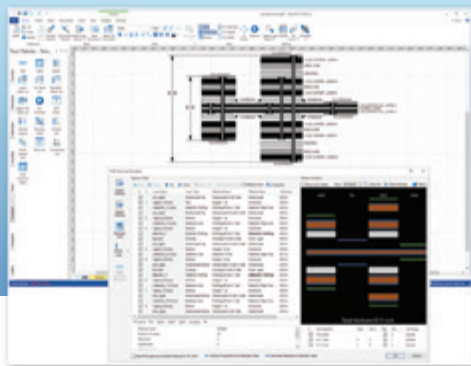
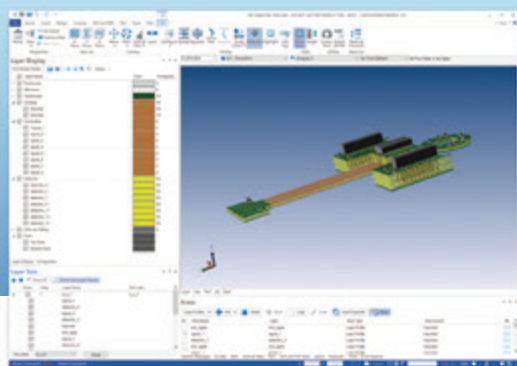


BluePrint-PCB®



CAM350®

- 导入并可视化挠性、刚挠性和嵌入式组件设计
- 管理刚挠设计的可变叠层
- 3D可视化可验证PCB构造和组件装配
- 轻松创建自定柔性或刚挠性产品的制造与装配文档



更多信息，请访问downstreamtech.com网站或致电 (508) 970-0670

到所有的政府投资资金，事实上，其他辅助加工技术和包括增材制造在内的创新技术也会得到可观的投资。那些灵活性强、创新度高的公司如果也能拿到高阶封装领域的小部分预算资金，并且共同合作，就能使整个电子行业更上一层楼。

现在不勇于创新，就会再次陷入困局

所有人都应该认真思考如何组建团队、起草提案、扩大电子领域以囊括增材制造电子和挠性混合电子（flexible hybrid electronics，简称 FHE）等新兴技术。其他国家正在尝试用新技术构建新型电子产品，并已经遥遥领先。目前，美国境内的半导体封装技术有限，政府早期投资的目的也是在大公司内施行异构集成方法。包括对增材制造电子互连封装的投资，可能会对供应链中的一系列企业产生影响。

如果我们不投资研发这些具有前瞻性的技术方法，那么很可能在 5 年后又会再次陷入目前的局面——讨论美国境内电子产品的严重短缺，以及如何才能摆脱这种困境。实际上，具备这个行业的领导力会变得越来越难，正如上文所述，全球其他国家正在投资研发电子封装和互连技术使用的增材制造工艺。

过去几十年，中国大陆和台湾地区，以及欧洲各国的投资战略都涉及到了基础研发。如果不在这个领域进行重大投资，那么很快我们就会被狠狠甩在后边。

《CHIPS 法案》一夜间改变了事情的走向，人们开始谈论之前从未想到过的问题：必须要投资于整体解决方案和供应链，而不是仅仅改善生产线前端。要考虑到每个互连层、载板和封装，包括生产这些层、与目前所依赖的芯片

集成的新方法和高效方法，以及如何使芯片变得更薄、更灵活、更能适应多种形式，以使其适应更多用途。

构建芯片制造业队伍刻不容缓

《CHIPS 法案》的另一个重点必定是人工的培养。实际上，美国并没有现成的人工可以直接去上文提到的芯片制造厂和高阶封装厂工作。创新取决于人及创新中心的地理位置，如 Intel 公司计划在俄亥俄州建造晶圆生产厂，创新中心需要具备人们愿意去工作和生活的吸引力。对于制造业的每个岗位，需要更多的支撑公司和员工，所以说这类岗位可以大幅改善当地的就业，成倍增加当地就业岗位。成百上千个岗位急缺人才，所以说对于芯片制造厂、当地和全国经济而言，构建人工队伍已成为必要基础设施的重要组成。

这些都是要求具备高技能、具有高水平薪资的工作岗位，所以需要大学和社区院校具备相应的设施和课程，使学生可接受所需教育和收获实际操作经验，确保他们能够为未来的工作做好准备。全国各地的学校已经开始落实这项要求，如俄亥俄州的 Lorain County 社区学院、加利福尼亚州的 Evergreen Valley 学院和阿拉巴马州的 Drake State 社区技术学院，引入了针对寻求更高阶制造经验专业人士的学习项目，以及旨在激发中小学生学习兴趣的早期学习项目。

除生产芯片外还有构建其他基础设施的机会

对于设备制造商、材料供应商、基础设施供应商以及那些认识到芯片短缺既是挑战也是机遇的企业而言，大家都面临发展的机遇。芯

片制造厂与高级封装方案的配套组合显然是复兴美国基础设施建设计划的重要组成，但同样重要的还有增材制造电子技术和混合电子技术等具有前瞻性的技术能力，因为这些技术可以帮助我们避免再次陷入芯片短缺危机，确保正在构建的新型电子制造模式是可持续的。

PCB007CN

参考内容

1. “Intel CEO now expects chip shortage to last into 2024,” by Kevin Stankiewicz,

CNBC, April 29, 2022.

2. “The Chip Shortage is Easing—But Only For Some,” by Will Knight, Wired, July 25, 2022.



Malcolm Thompson 任
NextFlex 公司执行董事。

金属开采需要长远眼光

Nolan 采访了在采矿行业拥有 50 年经验的专家 Shaun Dykes。Dykes 简要介绍了采矿开发，以及开发和供应用于制造 PCB 的矿产资源所需投入的时间和精力。存在很多影响矿山开发时间和地点的因素，此外也存在阻碍开采矿产很多因素。



Shaun Dykes

Nolan Johnson : Shaun，是否可以简要介绍你的具体职位和职业经历？

Shaun Dykes : 我是 American CuMO Mining Corp 公司的总裁兼 CEO，同时也是一名工程师和地质学家。我做这行差不多有 50 年了，去过世界各地。勘探研究加拿大、美国和澳大利亚各级政府、机构管辖的矿床。此外也去过

俄罗斯和南美等地。

Johnson : 矿物质及其在成品金属在供应链中的作用对本杂志读者有很大影响。他们依赖于铜、锡、铅以及玻纤板上的所有金属。此外这些 PCB 成分中还含有焊料和矿物质。当然铜起着核心作用；这似乎是一种处于动态核心的金属。

采矿行业的全球供需发展趋势如何？它将如何影响电子制造业的？

Dykes : 金属，特别是现在所有的新技术，在电路、海水淡化厂、电池，甚至饮用水中随处可见。对每种金属的需求都很强劲。供应越来越短缺，随着矿山的老化，等级也在下降，从而减少了可供开采的金属量。由于必须遵守新的法规和规则，现在批准开采的时间大约是过去的 5 倍。

更多详细的内容，请[点击这里](#)。

采购新模式

by the I-Connect007 Editorial Team

过去几年，行业发生了许多变化，其中最明显的莫过于元器件采购。采购已成为当今 PCB 设计师和设计工程师面临的最大挑战之一。从单一供应渠道采购元器件的时代已一去不返，利益相关方和分销商之间的沟通至关重要。

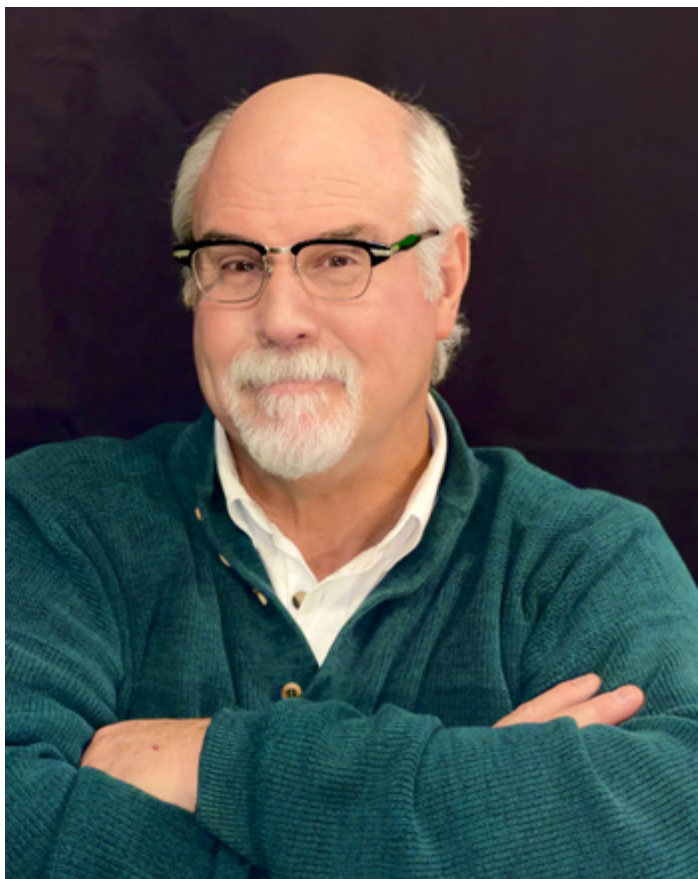
近日，I-Connect007 编辑团队采访了专栏作家 Kelly Dack。Kelly Dack 是一家组装企业的 PCB 设计团队负责人，也是 EPTAC 设计讲师。在他的分享中，我们了解到 PCB 设计师可以使用布局策略来应对意外情况，比如初始元器件为“很难获得的元素”，则可替换为更大的、供应稳定的元件，或者预留额外的板面积。

在采访中，Kelly 探讨了及时采购理念，他认为工业工程师应该“适当调整 PCB 尺寸”，以及采购工作还必须重点关注招聘及构建 PCB 设计师队伍。

Andy Shaughnessy : Kelly，你已经参与解决 DFA (Design For Assembly) 问题多年了。可以谈谈采购领域存在的挑战吗？

Kelly Dack : 有的客户已有产品理念，完成了





Kelly Dack

初步研究和开发，希望将产品投入生产。此时，我们评估产品，以确定其满足组装生产线的可行性。起初一切都进展顺利，直到出现问题——混乱、错综复杂的供应链导致无法采购到某些元器件，以至于整个项目减速或停止。如果仅是进度缓慢，我们可以修改设计，以便找到替代元器件来实现相同的功能。

Happy Holden : 现在我们讨论的不是工艺能力，而是元件可获取性，但仍然属于可制造性设计范畴。

Dack : Happy，元件可获取性仍然属于制造环节，可制造性设计在其中发挥了作用。当发生元件突然采购不到的情况时，就需要修改设

计，用其他元件进行替代，这时可能在外形装配和功能上与初始元件不完全相同，但产品仍然可以运行。如果替代元件能够成功地融入设计，会产生什么样的多米诺骨牌效应？

Holden : 我们必须在设计上做出改变，以便提前了解信息，而不是简单的重新设计？

Dack : 我们发现每家公司都在使用较小的元件，而较大的元件被剩余出来。因此，很可能所有的小元件已被销售一空，如果想找到具有等效功能的元件，必须愿意采购尺寸更大的元件。但如何将更大的元件放入 PCB 布局？

Shaughnessy : 存在多米诺骨牌效应？

Dack : 对。退一步来看。在 20 世纪 90 年代产品不断缩小的时代，当我们在研究尽可能减小电路板尺寸时，我创建了“实用组装密度”术语。其理念是确定合适的组装密度，一旦达到了这个密度，为了未来的设计或制造目的，只增加一点尺寸会出现什么问题？为什么我们不断设计以达到最小的密度？

Shaughnessy : 你是说增加更多的 PCB 面积吗？

Dack : 组装密度与给定 PCB 的面积、元器件，以及元器件所涉及的所有几何形状有关。

Barry Matties : PCB 受限于产品外壳，存在限制。你们如何适应？

Dack : 与工业工程师一起，在项目的前端就

开始考虑实际组装密度。产品尺寸有最佳点，其曾经是“缩小它，让它尽可能小。产品越小，销量就越大”。

但当它变得违反人体工程学时，情况就相反了。例如，智能手表的尺寸开始增加，并使用了更多更大的 OLED 屏幕，这给了可制造性更多的设计空间。

Matties：工业设计师现在是否更加认识到这一点，并将其考虑在内，因为他们了解元器件供应短缺？

Dack：我不确定。我认为他们尚未认识这一点。当机械工程部门将 PCB 外形尺寸转发给电气工程部门，并对给定的板面积进行可行性研究时，会发现 PCB 设计过于密集。我们通常会发现所选择的元件无法安装在 PCB 上，因此必须再次重复 DFM 研究。

Shaughnessy：有公司在设计过程中就采购了所有的元器件吗？我听说 OEM 指责特斯拉和英伟达囤积电容器，但做好准备不是很明智吗？

Dack：你这么说很有趣。我刚和我们的一位元器件工程师沟通过，他看到很多元件都被采购了。我问他“囤积”这个词是否合适，他说如果能找到元件，也会快速下单。

Matties：是的。我估计会有一些公司进行储备。

Dack：这是真正的动态问题。指定采购不到的元件将是“自杀性项目”。但更多问题在于，

在概念可行性阶段的几个月前，客户已经用采购到的适用于样品的元件数量进行了样品生产；但当进入批量生产时，采购不到可完成批量生产的元件数量了。

Matties：Kelly，你认为什么时候这个问题可以开始解决？我们说的是未来一年、两年还是更长时间？

Dack：我所看到的数据显示，2023 年看起来仍然非常糟糕。港口仍然堵塞。但是，即使僵局得到缓解，元件可大量供应，对许多项目来说也为时已晚。这些项目要么已被取消，要么其他技术将取代首选技术。我最近听到一个故事：人们终于收到了之前采购的元件，然后发现不再需要这些元件了。亚马逊告诉他们：“希望你们保留元件，不要把它们发回给我们。”

我所看到的数据显示，2023 年看起来仍然非常糟糕。港口仍然堵塞。

Shaughnessy：对。亚马逊甚至会退钱，但却不想要退回的元件。

Matties：这正在成为一种普遍做法。但这种元件仍会有很好的市场。

Dack：重点是提前了解信息，与采购渠道联系，意义重大。我们的元器件工程师和采购人员肯定是紧密联系在一起的，但所要用的某些

元件仍采购不到，项目只能因此停止。

Matties：通货膨胀的状况怎么样？目前元件的定价动态是什么走向？

Dack：运输成本已经涨到了天价，但过
时或采购不到会使元件变得一文不值。
供应市场整体状况混乱。

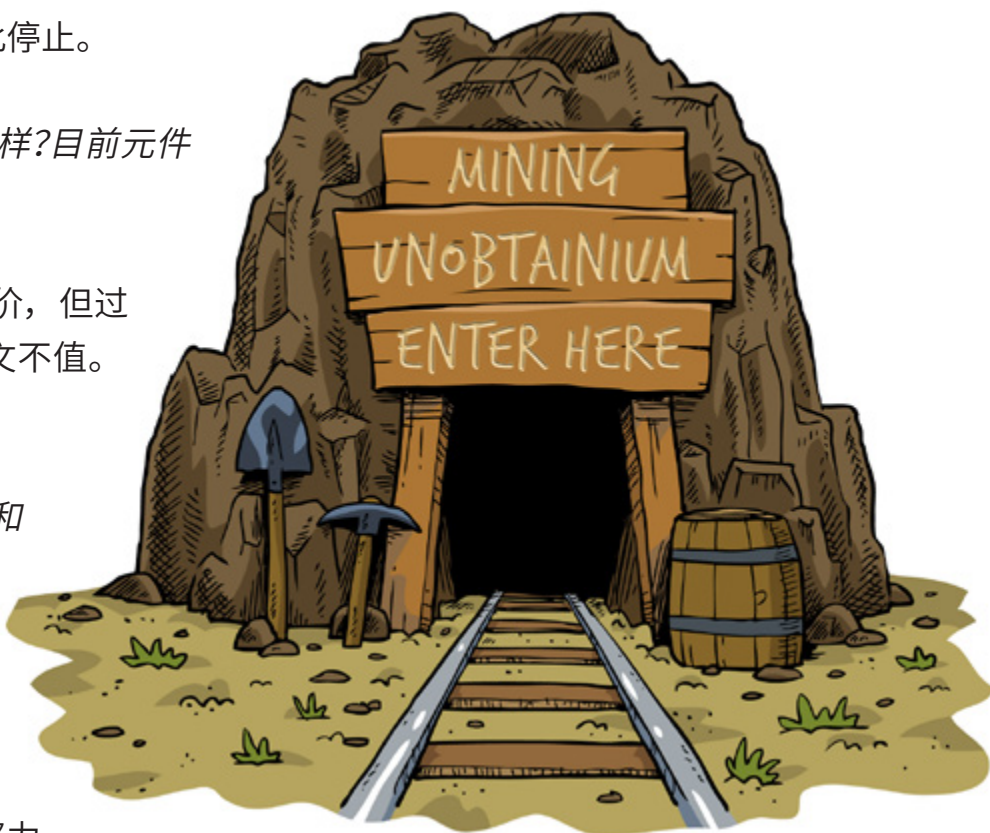
Matties：所以，除了努力工作和
大量采购，没有真正的解决
方案。

Dack：我经常使用“很难获得”一词，试图从虚无中创造出一些东西。我知道人们都在努力工作，但“巧妇难为无米之炊”，这个行业某些问题没有答案。

Shaughnessy：当您与客户合作时，发生了什么变化？对您和客户来说一定很令人沮丧。

Dack：如果客户能重新设计并发送技术规范，那么我们将提供内部文档并管理产品的制造，可无缝连接。然而，行业也遇到了人员的“供应链”问题。我们也不能幸免，团队缺乏中高级设计师。谈到“很难获得”，其中包括缺乏经验丰富的 PCB 设计工程师。我们将雇佣具有潜力和愿望、但经验不足的候选人，然后培训和教授他们学习需要了解的信息。

Shaughnessy：你们在哪里找到具有潜力的设计师？



Dack：我们现在使用的术语是“PCB 设计工程师”；这就是我们想要的人。我们将选择具有技术资质的候选人或电气工程师，希望他们更多地了解印制电路设计，以此转变为 PCB 设计工程师。

Holden：部分原因是由于有很多老一代设计师正在离开行业吗？

Dack：当然。Happy，我们谈论过老一代设计师离开行业可能引发的海啸。我第一次听到这个词是几年前，事实确实如此，我们正在失去经验丰富的设计师。如何替代他们？学校正在大量培养工程人员，他们很快就学会了印制电路设计软件和工具，但他们在夹缝中求生。很明显，他们没有接受 DFM 或 DFX 规则的培训。

我们必须继续对他们进行再教育。

Holden：许多专家都了解他们可以晋升到不涉及 PCB 布局的高薪工作。但也有其他工作，比如你的工作，涉及管理和指导 PCB 设计工程团队。

Dack：每个人都知道，拥有印制电路设计中高级经验的人能挣到 6 位数的薪水并不罕见。

Matties：你在给搜索团队增加更多的资源吗？

Dack：我不擅长比喻，但这就像在开采“很难获得”，更多的采矿工会帮助找到不存在的东西吗？听起来很消极，但很形象。然而，我们与通过 I-Connect007 找到的动态搜索团队有着良好的联系。顺便说一下，感谢在贵公司出版物中介绍他们的服务。

我不擅长比喻，但这就像在开采“很难获得”，更多的采矿工会帮助找到不存在的东西吗？听起来很消极，但很形象。

Matties：行业必须积极寻找新的设计师和电子元器件，对吗？

Dack：当然。如果有客户和股东参加会议，而你在会议上举手说“我无能为力”不是好

事。我认为必须表明你正在努力采取措施解决问题，这是应具备的良好职业道德。

Shaughnessy：Kelly，我们最近讨论了采购策略，以及一些设计师如何为每个元器件提供 2~3 种不同的采购渠道。有人会觉得这种做法现在已经不重要了，你认为从现在开始这会成为标准方法吗？

Dack：是的，多种采购渠道是一种很好的方法。通常，采购元件时，要求不能只有单一采购渠道；如果确实只有单一采购渠道，则需要多位上级主管签名批准（此方法通常会避免）。

Holden：我们没有失去任何晶圆制造厂，也没有元器件制造商倒闭。据我所知，我们拥有与疫情前相同的元器件产能。为什么会出现短缺？汽车制造商面临元器件短缺，是因为他们取消了订单，然后其他领域的应用取代了原有需求，最终求大于供。

Dack：对。如果涉及的元件很难采购，即使通过很棒的元器件搜索引擎，也不能保证能够满足要求。

Holden：现在，另一个问题是，不能在库元件上设置接触、测试和返工禁布区，这样当放置该元件时，就有空间进行返工或对其进行印制电路测试？

Dack：当然，但让我提供一些背景信息。例如，采购不到简单的片式电容器或二极管。二极管或片式元器件封装可能是 0402，因此库元件创建为 0402，具有相应的适当间距和外

框。但问题是，所有人都采购同一种元件，这种元件销售一空，而唯一的选择是采购更大尺寸的元件，比如具备相同功能的 1206 封装元件。

只是以前容纳 0402 的那部分空间不足以放下 1206，如何将更大的部分空间合并到分配的区域中？这就是实际组装密度需要考虑的因素。如果为该元件分配了空间，并为其增加了一点空间，则可能会减少多米诺骨牌效应。

Holden：我想更多地了解实用组装密度。

Dack：设计师通常打电话给供应商或采购渠道，以决定能把产品设计得多小。出于某种原因，我们不想浪费任何物料。

考虑了所有尺寸，这样就不会浪费物料，但当把物料减少到最低限度时，会给大多数利益相关方带来问题。虽然它可能满足工业设计利益相关方的要求，适合元器件封装要求，并且满足了所有前端参数，但必须处理返工、维修和重新设计的人员可能会受到影响。因此，不能低估包括“增加一点空间”的优势；增加一点额外的空间是有帮助的。

Holden：在开始之前，会考虑实际组装密度，插入元件，然后你说，“哦，我有个问题，因为它的尺寸比可用面积大”，于是当设计完成后还必须从头开始返工。预测工程就可以使我们免于陷入瓶颈。

Dack：适当的调整尺寸，听起来不错，但这



样的工作，需要得到所有利益相关方的支持。每个利益相关方的目标条件是什么？使产品设计尺寸适当的折衷方式是什么？我们在 IPC CID 项目中教授学员，在项目开始时，应为所有项目利益相关方提供关键的参与机会，以便“三思而后行”。

Matties：这是必须要做的。你不想仅仅因为你可以，就把产品设计为最小，尤其是在目前供应紧张的状况下。

Shaughnessy：Kelly，谢谢你接受采访。

Dack：谢谢你们。期待着在展会上见到你们。
PCB007CN

EM 解算器的实际应用

by Heidi Barnes

Keysight Technologies

在数字电子产品和有线通信的发展中，基于 Maxwell 方程组的电磁（Electromagnetic，简称 EM）解算器被证明是非常有价值的。原因简单明了，电气工程师需要了解当受到动态或变化信号激励时，电路或电气互连的反应。

在信号完整性领域，通过直流连接性测试的互连也可能在更高频率下完全失效。在电源完整性领域，即使是测量到正确直流电压的电源轨在施加动态负载时，也可能会进入振荡。应该学会使用 EM 仿真器这项基本技能，可以在几分钟内获得定性答案，并在几天内获得更高保真的答案，这就是因产品故障而导致夜不能寐的不良设计与具有较大设计裕度的稳健设计之

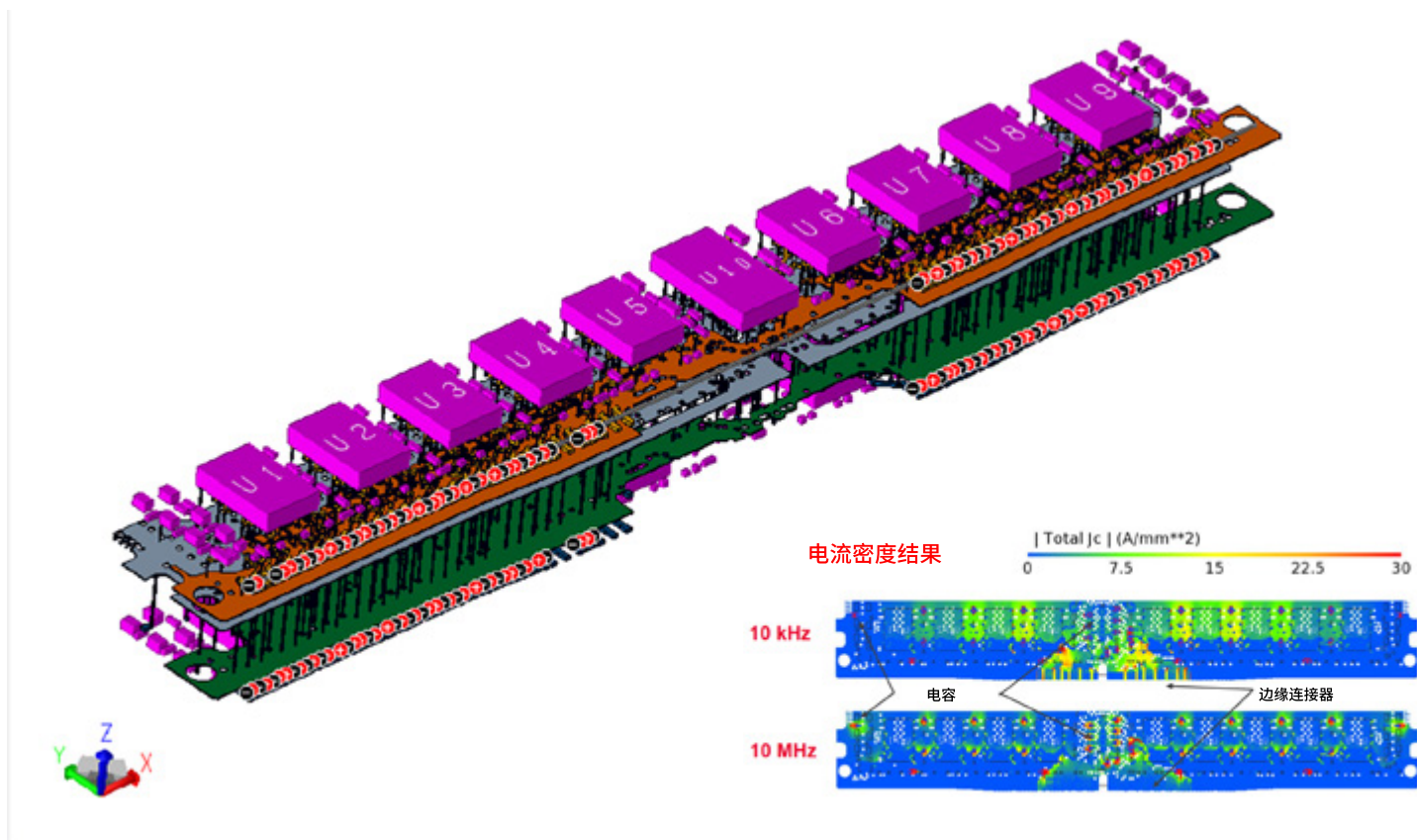
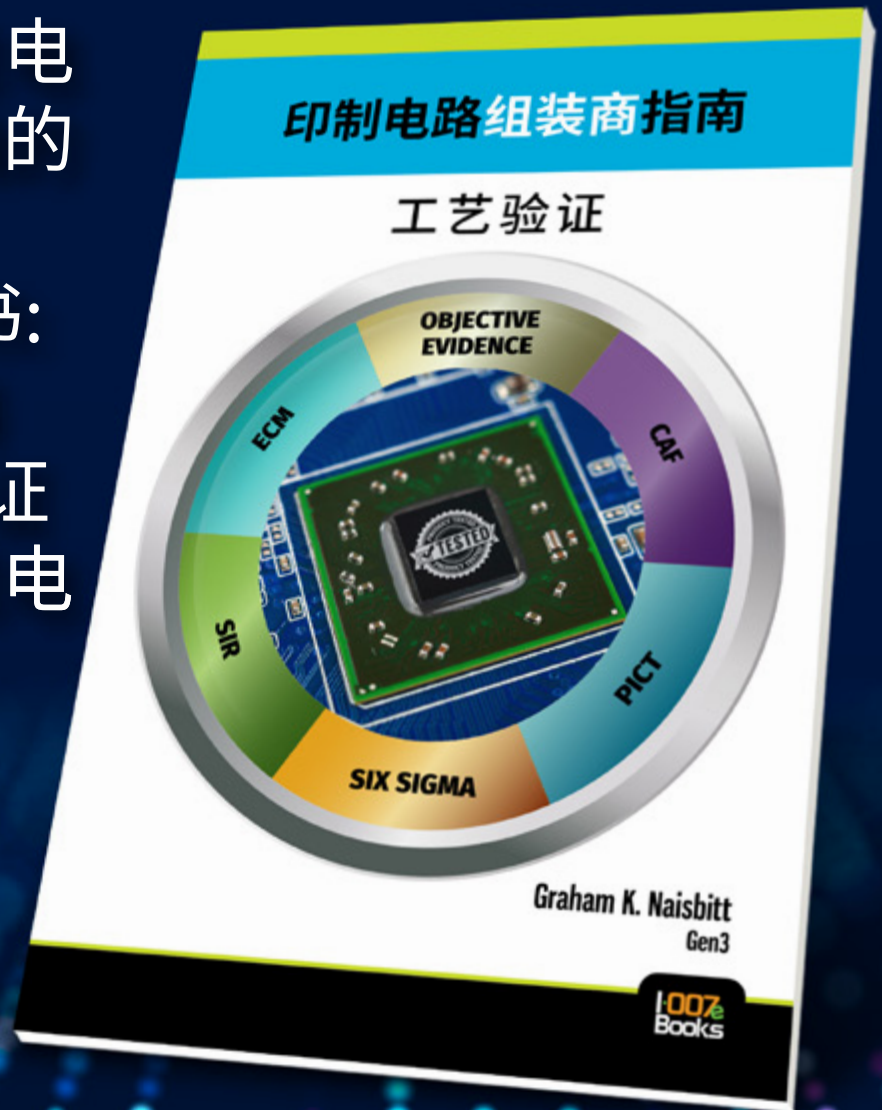


图 1: PathWave ADS SIPro 和 PIPro 等 3D EM 仿真器可以轻松选择网络并自动分配端口，实现快速 EM 设置及仿真。右图的 DDR4 DIMM 板 EM 电流密度结果显示了在 10 kHz 下，功率由 J1 边缘连接器传递，但在更高的 10 MHz 频率下，功率由板载电容传递。

了解高可靠性电路板测试的玄机

今天的高可靠性电子产品需要精确的测试方法。

通过I-007电子书：印刷电路组装商指南——工艺验证来学习如何实现电化学可靠性。



点击或扫码下载

iconnect007china.com/index.php/library

间的区别。

从始至终, EM 仿真器一直在寻求精度和速度之间的平衡, 以“网格化”三维结构来获得正确答案。

从始至终, EM 仿真器一直在寻求精度和速度之间的平衡, 以“网格化”三维结构来获得正确答案。在寻找 Maxwell 方程组的最终解时, 无论是在有限元法 (finite element methods, 简称 FEM) 的频域中, 还是在时域有限差分法 (finite difference time domain, 简称 FDTD) 的时域中, 用户界面都非常复杂。设置端口、边界条件和网格拓扑可能会给高级用户带来额外的灵活性。对大多数人来说, 我们需要自动化来减少重复性任务。

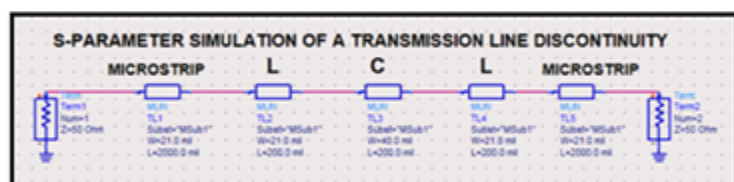
好消息是现代计算机的处理速度和内存成本低, 使得在提高速度的同时更容易保持精度。这增加了对特定应用用户界面进行优化的

投资, 如模拟多层层压 PCB 设计。改进的用户界面, 如 Keysight 的 PathWave ADS SIPro 和 PIPro, 依赖于强大的 EDA PCB CAD 数据导入, 其中包括堆叠、网络和元件, 以便选择网络 and 实际元件进行仿真。端口可以自动分配, 默认网格和边界条件, 使用户能够在几分钟内启动并运行 EM 仿真。

然而, “垃圾输入等于垃圾输出”, 以下是确保仿真器适当设置的技巧。

- Eric Bogatin 的提示: 通过将复杂的 EM 模型转换为简单的传输线级联和集总元件, 快速了解预期结果。
- Lee Ritchey 的提示: 通过创建机械测试结构, 将走线布到每一层的电路板边缘, 以目视检查层与层之间的对准、走线蚀刻宽度和层压层的机械高度, 了解最终结果。
- 我最喜欢的测量领域技巧: 测量一些简单的东西, 如阶梯阻抗转换 (Beatty 标准), 以验证介质材料的性能, 检查机械尺寸与算法模型和测量的关系。
- SI 及 PI 领域的提示: 查看时域和频域数据。

Keysight PathWave ADS 原理图 T 线仿真



微带传输线不连续实例

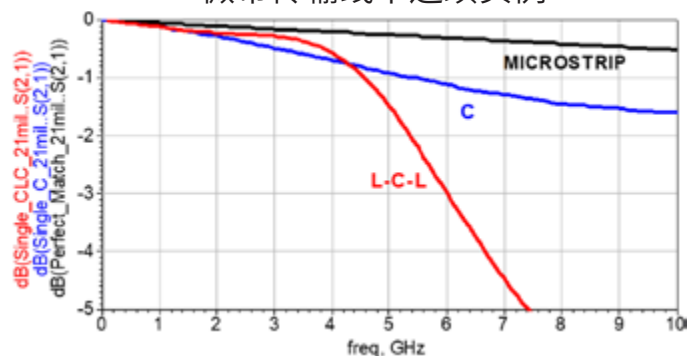
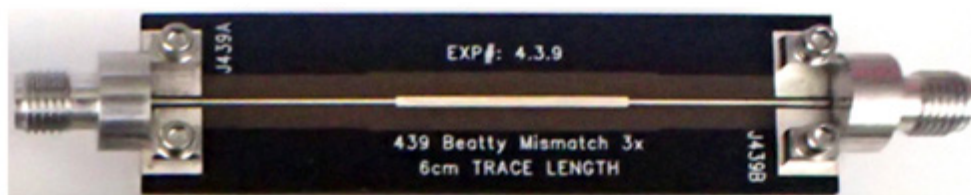
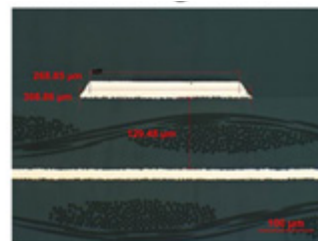


图 2: 示意图中是算法传输线模型的简单级联, 可了解更宽的走线电容不连续性或更窄的走线电感不连续性对高频信号传输所产生的影响

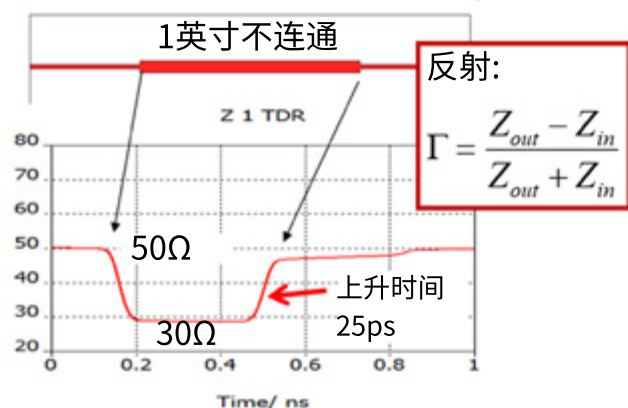
Beatty 阶梯阻抗测试结构



板边缘走线



时域反射测量



频域 S 参数

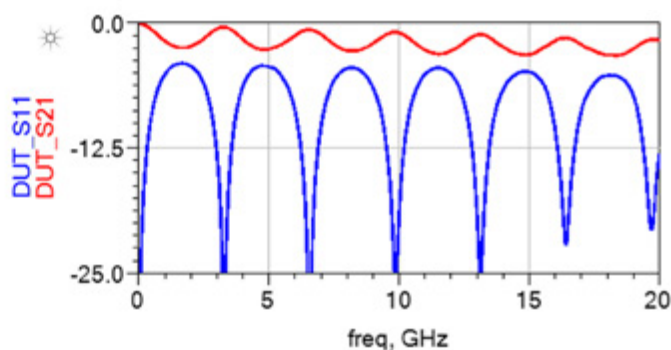


图 3：通过左下角图中显示的时域阻抗反射的基本方程，很容易理解左上角的简单阶梯阻抗 Beatty 测试结构。电路板边缘的走线有助于验证制造的叠层尺寸。右下角是模拟 S 参数的频域 EM，该参数可转换为 TDR 数据的时域。

- 最后，将模型投入使用，检查对制造和元件公差敏感性。

没有 PCB 寄生的集总 SPICE 建模已不足以满足要求。PCB007CN

用于 PCB 设计的 EM 仿真器的速度、准确性和易设置性使得盲目利用数据表及已有设计变得不易被接受。当验证动态操作性能时，工程师需要将 EM 仿真添加到他们的检查表中。随着电源轨电压不断降低的数千兆位电子产品其密度和速度的增加，简单的直流检查和



Heidi Barnes 是 Keysight Technologies 公司高速数字应用高级应用工程师。她拥有 5 项专利，获得了美国宇航局 Snoopy 银奖。





行业会展

[一步新技术研讨会（成都）](#)

2022 年 10 月 21 日

中国成都

[Electronica](#)

2022 年 11 月 15-18 日

德国慕尼黑

[TPCA SHOW](#)

2022 年 10 月 26-28 日

中国台北

[一步新技术研讨会（惠州）](#)

2022 年 11 月 24 日

中国惠州

[一步新技术研讨会（青岛）](#)

2022 年 11 月 4 日

中国青岛

[NEPCON Asia 2022](#)

2022 年 11 月 30 日至 12 月 2 日

中国深圳

[一步新技术研讨会（郑州）](#)

2022 年 11 月 11 日

中国郑州

[国际电子电路（深圳）展览会](#)

2022 年 12 月 7-9 日

中国深圳

[慕尼黑华南电子生产设备展](#)

2022 年 11 月 15-17 日

中国深圳

[IPC APEX EXPO](#)

2023 年 1 月 24-26 日

美国圣地亚哥

其他活动日历



出版商：BARRY MATTIES
INFO@ICONNECT007.COM

广告销售：BARB HOCKADAY
BARB@ICONNECT007.COM

EDY YU
EDY@ICONNECT007.COM

市场营销服务：TOBEY MARSICOVETERE
TOBEY@ICONNECT007.COM

编辑：
主编：EDY YU
+86 139-0166-9899;
EDY@ICONNECT007.COM

责任编辑：TULIP GU
TULIP@ICONNECT007.COM

译文编辑：ANN HAO
ANN@ICONNECT007.COM

杂志制作：
负责人：EDY YU
+86 139-0166-9899;
EDY@ICONNECT007.COM

杂志排版：GUANHUI CHEN , EDY YU

广告设计：MIKE RADOGNA, SHELLY STEIN,
TOBEY MARSICOVETERE

创新技术：BRYSON MATTIES

封面设计：SHELLY STEIN, EDY YU

封面图片来源：ADOBE STOCK

PCB007
MAGAZINE

《PCB007 中国线上杂志》由美国 BR Publishing, Inc. (942 Windemere Dr. NW, Salem, Oregon, USA 97304) 出版 © 2022 BR Publishing, Inc. 未经授权禁止转载。不对任何人因出版物中内容的错误 / 疏漏造成的损失或损害承担任何责任，无论这些错误 / 疏漏是否属于意外或疏忽，或其它任何原因。

2022 年 10 月号总第六十八期《PCB007 中国线上杂志》是由 BR Publishing 公司出版的电子月刊。

广告索引

《印制电路工艺验证》.....	110
《印制电路设计师指南 - 高性能材料》.....	6
《印制电路组装商指南 - 低温焊接》.....	30
《印制电路组装之智能数据》.....	82
《自动化与高阶制程》.....	68
《电子产品的可靠性预测》研讨会	10
IC007 图书馆	4
杂志订阅	封底
《HDI 手册免费下载》.....	58
望友科技	8
珠海镇东	12
Atotech.....	40
BTU.....	92
Chemcut.....	32
CIMS.....	22
CyberOptics.....	78
D.B. Management.....	16
Downstream Technologies.....	100
Gen3.....	62
IPC.....	26
KYZEN.....	88
MacDermid Alpha.....	46
MKS ESI.....	50
NEPCON ASIA.....	86
Pluritec.....	2
Schmoll Asia.....	36
Siemens Digital Industries Software.....	96
VJ Electronix.....	72

更多精彩内容敬请期待

PCB007中国线上杂志：

十一月：高密度互连不断进化

高密度互连从诞生到大规模量产，再到技术普及已经很多年了，目前国内 HDI 产量已经占据了全球产量的半壁江山，应对传统的 100 微米级别线宽线距的电路板国内厂家早已不在话下。同时高密度互连也在不断进化，如今已经发展到 20 微米线宽线距级别，想要跟上行业脚步，设备提升与技术提升必不可少。

感谢阅读 《PCB007中国线上杂志》



扫码订阅