

半导体芯科技

S/S **SILICON SEMICONDUCTOR**
 Connecting the Silicon Semiconductor Community

• CHINA



AP&S设立 晶圆工艺新标准 11

X射线和超声波的合力 16

改进Sub-fab系统助力EUV光刻实施 18

湿法清洗设备自动化 21



www.siscmag.com



微信公众号

半导体芯科技

S/S SILICON SEMICONDUCTOR
Connecting the Silicon Semiconductor Community

• **CHINA**

从中国政府定立的长期目标，与及中国半导体行业的潜在规模，催化了《半导体芯科技》（Silicon Semiconductor China）中国版杂志的诞生。目前，中国的半导体消耗量达全世界的60%，但其中约90%的半导体需要依靠进口。从更广阔的背景来看，中国已经启动了自己的工业4.0计划，以便与欧洲和北美的制造能力相竞争。“中国制造2025”的目标之一是升级和增加包括信息技术、机器人和汽车业在内的十个关键领域的国产零部件含量。

为了提升半导体制造能力，中国政府计划在未来10年至少投资1770亿美元，以建立中国自己的芯片产业。目前，中国正在建设中的晶圆厂有24座。

多年来，面向全球的Silicon Semiconductor英文版杂志也一直为中国半导体行业的专业人士提供服务，但现在是时候推出一本独立的《半导体芯科技》（Silicon Semiconductor China）中文版杂志了。

免费索阅





**EDI
CON**

2020

Electronic Design Innovation Conference

电子设计创新大会

2020年5月12-13日

国家会议中心，北京，中国

为30分钟的技术报告会提交论文提案，可选择以下专题分会：

- ▶ 5G/先进通信
- ▶ 毫米波技术
- ▶ 放大器设计
- ▶ 电磁兼容/电磁干扰
- ▶ 低功耗射频和物联网
- ▶ 前端设计
- ▶ 电源完整性
- ▶ 雷达和国防
- ▶ 射频和微波设计
- ▶ 信号完整性
- ▶ 仿真和建模
- ▶ 测试和测量

正在征文，欢迎投稿



与3000多与会者分享您的专业知识。可用中文演讲，也欢迎用英语演讲。

提交论文摘要：<https://www.ediconchina.com/submit-an-abstract>

截止日期：2020年1月6日

目录 CONTENTS

封面故事 Cover Story

11 AP & S 的新一代技术设定了晶圆工艺新标准

AP&S sets new wafer processing standards with next-gen technologies

德国 AP & S 公司以其半导体晶圆表面处理专业知识在业界闻名。从单晶圆和多晶圆湿法工艺平台到清洗，以及精密材料应用，该公司一直在为全球 IC 制造商提供设备。但是，除了晶圆工艺和设备服务外，AP & S 公司还有更多的产品，并且其产品组合正在逐步增加。

通过扩展、建立合作伙伴关系，以及将 AI 和 AR 纳入其产品组合，从而改变客户服务的体验，AP & S 的湿法工艺和制造服务专家正在以此为半导体晶圆表面性能树立新的基准。



编辑寄语 Editor's Note

4 从晶圆级封装走向面板级封装

From Wafer to Panel Level Packaging

- 赵雪芹

产业报道 Industry News

5 第十六届中国国际半导体照明论坛暨 2019 国际第三代半导体论坛成功召开 SSLCHINA & IFWS2019 held successfully

5 普发真空推出新一代 HiLobe® 罗茨泵 PFERFFER VACUUM introduces new-gen HiLobe® roots pumps

6 应用材料公司揭幕 META 中心 Applied Materials opens its Materials Engineering Technology Accelerator

6 泛林集团边缘良率产品组合推出新功能 Lam Research launched new function of edge yield product portfolio

7 Manz 亚智科技在先进封装 FOPLP 工艺再进一步 Manz AG got another step in advanced packaging FOPLP process

8 EVG 与 DELO 合作开发材料并提升工艺能力 EVG and DELO develop materials and improve process capabilities jointly

关于雅时国际商讯 (ACT International)



雅时国际商讯 (ACT International) 成立于1998年，为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT通过它的一系列产品—包括杂志和网上出版物、培训、会议和活动—为跨国公司及中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。ACT的产品包括多种技术杂志和相关的网站，以及各种技术会议，服务于机器视觉设计、电子制造、激光/光电子、射频/微波、化合物半导体、半导体制造、洁净及污染控制、电磁兼容等领域的约二十多万专业读者及与会者。ACT亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港，在北京、上海、深圳和武汉设有联络处。www.actintl.com.hk

About ACT International Media Group

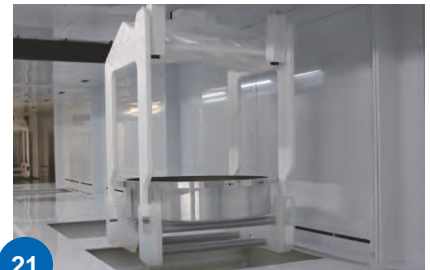
ACT International, established 1998, serves a wide range of high technology sectors in the high-growth China market. Through its range of products -- including magazines and online publishing, training, conferences and events -- ACT delivers proven access to the China market for international marketing companies and local enterprises. ACT's portfolio includes multiple technical magazine titles and related websites plus a range of conferences serving more than 200,000 professional readers and audiences in fields of electronic manufacturing, machine vision system design, laser/photronics, RF/microwave, cleanroom and contamination control, compound semiconductor, semiconductor manufacturing and electromagnetic compatibility. ACT International is also the sales representative for a number of world leading technical publishers and event organizers. ACT is headquartered in Hong Kong and operates liaison offices in Beijing, Shanghai, Shenzhen and Wuhan.

目录 CONTENTS

- 10** 三家合力推动集成光电创新
Three companies are working together to promote silicon photonics innovation

技术 Technology

- 16** X射线和超声波的合力
When x-ray and ultrasound join forces
- 18** 持续改进 Sub-fab 辅助系统对于极紫外光刻工艺的实施至关重要
Data-driven continuous improvement in the Sub-fab is critical for HVM EUV lithography
- 21** 改进湿法清洗设备实现自动化优势的最大化
Modifying Wet Process Cleaning Equipment Maximizes Automation Benefits



21

专栏 Conlunm

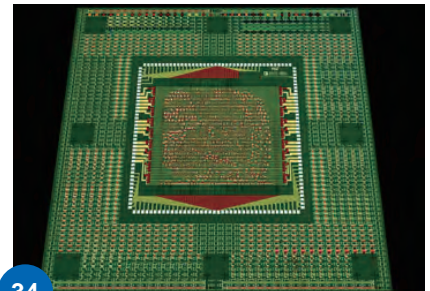
- 24** 晶圆上微米级焊料凸点的无助焊剂回流
Reflow soldering in no-flux at micron bumps on a wafer
- 29** 从风险控制考虑高端半导体厂的 AMC 设计
A Case Study of Risk-Concerned Based AMC Design for Advanced Semiconductor Plant



24

科技前沿 Research

- 34** 工程师制成首个 16 位碳纳米管微处理器
The first fully-programmable 16-bit carbon nanotube microprocessor created by engineers
- 35** 一种新颖的热传导理论：以寻求高效热电材料
A novel theory of heat: in the search for efficient thermoelectrics
- 38** 水会在有机电子产品中形成陷阱
Water creates traps in organic electronics



34

- 40** 广告索引 Ad Index

关于《半导体芯科技》

《半导体芯科技》(原半导体科技)中国版(SISC)是全球最重要和最权威的杂志Silicon Semiconductor的“姐妹”杂志,由香港雅时国际商讯出版,报道最新半导体产业新闻、深度分析和权威评论。为中国半导体专业人士,提供他们需要的商业、技术和产品信息,帮助他们做出购买决策。《半导体芯科技》内容覆盖半导体制造、先进封装、晶片生产、集成电路、MEMS、平板显示器等。杂志服务于中国半导体产业,包括IC设计、制造、封装及应用等。

About Silicon Semiconductor China

Silicon Semiconductor China is the 'sister' title to Silicon Semiconductor - the world most respected and authoritative publication, published by ACT International in Hong Kong (former SST China), reports the latest news, in-depth analysis, and authoritative commentary on the semiconductor industry. It provides for Chinese semiconductor professionals with the business and technology & product information they need to make informed purchasing decisions. Its editorial covers semiconductor manufacturing, advanced packaging, wafer fabrication, integrated circuits, MEMS, FPDs, etc. The publication serves Chinese semiconductor industry, from IC design, manufacture, package to application, etc.

社长 Publisher

麦协林 Adonis Mak
adonism@actintl.com.hk

主编 Editor in Chief

赵雪芹 Sunnie Zhao
sunniez@actintl.com.hk
贺贵鸿 Mizy He
mizyh@actintl.com.hk

出版社 Publishing House

雅时国际资讯 ACT International
香港九龙 B,13/F, Por Yen Bldg,
长沙湾青山道478号 478 Castle Peak Road,
百欣大厦 Cheung Sha Wan,
13楼B室 Kowloon, Hong Kong
Tel: (852) 2838 6298
Fax: (852) 2838 2766

北京 Beijing

Tel/Fax: 86 10 64187252

上海 Shanghai

Tel: 86 21 62511200
Fax: 86 21 52410030

深圳 Shenzhen

Tel: 86 755 25988571
Fax: 86 755 25988567

武汉 Wuhan

Tel: 86 27 59233884

UK Office

Angel Business
Communications Ltd.
6 Bow Court,
Fletchworth Gate,
Burnsall Road, Coventry,
CV56SP, UK
Tel: +44 (0)1923 690200
Chief Operating Officer
Stephen Whitehurst
stephen.whitehurst@angelbc.com
Tel: +44 (0)2476 718970



从晶圆级封装到面板级封装

2019年12月17-18日，首届国际半导体面板级封装研讨会（SPS 2019）在广东佛山召开。本次研讨会专注于面板级先进封装和系统集成技术，由广东半导体智能装备与系统集成创新中心（FZX 佛智芯）、TestConX 电子测试论坛、香港应用科技研究院（ASTRI）和微电子封装与测试工程理事会（MEPTEC）共同组织，探讨半导体封装、组装和测试领域的热点话题，讨论面板级封装的实用性，并推动其应用生态建设。会议同期举行了“大板级扇出型封装示范线”启动仪式。

随着5G通信、汽车电子、电力电子等新兴领域的发展，多样化的IC应用对于封装提出更高要求，推动先进封装走向高速、高频和三维高密度封装，以满足业界对于高性能、低成本的需求。通过采用相对于半导体晶圆更大尺寸的面板级封装（PLP）具有显著的成本优势，与晶圆级封装（WLP）相比，PLP可以以较低成本提供大量的封装器件。同时，PLP还能在大尺寸基板上支持扇入、扇出和异构集成。

目前，PLP的发展还处于标准化、供应链（设备和材料）准备阶段和初期试用阶段。从WLP到PLP，需要融合各种先进封装技术，包括工艺、材料、设备等，并且需要应用WLP、LCD、PCB及PV等方面的专业知识，不仅仅是尺寸的问题。

在应用和市场方面，最受关注的是FOPLP（扇出面板级封装），吸引了许多不同业务模式的企业，包括OSAT、IDM、晶圆代工厂、衬底制造商和FPD制造商等，他们感觉有机会通过扇出技术进入先进封装业务。

经过几年的发展，2018-2020年将有多家FOPLP厂商投产。FOPLP成为增长最快的封装平台之一。据Yole development预测，该市场将在2017-2023年期间以79%的年复合增长率快速增长。

三星电子机械（Samsung Electro Mechanics, SEMCO）可能是最积极进入FOPLP业务的公司之一。SEMCO在过去两年里投资超过4亿美元，并开始在其新产品Galaxy Watch中使用高密度FOPLP技术，实现PMIC与APU和DRAM的巨大组合，将封装厚度减少20%。

会议讨论如何完善供应链来支持PLP大批量生产，瑞典皇家科学院刘建影院士，Fraunhofer IZM柏林研究所Tanja Braun博士，IEEE杰出讲师樊学军博士，香港应科院ASTRI高子扬博士，华为-海思张童龙博士，英飞凌Thorsten Meyer博士，以及Yole, SEMI, 华天科技，华进半导体，MANZ亚智科技，日本SCREEN，日立化成，BroadPak等单位，分别介绍了他们在先进封装及PLP方面的相关研究和解决方案。

业界对于PLP表现出极大热情，吸引了大量的厂商参与进来，市场竞争激烈。从WLP到PLP好处多多，载板面积使用率从85%左右，提升到超过90%，从而大幅提升产量，使PLP可以实现大批量生产。PLP制造商通过利用WLP、LCD、PCB及PV方面的专业知识和基础设施，还有可能将成本降低50%。PLP技术准备逐步就绪，PLP市场似乎蓄势待发！

赵雪芹

第十六届中国国际半导体照明论坛暨2019国际第三代半导体论坛成功召开

1月25-27日，第十六届中国国际半导体照明论坛（SSLCHINA 2019）暨2019国际第三代半导体论坛（IFWS 2019）在深圳召开。论坛由国家半导体照明工程研发及产业联盟、第三代半导体产业技术创新战略联盟主办，得到深圳市龙华区科技创新局、深圳市科技创新委员会等单位的大力支持。深圳第三代半导体研究院与北京麦肯桥新材料生产力促进中心有限公司共同承办。

论坛紧扣时代发展脉搏与产业发展趋势，以“迎接新挑战·共创新时代”为主题，与来自美国、加拿大、澳大利亚、意大利、德国、俄罗斯、比利时、法国、日本及港澳台等全球19个国家和地区的超过1500位注册代表参会。三天论坛里，举办了30余场专题会议，全面深入探讨新形势下半导体照明与第三代半导体材料的机遇与挑战，交流国内外发展新动态及发展趋势，为半导体照明及第三代半导体领域，提供了新思考和新方向，论坛获得了广大与会代表的好评与认可。

为了更好的协同广东全省创新资源，将广东省打造成为国内国际一流的第三代半导体产业技术策源地和产业高地，广东省科技厅批准深圳第三代半导体研究院为广东省第三代半导体技术创新中心，并举行了授牌仪式。深圳第



三代半导体研究院还先后与台湾光电科技工业协进会、第三代半导体产业技术创新战略联盟签约，三方将在产学研融合创新方面进行通力合作。与厦门大学、北京大学宽禁带半导体研究中心签约，三方在基础研究、人才培养、实验室共建等方面进行深入合作。与荷兰屯特大学、意大利都灵理工大学、波兰华沙大学签约，三方将在人才培养、创新项目培育、孵化与转化等方面通力合作。

同时，2019年国际半导体照明联盟（ISA）“全球半导体照明突出贡献奖”揭晓，中国科学院院士江风益、印度能源能效服务公司（EESL）、昕诺飞控股（原飞利浦照明）获奖。◆

普发真空推出新一代HiLobe®罗茨泵

普发真空近日推出全新一代HiLobe®罗茨泵，相较于传统产品，全新一代HiLobe®罗茨泵可节省20%的抽真空时间；而与上一代罗茨泵相比，又能够将维护和能耗成本降低50%以上，从而为真空镀膜、电子束焊接、真空炉和冷冻干燥等众多工业领域的用户带来更可靠、性价比更高的创新型真空解决方案。

普发真空全球工业市场经理 Florian Schneider 先生针对全新一代HiLobe®罗茨泵进行了全方位的宣讲：“我们的新型HiLobe®系列是罗茨泵技术的革命性成果。我们在开发的每个过程中都采用了全新的方法，使得产品拥有了更快的抽速，广泛适用于各种中、低真空应用，也兼备了紧凑、智能、功率强大、性能高效等优点。我们也非常高兴能有这个机会，让客户更全面地了解这款新产品。”◆



应用材料公司揭幕META中心

应用材料公司近日宣布材料工程技术推动中心 (Materials Engineering Technology Accelerator, 简称 META 中心) 正式揭幕, 这是一个旨在帮助客户加快新材料、新工艺技术和新设备原型开发速度的首创型设施。随着芯片制造愈发具有挑战性, META 中心将扩展应用材料公司与客户合作的能力, 以开拓提升芯片性能、降低功耗和节省成本的新途径。

META 中心位于纽约州奥尔巴尼的纽约州立大学理工学院 (SUNY Poly) 校园内, 其洁净室为客户和合作伙伴提供了一流的工艺系统, 有助于缩短新品从实验室走向晶圆厂的时间。

应用材料公司新市场与联盟事业部高级副总裁史蒂夫·加纳彦表示: “我们很高兴敞开 META 中心的大门, 诚邀业界伙伴与我们携手合作, 共同加速从材料到系统的创新进程。”

应用材料公司首席技术官兼应用创投总裁欧姆·纳拉马苏表示: “应用材料公司欢迎成熟和新兴领域的创新者在 META 中心与我们协力, 共同加快人工智能时代新技术的商业化。”

在 META 中心, 工程师可以对新型芯片材料、结构

和设备进行评估, 进而在成熟的试生产环境中测试, 使之能够更快做好迎接客户大规模量产的准备。

在 META 中心接受评估的首批芯片设备中, 有一种针对物联网设备的新型磁性随机存取存储器 (MRAM), 它可以提供低功耗、非易失性代码存储和高密度工作内存。应用材料公司近期推出的 Endura® Clover™ MRAM PVD 平台是 META 中心支持这一功能的系统之一。

META 中心是应用材料公司全球研发体系中新增的战略力量, 对位于硅谷的梅丹技术中心进行的新工艺系统开发、以及设在新加坡的先进材料实验室和先进封装研究中心形成了有益补充。应用材料公司的全球研发体系彰显了公司从材料到系统, 为行业创新与协作制定新剧本的承诺。◆



泛林集团边缘良率产品组合推出新功能

近日, 泛林集团宣布其半导体制造系统产品组合推出全新功能, 以进一步改善晶圆边缘的产品良率, 从而提高客户的生产效率。

在半导体生产工艺中, 制造商希望在晶圆的整个表面搭建集成电路。然而, 由于晶圆边缘的化学、物理和热不连续性都更加难以控制, 良率损失的风险也随之增加。因此, 控制刻蚀的不均匀度以及避免晶圆边缘缺陷是降低半导体器件制造成本的关键所在。

泛林集团的 Corvus® 刻蚀系统和 Coronus® 等离子体表面清洁系统有效地解决了大规模生产中的边缘良率问题。这些解决方案被应用于尖端节点的制造设备中, 并被世界各地的先进代工厂、逻辑器件、DRAM 和 NAND 生产厂商所广泛使用。

Corvus 可有效消除极端的边缘不连续性, 从而提高 Kiyoo® 和 Versys® Metal 系统的边缘良率。借助 Corvus, 晶圆上的每个晶片都能达到最佳良率条件, 减少了过去晶

片间存在的系统性差异。泛林集团的 Corvus 技术还具有可调特征, 可最大程度地减少边缘偏差。

Coronus 可从源头消除斜面区域可能产生的缺陷, 或通过沉积覆盖层的方式来保护斜面, 从而提高产品良率。Coronus 拥有多样化的功能, 可轻松应对多种斜面挑战。例如, 它能消除薄膜/聚合物残留和粗糙表面等缺陷; 在刻蚀工艺过程中, 还能沉积一层覆盖层, 避免长时间刻蚀对斜面造成的损坏。Coronus 产品系列采用专有的晶圆放置和等离子体约束技术, 可实现出色的可重复性。

泛林集团刻蚀产品事业部高级副总裁兼总经理 Vahid Vahedi 表示: “大幅度提高晶圆边缘良率对于降低先进节点的成本具有重要意义。在早期开发阶段, 泛林集团就与客户展开了紧密的合作, 帮助我们了解每位客户在晶圆边缘所面临的不同技术挑战, 并提供相应的解决方案。基于此, 泛林集团拓展了产品组合的功能, 帮助客户提高生产效率和产品良率, 以经济的方式实现器件微缩。”◆

Manz亚智科技在先进封装FOPLP工艺再进一步

高科技设备制造商 Manz 亚智科技凭借在 Display、PCB 板级的丰富生产制造经验，在 FOPLP 生产工艺设备的开发研究中再进一步，推出目前业界首个无需治具的垂直电镀线，有效解决基板翘曲问题的同时协助制造商降低成本，设备采用模块化设计，为先进封装领域的客户工艺提供更多灵活性，且电镀均匀性提升到 90% 以上。

扇外型封装技术 FOPLP 以面积更大的方型载具来大幅提升面积使用率，有效降低成本提升产能，从而提升制造商的竞争优势，已经成为下一阶段先进封装技术的发展重点。FOPLP 技术重点之一为同质、异质多芯片整合，这些芯片通过微细铜重布线层 (RDL) 连结的方式整合在单一封装体中，而随着载具面积增加，对电镀设备的精度要求也在不断提高——在大面积载具中电镀整板的均匀性以及小孔径的填孔性至关重要。Manz 亚智科技凭借其在 PCB 及 Display 领域三十多年的湿化学工艺经验，以及制程整合的技术优势，推出目前业界首个无需治具的垂直电镀线，可实现电镀铜的均匀性达到 90% 以上，同时确保孔径小于 30um 的填孔能力，保证电镀后后续制程有良好基础，提升产品良率，成为新兴市场中极具竞争力的优势。

传统垂直电镀铜线 VCP 的工艺均需使用治具，前置作业准备较为繁琐，除制程本身的耗损以外，治具的清洁和维护也成为制造商不可忽略的成本因素，而 Manz 亚智推出的新型垂直电镀铜线不需使用治具，通过 Manz 专利的基板固定方式即可完成单面镀铜工艺，不仅可节省治具的购置成本，更可减少治具在工艺中的电镀药水消耗、以及治具清洗药水的成本。此外，该电镀设备采用模块化设计，可根据客户产能、厂房占地面积进行灵活配置，零组件可快速操作及拆卸，易于维护及保养，能够帮助客户进行高效生产。

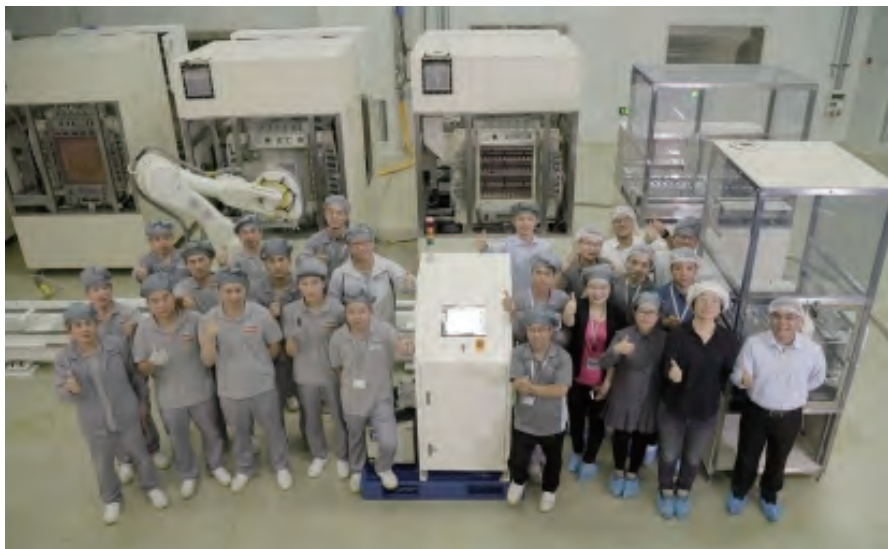
该设备的主要优势包括：

- 不需治具：
 - a) 有效减少治具购制、清洁及维护成本
 - b) 节省材料成本：减少电镀药水使用量、节省治具清洗药水的成本
- 电镀均匀性 >90%：针对 600*600 的大面积

整板电镀

- 优异的填孔能力 (孔径小于 30um): 电镀工艺槽的扇叶与基板运行时距离保持一致，设备经过特殊设计采用特殊排泡设计，可使填孔时不会产生孔隙 (void)
- 模块化设计可灵活配置：
 - a) 依客户产能需求,可灵活性的增加或减少电镀槽体；生产线也可依据客户厂房及制程的不同需求提供连续式或丛集式的配置方式
 - b) 操作维护便利性：钛网、遮板、扇叶、阳极袋快速可拆卸
- 适用于不同基板：FR4 铜箔基板、钢板及玻璃基板。其中玻璃基板的应用，可让计划跨入先进封装领域的 Display 制造商，补足其对于在线性电镀的工艺经验

Manz 亚智科技总经理兼电子元器件事业部负责人林峻生先生表示：“Manz 亚智科技一直致力于新技术的研发和应用，以先进的技术和优质的服务确保客户快速适应新兴市场。FOPLP 已经成为下一阶段半导体先进封装技术的领跑者之一，如何在该技术发展过程中帮助制造商进一步降低成本、提升效率成为未来技术发展的关键之一。Manz 亚智科技具有多元技术及跨领域整合的坚实研发能力，能够帮助不同领域制造商在跨入先进封装领域时具备足够的竞争力，从而快速融入新兴市场。”



Manz 亚智科技业界首个无治具垂直电镀线已成功完成出货

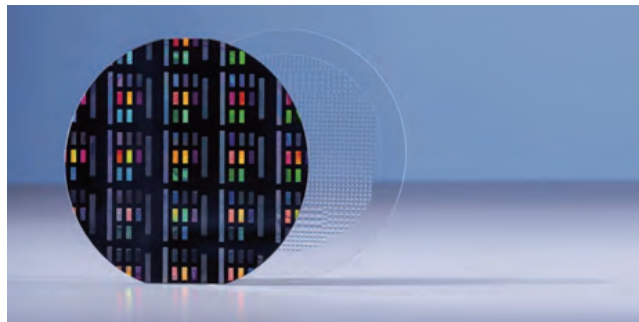
EVG 与 DELO 合作开发材料并提升工艺能力

业界领先的晶圆键合与光刻设备供应商 EV 集团 (EVG) 近日宣布与高科技工业粘合剂制造商 DELO 在晶圆级光学元件 (WLO) 领域开展合作, 为晶圆级光学元件和纳米压印光刻技术开发材料并提升工艺能力。这两家公司均在光学传感器制造领域处于领先地位, 双方合作将充分利用 EVG 的透镜注塑成型与纳米压印光刻 (NIL) 加工设备与 DELO 先进的粘合剂与抗蚀材料, 在工业、汽车和消费类电子产品市场开发与应用新型光学设备, 例如生物特征身份认证, 面部识别。

目前双方正在 EVG 的 NILPhotonics® 解决方案支援中心 (位于 EVG 总部, 奥地利 Florian) 以及 DELO 在德国 Windach 的总部展开合作。双方致力于改善与加快材料研发周期。EVG 的 NILPhotonics 解决方案支援中心为 NIL 供应链的客户与合作伙伴提供了开放的创新孵化器, 旨在通过合作来缩短创新设备与应用的研究与推广周期。该中心的基础设施包括最先进的洁净室与支持 NIL 制造的主要步骤的设备, 例如分步重复母版, 透镜模制, 以及 EVG 的 SmartNIL® 技术, 晶圆键合与必要的测量设备。它为晶圆级光学元件开发、原型设计和制造提供了一种独特的方法, 可以方便地接触最新研发技术与材料。

要在下一代光学传感器的大众化市场中推广晶圆级生产, 先进的粘合剂与抗蚀材料发挥着不可取代的作用。开发先进的光学材料, 需要充分地研究化学、机械与光学特性, 以及已被证实的大规模生产 (HVM) 的可扩展性。拥有在 NIL 图形压印和抗蚀工艺方面的材料兼容性, 以及自动化模制和脱模的专业知识, 才能在已验证的大规模生产中, 以最小的形状因子达到晶圆级光学元件的最佳性能。

材料供应商与加工设备制造商之间的密切合作, 促成



晶圆级纳米压印光刻技术 (左) 和透镜模制 (右) 为诸如3D传感之类的应用提供了小形状因子和高分辨率的光学传感器。(图片来源: DELO)

了工艺流程的研发与改善, 确保晶圆级光学元件的高质量和制造的可靠性。EVG 和 DELO 的合作将支持双方改善工艺流程与产品, 并增强双方的专业技能, 从而适应当前与未来市场的要求。双方的合作提供了成熟的材料与专业的工艺技术, 并将加快新产品设计与原型制造的速度。

“NILPhotonics 解决方案支援中心的独特之处是: 它解决了行业内部需要用更短时间研发产品的需求, 同时保障最高的保密性,” EV 集团的技术研发与 IP 主管 Markus Wimlinger 说, “通过与供应链的关键企业的合作, 例如 DELO, 我们能够进一步提高效率, 作为与工艺和设备专家们一同研究并建立关键的新生产线制造步骤的中心。”

“EVG 和 DELO 分别是晶圆级光学仪器与 NIL 设备与光学材料的技术与市场领先企业。双方在将技术与工艺流程应用于大规模生产方面有可靠的经验,” DELO 的董事总经理 Robert Saller 说道。“通过合作, 我们将提供自己独特的技术, 将晶圆级工艺应用于光学器件和光电器件制造中, EVG 也成为我们最新产品开发的理想合作伙伴。这种合作还将使我们以应用专家和顶级合作伙伴的身份为客户服务。”

晶圆级光学元件的应用解决方案

EVG 的晶圆级光学器件解决方案为移动式消费电子产品提供多种新型的光学传感设备。主要的例子是: 3D 感应, 飞行时间, 结构光, 生物特征身份认证, 面部识别, 虹膜扫描, 光学指纹, 频谱检测, 环境感应与红外线成像。其它应用领域包括汽车照明, 光地毯, 平视显示器, 车内感应, 激光雷达, 内窥镜照相机医学成像, 眼科设备与手术机器人。EVG 的晶圆级光学仪器解决方案得到公司的 NILPhotonics 解决方案支援中心的支持。如需进一步了解 EV 集团的晶圆级光学仪器解决方案, 请点击: <https://www.evgroup.com/technologies/wafer-level-optics/>

DELO 创新的多功能材料几乎可以在世界上每部手机上找到。该公司的高科技粘合剂以功能与可靠性闻名于世。根据客户的专门需求, 公司对这些聚合物作出调整, 使其具备其它特征。它们极其适合工业环境, 在较短的生产周期时间内粘合各种微小的元件。此外, DELO 紫外线 LED 固化设备与点胶阀的可靠度十分杰出。欲了解更多信息请点击: <https://www.delo-adhesives.com/cn/>



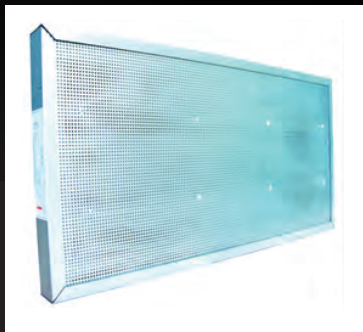
中建南方

半导体洁净室专用净化设备

高效全自动 智能控制FFU

特点

1. 滤料：进口PTFE
2. 效率：99.99995%
3. 节能：效能提升58%
4. 控制：全自动智能控制



深圳市中建南方环境股份有限公司

电话：0755-26620315/4006699583

深圳市南山区西丽街道西丽工业区新光路15栋、8栋101、201、7栋101-3#

网址：www.zjnf.cn

邮箱：zjnf@zjnf.cn

三家合力推动集成光电创新

是德科技与 FormFactor 公司和 CompoundTek 公司实现三方协作，共同推动集成光电技术加速创新。是德科技是一家领先的技术公司，致力于帮助企业、服务提供商和政府客户加速创新，创造一个安全互联的世界。FormFactor 是领先的测试与测量技术提供商，技术范围覆盖集成电路的整个生命周期。CompoundTek 是新兴硅光解决方案 (SiPh) 的全球晶圆代工服务领军者。

集成光电也称为硅光技术，是一项革命性的技术，能够在降低功耗和成本的同时大幅提高数据传输容量。虽然光集成电路 (PIC) 为突破传统数据中心网络的局限提供了振奋人心的替代解决方案，但是也给元器件和设备制造商带来了新的设计和测试挑战。PIC 的应用前景有赖于整个行业生态系统的表现，这包括新的晶圆厂和商业建模工具的增多，以及硅光测试能力的提升。

现在，是德科技，FormFactor 和 CompoundTek 合力开发了一款先进的在片硅光测试解决方案，该解决方案具有非常领先的功能，包括自动对准，以及同步进行光信号和光电器件测试。

是德科技与 CompoundTek 联合提供的解决方案包括：

- FormFactor CM300xi-SiPh；该产品具有自动晶圆级光信号定位功能，它与是德科技符合行业标准的 IL/PDL 引擎和 N7700A 光通信应用套件 (PAS) 相结合，可在 1240 nm 到 1650 nm 的双向扫描中支持 ± 1.5 pm 的重复波长，最高扫描速度为 200 nm/s，确保了从 O 波段到 L 波段的精度和可重复性。
- 是德科技的 N4373E 67 GHz 光波元器件分析仪；它可为光接收机测试和光发射机测试提供出色的带宽，在进行电光 S 参数测量时，能够确保满足技术指标的要求，从而实现器件的可追溯性。
- 是德科技的 PathWave 软件平台；该平台能够提供一致的用户体验，通用的数据格式和控制界面。
- FormFactor 的 SiPh 软件；它可以实现自动校准和对齐，并且简化了与是德科技 PathWave 软件平台及光通信仪器的集成，确保简单易用。

硅光技术还可为许多工业领域带来好处，其中包括数

据中心的内部通信、数据中心互连 (DCI)、电信、5G 和互联汽车、高性能计算、光检测和测距 (LIDAR) 以及传感和医疗应用。

是德科技的网络与数据中心解决方案副总裁 Joachim Peerlings 博士表示：“光通信技术的创新非常有利于我们创建安全互联的世界，以及帮助业界充分展现 5G、数据中心和电信服务的最大价值。为了提高速度、功率和成本效率，需要一个紧密互联的生态系统来共同克服未来的挑战。我们非常高兴能够达成这样的合作关系，并且通过我们卓越的光通信测试实力推动这一生态系统快步向前发展。”

CompoundTek 计划在新加坡设立一个顶尖的硅光测试服务中心。该公司的首席运营官 K.S. Ang 表示：“这款解决方案添加了晶圆级自动硅光光 / 电 / 射频测试能力，使得客户能够控制封装成本，避免在模块封装级测试时间上造成损失。这款测试解决方案与我们当前在量产中提供的服务相辅相成，同时，我们世界一流的商业代工能力还确保了极短的循环时间，能够帮助客户加快产品上市速度，顺利实现商业化目标。”

FormFactor 副总裁兼系统业务事业部总经理 Claus Dietrich 表示：“FormFactor 拥有先进的硅光晶圆测试能力，这使我们的客户能够在实现高产的同时获得可重复的一致结果。这个系统具有自动高速校准和光信号对准功能，可与是德科技的仪器一起提供精确的测量，帮助客户尽早达成产品上市目标。”

半导体芯科技

欢迎投稿

投稿信箱

mizyh@actintl.com.hk

AP & S的新一代技术设定了 晶圆工艺新标准

通过扩展、建立合作伙伴关系，以及将AI和AR纳入其产品组合从而改变客户服务的体验，AP & S的湿法工艺和制造服务专家正在以此为半导体晶圆表面性能树立新的基准。

AP & S 国际公司（德国多瑙艾辛根）或许最出名的是其半导体晶圆表面处理专业知识。从单晶圆和多晶圆湿法工艺平台到清洗，以及精密材料应用，该公司一直在为全球的 IC 制造商提供设备。但是，除了晶圆工艺和设备服务外，AP & S 公司还有更多的产品，而且这个产品组合正在逐步增加。

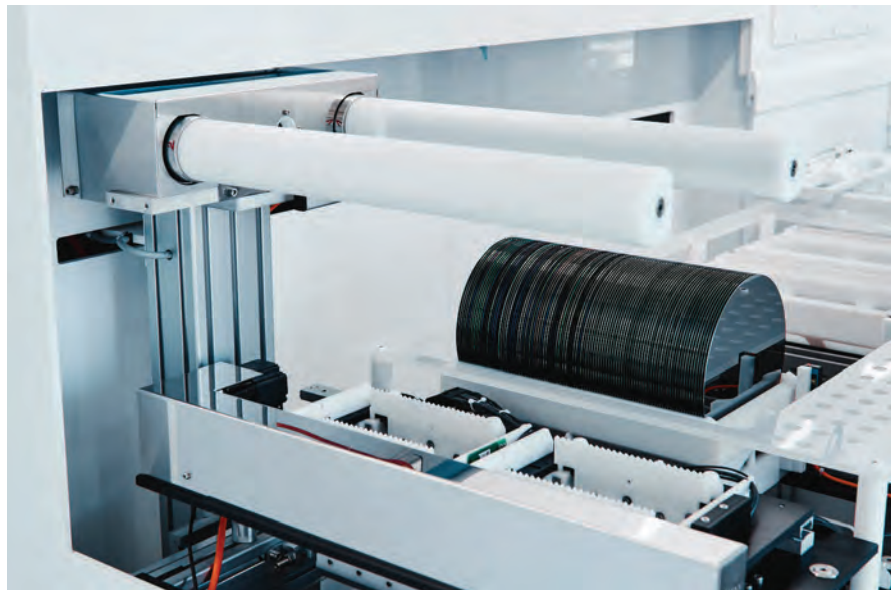
AP & S 公司在其历史上已经获得了许多奖项和行业的“第一”，但是在过去两年中，其多元化和扩展服务的很大一部分努力是针对客户满意度的总体关注。他们通过三个主要领域来展示他们的方式。首先，在总部的设施中增加新的洁净室空间，这是一笔巨额的投资，其目的是增强公司测试实际条件下设备的能力。除了新的洁净室空间外，AP & S 还做了其他实质性的承诺，以扩大其演示中心 (Demo Center)，让客户、现场服务工程师和其他公司人员可以查看、测试和操作各种机器设施。AP & S 还通

过投资 tepcon 公司以及形成合作关系来取得发展。tepccon 公司是以工业 4.0 自动化技术、机器联网、增强的人机界面 (HMI) 以及人工智能而闻名，其人工智能工作与其增强现实 (AR) 程序组合相关。而且，AP & S 公司将继续增强和扩展其标志性的湿法平台解决方案，例如用于凸点下金属化 (UBM) 工艺的 Vulcanio 系统就是这样的例证。

AP & S 的首席执行官 Alexandra Laufer-Müller 首先开始将公司推向更高的自动化水平，当时在半导体制造的各个领域还尚未广泛采用这种做法。在工业 4.0 计划处于早期阶段，而且半导体制造领域的数字化还在以不同的速度发展之际，2016 年的 tepcon 投资显示出了其非常领先的战略部署。到 2017 年，这项投资开始显示出红利，AP & S 已将新的增强现实程序与微软的 HoloLens 和其他 AR/VR 头戴式设备配合使用，以不仅是视觉上令人兴奋的方式，而且是更加高效和交互式的方式，增强了机器性能数

据方面的审查。tepccon 的执行主管 Christoph Kluge 注意到，整个半导体制造业的服务和维护工作正在快速地自动化，目的是获得更高的效率和更低的成本，同时通过利用许多平台收集的数据，为整个制造业提供更大的状态感知能力。

AP & S 软件部门负责人兼 AP & S 子公司 tepcon 的执行主管 Kluge 解释说：“与过去的工艺不同，我们现在已经不再需要人工监视机器，将来也将不存在这种情况。在状态监控领域，我们的解决方案可提供实时数据可配置可视化的表格、图形或流程图，还可以通过电子邮



AP&S表面处理系统可满足单晶圆和多晶圆的批量工艺要求。



操作人员开始使用带有预定义配方的AP&S GigaStep进行晶圆工艺。

件, SMS 或 WhatsApp 来监控阈值并非及时的报警。客户可以通过其移动设备, 随时随地并且灵活地进行干预。机器故障可以得到实时避免。分析工艺数据可以实现配方的记录和跟踪。通过与历史数据进行比较, 可以发现不正确的操作, 从而优化配方顺序, 并有效规划服务作业。”

Kluge 继续介绍说, 虽然 tepcon 专门为制造商及其制造的机器提供状态监控、机器学习, AR 和远程信息处理解决方案等方面的软件, 但 tepcon 与众不同的能力在于其使用了独特的工业物联网 (IIoT) 入口, 该入口用作收集、存储和利用关键数据点的网关。

“这种互连带来了一些实质性的优势。例如, 通过机器监控软件生成的来自湿法工艺机器的重要数据可以通过增强现实进行 3D 叠层的可视化。结果就是, 当经过机器时, 操作人员可以通过智能手机或微软的 HoloLens 或其他设备读取系统的关键数值。人们可以无需登录就检索一些数据存档。此外, 状态监控与机器学习解决方案的互连也将产生宝贵的协同效应。”

根据 Kluge 和其他 AP & S 专家的说法, 在未来五到十年内, 生产车间的工作方式将发生根本性的变化, 而更多的努力将是针对自动化和预防性维护。人们将大力优化以减少宕机时间, 从而提高整体生产效率。当今制造商还面临的真正挑战之一, 就是如何在缺乏熟练劳动力的市场中, 保持高效率和高水平的生产能力。

“AI 和 AR 是解决机械工程中技术工人短缺的关键核心技术。”



Vulcanio eLess金属镀湿法工作台系统提供先进的凸点下金属化性能

AI 提供了‘侦听和观察’机器以及评估和预测其状况的机会。以前, 只有经验丰富的员工通过多年的专业经验才能做到这一点, 这些熟练的员工对机器的运行方式有了很好的了解, 从而可以评估系统随着时间的状态。如今, 振动传感器可以扮演这个角色: 通过加速度计传感器可以自动记录和评估机器的振动。该数据可用于预测维护周期。随着机器学习的不断发展, 这些预测会越来越好, 直到大部分时间它们都会变得正确, 这对客户来说将是一个巨大的优势。”

“半导体制造极为复杂, 而且随着每一代新技术的发展, 这些复杂性也在不断增加。从客户的角度来看, 我们为简化工艺所做的一切工作都是重要且有价值的。”

Kluge 强调了 tepcon 专业知识在预防性维护中的作用, 同时也解释了将相同技术用作服务人员培训工具的方式, 以便帮助传递积累的知识。他们可以利用软件的功能来记住所有内容, 而不仅仅是作为存档用, 系统已经成为开发和提高性能的智能合作伙伴。软件的变化可以让潜在的客户远程访问 AP & S 设施, 并参加服务经理、工程师和其他工艺工具专家的会议, 这是前所未有的协作, 表明这种进化技术具有很好的长期发展潜力。

tepcon 技术还改善了 AP & S 公司总部演示中心的服务。其中最大的投资是新的洁净室空间, 该空间可以为各种工艺工具和相关硬件提供真实的工作条件。此次扩展提供了 ISO5 级洁净室空间, 配备了最先进的 3D 显微基板检查和结构测量设施。公司的外形测量功能补充了其他能力, 从而实现了一个用于工具演示、工艺评估、测试和内部培训项目的内部实验室。

“我们认为与客户进行深入对话的能力是我们成功的基础。演示中心为与我们的客户和合作伙伴的知识交流和联合研究项目创建了一个完美的‘空间’。此外, 这也是使我们与其他湿法工艺解决方案供应商区分开来的一个因素, 他们通常没有内部实验室,” AP & S 工艺工程与实验室团队负责人 Stefan Zürcher 说。

Zürcher 解释说, 虽然亲自访问演示中心是了解实际工具的最佳方式, 但是因为可以进行远程访问, 所以客户可以通过视频或增强现实来访问演示中心, 进行一些演示。当然, 与建立 AP & S 系统的工程师进行一对一私人交流, 仍然是亲临现场无可比拟的优势。

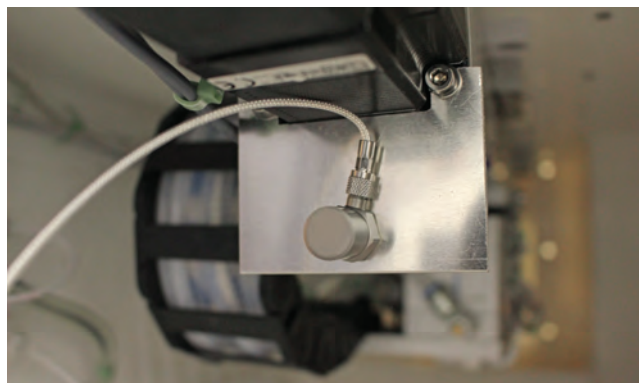
“我们所有的工具设备都安装了网络摄像头, 以便人们在无法亲自访问 AP & S 时, 可以远程访问该演示。在



由于包括分步说明的虚拟数据，可以通过AR眼镜下载并在计算机上进行一对一指导，因此服务分配更容易处理。即使是未经培训的人员也可以没有如何差错地进行许多种维修。

工艺演示过程中，通常会拍摄视频，随后会与客户共享，同时还有详细的测试报告，包括所有相关的工艺和工具参数、化学消耗量，等等。这还使客户能够计算出他们考虑希望购买设备的拥有成本。”他解释说。

Zürcher 表示，虽然进行设备演示是演示中心的主要作用，但该设施还可以作为研究中心，这里的研究发现将有助于开发新的晶圆工艺工具、技术和服务流程。“因此，我们有动力积极在与生产相关的条件下进行工艺演示，并为我们工具的性能实现‘最佳实践’。我们可以评估工具性能和外部影响，例如空气中的颗粒；我们可以测试它们的影响。当然颗粒污染是要尽量避免的。我们还可以确保在我们的 AP & S 演示中心加工的晶圆是干净的，从而可以将它们直接传递回客户的工厂进行后续工艺步骤，或者传输到他们的计量部门。”他解释说，并指出 AP & S 还提供液体和洁净室气体的颗粒计数器，这可为客户和公司提供更多数据，以便进行持续改进和质量控制。



AP&S工具中的加速度传感器可用于实现远程监控，以便在故障发生之前可以预测维修的间隔。利用传感器检测到的振动可以得出许多结论。每个传感器每秒可捕获多达40,000个值（40kHz），用于监控旋转、压力和整体性能。

AP & S 公司对细节和客户满意度关注在业界是出名的，这也有助于推动其研发计划，包括不断更新公司广泛的硬件产品组合。

他们不断研究 Vulcanio 湿法工作台系统，以提高其在同类产品中的领先能力。随着器件几何尺寸的缩小和对高度的要求越来越严格，更多设备正从引线键合转向倒装芯片设计，包括 MEMS 组件，其范围可能从麦克风到多种类型的传感器；而 MEMS 器件也是执行器和核心的控制系统元件。

“AP & S Vulcanio 系统利用凸点下的金属化，来支持器件缩小和更高的可靠性。器件的输入和输出焊盘需要一个可焊接的表面，以作为 I/O 焊盘和焊料凸点之间的界面（UBM）。该表面通常是焊盘材料和焊料凸点之间的多层金属薄膜。它充当稳定 IMP 的扩散势垒。随着 MEMS 不断发展，UBM 也将是适合 MEMS 的技术，因为 MEMS 器件也将大幅缩小，” AP & S 销售与营销副总裁 Tobias Bausch 说。

自导入产线以来，该公司一直在提高 Vulcanio 的性能，他们最早开始从凸点下金属化转向无铅焊料，以便进行 200 至 100 微米之间的底部填充螺旋互连。如今，大多数制造商正在使用 50-20 微米底部填充，而未来的要求将包括更严格的容差。“我们已经预料到，未来的客户将专注于采用 10-1 微米底部填充的纳米互连，”他补充说。Vulcanio 湿法工作台是一种无电镀或自动催化的沉积系统，无需外部电源即可激发金属进行沉积。无电镀或“eLess”沉积对于集成电路湿法工作台应用是最优的选择。

“要获得最佳的无电镀工艺结果，以下几个方面至关重要，而 AP & S Vulcanio 湿法工作台都有很好的覆盖——eLess 化学物质需要进行闭环控制，以确保稳定的 IMP 结果，并防止 IMP 在其他工艺步骤中发生变化；需要在线分析和原位定量以确保工艺和设备的稳定性；最后，需要详细的工艺交互建模评估来定义工艺窗口，”他解释说。

“我们的 Vulcanio 湿法工作台具有出色的可靠性能，已在 40-90 摄氏度的温度下得到了验证。它还提供了优于镍和金结构的特性。得益于我们卓越的控制系統，可以在不影响性能的情况下实现 0.05 μm 至 5 μm 的金属厚度。较薄的金层还可以降低成本，同时有助于降低焊点中金的脆化风险。这许多优点使得该系统在市场上得到了长期使用。通过与客户的紧密合作以及科学上验证了的良好性能，我们对性能和优化进行的持续分析，让我们获得了非常正面的客户反馈。”他总结道。◆

MPM Edison 打印机

最精准的印刷机
用于提高半导体的
良率



在0201公制元器件上
经过验证的印刷工艺
能力>2CPK

半导体市场中的元件小型化挑战了具有薄发模板孔径和超细间距的印刷设备。MPM® Edison™ 可以满足这些挑战, 经过验证的印刷工艺能力大于2 Cpk, 适用于0201公制器件。

Camalot Prodigy 点胶机

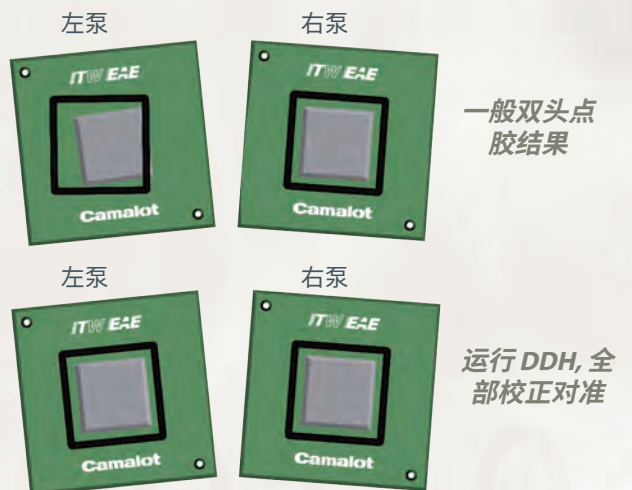
更加灵活的高速、
超精准点胶机

最新:50 英寸双通道选项



Dynamic Dual Head™ (DDH)
动态双头

无论零件到零件的旋转如何, 双头都能同步分配两个泵。与紧凑, 快速和灵活的 NuJet™ 泵, 达到最严密的控制。



Electronic Assembly Equipment

TW EAE

请浏览 www.itweae.com, 获取更多信息。

A division of Illinois Tools Works

X射线和超声波的合力

超声脉冲穿过固体时，会衰减并被材料界面反射和透射。X射线束也会衰减，但并不受材料界面的影响。超声波脉冲必须以90°的角度进入表面，但X射线几乎可以任何角度进入。这里给出这些差异以及其他差异的用途。

超声波脉冲以每秒4700米的速度穿过铜层。当声波前进时，脉冲会轻微衰减，这意味着它会逐渐失去能量（振幅）。突然间，它进入到了固化的环氧树脂层。一部分脉冲直接穿过两个固体之间的界面，并继续进入环氧树脂。另一部分则以其到达时的相同速度，反射回到发射脉冲的换能器中。

让X射线束也穿过相同的铜层。像超声脉冲一样，它在铜层中前进时也会稍微衰减。而当它进入固化的环氧树脂的壁时，X射线束保持一直前进；其中并没有反射大部分。衰减率确实有所变化，因为射线束现在穿过的是不同的材料。

当在同一样品上同时使用X射线系统和声学微成像工具时，检查两种图像可以提供用于阐明质量控制或故障分析问题的相关信息。两种能量形式都不会对零件造成任何物理损坏，并且很难想到存在可以在两种测试手段中都不暴露的物理异常。

因为是电磁波谱的一部分，所以X射线束穿过材料的速度很高，所以不会引起注意。当对样本成像时，从X射线管发射的射线束尺寸随着其移动而扩大。通过改变到目标的距离，可以调整图像的x-y区域（放大率）。

超声波通过固体的速度比X射线束的速度小许多个数量级。例如，100MHz脉冲以约3000米/秒的速度穿过模塑化合物。此外，超声波不是作为连续束发射的，而是作为脉冲发射的，其返回的回波代表以微米为单位测量的界面区域。回声将成为可见声学图像中的一个像素。换能器在扫描时每秒发射数千个脉冲，并且在发射线中有界面的地方会每秒收集数千个回波。

图1是由Nordson SONOSCAN C-SAM[®]声学微成像工具制作的塑料封装微电路（PEM）的声学图像。图像通过接收成像的回波来生成，回波的到达时间表明它们起源于从芯片表面之上很短距离到芯片粘附平面的垂

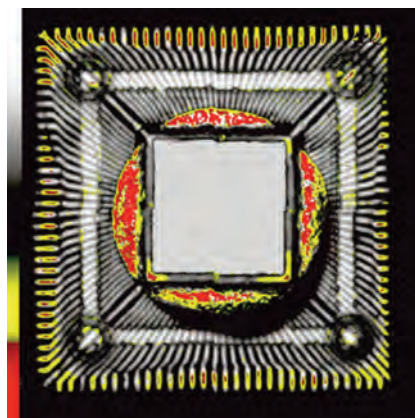


图1. 此PEM中的空气空隙为红色和黄色，因为它们反射了几乎所有的超声波。黑色区域是没有反射的部分。

直栅极。来自此栅极上方或下方的回声都不予接受。从芯片到导线叉指的引线位于栅极内，但它们非常薄，并且具有散射超声波的圆形横截面。结果是它们在该频率下反射的超声波太少，难以进行成像。

在没有接收到回波的情况下（例如引线叉指之间），像素是黑色的。沿图像左侧的彩色图像表明，几乎将所有发射脉冲反射的回波是红色的。芯片周围的圆形红黄色特征图形，表示穿透芯片周围模塑化合物的裂纹。大多数引线叉指的远端也是红色和黄色的。

圆形裂纹的东南方向有一个弯曲的黑色区域，看起来像光学的阴影，但这实际上是声学图像。事实是这样的：当裂纹向上移动时，它的路径变

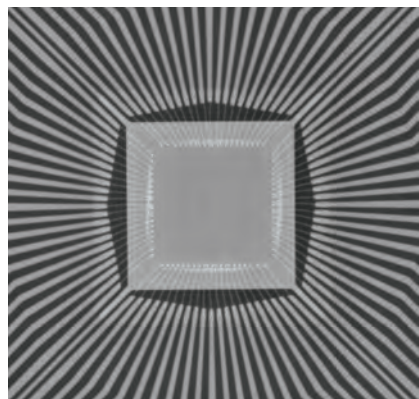


图2. 由于X射线很难通过空气衰减，也很难通过界面反射，因此裂纹不会出现在该图像的另一部位。

作者：Tom Adams, Nordson SONOSCAN顾问

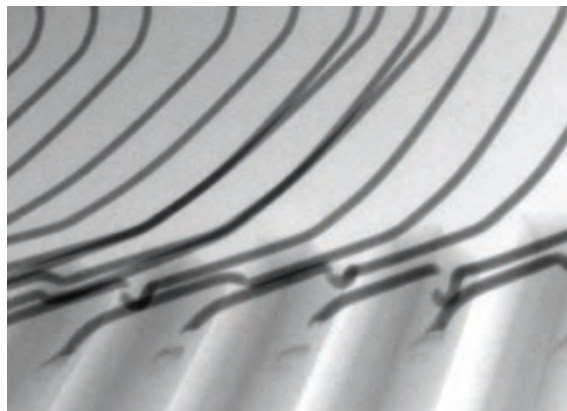


图3. 部分器件区域的X射线特征，可以看到断线。

得更加垂直。当达到某种程度时，裂纹将几乎所有到达的脉冲都反射回去，此时裂纹就是红色的。在裂纹变得更垂直的地方，它是黄色的（左边彩图上的下一个颜色）。在路径变得更陡峭时，所有脉冲都以一定的角度偏转（回波），并且没有回波向上发送到换能器，因此该区域中的像素是黑色的（没有接收到信号）。

然后我们通过 Nordson DAGE Quadra™ 7 工具获得了相同器件的 X 射线图像，如图 2 所示。超声波通过材料界面会产生反射，但 X 射线束则直接通过界面。图 1 中的大圆形裂纹具有固体 - 空气界面，几乎反射了所有的超声波脉冲，但裂纹本身虽然很致命，实际上却非常薄。在图 2 中我们无法辨别裂纹，因为它太薄，所以不能明显地改变射线束的衰减，从而也就不能改变该区域中图像的亮度。

然后，图 1 中所示的 PEM 中一个区域的导线通过 Quadra 7 单独成像，其中导线键合到引线框架的焊盘上（图 3）。事情就很清楚了：爆米花裂纹扩展所产生的应力会拉紧导线，直到它们断裂并与已键合的焊盘断开连接。这里的分辨率足够高，可以看到断裂的细节，以及导线在焊盘上原有的连接位置。

在图 1 中，声学图像的分辨率不足以看出引线。在更高的超声频率下，如果脉冲可以穿透模塑化合物，有时就可以看到引线，但是看不到更多细节。

图 4 是采用陶瓷基板共晶键合管芯的不同器件的 X 射线图像。盖板已移除从而可以暴露

裸片。这里没有模塑化合物。我们所关注的深度是芯片粘附的位置，这里可能在共晶时产生空洞，这些空洞会让芯片散热的效率极大降低。

这张 X 射线图像显示出，存在着数百个不同尺寸的空洞，这里都没有填充材料，所有这些空洞都可能在芯片放置上去后并键合到基板时才形成的。一些空洞非常小。它们显现在此是因为共晶材料缺失会导致 X 射线束的衰减减少。

左下角有一个非常大的区域，没有填充共晶材料，尽管沿着该区域的右上边缘存在着芯片粘附材料的痕迹。通常，共晶键合的空隙可以通过两种方式形成：要么共晶材料熔化并流动到其他地方，要么施加的压力不足以形成键合。如果共晶材料存在但没有形成键合，那么 X 射线将检测不到这种情况。这种大的空洞可能是由于共晶材料的熔化和随后的迁移形成的。

图 5 是对相同的器件进行声学成像。相对于 X 射线成像，这里能看到更多的空洞，尤其是微小空洞。许多空洞呈现白色，即使它们的整体形状呈类



图4. 具有陶瓷基板和共晶管芯粘附器件的X射线图像。

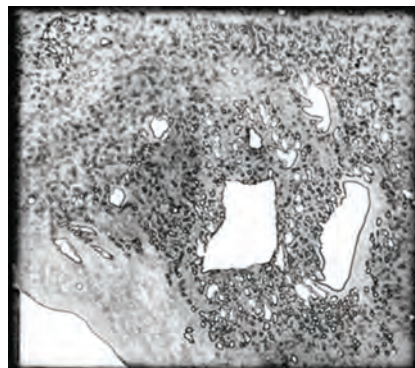


图5. 相同器件的声学图像。

球状，由于它们尺寸够大反射出足够的脉冲来形成可见的白色像素组。而尺寸稍小的空洞只会简单地散射几乎所有到达的脉冲，并且在声学图像中呈现黑色。X 射线图像中的两个最大空隙呈现出某种内部结构，在这里并没有任何指向性，因为基本上所有的脉冲都会因为固态 - 空气界面被反射，根本没有进入空洞本身。

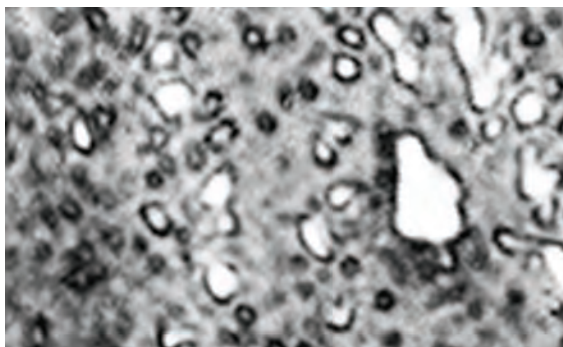


图6. 小区域的放大声学视图显示：即使是非常小的空洞也有明亮的中心。

下接第20页

持续改进Sub-fab辅助系统对于极紫外光刻工艺的实施至关重要



随着EUV光刻技术进入大规模生产，采用成熟而系统的方法来跟踪和防止停机意味着可以节省成本，这直接影响到企业利润。Edwards公司在此阐述了一种数据驱动方法是怎样成倍地收回成本的。

今年，极紫外（EUV）光刻技术有望用于多个晶圆厂的大规模生产（HVM）当中。预计EUV光刻机的总投资最高以亿美元为单位，如此高的投资资本需要付出巨大的努力，才能确保设备更有效更广泛的应用。光刻在整个半导体工艺中扮演着重要的角色，停机导致的成本更加突显光刻的“瓶颈”作用，因此EUV停机将不可避免地造成巨大的生产损失。

Sub-fab 辅助系统（例如提供工艺真空和减排的系统）是EUV光刻中的关键备件。这些系统的故障带来的可用性成本和生产损失，与EUV系统本身故障造成的损失等同。要使整套系统的可用性最大化，就需要数据驱动的程序，该程序可以识别潜在的故障模式并分配资源以减轻可能产生的后果，并优先考虑最有可能以及成本最高的原因。能在需要时就有合适的备件，是系统可用性的重要组成部分。针对采用数据驱动方法来管理EUV机台配套sub-fab系统的备件库存，该方法将清楚地表明它自身的潜在价值，可最大程度地提高整个系统的可用性，并将生产损失减至最低。

数据驱动的方法首先需要一致性，基于标准的数据以及足够量的数据。在过去的十年中，Edwards已经从100多个EUV真空系统中获取了数据，截至撰写本文时，该数据100%包括了当前安装的EUV系统数据。严格应用SEMI E-10标准作为计算可用性的基础，可以确保数据内的一致性。该数据基于已安装基础上的全部可用性报告，用于定义、优化和更新可用性矩阵，该矩阵又反过来用于

确定备件库存优先级和预先备货，确定常见故障的根本原因以及在持续改进过程中所作出的努力，直观上的。

计算可用性—SEMI E-10

图1是SEMI E-10定义的示意图（时间为X轴）。可用性是设备正常运行时间占总运行时间的百分比。等待备

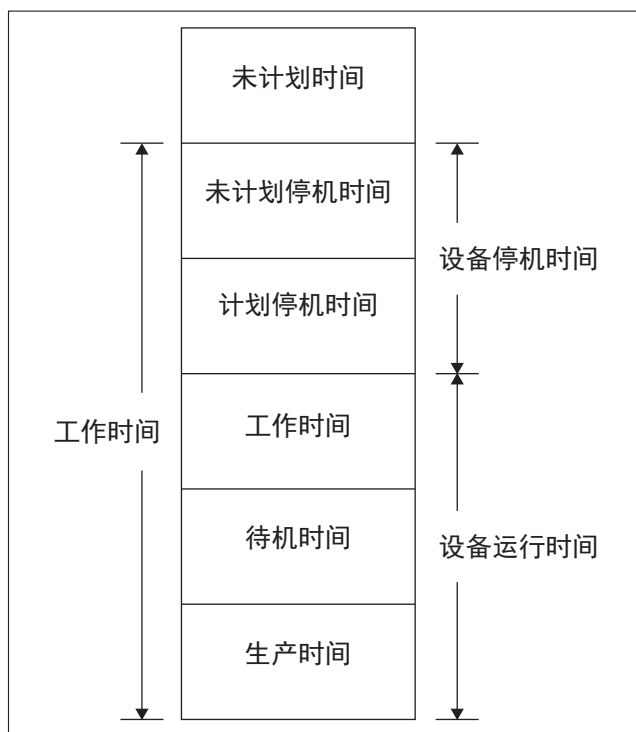


图1. SEMI E-10定义了用于计算系统可用性的各种时间类别。

作者：Nicolai Tallo, Edwards公司产品经理



图2. 基于标准的系统可用性报告为汇报和持续改进计划提供了可操作的数据。

件所花费的时间是维护延迟，它包括在计划内或计划外的停机时间中。图 2 显示了系统每周的可用性报告的范例。这种方式的报告可以通过识别关键问题以及各种部件和所需方案，来进行有效的管理。

可用性矩阵

可用性矩阵（柱状图）的开发和使用，是“及时”（JIT）理念应用于备件库存管理中的关键推动力。这是一个持续改进的过程，旨在通过全球知识、局部应用来最大程度地降低客户的风险。图 3 展现了正在改进中的周期循环。

类似于图 2 中的摘要报告，图 4 是影响系统可用性的每项活动的详细矩阵图。除了对活动的描述之外，矩阵还包括有关发生频率，一种采用不同方式计算维护时间（以分钟计）的方法，以及维护对于可用性的影响。这种细节的等级是计算整体工具可用性的必要组成部分，并允许基于此优先级的计算，而不是仅仅基于 sub-fab 的可用性。

这种细节程度对于计算整体工具可用性是非常有必要的，并允许基于优先级而不仅是 sub-fab 的可用性。比方说这些备件可能放置在现场、可及范围内、另一个房间或另一栋大楼中，诸如此类，所需考虑事项须记录在这个矩阵中，可供分析。在全球已安装的基础上对该类信息进行统计分析，可以评估每个部件对系统可用性的影响，并



图3. 持续改进是针对数据收集、分析和执行的循环往复。

确定可能在何处需要哪些部件。基于这种方法，可允许人们利用全局洞察力来进行本地化的库存管理。

持续改进

初始可用性矩阵是在系统设计期间，主要根据设计工程师，组件供应商和内部测试的输入来开发的。矩阵会根据从现场报告的信息不断更新，以确定真正的可用性。该

项目	活动	每年的频率	维修时间	部件位置	对可用性影响
部件A	每年保养	1	5hrs	现场(2hrs)	0.08%
部件B	非计划保养	0.5	4hrs	仓库(4hrs)	0.05%
部件C	非计划保养	0.5	1.5hrs	系统边(0.5hrs)	0.01%

图4. 可用性矩阵包括有关影响系统可用性的每个事件的详细信息。

矩阵还提供了定义特定改进项目的基础。图 5 显示了一系列改进对总体可用性的预期影响。可用性矩阵提供的硬数据，支持进行故障分析以及与组件供应商一起改进设计和测试的主动方法。基于证据的方法可以促进长期合作中合作关系的发展。图 6 显示了与气体传感器供应商一起实施的改进项目结果，该项目旨在减少与其传感器相关维护事件的数量。

下一步包括引入智能健康监控系统，该系统可以在备件需求出现之前就很好地预测出这种需求。如有必要，可以提醒供应商为及时部署所需组件做准备。这对于具有复杂供应链的长交货期部件特别有价值。半自动过程降低了等待关键部件的停机时间风险。

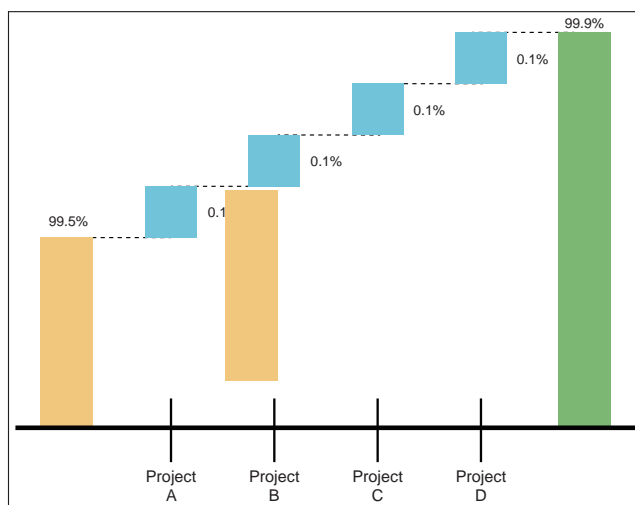


图5. 可用性矩阵允许将资源智能分配给可能对系统可用性产生最大影响的改进项目。

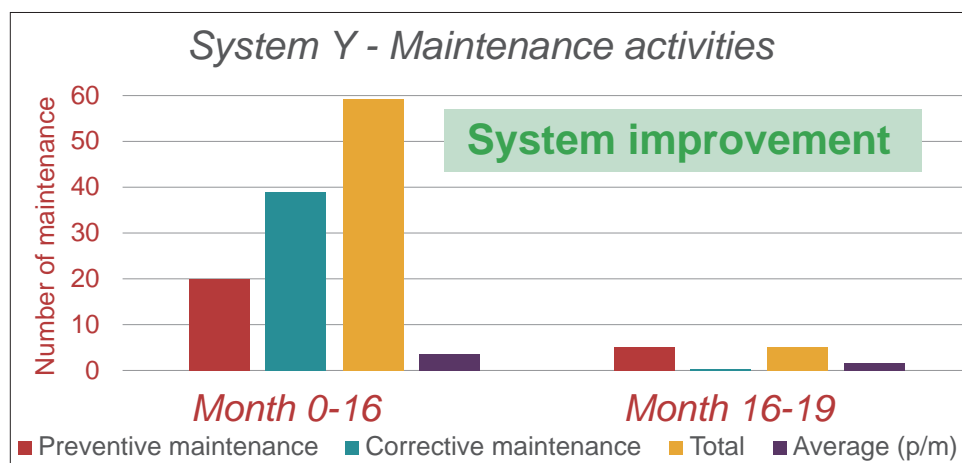


图6

小结

EUV 光刻系统的高成本及其在制造过程中作为瓶颈的现实，使得最大限度地提高其可用性成为当务之急。同时必须对支持 EUV 操作所需的 sub-fab 关键厂务系统，给

上接第17页

予相同的优先级。sub-fab 的故障直接影响 EUV 工艺的可用性，并带来相同的生产损失成本。持续改进的数据驱动型程序对于优化可用性至关重要。我们在文中描述了该方法在备件库存管理中的应用，这也是可用性的一个重要组成部分。需要使用诸如 SEMI E-10 之类的标准，以确保用于构建可用性矩阵的数据质量和一致性。该方法还需要从广泛的已安装系统中获得历史数据。考虑到 EUV 系统的高成本和停机造成的生产损失风险，必须尽一切努力优化 sub-fab 系统的可用性，在这方面的任何妥协都有可能被证明是在小钱上的精打细算而已。◆

对图 5 中心附近的小型区域进行放大后在图 6 中显示，甚至可以看到一些最小的空洞也具有明亮的反射中心。其他差异化功能使得用 X 射线和超声波在检测样品时都很有用。两者都会被所穿透的固体材料衰减，但衰减程度不完全相同。超声波在易于形变的材料中衰减非常快，如聚合物，但是在诸如陶瓷材料中衰减的速度则要慢得多。X 射线通过高密度材料时会更快速地衰减。例如，IGBT 模块的金属基板容易透射超声，可以方便地对内部特征进

行成像；然而对于 X 射线束，则在光束进行低对比度细节的有效成像之前，就把射线束吸收掉。

要尽可能充分地表征内部结构的可疑异常，当这点成了关键点后，使用 X 射线和超声波很有可能会得到更全面和可诊断的数据。X 射线可能会漏掉很薄但很重要的间隙，但超声波会发现它。超声可能会漏掉多个界面之下的空洞时，X 射线却能发现它。两种工具的互补性对诊断产品质量是相当可期的。◆

改进湿法清洗设备实现自动化 优势的最大化

半定制各种自动化清洗设备将提高工艺可重复性、生产能力和安全性

为了满足应用的特定要求，在制造敏感部件的行业中，设计工程师通常需要比标准选项更大的灵活性，以实现湿法清洗设备的自动化。

这些专业化部件涵盖从芯片、晶圆、半导体和电子器件到世界级激光器用专业光学器件的广泛领域。事实上，设备越复杂，就越需要更先进和适应性强的清洗选择方案。

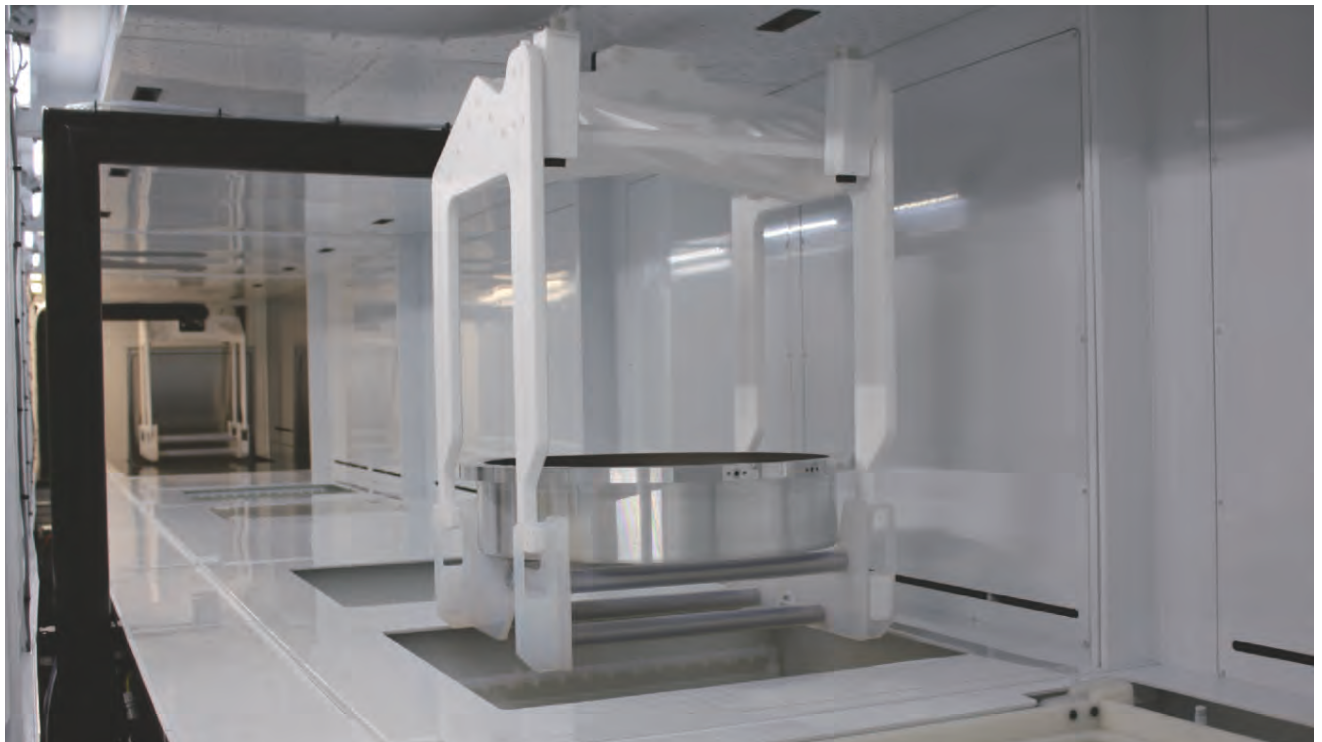
清洗是许多制造和维护过程的一个组成部分，指的是使用溶剂、酸或碱等助剂来清除不想要的微粒和其他污染物，它往往对众多技术的性能至关重要。另外，清洗也可以指半导体制造中使用的刻蚀工艺，这里，“清洗”是薄层材料的精准去除。

幸运的是，现在有各种各样的湿法设备自动化，因而

能够更加灵活地适应特定的清洗要求。通过更改这些自动化清洗设备以适合应用的需要，将能够经济划算地提高工艺可重复性、生产能力和安全性。在许多场合中，仅需对标准设备稍作修订就可以了。

清洗工艺自动化的好处

JST Manufacturing 公司（位于爱达华州博伊西）总裁 Louise Bertagnolli 说：“通常，实施清洗工艺自动化的公司其目的是提高工艺可重复性、生产能力或安全性。” JST 设计和制造多种清洗设备，从手动到全自动化无所不包，其中包括专有系统，此类系统具有构成完整交钥匙型清洗工艺所需的全部特性和传输装置。



可重复性包含精确重复某种清洗工艺的能力，对于保持质量是至关重要的。这包括清洗剂和漂洗溶液的精确测量和分配，以及提供将被清洗物品从一个浴槽传送到另一个浴槽所需的系统和工具。

当然，清洗工艺的自动化能够提高生产能力，从而满足大批量生产的需要。如果清洗工艺是在洁净室里完成的，那么包括电机和机器人在内的整个系统必须适合这种环境。

由于生产过程会需要围绕上方的热水罐或在靠近化学浴槽的地方移动产品，因此清洗工艺的自动化还能够提升安全性。同样，它可以改善生产人体工效，比如，免除员工重复旋转或搬运正在加工的部件的需要，从而降低人员受伤的可能性。

如何以经济划算的方法实现清洗工艺的自动化？

确定实施清洗工艺自动化的时间常常是在器件或产品的开发阶段。按照 Bertagnolli 的观点，虽然在研发阶段一般采用的是手动清洗工艺，但是，当该工艺已定义且公司拥有购买客户时，进行工艺的自动化不失为一个好主意。不过，为了成功地实现清洗工艺的自动化，最好的做法通常是尽可能地根据应用的特定需求来定制清洗系统。

Bertagnolli 说：“当考虑作业变更时，需将设备占地面积、产品尺寸、生产能力等纳入考量范围，这一点很重要。由于并不是所有情况都适用同一模式，因此至关紧要的是不能用同一个平台搞‘一刀切’。”然而，Bertagnolli 告诫说，并非每个项目都需要从头开始全面定制。标准自动化平台经常可以根据浴槽的长度、高度和数量进行定制。清洗工艺设计工程师可与自动化供应商进行商议，以确定在何处放置传输系统，以及在可用的空间里哪些自动化模块是最适合的。

Bertagnolli 说：“与那些不允许更改的专有平台不同，最好的平台是可靠和可依赖的，但是提供了一系列的选项，这些选项以一种可互换的方式使用相同的电机、执行器和自动化方案。这在提供灵活性的同时最大限度地降低了成本和复杂性。”

这种方法可以在全自动化、特殊项目和半自动化清洗工艺中使用。

全自动化清洗站

半自动到全自动化多任务清洗站（cleaning stations）通常使用至少 4 个浴槽。这类清洗站能够根据需要通过机



器人在浴槽处拾取和放置产品，并遵循预先设置的配方序列。不过，这些清洗站经常需要改动，旨在以最有效的方式运作。为了给改动创造便利，诸如 JST 等清洗工艺专业厂家提供了多种能够适应各种不同空间限制条件的自动化平台。另外，该公司还能通过利用具有前端装载或侧面装载功能的前方、后方或头顶机器人，使装载能力与特定的任务相适合。任选的转盘可实现符合人体工程学的侧面装载，以及便于实施维护的后方进入。

Bertagnolli 说：“对于自动化清洗站而言，热水罐的数量；机器人位置、移动速度、装载功能；以及所有物品的尺寸均基于特定的要求。”

在修改此类自动化清洗站方面，该公司与 Bosch Rexroth（位于北卡罗来纳州夏洛特）等自动化合作伙伴开展了紧密的配合协作，以开发采用线性运动以及电力传动和控制技术的清洗站。最近，这两家公司合作创建了一个自动化系统，用于将硅块（silicon chunks）净化到 11N 的极端纯度，以满足半导体芯片制造的要求。该项目需要建造一条 138 英尺长的清洗工艺流水线，并纳入多个龙门式机器人。

针对硅块的吞吐量要求是：每 22 小时轮班 4 吨。为此，JST 不得不开发一种独特的托架装置，以在整个清洗过程中传输材料。为了提供这么长的清洗系统，JST 分两个单元进行了设计和构建。在长度为 24 英尺的单元中，硅块的托架通过一扇自动门手动装载。然后，双轴机器人使托架循环通过 5 个酸刻蚀槽和 2 个冲洗槽，这些浴槽沿着第二个单元的长度方向排列成一排。

特殊的自动化项目

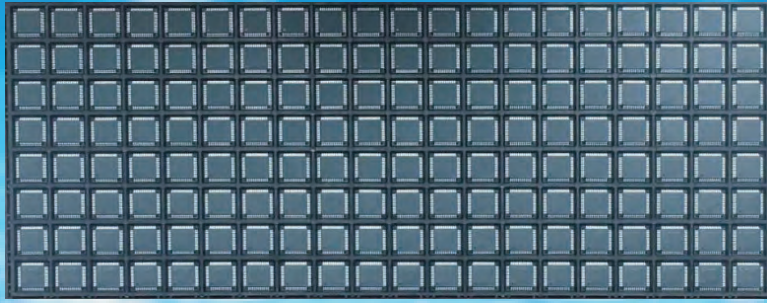
当特殊项目需要对晶圆片、光学元件、磁盘驱动器、扁平面板和其他精密部件进行清洗和剥离时，可使用以完全独立和干燥的方式运行的设备。JST 的 300 CLV 清洗与

下转第28页



優普士電子（深圳）有限公司
OPS Electronic (Shenzhen) limited

獨家同步整盤燒錄/測試系統



服務據點

崇基集團總公司內湖辦事處
電話: +86-2-7720 1881 +886-2-7720 2882
地址: 臺北市內湖區堤頂大道二段 475 號 9 樓

優普士電子（蘇州）辦事處
電話: 0512-67379720
地址: 江蘇省蘇州市工業園區淞北路 45 號 3 幢 308 室

日本崇誠株式會社
電話: +81 66353-2780 +81 66353-2781
地址: 大阪市北區長柄中 3-13-10

優普士電子（深圳）有限公司
電話: 0755-27707166 0755-27705764
地址: 深圳市龍華新區大浪街道華寧路（西）恒昌榮
星輝科技工業園 C 棟 5 樓

晶圆上微米级焊料凸点的无助焊剂回流

与传统的助焊剂回流相比，在制作微米级焊料凸点的工艺中应用新型的活化氢技术，具备如下优越特征：a) 有效抑制焊料滴落，b) 实现高质量凸点形态，c) 最大限度减小IMC层厚度，d) 可确保晶圆表面无残留。

半 导体芯片的集成化趋势已大致遵循摩尔定律发展了半个多世纪。随着晶体管电路逐渐接近物理极限，摩尔定律的延伸受到越来越多的挑战，这使得先进封装技术开始扮演重要角色，其中包括倒装芯片(FC)的封装、晶圆级封装(WLP)、系统级封装(SiP)、2.5D封装、3D封装等。固定芯片引脚以达到电气连接是封装工序中的一个重要环节。

目前常见的芯片引脚的制作工艺包括以下步骤。先是通过电镀的方法在整片晶圆上的引脚部位镀上焊料凸点，然后以高于焊料熔点的温度回流，从而完成焊料与其下金属的连接，并借助熔融焊料的表面张力使焊料从镀态形状变为球形。随着集成电路小型化的发展趋势，焊料凸点及节距的尺寸也越来越小，已小到单位数微米或接近单位数微米的

范围。这给焊料凸点的回流工艺带来许多新的挑战。目前，常用的凸点回流工艺是先将有机助焊剂喷在晶圆表面，然后使其在氮气环境下回流。有机助焊剂的作用是在回流升温过程中去除凸点上的表面氧化物，从而保证回流中熔融焊料的成球质量。然而，有机助焊剂的使用将不可避免地在晶圆表面造成有机残留的污染。对高可靠性的封装件来说，任何残留的存在都是不能接受的，而助焊剂残留的清洗也随着焊料凸点及节距尺寸的缩小变得越发难以实现。因此，开发无助焊剂的回流工艺已成为势在必行。

引入新型活化氢技术

本研究可解决采用助焊剂回流所遇到的问题。通过采用一种新型的活化氢技术进行晶圆上微米级焊料凸点

的无助焊剂回流，并与有机助焊剂的回流结果做比较，以检验该技术的应用价值。具体地说，这一技术是以电子附着(EA)的方式在大气压下对不可燃性氮氢混合气(氢浓度 $\leq 4\%$ 体积)中的氢进行活化，因而适用于连续生产线的开放式隧道炉。其基本原理是通过安装于炉膛顶部的电子发射装置产生出大量的低能电子，并使一部分电子吸附于氢分子上将氢分子解离和活化，从而达到有效去除氧化物的目的(图1)。

这一新型活化氢技术是近年来由空气产品公司(Air Products)研发的成果^[1-3]，具备该技术的回流炉也已由制炉厂家造出^[4]，并通过了合格性验证。这项技术不仅能彻底消除回流焊中的有机残留，且可与连续生产线配套，因而适用于电子封装工业的许多

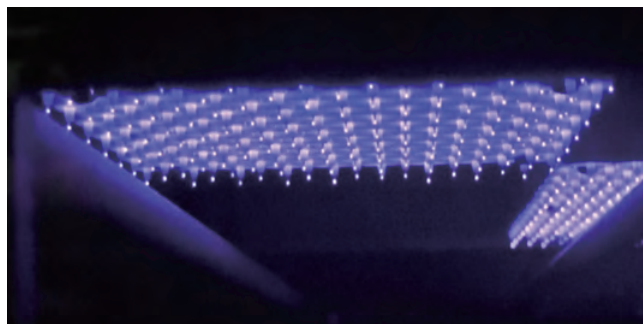


图1. 回流炉内的电子发射。

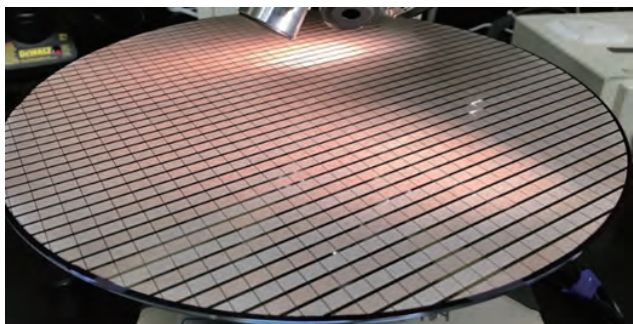


图2. 含无铅铜柱凸点的12吋机械晶圆，样品由NCAP提供。

作者：董春，空气化工产品公司
戴凤伟，华进半导体封装先导技术研发中心有限公司

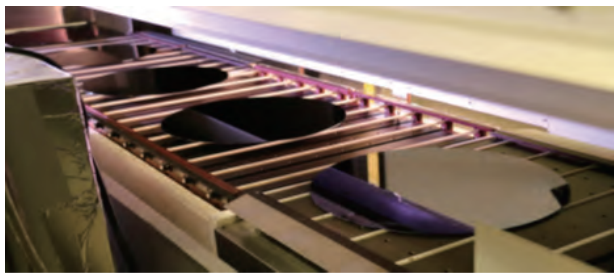


图4. 在滚轴式输送系统上的晶圆。



图5. 晶圆进入EA区以去除焊料凸点的表面氧化物。

领域。随着组件尺寸不断缩小以及三维化封装的发展趋势，这一新型无助焊剂焊接的应用价值将会更加突出。本文将重点介绍应用此技术来提高晶圆上微米级焊料凸点的回流质量。

实验方法

本研究中所用的晶圆样品是由华进半导体封装先导技术研发中心(NCAP)提供的机械晶圆(图2)。每片晶圆表面含有不同电镀尺寸的无铅(Sn/Ag)铜柱凸点，其凸点直径在单位数微米或接近单位数微米的范围。

实验中所用的回流炉集成了EA活化氢技术，它是专门为生产型晶圆凸点回流焊而设计的直线开放式隧道炉(图3)，可处理最大直径为300mm的晶圆。该炉具有八个温度区，包括五个独立控制的加热区，一个水冷式入口区和两个水冷式出口区。其中的五个加热区又包括两个预热区，两个含有电子发射装置的EA区和一个回流区。EA区的温度通常在焊料熔点以下。回流区的最高加热温度可

达400℃。在不可燃性氮氢混合气(氢浓度≤4%体积)的充斥之下，炉内氧气浓度通常低于5ppm。该炉包含一个滚轴式运输系统，可将待回流的晶圆连续不断地从炉子的入口运送到出口(图4)，其运速可随产品及生产线的不同需求而适当调整。每个晶圆在进入回流区之前，都先以低于焊料熔点的温度暴露于EA活化氢的环境，从而使焊料凸点表面上的氧化物被去除(图5)。

逐项分析

A. 焊料滴落

电子封装行业中的铜柱技术近

年来发展迅速，并有可能在未来几年成为最主要的倒装芯片的接点互连方式。与传统的焊料凸点设计相比，铜柱技术实现了圆柱形焊接连点，因而可以更好地控制其直径和高度，从而实现更精细的节距，并改善器件的电性能及热性能。本研究中所针对的微米级焊料凸点均为铜柱形式。

在应用铜柱技术时所常常遇到的一个问题是在铜柱凸点的回流期间，焊帽会滴落到铜柱表面，导致因焊帽体积流失而造成的凸点高度不均。不均匀的凸点高度在倒装芯片的焊接工序中又将引发开路接点。当凸点尺寸缩小到接近单位数微米的范围时，由

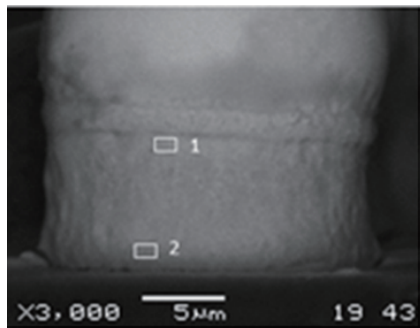


图6. 在助焊剂回流后的铜柱表面的上下两个位置(1, 2)，采用EDX技术都检测到锡(Sn)元素的存在，表明锡基焊料在铜柱表面的滴落和滴落距离。

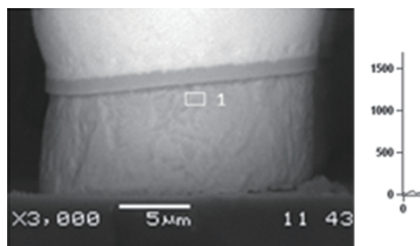


图7. 通过基于EA无助焊剂的回流，紧接焊帽下方的铜柱表面也没有检测到锡元素，这表明焊料滴落被抑制。



图3. 具有EA活化氢技术的大规模晶圆凸点回流炉。

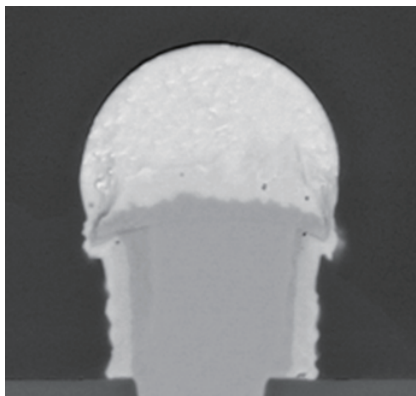


图8. 含助焊剂回流 (260℃, 30秒) 后的截面分析, 显示焊料滴落严重。

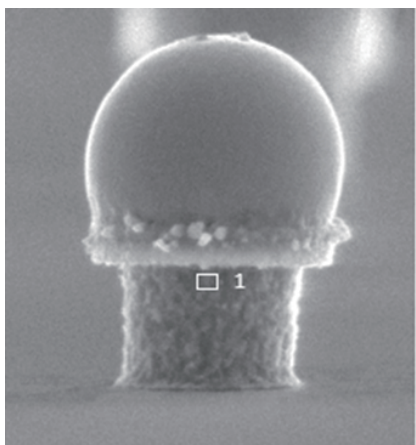
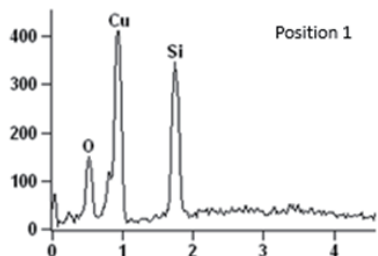


图9. 基于EA的无助焊剂回流 (245℃, 30秒) 可使焊料滴落完全被抑制。



于凸点自身体积的减小, 任何焊料滴落都将造成凸点高度不匀。

图6展现了在使用助焊剂回流时所常见到的焊料滴落现象, 此例中的铜柱直径为20μm。通过能量色散X射线光谱学(EDX)分析, 甚至在铜柱的底部(图6中的位置2)都可检测到锡元素, 表明锡基焊料的滴落距离。然而, 当相同的晶圆在相同回流条件下使用基于EA的无助焊剂工

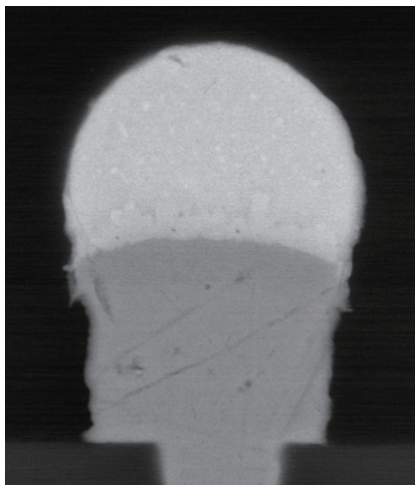


图10. 基于EA的无助焊剂回流 (245℃, 30秒) 后的截面分析, 显示无焊料滴落。

艺, 焊料滴落可以被有效的抑制。如图7所示, 紧挨焊帽下方的铜柱表面完全没有检测到锡元素。该结果可以被解释如下。有机助焊剂本身具有表面活化性质。在含有机助焊剂的回流中, 熔融焊帽的表面将完全被助焊剂覆盖, 因而使液态的表面张力明显小于熔融焊料本身的表面张力。焊料的表面张力越小, 则焊料低落的阻力也就越小。

图8展示了另一例使用助焊剂回

流出现的焊料滴落现象, 此例中的凸点直径为5μm。通过样品的截面分析可见, 铜柱表面完全被焊料遮掩, 表明焊料滴落的程度很严重。作为比较, 图9和图10则展示了使用EA回流后的同一样品的侧视图及截面分析图, 结果再次证明铜柱表面无焊料滴落。造成两者不同的原因有两点: 一方面如以上所述, 由于表面张力之差引起的焊料滴落阻力的不同, 另一方面是表面张力之差可影响所需的回流峰值温度。再者无助焊剂的熔融焊料具有较高的表面张力, 凸点的成球动力较大, 因而通过降低所需的回流峰值温度, 有效抑制焊料滴落。对于图8和图10所示的两个例子, 其回流峰值温度分别是260℃和245℃, 回流时间均为30秒。

B. 凸点形态

在回流期间, 一旦焊料凸点表面产生任何初始氧化膜, 它将成为一层固态表皮限制熔融焊料的流动, 从而导致不合格的凸点外观, 例如成球不充分, 表面不光滑以及形状不均匀。

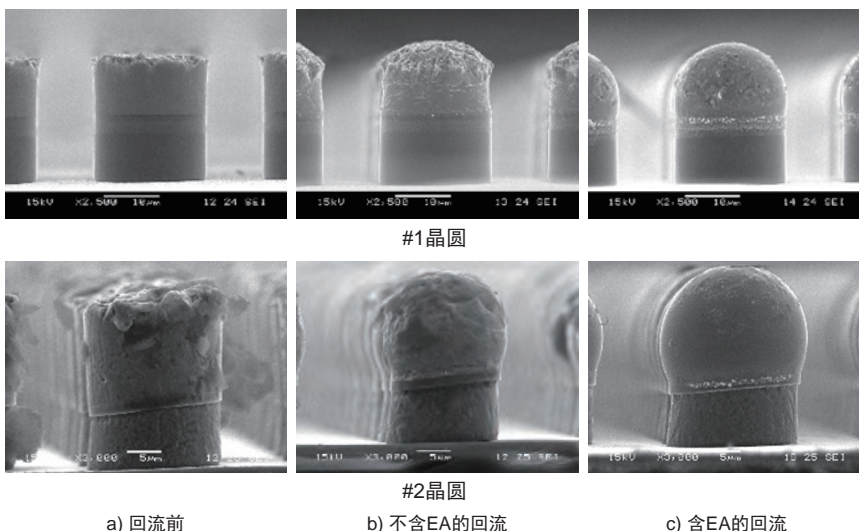
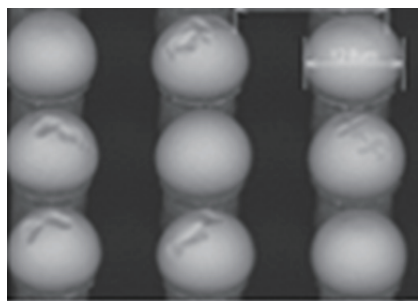


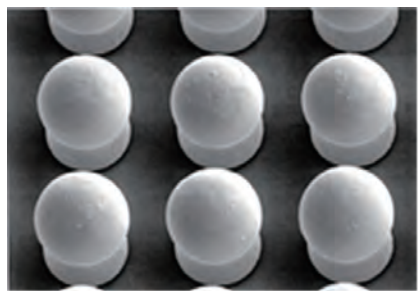
图11. 两种晶圆上的无铅(Sn/Ag)铜柱焊料凸点从回流前的电镀形状(a)、到不含EA的回流成球形状(b)、或含EA的回流成球形状(c)。

随着凸点尺寸的不断缩小，氧化膜的去除变得更具挑战，尤其是当凸点尺寸接近单位数微米时。究其原因，一方面是凸点表面的增加使得熔融焊料的流动对于氧化膜更加敏感；另一方面，凸点尺寸的缩小使得表面曲率增大，因而表面能增加，其结果将促进初始氧化膜的生长趋势以自发地降低表面能。

图 11 展示了两种晶圆上无铅 (Sn/Ag) 铜柱凸点 (直径为 17 μm 或 20 μm) 在形变前后的状态。在回流之前，电镀铜柱凸点呈圆柱形 (图 11a)。如果在氮氢混合气氛下的回流



a) 含助焊剂回流加后续清理



b) 基于EA的无助焊剂回流

图 12. 焊料凸点经过助焊剂回流 (a) 和基于EA的无助焊剂回流 (b) 的形态比较。

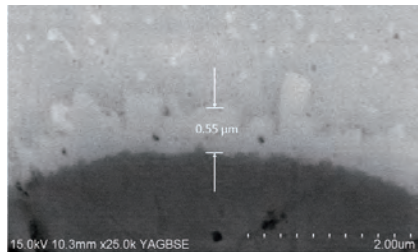


图 13. 直径为 5 μm 的铜柱凸点在 EA 回流 (245 $^{\circ}\text{C}$, 30 秒) 后所形成的 IMC 层。

炉中没有施加 EA，氢气的还原作用在正常的回流温度下将不足以呈现。而初始氧化膜的存在，焊帽不能很好地回流，导致形状转换不完全以及表面不光滑 (图 11b)。然而，当回流炉施加了 EA，焊帽的成球才得以实现 (图 11c)，表明在回流期间熔融焊料表面的氧化膜已被有效去除。这一结果显示了使用 EA 活化氢去氧化膜后焊帽的成球效果。

如上所述，当凸点直径缩小到接近单位数微米的范围时，凸点表面上的初始氧化膜一般会比直径较大凸点的氧化膜要厚。鉴于此，传统的助焊剂不能完全去除这种小凸点上的氧化膜，因此在回流之后的凸点表面常常会出现皱褶。图 12a 显示出使用助焊剂回流而在凸点表面留下皱褶的例子，其凸点直径低于 20 μm 。这一结果突出了助焊剂回流在去除氧化膜上的局限。然而，对于相同的凸点尺寸，基于 EA 的回流可得到完全无褶皱的凸点表面 (图 12b)。原因在于，在基于 EA 的回流中液态焊料的表面张力较大，自发成球的驱动力也更强。另外，微米级焊料凸点本身具有表面曲率高的特性，其高曲率会大大促进气-液间的界面反应，从而提高活化氢还原氧化膜的效率。因此，当凸点尺寸缩小到接近单位数微米的范围时，基于 EA 的无助焊剂回流的值变得更加显著。

C. 金属间化合物 (IMC)

回流期间，在焊料和其下层金属的界面将会因相互作用生成 IMC 层。这是形成冶金结合以确保可靠连接的基础。然而，IMC 层往往是焊点中最脆弱的部分，断裂也通常发生在 IMC 与焊料之间的界面处。因此，IMC 层

不能太厚。随着凸点尺寸的不断缩小，IMC 层的比例也会随之改变，控制 IMC 层的厚度对于微米级凸点的制作尤为重要。进一步说，IMC 是靠固体金属溶解于熔融焊料而生成的，因此回流温度以及回流时间直接影响着 IMC 层的厚度。如前所述，以基于 EA 的无焊剂回流可有效降低回流时的峰值温度，可最大限度地减小 IMC 层的厚度。图 13 显示了直径为 5 μm 的凸点在 EA 回流后的 IMC 层厚度，其回流峰值温度为 245 $^{\circ}\text{C}$ ，回流时间为 30 秒。作为比较，图 14 展示出含助焊剂回流的相同样品的截面。助焊剂的存在，使得液态表面张力减小。在同样的回流时间下，成球所需的回流峰值温度为 260 $^{\circ}\text{C}$ ，因此 IMC 层较厚。

D. 晶圆表面清洁度

如前所述，在回流工艺中使用有机助焊剂将不可避免地对晶圆表面造

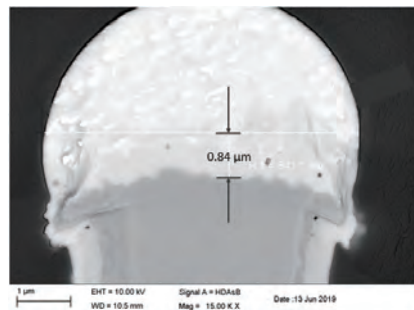


图 14. 直径为 5 μm 的铜柱凸点在含助焊剂回流 (260 $^{\circ}\text{C}$, 30 秒) 后所形成的 IMC 层。

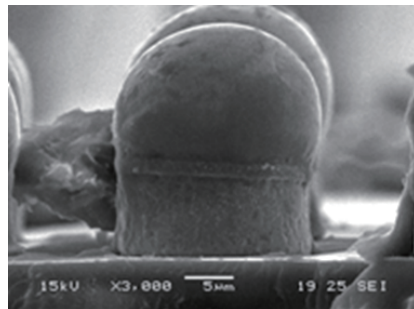


图 15. 助焊剂回流造成的晶圆污染。

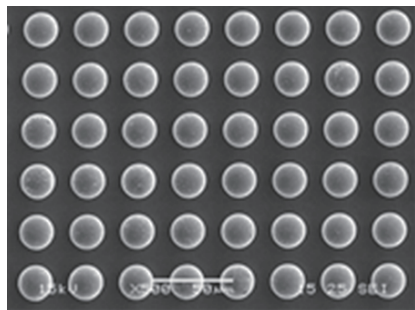


图16. 基于EA无助焊剂回流的晶圆表面并无残留、因为晶圆未受污染。

成污染。随着集成电路小型化的发展趋势，对工艺清洁度的要求也在不断提升；然而晶圆的后续清理的难度也在增大。特别是对于制作超细间距和高纵横比的铜柱凸点来说，彻底清除微小间隙中的残留几乎是不可能的。

图 15 展现了使用助焊剂回流的晶圆表面在经过清洗之后的实例。助焊剂的残留并未清除，且被牢牢捕获

在间距为 30 μm 的铜柱凸点之间。这一结果显示了基于助焊剂的回流已达到极限。作为比较，当相同的晶圆在回流时使用基于 EA 的无助焊剂工艺，无需清理便可达到晶圆表面无残留的效果（图 16）。

新技术的优势

本文介绍了一种以 EA 活化氢为基础的的新型无助焊剂技术，它适用于大规模生产的晶圆凸点回流焊。结果表明，这一技术在制作微米级焊料凸点的工艺中具有如下特殊价值：a) 有效抑制焊料滴落，b) 实现高质量的凸点形态，c) 可最大限度减小 IMC 层厚度，d) 确保晶圆表面无残留。相比之下，使用传统的助焊剂回流已在这些方面遇到难以解决的困难。◆

参考文献

1. C. Christine Dong, Richard E. Patrick 和 Eugene J. Karwacki, “无助焊剂焊接的新突破：氢离子回流焊”，SMT 中国，2013年4月/5月刊，第23-30页。
2. C. Christine Dong 和 Russell Siminski, “通过激活的合成气体进行无焊接附着”，IPC 2013年会议记录，加利福尼亚州圣地亚哥，2013年2月19日至21日，第一卷。3, pp.1900-1929。
3. C. Christine Dong, Richard E. Patrick, Russell A. Siminski 和 Tim Bao, “活性氢气氛中的无焊接”，2016年中国上海 CSTIC 会议论文集，2016年3月15日至17日，VIIA 1520-1535。
4. C. Christine Dong, Richard E. Patrick, Gregory K. Arslanian, Tim Bao, Kail Wathne 和 Phillip Skeen, “使用电子附件进行生产规模的无助焊剂回流焊”，“上海中国科学技术研讨会论文集”，上海，中国，2017年3月12日至13日，VII-0940-0955。

上接第22页

剥离工具就是这样的一种装置。当产品被置入干燥罐中之后，该装置就能立即通过一种或多种化学工艺进行加工，根据预先设定的配方进行冲洗和干燥，并不需要操作人员的干预，也没有机械活动部件需要维护。

例如，位于加利福尼亚州利弗莫尔的劳伦斯利弗莫尔国家实验室（Lawrence Livermore National Laboratories）的美国国家点火装置（National Ignition Facility，简称 NIF）就使用了这样的工具。NIF 是世界上最高能的激光系统，这台机器的占地面积约一座体育场的大小，其拥有 192 条激光束，通过这些激光束可聚焦接近 200 万焦耳的紫外线能量，产生的温度和压力与恒星和巨大行星的内核中所存在的温度和压力相似。NIF 清洗工具的创新之一（在一种罐状结构中使用，并专为清洗重达 300

磅的激光光学装置而设计）将免除了执行洗涤、漂洗和干燥功能而把光学器件移动到不同位置的需要。

Bertagnolli 解释说：“我们的工程师建议，与其为了执行此类功能而去传输这些笨重的光学部件，不如就将化学品（溶剂）传送到位于某个固定位置的光学部件那里。另外，我们还设计了一种类似吊索的装置来固定光学部件，而且还让技术人员在检查过程中旋转它们。”

JST 制作了两个用于 NIF 的清洗工具，它们是镜像，与可以构建一个传统线性传输工具的价格相同。这使得 NIF 的生产能力倍增，而且最重要的是提供了冗余性。

半自动化系统

许多吞吐量要求较低的处理器的可能会考虑采用半自动化清洗系统。与手

动系统相比，这些半自动化清洗系统能提供更好的可重复性、更快的生产速度、和更高的安全性。此类清洗系统适合 MEMS、LED 和硅芯片应用。它结构紧凑、通过软件进行控制、而且通常易于维修。JST 制造了一款名为 Tigriss 的标准、紧凑型半自动化湿式清洗台，这是一种双轴、从前端到后端紧凑的系统，被规模较小的半导体公司所采用。另外，还可提供这种半自动系统的一款双重版本。它在半导体制造商当中很受欢迎，当采用清洗酸、碱或固体来清除光刻胶时，他们将其用于半导体衬底的清洗、剥离和刻蚀。

Bertagnolli 总结说：“虽然设计工程师可能会放弃使用标准、自动化的湿法清洗设备，但是，根据项目的具体情况有针对性地调整选项，将能够显著地提高质量、生产能力和安全性，同时实际上削减了成本。”◆

从风险控制考虑高端半导体厂的AMC设计

在既有已经成熟的AMC评估技术基础上，透过自定义的风险因子，将建厂要求的AMC规格与工程设计评估的AMC浓度值进行结合，藉以表达不同的化学过滤器覆盖率方案对风险容受能力的差异，以为客户方案选定的判断依据。

高端半导体在生产制造技术上极具挑战性，在步入16nm制程以后，原本公认为重要的环境控制因子AMC，对高端半导体生产的顺利运营更加重要。因此，AMC控制的设计就成为高端半导体厂建厂的重要一环。

AMC是Airborne Molecular Contamination的缩写，其中Contamination是描述它的作用，很明显地，它对产品生产而言，是不受欢迎的，因此，被称为污染物。而Airborne，则是说明该污染物的传播方式，它是靠着空气，与一般空气混合着悬浮于空气之中。Molecular最为重要，它表明了该污染物的型态——事物在某一条件范围下所表现的形式，之所以要特别描述污染物的型态，是要把这类污染物与我们熟知的微尘粒（particle）污染物做出区隔，它的型态是分子态，也就是说，我们习惯使用的颗粒过滤器是处理不了这类污染物的，因为它们的尺寸实在太小了！

AMC对半导体的影响，从最早期的铝导线腐蚀，到机台端HEPA使用的阻燃剂（Fire Retarded）造成磷掺杂问题、有机物对薄膜电性影响^[1]，再到曝光机透镜（Len）及光

罩（Reticle）雾化（Haze）^[2,3,4]，乃至更先进的浸润式曝光（Immersion Lithography）与EUV曝光机^[5]、IPA对W Via生成干扰等，无不意味着AMC在高端半导体的工艺生产扮演着极其重要的负面角色。

有鉴于此，业界对AMC的控制便有长足的发展与进步，并且有很多种方式，比方说，生产车间内浓度的规定、化学过滤器使用寿命估算、生产车间浓度估算等。

由于从质量守恒角度推演出的浓度估算、化学过滤器的选用，到长期遵循的浓度规范，可以说都相当成熟；因此，本文讨论的重点不是这些，而是从风险的角度考虑如何利用前述的技术应对高端半导体的风险，以及如

何规划AMC控制设计与提案。

风险与AMC控制

如前所说，AMC对高端半导体厂的产品生产具有相当的影响性。图1是某高端半导体厂对产品生产环境中一般区域AMC的要求。

图1的浓度要求属于较低浓度水平。要满足这样一个低浓度水平规范，除了各类工程设计规划手法以及施工中低释气（outgas）材料的选用和施工过程通风之外，在日后的车间运行存在着那些干扰风险，有必要于前期的设计规划中予以考虑。那么到底存在哪些可能风险，我们可以拭目以待。

产品生产环境中的AMC来源于三处：1）户外，其实就是洁净室补

NH ₄ ⁺	F	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	TOC	IPA	丙酮	RC	TS
pbv						μg/m ³				ppbv
5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	25	20	20	20	2

图1. 高端半导体厂对环境中AMC的要求。



图2. 采样方法：(a)无机物使用；(b)有机物使用。

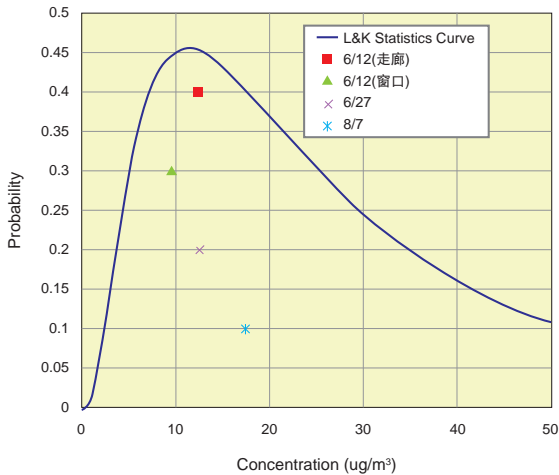


图3. 采样与数据库汇总。

入的新风；在现行设计下，新风除了传统的微尘颗粒过滤外，还有空气洗涤装置(Air Washer)以及化学过滤器。2) 建厂所使用的材料于安装完成后的微量释气效应；此一部分目前是透过施工过程的选材、工法、工序与通风来最大程度避免。3) 工艺生产过程中发生制程气体泄漏与逸散；理论上，从安全角度来看这样的事件是不应该发生的；普遍的来源有预防保养时的泄漏逸散（该部分可以透过假设临时隔离与负压抽离过滤来处理），也有误操作的原因，这点可以透过人员训练与各类防呆措施来避免。

在弄清楚了 AMC 的主要来源之后，我们有必要重新考虑风险对高阶半导体厂的定义，怎样才能更好地兼顾 AMC 控制需求与经济效益，从而可以用工程手法来实施可行的预防措施。

所谓的风险，并不是说 AMC 不能产生，而是 AMC 的产生量突然出现并远远超过既有的防护措施，进而造成生产损失。

依此观点，就能辨明和分析上述三点 AMC 的主要来源，进而确认后在后续设计过程中真正需要考虑的因

子。

就新风而言，在现行的设计里已经配有各类防线，然而在实际运行中，气候、风向、厂房周围未知产生源等因素的交互作用，确实存在各类突发事件的现象。最明显是硫化氢会在冬季因为取暖或桔杆燃烧或交通排放，在风向作用下硫化氢含量突然上升，因此新风确实存在一定的风险，对高端半导体厂的稳定运行可能产生影响；这有必要在设计过程中事先予以考虑。

关于材料释气，典型的范例如建

筑物的氨释放、环氧的氨及 VOC 释放、保温板 VOC 释放、硅胶的环硅烷释放等等。这些材料中气体的释放，只有在初建厂时期有大量释放的情形，在整个建厂过程中，释气是持续性的，而且透过适当地通风可以加速其释放，更重要的一点是随着时间的推移，释放率会趋于稳定甚至衰竭，这些都是可以预期以及事先考虑进去的。因此，此部分无需纳入风险设计的考虑范畴之内。

最后就是工艺化学用品的泄漏与逸散。严格来说，这属于工业安全事故，且不当发生。正常的生产会有化学品逸散的，但那不是泄漏。比如：干法蚀刻后从真空腔体取出的芯片，

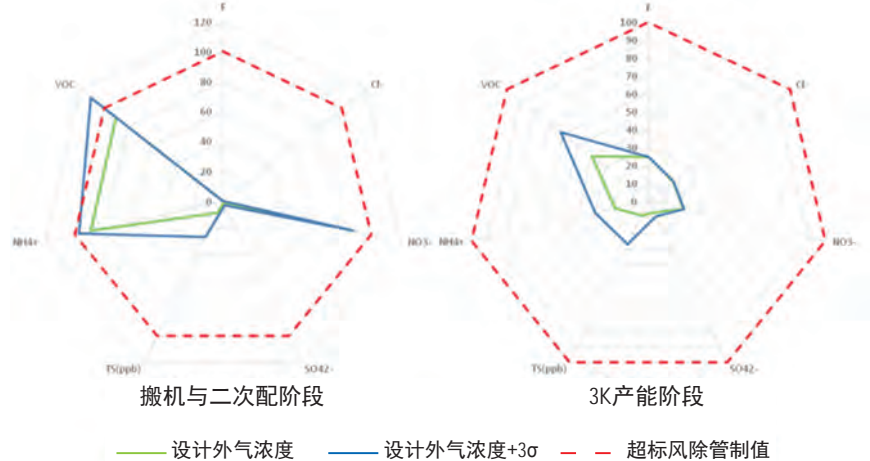


图4. 以AMC物种国标的风险因子关系图。

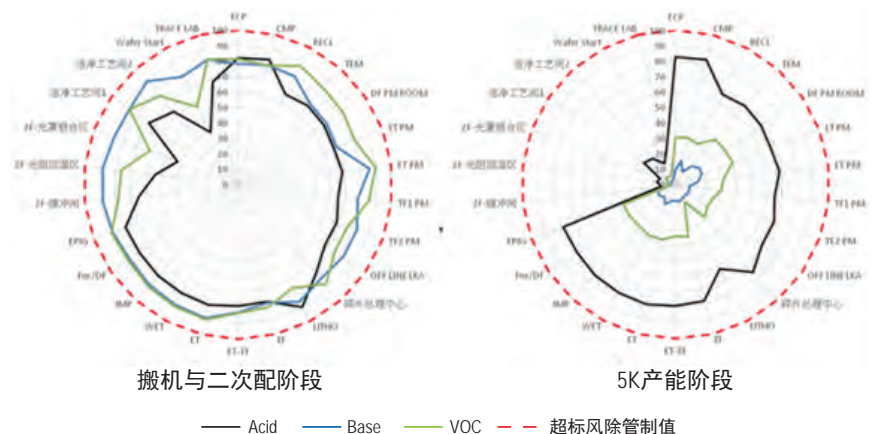


图5. 以工艺区域为主的风险因子关系图。

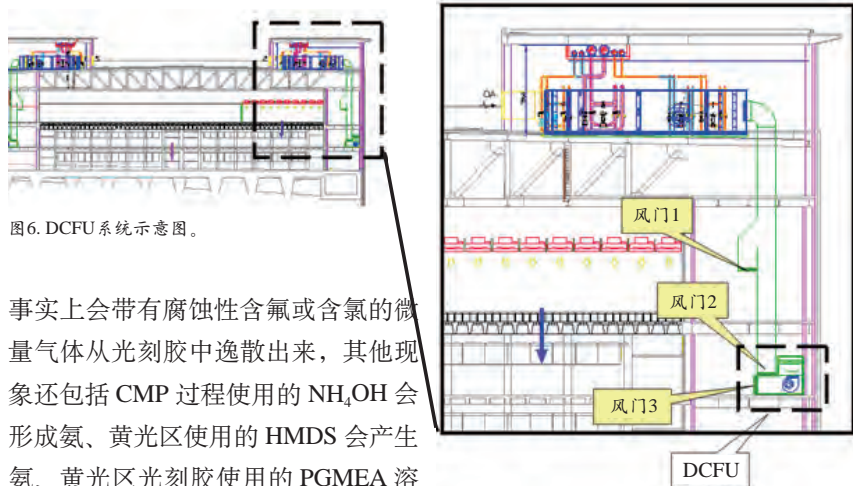


图6. DCFU系统示意图。

事实上会带有腐蚀性含氟或含氯的微量气体从光刻胶中逸散出来，其他现象还包括 CMP 过程使用的 NH_4OH 会形成氨、黄光区使用的 HMDS 会产生氨、黄光区光刻胶使用的 PGMEA 溶剂等等——这些产生率，从设计角度都属于可以预期并事先估算进去。因此，上述不能称之为风险。从这个角度看，我们暂时不把这种人为可控的意外事故作为考虑对象。

经由以上分析，就只有新风是个意外事故需要纳入考虑。特别是当建厂选址前的环境评估没有完整明确时，这样的风险考虑更有其必要性。

以下是罗列的一些案例，并介绍如何应用数据库概念的应对方式。

案例说明

某高端半导体厂拟兴建一座 10nm 以下工艺的芯片产品。在国内自主产品里，10nm 以下算是相当高

端的。因此，整厂的 AMC 设计与防治，自然就成为建厂过程中的重点。站在保守的设计角度，既然 AMC 防治如此重要，那么以 over-design 的方式来处理不就可以解决了吗？

但实际情况，并不是这样乐观。

基础数据

首先对于当地不同季节的新风 AMC 状态，业主缺乏详细的数据。这一点，根据前述的风险评估来看，是相当棘手的。可以重新量测，但是无法等待一整年的时间专为搜集数据，进场施工在即，设计和设置各项参数（化学过滤器数量、种类、吸附量规范等）的工作也是迫在眉睫。因此必须

找到另外的方法，使之有凭有据。

其次业主给出的新风 AMC 浓度，参考值高达 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。找厂商报价，没有一家能够在期望的使用年限里处理这样高的浓度。Over-design 是可以，但显然过头了。

倘若所选厂址附近也有潜在的高污染源，根据经验，该类厂房会产生 F-、Cl-、 NO_x 及 TOC（以 PGMEA、PGME、NMP 等为主）。根据之前的风险考虑来看，新风 AMC 确实有可能，特别是在风向吻合的时候。麻烦的是，建厂才刚完成尚未开始生产，我们无法透过对周边采样来评估邻居未来对 AMC 的贡献有多大，这意味着我们要有一套评估方法才行，否则所有设计的计算将无头绪。这边评估方法未定，另外还有限制条件。

限制条件

所谓的限制条件就是建厂成本。在当前全球已有诸多高端半导体厂的前提下，业主自然会希望能够将投资用在刀刃上，即购买高端先进的生产设备。站在投资者的角度，这是无可厚非、合理的。因此在设计上，over-design 的做法基本上行不通。设计所使用的计算参数必须有所根据。

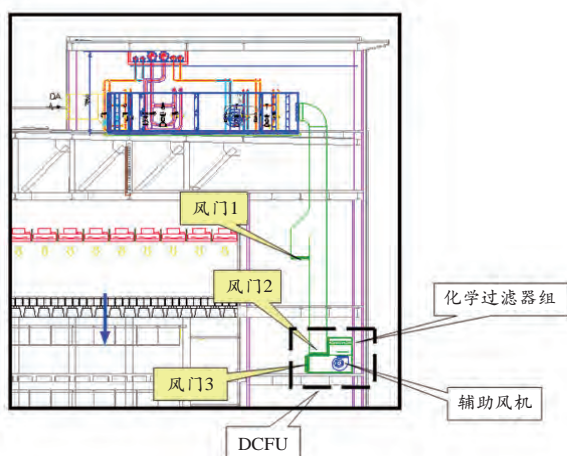


图7. DCFU详细构成与结构。

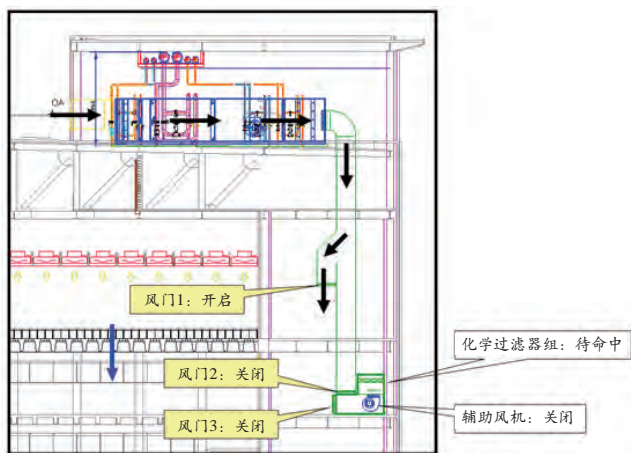


图8. DCFU在外气正常状况下的操作模式。

新风作为风险的主要因素，需要在短时间内做出衡量；同时在设计计算时还要考虑未来的潜在风险性。

再者室内化学过滤器应用不能盲目，如100%覆盖率安装；而且针对不同的化学药液（酸、碱、有机），它所对应的化学过滤器覆盖率也可能不一样，这些都应予以考虑。

最后化学过滤器的使用寿命受到污染物浓度的影响。事实上从建厂完成到设备 move-in 以及二次配施工阶段，其 AMC 种类与浓度特性和试产量产时的表现不同。从设计的角度看，这种过程差异对使用寿命造成的影响自然应该在设计时加以考虑。

• 对策与方向

在有限的时间里提供合适的让人信服的设计方案，这已成为问题的关键。新风部分需要实施有限次数的采样，而且只能在某个特定时段进行。面对这样的窘境，我们的对策是引入数据库。其次，对于新风的潜在风险，我们为采样数据引入标准偏差概念，从而恰当估算出新风的最高浓度值。

根据化学过滤器的种类与数量的安装覆盖率，在不同阶段，引入不同的 AMC 产生率，因为产生率是对过

去数据的总结。采用质量守恒推演计算，这在目前的工程技术中已经十分成熟，在此不作深入说明。

通过使用新风标准偏差概念，拟定不同化学过滤器数量，观察不同 FAB 生产车间工艺的潜在风险，并最终提供给业主选择与判断的参考依据。

新风处理

首先进行采样。在厂区所在地点，根据有机物与无机物两种方式安排采样工作。在有效的可用时间内，共采集了四项数据，但这些数据量确实远远不足以支持计算分析。

此外采样的时间点过于集中，根本不具代表性。在这样情况下需要借助数据库。所谓数据库，指和厂址处于同一个城市但未必同一地区。我们可以参考同一城市下的数据表现与本次集中采样的数据状况，以做出最终浓度值的判定。

数据库的统计曲线提供了该区域的常发浓度值，而四项数据则表现出与常发浓度值之间的相对关系。若四项数据小于或落在常发浓度值附近，那么可以用常发浓度值代表后续的新风浓度设计值；若四项数据远大于常发浓度值，从保守的角度来看，这时

可以取常发浓度值与采样最大值的均值作为新风设计值的代表。

• 标准偏差

即便应用了数据库，依然存在着低估风险，考察统计曲线，依然在高浓度有发生的机率，只是相对较低而已。高端芯片厂的要求较高，因此还需引入另一个考虑因素。

我们可以把采样结果与数据库中的数据进行对照求标准偏差，按照之前在数据库对比下所制订的浓度值，以提升1~3倍标准偏差的方式作为潜在新风浓度突然飙升的最大可能值。如此，所有新风的风险估算就显得有理有据，才有了进一步估算的可能。

风险分析

诚如前述，在考虑各种可能的风险及厂区周遭环境后，可以明确新风是最难捉摸的风险。因此，接下来的风险分析，将从不同的设计裕度、不同的化学过滤器覆盖率、以及在极端可能的新风浓度下的表现三个方向进行，以此作为评估日后运行的风险性。

• 风险因子与设计裕度

风险因子指的是在设定的化学过滤器覆盖率、室内产生率、新风浓度

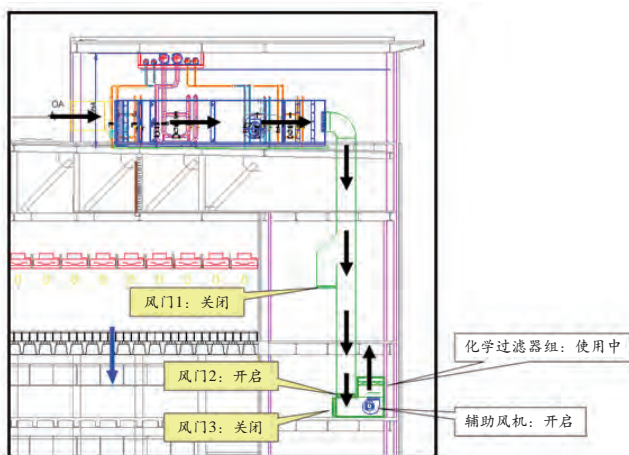


图9. DCFU在外气异常状况下的操作模式。

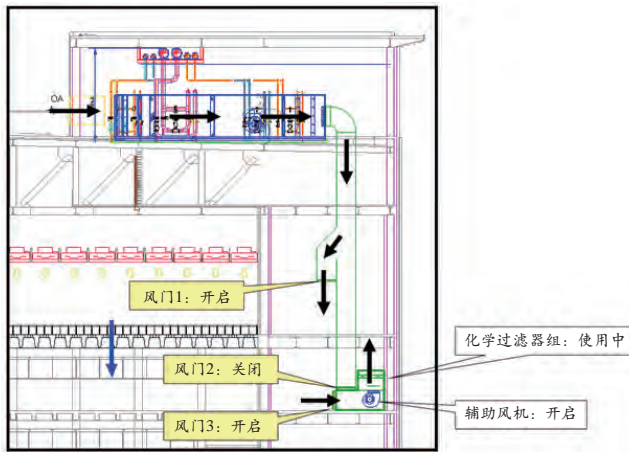


图10. DCFU在室内逸散事件的处理应用。

与 AMC 控制系统下所求得的浓度值与生产车间要求的 AMC 规范值的比值。当比值是 1 (100%) 或大于 1 的时候, 表示超标的风险极大。

设计裕度体现在风险因子的取舍上。假如期望保留 20% 的裕度, 那么当风险因子大于等于 0.8 时意味着有超标的风险。

由于每个工艺制程的 AMC 要求规范都不尽相同, 而计算时也是按照不同区域的工艺特性给定 AMC 产生率——工艺化学品正常逸散的污染物类别不同则逸散不同。因此, 这样评估可以看出不同区域在新风变动时, 哪些区域的风险最大。同样道理, 由于建厂完成到搬机阶段与试产量产阶段的 AMC 正常逸散量, 也不相同, 在这样的评估计算方式下, 这些差异都可以看得出来。

• 风险评估结果范例

由于 AMC 的控制方法成熟, 至于什么样的方案会得到什么样的风险评估结果, 在此就不赘述。我们关心的是上述思路是否能为决策者提供一个直观的方案作为对比。

风险评估结果可以视为该方案对新风突增的容受程度, 至于是否能容受, 与期望相差多少, 则由风险因子来表示。

图 4 是在某一种 AMC 控制方案下, 以物种为对象, 在不同阶段下, 以 3 倍标准偏差的新风浓度变动量考察方案的容受能力。图 5 则是以工艺所做的分析图。如下所示, 从风险因子的大小, 展示着在不同阶段(搬机与二次配及生产)、不同工艺区域其 AMC 的特性差异。

利用上述的概念, 可以求得不同化学过滤器覆盖率下(参照建厂与运

行成本)、不同设计裕度下的风险因子, 这样方便提供给客户一个直观的选择判断依据。

另一种对策

以上方案是在新风空调箱安装水洗(Air Washer)、化学过滤器的前提下, 通过调整洁净室内化学过滤器的覆盖率, 使整个厂房的 AMC 控制得当以应付外界新风突然产生的浓度变动。

另一个对策是根据目前主生产车间的洁净度来设计, 在回风道里有着足够空间, 我们可以在此空间安装一个风管末端化学过滤单元(DCFU)^[6](图 6)。此单元由箱体、风阀、风机及化学过滤器并搭配针对外气检测的传感器所构成, 细节如图 7 所示。

DCFU 系统是如何工作的? 在常态下外气污染物浓度极低, 此时外气不需要化学过滤器的处理, 可以直接送入洁净室内。因此, 我们将风门 1 开启, 风门 2 与 3 关闭, 辅助风机关闭(图 8)。

此时化学过滤器几乎没有消耗, 同时化学过滤器也没有增加新风空调箱的用电负载。

当外气污染物监测讯号接收到有外气污染源时, 也就是外气污染物浓度超过规范, 此时外气需要经过化学过滤器的处理, 否则不予直接送入洁净室内。此时 DCFU 将开启风门 2, 并关闭风门 1 与 3, 辅助风扇将打开(图 9)。

此时外气所吸入之空气将由风门 2 进入, 并借助辅助风机的抽引力通过化学过滤器去除污染物后, 与回风空气混合后进入关键的制程区域。在真正需要化学过滤器时我们再启用, 没有造成额外浪费。

当外气污染物监测讯号没有接收

到有外气污染源, 但是却发现洁净室内有发生污染泄漏逸散时, 也就是污染源来自厂内时, DCFU 系统将开启风门 1 与 3, 并关闭风门 2, 辅助风机将打开(图 10)。此时回风气体将通过风门 3 被抽引通过化学过滤器后, 与由风门 1 进入的洁净外气混合后, 进入关键制程区域。通过提供双倍的洁净空气稀释量, 系统帮助洁净室快速恢复原来状态。

此系统最大的特点, 就是让化学过滤器用在刀刃上, 可节省客户端的用电量以及化学过滤器的更换成本。总之, 系统尤其适用于处理类似外气突发的浓度上升事件。◆

参考文献

1. Tamotsu Ogata, Cozy Ban, Akemi Ueyama, Seiji Muranaka, Tomohiko Hayashi, Kiyoteru Kobayashi, Junji Kobayashi, Hiroshi Kurokawa, Yoshikazu Ohno and Makoto Hirayama, Impact of Organic Contaminants from the Environment on the Electric Characteristics of Thin Film Gate Oxide, Jpn. J. Appl. Phys. Vol 37, pp2468-2471, 1998
2. Hiroyuki Ishii, Atsushi Tobita, Yusuke Shoji, Hiroko Tanaka, Akihiko Naito, and Hiroyuki Miyashita, Root cause analysis for crystal growth at ArF excimer laser lithography, Proceedings of SPIE Vol. 5446, pp218-224, 2004
3. Kaustuve Bhattacharyya, William Volk, Brian Grenon, Darius Brown, Javier Ayala, Investigation of reticle defect formation at DUV lithography, Proceedings of SPIE Vol. 4889, pp478-487, 2002
4. Brian J. Grenon, Kaustuve Bhattacharyya, William Volk, Khoi Phan, Andre Pooch, Reticle Surface Contaminants and Their Relationship to Sub-pellicle Defect Formation, Proceedings of SPIE Vol. 5373, pp355-362, 2004
5. 张汝京等编著, 纳米集成电路制造工艺(第二版), 2017
6. 亚翔系统集成科技(苏州)股份有限公司, 无尘室及其空调方法, ZL 200610087018.5

工程师制成首个16位碳纳米管微处理器

三项创新突破使商用纳米管处理器成为可能

MIT 和 Analog Devices 公司的工程师制成了首个完全可编程 16 位碳纳米管微处理器。它是迄今为止最复杂的基于碳纳米管的 CMOS 逻辑集成，具有接近 15,000 个晶体管，该芯片采用经证实可在商业芯片制造工厂中使用的新技术制造。该处理器名为 RV16X-NANO，它的发明者称其是“超越硅技术”发展的一个里程碑。

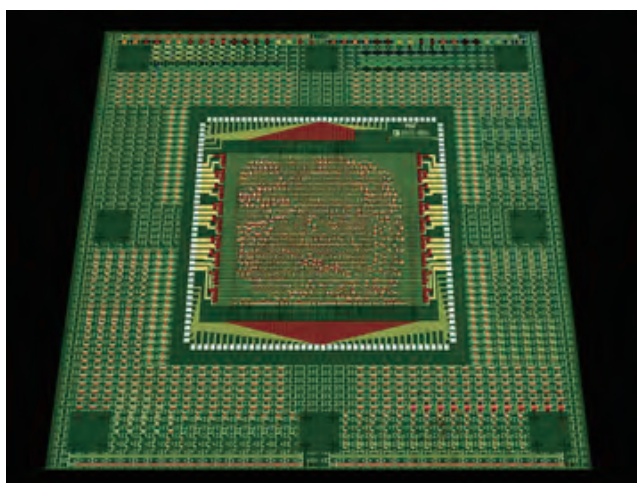
与硅晶体管不同，纳米管器件可利用密集 3D 互连制成多层。美国国防部先进研究项目局的希望是，这种 3D 互连将可以造就拥有当今尖端硅材料的性能，但是并不存在高昂的设计和制造成本的商用碳纳米管（CNT）芯片。

该小组的部分研究人员早在 2013 年就发表了性能适度的由 178 个晶体管组成的单数据位处理器。相比之下，这款基于开源 RISC-V 指令集的新型处理器则能支持 16 位数据和执行 32 位指令。自然地，这支由 MIT 助理教授 Max Shulaker 领导的研究团队通过运行经典的“你好，世界！”（Hello, World!）程序的某种版本测试了该芯片，并在《自然》（Nature）杂志上发表了研究成果。

Shulaker 说：“十年前，我们希望这是可能的。现在，我们知道这是可能的……而且我们知道这可以在商业生产工厂里完成。”

Shulaker 的团队和 ADI 公司的工程师，以及后来的 Skywater Technology Foundry 开发了三种商业上可行的技术来制造 RV16X-NANO。其中两种技术解决了碳纳米管纯度和均匀性的难题，第三种技术则实现了 n 型和 p 型晶体管形成互补逻辑电路。

1. 当制造 CNT 晶体管时，首先将纳米管放入溶液中并铺展在硅晶圆片上。大多数纳米管都均匀地分布在硅上，但是每隔一段时间，它们就会形成 1000 个或更多的束。这些束不能形成晶体管。Shulaker 解释说，当构建小型测试电路时，这并不是什么大问题，因为即使一个电路不能工作了，另一个也能工作。可是对于像 RV16X-NANO 这样的大规模集成，这些纳米管堆积将很普遍，足以使整个



照片提供：Max Shulaker、Gage Hills 和 Christian Lau / 麻省理工学院

处理器陷入困境。

RINSE（通过选择性剥离的方法移除生长的碳纳米管）是 Shulaker 的学生之一 Christian Lau 提出的一款解决方案，它依赖于这样一个事实，即：范德瓦尔斯力（van der Waals force）会使单个纳米管比束更强地粘在基板上。通过首先用光阻剂涂覆纳米管覆盖的基板，然后在适当的条件下小心谨慎地将其冲洗掉，此过程选择性地去除束，但是留下单个 CNT。

2. 虽然 RINSE 处理了一种碳纳米管杂质，但是另一种纯度问题几乎使整个项目崩溃。CNT 通常有两种基本类型，金属和半导体。在基于 CNT 的逻辑门中具有一些金属纳米管意味着该电路将浪费功率并产生噪声信号。但是，当您尝试构建全尺寸处理器时，多少个金属纳米管是过多呢？

Shulaker 说：“这是一个非常基本的问题。”令他吃惊的是，还没有人回答过。他的团队得出的答案是“相当令人沮丧”。目前最好的商业工艺能生产的是 99.99% 的半导体纳米管和 0.01% 的金属。但所需要的是 99.999999% 的纯度，这在今天是遥不可及的目标。

下转第36页

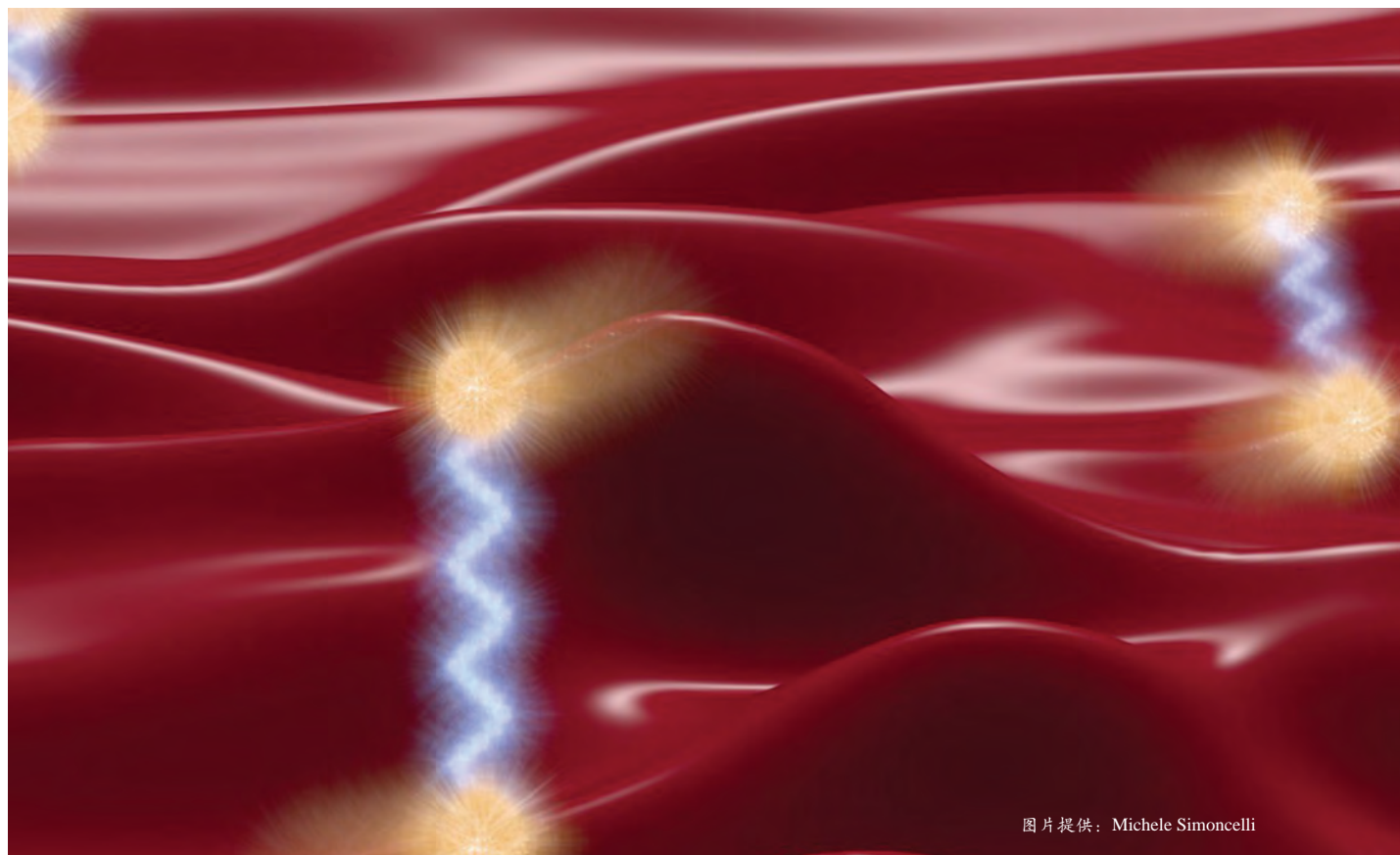
一种新颖的热传导理论： 以寻求高效热电材料

EPFL 和 MARVEL 研究人员开发了一种新的热传导理论，该理论能够最终描述和预测任何绝缘材料的导热系数。

热电材料尤其具有应用于能源领域的巨大潜力，因为它们利用废热（比如工业过程、汽车和卡车引擎、或者太阳产生的废热）发电。例如，将这些材料的导热系数降低三倍，将全面革新现有的废热回收技术，而且还包括所有的制冷和空气冷却技术。

一种针对所有绝缘材料的独特理论

在《自然物理》(Nature Physics) 上发表的“晶体和玻璃中的热传输统一理论”这篇论文中，Michele Simoncelli (EPFL 的材料理论与仿真 (THEOS) 实验室博士生) 与 Nicola Marzari (EPFL 的工程学院教授



图片提供：Michele Simoncelli

兼 THEOS 和 MARVEL NCCR 负责人) 及 Francesco Mauri (罗马大学教授) 携手提出了一种新的理论, 该理论最终解码了热传导的基本原子起源。迄今为止, 视所研究的系统的不同 (举个例子, 有序或无序材料, 如硅芯片或玻璃), 需要采用不同的输运方程, 没有一个输运方程能够同时解释所有的情形。现在, 通过直接从耗散系统的量子力学推导出一个输运方程 (这个方程涵盖了热量的平等扩散、跳跃和隧穿), 已经可以做到这一点。

废热回收

这一基本认识将使科学家和工程师能够准确地预测任何绝缘材料的导热系数 (在金属中, 热量由电子传递, 这一点是众所周知的), 对于热电材料 (即: 能够将热能

转换为电能的材料) 来说, 这是极其重要的, 因为这些材料兼具与晶体和玻璃相似的性质, 而且是废热回收或不产生温室气体的制冷非常需要的 (如果你觉得制冷很乏味, 那么值得记住的是: 阿尔伯特·爱因斯坦曾花费多年的时间试图发明一种新型冰箱)。

然而, 为了开发这种下一代技术, 科学家首先必需了解材料传导热量的方式和程度。Michele Simoncelli 说: “迄今, 两个不同的输运方程被用于计算热性能: 一个用于描述完美晶体材料 (即: 具有高度有序原子结构的材料), 而另一个则用于描述诸如玻璃等完全非晶态材料 (其原子不遵循有序结构)。”这些方程碰巧十分适合此类特殊情形。“但是, 在这两种极端情况之间存在着大量的有趣实例, 而上述的两个方程皆不适用, 这确实是我们的贡献产生深远影响的地方。”

上接第34页

Shulaker 说: “我们认为, 如果我们无法解决这个问题……那么我们不得不围绕它来设计我们的解决方案。”研究小组发现, 到目前为止, 所需纯度的主要驱动力不是功率问题, 而是噪声。在他们制作的许多逻辑电路中, 他们发现了一种模式, 此模式表明某些组合比其他组合更容易受到噪声问题的影响。“所以当时的解决方案很简单: 我们只需设计具有逻辑门良好组合的电路, 并避免使用错误的组合。”

DREAM (对抗金属性碳纳米管的设计弹性) 技术是博士后研究人员 Gage Hill 提出的一套设计规则, 可采用现成有售的碳纳米管实现大规模集成。

3. 第三项重大突破, 称为 MIXED (与静电掺杂交叉的金属界面工程), 允许创建 CMOS 逻辑所需的两种类型的晶体管, 这种晶体管几十年来一直在各种处理器中使用。为此, 您需要电子传导 (NMOS) 和空穴传导 (PMOS) 晶体管。之前针对纳米管处理器所做的尝试 (比如 Shulaker 作为研究生设计的一位系统) 仅采用 PMOS。

在硅中, 实现这种区别的方法是: 在晶体管的沟道区掺杂不同的原子以有效地向硅晶格中添加电子或窃取一些电子。但是这种“替代掺杂”对碳纳米管是不起作用的。Shulaker 说: “在不破坏纳米管性能的情况下交换原子是

很困难的。”

因此, 作为替代方案, 他们转向“静电掺杂”。这里, 设计了一种电介质氧化物来增加或减少纳米管中的电子。利用一种被称为原子层沉积的常用半导体制造技术, 研究小组能够一次沉积一个原子层的介电体 (比如: 二氧化铪)。Shulaker 解释说, 通过控制该层的确切组成, 例如含氧量稍少或稍多, 氧化物“要么向纳米管提供电子, 要么从纳米管中窃取电子。”

在谨慎选择所涉及的金属电极和 ALD 工艺之间, 研究人员能够可靠地将 PMOS 和 NMOS 器件结合在一起。

至关重要, MIXED 是一种低温工艺, 因此晶体管可以构建在其他电路层之上而不会损坏它们。事实上, RV16X-NANO 中的晶体管内置于为晶体管提供电源的一层互连和另一个将晶体管连接到逻辑门和更大系统的层之间。工程师对这种“掩埋式电源线”方案感兴趣, 旨在释放空间, 从而实现性能更好或尺寸更小的系统。但是它们在硅中更难实现, 部分原因是加工温度很高。

参考文献

Samuel K Moore, A Carbon Nanotube Microprocessor Mature Enough to Say Hello (<https://spectrum.ieee.org/nanoclast/semiconductors/processors/modern-microprocessor-built-using-carbon-nanotubes>)



THERMAL SYSTEMS

LOOK FURTHER GO BEYOND



Fast and efficient for the perfect result.



Strong performance with large components.



VisionXP+ Vac

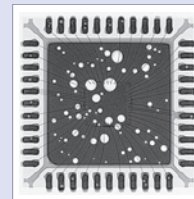


CondensoX-Line

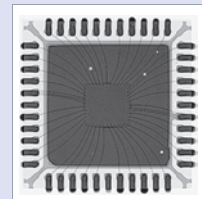
为何选择真空焊接？ ——更加可靠，更为精确

利用无铅焊料进行无空洞焊接是电力电子产品制造的一项重要要求。然而，只有在焊料处于熔融状态时进行真空制程，才能实现较低的空洞率。锐德热力设备（REHM）可为您提供多种高效的真空解决方案，包括对流焊接，气相焊接以及接触式焊接。

联系我们即可获得更多VisionXP+ Vac, CondensoX-Series 以及Nexus! 系统资讯！



非真空焊接



真空焊接

锐德热力设备(东莞)有限公司 | 中国广东省东莞市长安镇振安东路76号平谦工业园J栋1楼
T +86 769 - 8238 0238 | F +86 769 - 8238 0239 | info@rehm-group.com | www.rehm-group.com



水会在有机电子产品中形成陷阱

当我们以正确的方式制造时，低质量的有机半导体可以变成高质量的半导体。

发 现有有机材料（如聚合物）可以作为半导体，在 2000 年获得了诺贝尔化学奖。从那时起，有机电子学领域的研究真正爆发，尤其是在瑞典林雪平大学 (Linköping University)。林雪平大学是这一领域中世界领先研究成果的聚集地。

然而，有机半导体不能像硅或其他无机材料的半导体那样有效地传导电流。科学家们发现，其中一个原因是在有机材料中形成的陷阱会困住载流子。全世界的几个研究小组一直在非常努力地理解这些陷阱的位置，以及怎样才能消除它们。

有机半导体中的陷阱

林雪平大学复合材料与器件部门的应用物理学教授 Martijn Kemerink 表示：“所有的有机半导体中都存在陷阱，但是它们在 n 型材料中很可能是一个更大的问题，因为这些材料总体上比 p 型材料的半导体性能更差。”

p 型材料具有正电荷，电荷载流子由空穴组成，而 n 型材料则具有电子形式的电荷载流子，这使材料带负电荷。

Martijn Kemerink 和他在林雪平大学的同事们得出结论，水才是“罪魁祸首”。具体来说，水被认为存在于有机材料的纳米级孔隙中，并且是从环境中吸收来的。Martijn Kemerink 说：“在 p 型材料中，水中的偶极子以它们的负端对着空穴的方式进行对齐，空穴带正电，并且整个系统的能量被降低。也许可以这么说，偶极子嵌入载流子，使得它们不再能到处移动。”

对于 n 型材料来说，水中偶极子的朝向相反，但是效果却一样，电荷被困住。实验是在材料被加热的情况下进行的，加热的目的是使其变干，并使水分消失。材

料在一段时间内工作得很好，但是后来又会重新从周围空气中吸收水分，因而导致通过干燥获得的大部分好处消失殆尽。

在干燥的空气中进行制造

“水越多，陷阱就越多。我们也展示了，制造出的薄膜越干燥，其导电性就越好。Mathieu Linares 的理论研究工作证实了我们的想法，结果令人非常满意。我们发表在《自然材料》(Nature Materials) 期刊上的论文指出了怎样排出水分，以及如何确保水分不再进来，从而制造出具有稳定导电性能的有机材料。”

在材料变干之后，为了防止水分重新进入到材料中，科学家们开发了一种去除空隙的方法，否则水分子会利用这些空隙进行渗透。这种方法基于一种组合，即在合适的有机溶剂中加热材料。

Martijn Kemerink 说：“只要在干燥空气中制造这些半导体材料，那些之前被认为是极差的半导体材料，现在却可变成良好的半导体。我们展示了干燥制备的材料往往保持干燥，而在潮湿环境中制备的材料则可进行脱水处理。然而，后者对于水特别敏感。我们测试所用的材料就证明了这一点，但是没有迹象表明其他的有机半导体材料会表现得不同。”

参考文献

General Rule for the Energy of Water-Induced Traps in Organic Semiconductors. Guangzheng Zuo, Mathieu Linares, Tanvi Upreti and Martijn Kemerink, Linköping University, Nature Materials, 2019 DOI 10.1038/s41563-019-0347-y

CS INTERNATIONAL CONFERENCE

Why should you choose to sponsor with CS International?

- Are you looking to accelerate your growth and reach the major players in the compound semiconductor industry?
- Do you want to educate, influence and network with the industry?



If you have answered yes to any of the questions above, then CS International 2020 is the perfect event for you. Here are but a few reasons why you must consider sponsorship.

Reasons to sponsor

1. Access and network with the top strategists within the compound semiconductor industry

Celebrating its tenth anniversary, CS International 2020 will allow you to engage with 450+ key senior decision makers from the major companies across the compound semiconductor industry in one dedicated exhibition hall, including over 30 international experts, who will speak at the conference.

2. Raise brand and company awareness

We have an intensive and multi-faceted marketing program available and already underway, which includes email marketing, social media, conference partners, direct mail and live events in addition to promotion in the prestigious Compound Semiconductor print and digital magazine. Coupled with the marketing program, the support of our highly esteemed Conference association and media partners ensure your company, product and service will achieve maximum visibility within the compound semiconductor industry for the next 7 months.

3. Thought leadership and credibility

Aligning with the premier compound semiconductor conference will give you a great opportunity to be positioned as a thought leader in the industry. Engage in debate, share insights and expertise on industry challenges with your peers.

4. ROI and long-term partnerships

Many of our sponsors repeatedly support the event year on year, demonstrating how the industry trusts the CS International brand as the leading information and networking resource to deliver the best programme and ROI. Unparalleled networking opportunities enable you to both build existing and generate new relationships and demonstrate ROI by aligning with the conference brand.

5. Accessibility

We have opportunities to suit all budgets.

6. Post-event exposure

Even when the event is over, you will be included in off-season conference promotional activities, plus the CS print and digital magazine as well as the weekly email newsletter.

7. Expand your audience

CS International is part of AngelTech, a brand which uniquely delivers insightful, engaging and high-valued conferences that have tremendous synergy between audiences. The current line-up, attracting more than 700 delegates, consists of co-located Compound Semiconductor (CS) International, Photonic Integrated Circuits (PIC) International, and Sensor Solutions International (SSI). Delegates can choose between which sessions they want to participate in and the single exhibition hall layout enables exposure to 3 different but related audience.

Contact: sponsor@csinternational.net to discuss opportunities with the CS International Conference and Exhibition team or by calling +44 (0)2476 718 970 today.

Sponsorship opportunities are limited.

Advertiser	广告商名称	网址	页码
CS International Conference		www.csinternational.net/register	39, IBC
EDI CON China 2020	电子设计创新大会	www.mwjournalchina.com/edicon	1
ITW EAE		www.itweae.com	15
优普士			23
锐德热力设备		www.rehm-group.com	37
中电南方		www.zjnf.cn	9

欢迎投稿

《半导体科技》(Silicon Semiconductor China) 是针对中国半导体市场的行业杂志, 是全球知名权威杂志的《Silicon Semiconductor》“姐妹”杂志, 由香港雅时国际商讯以简体中文出版发行。

本刊针对中国半导体市场特点, 精选《Silicon Semiconductor》的文章, 并采编报道国内外半导体业界新闻、深度分析和权威评论, 为中国半导体行业提供全方位的商业、技术和产品信息。内容覆盖半导体制造工艺技术、封装、设备、材料、测试、MEMS、平板显示器等, 服务于中国半导体产业, 从 IC 设计、制造、封装到应用等各个方面。

本刊欢迎读者和供应商投稿, 采用的稿件将在印刷版本或者网上刊登。

文章投稿指南

1. 主题突出、结构严谨、短小精悍, 中文字数以 3000 字左右为宜。
2. 文章最好配有 2-4 幅与内容有关的插图或表格。插图、表格按图 1、图 2、表 1、表 2 的次序编号, 编号与文中的图表编号一致。
3. 请注明作者姓名、职务及所在公司或机构名称。作者人数以四人为限。
4. 文章版权归著作者, 请勿一稿多投。稿件一经发表如需转载需经本刊同意。
5. 请随稿件注明联系方式(邮编、地址、电话、电子邮件)。

本刊优先刊登中文来稿(翻译稿请付英文原稿)。

投稿邮箱: sunniez@actintl.com.hk

新产品投稿指南

1. 新产品必须是在中国市场新上市、可以在中国市场上买到。
2. 新产品稿件的内容应包含产品的名称、型号、功能、主要性能和特点、用途等。
3. 新产品投稿要求短小精悍, 中文字数 300 字左右。
4. 来稿请附产品照片。最好是在单色背景下的产品实物照片, 照片分辨率不低于 300dpi。
5. 来稿请注明能提供进一步信息的人员姓名、电话、电子邮件。

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Head Office (香港总部)

ACT International (雅时国际商讯)

Unit B, 13/F, Por Yen Building,
No. 478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan, Kowloon, Hong Kong
Tel: 852 28386298

Publishing Director (出版总监)

Adonis Mak (麦协林), adonism@actintl.com.hk

Editor-in-Chief (总编辑)

Sunnie Zhao (赵雪芹), sunniez@actintl.com.hk

Sales Director (销售总监)

Sky Chen (陈燕), skyc@actintl.com.hk

General Manager-China (中国区总经理)

Michael Tsui (徐旭升), michaeltsui@actintl.com.hk

London Office

Hannay House, 39 Clarendon Road
Watford, Herts, WD17 1JA, UK.
T: +44 (0)1923 690200

Coventry Office

Unit 6, Bow Court, Fletchworth Gate
Burnsall Road, Coventry, CV5 6SP, UK.
T: +44 (0)2476 718 970

Publisher & Editor-SiS English

Jackie Cannon, jackie.cannon@angelbc.com
+44 (0)1923 690205

销售人员 Sales Offices

China (中国)

Shenzhen (深圳)

Jenny Li (李文娟), jennyli@actintl.com.hk
Gavin Hua (华北平), gavinH@actintl.com.hk
Tel: 86 755 2598 8571

Shanghai (上海)

Hatter Yao (姚丽莹), hattery@actintl.com.hk
Helena Xu (许海燕), helenax@actintl.com.hk
Amber Li (李歆), amberL@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Beijing (北京)

Cecily Bian (边团芳), cecilyB@actintl.com.hk
Tel: 86 135 5262 1310

Wuhan (武汉)

Sky Chen (陈燕), skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991
Eva Liu (刘婷), eval@actintl.com.hk
Tel: 86 138 8603 3073
Grace Zhu (朱婉婷), graceZ@actintl.com.hk
Tel: 86 159 1532 6267

Hong Kong (香港特别行政区)

Mark Mak (麦协和), markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

Asia

Japan (日本)

Masaki Mori, masaki.mori@ex-press.jp
Tel: 81 3 6721 9890

Korea (韩国)

Lucky Kim, semieri@semieri.co.kr
Tel: 82 2 574 2466

Taiwan, Singapore, Malaysia (台湾, 新加坡, 马来西亚)

Regional Sales Director
Mark Mak (麦协和), markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

US (美国)

Janice Jenkins, jjenkins@brunmedia.com
Tel: 724 929 3550
Tom Brun, tbrun@brunmedia.com
Tel: 724 539 2404

Europe (欧洲)

Shehzad Munshi, Shehzad.Munshi@angelbc.com
Tel: +44 (0)1923 690215
Jackie Cannon, Jackie.cannon@angelbc.com
Tel: +44 (0) 1923 690205

3 EVENTS

2 DAYS

1 TICKET

31 March - 1 April 2020

Sheraton Brussels Airport Hotel, Belgium

One ticket gives you access to a 2 day event which will see 3 groups of device makers gathered under one roof.

Hear over 100 presentations covering the entire spectrum of the compound semiconductor, integrated photonics photonics and global sensor supply chain.

**CS INTERNATIONAL
CONFERENCE**

Connecting, informing
and inspiring
the compound
semiconductor industry

www.csinternational.net



**Talk to us about sponsorship NOW
as it will be another sellout**

**PIC INTERNATIONAL
CONFERENCE**

Creating and
strengthening
links between
chipmakers and
network builders

www.picinternational.net

**SSI INTERNATIONAL
CONFERENCE**

Sensor Solutions:
Market opportunities



www.sensorsinternational.net

REGISTER NOW, AND SECURE YOUR PLACE. REGISTRATION ALLOWS ACCESS TO:
CS INTERNATIONAL, PIC INTERNATIONAL AND SSI INTERNATIONAL





您的技术信息平台



一系列产品—包括国际专业技术杂志的
中文版、网上出版物、会议、培训和活动

www.actintl.com.hk

雅时国际商讯 (ACT International) 成立于1998年, 为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT通过它的一系列产品—包括杂志和网上出版物、培训、会议和活动—为跨国公司及中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。ACT的产品包括多种技术杂志和相关的网站, 以及各种技术会议, 服务于机器视觉设计、电子制造、镭射/光电子、射频/微波、化合物半导体、半导体制造、洁净及污染控制、电磁相容等领域的约二十多万专业读者及与会者。ACT亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港, 在北京、上海、深圳和武汉设有联络处。

香港
852-28386298

深圳
86-755-25988571

上海
86-21-62511200

北京
86-10-84844007

武汉
86-27-59221554

