

微电子器件的金相制备



应用说明

近25年来, 电子设备开发与生产技术持续、快速地发展。以往的电子设备和电子消费品大多数庞大笨重, 内部部件均采用大型印刷电路板单独连线。如今, 电子设备的便携性成为促进电子设备微型化的驱动力。计算机、移动电话和摄像机的外形不断缩小, 功能不断增多。微电子器件的不断发展为电子元件的微型化奠定了基础, 而微电子器件的核心部件就是集成电路 (IC)。IC的诞生使 (电阻、电容、晶体管等) 单体电子元件作为电子电路中积木式部件的需求量大幅降低。与有线电路相比, IC的优势在于尺寸和重量大幅减小, 可靠性增强、成本降低、电路性能进一步提高。

集成电路是将整套电子电路中的晶体管、二极管等有源元件与电阻、电容

等无源元件组合 (集成) 在一小块半导体材料 (通常为硅) 上而制成的装置 (图 1 和图 2)。这种装置被称为芯片。芯片融合了晶体管、电容器和其他类型电子元件的各种功能, 将所有电子元件互连后完成一个复杂电路所执行的任务。互连芯片的设计与制造就称为封装 (见下文)。这些芯片化元件被贴装在印刷电路板上, 印刷电路板插在电子设备中 (图 3)。

这些元件均为批量生产, 因此其质量控制通常仅限于通过热循环试验来检测有故障的部件。但是, 芯片化元件的开发、设计和失效分析中却要求观察元件金相断面中的微孔、裂缝和空洞及焊球、导电层、接点等。

另外, 金相分析还作为不同工序的产品的现场检测方法。由于这些元件体积很小, 为了保证金相试样制备与观察的精度, 要求采用专用制备技术和工具。



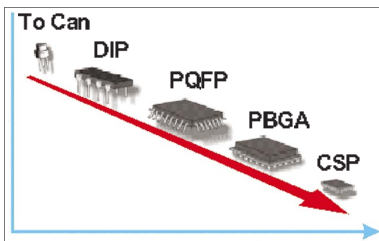
图 1: 线性集成电路详图, 位于中心部位的各种引线、晶体管、电阻、导孔和电容。



图 2: 硅片横断面, 带有各种 IC 导线。



图 3: 封装在印刷电路板上的各种元件



IC 封装技术的演变过程。由 Tessaera 公司特许转载。

金相制备过程中面临的难题

制备微电子器件用于金相检测时, 需面临的主要难题就是小试样的几何特性。集成电路体积小、结构复杂, 为制备工作带来最严峻的挑战。制备过程中需考虑到其三维属性, 要想获得具有代表性的试样, 必须花费时间、耐心以及保证精度。以下所述为微电子器件制备过程中一些常见的难题:

切割: 晶片、玻璃和陶瓷的切碎与断裂

镶样: 机械变形与热损伤

研磨: 玻璃纤维或陶瓷等脆性组件的断裂 (图 4)。

抛光: 软金属层的拖尾。元器件材料硬度差异导致浮凸 (图 5)。碳化硅和金刚砂微粒遗留在焊料中 (图 6)。



图 4: 粗磨砂纸导致的玻璃二极管断裂损伤。

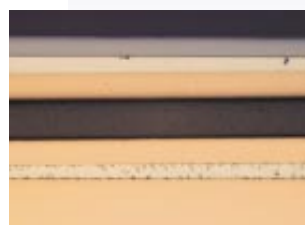


图 5: 抛光过程中因材料硬度不同导致的浮凸现象。



图 6: 焊料中的金刚砂微粒。

解决方案:

采用专用工具和自动设备对目标进行快速切割、研磨和抛光。

采用冷镶法。

在刚性磨盘上用金刚砂和硬抛光布进行精磨和抛光。

微电子器件的生产过程和应用

芯片化元器件的生产工艺非常复杂，从新型元器件的设计到最终产品的生产，需要多个专业生产厂家交叉参与。以下对芯片化元器件的基本生产工序作简要描述：

设计

当电子设备制造商决定生产新产品时，需要使用各种微电子器件来实现设备的各种功能与特性。芯片设计是新型元器件的生产内容之一，其中还涉及封装的设计选型。对于元器件的设计，制造商既可内部负责解决，也可向专业设计所或芯片生产厂家外购。

原型制作

为检验新型元器件是否具备所需性能，通常会生产大量原型并对其进行测试。在这一阶段，金相分析扮演着一个重要的角色，有大量横断面必须采用金相分析法进行处理与评估。金相检测既可由设备制造商进行，也可交给芯片制造商和 / 或封装公司完成。

芯片生产

芯片生产将根据芯片设计由芯片制造商完成。芯片母材为一块从单晶体（常为硅晶体）上切割下来的晶片。

封装

芯片必须经过电子元器件的互连和组装才能工作。这些互连的设计与制造过程就称为封装。制造过程结束后，引线、焊球、导电层的连接点全部用塑料或陶瓷覆盖。晶片被切割成单片并采用不同的方法进行封装（图7）。互连技术主要有两种：引线键合和球栅阵列（BGA）。紧密性要求较高时，可采用倒装芯片技术，直接将芯片与PCB互连。

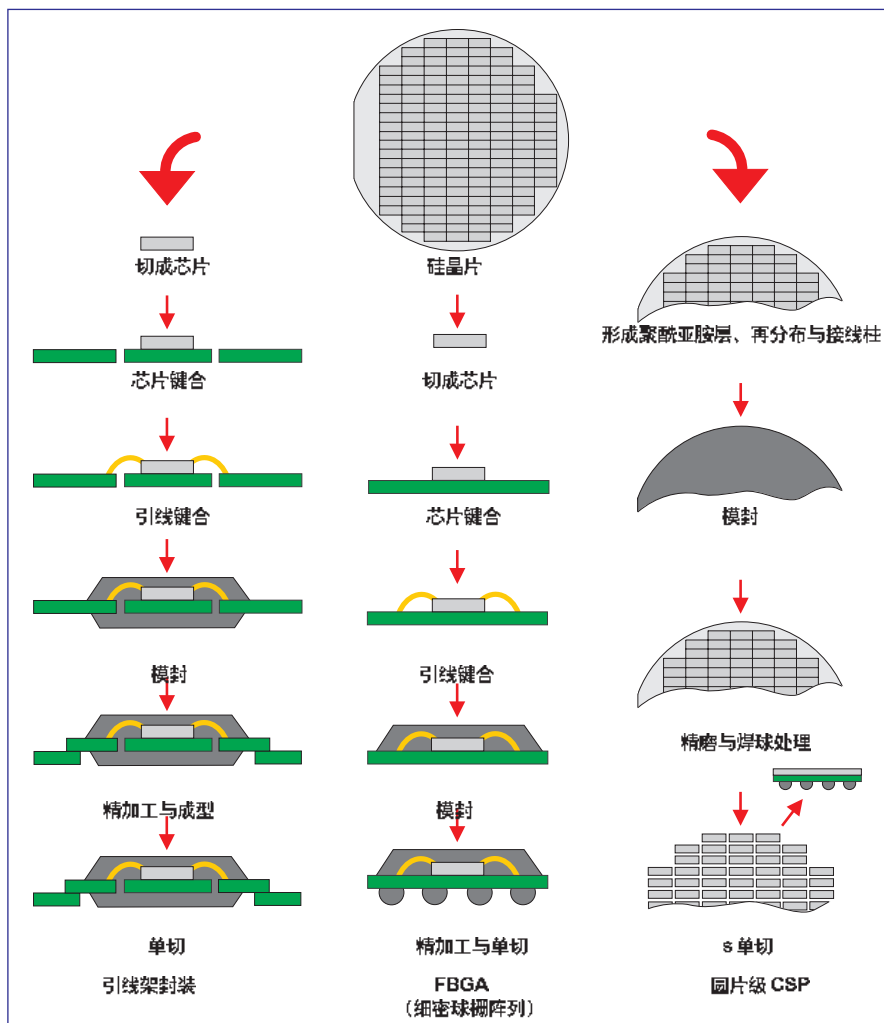


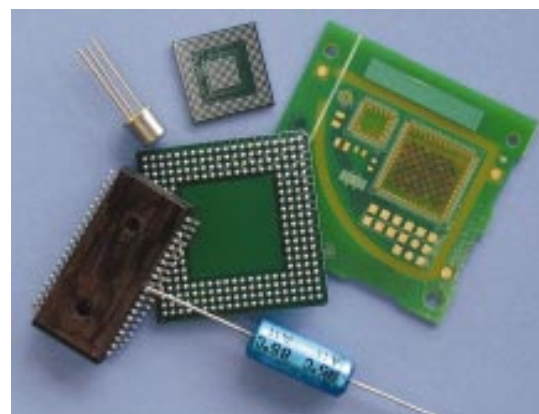
图7: 不同的芯片封装方法

测试

在这一制造阶段，批量生产质量将通过热循环测试加以控制。这是寻找故障元器件的最后一项测试。

应用

微电子器件可广泛应用于通信产品、数据处理产品和消费品等多个领域。一辆汽车可能就包含多达150个电子计算机装置。但是，微电子器件的应用正日益扩展到非传统领域。新的应用领域层出不穷，如超级市场货品自动扫描设备，每件产品上都使用了超薄柔性芯片。



各式各样的微电子器件



新的应用领域层出不穷，如超级市场的货品自动扫描设备，每件产品上都使用了超薄柔性芯片。

微电子器件的金相制备中面临的难题

观察给定试样的某一特定区域是进行金相检测的主要要求之一。用手工方式“边磨边看”，直到目标出现，然后抛光，这种技术是非常费时的。在失效分析中，丢失目标常常意味着唯一试样和/或贵重试样的丢失。

在微电子器件中，特性迥异的各类材料被封装在一起：玻璃、陶瓷、金属和聚合物（图8）。这些材料的各种组合要求制备方法需满足：能够呈现这些材料的个体特征，但不产生金属和聚合物的拖尾或玻璃或陶瓷的损伤等任何人为缺陷。这一点特别重要，因为微电子器件检验中涉及各类评估，评估期间制样产生的人为缺陷可能导致错误的评估结果。评估需要对下列若干项目进行检查：

孔洞、夹杂物和裂缝等缺陷的尺寸和分布（图9）。材料与其连接面的粘度和键合程度。

封装中不同部件的尺寸和外形：层厚、引线和焊点的弯液面。陶瓷孔隙率和裂缝。平整度和边角保护特别重要，因为各种材料间的间隔层极薄，必须高倍放大进行检测（图10 a和b）。

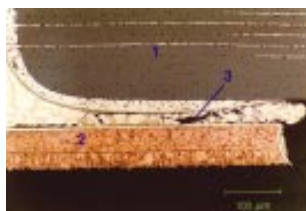
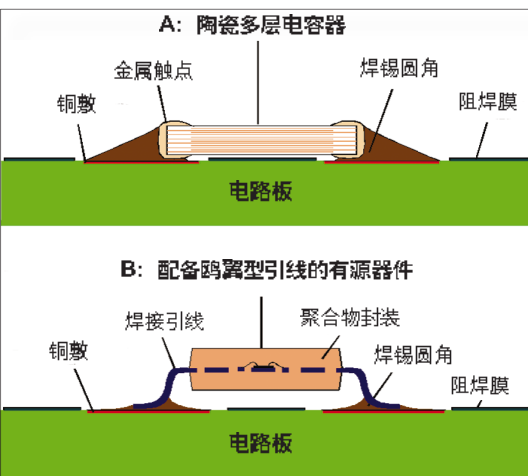


图9: 焊接在铜金属化电路板(2)上的多层电容器(1)。连续蔓延穿过焊料的疲劳裂缝(3)



10 a



10 b

图10a和b: 覆铜陶瓷高倍放大后呈现出不同的平整度: a) 用碳化硅砂纸初次精磨后; b) 用金刚砂在MD-Largo精磨盘上初次精磨后。

推荐方案

微电子器件的大部分金相检测均在横断面上进行，在此提到的各种制样步骤也是针对横断面进行的。但是，某些特殊项目的检验也需要在纵剖面上进行，在此提出的大多数推荐方案对纵剖面的检测也同样有效。

如上所述，微电子器件横断面检查的主要目的之一是呈现元器件中的某一特定目标区域的状态。在切割和研磨过程中切削材料时应十分谨慎。切割和研磨有若干种技术可供选择，下文将介绍几种手动、半自动和自动的方法。自动化程度越高，发现检测目标的成功率也就越高。

切割: 根据需研究的试样类型，可选择不同的精密切割机完成切割。例如，移动电话或贴装有元器件的电路板可以在中型切割机上轻松切割出横断面，就像 Secotom-1/10 那样，操作员可以通过切割砂轮进行手动切割。建议使用电镀金刚砂轮切割塑料(433 CA) 或使用树脂粘结金刚砂轮(352CA 或 452CA)。分割单体、小型或易碎元器件且精度要求较高时，推荐使用 Accutom-5/50。

根据元器件或组件的尺寸或易碎程度，切割前必须将部件或元器件镶嵌固，避免造成机械损伤。



Secotom-1



Accutom-5

在任何情况下，切口均应与实际观察区域保持足够远的距离，避免直接损伤观察区域。横断面切割完成后，应小心地将剩余材料磨掉。初始工序越谨慎，陶瓷、芯片和玻璃发生裂缝或材料层或焊点发生剥离的可能性就越小。

镶样: 由于微电子器件有组合性和易碎性的特点，不适于采用热压镶样法，因此必须采用冷镶样法。不推荐使用固化温度较高的冷镶样树脂，因为固化产生的热量会影响焊料和聚合物，快干树脂的高收缩性会导致硅晶片开裂。

采用的分析方法不同，镶样方法也不同。光学显微镜观察采用常规的镶样，使用透明的环氧树脂(EpoFix、SpeciFix-20)。如果需要填充孔洞，建议采用真空浸渍法。在光学显微镜中使用宽带蓝色滤光片和窄带橙色滤光片观察时，将荧光染料(EpoDye)与环氧树脂混合在一起，可以产生很好的空洞和裂缝衬度。对于很小的导孔，建议采用低粘度透明树脂，便于顺利流入孔洞中(ViaFix)。采用司特尔公司的Target-System时，元器件可直接镶嵌在用于目标制备的专用试样座上(见右图所示)。



表 1
30 毫米直径已镀微电子
元件的制备方法

研磨与抛光

根据元器件大小和制备试样的数量，可选择手动、半自动或全自动研磨与抛光方法制备纵剖面 and 横断面。用粗磨料进行平面研磨可能损伤脆性材料并导致软金属发生严重变形（见图 4），因此，作为规定，请勿使用这种研磨方法。为了获得良好的平整度，建议用金刚砂在刚性磨盘（MD-Largo）上精磨，代替碳化硅砂纸研磨法。随后在丝织物上进行金刚砂抛光可起到很好的平整度保持作用。如果软金属内含磨粒，则应延长金刚砂抛光时间，直到这些微粒被彻底去除为止。用胶态氧化硅（OP-U）进行终抛光的时间应短，以免产生浮凸现象。

手动和半自动的目标制备

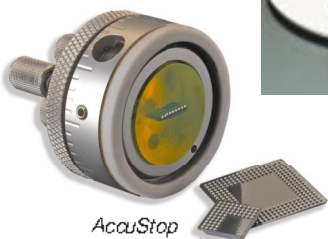
在非封装晶片和晶片组件的手动制备中，Tripod 是一种配合手动“边磨边看”方法的有效工具。如采用这种方法，粒径在 30 微米到 0.05 微米的研磨膜被固定在玻璃板上，试样研磨和抛光以手动方式完成。

用碳化硅砂纸以手动和半自动方式进行受控材料磨削和目标制备时，Accustop 和 Accustop-T 可作为已镀和未镀微电子元件的专用试样座。

Tripod








放置在试样座板上的
Accustop








研磨

用 Accustop 在 320#、500# 和 1000# 碳化硅砂纸上对目标附近区域进行手动或半自动研磨后，将试样插入自动设备中用金刚砂进行精磨和抛光。

步骤		FG		
	表面	MD Largo		
	悬浮液	DiaPro Allegro/Largo		
	每分钟转数	150		
	力 [牛]	30		
	时间	4 分钟		

抛光

步骤		DP1	DP2	OP*
	表面	MD-Dac	MD-Nap	MD-Chem
	悬浮液	DiaPro Dac	DiaPro Nap R	OP-U / OP-S
	每分钟转数	150	150	150
	力 [牛]	20	20	15
	时间	3 分钟	1 分钟	0.5 分钟

* 可选步骤

Accustop-T 的倾斜功能可将多个目标同时研磨，如一排焊球，使这些目标一次性研磨至同一平面。

用 Accustop 将几个试样手动或半自动研磨至距离目标约 50 微米的位置时，将试样从 Accustop 中取下并移至半自动设备上作为单体试样进行精磨和抛光。表 1 所示为单体试样在 TegraPol/TegraForce 进行半自动精磨和抛光的制备方法。

自动目标制备

进行自动控制材料去除和制备时，司特尔的 TargetSystem 能够在制备前进行试样对准和测量。已镀和未镀试样的横断面和纵剖面经过研磨抛光后，能够将可见和未显现的目标一起呈现出来。激光测量系统保证准确度为 ± 5 微米，在制备过程中自动复算磨削程度。



TargetSystem



图 11: Target-Z 可见目标视频定位与测量设备

表 2: 微电子器件的目标制备方法

研磨				
步骤	PG	FG		
表面	20 微米金刚石镶嵌	MD-Largo		
悬浮液		DiaPro Allegro/Largo		
润滑剂	水			
每分钟转数	300	150		
[牛]	35	40		
去除 / 时间	根据系统计算结果	20 微米		
抛光				
步骤	DP1	DP2	OP*	
表面	MD-Dac	MD-Nap	MD-Chem	
悬浮液	DiaPro Dac	DiaPro Nap R	OP-U / OP-S	
每分钟转数	150	150	150	
力 [牛]	25	20	10	
去除 / 时间	15 微米	1 分钟	0.5 分钟	

* 可选步骤

带有可见目标的试样采用视频设备进行对准和测量 (图 11 和 13), 带有未显现目标的试样采用 X-光设备进行对准和测量 (图 12)。然后, TargetSystem 可预先计算磨削量并在距离最终目标平面约 35 微米时自动停止平面研磨作业。

试样通过精磨后被研磨至距离目标约 15 微米的距离, 然后通过两道抛光工序将残余材料去除并达到试样预定目标平面 (图 14)。整个制备过程, 包括切割在内, 大约需要 45 到 60 分钟。表 2 所示为微电子器件自动目标制备的数据。



图 12: 带有未显现目标的试样的 X-光图片

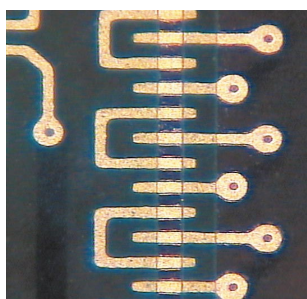


图 13: 用视频图像显示的带有可见目标的试样。

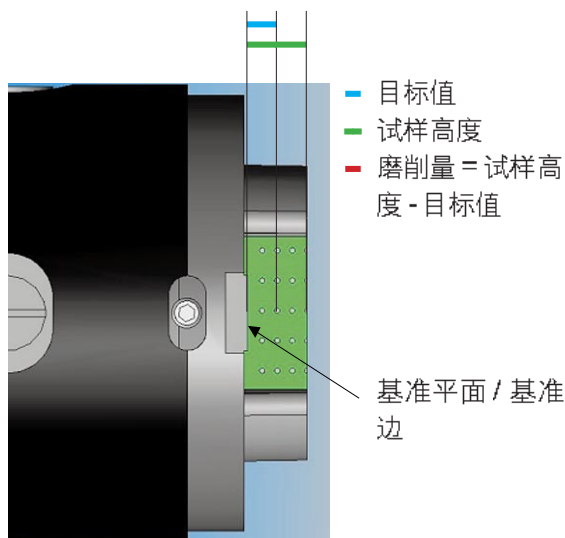


图 14: 可以显示距离的试样座, 对该距离可进行自动测量和计算。

蚀刻

元器件中各种材料的反射光的差异通常可提供足够的衬度, 因此不再需要进行蚀刻。用胶态氧化硅进行终抛光后, 对焊点和铜再进行轻度浸蚀。用 OP-S 悬浮液, 而不是用浸蚀性较弱的 OP-U 悬浮液进行终抛光时尤为如此。

在 OP-S 悬浮液中添加少量过氧化氢 (3%), 即可将浸蚀程度提高到足以呈现试样结构的程度。如果 OP-S 抛光时间超过 30 秒, 会立即发生过蚀刻。建议在 30 秒后检查试样, 然后根据需要逐步延长抛光时间。

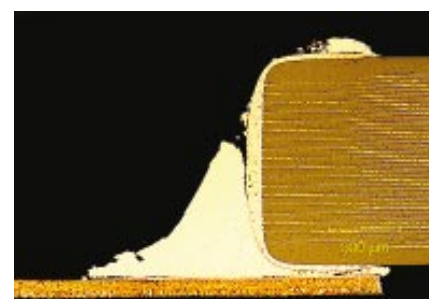
铜和铜合金用蚀刻剂:

25 毫升水

25 毫升氢氧化铵

0.5 - 10 毫升过氧化氢 (3%)

微电子器件中的典型微观结构示例



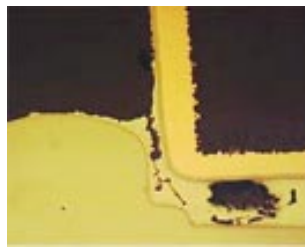
一个老化的多层陶瓷电容器的断面, 焊接处有疲劳裂缝。



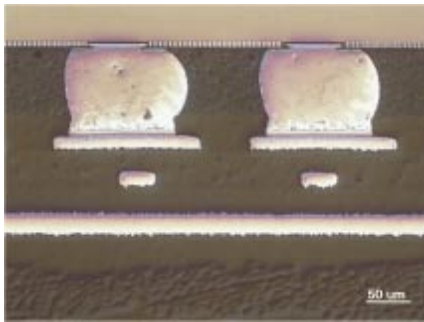
Struers A/S
 Pederstrupvej 84
 DK-2750 Ballerup, Denmark
 Phone +45 44 600 800
 Fax +45 44 600 801
 struers@struers.dk



镀通孔焊料中的大空洞。50 ×



镀通孔焊接中的孔洞与裂缝。
200 ×



焊点横截面, DIC。

采用不同的照明技术, 也能增大结构衬度。暗视场有助于发现陶瓷中的裂缝; 微分相衬和偏振光也可提高特定材料结构的衬度或色度, 有助于更好地进行结构分析。

结语

集成电路技术的发展, 为电子设备微型化奠定了基础, 降低了单体电子元器件作为电子电路积木式部件的需求量。金相分析在芯片化元器件的设计、开发和失效分析中扮演着至关重要的角色。微电子元器件横断面金相制备非常费时, 需要耐心和技巧才能研磨和抛光到元器件中的某一特定目标。另外, 设备和元器件所使用的金属、玻璃和陶瓷等不同材料的特征各异, 增大了制备难度。各种专用工具有助于改善微电子元器件的手动和半自动制备效果。对于自动目标制备, 司特尔公司的TargetSystem能够快速、精确地对目标进行研磨和抛光。为了避免硬质层和软质层以及不同材料间产生浮凸的缺陷, 建议在刚性磨盘上进行金刚砂研磨, 然后在抛光布上进行金刚砂抛光。

术语表

BGA:	球栅阵列
CSP:	芯片级封装
DIP:	双列直插封装
FBGA:	细密球栅阵列
IC:	集成电路
PBGA:	塑料球栅阵列
PCB:	印刷电路板
PQFP:	塑料四面引线扁平封装
TO Can:	晶体管外壳

应用说明

微电子器件的金相制备
 丹麦哥本哈根 Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Hans Bundgaard, Struers A/S

致谢辞

图 1、8、9 由德国 F. W. Wulff, T. Ahrens, Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie, Quality and Reliability, D-25524, Itzehoe 特许转载。

图 4、5、6、10 a+b 由德国 Katja Reiter, Mario Reiter, Thomas Ahrens, Institute für Siliziumtechnologie, Modulintegration, D-25524, Itzehoe 特许转载。

参考书目

Structure 32, 1998, Microstructure and material analysis for electronic packaging, F. W. Wulff, T. Ahrens, Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie, Quality and Reliability, D-25524, Itzehoe, Germany
 Structure 34, Special aspects of metallographic preparation of electronic and microelectronic devices, Katja Reiter, Mario Reiter, Thomas Ahrens, Institute für Siliziumtechnologie, Modulintegration, D-25524, Itzehoe, Germany
 Struers Structure 28, 1995, Accurate metallographic preparation of blind, buried and filled holes in printed circuit boards.
 Struers Structure 13, 1986, Anschliffe an elektronischen Bauteilen und Komponenten.

欲进一步详细了解文中提及的各种司特尔设备、配件及易耗品, 请浏览我公司网站 www.struers.com 或垂询您当地的司特尔业务代表。



本着持续改进产品的宗旨, 司特尔进行产品改进时保留不另行通知的权利。

USA and CANADA
Struers Inc.
 24766 Detroit Road
 Westlake, OH 44145-1598
 Phone +1 440 871 0071
 Fax +1 440 871 8188
 info@struers.com

SWEDEN
Struers A/S
 Smältvägen 1
 P.O. Box 11085
 SE-161 11 Bromma
 Telefon +46 (0)8 447 53 90
 Telefax +46 (0)8 447 53 99
 info@struers.dk

FRANCE
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F- 94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

NEDERLAND/BELGIE
Struers GmbH Nederland
 Electraweg 5
 NL-3144 CB Maassluis
 Tel. +31 (0) 10 599 72 09
 Fax +31 (0) 10 599 72 01
 glen.van.vugt@struers.de

BELGIQUE (Wallonie)
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F- 94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

UNITED KINGDOM
Struers Ltd.
 Unit 25a
 Monkspath Business Park
 Solihull
 B90 4NZ
 Phone +44 0121 745 8200
 Fax +44 0121 733 6450
 info@struers.co.uk

JAPAN
Marumoto Struers K.K.
 Takara 3rd Building
 18-6, Higashi Ueno 1-chome
 Taito-ku, Tokyo 110-0015
 Phone +81 3 5688 2914
 Fax +81 3 5688 2927
 struers@struers.co.jp

CHINA
 司特尔(上海)国际贸易有限公司
 中国上海市杨浦区大连路970号
 海上海9号楼702室
 邮编: 200092
 电话: +86(21)5228 8811
 传真: +86(21)5228 8821
 struers.cn@struers.dk

DEUTSCHLAND
Struers GmbH
 Karl-Arnold-Strasse 13 B
 D-47877 Willich
 Telefon +49(0)2154) 486-0
 Telefax +49(0)2154) 486-222
 verkauf.struers@struers.de

ÖSTERREICH
Struers GmbH
 Zweigniederlassung Österreich
 Ginzkeyplatz 10
 A-5020 Salzburg
 Telefon +43 662 625 711
 Telefax +43 662 625 711 78
 stefan.lintschinger@struers.de

SCHWEIZ
Struers GmbH
 Zweigniederlassung Schweiz
 Weissenbrunnstrasse 41
 CH-8903 Birmensdorf
 Telefon +41 44 777 63 07
 Telefax +41 44 777 63 09
 rudolf.weber@struers.de

CZECH REPUBLIC
Struers GmbH
 Organiza ní složka
 Milady Horákové 110/96
 CZ-160 00 Praha 6 – Bubene
 Tel: +420 233 312 625
 Fax: +420 233 312 640
 david.cernicky@struers.de

POLAND
Struers Sp. z o.o.
 Oddział w Polsce
 ul. Lirowa 27
 PL-02-387 Warszawa
 Tel. +48 22 824 52 80
 Fax +48 22 882 06 43
 grzegorz.uszynski@struers.de

HUNGARY
Struers GmbH
 Magyarországi fióktelep
 Puskás Tivadar u. 4
 H-2040 Budáors
 Phone +36 (23) 428-742
 Fax +36 (23) 428-741
 zoltan.kiss@struers.de

SINGAPORE
Struers A/S
 10 Eunos Road 8,
 #12-06 North Lobby
 Singapore Post Centre
 Singapore 408600
 Phone +65 6299 2268
 Fax +65 6299 2661
 struers.sg@struers.dk