

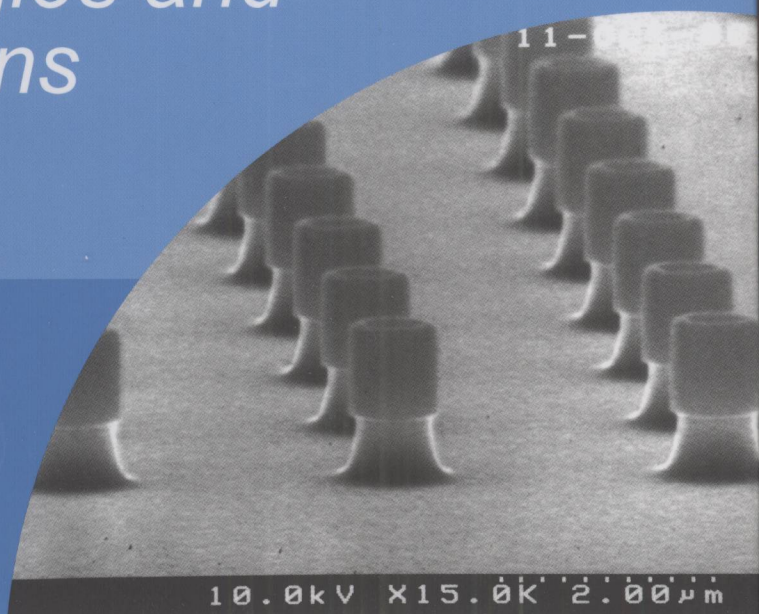
崔铮 著

第二版 2nd Edition

M 微纳米加工技术及其应用

Micro-

Nanofabrication Technologies and Applications



崔铮 著

第二版 2nd Edition

M微纳米加工技术及其应用 *Micro-*

*Nanofabrication
Technologies and
Applications*

图书在版编目(CIP)数据

微纳米加工技术及其应用/崔铮著.—2版.—北京:
高等教育出版社,2009.5
ISBN 978-7-04-026358-9

I. 微… II. 崔… III. 纳米材料-新技术应用
IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 027023 号

策划编辑 刘剑波 责任编辑 刘剑波 封面设计 刘晓翔 责任绘图 尹莉
版式设计 余杨 责任校对 刘莉 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
		版 次	2005 年 6 月第 1 版
开 本	787×1092 1/16		2009 年 5 月第 2 版
印 张	30.5	印 次	2009 年 5 月第 1 次印刷
字 数	600 000	定 价	66.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26358-00

内容简介

本书集作者多年来的实践经验与研究成果,并结合近年来国际上的最新发展,综合介绍了微纳米加工技术的基础,包括光学曝光技术、电子束曝光技术、聚焦离子束加工技术、扫描探针加工技术、微纳米尺度的复制技术、各种沉积法与刻蚀法图形转移技术、间接纳米加工技术与自组装纳米加工技术。对各种加工技术的介绍着重讲清原理,列举基本的工艺步骤,说明各种工艺条件的由来,并注意给出典型的工艺参数;充分分析了各种技术的优缺点及在应用过程中的注意事项;以大量图表与实例说明各种加工方法,避免烦琐的数学分析;并以专门一章介绍了微纳米加工技术在现代高新技术领域的应用,演示了如何灵活应用微纳米加工技术来推动这些领域的技术进步。

与国内外同类出版物相比,本书的显著特点是将用于超大规模集成电路生产、微机电系统制造与纳米技术研究的微纳米加工技术进行综合介绍,并加以比较;首次将微纳米加工归纳为平面工艺、探针工艺和模型工艺3种主要类型,突出了微纳米加工与传统加工技术的不同之处。全书既注重基础知识又兼顾微纳米加工领域近年来的最新进展,并列举了大量参考文献与互联网链接网址,供读者进一步发掘详细信息与深入研究,因此不论是对初次涉足这一领域的大专院校的本科生或研究生,还是对已经有一定工作经验的专业科技人员,都具有很好的参考价值。

第二版前言

微纳米科技是一个新兴科技领域,也必然是一个不断发展进步的领域。自2005年6月《微纳米加工技术及其应用》(高等教育出版社)第一版出版以来,微纳米加工技术在过去3年多时间里有了许多新发展,一个最有力的证明是超大规模集成电路的大生产已经由3年前的90 nm技术时代进入45 nm技术时代,这一进步涵盖了诸多光学曝光技术和一系列相关微纳米加工技术的进步。在过去3年多时间里,纳米科学与纳米技术的研究与开发在世界范围内得到前所未有的关注,中国在纳米科技领域取得了举世瞩目的成绩。据统计,中国在2001—2006年间纳米科技方面发表的论文增加了300%。2006年全世界有20%的纳米科技方面的论文是由中国科学家发表的,总论文数仅次于欧洲共同体和美国,排名第三;如果按单个国家算,中国在纳米科技方面发表的论文仅次于美国,在全世界排名第二(见 Youtie J, Shapira P, Porter A L. Nanotechnology publications and citations by leading countries and blocs. *J. Nanoparticle Research*, 2008, 10: 981)。越来越多的科技工作者从不同领域转入纳米科技的研究开发。由于微纳米科技研发与微纳米加工技术密切相关,越来越多的装备了现代微纳米加工设备的中心和实验室在全国各地的大专院校和科研单位建立起来。以电子束曝光机为例,中国在5年前还只有一二个科研单位拥有这一比较高级的微纳米加工设备,现在全国有不下10个科研中心或实验室已经购买了或即将购买不同类型的电子束曝光机。科技工作者与在校大学生、研究生对微纳米加工技术知识的渴求也日益增长,这可以从两期微纳米加工技术暑期讲习班的出席情况略见一斑。我曾于2005年与2007年夏季分别在中国科学院物理研究所举办的全国微纳米加工技术暑期讲习班上担任主讲。2005年夏季的讲习班有来自全国49个大学与科研单位的近350人参加;而2007年的第二期讲习班则有来自全国51个大学与科研单位的近400人参加。在这一大环境下,我的《微纳米加工技术及其应用》一书自出版以来即受到广大科技工作者和在校大学生、研究生的青睐,目前第一版已近售罄。为了充分反映过去3年中微纳米加工技术的新进展,也为了满足国内广大科技人员从事纳米科技研究的需要,我在过去的半年中对《微纳米加工技术及其应用》一书进行了全面修订,增添了大量新内容。在高等教育出版社的鼎力支持下,在此向广大读者呈献《微纳米加工技术及其应用》第二版。

与第一版相比,第二版增添了将近一倍的新内容。绝大部分章节均已重新撰写,力求反映当今微纳米加工技术的最新进展。第一版的手稿为 250 余页,而第二版的手稿为 450 余页;第一版有 8 章内容,第二版增至 11 章。修改和增加的主要内容包括:在第 2 章光学曝光技术中增加了为适应 45 nm 与 32 nm 大规模集成电路加工而开发的各种光学曝光新技术,例如极紫外曝光技术、浸没式曝光技术和多重加工技术;鉴于 X 射线曝光技术已不再成为主流光刻技术之一以及其不普及性,第二版中取消了 X 射线曝光技术一章,而仅在光学曝光技术一章中以较少篇幅介绍;在第 3 章电子束曝光技术与第 4 章聚焦离子束加工技术中均增加了与纳米加工相关的内容,例如电子束曝光技术中为实现极限分辨率所开发的一些特殊抗蚀剂显影工艺;在第 6 章复制技术中除了保留原有内容外,对近年来各种演变的纳米压印技术进行了全面介绍;第一版中与微机电系统、微流体加工有关的技术仍然保留,例如 LIGA 技术、厚胶光刻技术、面加工与体加工技术等,但有关内容均做了更新,加入了过去 3 年中出现的新进展;第二版新增加的章节包括第 5 章扫描探针加工技术、第 7 章沉积法图形转移技术、第 9 章间接纳米加工技术与第 10 章自组装纳米加工技术,增加这 4 个章节主要是为了反映近年来纳米加工技术的蓬勃发展。纳米加工技术,尤其是纳米科学研究中用到的纳米加工技术,并不一定需要昂贵的加工设备,简单的扫描探针显微镜或各种巧妙的间接技术均可以在小尺寸样品上制作出科研所需要的有限数量的纳米结构和器件。自组装纳米加工技术则代表了未来突破传统纳米加工极限的发展方向。需要一提的是,我的英文专著《Nanofabrication: Principles, Capabilities and Limits》刚刚由 Springer 出版社在国外出版。虽然国内读者不易见到该英文版,但该书中的主要内容均在《微纳米加工技术及其应用》第二版中有所反映。

第二版仍承袭了第一版的风格,即注重讲清楚各种加工技术的基本原理,以大量图例说明为主,避免烦琐的数学分析。尽管当今各种信息都可以从发达的互联网上搜索到,但对于不熟悉微纳米加工技术的人来说,如何从浩如烟海的互联网搜索条目中找出有用的信息并不是件易事。本书一方面是我十几年来实际工作经验的总结,另一方面也是对大量互联网信息与公开发表文献的去芜存精。相信不同专业领域的科技工作者都可以从此书中找到如何选择合适的微纳米加工技术的答案。另外,每章后面都附有精心挑选的参考文献与网址,供读者进一步搜寻更详细的信息。近年来国内对一些英文专业名词已经有了统一翻译,第二版中尽量采用这些统一译法。例如,“step and flash imprint”就采用了国内现在通行的译法“步进闪光压印”。

《微纳米加工技术及其应用》第二版虽然是我独立撰写的,但书中引用的大量实例来源于我与国内外专家学者合作的成果和各种公开发表的文献。特别是过去

5年中我与中国科学院物理研究所的合作,使我对微纳米加工技术在纳米科学研究中的应用有了亲身体验。在此我向所有与我合作过的专家学者表示衷心感谢。最后感谢我的家人对我撰写本书的全力支持。

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '山' and '静' written in a cursive style.

2008年10月15日于英国牛津

第一版前言

记得1994年夏天我第一次回国,到成都参加中国科学院青年学者学术讨论会,会议的主题是光学技术在微细加工中的应用。那时的微细加工还主要集中在半导体集成电路工艺技术领域。在那次学术讨论会上我介绍了我在英国从事的有关 $0.35\ \mu\text{m}$ 集成电路光学曝光技术的研究。国内同行的专家都感叹国内外发展水平的差距,却又无能为力。中国由于长期以来受到西方先进工业国家的封锁与禁运,西方只把落后的或淘汰的微细加工设备卖给中国。虽然国家投入大量资金与人力,自主开发包括光学曝光机、电子束曝光系统与聚焦离子束加工系统等微细加工设备,但性能与可靠性总是与国外设备有差距,而且从样机研制到推广使用,中间还有很大距离。所以,中国的微细加工技术发展与应用同国外相比差距是太大了。而当时的形势是韩国与中国台湾地区正在超过日本,成为亚洲半导体集成电路加工生产的主要基地。中国大陆地区若不奋起直追,就可能在这一高科技领域越加落后。1995年我在国内《科学》杂志上撰文,系统介绍了光学、电子束、离子束与X射线曝光技术在超大规模集成电路加工方面的应用(VLSI微细加工技术,科学,1995年第3期),希望能对国内微细加工技术的发展有所启发。值得欣慰的是中国在过去的10年中,尤其是最近几年已疾步赶上来。一方面是国力强盛了,另一方面是西方工业国家为打入中国市场已开放了先进微细加工设备对中国的出口。这10年中,我每年都回国讲学或进行合作研究,亲眼目睹了中国一些大学与研究所相继建立起具有与国外一流水平实验室相媲美的微细加工基础设施,装备了先进的微细加工设备。中国的半导体集成电路生产企业也已跻身世界前五大公司的行列。除了微电子与集成电路工业的发展外,中国在微系统MEMS(micro-electro-mechanical system)技术的开发研究方面也与国外水平不相上下。微细加工技术已经不仅限于集成电路加工,而且被应用到更广泛的MEMS技术、微流体技术、微光学技术与生物芯片技术。最近两年蓬勃发展的纳米技术更是将微细加工技术提到了对纳米科技发展举足轻重的地位。微细加工技术已经扩展成为微纳米加工技术,成为当今微纳米研究与产业化不可缺少的手段。

中国已经下决心在微纳米技术领域赶上和超过国际先进水平,在国家雄厚的财力支持下,购置了先进的微纳米加工设备,建立起先进的实验基础,但这些先进设备都需要由人来操作使用,使其发挥最大效益。另外,微纳米结构器件的功能或特性与其加工成型技术密切相关,任何从事微纳米技术研究或开发的科技人员都

应同时具备相应的微纳米加工技术知识。这些年来通过回国讲学与合作研究,我深深感到国内科技人员与即将投身这一领域的大学在校本科生、研究生需要一本全面介绍微纳米加工技术基础与国外最新发展的读物。我本人也一直希望将我多年来从事微纳米加工技术研究的经验与所学所知传授他人。高等教育出版社向海外学者发出的邀请终于圆了我这个梦。作为一名中国自己培养的工学博士,这本书也是我回报祖国培育之恩的一份心意。

近年来随着微纳米技术的蓬勃发展,国外介绍微纳米加工技术的专业出版物也陆续出现。但这些书或者专述集成电路微加工技术,或者专述微系统 MEMS 的微加工技术,而面向纳米科技的纳米加工技术尚无任何出版物系统加以介绍。我力求在本书中同时介绍超大规模集成电路的加工技术、MEMS 的加工技术以及纳米加工技术。这一方面反映了当今科技多领域互相借鉴、互相交叉渗透的发展趋势,另一方面也是我本人这些年来工作实践的真实总结。我于 1989 年在英国国家科学与工程研究委员会 (SERC) 的访问研究基金资助下,来到英国剑桥大学卡文迪许实验室 (Cavendish Laboratory) 微电子研究中心做博士后研究。一开始从事的是液态金属离子源与聚焦离子束技术的研究,随后又参加了电子束曝光技术的欧共体研究计划。1993 年受聘于英国卢瑟福国家实验室 (Rutherford Appleton Laboratory) 微结构中心,参加了超大规模集成电路光学曝光技术的欧共体研究计划。1996 年到 1998 年间主持了一项欧共体关于电子束纳米曝光与化学放大抗蚀剂技术的研究。1998 年后开始转向微系统 MEMS 技术的研究,并主持了欧洲的一个微系统技术中心 (Competence Centre for Microactuators and Non-silicon Microsystems), 因此开始有机会接触各种用于 MEMS 的加工技术。这些技术,包括我在这些领域的研究成果,都反映在本书之中。这也是我能够独立完成本书的原因,而不是像其他同类书籍那样由多名作者联合撰写。当然,我本人的经验与知识是有限的,不可能也不敢妄称在所有书中所介绍的技术方面都是专家,因此希望广大读者与专家学者对书中可能出现的谬误之处给予批评指正。书中对每一种微纳米加工技术的介绍也难免挂一漏万,好在每章之后都附有相关的参考文献,可供读者进一步深入研究与探讨。

目前国内全面介绍微纳米加工技术的中文书籍尚未见有出版,因此,我在撰写本书过程中经常为如何恰当地将英文的专业名词术语翻译成中文而困扰。过去由于中国台湾地区与大陆地区在科技交流方面的缺乏,台湾地区在引进国外半导体集成电路加工技术的过程中创造了一套中文名词术语,大陆地区在过去几十年的半导体工业发展中也建立了一套专业名词术语体系。对同一英文专业名词,海峡两岸往往有完全不同的中文翻译。例如,“mask”在大陆一般翻译为“掩模”,而在台湾翻译为“图罩”;“resist”在大陆翻译为“光刻胶”或“抗蚀剂”,而在台湾翻译为“阻剂”;“silicon wafer”在大陆翻译为“硅片”,而在台湾翻译为“晶圆”。近年来随

着台湾集成电路工业对大陆投资的增加,来自台湾的与集成电路加工有关的专业名词术语多见于各种出版物。为了便于读者阅读,本书在中英文名词对照索引中对部分译法不同的名词同时列出大陆与台湾的译法。台湾译法参照了台湾交通大学龙文安教授所著《积体电路微影制程》与《半导体微影技术》两书的中文名词索引。由于微纳米加工技术的发展日新月异,对近年来国外出现的新技术名词,作者只能自行定义其中文的称呼。对这些名词,本书中通常不采取字面直译,而是按某一技术的特性决定其中文名称。例如,纳米压印中的“step and flash”技术从字面翻译很难反映其所以然,本书将其译为“透明模曝光”,这至少可以反映该技术的特点。至于这些中文译法是否能被读者和业界接受,还须经过时间的考验。为了适应国内读者与国外技术接轨的需要,同时配合国内高校的双语教学,本书出版后将由高等教育出版社接着出版其英文版。

我诚挚感谢高等教育出版社对本书出版的全力支持,并感谢丁衡高院士为本书作序。我衷心地希望以此书为促进中国在微纳米科技领域的人才培养与赶超国际先进水平尽绵薄之力。



2005年1月20日于英国牛津

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

结 束 语

微纳米加工技术是一项涵盖门类广泛并且不断发展中的技术。尽管本书介绍了多种微纳米加工技术,但还是无法包罗万象,将每一种技术都提到。在 2004 年国际微纳米工程年会上,曾有人总结出多达 60 种微纳米加工方法(P. de Jager, “Sixty ways to print a pattern”, Abstracts of MNE2004),可见实现微纳米结构与器件的方法是多样的。在微纳米加工领域,想象与发展的空间是无限的。最生动的例子如第 5 章介绍的扫描探针点墨技术与第 9 章介绍的纳米球阵列掩模技术,这些看似与加工完全不相干的方法居然可以被用来制作纳米图形。PDMS 应用于软光刻与微注塑成型是另一个鲜明的例子(第 6 章)。虽然加工方法可以有多种多样,但只有少数技术能够有长久的生命力或得到较广泛的应用。新技术取代老技术、先进技术取代落后技术是客观发展规律,但在工业生产中经济因素往往是某一技术的生命力的决定因素,最说明问题的例子是 X 射线光刻技术。X 射线光刻曾有其辉煌的发展时期,曾经被半导体工业界看好为最终的光刻技术,但光学曝光技术本身的进步与其高经济效益使工业界最终放弃了 X 射线光刻技术。加工技术本身从来都只是手段,其目的是服务于科学研究或工业产品开发与生产,因此新的科研课题或新的工业产品开发会不断对加工技术提出新的要求,新的加工技术将会不断出现。希望本书在介绍给读者现有的微纳米加工技术的同时,能够起到一把钥匙的作用,开启读者的想象力与创造力,创造新的微纳米加工方法,推动微纳米技术在各个科学研究与工业生产领域的进步。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 微纳米技术与微纳米加工技术	(2)
1.2 微纳米加工技术的分类	(3)
1.3 本书的内容与结构	(7)
参考文献	(10)
第 2 章 光学曝光技术	(11)
2.1 引言	(12)
2.2 光学曝光方式与原理	(13)
2.2.1 掩模对准式曝光	(14)
2.2.2 投影式曝光	(17)
2.3 光学曝光的工艺流程	(21)
2.4 光刻胶的特性	(23)
2.4.1 光刻胶的一般特性	(24)
2.4.2 正型胶与负型胶的比较	(26)
2.4.3 化学放大胶	(28)
2.4.4 特殊光刻胶	(28)
2.5 光学掩模的设计与制作	(29)
2.6 短波长曝光技术	(32)
2.6.1 深紫外曝光技术	(32)
2.6.2 极紫外曝光技术	(34)
2.6.3 X 射线曝光技术	(37)
2.7 大数值孔径与浸没式曝光技术	(39)
2.8 光学曝光分辨率增强技术	(43)
2.8.1 离轴照明技术	(44)
2.8.2 空间滤波技术	(44)
2.8.3 移相掩模技术	(46)
2.8.4 光学邻近效应校正技术	(51)
2.8.5 面向制造的掩模设计技术	(54)

2.8.6	光刻胶及其工艺技术	(55)
2.8.7	二重曝光与加工技术	(58)
2.9	光学曝光的计算机模拟技术	(60)
2.9.1	部分相干光成像理论	(61)
2.9.2	计算机模拟软件 COMPARE	(65)
2.9.3	光学曝光质量的比较	(68)
2.10	其他光学曝光技术	(72)
2.10.1	近场光学曝光技术	(72)
2.10.2	干涉曝光技术	(75)
2.10.3	无掩模光学曝光技术	(78)
2.10.4	激光三维微成型技术	(80)
2.10.5	灰度曝光技术	(83)
2.11	厚胶曝光技术	(86)
2.11.1	传统光刻胶	(87)
2.11.2	SU-8 光刻胶	(88)
2.12	LIGA 技术	(91)
2.12.1	用于 LIGA 的 X 射线光源	(94)
2.12.2	X 射线 LIGA 掩模	(94)
2.12.3	用于 X 射线 LIGA 的厚胶及其工艺	(96)
2.12.4	影响 X 射线 LIGA 图形精度的因素	(98)
	参考文献	(100)
第 3 章	电子束曝光技术	(107)
3.1	引言	(108)
3.2	电子光学原理	(109)
3.2.1	电子透镜	(110)
3.2.2	电子枪	(112)
3.2.3	电子光学像差	(114)
3.3	电子束曝光系统	(116)
3.4	电子束曝光图形的设计与数据格式	(123)
3.4.1	设计中的注意事项	(123)
3.4.2	中间数据格式	(125)
3.4.3	AutoCAD 数据格式	(127)
3.4.4	机器数据格式	(127)

3.5	电子束在固体材料中的散射	(130)
3.6	电子束曝光的邻近效应及其校正	(137)
3.7	低能电子束曝光	(143)
3.8	电子束抗蚀剂及其工艺	(146)
3.8.1	高分辨率电子束抗蚀剂	(146)
3.8.2	化学放大抗蚀剂	(150)
3.8.3	特殊显影工艺	(155)
3.8.4	多层抗蚀剂工艺	(157)
3.9	电子束曝光的极限分辨率	(160)
3.10	电子束曝光的计算机模拟	(161)
3.11	特殊电子束曝光技术	(164)
3.11.1	变形束曝光	(164)
3.11.2	电子束投影曝光	(165)
3.11.3	多电子束曝光	(167)
3.11.4	微光柱系统曝光	(167)
	参考文献	(168)
第4章	聚焦离子束加工技术	(175)
4.1	引言	(176)
4.2	液态金属离子源	(176)
4.3	聚焦离子束系统	(179)
4.4	离子在固体材料中的散射	(181)
4.5	聚焦离子束加工原理	(183)
4.5.1	离子溅射	(183)
4.5.2	离子束辅助沉积	(187)
4.6	聚焦离子束加工技术的应用	(188)
4.6.1	审查与修改集成电路芯片	(188)
4.6.2	修复光学掩模缺陷	(189)
4.6.3	制作透射电镜样品	(192)
4.6.4	多用途微切割工具	(193)
4.7	聚焦离子束曝光技术	(195)
4.8	聚焦离子束注入技术	(198)
	参考文献	(198)

第 5 章 扫描探针加工技术	(203)
5.1 引言	(204)
5.2 扫描探针显微镜原理	(205)
5.3 抗蚀剂曝光加工	(208)
5.3.1 STM 曝光	(208)
5.3.2 NSOM 曝光	(212)
5.4 局部氧化加工	(213)
5.5 添加式纳米加工	(216)
5.5.1 扫描探针场致沉积	(216)
5.5.2 扫描探针点墨法光刻	(218)
5.6 抽减式纳米加工	(220)
5.6.1 电化学刻蚀加工	(220)
5.6.2 场致分解加工	(221)
5.6.3 热力压痕法加工	(221)
5.6.4 机械划痕法加工	(222)
5.7 高产出率扫描探针加工	(225)
参考文献	(227)
第 6 章 复制技术	(233)
6.1 引言	(234)
6.2 热压纳米压印技术	(235)
6.2.1 热压纳米压印的印模	(236)
6.2.2 热压纳米压印材料	(237)
6.2.3 热压纳米压印的脱模	(240)
6.2.4 热压纳米压印的对准	(243)
6.3 室温纳米压印技术	(245)
6.4 紫外光固化纳米压印技术	(247)
6.4.1 透明印模	(248)
6.4.2 紫外固化压印材料	(251)
6.4.3 步进闪光压印光刻技术	(252)
6.4.4 透明印模压印的对准	(255)
6.4.5 曝光-压印混合光刻	(257)
6.5 反向纳米压印技术	(259)
6.6 软光刻技术	(261)

6.6.1 软光刻的印章	(262)
6.6.2 微接触印刷	(264)
6.6.3 毛细管力辅助注模	(265)
6.7 塑料微成型技术	(267)
6.7.1 热压成型	(269)
6.7.2 微注塑成型	(270)
6.7.3 浇铸成型	(273)
参考文献	(274)
第7章 沉积法图形转移技术	(281)
7.1 引言	(282)
7.2 薄膜沉积技术	(282)
7.3 溶脱剥离法	(287)
7.4 电镀法	(293)
7.5 嵌入法	(296)
7.6 模版法	(298)
7.7 喷墨打印法	(301)
参考文献	(305)
第8章 刻蚀法图形转移技术	(309)
8.1 引言	(310)
8.2 化学湿法腐蚀技术	(311)
8.2.1 硅的各向异性腐蚀	(311)
8.2.2 硅的各向同性腐蚀	(317)
8.2.3 二氧化硅的各向同性腐蚀	(319)
8.3 干法刻蚀之一:反应离子刻蚀	(321)
8.3.1 反应离子刻蚀的原理	(321)
8.3.2 反应离子刻蚀的工艺参数	(325)
8.4 干法刻蚀之二:反应离子深刻蚀	(330)
8.4.1 电感耦合等离子体刻蚀系统	(330)
8.4.2 Bosch 工艺	(331)
8.4.3 纳米结构的深刻蚀	(334)
8.4.4 反应离子深刻蚀中存在的问题	(335)
8.5 干法刻蚀之三:等离子体刻蚀	(339)