

先进制造技术丛书

微机电系统技术

西云 聖豐燥未云 雲豐燥西云 藻豐燥上豐造 贈藏皂

石庚辰摇编著

· 北京 ·

摇摇摇摇图书在版编目 (CIP)数据

摇微机电系统技术 顾石庚辰编著 国防工业出版社 国防工业出版社

摇 (先进制造技术丛书)

摇 陈月昇 陈月昇 陈月昇 陈月昇

摇 I 顾微 ... 摇 II 顾石 ... 摇 III 顾机电系统, 微型—技术
IV 顾陈

摇 中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000)第 000000 号

(北京市海淀区紫竹院南路 000 号)

(邮政编码 摇摇摇摇)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 摇摇伊员摇摇摇摇印张 苑摇摇千字
摇摇年 员月第 员版摇摇摇摇年 员月北京第 员次印刷
印数 员员册摇摇册摇摇定价 员摇摇元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致摇摇者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1985年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

一、在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

二、学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

三、有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

四、填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就 ,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下 ,原国防科工委率先设立出版基金 ,扶持出版科技图书 ,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物 ,是对出版工作的一项改革。因而 ,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进 ,这样 ,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授 ,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来 ,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗 !

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 摇 怀国模

主任委员 摇 黄摇宁

副主任委员 摇 殷鹤龄摇 高景德摇 陈芳允摇 曾摇铎

秘 书 长 摇 崔士义

委 员 摇 于景元摇 王小谟摇 尤子平摇 冯允成

(以姓氏笔划为序) 刘摇仁摇 朱森元摇 朵英贤摇 宋家树

杨星豪摇 吴有生摇 何庆芝摇 何国伟

何新贵摇 张立同摇 张汝果摇 张均武

张涵信摇 陈火旺摇 范学虹摇 何有安

侯正明摇 莫梧生摇 崔尔杰

《先进制造技术丛书》编委会名单

顾问 师昌绪 中国工程院院士、中国科学院院士、主席团顾问
主任 胡壮麒 中国科学院金属研究所学术委员会主任、工程院院士

副主任 张立同 西北工业大学教授、工程院院士

徐滨士 装甲兵工程学院教授、工程院院士

雷廷权 哈尔滨工业大学教授、工程院院士

艾兴 山东工业大学教授、工程院院士

周济 华中理工大学校长、工程院院士

委员 赵连城 哈尔滨工业大学教授、博士生导师

曾松岩 哈尔滨工业大学教授、博士生导师

黄树槐 华中理工大学教授、博士生导师

李庆春 哈尔滨工业大学教授、博士生导师

田锡唐 哈尔滨工业大学教授、博士生导师

王仲仁 哈尔滨工业大学教授、博士生导师

董申 哈尔滨工业大学教授、博士生导师

吴复兴 北京有色金属研究所科学技术委员会主任、研究员

方洪渊 哈尔滨工业大学材料学院副院长、博士生导师

秘书 王桂伟 哈尔滨工业大学材料学院教学秘书

序

制造业是我国国民经济的支柱产业,其增加值约占我国国内生产总值(即GDP)的30%以上,振兴制造业是启动我国经济新高潮的杠杆,日本和美国的经验均可资借鉴,而先进制造技术是振兴制造业的系统工程中的重要组成部分之一。

先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology,简称AMT)作为一个专有名词提出始于20世纪80年代末期,当时美国根据本国制造业面临的挑战与机遇,以及存在的问题进行了深刻反省,同时为了加强制造业的竞争能力和促进国民经济增长而提出先进制造技术新概念。从技术进步角度看,以计算机为中心的新一代信息技术的发展,全面推进了制造技术的飞跃发展,在不断汲取其他相关领域新技术的基础上,使创新贯穿于制造全过程,并使技术与管理相结合,不断推出新的制造模式,推动人类生产活动不断进步。

先进制造技术这一名词一经提出,立即获得世界各国的积极响应,将制造技术的发展推向新的高潮,经过二十多年的努力,先进制造技术由于专业 and 学科间不断渗透、交叉、融合,技术日趋系统化、集成化,已发展成为集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新兴交叉学科,可以称之为“制造工程”。

先进制造技术的核心和基础是优质、高效、低耗、清洁、无污染工艺,它是由传统的制造工艺发展起来的,并与计算机、信息、自动化、新材料及现代管理技术实现了局部或系统集成,以实现优质、高效、低耗、无污染和灵活生产,实现可持续发展。

未来先进制造技术的发展趋势是精密化、柔性化、智能化与集成化。首先设计技术不断现代化,突出反映在数值模拟与仿真以

及虚拟现实技术和产品建模理论等方面。成形制造技术向精密成形或近净成形方向发展,包括精密铸造、精密塑性成形和精密连接技术等。加工制造技术向超精密、超高速及发展新一代制造装备的方向发展。随着激光、电子束、离子束、分子束等新能源或其载体的引入,新型的高密度特种加工方法以及复合工艺不断发展,以至设计、材料应用、加工制造等专业学科界限日渐淡化,逐步趋向一体化。由于工艺模拟技术的迅速发展,也使工艺逐渐发展为工程科学。虚拟现实技术在制造业中获得日益广泛的应用。

为了适应世界知识经济时代的来临,促进先进制造技术在我国的发展,并为这一领域的科技人员提供必要的参考书,我们特地组织编写了本套《先进制造技术丛书》,希望它的出版有助于推动先进制造技术的快速进步,为我国的经济发展和国防现代化服务。

《先进制造技术丛书》编委会

二〇〇四年 圆月 圆袁日

和系统接口等有关微机电系统的系统技术 ;第七章介绍了微结构的材料特性、微构件以及微系统性能的检测技术 ;第八章介绍了有关微机电系统已有的应用和应用前景。

本书编写的初衷是想使读者获得有关微机电系统技术的一些基本技术 ,为进一步深入进行研究打下基础。因此 ,本书主要的读者对象是从事微机电系统技术应用与开发研究的工程技术人员、科技管理人员以及在校的大学生和研究生。

愿本书能够对我国微机电系统技术的研究起到添砖加瓦的作用。

石 庚 辰
贰零零九年 愿月

目 录

第一章 微机电系统概述	员
1.1 微机电系统技术的基本概念及特点	员
1.2 微机电系统的研究领域	猿
1.3 微机电系统采用的材料	缘
1.4 微机电系统的主要工艺技术	远
1.5 微机电系统技术的发展	苑
1.6 微机电系统的应用前景	愿
第二章 微机电系统的材料	园
2.1 概 述	园
2.2 硅	员
2.2.1 单晶硅	员
2.2.2 晶面和晶向	圆
2.2.3 多晶硅	苑
2.3 陶瓷	苑
2.3.1 作为基板材料的陶瓷材料	愿
2.3.2 用于致动器和传感器的陶瓷材料	愿
2.4 金属	怨
2.4.1 磁致伸缩金属 (配有插图)	怨
2.4.2 形状记忆合金 (配有插图)	怨
2.5 凝胶	员
2.6 电流变体 (配有插图)	圆
第三章 集成电路制造工艺基础	圆
3.1 掺杂技术	圆
3.2 扩散法	圆

摇源苑其他加工技术	愿远
摇源苑员超精密机械加工	愿苑
摇源苑圆特种加工技术	愿苑
第五章摇微机电系统的设计技术	愿
摇缘员摇微机电系统的设计方法	愿
摇缘圆摇模型平面和仿真平面	愿
摇缘猿摇微机电系统功能元件的模型	愿
摇缘源摇仿真	员园
摇缘缘摇微分方程组求解	员员
摇缘圆摇有限元方法	员圆
摇缘缘摇微机电系统技术的功能元件和结构元件	员猿
摇缘缘员摇机械元件	员缘
摇缘缘圆摇热元件	员苑
摇缘缘猿摇流体元件	员愿
摇缘缘源摇流体元件和部件的设计	员员
摇缘缘摇微机电系统的 悦粤阅	员缘
摇缘缘员摇微机电系统 悦粤阅的研究状况	员缘
摇缘缘圆摇微机电系统 悦粤阅的特点	员远
摇缘缘猿摇微机电系统 悦粤阅的设计原则	员苑
第六章摇微机电系统的系统技术	员怨
摇远员摇系统定义	员怨
摇远圆摇传感器	员起
摇远圆员摇压阻式传感器	员员
摇远圆圆摇电容式传感器	员圆
摇远圆猿摇谐振式传感器	员猿
摇远圆源摇光纤式传感器	员猿
摇远圆缘摇微传感器阵列	员源
摇远圆猿摇致动器	员愿
摇远圆员摇静电式微致动器	员愿
摇远圆圆摇电磁式微致动器	员怨
摇远圆猿摇压电式微致动器	员员
摇远圆源摇磁致伸缩式微致动器	员圆

摇摇遥缘缘摇形状记忆合金 (镍钛)微致动器	员猿
摇摇遥原遥数据处理	员源
摇摇遥缘遥微系统的接口	员怨
摇摇遥缘缘遥员遥云传输	员员
摇摇遥缘缘遥圆遥杂原传输	员缘
摇摇遥反遥微机电系统的能源技术	员远
摇摇遥缘缘遥员遥电能技术	员苑
摇摇遥缘缘遥圆遥机械能技术	员愿
摇摇遥缘缘遥猿遥热能技术	员怨
摇摇遥缘缘遥源遥其他能量技术	员怨
第七章摇微机械系统检测技术	员员
摇摇苑员遥微结构的材料特性检测技术	员员
摇摇苑圆遥微机械构件的检测	员员
摇摇苑圆缘遥扫描隧道显微测量技术	员苑
摇摇苑圆缘遥微型零件三维几何尺寸测量系统	员园
摇摇苑圆缘遥薄膜构件的膜厚测量	员圆
摇摇苑圆缘遥微量力的测量技术	员缘
摇摇苑圆缘遥多晶硅微构件拉伸破坏特性测量	员远
摇摇苑猿遥微系统的性能检测	员愿
摇摇苑猿缘遥激励	员怨
摇摇苑猿缘遥输出量的检测	员怨
摇摇苑猿缘遥识别	员员
第八章摇微机电系统的应用	员猿
摇摇愿员遥微机电系统在军事中的应用	员猿
摇摇愿员缘遥微机电系统技术在惯性器件中的应用	员源
摇摇愿员缘遥微机电系统在弹药安全与控制系统中的应用	员远
摇摇愿员缘遥微型无人驾驶飞机	员猿
摇摇愿员缘遥纳米卫星	员远
摇摇愿员缘遥微型军用机器人及其电子智能系统	员愿
摇摇愿员缘遥微机电系统其他的军事应用	员员
摇摇愿圆遥微机械传感器在汽车工业中的应用	员源
摇摇愿圆缘遥压力传感器	员缘

摇摇愿愿圆摇加速度传感器	圆缘
摇愿圆摇微机电系统在医学中的应用	圆怨
摇愿源摇微型泵的应用	圆猿
摇愿缘摇微机电系统的其他应用	圆愿
摇参考资料	圆园

