

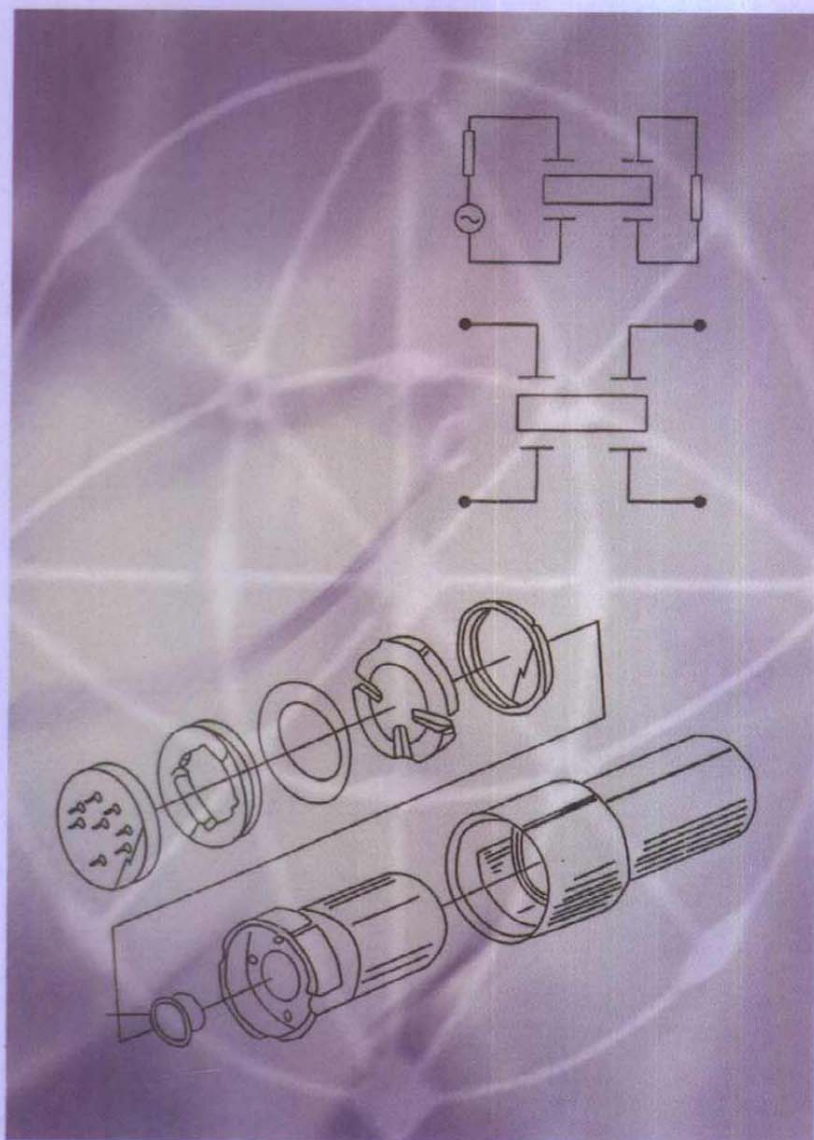


应用物理学丛书

现代压电学

下册

张福学 主编
王丽坤 副主编



科学出版社

内 容 简 介

《现代压电学》是一部全面介绍压电学理论、材料及应用的专著,反映了该领域国内外学者所取得的成果和最新进展. 全书分上、中、下三册出版. 本书为下册,论述压电的应用,共 14 章,主要介绍压电振荡器、鉴频器和滤波器;压电惯性传感器;压电声表面波器件;压电水声器件;压电电声器件;压电超声器件;压电马达;压电变压器;压电加速计和力传感器;压电检测器;压电执行器;压电医用器件与装置;热释电器件;铁电器件等. 每章末附有参考文献.

本书可供大专院校压电铁电专业及相关学科的师生参考,同时也是从事压电铁电材料及器件的研制、生产和应用的科技人员的十分难得的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

现代压电学. 下册/张福学主编. —北京:科学出版社,2002
(应用物理学丛书/吴自勤,杨国桢主编)

ISBN 7-03-010141-3

I. 现… II. 张… III. ①压电学 ②压电材料—应用
IV. ①O738 ②TN204

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 008921 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 7 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

2002 年 7 月第一次印刷 印张:17½

印数:1—2 000 字数:446 000

定价:44.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

前 言

压电学是关于压电体的弹性、介电性、压电性、热电性、铁电性、光学特性、声传播特性,以及压电铁电材料和应用的学科.自1880年P. 居里和J. 居里发现石英晶体的压电性后,压电学的发展十分迅速,早在20世纪40年代就已成为物理学的一个重要分支.1946年美国Cady总结了早期的工作,编著了“Piezoelectricity”一书,成了当时的经典著作.20世纪80年代压电学有了更大的发展,为适应国内科研、教学和生产的需要,1984年张福学、孙慷等国内10个厂所院校的13位从事科研、生产和教学的专家学者编著了《压电学》(上、下册).该书对促进我国压电学的发展起了积极作用,深受读者欢迎,并荣获1988年全国优秀科技图书二等奖.《压电学》出版至今已有18年,这期间,压电学又有了新的重大发展,特别是新型压电材料和压电新应用层出不穷.为了解压电领域的新动向和新成就,众多读者盼望有一本能反映当今压电学全貌的专著.为此,我们特与科学出版社合作,组织、策划、编写和出版符合上述要求的、由上、中、下三册构成的这部专著.本专著具有如下特点:(1)新颖性:重点突出1984年版中几乎未涉及的内容,如压电复合材料,无机压电铁电薄膜,压电惯性器件,压电马达与压电执行器;(2)实用性:1984年版突出基础理论,本专著突出材料和应用;(3)系统性:相对于1984年版,本专著大大压缩了基础理论和压电材料的篇幅,如铁电性压电晶体在1984年版中占三章,而在本专著中反映新近成就的虽然只有一章,但全书不失系统性,读者亦可了解压电领域的全貌;(4)科学性:本专著的编著者力求从学科发展规律、发展动向的角度,将已有的知识进行严格的分类整理,将实践经验上升到理论,使压电学这一古老而又发展迅速的学科更加充实.

本专著概括了近代国内外压电理论、压电材料、压电器件及其应用的新进展,其中融入了 13 个厂所、院校的 23 位专家学者多年来从事压电学科研、生产和教学工作的成果,它是集体智慧的结晶。

中国科学院院士、同济大学姚熹教授为本专著顾问并作序,中国科学院三位院士——北京大学吴全德教授、西安电子科技大学保铮教授和山东大学蒋民华教授鼎力推荐出版,在此对这四位院士表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中肯定会有不妥之处,恳请读者批评指正。

编著者

目 录

《应用物理学丛书》出版说明	(i)
序	姚 熹(iii)
前言	编著者(vii)

下 册

第十七章 压电振荡器、鉴频器和滤波器	
..... 深圳时频科技有限公司 程天军(1)	
§ 17.1 压电振荡器	(1)
17.1.1 概述	(1)
17.1.2 压电石英晶体谐振器	(2)
17.1.3 压电石英晶体谐振器与振荡器	
..... 北京国营第七〇七厂 梁业威(5)	
17.1.4 钟振荡器	北京国营第七〇七厂 梁业威(8)
17.1.5 数字温度补偿晶体振荡器	(14)
17.1.6 快速恒温晶振	(22)
17.1.7 压控晶振	(26)
§ 17.2 压电鉴频器	(31)
17.2.1 基本工作原理	(31)
17.2.2 晶体鉴频器基本参数设计	(32)
17.2.3 检波电路元件值的估计	(42)
17.2.4 结论	(43)
§ 17.3 压电滤波器	
..... 中国电子基础产品装备公司 潘遵五(44)	
17.3.1 压电陶瓷滤波器	(44)

17.3.2 压电石英晶体滤波器	(51)
参考文献	(64)
第十八章 压电惯性传感器	
..... 北京信息工程学院 张福学	(66)
§ 18.1 气流式压电陀螺	(66)
18.1.1 工作原理	(67)
18.1.2 结构	(68)
18.1.3 电路	(70)
18.1.4 性能	(72)
18.1.5 可靠性	(74)
§ 18.2 气体摆式惯性器件	(74)
18.2.1 密闭腔中自然对流气体的“摆”特性	(74)
18.2.2 气体摆式倾角传感器	(75)
18.2.3 带角速度输出的气体摆式倾斜仪	(78)
§ 18.3 振梁式压电陀螺	(80)
18.3.1 工作原理	(80)
18.3.2 结构	(82)
18.3.3 性能	(83)
18.3.4 应用	(84)
§ 18.4 双晶片式压电陀螺	(84)
18.4.1 工作原理	(84)
18.4.2 结构	(85)
18.4.3 性能	(86)
18.4.4 应用	(88)
§ 18.5 圆管式压电陀螺	(88)
18.5.1 工作原理	(88)
18.5.2 结构	(91)
18.5.3 性能	(91)
18.5.4 应用	(93)
§ 18.6 半球式压电陀螺	(93)

18.6.1 工作原理	(93)
18.6.2 结构	(95)
18.6.3 性能	(96)
18.6.4 应用	(96)
§ 18.7 压电角加速度陀螺	(97)
18.7.1 结构原理	(97)
18.7.2 性能和应用	(99)
§ 18.8 压电增稳器	(101)
18.8.1 结构原理	(101)
18.8.2 性能和应用	(101)
§ 18.9 有角速度输出的压电倾斜仪	(102)
参考文献	(105)
第十九章 压电声表面波器件	南京大学 水永安(106)
§ 19.1 声表面波器件简介	(106)
19.1.1 引言	(106)
19.1.2 声表面波器件的制造工艺	(107)
19.1.3 声表面波发展的简要回顾	(109)
19.1.4 声表面波器件的简单工作原理	(110)
§ 19.2 声表面波带通滤波器	(114)
§ 19.3 声表面波谐振器和振荡器	(121)
19.3.1 谐振器	(121)
19.3.2 延迟线	(126)
19.3.3 振荡器	(128)
§ 19.4 声表面波色散延迟线	(129)
19.4.1 雷达的脉冲压缩	(129)
19.4.2 用色散延迟线构成信号的傅氏变换	(135)
§ 19.5 声表面波抽头延迟线	(137)
参考文献	(141)
第二十章 压电水声器件	北京大学 栾桂冬(143)
§ 20.1 概述	(143)

§ 21.4	压电送话器·····	(192)
§ 21.5	压电受话器·····	(195)
§ 21.6	压电拾声器·····	(196)
	参考文献·····	(197)
第二十二章	压电超声器件····· 东南大学 袁易全	(199)
§ 22.1	3-3 连结复合压电宽带换能器 ·····	(199)
22.1.1	3-3 连结复合压电换能器原理 ·····	(199)
22.1.2	3-3 连结复合压电换能器地震模型特性测定应用 ·····	(205)
§ 22.2	夹心 3-3 连结复合换能器在局部放电检测定位 中应用·····	(213)
22.2.1	夹心 3-3 连结复合局放检测换能器 ·····	(213)
22.2.2	夹心 3-3 连结复合局放检测换能器应用效果及 展望 ·····	(216)
§ 22.3	1-3 连结复合压电宽带换能器 ·····	(218)
22.3.1	压电复合材料换能器冻土力学特性测定的应用 ·····	(218)
22.3.2	高频 1-3 连结复合压电换能器在眼科 B 超检测的 应用 ·····	(222)
§ 22.4	空气介质中检测用压电超声换能器·····	(224)
22.4.1	固态压电陶瓷与空气声匹配方法 ·····	(224)
22.4.2	复合压电空气换能器 ·····	(226)
22.4.3	PVDF 高分子压电薄膜空气换能器 ·····	(227)
22.4.4	PZT 压电陶瓷多层结构空气换能器 ·····	(229)
§ 22.5	超声检漏仪用换能器·····	(231)
22.5.1	超声检漏原理 ·····	(231)
22.5.2	超声检漏仪及用途 ·····	(233)
22.5.3	超声检漏用高灵敏压电式换能器 ·····	(235)
§ 22.6	管外夹持式超声流量计用换能器·····	(242)
22.6.1	管外夹持式超声流量计原理 ·····	(242)

22.6.2	管外夹持式超声压电换能器	(244)
§ 22.7	高温超声测厚压电换能器及其仪表	(249)
22.7.1	高温测厚仪原理	(249)
22.7.2	高温测厚压电换能器	(252)
§ 22.8	无损探伤用压电超声换能器	(255)
22.8.1	超声探伤概述	(255)
22.8.2	超声探伤用压电换能器	(256)
§ 22.9	超声清洗用压电换能器	(262)
22.9.1	超声清洗压电式换能器	(262)
22.9.2	超声清洗压电式换能主要应用场合	(265)
§ 22.10	超声波焊接用压电换能器	(265)
22.10.1	超声波塑料焊接机	(265)
22.10.2	超声波塑料焊接机用的声学系统	(269)
22.10.3	塑料焊接换能器与负载阻抗匹配设计	(272)
	参考文献	(274)
第二十三章	压电马达	清华大学 周铁英 (277)
§ 23.1	概述	(277)
§ 23.2	摩擦驱动型超声马达分类和原理	(279)
23.2.1	行波型超声马达	(279)
23.2.2	驻波超声马达	(287)
23.2.3	弯曲摇头式超声马达	(295)
23.2.4	蠕动式压电马达	(297)
23.2.5	多自由度超声马达	(297)
§ 23.3	非摩擦驱动型压电马达	(298)
23.3.1	压电电流变直线步进马达	(299)
23.3.2	压电电流变旋转步进马达	(299)
§ 23.4	非接触驱动型超声马达	(300)
23.4.1	雷诺剪切力驱动的致动器	(301)
23.4.2	辐射压力(垂直雷诺力)驱动的致动器	(302)
§ 23.5	超声马达国内外研究现状	(304)

23.5.1 理论研究现状	(304)
23.5.2 实用研究现状	(305)
§ 23.6 超声马达待解决的问题	(306)
23.6.1 理论上待解决的问题	(306)
23.6.2 工艺上待解决的问题	(307)
参考文献	(308)
第二十四章 压电变压器	
..... 清华大学 周铁英 四川大学 许祖谦	(310)
§ 24.1 概述	(310)
§ 24.2 升压压电变压器	(310)
24.2.1 工作原理	(311)
24.2.2 等效电路	(312)
24.2.3 Rosen 横向压电变压器的设计	(316)
24.2.4 Rosen 横向压电变压器的工作特性	(317)
24.2.5 Rosen 横向压电变压器的应用	(320)
24.2.6 Rosen 横向压电变压器的制作工艺	(325)
§ 24.3 压电变压器的其他形式	(327)
§ 24.4 压电点火器 and 高压发生器	(329)
24.4.1 压电点火器	(329)
24.4.2 压电高压发生器	(330)
§ 24.5 压电变流器——降压压电变压器	(331)
24.5.1 纵-横式压电变流器	(331)
24.5.2 多层压电变流器	(332)
24.5.3 高次振动模式驱动的压电变流器	(333)
24.5.4 盒式压电变流器	(335)
参考文献	(336)
第二十五章 压电加速度计和力传感器	
..... 清华大学 刘馥清	(337)
§ 25.1 压电加速度计	(337)
25.1.1 工作原理	(337)

25.1.2	压电加速度计的各种结构形式	(340)
25.1.3	压电加速度计的主要性能参数	(342)
§ 25.2	压电力传感器	(344)
§ 25.3	压电压力传感器	(348)
参考文献		(350)
第二十六章 压电检测器 北京信息工程学院 张福学(351)		
§ 26.1	车辆自动识别器	(351)
26.1.1	压电车辆自动识别器	(351)
26.1.2	微波压电车辆自动识别器	(353)
§ 26.2	石英晶体温度计	(355)
§ 26.3	膜厚监控器	(356)
26.3.1	石英晶体膜厚监控器	(356)
26.3.2	数字厚度监控器	(358)
§ 26.4	压电探测器	(361)
26.4.1	压电汞蒸气探测器	(361)
26.4.2	压电氰化物探测器	(363)
26.4.3	检测氨的压电探测器	(365)
26.4.4	检测 SO ₂ 的压电探测器	(367)
§ 26.5	测量液体密度的压电传感器	(371)
§ 26.6	孪生体压电陶瓷传感器	(373)
参考文献		(375)
第二十七章 压电执行器 北京信息工程学院 张福学(376)		
§ 27.1	压电开关	(376)
27.1.1	压电双晶片驱动的光纤开关	(376)
27.1.2	压电无触点式、薄膜式和按钮式开关	(378)
§ 27.2	压电继电器	(381)
§ 27.3	压电泵	(383)
§ 27.4	压电阀	(384)
27.4.1	高速大流量压电转换阀	(384)
27.4.2	压电双晶片高速脉冲阀	(385)

§ 27.5	压电喷墨打印机·····	(388)
27.5.1	压电双晶片喷墨打印机 ·····	(388)
27.5.2	压电微滴喷墨打印机 ·····	(390)
27.5.3	压电彩色喷墨打印机 ·····	(392)
§ 27.6	压电双晶片驱动的摆动式 CCD 图像摄像器 ·····	(396)
§ 27.7	压电双晶片光束扫描器·····	(397)
§ 27.8	录像机磁头自动跟踪用压电致动器·····	(401)
§ 27.9	压电微电极驱动器·····	(403)
§ 27.10	压电蜂鸣器 ·····	(405)
§ 27.11	压电耦合器 ·····	(309)
§ 27.12	压电振动风扇 ·····	(413)
§ 27.13	压电电控百叶窗 ·····	(415)
参考文献	·····	(415)

第二十八章 压电医用器件与装置 ·····

·····	北京信息工程学院 张福学	(417)
§ 28.1	压电血压计·····	(417)
28.1.1	压电血压传感器 ·····	(417)
28.1.2	结构 ·····	(418)
28.1.3	简便式压电血压计 ·····	(419)
§ 28.2	压电脉搏计·····	(421)
§ 28.3	压电微音器·····	(422)
28.3.1	听诊器用的压电微音器 ·····	(422)
28.3.2	用压电微音器的肺音诊断装置 ·····	(424)
28.3.3	胎儿心音压电传感器 ·····	(425)
28.3.4	加速度型心音计 ·····	(429)
28.3.5	压电助听器 ·····	(429)
28.3.6	检测小生物心音的压电传感器 ·····	(431)
§ 28.4	监视宫收缩的压电传感器·····	(434)
§ 28.5	监视小儿呼吸的压电传感器·····	(436)

§ 28.6	检测啮力的压电传感器·····	(436)
§ 28.7	检测手指机械阻抗的压电传感器·····	(438)
§ 28.8	测量人体能量消耗的便携式加速度装置·····	(440)
§ 28.9	检测人手迹和声特性的压电传感器·····	(443)
§ 28.10	压电超声探头 ·····	(444)
28.10.1	压电超声诊断探头 ·····	(444)
28.10.2	B型快速显像探头 ·····	(446)
28.10.3	压电超声多普勒探头 ·····	(448)
§ 28.11	压电 DBDU 血流速度测定仪 ·····	(449)
§ 28.12	测量人体组织声速的压电共振法 ·····	(451)
§ 28.13	超声全息压电换能器 ·····	(452)
§ 28.14	哺乳动物组织的超声性质 ·····	(454)
§ 28.15	超声显微镜 ·····	(454)
§ 28.16	压电鞋 ·····	(457)
§ 28.17	电控压电胰岛素泵和阀 ·····	(458)
§ 28.18	人造压电心脏 ·····	(463)
§ 28.19	穴位超声治疗机 ·····	(465)
§ 28.20	超声治疗肿瘤 ·····	(467)
§ 28.21	压电超声换能器粉碎肾结石 ·····	(469)
§ 28.22	压电超声治疗装置 ·····	(470)
§ 28.23	压电超声盲人导行装置 ·····	(472)
§ 28.24	用压电电源的可携式 X 射线机 ·····	(473)
参考文献·····		(474)
第二十九章 热释电器件····· 四川大学 余 萍 肖定全(475)		
§ 29.1	热释电探测器基础·····	(475)
29.1.1	概述 ·····	(475)
29.1.2	结构与工作原理 ·····	(476)
29.1.3	理想热释电探测器 ·····	(477)
29.1.4	实际热释电探测器 ·····	(480)
29.1.5	优值因子 ·····	(482)

29.1.6	探测器性能与温度的关系	(482)
29.1.7	最佳探测器性能	(483)
§ 29.2	热释电摄像管	(484)
29.2.1	概述	(484)
29.2.2	结构和工作原理	(484)
29.2.3	靶材料选择	(486)
§ 29.3	薄膜型热释电单元探测器和列阵探测器	(486)
29.3.1	概述	(486)
29.3.2	薄膜型热释电红外单元探测器	(487)
29.3.3	线性列阵红外传感器	(490)
29.3.4	薄膜型热释电红外焦平面列阵(UFPA)	(491)
29.3.5	薄膜型热释电器件的发展	(496)
§ 29.4	其他热释电器件	(496)
29.4.1	热释电效应在计测仪器方面的应用	(497)
29.4.2	热释效应在其他探测器方面的应用	(498)
29.4.3	相关热释电型应用	(502)
§ 29.5	主要热释电材料	(506)
29.5.1	热释电探测器的优点	(506)
29.5.2	热释电材料的优值指数	(507)
29.5.3	主要的热释电材料	(508)
参考文献		(511)
第三十章 铁电器件 四川大学 余 萍 肖定全(513)		
§ 30.1	铁电薄膜微电子器件	(513)
30.1.1	非挥发性铁电随机存取存储器(FRAM)	(513)
30.1.2	铁电动态随机存取存储器(DRAM)	(515)
30.1.3	铁电薄膜微波器件	(516)
30.1.4	集成铁电微电子机械系统器件	(516)
§ 30.2	铁电薄膜光电子器件	(518)
30.2.1	热释电红外探测器	(518)
30.2.2	铁电薄膜集成光波导器件	(518)

30.2.3 铁电超晶格器件	(519)
§ 30.3 铁电冷阴极	(521)
§ 30.4 铁电致冷	(523)
§ 30.5 其他铁电器件	(524)
30.5.1 电控双折射器件	(524)
30.5.2 电控光散射器件	(525)
§ 30.6 光铁电器件	(526)
30.6.1 小功率高压发生器	(527)
30.6.2 光折变全息存储器	(528)
30.6.3 集成光学器件	(529)
参考文献	(530)

上 册

第一章 晶体的点阵结构及对称性	清华大学	路峻岭
第二章 固体的弹性	四川大学	武以立
第三章 晶体的介电性	清华大学	路峻岭
第四章 压电效应与压电方程	清华大学	路峻岭
第五章 固体中的弹性波	四川大学	武以立
第六章 压电振子的振动模式与压电参数的测量	北京大学	栾桂冬
第七章 晶体的热释电效应	四川大学	肖定全
第八章 铁电相变理论	山东大学 钟维烈	王渊旭
第九章 压电铁电晶体的光学性质	四川大学	肖定全
第十章 生物组织的压电性	北京信息工程学院	张福学

中 册

第十一章 非铁电性压电晶体 ...	北京国营第七〇七厂	经和贞
第十二章 铁电性压电晶体	四川大学	朱建国

第十三章	压电陶瓷	北京信息工程学院	张福学
第十四章	无机压电铁电薄膜	四川大学	肖定全
第十五章	压电聚合物	武汉大学	赵兴中
第十六章	压电复合材料	北京信息工程学院	王丽坤等