

 国外名校最新教材精选

# 半导体材料与器件表征

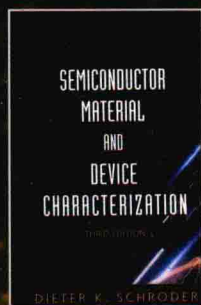
Semiconductor Material and Device Characterization

DIETER K. SCHRODER

第3版  
Third Edition

[美] 迪特尔·K·施罗德 著

徐友龙 任巍 王杰 阙文修 汪敏强 史鹏 译




WILEY



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



 国外名校最新教材精选

Semiconductor Material and Device Characterization  
(Third Edition)

# 半导体材料与器件表征

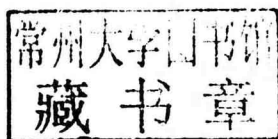
(第3版)

[美] 迪特尔·K·施罗德 著

Dieter K. Schroder

Arizona State University, Tempe, AZ

徐友龙 任 巍 王 杰 阙文修 汪敏强 史 鹏 译



西安交通大学出版社  
Xi'an Jiaotong University Press

Semiconductor Material and Device Characterization, Third Edition, Dieter K. Schroder,  
ISBN:978-0-471-73906-7

All Rights Reserved. This translation published under license.

本书封面贴有 Wiley 公司防伪标签,无标签者不得销售。  
陕西省版权局著作权合同登记号:图字 25-2013-016 号

---

图书在版编目(CIP)数据

半导体材料与器件表征:第3版/[美]迪特尔·K·施罗德(Dieter K. Schroder)著;徐友龙等译。—西安:西安交通大学出版社,2017.10

书名原文:Semiconductor Material and Device Characterization (Third Edition)

ISBN 978-7-5693-0218-9

I. ①半… II. ①迪… ②徐… III. ①半导体材料-研究 IV. ①TN304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 251167 号

---

书 名 半导体材料与器件表征(第3版)  
著 者 [美]迪特尔·K·施罗德  
译 者 徐友龙 任 巍 王 杰 阙文修 汪敏强 史 鹏

---

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>  
电 话 (029)82668357 82667874(发行部)  
(029)82668315(总编办)

传 真 (029)82668280  
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司

---

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 45.625 字数 1114 千字  
版次印次 2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5693-0218-9  
定 价 128.00 元

---

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665397

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究



## 译者序

本书是一本非常优秀的电子科学与技术学科高年级本科生或研究生的教科书或参考书,也是半导体材料和器件领域的专业人员案头必备的参考书。本书作者迪特尔·K·施罗德(DIETER K. SCHRODER)博士,是国际著名微电子学专家,美国亚利桑那州立大学电气、计算机与能源工程学院摄政董事教授,亚利桑那州立大学低功率电子学中心主任,国际半导体材料和器件领域公认的权威。

施罗德教授在亚利桑那州立大学执教28年,培养了62名硕士和41名博士。施罗德教授在进入亚利桑那州立大学执教之前,已经在西屋研究实验室从事了13年工业研究,也指导了许多工业界的工程师和科学家。他教授过电荷耦合器件、电子成像、半导体表征、半导体功率器件、半导体器件物理等课程,曾获得亚利桑那州立大学工学院教学优秀奖、IEEE继续教育学会功勋奖以及IEEE杰出国家讲师等荣誉。

半导体技术的发展日新月异,它不断改变着我们的日常生活和工业生产的方方面面。超算服务器、智能手机、平板电脑、数控机床、数字加工中心、地铁、轻轨、高铁、太阳能、风能等,以及未来的电动汽车、物联网、大数据和人工智能等等已经深刻地改变了我们的生活方式,而这些技术的核心器件无一例外包括半导体器件。另外,半导体技术本身也发生了巨大的变化,7纳米线宽的半导体器件已经批量生产。目前,国内外讲述半导体理论的专著和教材很多,可是有关材料与器件表征的著作则极为少见,仅有的几本著作中所讨论的几种表征方法也较为局限。很多学生虽然掌握了半导体理论的基本思想和方法,却不知半导体材料与器件的各种参数如何获得或测量,同时生产一线的技术工程师们亦需要一本有关材料与器件表征测量理论知识的参考书。因此很需要出版和半导体材料与器件表征测量相关的理论知识的书籍。而本书是这方面一本不可多得的好书。

本书第3版进行了全面的修订。融入了第2版出版以来半导体表征技术的新进展、新技术,添加了最新的研究成果。新增了基于电荷和探针的表征方法、可靠性和失效分析两章;删除了一些过时的资料,新增了260个参考文献,澄清了一些晦涩难懂的内容;重做了大部分的图表,更新了数据;每章的结尾增加了习题和复习题,还在全书中增加了例题,这样就使得本书更利于初学者使用。

本书涉及了半导体材料与器件的设计、制造、使用相关的各类参数表征方法,从理论

到实践、从理论原理到技术设备,包罗万象,内容丰富,是该领域独一无二的著作。该书写作手法新颖,从深入浅出的原理叙述自然流畅地过渡到实际应用,从例题、习题到思考题到各类相关表征手段,并且还给出了不同表征方法的优点和不足,使读者不仅容易掌握不同表征方法,而且能熟练选择最便利和最简单的表征方法。这种方式不管是教科书还是专著都未曾见到过。

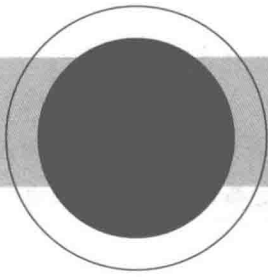
译者在译文中更正了原书中的一些错误,并以译注的方式加以说明。任巍教授翻译了本书的第1和第9章,王杰副教授翻译了本书的第3和第12章,阙文修教授翻译了本书的第10章,汪敏强教授翻译了本书第11章,史鹏副教授翻译了本书的第2章。徐友龙翻译了其余部分。在此一并表示衷心感谢!尤其要感谢西安交通大学出版社责任编辑赵丽平和贺峰涛老师的辛勤劳动!本书能够顺利出版离不开所有参与者的大力支持。

由于译者的水平有限,虽然尽了最大的努力,书中难免存在不足和疏漏之处,敬请读者批评指正和给予谅解!

徐友龙

于西安交通大学

2017.12.28



## 第3版序言

自第2版出版以来,半导体表征技术一直在不断地向前发展。开发了新技术,其他技术也得到了改进。第2版序言中提到的技术,如扫描探针、全反射X射线荧光和非接触式寿命/扩散长度的测量已经成为常规。在接下来的几年中,探针技术进一步扩展,如基于电荷的技术已经成为常规,采用聚焦离子束制备样品透射电子显微镜也已经成为常规。线宽测量由于线宽变得非常狭窄而变得更加困难,传统的SEM和电气测量已被光学散射和光谱椭偏技术增强。除了新的测量技术外,现有技术的解释也发生了变化。例如,氧化物薄膜的高漏电流使得有必要改变许多基于MOS技术的现有技术/理论。

我重写了每一章的部分,添加了两个新章节,删除了一些过时的资料,澄清了一些被我指出的晦涩难懂的部分。大部分的图表已经重做,删除了一些过时的图表或用最近的数据取代它们。第3版在每章的结尾还增加了习题和复习题,并在整个书中增加了例题,这样使本书成为更有吸引力的教科书。新版还增加了260个新的参考资料,使这本书尽可能地接近当今最新发展现状。我也把表面电阻的符号由 $\rho_s$ 变成 $R_{sh}$ ,使用时更容易接受。

在此简要列出了主要的附加材料或扩展材料。许多其它较小的变化都在书中。

### 第1章

表面电阻新的解释;新的四探针公式;四探针用于浅结和高表面电阻样品;增加载流子光照方法。

### 第2章

增加非接触式C-V;积分电容;增加/扩充串联电容;扩充自由载流子吸收;新增横向剖面分析;添加附录2等效电路推导。

### 第3章

扩充环形接触电阻小节;在TLM方法添加寄生电阻的考虑;通过增加BEEM扩充了势垒高度小节;添加附录处理寄生电阻效应。

### 第4章

增加了用于SOI表征的赝MOSFET小节;增加了几种MOSFET有效沟道长度测量方法,并删除了一些较旧的方法。

## 第 5 章

增加了拉普拉斯 DLTS;在附录 5.2 中增加了时间常数提取部分的小节。

## 第 6 章

扩展了氧化层厚度测量小节;增加了漏栅极氧化层对电导和电荷泵的影响考虑;增加了 DC-IV 方法;扩充了栅氧化层的漏电流小节;增加附录 6.2 考虑了晶圆卡盘的寄生电容和漏电流的影响。

## 第 7 章

澄清了光生载流子寿命小节;增加了准稳态光电导;扩充了自由载流子吸收和二极管电流寿命的方法;增加了脉冲 MOS 电容器技术对氧化层漏电流的考虑。

## 第 8 章

增加了栅损耗、沟道位置、栅电流、界面陷阱和反转电荷频率响应对有效迁移率提取的影响。我还增加了一个关于非接触式迁移率测量的小节。

## 第 9 章

这一章是新增的,介绍了基于电荷的测量和开尔文探针。包括了基于探针的测量,扩展了扫描电容、扫描开尔文探针、扫描扩散电阻和弹道电子发射显微镜等方法。

## 第 10 章

扩展共焦光学显微镜、光致发光和线宽测量。

## 第 11 章

做了一些小小的改变。

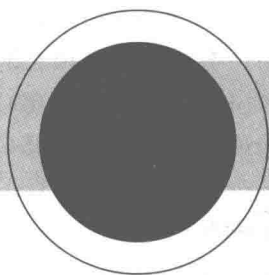
## 第 12 章

这一章是新增的,有关失效分析和可靠性。我从第 2 版的其它章节取了一些内容并进行了扩充。介绍了失效时间和分布函数,讨论了电迁移、热载流子、栅氧化层完整性、负偏压温度不稳定性、应力诱导漏电流和静电放电等有关器件可靠性的内容。本章剩余部分是有关更一般的失效分析技术:静态沟道电流;力学探针;发射显微镜;荧光热显微镜;红外热像仪;电压衬度;激光电压探针;液晶;光束诱导电阻和噪声。

几种探针都提供了实验数据,几种概念都通过与半导体行业专家讨论给予了澄清。我感谢他们对图表注解的贡献。美国国家标准与技术研究所汤姆·沙夫纳(Tom Shaffner)一直是优秀的知识源泉和好朋友,美国飞思卡尔半导体(Freescale Semiconductor)的史蒂夫·基尔戈(Steve Kilgore)对电迁移概念给予了帮助。由阿兰·迪博尔德(Alain Diebold)最近主编的《硅半导体度量手册 Handbook of Silicon Semiconductor Metrology》是一个极好的姊妹篇,她给出了本书许多缺失的半导体度量的实际细节。我要感谢约翰·威立父子出版社的执行编辑 G. Telecki, R. Witmer and M. Yanuzzi,他们在从编辑到出版过程中给予的帮助。

迪特尔·K·施罗德  
美国亚利桑那州,坦佩





# 目录

译者序

第3版序言

第1章 电阻率	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 两探针与四探针法	(2)
1.2.1 修正因子	(6)
1.2.2 任意形状样品的电阻率	(12)
1.2.3 测量电路	(15)
1.2.4 测量误差和注意事项	(15)
1.3 晶片图	(18)
1.3.1 双注入	(18)
1.3.2 调制光反射	(19)
1.3.3 载流子光照(CI)	(21)
1.3.4 光学密度测定(光密度计)	(21)
1.4 电阻压型	(22)
1.4.1 微分霍尔效应(DHE)	(22)
1.4.2 扩散电阻压型(SRP)	(25)
1.5 非接触测试方法	(29)
1.5.1 涡旋电流	(29)
1.6 导电类型	(32)
1.7 优点和缺点	(34)
附录 1.1 电阻率随掺杂浓度的变化	(35)
附录 1.2 本征载流子浓度	(37)
参考文献	(39)
习题	(44)
复习题	(51)



第 2 章 载流子与掺杂浓度 .....	(53)
2.1 引言 .....	(53)
2.2 电容-电压特性(C-V) .....	(54)
2.2.1 微分电容 .....	(54)
2.2.2 能带偏移 .....	(59)
2.2.3 最大-最小 MOS-C 电容 .....	(62)
2.2.4 积分电容 .....	(65)
2.2.5 汞探针接触 .....	(66)
2.2.6 电化学 C-V 测试仪(ECV) .....	(67)
2.3 电容-电压(I-V) .....	(69)
2.3.1 MOSFET 衬底电压-栅极电压 .....	(69)
2.3.2 MOSFET 阈值电压 .....	(70)
2.3.3 扩散电阻 .....	(71)
2.4 测量误差及注意事项 .....	(71)
2.4.1 德拜长度和电压击穿 .....	(71)
2.4.2 串联电阻 .....	(72)
2.4.3 少数载流子和界面陷阱 .....	(77)
2.4.4 二极管边缘电容和杂散电容 .....	(78)
2.4.5 过剩漏电流 .....	(79)
2.4.6 深能级杂质/陷阱 .....	(79)
2.4.7 半绝缘衬底 .....	(81)
2.4.8 仪器限制 .....	(81)
2.5 霍尔效应 .....	(82)
2.6 光学技术 .....	(85)
2.6.1 等离子体共振 .....	(85)
2.6.2 自由载流子吸收 .....	(85)
2.6.3 红外光谱学 .....	(86)
2.6.4 光致发光 .....	(88)
2.7 二次离子质谱分析法(SIMS) .....	(89)
2.8 卢瑟福背散射(RBS) .....	(90)
2.9 横向分布 .....	(90)
2.10 优点和缺点 .....	(91)
附录 2.1 并联或串联连接 .....	(93)
附录 2.2 电路转换 .....	(94)
参考文献 .....	(96)
习题 .....	(103)
复习题 .....	(109)

<b>第 3 章 接触电阻和肖特基势垒</b> .....	(111)
3.1 引言 .....	(111)
3.2 金属-半导体接触.....	(112)
3.3 接触电阻 .....	(115)
3.4 测量技术 .....	(117)
3.4.1 两接触两端子法 .....	(118)
3.4.2 多接触两端子法 .....	(121)
3.4.3 四端子接触电阻方法 .....	(130)
3.4.4 六端子接触电阻方法 .....	(135)
3.4.5 非平面接触 .....	(136)
3.5 肖特基势垒高度 .....	(137)
3.5.1 电流-电压.....	(138)
3.5.2 电流-温度.....	(139)
3.5.3 容量-电压.....	(140)
3.5.4 光电流 .....	(141)
3.5.5 弹道电子发射显微镜(BEEM) .....	(142)
3.6 方法间的比较 .....	(142)
3.7 优点和缺点 .....	(143)
附录 3.1 寄生电阻的影响 .....	(144)
附录 3.2 与半导体接触的合金 .....	(146)
参考文献.....	(147)
习题.....	(153)
复习题.....	(162)
<b>第 4 章 串联电阻,沟道长度与宽度,阈值电压</b> .....	(163)
4.1 引言 .....	(163)
4.2 PN 结二极管 .....	(164)
4.2.1 电流-电压关系.....	(164)
4.2.2 开路电压衰减(OCVD) .....	(166)
4.3 肖特基二极管 .....	(167)
4.3.1 串联电阻 .....	(167)
4.4 太阳能电池 .....	(169)
4.4.1 串联电阻-多倍光强 .....	(171)
4.4.2 串联电阻-恒定光强.....	(173)
4.4.3 并联电阻 .....	(174)
4.5 双极晶体管 .....	(175)
4.5.1 发射极电阻 .....	(176)
4.5.2 集电极电阻 .....	(178)
4.5.3 基极电阻 .....	(178)

## 4 半导体材料与器件表征

4.6 MOSFETs .....	(181)
4.6.1 串联电阻和沟道长度-电流-电压 .....	(181)
4.6.2 沟道长度-电容电压 .....	(189)
4.6.3 沟道宽度 .....	(191)
4.7 MESFETs 和 MODFETs .....	(192)
4.8 阈值电压 .....	(194)
4.8.1 线性插补 .....	(196)
4.8.2 漏电流恒定 .....	(199)
4.8.3 亚阈值漏电流 .....	(199)
4.8.4 跨导 .....	(199)
4.8.5 跨导微商 .....	(200)
4.8.6 漏电流比率 .....	(200)
4.9 栅 MOSFET .....	(202)
4.10 优点和缺点 .....	(203)
附录 4.1 肖特基二极管 $I-V$ 方程 .....	(203)
参考文献 .....	(205)
习题 .....	(211)
复习题 .....	(220)
<b>第 5 章 缺陷</b> .....	<b>(222)</b>
5.1 引言 .....	(222)
5.2 产生-复合统计 .....	(224)
5.2.1 图示描述 .....	(224)
5.2.2 数学描述 .....	(226)
5.3 电容测量 .....	(228)
5.3.1 稳态测量 .....	(229)
5.3.2 瞬态测量 .....	(229)
5.4 电流测量 .....	(237)
5.5 电荷测量 .....	(238)
5.6 深能级瞬态光谱(DLTS) .....	(239)
5.6.1 传统的 DLTS .....	(239)
5.6.2 界面态陷阱电荷 DLTS .....	(248)
5.6.3 光学扫描 DLTS .....	(250)
5.6.4 注意事项 .....	(252)
5.7 热刺激电容和电流 .....	(254)
5.8 正电子湮灭光谱(PAS) .....	(256)
5.9 优点和缺点 .....	(258)
附录 5.1 激活能和俘获截面 .....	(259)
附录 5.2 时间常数提取 .....	(260)

附录 5.3 Si 和 GaAs 数据 .....	(262)
参考文献 .....	(267)
习题 .....	(274)
复习题 .....	(281)
<b>第 6 章 栅氧电荷、界面陷阱电荷和栅氧厚度 .....</b>	<b>(282)</b>
6.1 引言 .....	(282)
6.2 固定氧化层陷阱电荷和可动氧化层电荷 .....	(284)
6.2.1 电容-电压曲线 .....	(284)
6.2.2 平带电压 .....	(289)
6.2.3 电容测量 .....	(293)
6.2.4 固定电荷 .....	(295)
6.2.5 栅-半导体功函数差 .....	(296)
6.2.6 氧化层陷阱电荷 .....	(298)
6.2.7 可动电荷 .....	(299)
6.3 界面陷阱电荷 .....	(302)
6.3.1 低频(准稳态)法 .....	(302)
6.3.2 电导 .....	(306)
6.3.3 高频法 .....	(310)
6.3.4 电荷泵 .....	(311)
6.3.5 MOSFET 亚阈值电流 .....	(317)
6.3.6 DC-IV 法 .....	(319)
6.3.7 其他方法 .....	(320)
6.4 氧化层厚度的影响 .....	(321)
6.4.1 伏安法 .....	(322)
6.4.2 电流-电压 .....	(325)
6.4.3 其他方法 .....	(326)
6.5 优点和缺点 .....	(326)
附录 6.1 电容测量法 .....	(327)
附录 6.2 卡盘电容效应和泄漏电流 .....	(329)
参考文献 .....	(331)
习题 .....	(338)
复习题 .....	(343)
<b>第 7 章 载流子寿命 .....</b>	<b>(344)</b>
7.1 引言 .....	(344)
7.2 复合时间和表面复合速率 .....	(345)
7.3 产生寿命/表面产生速率 .....	(349)
7.4 复合寿命—光学测量 .....	(350)

## 6 半导体材料与器件表征

7.4.1	光电导衰减(PCD)	(353)
7.4.2	准稳态光电导(QSSPC)	(356)
7.4.3	短路电流/开路电压衰减(SCCD/OCVD)	(357)
7.4.4	光致发光衰减(PLD)	(357)
7.4.5	表面光电压(SPV)	(358)
7.4.6	稳态短路电流(SSSCC)	(364)
7.4.7	自由载流子吸收	(366)
7.4.8	电子束感应电流(EBIC)	(368)
7.5	复合寿命-电学测量	(370)
7.5.1	二极管电流-电压	(370)
7.5.2	反向恢复(RR)	(372)
7.5.3	开路电压衰减(OCVD)	(374)
7.5.4	脉冲 MOS 电容	(376)
7.5.5	其他方法	(379)
7.6	生成寿命-电气测量	(379)
7.6.1	栅控二极管	(379)
7.6.2	脉冲 MOS 电容	(382)
7.7	优点和缺点	(389)
附录 7.1	光激发	(390)
附录 7.2	电激励	(396)
参考文献		(398)
习题		(407)
复习题		(412)
<b>第 8 章</b>	<b>迁移率</b>	<b>(414)</b>
8.1	引言	(414)
8.2	电导迁移率	(415)
8.3	霍尔效应与迁移率	(415)
8.3.1	均一层或晶圆的的基本方程	(415)
8.3.2	非均一层	(420)
8.3.3	多层	(422)
8.3.4	样品形状和测量电路	(423)
8.4	磁阻迁移率	(427)
8.5	飞行时间漂移迁移率	(429)
8.6	场效应 MOS 管的迁移率	(435)
8.6.1	有效迁移率	(435)
8.6.2	场效应迁移率	(445)
8.6.3	饱和迁移率	(446)
8.7	非接触迁移率	(447)

8.8 优点和缺点 .....	(447)
附录 8.1 半导体体迁移率 .....	(448)
附录 8.2 半导体表面迁移率 .....	(450)
附录 8.3 有效沟道频率响应 .....	(451)
附录 8.4 界面陷阱电荷的影响 .....	(452)
参考文献 .....	(454)
习题 .....	(460)
复习题 .....	(466)
<b>第 9 章 基于电荷和探针的表征技术</b> .....	(467)
9.1 引言 .....	(467)
9.2 背景 .....	(468)
9.3 表面电荷沉积 .....	(469)
9.4 开尔文探针 .....	(470)
9.5 应用 .....	(476)
9.5.1 表面光电压(SPV) .....	(476)
9.5.2 载流子寿命 .....	(477)
9.5.3 表面改性 .....	(479)
9.5.4 近表面掺杂浓度 .....	(480)
9.5.5 氧化层电荷 .....	(481)
9.5.6 氧化层厚度和界面陷阱态密度 .....	(483)
9.5.7 氧化层泄漏电流 .....	(484)
9.6 扫描探针显微镜(SMP) .....	(484)
9.6.1 扫描隧道显微镜(STM) .....	(485)
9.6.2 原子力显微镜(AFM) .....	(487)
9.6.3 扫描电容显微镜(SCM) .....	(489)
9.6.4 扫描开尔文探针显微镜(SKPM) .....	(491)
9.6.5 扫描扩散电阻显微镜(SSRM) .....	(494)
9.6.6 弹道电子发射显微镜(BEEM) .....	(495)
9.7 优点和缺点 .....	(496)
参考文献 .....	(497)
习题 .....	(501)
复习题 .....	(502)
<b>第 10 章 光学表征</b> .....	(503)
10.1 引言 .....	(503)
10.2 光学显微镜方法 .....	(504)
10.2.1 分辨率、放大率、对比度 .....	(505)
10.2.2 暗场、相差、干涉相衬显微镜 .....	(507)

## 8 半导体材料与器件表征

10.2.3	共焦光学显微镜	(509)
10.2.4	干涉显微镜	(511)
10.2.5	缺陷刻蚀	(513)
10.2.6	近场光学显微(NFOM)	(515)
10.3	椭圆偏振法	(517)
10.3.1	理论	(517)
10.3.2	零椭圆偏振法	(519)
10.3.3	旋转检偏器式椭圆偏振法	(520)
10.3.4	光谱椭圆偏振法(SE)	(520)
10.3.5	应用	(521)
10.4	透射法	(522)
10.4.1	理论	(522)
10.4.2	仪器	(524)
10.4.3	应用	(527)
10.5	反射	(528)
10.5.1	理论	(528)
10.5.2	应用	(530)
10.5.3	内反射红外光谱学	(533)
10.6	光散射	(534)
10.7	调制光谱学	(536)
10.8	线宽	(536)
10.8.1	光学-物理方法	(536)
10.8.2	电学方法	(538)
10.9	光致发光(PL)	(539)
10.10	拉曼光谱	(543)
10.11	优点和缺点	(545)
附录 10.1	透射方程	(545)
附录 10.2	几种半导体的吸收系数和折射率	(547)
参考文献		(549)
习题		(556)
复习题		(560)
<b>第 11 章</b>	<b>化学和物理表征</b>	<b>(561)</b>
11.1	引言	(561)
11.2	电子束技术	(563)
11.2.1	扫描电子显微镜(SEM)	(563)
11.2.2	俄歇电子能谱(AES)	(567)
11.2.3	电子探针(EMP)	(572)
11.2.4	透射电子显微镜(TEM)	(578)



11.2.5	电子束感应电流(EBIC)	(581)
11.2.6	阴极发光(CL)	(583)
11.2.7	低能和高能电子衍射(LEED)	(584)
11.3	离子束技术	(584)
11.3.1	二次离子质谱(SIMS)	(585)
11.3.2	卢瑟福背散射谱分析(RBS)	(589)
11.4	X射线和伽马射线技术	(595)
11.4.1	X射线荧光光谱(XRF)	(595)
11.4.2	X射线光电子能谱(XPS)	(597)
11.4.3	X-射线形貌术(XRT)	(600)
11.4.4	中子活化分析(NAA)	(603)
11.5	优点和缺点	(604)
附录 11.1	一些分析技术的选择特点	(605)
	参考文献	(607)
	习题	(614)
	复习题	(615)
<b>第 12 章</b>	<b>可靠性和失效分析</b>	<b>(617)</b>
12.1	引言	(617)
12.2	失效时间和加速因子	(618)
12.2.1	失效时间	(618)
12.2.2	加速因子	(618)
12.3	分布函数	(620)
12.4	可靠性相关	(622)
12.4.1	电迁移(EM)	(622)
12.4.2	热载流子	(627)
12.4.3	栅氧完整性	(629)
12.4.4	负偏压高温不稳定性(NBTI)	(635)
12.4.5	应力诱导漏电流(SILC)	(636)
12.4.6	静电放电(ESD)	(636)
12.5	失效分析表征技术	(638)
12.5.1	静态漏电流( $I_{DDQ}$ )	(638)
12.5.2	机械探针	(639)
12.5.3	发射显微镜(EMMI)	(640)
12.5.4	荧光微热重分析(FMT)	(642)
12.5.5	红外热成像法(IRT)	(642)
12.5.6	电压衬度技术	(642)
12.5.7	激光电压探针技术(LVP)	(643)
12.5.8	液晶(LC)	(643)

10 半导体材料与器件表征

12.5.9 光束诱导电阻变化(OBIRCH) .....	(645)
12.5.10 聚焦离子束(FIB) .....	(646)
12.5.11 噪声 .....	(646)
12.6 优点和缺点 .....	(649)
附录 12.1 栅电流 .....	(650)
参考文献 .....	(653)
习题 .....	(660)
复习题 .....	(662)
附录 1 符号表 .....	(664)
附录 2 术语与缩写 .....	(674)
索引 .....	(680)