

<<压电电子学与压电光电子学>>

图书基本信息

书名：<<压电电子学与压电光电子学>>

13位ISBN编号：9787030357908

10位ISBN编号：7030357906

出版时间：2012-10

出版时间：科学出版社

作者：王中林

页数：248

字数：292000

版权说明：本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问：<http://www.tushu007.com>

<<压电电子学与压电光电子学>>

内容概要

《压电电子学与压电光电子学》压电电子学和压电光电子学的基本概念和原理由王中林教授研究组分别于2007年和2010年首次提出。

在人机界面、主动式传感器、主动式柔性电子学、微型机器人、智能电子签名、智能微纳机电系统以及能源技术等领域中，压电电子学和压电光电子学具有广阔的应用前景。

本书介绍压电电子学和压电光电子学的物理原理、基本理论以及基本器件单元的设计、制造、测试和应用；共分11章，包括压电电子学和压电光电子学导论、纤锌矿结构半导体材料中的压电势、压电电子学基本理论、压电电子学晶体管、压电电子学逻辑电路及运算操作、压电电子学机电存储器、压电光电子学理论、压电光电子学效应在光电池中的应用、压电光电子学效应在光电探测器中的应用、压电光电子学效应对发光二极管的影响、压电光电子学效应在电化学反应和能源存储中的应用等内容。

<<压电电子学与压电光电子学>>

作者简介

王中林 美国佐治亚理工学院终身校董事讲席教授、Hightower终身讲席教授，中国科学院北京纳米能源与系统研究所（筹）首席科学家；中国科学院外籍院士,欧洲科学院院士；美国物理学会会士（fellow），美国科学促进会(AAAS)会士，美国材料研究学会会士，美国显微镜学会会士。荣获美国显微镜学会1999年巴顿奖章，佐治亚理工学院2000年、2005年杰出研究奖，2001年S. T. Li奖(美国)，2009年美国陶瓷学会Purdy奖，2011年美国材料研究学会奖章(MRS Medal)，2012年美国陶瓷学会爱德华·奥尔顿奖。

他发明了纳米发电机并发展出其技术路线图。

他关于自驱动纳米系统的研究激发了世界学术界和工业界对于微纳系统电源问题的广泛研究，这已成为能源研究与未来传感器网络研究中的特色学科。

通过在新型的电子器件和光电子器件中引入压电势控制的电荷传输过程，他开创了压电电子学和压电光电子学学科并引领其发展，这在智能微机电系统或纳机电系统、纳米机器人、人与电子器件的交互界面以及传感器等方面具有重要的应用。

其著作已被引用超过52 000次，论文被引用的h因子(h-index)是110。

<<压电电子学与压电光电子学>>

书籍目录

《纳米科学与技术》丛书序

前言

第1章.压电电子学和压电光电子学导论

1.1 以多样性和多功能性超越摩尔定律

1.2 人机交互界面

1.3 压电电子学和压电光电子学的物理基础：压电势

1.4 压电电子学领域的创立

1.5 压电电子学效应

1.5.1 压电电子学效应对金属/半导体接触的作用

1.5.2 压电电子学效应对p/n结的作用

1.6 压电光电子学效应

1.7 适用于压电电子学研究的一维纤锌矿纳米结构

1.8 展望

参考文献

第2章.纤锌矿结构半导体材料中的压电势

2.1 支配方程

2.2 前三阶微扰理论

2.3 垂直纳米线的解析解

2.4 横向弯曲纳米线的压电势

2.5 横向弯曲纳米线的压电电势测量

2.6 轴向应变纳米线内的压电势

2.7 掺杂半导体纳米线中的平衡电势

2.7.1 理论框架

2.7.2 考虑掺杂情况时压电势的计算

2.7.3 掺杂浓度的影响

2.7.4 载流子类型的影响

2.8 压电势对局域接触特性的影响

2.8.1 理论分析

2.8.2 实验验证

2.9 电流传输的底端传输模型

参考文献

第3章.压电电子学基本理论

3.1 压电电子学晶体管与传统场效应晶体管的比较

3.2 压电势对金属/半导体接触的影响

3.3 压电势对p/n结的影响

3.4 压电电子学效应的理论框架

3.5 一维简化模型的解析解

3.5.1 压电p/n结

3.5.2 金属/半导体接触

3.5.3 金属纤锌矿结构半导体接触

3.6 压电电子学器件的数值模拟

3.6.1 压电pn结

3.6.2 压电晶体管

3.7 总结

参考文献

<<压电电子学与压电光电子学>>

第4章.压电电子学晶体管

4.1 压电电子学应变传感器

4.1.1 传感器的制备和测量

4.1.2 压电纳米线内应变的计算

4.1.3 传感器的机电特性表征

4.1.4 应用热电子发射?扩散理论的数据分析

4.1.5 压阻和压电效应效果的区分

4.1.6 压电电子学效应引起的应变系数剧增

4.2 压电二极管

4.2.1 压电电子学效应引起的欧姆接触到肖特基接触的转变

4.2.2 肖特基势垒变化的定量分析

4.2.3 压电电子学二极管工作机制

4.2.4 压电电子学机电开关

4.3 基于垂直纳米线的压电晶体管

4.3.1 反向偏置接触

4.3.2 正向偏置接触

4.3.3 两端口压电电子学晶体管器件

4.4 总结

参考文献

第5章.压电电子学逻辑电路及运算操作

5.1 应变门控晶体管

5.1.1 器件制备

5.1.2 基本原理

5.2 应变门控反相器

5.3 压电电子学逻辑运算

5.3.1 与非门和或非门 (NAND和NOR)

5.3.2 异或门 (XOR)

5.4 总结

参考文献

第6章.压电电子学机电存储器

6.1 器件制备

6.2 机电存储器原理

6.3 温度对存储器性能的影响

6.4 机电存储器中的压电电子学效应

6.5 可复写的机电存储器

6.6 总结

参考文献

第7章.压电光电子学理论

7.1 压电光电子学效应的理论框架

7.2 压电光电子学效应对发光二极管的影响

7.2.1 压电发光二极管简化模型的解析解

7.2.2 压电p-n结发光二极管器件的数值模拟

7.3 压电光电子学效应对光电传感器的影响

7.3.1 正偏肖特基接触的电流密度

7.3.2 反偏肖特基接触的电流密度

7.3.3 光激发模型

7.3.4 压电电荷和压电势方程

<<压电电子学与压电光电子学>>

- 7.3.5 压电光电子学效应对双肖特基接触结构的影响
- 7.3.6 金属?半导体?金属光电探测器的数值模拟
- 7.4 压电光电子学效应对太阳能电池的影响
 - 7.4.1 基本方程
 - 7.4.2 基于p?n结的压电太阳能电池
 - 7.4.3 金属?半导体肖特基接触型太阳能电池
- 7.5 总结
- 参考文献
- 第8章.压电光电子学效应在光电池中的应用
 - 8.1 金属?半导体接触光电池
 - 8.1.1 实验方法
 - 8.1.2 基本原理
 - 8.1.3 光电池输出的优化
 - 8.1.4 理论模型
 - 8.2 p?n异质结太阳能电池
 - 8.2.1 压电势对太阳能电池输出的影响
 - 8.2.2 压电电子学模型
 - 8.3 增强型硫化亚铜 (Cu₂S) /硫化镉 (CdS) 同轴纳米线太阳能电池
 - 8.3.1 光伏器件设计
 - 8.3.2 压电光电子学效应对输出的影响
 - 8.3.3 理论模型
 - 8.4 异质结核壳纳米线的太阳能转换效率
 - 8.5 总结
 - 参考文献
- 第9章.压电光电子学效应在光电探测器中的应用
 - 9.1 测量系统设计
 - 9.2 紫外光传感器的表征
 - 9.3 压电光电子学效应对紫外光灵敏度的影响
 - 9.3.1 实验结果
 - 9.3.2 物理模型
 - 9.4 压电光电子学效应对可见光探测器灵敏度的影响
 - 9.4.1 实验结果及与计算结果的比较
 - 9.4.2 压阻效应的影响
 - 9.4.3 串联电阻的影响
 - 9.5 压电光电子学光电探测的评价标准
 - 9.6 总结
 - 参考文献
- 第10章.压电光电子学效应对发光二极管的影响
 - 10.1 发光二极管的制备和测量方法
 - 10.2 发光二极管的表征
 - 10.3 压电效应对发光二极管效率的影响
 - 10.4 压电极化方向的效应
 - 10.5 注入电流与施加应变之间的关系
 - 10.6 发光光谱和激发过程
 - 10.6.1 异质结能带图
 - 10.6.2 受应变发光二极管的发光光谱
 - 10.7 压电光电子学效应对发光二极管的影响

<<压电电子学与压电光电子学>>

10.7.1 基本物理过程

10.7.2 应变对异质结能带的影响

10.8 应变对光偏振的影响

10.9 p型氮化镓薄膜的电致发光特性

10.9.1 压电光电子学效应对发光二极管的影响

10.9.2 理论模型

10.9.3 发光特性分析

10.10 总结

参考文献

第11章.压电光电子学效应在电化学过程和能源存储中的应用

11.1 光电化学过程的基本原理

11.2 压电势对光电化学过程的影响

11.3 光电化学太阳能电池

11.3.1 电池设计

11.3.2 压电光电子学效应对光电化学过程的影响

11.4 压电势对机械能到电化学能量转化过程的影响

11.4.1 自充电功率源器件的工作原理

11.4.2 自充电功率源器件的设计

11.4.3 自充电功率源器件的性能

11.5 总结

参考文献

附录

附录1 王中林小组2006~2012年间发表的有关纳米发电机、压电电子学和压电光电子学方面的文章.

附录2 缩写词

章节摘录

压电电子学与压电光电子学 第1章 压电电子学和压电光电子学导论 第1章 压电电子学和压电光电子学导论 1.1 以多样性和多功能性超越摩尔定律过去几十年来,摩尔定律作为半导体技术的路线图一直在成功地指引和驱动着信息科技的发展。

随着单个硅芯片上的器件密度每十八个月就增加一倍,提升CPU速度以及集成片上系统功能成为IT技术的主要发展方向。

然而随着微电子工艺的不断前进,当器件中的最小线宽尺度趋近10 nm时,人们不禁会问,在维持大规模工业化生产的前提下,器件还能做得多小?

如此之小的器件尺寸对于器件的稳定性和可靠性有哪些利弊和影响?

晶体管的运算速度是否还能作为我们所追求的衡量判断器件性能优异的唯一驱动性指标?

随着晶体管等器件的尺寸趋近物理极限,终究有一天摩尔定律会遇到瓶颈甚至失效,这只是个时间的问题。

那么,问题的关键是我们如何才能超越摩尔定律的局限? 传感器网络和个性化医疗服务预计将成为近期产业界的主要驱动力。

正如我们在当前的电子产品中所观察到的,电子设备正朝着个人电子产品、便携式电子设备和有机柔性电子器件等方向不断发展。

人们正在探索具备功能集成化和多样化的电子设备。

以手机为例,在手机中添置运算处理速度超快的处理器也许不会成为将来市场的主流推动力。

相比之下,消费者更关心产品是否具备更多的功能,比如在手机中集成用于监测血压、体温和血糖浓度的医护传感器,或者是与环境接口检测气体、紫外线和有害化学物质的传感器。

如图1-1中横轴所示,在这种情况下,信息科技将沿着新的方向发展以满足后摩尔定律时代对于个人和便携式电子设备多样性和多功能性的需求。

更快的运算速度和更多样化的集成功能之间的有机结合与协调发展将会是未来电子技术发展的趋势。

通过将多功能传感系统和自供能技术紧密结合,电子技术应用正在朝着实现个人化、便携化和基于聚合物(有机柔性电子材料)的电子器件等方向发展,以期在不远的将来实现电子器件系统与人体自身或者人所处的环境直接交互作用的目标。

中央处理器的运算处理速度、存储器的容量和逻辑单元的功能性之间的有机结合与发展将推动智能化系统和自供能系统的发展和实现,这将成为电子技术发展的重要技术路线。

图1-1后摩尔定律时代的电子学发展展望。

竖轴方向代表延续摩尔定律的电子学发展。

随着器件的小型化,器件密度、中央处理器(CPU)速度和存储器的容量得到不断地提升。

横轴代表后摩尔定律时代个人和便携式电子设备的多样性和多功能性。

未来电子学的发展需要将中央处理器的速度和器件的功能多样性有机集成。

预计通过压电电子学器件将机械激励信号集成到电子系统中将是未来人与CMOS接口技术的重要方面

1-2 人机交互界面 当人与电子器件通过接口设备连接进行交互时,不可避免地需要考虑人的动作以及由人体的动作产生的相关信号和电子器件间的交互作用。

人体产生的这些信号大多是机械运动信号,也有少部分是电信号。

过去几十年里对神经系统中电信号传输的研究已经取得显著的进展。

在应用硅基场效应晶体管探测神经元细胞电信号等技术领域也已经获得诸多成果。

然而如果没有革新性的设计和方法,现有的硅工艺器件很难直接与机械信号交互作用。

传统上最为常见的方法是利用传感器来探测机械应变的变化。

传感器中由应变引起的信号变化可以被传统电子设备监测和记录,这是一个被动式的监测过程,并且这些由机械应变产生的信号不能被用来进一步控制硅电子器件。

目前柔性电子学的研究重点之一是致力于减少或者消除基底的机械应变对集成于基底上的电子器件性能的影响,因此可以称之为被动式柔性电子学。

另一方面,也可以利用基底形变引入的机械应变所产生的电信号来直接控制硅基电子器件。

<<压电电子学与压电光电子学>>

为了实现这类机械应变和电子器件之间的直接交互功能，需要一个“中介传递器件”或“信号转译器”将生物机械运动与硅基电子器件关联起来。

压电电子学与压电光电子学的发明和研究就是为了实现上述目的和应用。

与传统的柔性电子学器件不同的是，压电电子学与压电光电子学器件是主动式的柔性电子学器件（active flexible electronics）和生物信号（衍生）驱动的电子学器件（bio driven electronics），这类器件可以利用机械信号来直接产生数字控制信号。

压电电子学器件在未来电子系统中扮演的角色类似生理学中的机械感受器 [1]。

机械感受（mechanosensation）是一种感受机械刺激的生理响应机制。

触觉、听觉、身体平衡感知和痛觉的生理学基础是将机械刺激转换为神经信号；前者是机械激励而后者是电信号激发。

皮肤中的机械应激感受器对触觉的产生具有重要的作用，内耳的微小神经细胞（一种机械应激感受器）则负责听觉和身体的平衡能力。

1.3压电电子学和压电光电子学的物理基础:压电势 压电效应是材料在所受应力改变时产生电势差的效应，对于这一效应的认识和研究可以追溯到几个世纪前。

最常见的压电材料是具有钙钛矿结构的锆钛酸铅(PZT) [$\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$]。

锆钛酸铅被广泛应用于机电传感器、执行器和能量采集设备。

然而锆钛酸铅是绝缘体，因此不适合电学器件应用。

传统意义上，对于压电材料和压电效应的研究主要局限于陶瓷材料领域。

另一方面，纤锌矿结构材料 [如氧化锌（ZnO）、氮化镓（GaN）、氮化铟（InN）和硫化锌（ZnS）等] 也具有压电性质，但是由于这些材料的压电系数相对较小，因此在压电传感和执行驱动等方面的应用不如锆钛酸铅那么普遍和广泛。

由于这些纤锌矿结构半导体材料具有半导体和光激发等性质，所以一直以来对于它们的研究主要集中在电子学和光学领域。

硅基CMOS器件是通过外加电场驱动器件中载流子传输过程来实现操作的。

为了能够利用机械信号来直接调控硅基CMOS器件的工作，我们需要将机械信号转换成电信号。

最自然的选择是利用压电效应。

为了实现上述目的，我们选择同时具有压电性质和半导体性质的纤锌矿结构半导体材料，如氧化锌（ZnO）、氮化镓（GaN）、氮化铟（InN）和硫化锌（ZnS）等。

以氧化锌为例，氧化锌具有非中心对称的晶体结构，在受到外加应力作用下将自然表现出压电效应。

纤锌矿结构晶体具有六角结构，在c轴方向和垂直于c轴的方向存在明显的各项异性。

简单地讲， Zn^{2+} 阳离子与相邻的 O^{2-} 阴离子组成以阳离子为中心的正四面体结构。

在没有外应力作用时，阳离子和阴离子的电荷中心互相重合。

如图1-2(a)所示，当应力施加在正四面体的顶点时，阳离子和阴离子的电荷中心会发生相对位移并产生一个偶极矩。

晶体中所有单元产生的偶极矩叠加后会在宏观上产生沿应力方向的电势分布。

这就是压电电势(亦称压电势，piezopotential) [图1-2(b)] [2]。

当施加机械形变时，具有压电性质的材料内产生的压电电势可以驱动外电路负载中的电子流动，这就是纳米发电机的基本原理 [3,4,5,6]。

图1-2纤锌矿晶体中的压电势分布。

(a) 纤锌矿结构氧化锌晶体的原子结构模型。

(b) 溶液法合成的竖直氧化锌纳米线阵列。

受轴向应变的氧化锌纳米线内压电势分布的数值计算结果。

纳米线生长沿c轴方向，纳米线长度为600 nm，边长为25 nm;外力 $F=80$ nN 当不考虑氧化锌材料中的掺杂时，沿c轴生长的氧化锌纳米线受外应力作用时的压电势分布可以利用Lippman理论计算得到 [7,8,9]。

例如，对一根沿+c方向生长的长度为1200 nm且横截面六角形边长为100 nm的氧化锌纳米线，当其受到80 nN的拉伸应力时，纳米线两端产生的压电势差大约为0-4 V，且此时纳米线+c端的压电势为正 [

<<压电电子学与压电光电子学>>

图1-2(b)] [10]。

当所加应力变为同样大小的压缩应力时，纳米线内的压电势分布正负极性反转，但两端之间的压电势差仍为0-4 V，且此时纳米线-c端的压电势为正。

晶体中这个内电势的产生是压电电子学的核心所在。

对于压电晶体内压电势的研究和利用已经开创了很多新的领域。

其中，纳米发电机被用来将机械能转换为电能 [11,12,13,14]。

当形变的压电晶体的两个极性面被接到外电路负载上时，压电势使得两端接触电极处的费米能级间产生差异，因此为了“屏蔽”局域的压电势，外电路中的自由电子从低电势端被驱动流向高电势端以达到新的平衡。

负载中产生的电流是受压电势驱动的电子瞬态流动的结果。

如果动态应力作用于压电晶体，则压电势的连续变化可以产生交变的电子流动。

这意味着如果外界施加的应力是变化的，即外力连续做功，那么纳米发电机将可以连续输出电能 [图1-3(a)]。

对于纳米发电机的研究和应用已经获得了很大进展。

截至2012年8月纳米发电机的电压输出已经达到58 V，输出功率也在不断得到提升并可以驱动液晶显示器、发光二极管和激光二极管等小型电子元件 [15,16,17,18]。

作为适用于微/纳系统的可持续自供给能源，纳米发电机将在能源收集等研究与技术领域扮演十分重要的角色。

图1-3由彩色色标表示的纳米结构中产生的压电势。

这是纳米发电机和压电电子学的物理基础。

(a) 纳米发电机是基于压电势驱动外电路负载中电子流动的过程。

(b) 压电电子学器件的工作是利用压电势在金属/半导体界面或p-n结区域对载流子传输性质进行调节和控制。

压电光电子学器件则是利用压电势在界面或结区对载流子产生、分离、传输以及复合过程进行调控

1.4 压电电子学领域的创立 2006年,王中林研究组完成了两个相互独立的实验。

第一个实验是在扫描电子显微镜(SEM)中对两端完全被电极包裹封装的长氧化锌线受应力弯曲时的电传输性质进行了测量 [19]。

实验观察到随着弯曲程度增加，氧化锌线的电导急剧下降。

这个现象可以解释为当氧化锌线弯曲时在线中产生的压电势差可以起到控制载流子传输的门极电压的作用。

这类器件被称为压电场效应晶体管(PE-FET)。

第二个实验是用双探针操作对单根氧化锌纳米线的电传输特性进行了测量 [20]。

实验中纳米线被平放在绝缘基底上，一根探针固定住纳米线一端，另一根探针则推动纳米线的自由端并在纳米线弯曲的过程中接触其拉伸面。

钨探针针尖与纳米线之间形成欧姆接触。

当增大纳米线的弯曲程度时，氧化锌纳米线的伏安特性从直线型变为具有整流特性的曲线。

此现象可以解释为当氧化锌纳米线受应力时在接触界面区域产生了正的压电势，这个压电势作为势垒起到了单向导通电子流动的作用。

这就是压电二极管(PE diode)。

压电场效应晶体管和压电二极管的工作都是基于纳米线中由应变导致的压电势。

通过压电势引起外电路的电子流动是一个能量采集和转换的过程。

压电势的存在也可以显著地改变基于纳米线的场效应晶体管(FET)中的电流传输特性。

为了系统地表述这类系统中压电与半导体特性的耦合性质，王中林在2006年11月24日引入了纳米压电电子学的概念，并于几天后在美国波士顿进行的美国材料学会(MRS)秋季会议上对这一概念进行了公开阐释 [21]。

随后王中林在2007年发表的一篇短文中为此领域新创了piezotronics(压电电子学)这一术语 [22,23]。

。

<<压电电子学与压电光电子学>>

压电电子学的基础就是应用压电势来调节和控制纳米线中的载流子传输性质 [图1-3(b)]。

自此, 压电电子学的研究和应用取得了大量引人注目的进展, 这些将在随后的章节中详细阐述。

1.5压电电子学效应 一个最简单的纳米线场效应晶体管是一根两端被电极包裹的半导体线。线两端的电接触构成器件的源极和漏极, 门极电压既可以通过上门电极加在纳米线上, 也可以通过器件底部的基底施加。

通过在源极和漏极间施加一个驱动电压 V_{DS} , 半导体器件中的载流子传输过程可以由外界施加的门极门电压 V_G 来调节与控制。

另一方面, 门极门电压也可以由产生于晶体中的压电势(内电势)来代替, 从而使场效应晶体管中的载流子传输过程由器件所受的应力来调节和开关 [20]。

这种由机械形变动作触发驱动的器件被称为压电电子学器件。

当一根氧化锌纳米线受到沿其长度方向的轴向应变时, 可以观察到两种典型的效应。

一种是压阻效应 (piezoresistance effect), 此效应与半导体材料的带隙以及可能的导带态密度的改变有关。

由于压阻效应没有极性, 因此纳米线场效应晶体管源漏极受压阻效应的影响是相同的。

另一方面, 压电势是沿着纳米线长度方向分布的。

对受到轴向应变的纳米线, 压电势从纳米线一端连续下降到另一端, 这意味着对应的电子能量从纳米线一端连续增加到另一端。

与此同时, 当纳米线在没有外加电场作用达到平衡时, 整个纳米线内的费米能级持平不变。

这导致氧化锌和金属电极之间的等效势垒高度和/或宽度将在纳米线的一端升高而在另外一端下降。

因此, 压电势对源漏极处势垒高度的影响呈非对称效应。

综上所述, 压电电子学效应就是利用压电势调节和控制界面或结区载流子传输性质的效应 [22,25]。

1-5-1压电电子学效应对金属/半导体接触的作用 对压电电子学效应更好的理解可以通过将其与半导体器件中肖特基接触和p/n结这两种最为基本的结构比较而得。

当金属和n型半导体形成接触时, 如果金属的功函数明显大于半导体的电子亲和势, 则界面处将形成肖特基势垒 (SB)(e-SB) [图1-4(a)]。

只有当金属/半导体接触处外加的电压大于阈值(i)且金属一端所接电势为正时(对n型半导体而言), 电流才能单向通过此势垒。

若引入合适的光激发, 新生的光生电子空穴对不仅能大幅增强结区的局域导电性, 而且电荷在界面附近的重新分布将使得结区等效势垒高度被降低 [图1-4(b)]。

如图1-4(c)所示, 当具有压电性质的半导体材料受到应变时, 半导体材料内的负压电势将使肖特基势垒高度增高到 e , 而正压电势将降低肖特基势垒高度。

压电势的极性由氧化锌纳米线的c轴方向决定。

压电势扮演的角色是通过内建电场来有效地改变接触区域的导电特性, 从而调节或控制金属/半导体接触区域的载流子传输过程。

考虑到压电势的极性可以通过控制应变类型从拉伸到压缩的转换来改变, 因而接触结区的导电特性可以由应变的大小和极性类型来调控, 这就是压电电子学的核心所在。

压电材料在应变作用下就产生压电极化电荷, 而这些电荷是以不能流动的离子电的形式分布在表面或界面处一极小范围。

因为压电材料是介电质而非良导体, 极化电荷只能被部分地屏蔽, 而不能被完全中和。

当然极化电荷也可在金属一边产生镜像电荷。

正的极化电荷可以降低金属/半导体的接触势垒, 而负的极化电荷可以升高金属/半导体的接触势垒 [图1-5(b)(c)]。

极化电荷所产生的压电电场的作用就是根据晶体的极化方向和局域极化的符号来改变局域接触处的性能, 进而对载流子在金属/半导体的界面的输运过程进行调制或控制。

因为压电电场的极性可以由所加外应变的符号来控制, 局域的输运性能就可以自如来控制。

图1-4金属/半导体肖特基接触界面处在激光激发和压电电场共同作用下的能带图。

(a) 金属/半导体肖特基接触的能带。

<<压电电子学与压电光子学>>

(b) 受到光子能量大于半导体材料带隙的激光激发的金属-半导体肖特基接触的能带图，其中等效肖特基势垒高度降低。

(c) 半导体受应变时的金属-半导体肖特基接触能带图。

半导体中产生的压电势具有极性，此处与金属接触端为低压电势端 图1-5(a)~(c) 压电极化电荷对金属-半导体（n型）接触处肖特基势垒能带结构的影响。

表面处正极化电荷降低势垒高度，而负极化电荷升高势垒高度。

(d)~(f) 压电极化电荷对p-n结处能带结构的影响，进而影响界面处载流子的分离或结合。

这里我们假定p-n结是由两种能带宽度类似的材料而形成。

红黑两种线分别表示考虑和不考虑压电电荷情况下的能带结构 1.5.2压电电子学效应对p-n结的作用

当p型半导体和n型半导体形成p-n结时，界面附近p型半导体中的空穴和n型半导体中的电子会重新分布以平衡局域电势。

结区电子和空穴的互扩散和复合最终在结区形成电荷耗尽区 [图1-5(a)]。

当在n型半导体侧外加正电压时，结区的耗尽层宽度会增大使得只有极少数的载流子可以流过结区；而当在p型半导体侧外加的正电压高到可以克服耗尽区势垒时，载流子可以流过结区。

这就是p-n结二极管的工作原理。

耗尽层的存在可以增强压电电荷的局部作用 [图1-5(d)]，如果p区是一压电材料，应变产生的正的压电电荷可以降低局域的能带，因而形成能带的局部下弯 [图1-5(e)]，应变产生的负的压电电荷可以升高局域的能带，因而形成能带的局部上弯 [图1-5(f)]。

能带的局部弯曲可以改变和调制载流子的产生、输运、分离或复合，进而影响太阳能电池、光探测器或发光二极管的工作效率。

另外，压电电场所产生的能带的倾斜可以影响载流子的输运。

如图1-6所示，若p-n结中一侧的半导体材料中由于应变产生了压电势，p-n结区附近的局域能带结构会发生变化。

为了易于理解，我们在讨论中也考虑了载流子对压电势的屏蔽效应。

这意味着n型半导体内的正压电势端将几乎被电子完全屏蔽，而负压电势端则几乎不受影响。

基于同样的原因，p型半导体中的负压电势端将几乎被空穴完全屏蔽，而正压电势端则几乎不受影响。

图1-6(b)中给出了压电势对于p-n结区能带的影响，其中p型半导体具有压电性质并且受到应变，相应产生的压电势给结区能带来明显改变，并显著影响流经结区的载流子传输特性。

这就是压电电子学的基础。

图1-6由两种带隙相近的半导体材料形成的p-n结受压电电场作用下的能带图。

图中给出了四种可能的能带变化，其中黑色和红色曲线分别代表结区不存在和存在压电电场的情况。

假设n型和p型半导体材料的带隙相等。

能带图中也显示了极性反转的效应 此外，当p型半导体中的空穴受压电电场影响漂移到n型半导体中并与其导带上的电子复合时，也可能导致光子辐射，这是由压电势引发的光子辐射过程，即压电光子学效应 [25]。

观测压电光子学过程可能需要满足以下条件：首先，压电势要明显大于 kT ，从而使得局域压电电场足够强以驱动空穴漂移穿越过p-n结；其次，为产生压电势施加的应变变化率需要足够大，从而使得载流子穿越界面的时间小于载流子复合的时间；耗尽层宽度需要足够小，使得在压电势的作用区域内有足够的载流子；最后，选择直接带隙半导体材料将有利于此现象的观测。

p-n结和肖特基接触的基本工作原理是界面处存在的等效势垒使得载流子可以被分离到界面两侧。

势垒的高度和宽度是器件的特征参数。

在压电电子学中，压电势起到的作用是通过压电效应来有效地调节p-n结势垒的宽度或者肖特基势垒的高度。

1.6压电光子学效应 压电光子学的学科研究于2010年被首次提出 [26,27,28]。

对于同时具有半导体、光激发和压电性质的材料，除了众所周知的研究半导体性质与光激发性质耦合

<<压电电子学与压电光电子学>>

的光电子学领域外，对半导体与压电特性耦合效应的研究形成了压电电子学领域，而对压电特性和光激发特性耦合效应的研究则形成了压电光子学领域。

更进一步地对半导体、光激发和压电特性三者之间耦合效应的研究则形成了压电光电子学（piezo-phototronics）领域 [25]，这成为构建新型压电-光子-电子纳米器件的基础。

压电光电子学效应应用压电势调节和控制界面或结区载流子的产生、分离和传输以及其他复合过程，通过对压电光电子学的研究可以实现高性能的新型光电子器件 (图1-7)。

图1-7压电、光激发和半导体性质的三元耦合是研究和应用压电电子学（压电与半导体性质耦合）、压电光子学（压电与光激发性质耦合）、传统光电子学(半导体性质与光激发性质耦合)和压电光电子学（压电、半导体与光激发性质耦合）的基础。

.....

<<压电电子学与压电光电子学>>

编辑推荐

《国家出版基金项目：压电电子学与压电光电子学》是一部系统性强、深入浅出、图文并茂的专业著作，可供相关领域的科研工作者参考使用，同时也可以用作高年级本科生和研究生专业课程的教科书。

<<压电电子学与压电光电子学>>

版权说明

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问:<http://www.tushu007.com>