第一图书网, tushu007.com

<<低维量子器件物理>>

图书基本信息

书名：<<低维量子器件物理>>

13位ISBN编号：9787030338495

10位ISBN编号：7030338499

出版时间：2012-4

出版时间：科学出版社

作者：彭英才，赵新为，傅广生　编著

页数：185

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

<<低维量子器件物理>>

内容概要

低维量子器件是微纳电子技术研究的核心，低维量子器件物理是现代半导体器件物理的一个重组成部分。
它的主要研究对象是低维量子器件的设计制作，器件性能与载流子输运动力学等内容。
本书主要以异质结双极晶体管、高电子迁移率晶体管、共振隧穿电子器件、单电子器件、量子结构激光器、量子结构红外探测器和量子结构太阳电池为主，比较系统地分析与讨论了它们的工作原理与器件特性，并对自旋电子器件、单分子器件和量子计算机等内容进行了简单介绍。

作者简介

彭英才，河北大学电子信息工程学院教授，博士生导师，日本东京理科大学客座教授。
多次赴日本丰桥技术科学大学、广岛大学和东京理科大学进行访问研究。
长期承担半导体与微电子技术专业的研究生和本科生教学工作。
主要从事纳米半导体光电信息薄膜材料的制备、结构表征、光电特性与器件应用的研究，在国内外期刊上发表学术论文150余篇；作为第一编著者，出版学术专著3部：《纳米光电子器件》、《纳米太阳电池技术》和《硅基纳米光电子技术》；研究生教材2部：《低维量子器件物理》和《低维半导体物理》。

第一图书网, tushu007.com

<<低维量子器件物理>>

书籍目录

序
前言
第1章　绪论
1．1低维量子器件的发展历史
1．1．1低维电子输运器件
1．1．2低维光电子器件
1．2低维量子器件的未来预测
1．2．1纳米光子器件
1．2．2磁性纳米器件
1．2．3有机纳米器件
1．2．4量子信息处理器件
参考文献
第2章　低维量子结构的物理性质
2．1低维量子结构的能带特征
2．1．1异质结的能带特点
2．1．2 A1xGal-xAs／GaAs调制掺杂异质结
2．1．3 GexSil-x／Si异质结
2．1．4超晶格的能带结构
2．2低维量子结构中的电子状态
2．2．1调制掺杂异质结三角形势阱中的电子状态
2．2．2二维量子阱中的电子状态
2．2．3一维量子线中的电子状态
2．2．4零维量子点中的电子状态
2．3低维量子结构中的激子状态
2．3．1量子阱中的激子
2．3．2量子点中的激子
2．4低维量子结构中的载流子输运
2．4．1二维电子气的散射机构
2．4．2双势垒结构的共振隧穿输运
2．4．3异质结中热电子的实空间转移
2．4．4零维体系的库仑阻塞现象
2．5低维量子体系的光学性质
2．5．1量子阱中的二维激子特性
2．5．2量子阱的发光特性
2．5．3零维体系的量子尺寸效应
参考文献
第3章　异质结双极晶体管
3．1 HBT的器件结构
3．1．1 A1GaAs／GaAs HB
3．1．2 InGaP／GaAs HBT
3．1．3 InGaAs／InP HBT
3．1．4 SiGe／Si HBT
3．2不同能带形式的HBT
3．2．1宽带隙发射区HBT
3．2．2缓变基区HBT

3．2．3宽带隙集电区HBT
3．3 HBT中的载流子输运过程
3．3．1宽带隙发射区HBT中的载流子输运
3．3．2缓变基区HBT中的载流子输运
3．3．3 HBT发射区一基区空间电荷区中的载流子复合
3．3．4宽带隙集电区HBT中的载流子输运
3．4 HBT的器件特性
3．4．1电流增益
3．4．2电流电压特性
3．4．3频率特性
3．4．4温度特性
3．5 SiGe／Si HBT的器件性能
参考文献
第4章　高电子迁移率晶体管
4．1调制掺杂异质结中的二维电子气
4．1．1 2DEG的面密度
4．1．2 2DEG的迁移率
4．2 HEMT的工作特性
4．2．1阈值电压
4．2．2跨导
……
第5章　共振隧穿电子器件
第6章　单电子输运器件
第7章　量子结构激光器
第8章　量子结构红外探测器
第9章　量子结构太阳电池
第10章　其他低维量子器件简介
参考文献

章节摘录

版权页：插图：第1章 绪论 半导体科学技术发展的宗旨就是利用不同半导体材料所具有的物理性质，设计和制作各种固态电子器件与集成电路。
这些器件与电路是组成通信系统、计算机系统和各种电子装置的心脏。
性能优异的半导体器件的实现，有赖于高质量半导体材料的制备、合理器件结构的设计和优化工艺条件的选取。
按照材料结构的不同，半导体器件可分为晶态半导体器件、非晶态半导体器件、超晶格与量子阱器件、量子线与量子点器件、宽带隙半导体器件以及有机半导体器件等；按功能特性的不同，半导体器件又可分为电子输运器件和光电子器件等；而按照物理效应的不同，半导体器件又可分为经典体效应器件和纳米量子效应器件等。
正是这些性能优异的各类固态电子器件及其集成电路，在通信技术、计算机技术和电子线路技术中发挥着巨大作用，从而极大地促进了整个信息科学技术的迅速发展。
纳米量子器件一般是指采用半导体异质结、超晶格、量子阱、量子线和量子点等低维结构，设计制作的具有某些量子效应的电子器件，也可称为低维量子器件。
如上所述，这种器件又大体可分为电子输运器件和光电子器件两大类。
所谓电子输运器件是指在外电场作用下，其工作特性由载流子的输运行为支配的电子器件。
例如，异质结双极晶体管（HBT）、高电子迁移率晶体管（HEMT）、共振隧穿晶体管（RTT）和单电子晶体管（SET）均属于这类器件；而光电子器件是指在光照和电场作用下，工作特性基于载流子的光吸收跃迁或发射而实现的电子器件。
例如，量子阱和量子点激光器、量子阱和量子点光探测器、量子阱和量子点太阳电池以及单光子器件都属于这一类。
在正式分析与讨论各种低维量子器件之前，不妨简单回顾一下上述各种低维量子器件的发展历程，这对我们深入理解其工作原理与器件特性将会大有裨益。
1.1 低维量子器件的发展历史 1.1.1 低维电子输运器件 HEMT可以说是最早研制成功的低维电子输运器件，它是利用调制掺杂异质结构中二维电子气所具有的高电子迁移率制作的超高速逻辑器件。
20世纪70年代初，分子束外延（MBE）技术的研发成功，开辟了利用能带工程剪裁材料能带结构的新时代。
此后不久，人们便利用MBE工艺生长出了高质量的AlGaAs/GaAs异质结和超晶格。
尤其是1978年，美国贝尔实验室的Dingle等[1]首次观测到了调制掺杂n-AlGaAs/GaAs异质结中电子迁移率增强的现象，即刻引起了人们的广泛关注。
1980年，日本富士通公司的Mimura等[2]率先采用这种结构成功研制了第一只HEMT。
其后的几年间，世界各国科学家又进行了一系列的理论与实验研究，其主要思路是如何通过优化n-AlGaAs层的掺杂浓度和本征AlGaAs隔离层厚度，以获得最高的电子迁移率。
换句话说，就是如何最佳化AlGaAs/GaAs异质结界面的二维电子气面密度，以在低温乃至室温下得到预期的高迁移率值。
经过人们的尝试与探索，在短短的几年内便使HEMT的低温电子迁移率提高到了～106cm2/（Vs）。
与此同时，HEMT环型振荡器、HEMT分频器、大功率HEMT、低噪声HEMT及其集成电路也相继问世。
与HEMT相比，HBT的发展经历了一个暗淡时期。
早在1951年，Shockley就提出了采用异质结制作双极型晶体管的概念。
但是，由于当时受材料制备和器件制作工艺技术的限制，这种器件问世的构想未能如愿以偿。
1983年，Kroemer[3]首先从理论上分析了HBT的电流增益特性，从此揭开了HBT研究的序幕。
然而，真正给HBT的研究发展带来活力的应归功于具有原子级平滑程度，且组分和厚度能够精确控制的MBE等超薄层外延生长技术。
采用这些方法能够独立地控制材料的禁带宽度和掺杂浓度，它既能使HBT基区获得高掺杂浓度，又可以使基区获得0。

1μm左右薄的厚度，甚至还可以通过进一步优化基区能带形式，实现载流子的弹道输运或隧穿输运，从而使它成为继HEMT之后的另一种高速逻辑器件。
目前，这类器件也已在振荡器、分频器、移位寄存器、门阵列、大功率器件及其集成电路中获得成功应用[4]。
共振隧穿电子器件是对半导体超晶格施加一垂直电场时，电子横穿势垒结构的电子输运器件。
早在1969年，江崎和朱兆祥在提出半导体超晶格概念的同时，就曾预测到了在这种多层超薄异质结构中能够产生共振隧穿现象。
1974年，张立纲等[5]首次利用MBE技术制作成功了AlGaAs/GaAs双势垒结构，并实验观测到了这种结构中的共振隧穿现象，从而开辟了超晶格垂直电子输运研究的新局面。
1983年，首例采用MBE工艺制备的共振隧穿二极管（RTD），在太赫兹频率下观测到了负微分电阻（NDR）现象[6]。
这一研究结果大大鼓舞了人们的信心，其后又提出了研制共振隧穿晶体管的设想，以期利用共振隧穿具有大电流峰谷比的NDR特性，制作多稳态器件，并使之用于多值逻辑存储电路系统。
迄今，对共振隧穿电子器件的研究相当广泛，已开发成功的器件主要有振荡器、逻辑门、频率倍增器以及存储器等[7]。
单电子器件的研究发端于纳米半导体结构中的库仑阻塞现象。
1989年Scott-Thomas等[8]发现，对于由Si表面反型层构成的窄一维沟道结构，在电导随栅偏压的变化曲线上呈现出了周期性振荡行为。
接着，他们又在倒置的AlGaAs/GaAs异质结制成的一维量子线电导的测量中，重复了上述结果。
此后不久，Kouwenhoven等[9]采用分离栅技术，利用半导体异质结试制成功了能控制单个电子进出的新器件，并称此为量子点旋转门（QDTS）器件。
纳米结构或量子点中的这种库仑阻塞效应不仅是一种十分有趣的物理现象，而且蕴含着潜在的应用前景。
在纳米技术的推动下，一门以单电子物理学为基础的纳米电子技术应运而生。
迄今，人们已采用各种材料体系和结构制备了量子点、纳米晶粒、纳米线阵列等零维隧穿异质结构，在低温和室温条件下均观测到了明显的库仑阻塞和单电子隧穿振荡现象，并试制成功了单电子晶体管。
尽管目前尚无实用化的单电子器件问世，但是随着纳米电子学研究的不断创新与突破，能够真正造福于人类的单电子器件以及集成电路，将会为信息科学技术的发展带来一场新的革命。
1.1.2 低维光电子器件 低维光电子器件主要是指具有优异光发射特性的量子结构激光器和具有良好光吸收特性的量子结构红外光探测器和量子结构太阳电池等。
量子阱激光器是最早被研制成功的低维光电子器件，世界上首例量子阱激光器是1975年由美国贝尔实验的Vander Ziel等试制成功的[10]。
1981年，该实验室的Tsang[11]又研制成功了阈值电流密度低达0。
25kA/cm2的量子阱激光器。
其后，随着光通信向长距离和大容量方向发展，需要高性能的半导体激光器光源。
1992年，美国加利福尼亚理工大学的科学家采用短谐振腔和激光端面的高反射率设计方案，获得了阈值电流低达0。
25mA的量子阱激光器。
同年，日本的NEC公司采用面发光型结构，又使量子阱激光器的阈值电流降低到了0。
19mA。
其后，随着MBE技术的日臻完善和器件结构设计的进一步优化，各种材料体系和异质结构类型的量子阱激光器不断涌现，而且激射性能大大提高[12]。
量子线与量子点激光器的概念，最早是1982年由日本东京大学的Arakawa等提出的[13]。
他们预言，由于量子线和量子点比量子阱具有更强的量子限制效应，因此由它们制作的激光器会具有更低的阈值电流密度，而且同温度的依赖关系也会进一步减弱。
但是，由于量子线和量子点在制备工艺上所存在的困难，人们一直没有能够真正制作出这类低维结构

激光器。
直到20世纪90年代初期，才陆续有一些关于这方面的报道[14，15]。
但是，早期的量子线和量子点激光器，都是采用对量子阱结构进行再蚀刻方法制作的。
这种工艺有一个致命弱点，就是在蚀刻过程中会在量子线或量子点表面产生许多缺陷与损伤，同时衬底表面的空间利用率也比较低，这对产生光激射是非常不利的。
后来，人们开始探索量子点的自组织生长技术，即利用生长材料与衬底间具有一定晶格失配度的特点，采用MBE方法并基于S-K模式成功生长出了具有一定密度分布和尺寸趋于均匀的量子点及其阵列。
1994年，第一只InAs/GaAs量子点激光器研制成功，从而大大激发了人们研制量子点激光器的热情。
其后，各种材料体系和波长激射范围的量子点激光器相继问世，并成为低维光电子器件发展的主流[16]。
由于红外探测器在夜视、跟踪、医学诊断、环境监测和空间科学等方面的广泛应用，而受到人们的普遍重视。
在过去的30年间，窄带隙的HgCdTe单元红外探测器已经获得了成功应用。
但是，在开发多元阵列探测器的过程中，HgCdTe单元探测器遇到了很大困难。
1987年，Levine研究小组首先在AlAs/GaAs掺杂量子阱中观测到了波长为8。
2μm的强子带中红外吸收，并试制成功了AlGaAs/GaAs共振隧穿红外探测器。
1988年，他们又研制成功了由束缚态到扩展态跃迁的多量子阱红外探测器，从而使长波长量子阱红外探测器的性能跨上了一个新台阶。
但是量子阱红外探测器的最大不足是由于跃迁选择定则，不能探测垂直入射的光，一般在红外区只有比较窄的光谱响应。
而量子点是一种具有三维量子限制效应的低维体系，其类δ函数状的态密度使其对垂直入射光具有敏感的响应特性，而且任何偏振的红外光都可以诱导子带间跃迁的发生，因此，量子点探测器是一种更有发展前景的红外探测器。
自从1998年以来，人们已先后研制成功了InAs/GaAs和InGaAs/GaAs量子点探测器、AlGaAs/InGaAs/AlGaAs双势垒隧穿结构量子点探测器、Ge和Si量子点红外探测器、高温量子点探测器、量子点/聚合物复合结构红外探测器以及GaN纳米结构光探测器等[17]。
太阳能的利用和开发是人们在面临环境不断恶化和能源日渐短缺的形式下提出的一个新课题。
迄今，单晶Si和多晶Si及其Si基薄膜太阳电池的发展早已产业化和商业化。
近年来，人们又提出了所谓第三代太阳电池的概念，即高效率、低成本、长寿命、无毒性和高可靠性太阳电池。
实现这种近乎理想化太阳电池的途径之一，便是采用量子阱或量子点这类低维结构。
采用量子阱结构的主要物理依据是，由于其中的量子阱层厚度和组分可以灵活调节，因而可以获得最佳的带隙能量，以满足太阳电池对不同波长的光吸收。
2000年，Aperathitis等[18]采用AlGaAs/GaAs体系试制成功了世界上首例量子阱结构太阳电池，其转换效率可达9%。
日本丰田工业大学的Yang等[19]采用MBE技术研制了InGaAs/GaAs多量子阱太阳电池，其AM1。
5照度下的能量转换效率为18%。
英国伦敦帝国大学的Bushnell等[20]采用GaAsP/InGaAs应变超晶格所制作的多量子阱太阳电池，AM1.5照度下的能量转换效率为21.9%。
近年来，随着对量子点物理研究的不断深化和量子点自组织生长技术的逐渐成熟，又开始了对量子点太阳电池的探索研究。
人们试图利用量子点或纳米晶粒这类零维量子结构所具有的量子限制效应和能级分立特性，尤其是它们所呈现的多激子产生（MEG）效应设计太阳电池，从而使其能量转换效率得以超乎寻常的提高，其理论极限值可达66%。
目前，人们已理论和实验研究了PbS、PbTe、PbSe、CdS、Si等量子点中的多激子产生效应及其物理机制，均获得了多激子产生的实验结果。
最近，Choi等已采用PbSe量子点制作了首例多激子太阳电池，其能量转换效率为3.4%[21]。

1.2 低维量子器件的未来预测 自从20世纪40年代末期晶体管发明以来，半导体器件的发展已走过了60多个春秋。
纵观它的发展历史可以看出，每伴随着一次材料制备技术的革新，就会有一批新的器件诞生。
例如，50年代气相外延和液相外延工艺的出现，使Si和GaAs半导体器件在60年代获得了迅速发展，70年代MBE和金属有机化学气相沉积（MOCVD）工艺的开发，使半导体超晶格与量子阱器件在80年代相继研制成功；而90年代自组织生长技术的出现，又使各类量子点电子器件应运而生。
进入21世纪以来，同时出现了多元化半导体器件竞相发展的新局面。
可以预期，在今后的几十年中，单电子器件、单光子器件、有机单分子器件、光子晶体器件、自旋电子器件和各类量子信息处理器件及其集成电路，将会为信息科学技术的发展带来新曙光。
1.2.1 纳米光子器件 纳米光子器件是基于光子的吸收、跃迁、复合等性质研发的发光二极管、激光器、红外探测器、光开关、光波导、单光子器件、光学微腔以及光子带隙晶体等。
强三维量子限制效应和类δ函数状电子态密度，使量子点激光器具有比量子阱激光器更好的激射特性。
尤其是低阈值电流密度的InGaAs/AlGaAs、InGaAs/GaAs以及InAlAs/GaAIAs量子点激光器的研究已取得了良好进展。
利用电激发或光激发实现的单光子器件，在量子暗号通信中具有重要的实际应用。
采用InAs量子点的周期多层膜结构，在光激发和电注入条件下实现了具有短共振腔长度和高品质因子的单光子产生器件。
此外，采用单电子晶体管的远红外单光子探测器件也已试制成功，该器件的最高灵敏度可达10.21～10。
22W/Hz1/2，此值为目前远红外光探测器最高值的103～104倍。
光子晶体在光电子器件方面主要有三种应用[22]：介电反射镜用于对光进行反射；共振腔用于俘获光；光波导用以传输光信息。
迄今，利用二维光子晶体已制成表面发射的激光器。
尤其值得注意的是，利用光子晶体还可以仿照半导体超晶格与量子阱那样制成光量子阱结构，并通过调整阱宽得到不同的光子束缚态等光子效应。
有人预言，光子晶体会在光子学和光电子学的发展中发挥重要作用，甚至会具有某种革命性的意义。
1.2.2磁性纳米器件 磁性纳米器件也是一类值得引起足够重视的纳米量子器件，而这类器件的物理基础则是近年来发展起来的自旋电子学。
由载流子的向上或向下自旋与磁性杂质的相互作用可以产生一系列与自旋相关的效应，据此可以设计新型磁性纳米量子器件。
一般来说，自旋器件有两类：一类是由铁磁材料组成，如自旋阀、磁隧道结、巨磁阻隔离器以及磁阻随机存储器等；第二类是稀释磁性半导体，它们具有一系列崭新的物理性质，如电子态的塞曼分裂、自旋电子极化、电子注入与输运等。
预计利用自旋传递信息，将在量子计算和量子通信中具有良好的应用前景[23]。
从自旋极化输运和能带不连续性可调的角度而言，由稀释磁性半导体组成的超晶格或异质结是非常吸引人的。
如对于II型InAs/GaMnSb超晶格来说，自由电子位于InAs层中，而自由空穴处于GaMnSb层中。
在外磁场作用下，GaMnSb层中由于塞曼分裂会引起导带和价带中能级的分裂，结果使结构变为导电或者绝缘的，并且可在一层中产生具有一定自旋极化的电子或空穴，由此而产生特异的输运和光电性质。
1.2.3有机纳米器件 近年来，随着分子电子学、碳纳米管以及有机薄膜材料研究取得的长足进展，有机纳米材料及其相关器件的研究也引起了材料物理与化学家们的普遍重视。
这类器件大体由两类组成，即由碳纳米管制作的功能器件以及利用有机纳米薄膜或单分子制作的量子器件。
碳纳米管呈现出非常独特的电子性质，其电子结构可以显示出金属性质，也可以显示出半导体性质，此取决于其直径、螺旋度和单壁或多壁等结构形式。

不同直径和螺旋度的碳纳米管可以作为功能电子器件、逻辑门和线路的连接元件，用来建立异质结构。
对单根单壁碳纳米管的电导测量发现，量子相干可在整根管上维持，表现出一维量子线的特性和库仑阻塞现象。
因此，采用碳纳米管作为有源区，已制成了能在室温下工作的单电子晶体管。
更进一步的目标则是追求实现将单根碳纳米管在芯片上组成，并组成能展示数字逻辑功能的电路，其发展前景是十分诱人的。
随着有机半导体材料与器件，尤其是有机电致发光器件所取得的研究进展，基于有机分子和有机纳米团簇的纳米器件的研究也初露端倪。
这些器件包括有机薄膜晶体管、有机分子存储器、单分子电子器件及其集成电路等[24]。
将有机分子用于纳米电子器件的研究有两个主要优点：一是器件尺寸可以显著减小，即隧道结电容足够小；二是可以使单电子器件在较高的温度下进行工作，如基于单分子有机团簇和采用双隧穿结构的可工作在室温下的单电子晶体管已经试验成功。
单分子层石墨烯所具有的优异特性，也将使其在未来的单分子器件中一展风彩。

第一图书网, tushu007.com

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