

· 灰色文献 ·

编者按:

中科院半导体所云集着黄昆、林兰英等一流物理学家和一大批有作为的中青年学者,他们在半导体物理,特别是在半导体超晶格物理的理论研究、半导体超晶格的光谱物理、超晶格低维系统的输运特性、超晶格量子阱中杂质、深能级行为、超晶格、多层异质结构材料诸方面获得众多成果,在世界半导体物理领域占有重要地位。根据灰色文献的定义,我们将该学者在国际会议报告和将发表的论文有选择地摘录发表,供广大读者参考。

一 国际会议报告

1 夏建白: 多孔硅的电子结构理论

本文于1992年8月10日在北京召开的第21届国际半导体物理会议上发表,该文提出了一个多孔硅电子结构的理论模型,考虑了沿[001]和[110]方向的三种多孔硅的几何状态(方截面的线,方孔截面和圆孔截面)。发现约束效应,在体 χ 和 Γ 态之间有一定的混合,产生了光学跃迁矩阵元,但直接和间接导带极小之间的能量差非常小,因此在室温下可能观察到由间接极小产生的发光。对具有类似截面的(110)多孔硅,它们的能隙小于(001)多孔硅的能隙。偏振沿着轴的光跃迁比垂直轴的要强得多。

2 夏建白: 稀土金属超晶格中的磁交换

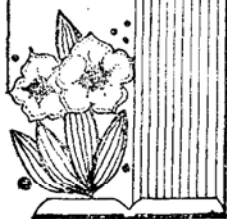
本文于1992年8月4日在西安第六届国际超晶格、微结构和微器件会议上发表,提出了一个实际的紧束缚模型,用以计算由磁稀土金属和非磁钇组成的超晶格中 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) 交换相互作用。钇(Gd)和钇(Y)的能带,费米面和广义极化率根据相对论的增大平面波(RAPW)计算结果来拟合,不考虑s-f电子相互作用。利用这模型计算了 $(Gd)_M(Y)_N$ 超晶格非局域极化率。发现对 $(Gd)_M(Y)_N$ 位于两个相邻超晶格元胞内 r_1 和 r_2 处的两个Gd单层之间的非局域极化率 $X(r_1, r_2)$ 当 $N=6$ 时,有正极大值,而当 $N=10$ 时,有负极大值,这结果与磁序的实验结果相符。还发现非局域极化率的行为不仅依赖于超晶格中Y单原子层数目,而且依赖于Gd单原子层数目。

3 郑厚椿等: GaAs/AlAs 双势垒结构中的 Γ -X- Γ 隧穿振荡现象

本文于1992年8月4日在西安第六届国际半导体超晶格、微结构和微器件会议上发表,认为:理论上已经预言由于异质界面的存在破坏了纵向平移不

中国科学院半导体所近年论文摘编

沙恩



变性,双势垒结构(DBS)中导带的 Γ 和X电子态会发生耦合。已有一些实验观测到这种 Γ -X混合引起的隧穿,可是由于在隧穿电流上所观察到的特征很微弱,因此无法从实验获得 Γ -X耦合参数。作者利用GaAs/AlAs DBS谷电流区的微分电容随磁场的振荡特性,可望得到一种研究 Γ -X混合的良好手段。当偏压大于某特定值,AlAs发射垒中类X的束缚态在能量上可以与入射 Γ 电子持平。如果再外加垂直磁场B,阱中二维电子态的朗道量子化就会对这种 Γ -X隧穿通道起调制作用。这种 Γ -X电荷转移将对发射垒电容起旁路作用,结果在电容谱上出现一系列极大值。从振荡结构的磁场倒数周期 $\Delta(1/B)$,可求出 $he/2\pi m^* \Delta(1/B) = 173 \text{meV} (-1.0 \text{v 处})$ 。它给出了发射垒中X谷底与阱中最低子带的能量差。

4 刘振先等: 高压下 $(GaAs)_m/(Al_xGa_{1-x}As)_n$ 短周期超晶格的光致发光研究

本文在北京第21届国际半导体物理会议上发表,作者在77K, 0~35kbar压力范围内研究了 $(GaAs)_m/(Al_xGa_{1-x}As)_n$ 短周期超晶格的光致发光,得到了价带和导带不连续性随压力的变化关系。实验结果表明,能带不连续性 ΔE_v 和 ΔE_c 不仅与压力有关,而且其压力系数与超晶格的结构有关。 $d\Delta E_v/dp$ 和 $d\Delta E_c/dp$ 分别随超晶格周期的减少而增、减,以(10,10)的

0.3和-2.4 meV/kbar变化到(5,4)的1.8和-3.9 meV/kbar。此外,在常压下相对价带不连续性(Qv),及其压力系数 dQ_v/dp 也与超晶格的周期有关。

5 李国华等: 静压下GaAs/AlAs超短周期超晶格的光致发光研究

本文在北京第21届国际半导体物理会议上发表,作者在77K下, 0~15kbar静压范围内研究了GaAs/AlAs超短周期超晶格的静压光致发光。测得 $(GaAs)_1/(AlAs)_1$ 的光致发光峰的压力系数为-1.35 meV/kbar表明它的导带最低能级具有体材料X谷的特性而不是理论计算所预计的L谷特性。对 $(GaAs)_2/(AlAs)_1$,其发光峰随压力以8.69 meV/kbar的速率迅速蓝移,表明它是GaAs/AlAs超晶格中周期最短的I类超晶格。

6 韩和相等: 静压下 $(CdTe)_m(ZnTe)_n-(ZnTe)$ 多量子阱的共振拉曼散射

本文在北京第21届国际半导体物理会议上发表。

作者报告了静压下 CdTe/ZnTe-ZnTe 多量子阱的共振拉曼散射和光荧光测量结果。介绍和讨论了多达 4 阶 ZnTeLO 声子模的共振增强的拉曼散射、光荧光特性及其静压关系。

7 刘振先等: $(\text{GaAs})_x/(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As})_{1-x}$ 短周期超晶格中价带不连续性随压力的变化

本文在日本京都第 5 届国际高压半导体物理会议上发表,作者在液氮温度和 0~3GPa 的压力范围内研究了 $(\text{GaAs})_x/(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As})_{1-x}$ 短周期超晶格和 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 体材料的光致发光。测得 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 体材料中直接带和间接带发光峰的压力系数分别为 86 ± 3 和 -15.7 ± 0.7 meV/GPa。观测到 $(\text{GaAs})_x/(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As})_{1-x}$ 短周期超晶格中从类 X 态到重空穴态的发光峰具有异常的压力系数, $-22 \pm$ meV/GPa, 表明价带不连续性 (ΔE_v) 以 6 meV/GPa 的速率随压力变化。该值约为 Lambkin 等人测量结果的 2 倍。结果表明,在 $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 超晶格中价带不连续性的压力系数不仅与铝组份有关,而且与超晶格的结构有关。

8 汪兆平等: GaAs/AlAs 超晶格中 LO 类体模和界面模的 Raman 散射

本文于 1992 年 3 月 22 日在美国摄影仪器工程师协会召开的复合半导体物理与设计研讨会上发表,作者对 $(\text{GaAs})_x(\text{AlAs})_{1-x}$ 样品采用 MBE 方法,生长在 [001] 晶向的半绝缘 GaAs 衬底上,室温下测量了非共振和共振拉曼散射。GaAs 偶模和奇模分别在偏振谱和退偏振谱中观测到,界面模在两种散射配置下都出现。二级拉曼谱的测量结果表明,偏振谱是由偶模和界面模的谐波和组合模,退偏振谱是一个奇模和一个偶模或界面模的组合模。

9 宋春英等: 砷化镓中氧空位中心的一些特性

本文在北京第 21 届国际半导体物理会议上发表,作者认为: GaAs 中的氧-空位中心是由一个在 As 空位旁边的间隙氧原子与两个次近邻 Ga 原子键合组成的。振动光谱已经表明该中心至少有三个荷电状态,这些荷电态显示出负 U 特性,其中一个态只能在非热平衡状态下被观察到。这些模的单轴应力光谱效应表明它是一个沿 [110] 方位的中心,并且中心的弛豫因荷电态而不同。在非严格热平衡条件下的这种半绝缘 GaAs 样品中观察到了显著的同位素结构异常比。

10 张耀辉等: $\text{GaAs}/\text{GaAlAs}$ 短周期超晶格在电场下的激子效应

本文在北京第 21 届国际半导体物理会议上发表,作者通过光电流测量研究了 $\text{GaAs}/\text{GaAlAs}$ 超晶格中与“Wannier-Stark 梯”有关的激子跃迁。跃迁强度随偏压的变化与理论计算很符合,计算模型采用 Kronig-Penney 模型叠加一个静电场势。Oh 激子峰半宽

度随偏压的增加,用 Wannier 局域化导致减弱激子相干平均机制来解释。这些激子跃迁在室温下产生了几十个负微分光电导区,被用来实现自电光多稳态效应。

11 周钧铭等: 非对称耦合双阱中电子隧穿研究

本文在西安一次国际会议上发表,作者采用时间分辨光谱和光荧光光谱研究了非对称耦合双阱中电子的隧穿过程,观察到两基态能级的共振隧穿。通过分析不同激发条件和不同电场下的发光过程,指出在所用的样品中,纵向光学声子辅助的隧穿是主要隧穿机理。

12 卢励吾等: MBE 生长的 P-HEMT 深能级研究

本文在杭州第一届环太平洋先进材料和工艺国际会议上发表,作者应用深能级瞬态谱 (DLTS) 技术详细研究 MBE 生长的 Pseudomorphic-High Electron Mobility Transistor (P-HEMT) 结构中深能级行为。样品的 DLTS 谱表明在 P-HEMT 结构的 n-AlGaAs 层里存在着较大浓度和俘获截面的高温电子陷阱。它们直接影响着器件性能。高温电子陷阱的产生可能与 AlGaAs 层里的氧含量有关。实验结果还表明,DLTS 技术有可能成为器件优化设计的一种工具。

13 吴汲安等: Si 与 GaAs 中 4d 过渡金属杂质的比较研究

本文在北京第 21 届国际半导体物理会议上发表,作者认为: 与具有孤立晶格空位或 sp-电子杂化比较,过渡金属 d 电子杂质具有更丰富的结构的、光学的、电学的以及磁学的现象。它们趋于深中心行为并能明显影响材料的性质,关于半导体中 3d 杂质的行为已了解很多,特别是 Si, 已有了很多实验测量与理论计算结果。采用 X_α-SW 法来计算 4d 过渡金属杂质在 Si 和 GaAs 中的电子结构,发现替位 4d 杂质引入具有 e 和 t₂ 表象的隙态,在 GaAs 中,它的 t₂ 隙态则位于带隙中间附近。在 Si 的情况下, t₂ 隙态的能量变得更高,其高度随杂质原子序数的减少而增加, Si: 4d 系统中 t₂ 与 e 隙态的分裂近似为 1eV, 并具有低的自旋基态,这与 LW 模型的结果是相矛盾的。

14 丁孙安等: 氢对 Pt/Si 界面深中心的影响

本文在北京第 21 届国际半导体物理会议上发表,作者将电学测量结合表面分析技术研究了 Pt/Si 和 PtSi/Si 界面,报道了 Pt/Si 界面处缺陷中心的产生;通过 RTA 和不同硅化物形成温度的真空炉退火在 Si 上形成的 PtSi 层。在 UHV 条件下将 Pt 蒸发在清洁 Si 表面上,在 N 型与 P 型 Si 中可分别获得两个与 Pt 的深能级 E0(E(0.254)) 和 H0(H(0.148)), 浓度约为 10^{14} — 10^{15} cm⁻³。退火后,在 N-Si 中观察到了浓度为 10^{11} cm⁻³ 的 E1(E(0.227)), E0 和 E2(E(0.508)); 而在 P-Si 中仅观察到一个宽峰 H₁, 其中心约在 0.1 eV。在 RTA 后, E0, E2 仍存在,而在 P-Si 中存在

浓度为 10^{12} — 10^{14}cm^{-3} 的 H0 与 H1(H(0.351)) 两个能级, 氢等离子体处理用来研究了氢对 Pt/Si 和 PtSi/Si 界面的影响及深能级和肖特基势垒高度的影响。得到了一个新的深中心 E3(E(0.124))。对于 P-Si, 在氢等离子体处理后, H0 有些改变, 而 H1 就消失了。结合以前 Pt/Si 界面反应的研究, 详细讨论了引入氢的结果。

15 卢励吾等: MOCVD 生长的硅衬底上 GaAlAs/GaAs 单量子阱和多量子阱激光器深能级研究

本文在日本神户第五届国际半导体浅杂质会议上发表, 作者应用深能级瞬态谱 (DLTS) 技术研究 MOCVD 生长的硅衬底上 GaAlAs/GaAs 单量子阱和多量子阱激光器深能级。样品的 DLTS 谱表明, 在激光器的量子阱和 n-GaAlAs 限制层里均存在着一个浓度和俘获截面较大的高温电子陷阱, 该陷阱可能与 MOCVD 生长工艺和质子轰击引起的损伤有关, 它直接影响激光器的性能。DX 中心和高电子陷阱在量子阱里可能局域在 GaAlAs/GaAs 层的界面附近。

16 封松林等: GaAlAs-GaAs 异质结中类 DX 中心陷阱的研究

本文在西安第六届国际超晶格、微结构与微器件会议上发表, 作者利用 DLTS 研究了 PIN 异质结 n-GaAlAs 缓冲层中的类 DX 中心。采用本征超晶格层作为光源来光电离被俘获的电子, 测量了热俘获势垒。陷阱十分靠近导带边, 并且有大的俘获势垒, 它们位于导带下 0.04eV 和 0.01eV。

二 将要发表的论文

1 夏建白: 平面结构中圆柱形阱的散射和共振隧穿理论

本文对二维电子气中电子被圆对称量子结构的散射, 发展了一个二维“原子”散射理论。发现对一个圆柱形的势垒结构, 散射截面随着 ka 而振荡, k 是电子波矢, a 是势垒半径。如果势垒中有一个量子阱, 则在原来的散射截面曲线上出现了一系列光锐的共振隧穿峰。共振隧穿峰的宽度灵敏地依赖于势垒的厚度, 高度和电子能量。

2 王杏华等: GaAs/AlGaAs 单量子阱中界面粗糙度散射

作者对不同生长条件的单量子阱样品进行了输运和荧光特性的研究。在低迁移率样品中, 界面粗糙度对二维电子气的散射起主导作用。用超晶格代替常规的 AlGaAs 层, 或在异质结界面生长过程中的停顿, 都能有效地减少界面粗糙度。

3 郑厚植: 双势垒结构中的纯二维至二维共振隧穿模式

作者利用薄入射势垒和宽隔离层在双势垒结构中实现了纯净的二维 (2D) 至二维 (2D) 共振隧穿模式。

通过比较系统的实验和理论研究, 本文将详细阐述有关如何识别纯 2D-to-2D 共振隧穿模式, 它与 3D-to-2D 模式不同的重要性质和如何计算 2D-to-2D 的共振隧穿电流等重要问题。由此揭示了结构维度对双势垒共振隧穿现象所起的重要作用。

4 李国华等: $(\text{CdTe})_m(\text{ZnTe})_n$ -ZnTe 多量子阱结构的静压光致发光和共振喇曼散射

作者认为: $(\text{CdTe})_m(\text{ZnTe})_n$ -ZnTe 多量子阱是由 $(\text{CdTe})_m(\text{ZnTe})_n$ 短周期超晶格限制在 ZnTe 势垒中组成的新结构。它可以提高 CdTe/ZnTe 异质生长的临界厚度。静压下的光致发光研究表明加压后 $(\text{CdTe})_m(\text{ZnTe})_n$ 超晶格和 ZnTe 势垒层的光致发光峰分别以 8.80 和 9.47meV/kbar 的速率向高能移动。利用这种静压下的带隙变化, 实现了与 514.5 和 488.0nm 激发光的共振喇曼散射, 观察到高达四阶的多声子共振喇曼散射, 并发现与 $(\text{CdTe})_m(\text{ZnTe})_n$ 超晶格共振时的类 ZnTe LO 声子模频率比与 ZnTe 势垒共振时的 ZnTe LO 声子频率低 1.4 cm^{-1} , 反映了在 $(\text{CdTe})_m(\text{ZnTe})_n$ 超晶格中 LO 声子的局域效应。

5 李国华等: CdTe/ZnTe 应变量子阱的静压光致发光研究

作者在 77K 和 0—50kbar 静压范围内研究了阱宽分别为 $m = 4, 8, 12$ 个单分子层的 $(\text{CdTe})_m(\text{ZnTe})_n$ 应变量子阱的静压光致发光。在常压下, $m = 8$ 和 12 的量子阱的发光峰比 $m = 4$ 的量子阱的发光峰显著变宽, 表明在这两个阱中应变已发生弛豫。用 Kronig-Penney 模型计算的峰值能量证实了这一点, 在所测静压范围内峰宽无明显增加, 它们的压力系数从 $m = 12$ 的 6.81meV/kbar 增加到 $m = 4$ 的 8.24meV/kbar。计算表明, 势垒高度随压力增加而增加是使压力系数随阱宽减小而增加的主要原因。

6 李国华等: 用静压光致发光研究 GaAs/AlAs 超短周期超晶格导带最低能级的特性

作者在 77K 下, 0—30kbar 静压范围内研究了 GaAs/AlAs 超短周期超晶格的静压光致发光。测得 $(\text{GaAs})_2/(\text{AlAs})_1$ 的光致发光峰的压力系数为 -1.35 meV/kbar, 表明它的导带最低, 能级具有体材料 X 谷的特性而不是大多数理论计算所预计的 L 谷特性。测得 $(\text{GaAs})_2/(\text{AlAs})_1$ 的光致发光峰的压力系数是 8.69meV/kbar, 表明它是 GaAs/AlAs 超晶格中周期最短的 I 类超晶格。

7 S.M.Pillai 等: 多孔硅阴极荧光研究

作者用空间分辨阴极荧光技术测量了多孔硅发光。与单一的可见光宽带光致发光光谱相比, 在 1.45 eV 到 3eV 范围内观察到多个阴极荧光峰。文章讨论了两种可能的发光机制: 硅氧化物发光和某些分子络合物激发态发光。

8 罗昌平等: Si NIPI 结构中的光伏效应及其

极性

作者研究了 Si NIPI 结构在不同光激发状态以及用 He-Ne 激光作为 CW 光偏压前后的光伏效应。基于超晶格中光伏效应来源于载流子空间分离的理论,作者提出了二类超晶格中光伏极性是空间定向的概念,并得到实验结果证实。分析表明, Si NIPI 结构中的光伏效应主要来源于实空间中与浅杂质有关的直接跃迁,而不是 GaAs NIPI 结构中自由载流子有关的实空间中的间接跃迁。

9 罗昌平等: Si-NIPI 结构光伏响应的极性及与浅杂质有关的光跃迁

作者对不同光照条件下 Si-NIPI 结构的光伏效应进行了研究,并在正面光照时作了外加 He-Ne 激光连续照射前后的对比实验。结果表明, Si NIPI 结构中 Brun 等预言的因光生载流子空间分离而产生的光伏效应,并且进一步从实验上证实了 NIPI 结构光伏特性是空间固定的。对外加激光连续照射前后结果的分析表明 Si-NIPI 结构的光伏效应中,实空间中的间接跃迁如电子空穴子带间跃迁不起主要作用,而主要取决于实空间中与浅杂质有关的直接或准直接跃迁。

10 罗昌平等: $(\text{GaAs})_m(\text{AlGaAs})_n$ 短周期超晶格中的浅受主杂质能级

作者首次报道 $(\text{GaAs})_m(\text{AlGaAs})_n$ 短周期超晶格中的浅受主杂质发光。在 $m = n = 4, 6, 8, 10$ 四个样品中均观测到与受主杂质(碳)有关的发光,并得到相应的受主离化能。研究了杂质离化能与阱宽的关系,并与最新理论计算作了比较,两者符合甚好。由于短周期超晶格中波函数的强烈耦合,受主离化能明显小于非耦合阱中的受主离化能。时间分辨光谱测量表明,短周期超晶格中存在大量界面态和由材料无序造成的局域态。

11 江德生等: GaInAs/AlInAs 多量子阱的共振拉曼散射的研究

作者用共振拉曼散射研究了与 InP 衬底匹配的 GaInAs/AlInAs 多量子阱异质结构。利用几条固定的激光线,通过调节流体静压力改变带间跃迁能量(在 AlInAs 的带隙附近)来实现共振。我们用紧束缚包络函数的计算表明共振与电子与空穴扩展态之间的光跃迁有关。只有对应限制在势垒层中的 AlInAs 的 LO 声子的拉曼峰共振增强,而不是 GaInAs 层中的 LO 声子拉曼峰,能给出关于扩展的激子态波函数空间分布的信息。

12 徐士杰等: 非对称耦合双量子阱中载流子的非共振隧穿

作者用光荧光测量研究了在 $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ (50 Å / 40 Å / 100 Å) 非对称双量子阱 p-i-n 结构中光生载流子的非共振隧穿几率与激发光功率大小的关系。从两个耦合量子阱发出的光荧光非常依赖

于激发光功率,尤其是窄量子阱的光荧光强度在一定的激发光功率范围内随激发光功率增加而急剧降低。载流子的隧穿速率对激发光功率大小的依赖被解释为:两个耦合阱电子和空穴的空间分离导致能带变平,使 LO 声子辅助隧穿几率大大增加。此结果在制作新型的全光型光学器件中有意义。

13 卢励吾等: P-InP MIS 结构界面陷阱的深能级研究

作者对经 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 生长的 P-InP MIS 结构的界面陷阱进行了研究。样品介质膜的生长是在特定条件下进行。分别利用 C-V (Capacitance-Voltage) 和 DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) 技术进行研究。结果表明,在介质膜和 InP 之间的一侧有界面陷阱存在。还获得了与界面陷阱有关的深能级参数。这些陷阱可能是不同生长工艺条件的介质膜淀积过程中等离子体引进的有关辐照损伤所致。

14 卢励吾等: MBE 生长的 P-HEMT 结构的深能级研究

作者应用深能级瞬态谱 (DLTS) 技术详细研究 MBE 生长的 Pseudomorphic-High Electron Mobility Transistor (P-HEMT) 结构中深能级行为。样品的 DLTS 谱表明在 P-HEMT 结构的 n-GaAs 层里存在着较大浓度和俘获截面的高温电子陷阱。它们直接影响着器件性能。高温电子陷阱的产生可能与 AlGaAs 层里的氧含量有关。实验结果还表明, DLTS 技术有可能成为器件优化设计的一种工具。

15 李秀琼等: 钛在硅浅结互连中引进深能级的研究

作者认为:钛在硅浅结互连中作为铝硅阻挡层已成功地应用在器件工艺中。但它在 P-Si 一侧引进一个深能级中心,其能级位置在 $E_v + 0.38\text{eV}$, 浓度分布为 $1 \times 10^{12} - 3 \times 10^{12}\text{cm}^{-3}$; 在 n-Si 一侧引进三个深能级中心: $E_c - 0.22\text{eV}$, $E_c - 0.40\text{eV}$ 和 $E_c - 0.55\text{eV}$, 其浓度分布为 $1.6 \times 10^{11} - 2.6 \times 10^{11}\text{cm}^{-3}$ 。有关参数表明,它对器件性能有一定的影响。

16 卢励吾等: MBE 生长的 AlGaAs/GaAs GRIN-SCH SQW 激光器中高温陷阱的研究

作者应用深能级瞬态谱 (DLTS) 技术研究分子束外延 (MBE) 生长的 AlGaAs/GaAs GRIN-SCH SQW (graded index separate confinement heterostructure single quantum well) 激光器的高温陷阱。样品的 DLTS 表明在激光器的 n-AlGaAs 层里存在着高温(空穴、电子)陷阱,它直接影响着激光器的性能。高温空穴陷阱可能分布在 $x = 0.2 \rightarrow 0.43$ 和 $x = 0.43$ 的 n-AlGaAs 层界面附近,而高温电子陷阱则可能分布在 $x = 0.43$ 的 n-AlGaAs 层里 x 值不连续的

(下转第 25 页)