

1991 光电子器件与集成技术 年会论文集

1991 年 4 月

内 容 简 介

本论文集收集了 1991 年光电子器件与集成技术年会的论文 209 篇,内容涉及半导体激光器、检测器等光通信器件;其它光电子器件;器件工艺、测试和应用系统;光计算方法和器件等方面。这些论文总结了近年来特别是我国第七个五年计划期间我国光电子器件与集成技术研究的最新成果,对该领域的科技人员及大专院校师生具有参考意义。

(京)新登字 158 号

1991 年光电子器件与集成技术 年会论文集

周炳琨 主编

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 52.75 字数: 1282 千字

1992 年 12 月第 1 版 1992 年 12 月第 1 次印刷

印数: 0001~1000

ISBN 7-302-01052-8/TN·32

定价: 30.00 元

1991 年光电子器件与集成技术年会各委员会成员

顾 问 委 员 会

王大珩 王守武 叶培大 高鼎三

组 织 委 员 会

主 席：周炳琨

副主席：毋国光 钱宗钰 陈良惠

委 员：(按姓氏笔划为序)：

刘式镛 杜宝勋 陈学良 张以谟 梁春广

学 术 委 员 会

主 席：王启明

副主席：金国藩 赵梓森

委 员：(按姓氏笔划为序)：

方祖捷 刘弘度 杜宝勋 范希武 林宗琦 陈益新
郭奕理 唐晋发 黄德修 谢麟振 蔡伯荣 潘慧珍

论文集编辑委员会

主 编：周炳琨

副主编：杜宝勋

编 委：(按姓氏笔划为序)：

王启明 方祖捷 刘式镛 陈良惠 杜宝勋 周炳琨
金国藩 范希武 张以谟 唐晋发 黄德修 谢麟振
潘慧珍

秘书长：杜宝勋

前 言

信息光电子器件与集成技术的发展水平,某种意义上标志着一个国家工业、高科技乃至综合国力的水平,在我国受到政府高度重视,是国家高技术研究和发展计划的主题项目之一。

在国家科委及各部门领导的关怀和指导下,在科研人员的奋力拼搏下,“七·五”期间该主题项目获得了长足的进展。为了检查和总结工作,为了技术和学术交流,我们举办了“91年光电子器件与集成技术年会”,面向全国征文,并公开出版年会论文集。

91年光电子器件与集成技术年会于1991年4月9~11日在北京清华大学举行。本论文集共收入了年会的论文209篇,内容包括:半导体激光器、检测器等光通信器件;其它光电子器件;器件工艺、测试和应用系统;光计算方法和器件。这些论文总结和交流了近年来,特别是国家“七·五”计划以来取得的最新成果,它将有助于推动我国光电子高科技的进一步发展。

论文集的出版得到了清华大学出版社的热诚支持,中国科学院半导体研究所的王莉同志对该论文集作了大量的编校工作。但由于时间仓促、水平有限,对编入的论文在图、文书写的规范化方面尚存疏漏之处,恳请批评指正。

《1991年光电子器件与集成技术年会论文集》编辑委员会

1991年8月

目 录

ZnSe-ZnS/CaF ₂ 多量子阱的光学特性	中德振 等 1
ZnS-ZnSe, ZnTe-ZnSe 应变层超晶格的折射率研究	崔 捷 等 6
窄阱宽 ZnSe-ZnS 应变量子阱的制备和鉴定	关郑平等 9
GaAs 衬底上 InGaAsP/InGaP 双异质结的液相外延生长	陈高庭 等 12
2. 2μm 半导体激光材料 In _x Ga _{1-x} As _y Sb _{1-y} /GaSb 及 Al _x Ga _{1-x} As _y Sb _{1-y} /GaSb 的 液相外延和材料特性研究	杨澄清 等 15
LP-MOVPE Ga _{1-x} In _x As/InP 量子阱结构材料	段树坤 等 22
I - V / II - V 族材料应力层超晶格生长及特性研究	王海龙 等 26
用于光电子器件的 GaAs/GaP 复合透明衬底材料的分子束外延生长及性能研究	王春艳 等 31
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	卢励吾 等 34
MOCVD 法制备的 ZnSe/ZnS/GaAs 结构的非线性光波导	范广涵 等 41
(ZnSe-ZnS)/CaF ₂ 应变超晶格在低密度激发下的激子跃迁	关郑平等 45
高速脉码调制 OEIC 光发射机 CAD	陈维友 等 48
PHRCL-BH LD/LPEC-MESFETs OEIC 光发射机的制作工艺	胡礼中 等 52
GaAs 光发射机单片集成	庄婉如 等 54
GaAs 单片光电子集成电路的研究	林 瑜 等 58
InP 系光中继器单片集成工艺研究	何淑芳 等 63
InP 系光中继器单片集成技术研究	孙成城 等 65
光互连用硅单片接收器	陈学良 等 67
InP 系单片集成光接收器研制	张永刚 等 70
InGaAs/S. I. -InP PIN-JFET 单片集成光接收机	汪 宏 等 73
砷化镓 LED 和硅 MOSFET 的单片光电集成芯片研制	陈培毅 等 76
在 MBE GaAs/InP 结构上制作 GaAs MESFET	傅 鹏 等 80
光互连用硅单片集成激光器驱动电路	陈学良 等 82
波长为 1. 3μm 的对称与非对称结构的干涉仪 Ti : LiNbO ₃ 强度调制器	蒲天春 等 85
大功率 GaAlAs/GaAs 激光器锁相阵列	方祖捷 等 89
二维 Si/PLZT 混合集成空间光调制器	陈益新 等 93
140Mb/s 混合集成定时提取及判决再生模块的研制	许谷梅 等 98
光互连用硅单片集成 LED 驱动电路	陈学良 等 101
全波段亚微秒级响应的单片 PLZT 4 门集成尾纤封装光开关	曹庆济 等 104
四支 M-Z 干涉式强度调制器的单片集成	陈 铮 等 106
集成光学激光光盘读出头	陈才和 等 108
低阈值 GaAs/AlGaAs 量子阱激光器	肖建伟 等 111

高重复频率 Ps 量子阱激光器	徐俊英 等 115
GaAs/GaAlAs 多量子阱激光器结构设计	张敬明 等 119
调制带宽大于 10GHz 的量子阱激光器	肖建伟 等 125
GaAs/GaAlAs 单量子阱光电吸收和光调制	朱龙德 等 129
低阈值 GaAs/GaAlAs BH 激光器的研制	杨国文 等 137
InGaAsP/InP 双区共腔激光器的内部参数	杜宝勋 141
低阈值 InGaAsP/InP 双稳激光器的研制	张权生 等 147
CW 单管输出大于 50mW 的 GaAlAs 近可见光高功率单模激光器	胡衍芝 等 154
具有低能无损伤反应离子刻蚀腔端面的 AlGaAs 激光器	余金中 等 158
730nm 沟道衬底内条形 GaAlAs/GaAs 激光器	薄报学 等 162
MOCVD 生长 GaInP/AlGaInP 可见光激光器	李 景 等 163
产生微微秒光脉冲的 1.5 μ m InGaAsP 锁模激光器	谢黄海 等 166
1.52 μ m、60kHz 窄线宽光纤布拉格反射镜外腔半导体激光器	陈新之 等 170
1.5 μ m 单模稳频窄线宽可调谐外腔半导体激光器	张汉一 等 174
结构稳定易调整外腔半导体激光器	关义春 等 176
1.5 μ m 光栅外腔半导体激光器调谐特性的研究	郭建恩 等 181
光栅外腔主动锁模半导体激光器	许长存 等 186
外腔半导体激光器频率特性研究	李海峰 等 189
0.8 μ m 波长可调锁模半导体激光器	李艳和 等 193
硅上砷化镓 LED 器件的研制及改进	陈培毅 等 197
硅上砷化镓量子阱发光二极管	郑心奋 等 201
直接调制带宽 4GHz 半导体激光二极管	赵庆添 等 205
正面进光 InGaAs/InP SAGM 雪崩光电二极管	杨志鸿 等 210
硅 PIN 探测器和高速双极工艺兼容研究	陈学良 等 212
低噪声高速 InGaAs/InP-SAGM-APD	朱华海 等 216
用于单片集成的准平面型高速 InGaAs/InP : Fe PIN-PD	廖 鸿 等 222
InAsPSb/InAs 高速中红外光电探测器研究	张永刚 等 224
间接耦合光电探测器光致负阻特性的初步研究	何民才 等 227
便于光电集成的 InGaAs 横向光电晶体管	李安民 230
硅能带工程和新型锗硅近红外探测器	胡立群 等 234
GeSi/Si 异质结构带内光发射远红外探测器的研究	顾书林 等 237
直接描绘电子束曝光系统的研制	葛 璜 等 242
GaAs 基片的干法切割与挖洞技术	陈纪琰 等 245
光栅型分束器的制作工艺及误差分析	金国藩 等 247
高精度、大面积均匀光栅的制作	李 力 等 250
用干法技术制作 InP 系材料的全息光栅	李建中等 252
光电器件中 Wsi _x 微米结构的反应离子刻蚀	程美乔 等 256
用电子束曝光技术刻制变周期光栅	任月英 等 260
在 GaAs 衬底上制作光栅结构	沈玉华 等 263
TiO ₂ /SiO ₂ 膜系高反射膜及其在半导体激光器上的应用	毕可奎 等 265

光纤连结波导的自对准技术	沈启舜 等 267
一种高效率单模光纤耦合结构的实验研究	刘雪峰 等 270
用于相干光纤通信系统的激光管单模光纤耦合技术	沈景沛 等 273
半导体激光器减反射膜的实时监控	李大义 等 277
TW-SLA 端面超低反射率抗反膜研制	刘德明 等 282
外腔半导体激光器的单模光纤耦合	谢世钟 等 285
采用金刚石薄膜改善大功率半导体激光器热性能	林岳明 等 289
GaAlAs/GaAs 多量子阱激光器弛豫振荡的研究	张敬明 等 292
GaAs/GaAlAs 多量子阱激光器的偏振特性	徐遵国 等 297
傅立叶变换极限 1.3 μ m 超短光脉冲的产生	邱 昆 等 300
超短光脉冲测量用高精度自相关仪	郭凤珍 等 304
皮秒光电导采样技术的研究和超高速采样测量的发展	袁树忠 等 307
光纤外腔半导体激光器的 Ps 脉冲	张存善 等 312
测量光电二极管响应时间的新方法	唐玉书 等 317
半导体兰光激光技术初探	单振国 等 323
从单个非晶硅肖特基结中获得颜色信号的研究	王智敏 等 325
光电子器件电场分布测量研究的新方法——连续波电光检测法	朱祖华 等 329
用超声显微镜观察激光器中的应力分布	赵柏泰 331
外腔半导体激光器的温度控制及频率稳定特性	孙 波 等 335
高速半导体激光器组件在微波光纤系统中的应用	唐玉书 等 338
光纤—波导精密对准仪在光波导开关参数测试中的应用	丁桂兰 等 343
1.5 μ m 外腔半导体激光器主动稳频技术	柴燕杰 等 346
DFB—ECL 直接调制与解调	周建英 等 349
1.5 μ m 半导体激光器中频跟踪锁定系统	戴志宁 353
使用 DFB 激光器的长波长相干光纤通信实验	周建英 等 355
频分复用相干光通信系统中新的激光器频率间时分稳频系统	李爱国 等 358
多路频分复用相干光纤通信系统中的功率损失—频道间距理论	江 东 等 361
两路 140Mb/s FDM 相干光纤通信系统及其新实验结果	江 东 等 365
微波副载波光纤传输实验系统	杨雪郁 等 369
CPFSK 外差/差分-延迟解调相干光纤传输实验系统	管克俭 等 371
双信道 DPSK 和 MSK 频分复用相干光纤传输实验系统	郭建恩 等 374
1.5 μ m 外腔半导体激光器 140Mb/s FSK 调制实验系统	李海峰 等 378
1.5 μ m 外腔半导体激光器鉴频反馈自动频率控制系统	黄 河 等 382
国内第一个时分复用光交换演示系统	袁伟涛 等 385
用电反馈压窄半导体激光器线宽	汪自雄 等 391
高灵敏度实用化延迟自零差光谱线宽测试仪	谢世钟 等 394
1.3 μ m 半导体激光器电光采样技术及测量研究	孙 伟 等 397
793nm 波长泵浦的微型 YAG 激光器	单振国 等 402
用平面微透镜阵列来实现多路光的耦合	覃亚丽 等 404
离子交换法平面微透镜的折射率分布和扩散系数的测求	高应俊 等 408

超高速光电导采样系统的时间测量范围和分辨率的研究	吕福云 等 414
网构态可控的光纤星型耦合器	曾庆济 等 418
染料激光器超高速电光采样	张影华 等 423
新型双程放大行波半导体激光放大器	黄德修 等 429
双程放大行波半导体激光放大器(DP TW-SLA)性能参数与端面反射率的关系	余思远 等 431
GaAs 行波式低噪声线性激光放大器	张月清 等 436
采用激光定位焊接半导体激光放大器耦合光纤的实验研究	刘雪峰 等 440
TW-SLA 输出特性与端面反射率关系的实验研究	刘德明 等 442
半导体激光器泵浦的掺铒光纤放大器增益特性	陈泽兴 等 444
饵掺杂石英单模光纤制备和特性研究	吴方东 等 447
InP/InGaAsP 定向耦合光波导电光调制器的设计	易有胡 等 451
GaAs Mach Zehnder 干涉型电光波导调制器的研制	王明华 等 457
GaAs 3dB 定向耦合 Mach-Zehnder 干涉型波导调制器的研制	冯 浩 等 460
具有动态阈值系统的实时关联存储器	徐海英 等 462
GaAs 同质结脊形波导定向耦合调制器	刘宏岩 等 466
GaAs 宽带相位调制器的研制	冯 浩 等 470
InGaAsP 高速相位调制器	郭祥生 等 473
InGaAsP 相位调制器调制带宽的研究	吴学海 等 477
用倒相型电极改善 Ti:LiNbO ₃ 行波相位调制器的频率响应	李钰雄 等 479
长波长下的与偏振无关调制器	王葵如 等 482
1.3—1.6μm 硅电光强度调制特性研究	刘育梁 等 485
静磁波前向体波(MSFVW)-导光波(GOW)相互作用调制特性实验研究	申忠明 等 488
一种具有光增益的新型光学外调制器	余思远 等 492
波长自路由星型耦合器/网	曾庆济 等 495
单模真星型光纤耦合器	曾庆济 等 502
载流子注入全内反射型 GaAs/GaAlAs 光波导开关	林雯华 等 505
载流子注入全内反射交叉型半导体光波导开关的理论分析	林雯华 等 509
全封装、带尾纤 4×4 光开关阵列	陆荣鑫 等 515
单模尾纤 1×4Ti:LiNbO ₃ 波导光开关	杨德伟 等 519
BOA 型偏振无关光波导开关	彭吉虎 等 522
电路参数对微微秒光电导开关响应速度的影响	潘家齐 等 525
宽谱严格无阻塞 PLZT 空分矩阵光开关	曾庆济 等 529
1.3—1.6μm 全硅 2×2 电光开关的研制	刘恩科 等 532
全光纤可调光滤波器及其在频分光子交换中应用的研究	李京辉 等 536
单模光纤布拉格光栅反射滤波器	林祥芝 等 542
光频分复用(OFDM)鉴频器	张汉一 等 544
静磁正向体波与导光波的非共线相互作用研究	苏 钧 等 546
梯形截面硅脊形波导的模式特性及其等离子体色散效应	刘育梁 等 551
用迭代矩量法分析任意截面或任意折射率分布的介质波导	丁 浩 等 557
非均匀介质平面光波导应用研究	王子华 等 561
高密度微小透镜面阵列的研制	朱传贵 等 566

球形自聚焦平面微透镜阵列研究	刘德森 等 569
LiNbO ₃ 短程透镜的超精加工	马文生 等 575
大容量相干光通信中的玻璃无源器件	霍振光 等 578
场助 InP/InGaAsP/InP 双异质结半导体光电阴极	李晋闽 等 581
定向耦合器的设计与实验比较	龚小成 等 584
二模干涉型波分复用器	许政权 等 590
纯位相联合变换相关器	卢振武 等 594
1.5 μ m M-Z 型 Ti:LiNbO ₃ 光波导行波调制器	高福斌 等 597
集成光学声光频谱分析系统	许承杰 等 600
棱镜-磁液-薄膜波导系统模式耦合的研究	潘应天 等 604
一种新的模场半径测试方法	梁安辉 608
Hopfield 神经网络的改进模型及光学计算系统	朱伟利 等 614
具有可编程存储矩阵的 Hopfield 神经网络的光学实现	边少平等 618
具有双极神经元态及非零阈值矢量的光学神经网络	王许明 等 623
光学全混洗交换 Omega 网络和它在排序运算中的应用	曹明翠 等 627
可编程张量互连及其光学实现	张廷圻 等 632
超大规模集成电路芯片的全息光学互连	赵 峰 等 637
DCG 全息光互连元件的研制及二维关联记忆的光学实现	严瑛白 等 640
位相光栅型平行传输阵列互连器件	严瑛白 等 645
光电子混合模糊逻辑	刘树田 等 651
一种新型的求解快速傅立叶变换的光电混合系统	刘夏安 等 656
一种当前便于实现的光电混合计算系统	张以谟 等 660
基于光电子混合阈值逻辑的可编程先行进位加法器	刘树田 等 663
光电混合自适应处理器的研究	张以谟 等 668
光电混合实时联想存储器	张以谟 等 671
光电混合交叉开关互连四位数光学全加器	张 雷 等 675
光学邻域相关器及其在二值图象处理中的应用	陈历学 等 679
光电混合形态变换图象处理器在模式识别中的应用	袁石夫 等 684
利用液晶光阀实现光学并行阵列逻辑	袁石夫 等 688
图象板支持的光电混合形态变换二值图象处理系统	陈历学 等 695
自聚焦平面微透镜阵列的特性及在光计算中的应用	刘德森 等 701
大数值孔径自聚焦平面微透镜阵列研究中的几个问题	刘德森 等 706
自聚焦平面微透镜阵列在一种生物视觉识别模型中的应用	高应俊 等 712
应用平面微透镜阵列的多通道图象相关识别	朱传贵 等 717
二路全光学时分复用系统研究	张 雷 等 721
光子开关原理设计	李长英 等 725
瞬态光学双稳态实验研究	查子忠 等 729
室温下热双稳器件的快开关	杨 森 等 734
CdS _x Se _{1-x} 玻璃波导光学双稳器件	徐 迈 等 737
有机介质光双稳器件	钱秋明 等 741
新型多维声光器件及其构成的多通道光双稳开关	赵启大 等 746

具有两种反馈电路的多通道声光双稳开关	何士雅 等 753
ZnSe-ZnS 超晶格的激子型光学双稳	范希武 等 758
具有 F-P 腔的 ZnSe-ZnS/CaF ₂ 超晶格光学双稳	张吉英 等 764
磁性液体薄膜磁光双稳型激光功率稳性的研究	潘应天 等 769
新型偏振无关 PLZT 光开关	段耀明 等 773
ZnS 非线性干涉滤光片及其对激光光斑的整形作用和平面阵列的集成技术	钱龙生 等 775
光学二值图象代数操作的光学实现	郭敏贤 等 779
体全息的多层介质膜理论	陈西园 783
自泵浦位相共轭反射的机理研究	余有龙 等 788
光折晶体中全息图热定影技术的理论及其实验研究	袁 洋 等 793
薄膜电光系数测量研究	张永涛 等 799
GaAs:Cr 近红外波段三波混合的研究	张景文 等 803
简并四波混频法测量介质的三阶极化率 $\chi^{(3)}$	立 群 等 807
空间光调制器	李育林 等 810
光折器件在光计算中的应用	赵明君 等 818

ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱的光学特性

申德振 范希武 范广涵

(中国科学院长春物理研究所)

摘 要

本文报导了用 MOCAD 法在 CaF₂ 衬底上生长的 ZnSe-ZnS 多量子阱在 77K 下的激子发光以及激子的光学非线性和激子的光学双稳性。在高激发密度下,首次观察到了激子与激子散射的发光,用泵浦-探测技术首次观察到了由于泵浦光强增加出现的激子饱和和吸收,获得了不同泵浦光强下的非线性折射率。测量得到的光学双稳曲线显示了较好的开关特性。实验结果表明其非线性机理主要是由于激子态的相空间填充和激子带的展宽效应。

一、引 言

ZnSe 是 I - VI 族宽禁带半导体材料,具有较大的激子束缚能和较强的光学非线性^[1]。人们利用其较强的激子光学特性已经观察到了兰色受激发射^[2]和光学双稳现象^[3]。以 ZnSe 为阱材料的超晶格及其多量子阱,由于量子尺寸效应大大优化了材料的激子光学特性,为实现高增益的兰色激光器件及快速激子型光双稳器件提供了可能。Fu 等人^[4]在 10K 下研究了 ZnSe/(Zn,Mn)Se 多量子阱的激子发光特性,首次观察到了激子分子的发光;Andersen 等人^[5]在 77K 下用泵浦-探测技术研究了 ZnSe-ZnMnSe 超晶格的激子饱和吸收特性。他们认为窄阱时的激子饱和吸收主要来自激子态的相空间填充和激子的库仑屏蔽效应。我们研究了在 77K 下 ZnSe-ZnS/CoF₂ 多量子阱的激子发光、激子光学非线性及光学双稳现象。第一次观察到了激子与激子散射发光、激子的饱和吸收及激子的 F-P 光双稳。其饱和和非线性机理归结为激子态的相空间填充和激子带的展宽效应。

二、实 验

实验中使用的样品是用 MOCVD 法生长在 CaF₂ 衬底上的 ZnSe-ZnS 多量子阱。阱宽和垒宽分别为 4nm 和 6nm、周期为 100。发光和吸收光谱分别用 UV-24 型 N₂ 激光器的 337.1nm 脉冲激光线和钨丝灯的白光作为激发源,经 SPEX1404 双光栅单色仪分光后用 C31034 型光电倍增管转变成电信号,分别用 4400 型信号处理系统和微机控制系统接收。激子的光学非线性吸收是采用常用的泵浦-探测技术,泵浦光是 N₂ 激光器的 337.1nm 脉冲激光线,具有 10ns 的脉冲持续时间、30Hz 的重复频率,探测光是用 N₂ 激光器的 337.1nm 脉冲激光线经分光后泵浦香豆素 440 兰光染料获得的同步脉冲输出光,测量装置如图 1 所示。光双稳的测量是用 N₂ 激光器的 337.1nm 脉冲激光线泵浦香豆素 440 获得的兰光输出,调谐到 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱光学非线性折射率较大的波长位置,分别测量透射光强和入射光强随时间的瞬态变化,整个接收系统的响应时间为 2ns。

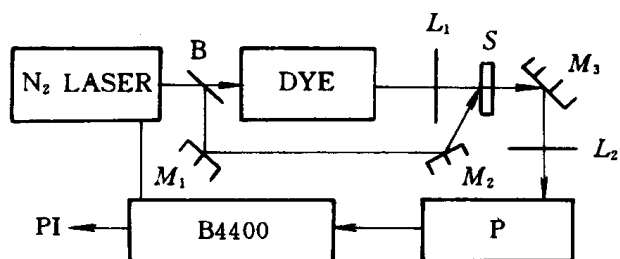


图 1 ZnSe-ZnS 多量子阱的激子光学非线性测量装置
(B) 分束板, (S) 样品, (L) 透镜, (P) 光电倍增管,
(M) 反射镜, (B4400) 积分器, (PI) 打印机

三、结果和讨论

1. 激子的发光

图 2 是在 77K 下, 低密度激发时 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱的发光和吸收光谱。由图 2 可知, 有两个发光峰和两个吸收峰, 发光峰的位置分别位于 426nm 和 440nm。通常在多量子阱材料的发光中主要是激子发光, 因此可以认为这两个发光峰可能是 $n=1, 2$ 的子能级激子发光, 也可能是 $n=1$ 重、轻空穴激子发光。从图 2 获得的激子吸收光谱可知, 在两个激子吸收峰中, 低能的激子吸收峰与峰值为 440nm 的发光峰相接近。根据测得的两个发光峰的能量差 (36meV) 及能带理论计算结果^[6], 它不大可能是 $n=1, 2$ 子能级的激子吸收。而重、轻空穴激子吸收和发光是由应变引起的, 应变的大小决定重、轻空穴激子能量差, 可以从几毫电子伏到几百毫电子伏变化。因此可以认为它们主要来自于 $n=1$ 的重、轻空穴激子吸收。由此可知两个发光峰应归结为 $n=1, 2$ 的子能级激子发光。

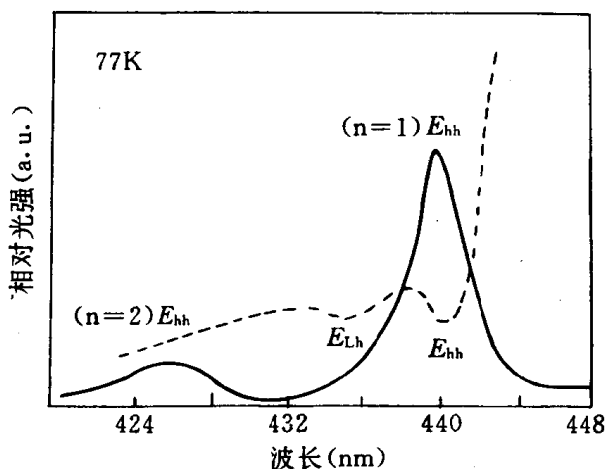


图 2 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱在 77K 下的发光光谱(实线)和吸收光谱(虚线)

根据非线性极化理论,低维体系中最低子能级有最大的光学非线性^[7]。因此我们感兴趣在已经获得的 $n=1$ 重空穴激子在高激发密度下的行为。图 3 是在 77K 下,不同激发光强的 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱的 $n=1$ 重空穴激子发光。由图 3 可知,当激发光强增加时在重空穴激子发光的低能侧出现了一个新的发光峰。由于这个发光峰只在高激发密度下出现且随激发密度提高发光强度迅速增加,这与我们早期在 ZnSe、ZnS_{1-x}Se_x 体单晶上的结果一致^[8,9]。因此该发光峰有可能起因于激子与激子的散射发光,也可能是激子分子的发光。由于该发光带只在高激发密度下出现,这就排除了该发光峰起因于激子与电子或声子,以及与杂质有关的发光的可能性。有可能是激子与激子散射发光或激子分子发光。但激子分子发光可直接通过双光子吸收产生,而我们在选择激发及吸收光谱中均未发现对应的双光子吸收^[4],因此基本上排除了是激子分子发光的可能。至此我们归结该发光峰为激子与激子的散射发光。为了进一步研究该发光峰的性质,继续增加激发光强,结果发现该发光峰产生了明显的兰移现象如图 4 所示。这可根据激子态的相空间填充效应来解释。因此当激发光强很高时,低态电子已被填满,根据泡利不相容原理,被激发的电子只能占据未被占据的高能态,这将引起激子吸收和发光的兰移。

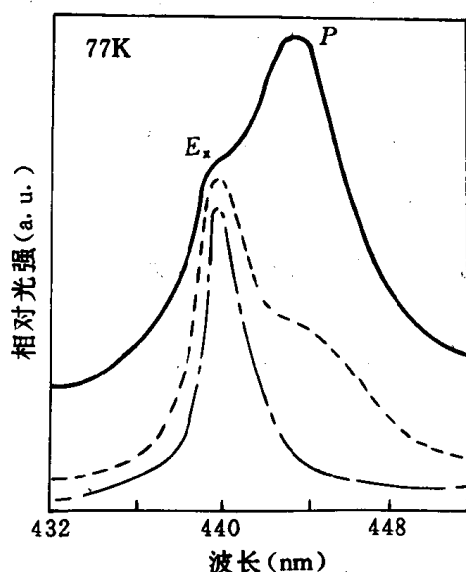


图 3 不同激发密度下 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱的激子发光光谱
(—) $I=0.064\text{MW}/\text{cm}^2$,
(---) $I=0.0256\text{MW}/\text{cm}^2$,
(- · -) $I=0.01024\text{MW}/\text{cm}^2$

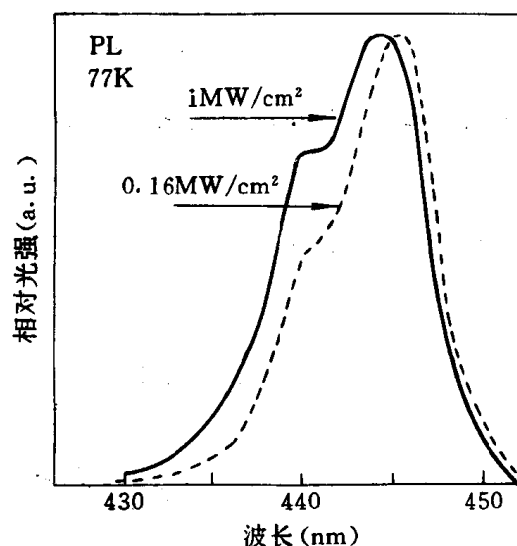


图 4 高激发密度下 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱的激子发光光谱

2. 激子型光学非线性

图 5 是在不同泵浦光强下测得的 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱在 77K 下的激子吸收光谱。从图 5 可知,随着泵浦光强的增加激子吸收峰渐渐饱和,兰移并展宽。根据激子的几种主要非线性机制^[3,5,10],可能的非线性机制是激子态的相空间填充效应和激子带展宽效

应。前者是由于泡利不相容原理所致,具体表现为吸收兰移;后者是由于激子与激子相互作用引起的激子带展宽。这与上述在高激发密度下的 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱中观察到的激子与激子散射发光及兰移的结果一致。

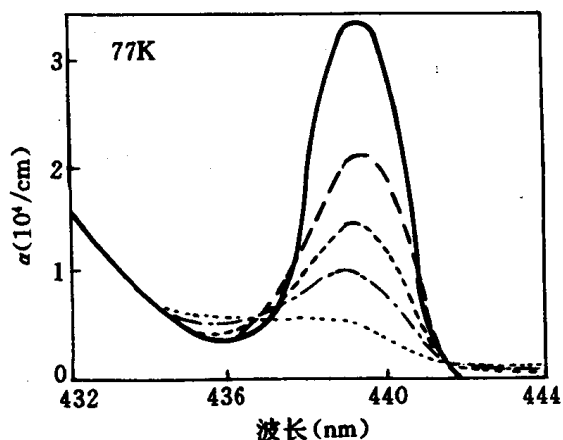


图 5 不同泵浦光强下, ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱的吸收光谱, 泵浦光强:

(—) $I=0$; (---) $I=0.64\text{MW}/\text{cm}^2$; (- · - ·) $I=0.16\text{MW}/\text{cm}^2$;
(- - -) $I=0.4\text{MW}/\text{cm}^2$ (·····) $I=2.5\text{MW}/\text{cm}^2$

根据 Kramers-Kronig 公式, 折射率的改变量与吸收的改变量有如下的关系:

$$\Delta n = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty \frac{\lambda'^2 \Delta \alpha}{\lambda^2 - \lambda'^2} d\lambda' \quad (1)$$

式中 λ 是光波长。根据公式 (1) 及图 5 的数据积分得到的 Δn 结果如图 6 所示。从图 6 知,

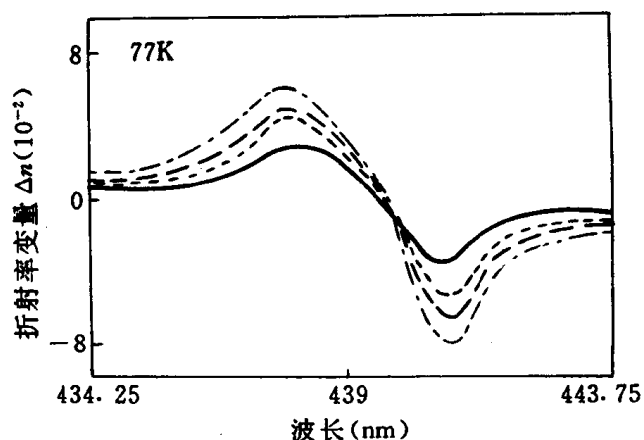


图 6 不同泵浦光强下的非线性折射率变量 (Δn) 随波长的变化, 泵浦光强:

(—) $I=0.064\text{MW}/\text{cm}^2$; (---) $I=0.16\text{MW}/\text{cm}^2$;
(- · - ·) $I=0.4\text{MW}/\text{cm}^2$; (- - -) $I=2.5\text{MW}/\text{cm}^2$

折射率改变值 Δn 的最大值大约是 0.08, 并且不在激子吸收最大的波长位置, 这有利于提

高材料的非线性因数 $\left(\frac{\Delta n_{\max}}{\alpha \lambda}\right)$ 。在我们的实验中,材料的非线性因数大约 0.18,明显大于实现 F-P 光双稳所需的理论值(0.09)^[11]。这表明 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱有较大的光学非线性,是实现 F-P 光双稳的较好材料。

3. 激子型光学双稳

根据在 77K 下 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱中观察到的激子饱和吸收特性,选择非线性折射率变化较大的波长位置 441nm 的脉冲激光输出,测量了 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱在 77K 下的入射光强与透射光强随时间的瞬态变化如图 7(a)所示。观察到了明显的脉冲压缩效应,获得了透射光强随入射光强变化的光双稳曲线,如图 7(b)所示。从图 7(b)可以看到光双稳曲线具有明显的开关特性。由于光双稳曲线的方向是反时针方向,因此不可能是吸收型光双稳。关于它的正反馈机制,我们已经证明^[18]在 ZnSe-ZnS 多量子阱的两表面能够形成一个简单的 F-P 腔。本文所用样品的两个表面的反射率近似为 0.3,激子饱和时 F-P 腔的精细度 F 大约是 2.4,因此形成正反馈是可能的^[11]。

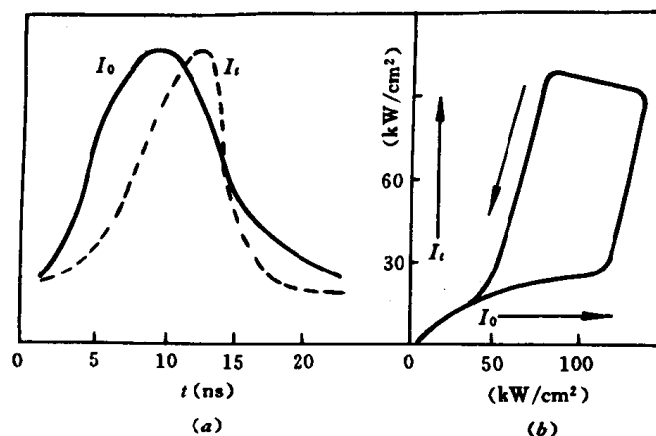


图 7 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱在 77K 下:
(a) 入射光强 I_0 (实线)和透射光强 I_t (虚线)随时间的变化;
(b) 由 $I_t=f(I_0)$ 变化绘制的光双稳曲线

四、结 论

综上所述,在 77K 下,较低激发密度下,在同 MOCVD 法生长的 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱上观察到了 $n=1,2$ 的子能级激子发光;在高激发密度下首次观察到了激子与激子散射发光。用泵浦-探测技术首次观察到了 ZnSe-ZnS/CaF₂ 多量子阱中的激子饱和吸收特性和非线性折射率变化。其主要非线性机制可归结为激子态的相空间填充和激子带的展宽效应。这与在高激发密度下出现的激子与激子散射发光带的兰移一致。获得的大的光学非线性因数(0.18)表明可望在该材料体系上获得实用型低阈值、高速的光双稳器件。

致谢: 本文得到“八六三”计划光电子主题的资助。

参 考 文 献

- [1] N. Peyghambarian, S. H. Park, S. W. Koch, A. Jeffery, J. E. Potts and H. Cheng, Appl. Phys. Lett. 52, 182 (1988).
- [2] X. W. Fan, Z. K. Tang and H. Tian, J. Crystal Growth 101, 944(1990).
- [3] V. P. Gribkovskii, L. G. Zimin, S. V. Gaponenko, I. E. Malinovkii, P. I. Kuznetsov and G. G. Yakushcheva, Phys. Stat. Sol(b) 150,761(1988).
- [4] Q. Fu, D. Lee, A. Mysyrowicz, A. V. Nurmikko, R. L. Gunshor and L. A. Kolodziejski, Phys. Rev. B, 37 (15),8791(1988).
- [5] D. R. Andersen, L. A. Kolodziejski, R. L. Gunshor, S. Datta and A. E. Kaplan, Appl. Phys. Lett. , 48, 1559(1986).
- [6] 刘玉东、申德振、范希武、范广涵、李淳飞、红外研究(1991)待发表。
- [7] E. Hanamura, Opt. Quantum Electron, 21, 441(1989).
- [8] 申德振、范希武,发光学报 9(1),26(1988)。
- [9] D. Z. Shen and X. W. Fan, Springer Proceedings in Physics, 38,761(1989).
- [10] 申德振、范希武、范广涵、陈连春、李淳飞、刘玉东,光学学报,10(7),643(1990)。
- [11] P. K. Milsom and A. Miller, Opt. Quantum Electron, 21, 81(1989)。

ZnS-ZnSe, ZnTe-ZnSe 应变层超晶格的折射率研究

崔 捷 陈云良 王海龙

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

摘 要

本文报道在(100)GaAs 衬底上利用分子束外延技术生长形成的 ZnS-ZnSe, ZnTe-ZnSe 应变层超晶格材料折射率的一些测量结果。通过采用正入射双光束干涉法测量超晶格外延层的反射率,由多层介质膜理论计算出超晶格结构的折射率,得到了 ZnS-ZnSe 和 ZnTe-ZnSe 应变层超晶格的折射率色散曲线。观察到超晶格的色散曲线在对应其电子-空穴跃迁能量的波长附近有突变现象。

一、引 言

由 ZnS、ZnTe、ZnSe 等 I - VI 族宽禁带半导体材料构成的超晶格和量子阱结构可望在可见光波段的光电子器件领域发挥重要作用,特别是它们可制成 600~700nm 波段光电子器件,在密度光学信息系统中的应用前景非常诱人,因此人们正加紧努力研制这种材料系的光波导、激光器及光学双稳器件。而在设计以该材料为基础的集成光电子器件时,折射率是一个重要的基本参数。Suzuki 和 Okamoto^[1]测量了 GaAs-AlAs 超晶格的折射率,

Kahan 和 Leburton^[2]研究了 GaAs-AlAs 超晶格的折射率和介电常数等光学特性。而 ZnS-ZnSe、ZnTe-ZnSe 超晶格只是在近几年才发展起来,它们是具有很大晶格失配的应力层超晶格,其光学光谱特性的研究刚刚开始,人们对这种应变层超晶格的折射率并没有深入的认识。本文报道对 ZnS-ZnSe、ZnTe-ZnSe 应变层超晶格折射率的一些测量结果。我们的初步结论是:形成应变层超晶格后,折射率并不能简单地由原来体材料折射率的带权线性迭加来代替,因为这种具有较大应变的超晶格,其电子态受应力的影响很大,电子能级在应力场中移动可达 100~200meV^[3]这使其光学性质较无应力情况发生很大变化;同时我们观察到超晶格的折射率在相应激子发光峰波长处出现突变,这是由超晶格结构中二维电子、空穴态密度的阶梯形分布造成的。

二、实 验

实验中所用的 ZnS-ZnSe、ZnTe-ZnSe 应变层超晶格材料是用分子束外延(MBE)方法生长在(100)GaAs 衬底上。衬底温度一般为 320~350℃,Zn、S、Se 等采用单体高纯材料为源,均不故意掺杂^[4]。首先生长 0.5~1.5μm 左右的 ZnSe 缓冲层,生长过程中样品始终旋转着,以使生长均匀,同时采用反射式高能电子衍射(RHEED)监测样品质量。样品结构参数由生长速率结合 x 射线衍射来确定。

首先在室温下,用正入射双光束反射法^[5]测量超晶格外延层的反射率,然后由多层介质膜理论计算出超晶格结构的折射率 n_{SL} 。图 1 是典型的超晶格外延层反射率曲线。在光子能量低于本征吸收区时,反射率随波长 λ 呈波纹状振荡变化,这是由于超晶格层非常薄,相当于介于空气($n=1$)和衬底(折射率已知)之间的 F-P 腔。

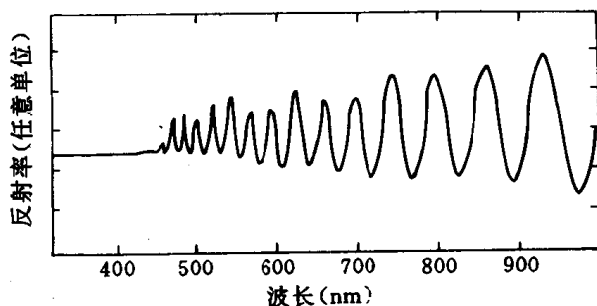


图 1 典型的超晶格反射光谱

三、讨 论

我们将反射率曲线中极小值记为 R^- ,极大值记为 R^+ ,则由多层介质膜的反射理论^[6]得到反射率和折射率的关系:

$$R^- = \left(\frac{n_2 - n_{SL}^2}{n_2 + n_{SL}} \right)^2 \quad \text{当 } d = m \frac{\lambda}{4n_{SL}}, m \text{ 为奇数} \quad (1)$$

$$R^+ = \left(\frac{n_2 - 1}{n_2 + 1} \right)^2 \quad \text{当 } d = m \frac{\lambda}{2n_{SL}}, m \text{ 为偶数} \quad (2)$$