

一九八四

第三届

化合物材料

全国半导体微波器件学术论文集  
光电器件

中国电子学会 半导体集成技术 学会  
电子材料学

一九八四年十二月重庆

# 目 录

## A、特 邀 报 告

### A-1

- (1) 深能级对某些光电器件慢退化的影响.....邹元曦 (1)
- (2) 较窄禁带 III-V 化合物半导体长波长激光器的  $T_0$  问题.....郭长志 (2)
- (3) 半导体光学双稳态器件的发展.....王启明 朱龙德 曹其萍 (3)
- (4) 化合物半导体材料的新发展.....彭瑞伍 (6)
- (5) 非晶态 III-V 族化合物半导体.....吴汝麟 陈坤基 (7)
- (6) 是否值得开展 GaAs 和有关 III-V 族化合物 SOI 的研究?  
.....王渭源 朱蔚雯 (9)
- (7) MBE III-V 族材料及其器件应用的新进展.....孔梅影 (9)
- (8) 以砷化镓材料为基础加快微波半导体技术的开发.....韩继鸿 (11)

## B、化合物半导体材料

### B-1

- (1) 不掺杂与掺铍 p 型 GaAs 分子束外延生长.....李爱珍 沈德华 丘建华 (13)
- (2) GaAs SOI 的分子束外延生长及特性研究.....李爱珍 丘建华 沈德新 (13)
- (3) 分子束外延技术与 MBE GaAs 生长及其应用  
.....李爱珍 沈德新 丘建华 (14)
- (4) 高纯 GaAs 的分子束外延.....孔梅影 孙殿照 梁基本 陈宗圭 黄运衍 (15)
- (5)  $Al_xGa_{1-x}As$  与 GaAs/ $Al_xGa_{1-x}As$  异质结的分子束外延  
.....陈宗圭 梁基本 孙殿照 黄运衍 孔梅影 (16)
- (6) 绝缘衬底上 MOCVD 多晶 GaAs 薄膜及其激光再结晶  
.....鲍希茂 尹金妹 韩 平 (18)
- (7) MOCVD 法在异质衬底上外延生长 GaAs 的初步研究  
.....丁永庆 吴珉 陆凤贞 杜嘉浩 王加宽 彭伍瑞 (20)

### B-2

- (1) 用三乙基镓砷烷外延生长 GaAs 薄膜的研究  
.....陆凤贞 杜嘉浩 丁永庆 王加宽 彭瑞伍 (20)

- (2) 氩气氛中砷化镓气相外延生长  
.....林耀望 张彦云 李秀兰 梁俊吾 林兰英 (21)
- (3) 钨膜上汽相外延GaAs薄膜的研究.....张烽生 (23)
- (4) GaAs气相外延的掺杂过程和杂质行为.....彭瑞伍 (25)
- (5) 影响InP外延层质量的研究.....陆大成 汪 度 杨守田 杨雄凤 (26)
- (6) 砷化镓气相外延中双性杂质Si和Ge的行为  
.....励翠云 葛秋霞 徐晨梅 彭瑞伍 (27)
- (7) III-V族半导体材料化学若干的研究.....彭瑞伍 (28)
- (8) GaAs减压低温VPE的初步研究.....艾广勤 宋淑琴 关兴国 (29)

**B-3**

- (1) 光声光谱法测定 $Ga_xAs_{1-x}P$ 外延层固溶体组份  
.....苏九令 包宗明 王昌平 方志烈 陆桂华 杨清河 (30)
- (2) 一种研究半导体中深能级的新技术——光电容瞬态谱  
.....周炳林 胡冰华 张洪方 吴征 陈强 (32)
- (3) VPE-InP的低温光荧光研究  
.....吴灵犀 张泽华 陈廷杰 陆大成 汪 度 杨守田 (33)
- (4) TSDC法研究半绝缘GaAs中深能级.....李铁生 罗晋生 周彩弟 (34)
- (5) n型LPE GaAs层中几个电照缺陷的研究  
.....姚秀琛 元明华 秦国刚 丁墨元 施益和 钱思敏 (36)
- (6) 中子辐照扩铜和热处理的砷化镓的光荧光研究  
.....张丽沫 林昭炯 王 军 张伯蕊 (38)
- (7) 掺铁 $Al_xGa_{1-x}As$ 的光学性质.....王占国 (42)

**B-4**

- (1) 不掺杂半绝缘GaAs晶体位错对若干电学性质的影响  
.....莫培根 吴 巨 李寿春 詹干宝 杨金华 (44)
- (2) 漂移电场对半绝缘GaAs深能级PITS谱的影响.....孙勤生 周东一 (45)
- (3) 重掺杂GaAs的改进指数带尾模型.....尹长松 张 郢 (47)
- (4) LPE-GaAs中电子陷阱的成因的研究.....向贤碧 杨锡权 吴让元 (49)
- (5) LEC-SI GaAs材料的补偿机理.....徐寿定 李瑞云 (51)
- (6) 砷化镓二极管长期使用过程中空穴陷阱A、B的行为  
.....周续程 管丽氏 钟贵章 盛 麓 陈焕吉 (53)
- (7) 绝缘衬底GaAs外延层纵向浓度分布的非破坏性测量  
.....王昌平 冷静民 (54)
- (8) 混晶半导体中深能级展宽的新模型.....王占国 (57)

## B—5

- (1) LPE GaAs外延层的少子扩散长度与载流子浓度关系的研究  
..... 闵惠芳 王光达 王振英 杨倩志 (59)
- (2) GaAlAs液相外延单学母液多层次生长与不均匀降温..... 丁国庆 (61)
- (3) 液相外延n型砷化镓中某些生长参数对深能级的影响  
..... 周继程 罗 艳 邹元曦 李连生 李存才 盛 麓 卢平芳 (63)
- (4) Ge在GaAs液相外延时的行为..... 杨 辉 龚秀英 梁骏吾 (64)
- (5) 780℃液相外延 $Al_xGa_{1-x}As_x$ 的生长特性和掺杂技术  
..... 余全中 岩井庄八 青柳克信 (66)
- (6) “外延空白区”现象的观察..... 王占国 (68)

## B—6

- (1)  $In_{0.53}Ga_{0.47}As/InP$ 的液相外延生长  
..... 杨洪波 李顺利 张清泉 李 华 朱毓铭 (71)
- (2) LPE生长 $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 时组分一致性的控制  
..... 彭少近 卢文宏 郑国宪 (73)
- (3) 某些Ⅲ—V族化合物液相外延表面形貌的研制  
..... 徐国华 潘慧珍 杨 易 (76)
- (4) 非晶态砷化镓(a-GaAs)材料的研究..... 吴汝麟 陈坤基 杨左娅 (78)
- (5) GaAs及InP薄膜的结晶及其重结晶的研究..... 黎锡强 (80)

## B—7

- (1) 高纯低位错半绝缘砷化镓单晶的制备  
..... 刘锡田 王永鸿 俞斌才 联志杰 马碧春 (81)
- (2) 大规模集成电路用半绝缘GaAs材料的新进展..... 刘锡田 王永鸿 (82)
- (3) 半绝缘GaAs的研究进展..... 陈素英 (84)
- (4) GaAs中子嬗变掺杂的理论与实验  
..... 徐稼迟 张德宏 孟祥提 徐小琳 王家英 (86)
- (5) 不掺杂高压液封半绝缘砷化镓晶体的生长及其稳定性  
..... 何宏家 刘巽琅 方兆强 肖福年 费雪英 王凤莲 叶式中 (89)
- (6) 体SI-GaAs表面反型层的电学和光学性质  
..... 徐寿定 吴灵犀 孟庆惠 李永康 (91)

## B—8

- (1) 气相外延生长的ZnSe单晶膜及其特性..... 王全坤 (93)
- (2) 气相外延生长的ZnS单晶膜..... 王全坤 范广涵 刘汉芝 胡光 (95)

- (3) ZnSe, ZnS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>单晶生长及其品质的评价……………黄锡珉 (98)
- (4) 镉压控制下的碲化镉熔体生长……………桑文斌 於美云 吴汶海 (100)
- (5) HgTe晶体生长及Cd离子注入  
……………张建成 孙国庆 曹令娟 蔡仁康 吴汶海 关安民 (102)
- (6) 用静态升华法制备CdSe单晶及其性质的观测  
……………孙宏志 石伟东 王德昌 (104)
- (7) 用连续测量法研究闭管CdTe汽相输运过程  
……………于梅芳 方平 袁诗鑫 (107)
- (8) 过渡金属二硫族化合物TaS<sub>2</sub>和TaSe的Hall效应  
……………何杏君 杨延斌 隋金玲 祁增芳 刘俊华 (108)
- (9) 过渡金属二硫族化合物TiS<sub>2</sub>、TiSe<sub>2</sub>、TiTe<sub>2</sub>、TaS<sub>2</sub>和TaSe<sub>2</sub>的研制  
……………何杏君 杨延斌 隋金玲 祁增芳 刘俊华 (71)
- (10) 二维层状半导体材料TiS<sub>2</sub>的光学带隙的测量  
……………隋金令 祁增芳 刘俊华 何杏君 杨延斌 (88)

### B-9

- (1) 高压液封直拉法制备低位错密度磷化铟单晶的等电子双掺技术  
……………刘思林 高书增 徐永强 武一宾 孙同年 (109)
- (2) 高阻Fe-InP晶体的等电子掺杂的研究  
……………刘巽琅 焦景华 赵健群 曹惠梅 孙文荣 张玉军 叶式中 (110)
- (3) <100>晶向生长的InP单晶  
……………刘巽琅 赵健群 曹惠梅 孙文荣 张五年 叶式中 (111)
- (4) 重掺Zn-InP晶体热处理后的晶体完整性  
……………周景龙 姚以珍 谭礼同 陈京一 (112)
- (5) InP单晶的缺陷性质……………薛绍仁 王香泉 李慈 陈兴麟 (113)
- (6) 液封拉制的n-InP单晶的红外反射光谱的研究  
……………华庆恒 李光平 何秀坤 王琴 (115)

## C、微波器件与测试

### C-1

- (1) 应用有限元二维瞬态数值分析方法计算分析GaAsFET的小讯号微波  
网络参数……………汪正孝 (117)
- (2) C-G-V法非破坏性地同时测定FET材料中载流子分布与迁移率分布  
……………魏策军 陈振荣 (117)
- (3) 4GHz超低噪声GaAsMESFET  
……………杨汉朋 梁春广 陈孝泽 王淑君 曹余录 (118)

- (4) 器件结构对GaAsMESFET噪声系数的影响..... 俞土法 (122)
- (5) 凹源结构场效应晶体管..... 潘晓明 (125)

### C-2

- (1) 超突变结参放变容管的电容变化系数..... 余文杰 (127)
- (2) 100GHz硅MOS结构的二倍频发生器..... 郑东周 卢曼 (128)
- (3) 三毫米硅低势垒二极管检波器  
..... 王森 柳春林 云浦明 卫薇 陈薇 (128)
- (4) “p<sup>+</sup>n结正向势垒电容异常变化”——变容管模型的最佳化..... 江关辉 (129)
- (5) 微波GaAs超突变结变容管C-V特性的研究及其在VCD的应用  
..... 李才彬 (134)
- (6) 肖特基势垒参放变容管的实验研究..... 沈惠民 (137)
- (7) 准光学混频器..... 郑东 卢曼 (140)

### C-3

- (1) 场效应限流注入非渡越时间转移电子器件的理论与实验研究  
..... 尹小明 魏策军 (141)
- (2) 双漂移p<sup>+</sup>pnn<sup>+</sup>崩越二极管的计算机辅助分析..... 方希增 宋文森 (143)
- (3) 高效率毫米波InP耿二极管..... 邓衍茂 张洪治 盛永喜 方静芝 (144)
- (4) 三毫米IMPATT二极管微波振荡器..... 杨玉芬 刘衍芳 (149)
- (5) 雪崩管的计算机模拟和初步实验结果  
..... 何莉莉 王茂森 林金庭 (150)
- (6) X波段1WGaAs脉冲体放  
..... 张铁桥 韩治业 李继国 周荷秀 路金印 (155)
- (7) GaAs转移电子器件中阴极深凹口引起的畴的性能及特点  
..... 郑一阳 (158)

### C-4

- (1) GaAs MESFET低频特性的光学测量..... 沈彭年 吴冠群 (159)
- (2) InP MIS结构的研究  
..... 郑有焯 徐俊明 江若廷 刘青淮 王凯 宋正荣 (161)
- (3) GaAs MESFET芯片等效电路的计算机辅助分析  
..... 李浩模 杨国安 施雁瞰 (162)
- (4) 氮化硅GaAs MISFET的研究..... 刘恩科 (166)
- (5) InP MIS结构界面态的电学性质研究..... 吴征 张洪芳 周炳林 (171)
- (6) GaAs, InP阳极氧化薄膜及其XPS、AES测定..... 王渭源 周勉 (174)

## D、光电器件与测试

### D-1

- (1) GaN:Zn纯正兰色EL的获得.....孙亚莉 (175)
- (2) GaAs<sub>0.6</sub>P<sub>0.4</sub>发光二极管中的深能级.....黄波 (177)
- (3) GaP红色发光二极管.....丁祖昌 华伟民 曹光胜 朱国英 (179)
- (4) 高亮度平面发光器件.....方志烈 许建中 (180)
- (5) 半导体发光数码管法向光强的测定.....方志烈 杨清河 许建中 (182)
- (6) 变色发光器件的色度学参数.....孙膺九 (184)

### D-2

- (1) 长波长光纤通信用In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As/InP PIN光电二极管  
.....张燕武 李世海 张胜琼 张崇仁 陈效健 (186)
- (2) 高速、高灵敏度、低噪声InGaAs/InP长波长探测器  
.....朱毓铭 蒲运章 杨洪流 朱世志 孙宝卿  
孙淑霞 张清泉 孙 贵 陈新倚 朱芝光 (190)
- (3) n<sup>+</sup>np<sup>+</sup>型 In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As/InP异质结构光电二极管  
.....王树堂 曾 靖 潘荣浚 樊爱青 李 铎 马朝华 李静然 (192)
- (4) 长波长InGaAs PIN管及其在混合组件中的应用  
.....胡维央 徐国华 余勉之 陈瑞璋 (195)
- (5) 光敏二极管基区对响应时间贡献的计算.....何民才 姚端正 (197)
- (6) Ge单晶薄片单面抛光后所引起的微弯曲及缺陷研究.....丁国庆 (199)

### D-3

- (1) 高开路电压高填充因子的Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As/GaAs太阳电池  
.....管丽民 隋兆文 陈芬扣 余文杰 (200)
- (2) 电子扩散长度与Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As/GaAs太阳电池的效率  
.....杨倩志 闵惠芳 王振英 王兴达 陈 朝 (202)
- (3) 用激光激发的光致发光空间分布来研究半导体光波导的损耗特性  
.....袁祐荣 (203)
- (4) 集成光学中半导体有源波导和无源介质波导直接耦合的理论分析  
.....马春生 刘式埔 (205)
- (5) 光激可控硅和光激可控硅输出型光耦合器的研制.....张君和 (210)
- (6) 掺铌半绝缘衬底直接硅离子注入的高线性GaAs霍尔器件  
.....乔 楠 罗湖渭 刘月琴 王渭源 (146)

#### D-4

- (1) InGaAsP激光器脉冲测试的简化.....高季林 (211)
- (2) 半导体激光器近场远场的显示和测量.....陈连勇 肖宗耀 忻慧芳 (213)
- (3) 侧面发光的LED与光纤耦合效率的估算.....孙膺九 (215)
- (4) 半导体激光器微分外量子效率及内量子效率的测量  
.....张清月 朱有才 李殿英 杨清玉 史若华 (217)
- (5) GaAs和InP的光纤测温传感器.....杨宝林 史智华 水海龙 (219)

#### D-5

- (1) 单纵模GaAs/(AlGa)As隐埋“新月”形集成化双腔激光器  
.....潘慧珍 杨 易 肖宗耀 王德宁 (221)
- (2) GaAs/AlGaAs微解理短腔激光器.....李玉东 刘式慵 张国义 (223)
- (3) GaAlAs/GaAs大光腔激光器.....石志文 马国荣 王丙丰 (225)
- (4) 低温LPE生长的Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As/GaAsDH激光器  
.....张国义 施丽娟 刘式慵 (226)
- (5) GaAs/AlGaAsDH激光器镀膜工艺中的膜厚控制  
.....马朝华 李春茂 (228)
- (6) Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As的阳极氧化.....余金中 青柳克信 岩井庄八 (230)

#### D-6

- (1) (AlGa)As可见光激光器阈值温度特性  
.....邓希敏 杜国同 王本忠 陈 兰 (232)
- (2) GaAs/GaAlAspn结的反向特性.....陈 琼 王启明 吴荣汉 (234)
- (3) 电极条形大小对光通信用GaAs-GaAlAs边发光二极管性能的影响  
.....逢永秀 潘慧珍 龚连根 吴冠群 (236)
- (4) 光触发GaAs/GaAlAs pnpn负阻激光器  
.....吴荣汉 张权生 李照银 洪 坚 (237)
- (5) 脉冲测量不均匀激发 (GaAl)As/GaAs DH激光器的双稳特性  
.....赵建和 王启明 洪 坚 (239)
- (6) GaAs/GaAlAs pnpn负阻激光器异质基区输运特性及载流子限制因子  
.....吴荣汉 张权生 李照银 洪 坚 (240)
- (7) 改善AlGaAs/GaAs单量子势阱后获得的发光增强.....孙亚莉 (243)

#### D-7

- (1) 1.3μm InGaAsP/InP光控温控激光器组件  
.....陈秀文 方永德 魏继明 张未 秦志强 徐梅琳 王秋玲 (248)



- (2) 1.3 $\mu\text{m}$ 双沟道低阈值GaInAsP/InP条形激光器  
 ..... 杨瑞麟 刘春良 张素文 洪连生 李顺利  
 陈永寿 芦秉梅 潘成亨 王文玲 石国裕 (251)
- (3) 长波长动态单模激光器.....张瑞华 (253)
- (4) 电导数测量InGaAsP DH激光器结电压饱和行为的分析  
 .....石家伟 金思顺 (255)
- (5) 1.3 $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP隐埋新月型激光器  
 ..... 李克诚 黄以明 张素文 潘成亨 张学书  
 杨瑞麟 刘春良 王桂兰 胡邦英 郭书卫 (258)
- (6) InGaAsP/InP BH激光器的化学腐蚀及外延生长与晶向的依赖关系  
 .....王圩 张静媛 田慧良 郑育红 (261)

## E、其 它

### E-1

- (1) p型GaP欧姆接触特性研究..... 王立军 陈武恒 (263)
- (2) InP欧姆接触研究..... 吴鼎芬 王得宁 (264)
- (3) 砷化镓及其它半导体欧姆接触模型..... 吴鼎芬 王德宁 (266)
- (4) Al-I( $10^2 \text{ \AA}$ )—n-GaAs势垒二极管中载流子的输运.....周 勉 王渭源 (268)
- (5) 降低硅肖特基二极管Rs值的一种途径.....邵作新 (270)
- (6) 金属/有机高分子膜/n-InP肖特基势垒  
 ..... 任云珠 盛 麓 张 玲 张 忻 孙恒慧 (272)
- (7) n-InP的低阻欧姆接触..... 茅保华 盛永喜 鲍希茂 (274)

### E-2

- (1) 超薄GaAs层腐蚀工艺及表面质量控制  
 ..... 吴鼎芬 徐梅梯 金 伟 缪洁华 (278)
- (2) 掺铋氧化锡薄膜的制备及其性质..... 唐 沛 沈瑜生 (279)
- (3) 硅离子注入砷化镓的砷压热退火  
 ..... 吴冠群 卢建国 解健芳 王渭源 (280)
- (4) 微波Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>复合介质膜电容器.....周荣根 (280)
- (5) PECVD技术淀积SiO<sub>2</sub>和PSAG膜在GaAs、InP和GaP上掩蔽锌扩散的  
 研究..... 戴国瑞 吕德安 (282)

# 深能级对某些光电器件慢退化的影响

邹元熿

(中国科学院上海冶金研究所)

深能级对光电器件包括发光管和激光器的性能特别是慢退化现象往往有很大的影响,而这些影响又往往由于它们对少数扩散长度的影响所引起。因此,本文对影响少数扩散长度的深能级的本性进行了探讨,涉及的材料包括掺Si砷化镓体单晶及掺Ge的砷化镓液相外延材料。根据文献报导的少数扩散长度数据,推测在这些材料中分别有 $V_{Ga}$ 、 $Si_{Ga}$ 、 $V_{Ga}$ 和 $Ge_{As}$ 、 $V_{Ga}$ 存在。它们在某些载流子浓度范围内能对有关砷化镓材料中的少数扩散长度起抑制的作用。

然后,对文献报导的某些光电器件的性能进行了分析。发现在GaAlAs发光管、InGaAsP/InP DH发光管和GaAs<sub>0.9</sub>P<sub>0.1</sub>

发光管中,分别有 $DV_{IV}$ 、 $Zn_{III}V_{IV}$ 和A空穴陷阱存在。这些深能级能起非辐射复合中心的作用。

在上述分析的基础上,提出了一个模型。模型认为,A空穴陷阱能影响某些发光管的慢退化。当有源层的载流子浓度较低时,A能级使某些材料中的少数扩散长度降低,但某些化学杂质也可能起不到的影响。当载流子浓度较高时,A能级让位于其他复合缺陷包括上述 $V_{Ga}$ 、 $Si_{Ga}$ 、 $V_{Ga}$ 、 $Ge_{As}$ 、 $V_{Ga}$ 、 $DV_{III}$ 和 $Zn_{III}V_{III}$ 等以形成主要的非辐射复合中心。鉴于DH激光器与有关发光管的慢退化可能由于相同机理所引起,上述模型也可能对这些激光器的慢退化作出解释。

# 较窄禁带V-III化合物半导体长波 长激光器的 $T_0$ 问题

郭长志

(北京大学物理系固体能谱研究室)

长波长半导体激光器(InGaAsP等)从其激射波长看,无疑是未来光纤通信,特别是单模光纤通信最有希望的信号光源。但是由于其阈值电流等激光特性随温度变化太大,即其 $T_0$ 太小的所谓“ $T_0$ 问题”,使其应用受到很大限制,而引起国际学术界和技术界的严重关注。长波长半导体激光器 $T_0$ 变小显然是由于存在随温度增强的某种非辐射过程所致。但这种过程是什么?它是否与材料本身或器件结构有必然的联系,从而带有本征性质?还是只与材料或器件工艺的不完善有关,从而带有非本征性质?则尚无定论。有人认为这过程是与晶格温度相同的载流子超越同型异质结势垒而以扩散或漂移的输运形式的泄漏过程;有人认为是随禁带宽度变窄而加剧的某种载流子俄歇复合过程(CHCC或CHSH等);有人认为是价带内自旋-轨道耦合分裂带与轻、重空穴带之间的对体内辐射光子的吸收过程;也有人认为是禁带中存

在某种能级分布的杂质中心的温度激活过程等等。这些看法一直都争议,而提出者、支持者与反对者双方都似乎有一定的理论和实验依据。☆我们的研究表明,能带结构对上述各过程所起作用的大小都有根本性的影响。由于四元III-V化合物半导体尚无精确的能带结构计算或实验,上述各作者所采取的能带结构数据皆由二元系用不同方法导出,特别是俄歇复合涉及过热(比晶格温度高)的高能载流子,已不适于用 $k \cdot p$ 微扰理论处理。我们用较可靠了赝势能带定量地分析了上述各过程的作用和大小,发现有些过程根本不可能是造成 $T_0$ 小的主要原因,并指出进一步深入的可能途径。

这些实验结果或者不一定可靠,或者虽然可靠,其解释却不一定恰当或唯一。而所提理论,或者定性看来似乎合理,却往往经不起定量的检验,或者虽然得出接近实际的数值,但其模型本身却不一定可靠。

# 半导体光学双稳态器件的发展

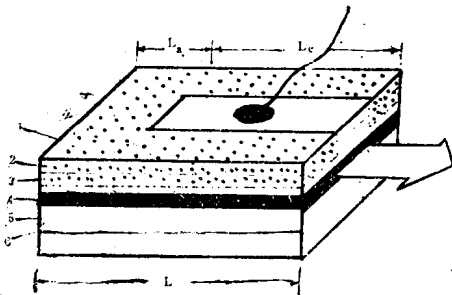
王启明 朱龙德 曹其萍\*

(中国科学院半导体研究所)

双稳态激光器是目前受到人们重视的一项重要研究课题，它可能在光通信方面发展为小型化光增强中继器件，还可能利用其光逻辑功能发展新一代的全光学高速计算机等。

曾经报导过有几方面的途径可在半导体中获得光学双稳态功能，例如，采用光泵浦量子阱超晶格材料采用电注入的光器件(LD或LED)与电器件(探测器，光晶体管)的集成组合，以及采用自调Q或锁模方式的单元激光器。它们都是建立在器件材料中的非线性光学特性上面。自调Q式激光器是一种工艺简单、便于集成的双稳态光器件，因而更具有实用价值。

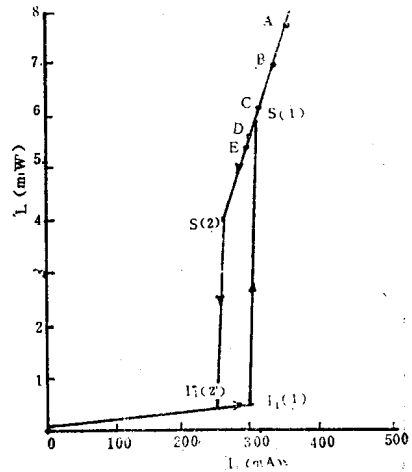
我们研究一种nGaAsP/InP质子轰击DH调Q双稳态激光器。其结构如图(一)



图(一) 质子轰击DH调Q InGaAsP/InP双稳态激光器结构示意图。

- 1. 质子轰击区 2. p<sup>+</sup> InGaAsP 3. p<sup>-</sup> InP
- 4. InGaAsP 5. n-InP 6. n-InP衬底

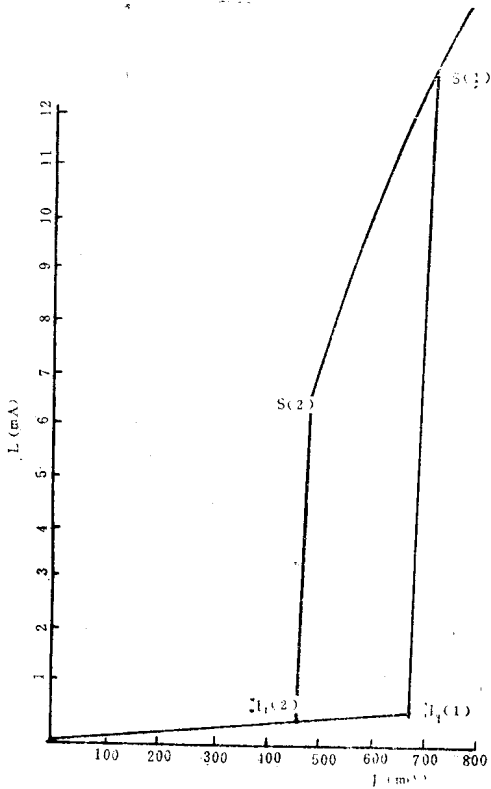
所示，它是在一个普通的质子轰击的条形DH激光器上，再次采用质子轰击的技术在垂直谐振腔轴向引入一个附加的高阻隔离区，其宽度为 $L_a$ ，它包含在谐振腔内，因而把腔体有源区分为二个部分即吸收区 $L_a$ 和发射区 $L_e$ 。一般情况下 $L_a = 30\mu\text{m}$ ，总腔长 $L = L_a + L_e = 300\mu\text{m}$ 。当激光器正偏注入时，实际上吸收区是没有电流注入的即 $I_a = 0$ 。对于这样的激光器我们进行了室温直流 $L-I$ 特性测量。图(二)、(三)是对二个样品所测得



图(二) 83-Al\* InGaAsP/InP DH DC光输出特性

的实验结果，由图可见，激光器正偏注入自零开始增大时激光器处于自发发射的状态(称为低态)，当注入电流值为 $I_1(1)$ 时，激光器光输出突然陡增到 $S(1)$ ，此刻激光器已

\* 现为北京邮电学院研究生

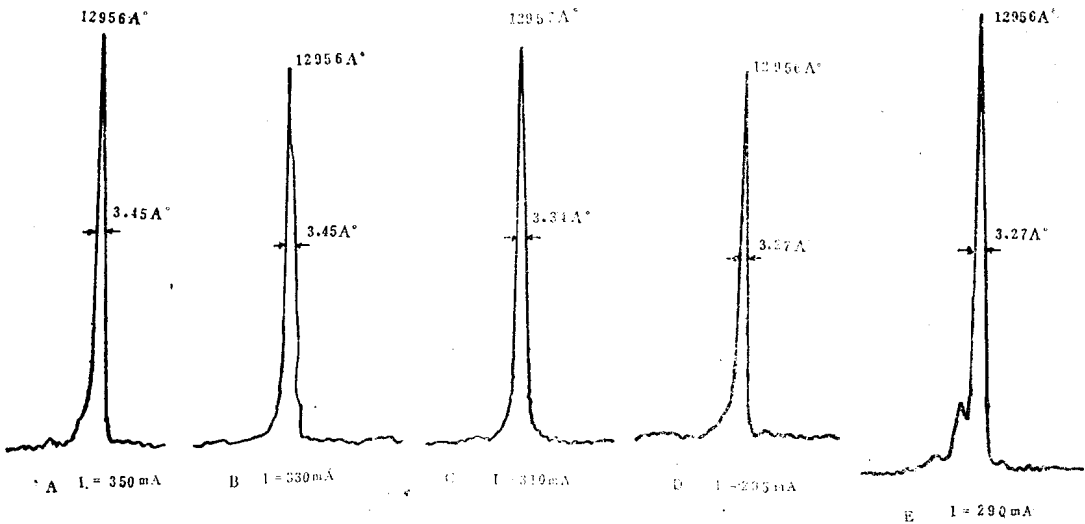


(图三) 83-8-15\* InGaAsP/InP DH输出特性

处于受激发射态（称为高态），这种激光过程与普通的激光器不同，它有一个明显的光跳跃，类似存在一种开关过程。注意到尔后回调正偏注入电流时，当 $I_1 \leq I_1(1)$ 。激光状态并未停止，而是一直维持到 $I \leq I_1(2)$ ，这里当然 $I_1(2) < I_1(1)$ 。当 $I \leq I_1(2)$ 时，激光器的熄灭也存在一个类似的开关动作而回到了低态。因而激光器的辐射行程中存在二个阈值电流而 $L-I$ 特性出现一个回滞线，它的电流范围 $\Delta I = I_1(1) - I_1(2)$ ，称之为电流跨度，于是在跨度电流的范围内激光器的光输出都有二个稳态的输出态，即高态和低态。图（二）（三）所得结果 $\Delta I$ 分别约为 50mA，200mA。

测量了该激光器在不同电流下高态输出光谱特性，发现它保持了相当稳定的单频输出，中心频率的稳定态达到 $10^{-5}$ ，谱线半宽受测量仪器分辨率的限制）约为3.5Å。显然它是一个性能很好的稳定单频激光器，其结果如图（四）所示。

用图（五）的增益谱图从物理上可以说明激光器的双稳态行为，激光器的平均增益



图（四）83-A1\* InGaAsP/InP DH在不同电流注入下室温激光光谱

系数  $\bar{g}, g = \frac{L_a g_a + L_e g_e}{L_a + L_e}$  激射阈值条件为

$$\bar{g}_{th} = \frac{1}{\tau_P}, \tau_P \text{ 为腔内光子寿命 (它不包含}$$

吸收区a的本征吸收的贡献),基本上可视为常量。图(五)实线表示的是接近受激而未激射时的二个区中的增益谱图,显然发射区由于正偏注入电子,因而处于正增益状态,吸收区没有电子注入因而对不同能量的光子都处于吸收(负增益)状态,  $\bar{g}_{th} = \frac{1}{\tau_P}$  水平

线表示了激射阈值线。满足阈值条件的光子能量发生在  $\hbar\omega_1$  处,一旦激射腔内充满了大量光子,由于本征光吸收结果,吸收区a导带底即为大量光生载流子所填充,即进行了光泵浦注入,但是在  $\hbar\omega_1$  能量处光注入电子的填充到了零增益值即保持了动态平衡,即增益锁定,此刻a区增益谱图变化为  $g_a'$ ,在此瞬间如果发射区增益谱图仍保持不变则平均增益将超过耗损,即  $\bar{g} > \frac{1}{\tau_P}$ , 于是e

区增益谱图将迅速自动调整为  $g_e'$ ,这就导致了导带底填充水平的突然降低(即Q值突然变小),过量的电子(由  $\Delta F_e - \Delta F_e'$  表示)将突然跃迁复合而贡献出附加光输出,即产生光强陡然跳跃现象,此即为Q开关现象。实际上对吸收区这是一种相变,即从近乎无光“暗”态进入强光“亮”态。此刻若沿回头路程外部调小正偏入电流,由于腔已经充满大量光子,a区处于“亮”态。它在一定的电流减值范围内仍然足以维持不变的增益分布谱图  $g_a'$ ,因此激射状态仍可保持,直至  $g_a'$  开始向下移动。由于激射阈值条件未能满足,激光器将突然回到熄灭状态(即低态)。正是由于a区的零增益点一直被锁订在能量  $\hbar\omega_1$  处,激射能量只发生  $\hbar\omega_1$  处,因此输出光频率(或波长)就保持稳定不变。

从激光器腔内有源区电子和光子密度的速率方程出发可以得出光子密度S与注入电流密度J的稳态关系方程如下:

$$V_E \beta \frac{J - J_0}{gd(1 + \beta\tau S)} - kV_E \beta' \frac{J_0}{gd(1 + \beta'\tau S)} = \frac{1}{\tau\tau_P}$$

这里  $\beta, \beta'$  分别为发射区e及吸收区a的时间增益因子。

利用文献的数学分析结果,我们得出

$$J_1(1) = J_0(1 + \xi k) + \frac{gd}{\beta' \tau \tau_P V_E}$$

$$J_1(2) = J_0(1 + k) + \left(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta'}\right) \frac{gd}{\tau \tau_P V} + 2 \left[ \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta'}\right) k \frac{gd}{\tau \tau_P V_E} J_0 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta J = J_1(1) - J_1(2) = k(\xi - 1)J_0$$

$$- \frac{gd}{\beta' \tau \tau_P V_E} - 2 \left[ \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta'}\right) k \frac{gd}{\tau \tau_P V_E} J_0 \right]^{\frac{1}{2}}$$

这里  $V_E = \frac{L_e}{L_e + L_a} = \frac{9}{10}$

$$k = \frac{L_a}{L_e} = \frac{1}{9}$$

$J_0$  为零增益电流密度  $\sim 1.2 \times 10^3$  A/cm<sup>2</sup>

$$\xi = \frac{\beta'}{\beta}, \text{ 引用文献对GaAs测得的结果为2.9}$$

d为有源层厚度  $\sim 0.3 \mu\text{m}$

$\beta = 1.2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{Sec}$

$\beta' = 3.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{Sec}$

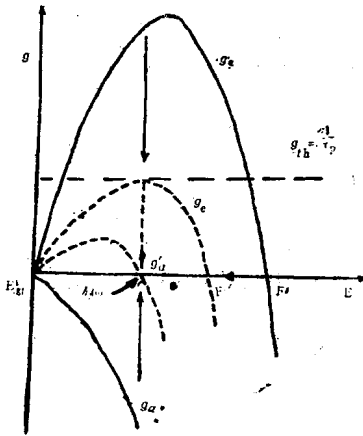
$\tau$  自发复合寿命  $5 \times 10^{-9} \text{ Sec}$

$\tau_P$  腔内光子寿命  $4 \times 10^{-12} \text{ Sec}$

g电子电荷量  $1.6 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$

由此计算得出:

$$\Delta J \approx 35 \text{ A/cm}^2$$



图(五) 调Q激光器发射及吸收区增益谱图与激光能量的锁定示意

若以激光器条宽  $W = 15\mu\text{m}$ , 腔长  $L = 300\mu\text{m}$  计则有

$$\Delta I \approx 200\text{mA}$$

以上理论计算值与图(三) 实验结果符合甚好。

## 化合物半导体材料的新发展 ——多层结构材料

彭 瑞 伍

(中国科学院上海冶金研究所)

近年来, 化合物半导体材料已从体单晶和外延层发展到多层结构材料。这种“新材料”的出现改变了过去先有材料, 后有器件的概念和提供了任意设计和研究各种新现象和新效应的可能性。本文主要叙述这类材料的制备工艺, 特性测试和可能应用等方面的进展。

目前, 多层结构材料的研制主要依赖于外延工艺, 包括氯化物和氢化物外延, MBE和MOCVD, 而制得的材料则包括一大批复杂的多层结构。它们是: (1) 多层和多组分材料, (2) 超晶格结构材料和 (3) 介

稳态材料等。

第一种材料的突出例子是70年代初的异质结激光器材料。最近被再度重视的 GaAs 双极晶体管以及 III-V/Si, 金属/半导体和半导体/半绝缘等异质材料则是这类材料的最新发展。第二种材料的典型例子是80年初的高电子迁移率晶体管材料和目前正在研究的应力层结构材料。第三种介稳态材料是外延层受衬底的取向影响后改变结晶组态所形成的。这类材料较难开发, 但  $\alpha\text{-Sn/InSb}$  是一个成功的例子。

多层结构材料之所以获得迅速发展是与

# 非晶态III-V族化合物半导体

吴汝麟 陈坤基

(南京大学物理系)

非晶态半导体是凝聚态物理发展中的一个新领域。近廿年来的研究实践表明,无论是关于无序系统的结构、电子态、输运性质等方面的理论研究,还是为降低态密度、实现可控掺杂以及检测一系列电学、光学性质等方面的实验工作都取得了很大的进展。正如1983年在东京召开的第十届国际非晶态和液态半导体会议评论所指出的:“当前非晶态半导体特别是非晶态硅的现状非常类似于当时晶体管由研究进入工业生产阶段的情况。晶体管进入生产阶段并完善其工艺是在六十年代,而八十年代的非晶态半导体正好与六十年代的晶体管相仿。因此从这个意义上讲,当前是一个非常重要和关键性的时期。

在非晶态半导体的研究中,通常是以晶态固体的平移对称性为基础加上无序微扰的影响来处理一系列问题,但这样的研究方法有一定的局限性。如果从化学键理论出发研究无序体系可解释更多的实验现象。J.C. Phillips利用平均配位数 $m$ 来描述在三维空间中原子化学键的束缚与自由度数目的失配,以及为了调节这种失配所需要的轨道柔软性之间的关系。对一个仅仅考虑短程键之间作用的二元合金 $A_xB_{1-x}$ ,则定义平均配位数

$$m = X N_{cn}(A) + (1-X) N_{cn}(B) \quad (1)$$

$$\text{式中的 } N_{cn}( ) = 8 - N( ) \quad (2)$$

$N( )$ 为某元素的价电子数目。那么此时对于每个原子的化学键束缚的数目

$$N_{oo}(m) = \frac{m}{2} + \frac{m(m-1)}{2} = \frac{m^2}{2} \quad (3)$$

当取化学键束缚的数目等于三维空间的自由度时,即 $N_{oo} = 3$ ,材料的结构具有最好的联级性。显然,此时的平均配位数

$$m_o = \sqrt{6} = 2.45 \quad (4)$$

基于这些概念来区分非晶固态的示意图表示在图1中。

一般情况下,玻璃态被限制在 $3 > m \geq 2$ ,而具有较高联级性的材料 $4 \geq m > 3$ ,通常是过束缚的非晶态材料。非晶态元素半导体a-Si, a-Ge,以及非晶态III-V族化合物半导体a-GaAs, a-GaP, a-GaSb等其平均配位数 $m$ 都为4,因此是一种过束缚的亚稳的非晶态材料。

由x-射线衍射实验证明非晶态III-V族化合物仍保持着四面体健全的短程有序性,因此在理论上仍可用连续无序网络模型来描写其结构。

但是在四面体健全的非晶态元素半导体与III-V族化合物之间在网络拓扑学上仍然存在差异,因为后者的健全部分是离子性的,这对防止形成奇数原子环的结构有帮助,而奇数原子环是引起类原子键(bonds



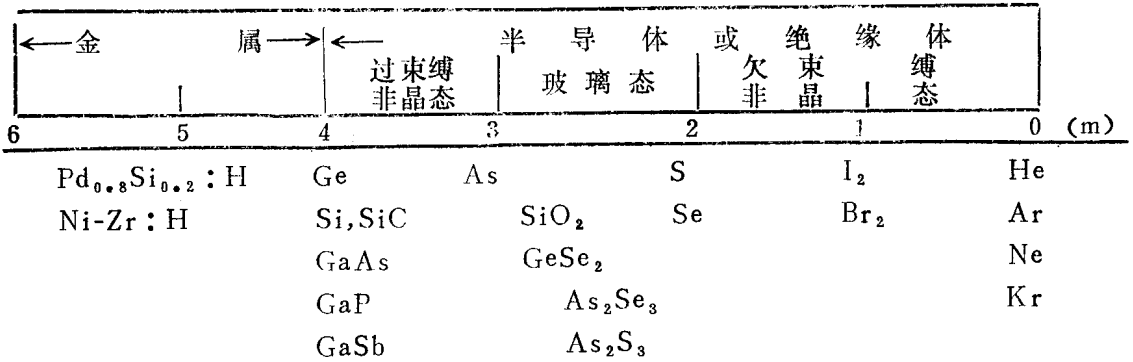


图1 非晶固态按平均配位数m分类。

etween like atoms) 或称为惜键所必须的。另一方实验指出在化合物中偶数原子环网络结构有助于邻近四面体交错组态的形成。

在非晶态 III-V 族化合物中除了结构上的无序外, 化学键无序是另一个特点。化学键无序的程度取决于化合物的离子性, 亦即与形成错键的能量大小有关。无论是结构上的无序还是化学键的无序, 在非晶态 III-V 族化合物半导体中都将在带隙中或带边附近形成附加的电子态并引起能带结构的变化, 结果使这些材料展现出一系列不同于晶态 III-V 族化合物半导体的性质, 从而引起了材料和器件工作者的兴趣。

早期的非晶态 III-V 族化合物的制备一般都采用真空溅射或真空快速蒸发的方法, 但由这些方法制得的样品, 一般态密度较高, 必须采用 H 处理来补偿材料中的缺陷态。H 处理后的材料室温电导率明显下降, 而电导激活能相应地增大, 如图 2 所示, 氢化了的 a-GaAs 的红外谱线如图 3 所示, 存在与 H 有关的二个吸收带分别在 530 和 1460 cm<sup>-1</sup>。

近年来也有人尝试由三甲基镓和砷烷的混合物用辉光放电的方法淀积 a-GaAs。

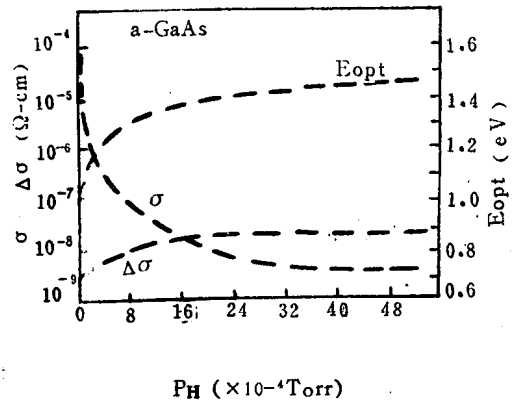


图2 a-GaAs薄膜的光能隙Eopt、室温下的暗电导率σ, 和光电导率Δσ与氢处理压力的关系。

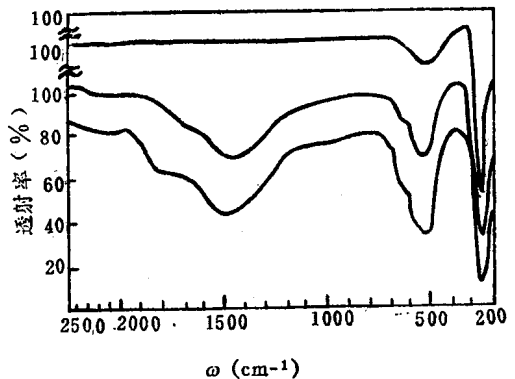


图3 含有不同H浓度CH的a-GaAs:H的红外谱线

我们研究小组采用AsCl<sub>3</sub>+Ga作为源, 利用PECVD方法成功地获得了a-GaAs薄膜, 在文中我们将比较几种制备方法的优缺点。

最后还将简单介绍研究非晶态 III-V 族化合物的Raman光谱和EXAFS的测量结果。