



国家科学技术奖励项目公报

第六次(1993)国家自然科学奖

中华人民共和国国家科学技术委员会

科学出版社

国家科学技术奖励项目公报

——第六次（1993）国家自然科学奖

中华人民共和国国家科学技术委员会

科学出版社

1994

(京)新登字 092 号

国家科学技术奖励项目公报

——第六次(1993)国家自然科学奖

中华人民共和国国家科学技术委员会

责任编辑 李淑兰 刘晓融

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

蓝地公司激光照排

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994年10月第一版 开本:787×1092 1/16

1994年10月第一次印刷 印张:10 1/2

印数:1 2035 字数:235 000

ISBN 7-03-004450-9/N·22

定价:18.90元

前 言

奖励科技进步是党和政府长期坚持的重要政策,是促进科技事业发展的一项有力措施。我国科技奖励事业始于新中国建立初期,一直得到党中央、国务院重视与关怀。60年代初,毛泽东主席曾为国家发明奖亲笔题写“发明证书”,周恩来总理亲自阅批有关科技奖励的文件。在1978年全国科学大会上,邓小平同志首次提出了“科学技术是生产力”的马克思主义论断,迎来了科学的春天。

十一届三中全会以来,在党的“一个中心、两个基本点”的基本路线指引下,我国科技事业呈现勃勃生机,科技奖励工作步入健康发展时期,科技奖励制度日臻完善。其间,国务院先后发布了四种国家级科技奖励法规,并于1985年批准设立了国家科技奖励工作办公室,从而为建立、健全全国范围的科技奖励工作系统,为科技奖励工作的规范化、程序化和制度化奠定了基础。自1979年以来,获得国家级奖励的优秀科技成果共7607项,这些成果已为壮国威、振民心,实现第一步战略目标等做出了极为重要的贡献。

这些优秀科技成果,集中反映了我国广大科技工作者,在党的“尊重知识、尊重人才”方针的鼓舞下,切实贯彻“经济建设要依靠科学技术,科学技术工作要面向经济建设,出成果,出人才,攀登科学技术高峰”的战略决策,表现出的非凡智慧与创造才能,也熔铸进他们对祖国的赤子之心,对科技的炽爱之情。他们的献身精神为社会所关注,他们的勤奋与卓越功绩为世人所敬仰。

我们曾经将获奖项目分别按奖种、年度编印过“公报”、“简介”、“大全”等资料。鉴于国家科技奖励是中央政府的奖励,是极为严肃的,经研究决定,自1991年起,将由国家科委每年公开出版公报,公布获奖项目的有关信息,以供社会各界参考、利用。

我们希望,“公报”的公开出版,能够鼓励广大科技工作者和各界人士,为攀登科学技术新高峰,实现我国经济发展的宏伟战略目标,秣马厉兵,英勇奋斗。

编者说明

1993年开展了第六次自然科学奖的评选工作。在这一年中，国务院重新修订了“中华人民共和国自然科学奖励条例”；国家科学技术委员会发布了“中华人民共和国自然科学奖励条例实施细则”。它们为自然科学奖励工作的规范化、程序化、制度化奠定了基础，也是做好评选第六次自然科学奖励工作的重要依据。

第六次自然科学奖共受理中央各部委，中国科学院，中国科协，各省、自治区、直辖市科委及中国人民解放军系统等推荐的项目331项。经国家自然科学奖励委员会严格评审，国家科学技术委员会核准，有52项优秀科研成果获奖。其中，一等奖1项（占1.9%），二等奖18项（占34.6%），三等奖21项（占40.4%），四等奖12项（占23%）。按学科类别分布，数学4项，力学2项，天文学2项，物理学6项，化学8项，生物学8项，医学2项，地球科学7项，材料科学3项，工程科学5项，信息科学5项。获奖项目的主要研究者181名，中国科学院院士25名，中国工程院院士2名，具有高级技术职称的科学家150名，硕士以上学位的科学工作者79名。获奖者年龄在35岁以下的有25名（占13.8%），36—45岁共19名（占10.5%），46—55岁共42名（占23.2%），56—65岁共70名（占38.7%），66岁以上25名（占13.8%）。女科学家29名（占16%），少数民族科学家2名（占1.1%）。

为了使社会各界了解奖励项目的情况，国家自然科学奖励委员会办公室根据项目推荐书及国家自然科学奖励委员会的评审意见，整理编写了本公报。公报公布了52项奖励项目的名称、主要研究者、奖励等级、关键词、项目简介、主要论著，以及第一研究者情况介绍等。参加编写工作的有钱浩庆、刘容光、卞文山等，在编写过程中得到国家自然科学奖励委员会、获奖者所在单位和国家自然科学基金委员会各科学部的大力帮助，在此表示感谢。书中如有不足之处，请读者批评指正。

国家自然科学奖励委员会办公室

1994年6月

目 录

一等奖 (1 项)

1. 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源 (3)

二等奖 (18 项)

1. 有机砷、锑化合物在有机合成应用中的方法学 (7)
2. 半导体超晶格的电子态与声子模理论 (10)
3. 酶活性不可逆改变的动力学研究 (12)
4. 狄氏型与随机分析 (15)
5. 非线性微分方程及其在几何中的应用 (18)
6. 三维分离流动性状的研究 (20)
7. 中华人民共和国及其毗邻海区第四纪地质图 (1:250 万) 及说明书 (22)
8. 应用物理中几类逆问题的研究 (25)
9. 实用符号动力学及其在耗散系统混沌研究中的应用 (27)
10. 弯扭叶片降低叶轮机械能量损失的机理及其设计理论与方法 (30)
11. 中国唇形科植物的分类、地理分布与进化 (33)
12. 四川自贡大山铺中侏罗世恐龙动物群研究 (35)
13. 全数字自动化测图的理论与方法 (37)
14. 天文望远镜光学研究 (40)
15. 钼、铁、硫等原子簇化合物的合成化学与结构化学 (43)
16. 热塑剪切带 (46)
17. 太阳大气动力学的数值研究 (48)
18. 载能离子束与金属作用下合金相形成及分形生长现象的研究 (51)

三等奖 (21 项)

1. 金属-氧化硅-硅 (MOS) 器件物理研究 (57)
2. 高价氧钨配合物的氧化化学 (60)
3. tRNA 和 5SRNA 结构、功能与进化的研究 (63)
4. 用光引发和放电引发的脉冲氧碘化学激光器 (66)
5. 急性早幼粒细胞白血病全反式维甲酸诱导分化治疗的机制研究 (69)
6. 共生矿中金属分离的基础研究——金属液中元素选择性氧化及有害元素去除的热力学 (72)
7. 稀土催化剂在高分子合成中的应用研究 (75)

8. 随机介质中矢量辐射传输和遥感理论	(78)
9. 碲镉汞半导体材料的光学和电学性质研究	(81)
10. 粒子物理中的圈图效应	(84)
11. 脉冲星的辐射机制	(86)
12. 中国磷块岩	(89)
13. 仿射空间超曲面的刚性与唯一性定理	(91)
14. 细胞核骨架-核纤层-中间纤维体系的研究	(94)
15. 泥沙运动随机理论研究	(96)
16. 三烷基(混合)氧膦(TRPO)的萃取性能及从高放废液中萃取分离铜系元素 的研究	(99)
17. 日地共转扰动似稳结构及耀斑引起的日地扰动和激波的非对称性	(102)
18. 沿染污介质表面放电的研究	(105)
19. 小鼠 T 细胞在胸腺中的分化及细胞因子的诱导作用	(107)
20. 汉语普通话语音特征研究	(111)
21. 断裂力学的权函数理论与应用	(114)

四等奖(12项)

1. 油膜隔离法化学箝技术与化学依从性离子通道的研究	(119)
2. 液/液界面电分析化学研究	(121)
3. 压电晶体液相振荡传感、药物电极的理论与应用研究	(124)
4. 粳型稻种的起源及耐旱性与耐冷性	(127)
5. 煤层瓦斯流动规律的研究	(129)
6. 离子轰击诱发表面原子偏聚的发现与研究	(131)
7. 相对论重离子碰撞中多粒子关联的研究	(134)
8. 家蚕种质资源库	(136)
9. 地震勘探信号处理与识别方法及其应用	(138)
10. 涡度法的数学理论	(141)
11. 超塑性变形的理论分析	(143)
12. 异步并行算法和区域分裂法的若干问题	(145)

附录一 中华人民共和国自然科学奖励条例	(148)
附录二 中华人民共和国自然科学奖励条例实施细则	(149)
附录三 第三届全国自然科学奖励委员会委员名单(50名)	(154)
附录四 第六次(1993)国家自然科学奖有关资料统计	(157)

一 等 奖

(1 项)

中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源

主要研究者 秦仁昌 (中国科学院植物研究所)

奖励等级 1等

关键词 蕨类植物、科属系统、历史来源

中国是世界上蕨类植物最丰富的地区之一,拥有的科属几乎占世界总数90%。研究中国蕨类植物不仅对我国蕨类植物在科研、教学和生产应用上提供科学的系统信息,而且促进了本学科的发展,为推动探讨日趋自然的亲缘谱系,研究生物进化提供了基本资料。

本项目研究成果是秦仁昌教授历经数十年,毕生研究蕨类植物系统的结晶。是他总结了数十年野外考察和室内研究的心得以及在吸收了近代各分支学科研究成果基础上,创建出的最完整的中国蕨类植物分类系统。

1940年以前,蕨类植物系统长期停留在简单粗浅的经典分类方法上。1940年秦仁昌教授发表的“水龙骨科的自然分类系统”^[1]一文,将一个占有蕨类85%极其混杂的水龙骨科分为33科,并列出了5条进化线,这在当时引起了广泛的兴趣和争论,后逐渐被国内外同行所接受,1945年获荷印隆福氏生物学奖。在以后的年代里蕨类植物的科属概念不断改变,许多系统谱系树应运而生。1954年秦仁昌教授建立了一个完整的中国蕨类植物系统^[2],被全国各标本室相继采用。

1978年秦仁昌教授发表了“中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源”一文^[3],主要包括对当代蕨类植物分类问题的评论、中国蕨类植物分类系统以及新分类群简介三部分。其核心是蕨类植物系统。该文是秦仁昌教授在他1940年发表的“水龙骨科的自然分类系统”和1954年发表的“中国蕨类科属名词和系统分类”的基础上,对中国蕨类植物提出的一个更接近自然的分类系统。其主要成果:

1. 将中国蕨类植物分为石松、水韭、楔叶蕨、松叶蕨和真蕨5个亚门,在真蕨亚门中又分为厚囊、原始薄囊和薄囊蕨三个纲。这与他在1954年将蕨类植物门下分为5个纲相比,在高一级分类上提高了拟蕨类的进化位置。多数现存的拟蕨在古代非常繁茂,特别是石松和卷柏在地球上迄今仍很有活力,这说明它们各有其自己的发生进化路线。

2. 对1940年和1954年系统作了修订和发展,将中国蕨类植物分为63科233属,并指出其历史来源,按亲缘表示其纵向和横向演化关系,同时对当代国际蕨类植物分类分界存

在的问题进行了评论。

秦仁昌教授 1978 年的中国蕨类植物分类系统在高一级分类上, 和国际上极少数将各类拟蕨和真蕨列为同等的门以及一些旧观点相比, 显然较为进步, 它既保持了蕨类植物门的完整性, 又能表现拟蕨类各自进化的特点。在科属划分上, 现在除极个别外, 秦仁昌先后分出的科几乎全部被国内外所承认和采用。对国际蕨类系统研究起了重大推动作用。

主要论著

- [1] Ching Renchang, 1940, On natural classification of the family "Polypodiaceae", *Sunyatsenia*, 5 (4): 201—268.
- [2] 秦仁昌, 1954, 中国蕨类植物科属名词及分类系统, *植物分类学报*, 3 (1), 93—99.
- [3] 秦仁昌, 1978, 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源, *植物分类学报*, 16 (3): 1—19; 16 (4): 16—37.

第一研究者



秦仁昌 男 (1898—1986) 江苏省武进县人。1925 年毕业于金陵大学农学院林学系, 获理学士学位, 1929—1932 年在丹麦哥本哈根大学专攻蕨类植物分类学, 并先后赴瑞典、德、奥、捷、法、英等国标本馆, 对蕨类植物的模式标本进行研究。生前为中国科学院学部委员, 中国科学院植物研究所研究员。秦仁昌教授毕生从事蕨类植物研究, 1940 年他在野外考察和室内形态研究基础上发表了“水龙骨科的自然分类系统”一文, 这是蕨类植物系统分类学的一个重大突破, 为此获得荷印隆福氏生物学奖。1978 年发表了“中国蕨类植物科属系统排列和历史来源”, 创建了最完整的中国蕨类植物分类系统, 获得中国科学院 1992 年自然科学奖一等奖。秦仁昌教授的许多学术论点已广泛地为国际同行所接受。国际学术界尊称他为“中国蕨类学之父”。

二 等 奖

(18 项)

有机砷、锑化合物在有机合成应用中的方法学

主要研究者 黄耀曾 施莉兰 杨建华 陈 晨 王为波 (中国科学院上海有机化学研究所)

奖励等级 2 等

关 键 词 有机砷、有机锑、有机合成方法学

黄耀曾等通过对磷、砷元素电子结构的分析, 预见到了有机砷叶立德比有机磷叶立德(魏迪希试剂)的反应活性高, 并于 1965 年率先开展了有机砷叶立德化学的研究, 取得了重要进展。1982 年以后, 黄耀曾、施莉兰等在有机砷的工作上有了新的突破, 并开展了有机锑化学的研究。开拓了第五、第六主族元素有机化学研究的新领域。主要研究成果如下:

1. 用固液相转移技术, 在室温、弱碱条件下由有机砷盐(不经分离砷叶立德)一步直接与醛反应, 合成多烯醛、酮、酯、酰胺及腈^[1]。此反应具有高产率、高立体选择性, 且副产物氧化三苯砷可用多种还原剂还原为三苯砷, 并可重复使用, 这一优点是磷试剂无法达到的。

2. 应用催化量的三丁基砷在弱碱 K_2CO_3 和还原剂的存在下, 实现了一步制成酮、酯的催化反应, 成为魏迪希型反应(Wittig-type reaction)的第一个催化的例子^[2], 是叶立德化学的一个新突破。

3. 将有机砷盐合成多烯化合物的简捷方法应用于多种天然产物的全合成上^[3-5], 合成了白三烯 A₄ 甲酯^[6]; 用二步法合成了蛭蟾轨迹报警信息素^[7], 总产率达 45%, 而文献为七步, 总产率仅 1.1%; 用二步法合成的 trichonine^[8]产物完全符合天然产物的反、反构型, 而文献为多步, 产物含顺、反异构体, 而用黄耀曾、施莉兰等人的方法合成的四种昆虫性信息激素, 不仅方法简单, 而且构型完全符合天然产物的要求^[9], 这四种昆虫性信息激素对防治松柏一类危害很大的松毛虫非常有效, 此外, 用此方法还合成了多种多烯酰胺天然杀虫剂(每克可杀死一千万只家蝇)^[10]。这些合成方法对国民经济建设将起到重要的作用。

4. 有机锑化合物应用于有机合成。黄耀曾等发现有机季锑盐在三种不同条件下经过三种不同历程(离子对历程, 五烷基锑历程, 锑叶立德历程)与底物进行反应^[11], 纠正了以往引用磷试剂反应机制解释上述反应的错误, 解决了 30 多年来的悬案, 并为其它有机主族重元素化合物用于合成天然产物打下基础, 也为有机锑应用于合成天然产物打下了基础。

(1) 在无碱条件下, 季锑盐经离子对历程与羰基化合物反应生成不饱和和羧酸衍生物^[12]

或高烯丙基醇^[13]，与贫电子烯烃反应形成三员环^[14]；与卤代酮反应形成 β -羟基酮^[15]等。反应方便，只需微微加热。

(2) 季锑盐在强碱、强亲核试剂 RLi 或 PhLi 作用下经五烷基锑历程，与羰基化合物反应生成相应的羟基化合物^[16,17]，反应产率高，具有高的化学选择性和区域选择性。

(3) 季胺盐在强碱、弱亲核试剂 LDA 或 *t*-BuOK 作用下经锑叶立德历程形成 C—C 双键^[18]。

5. 在 SbCl_3/Fe 或 SbCl_3/Al 参与下，对醛烯进行丙基化、缩醛化和还原化^[19]；在三烷基锑参与下进行选择性缩醛化^[20]。这些反应开拓了锑在有机合成中的新应用。国外已有人将黄等的方法应用于选择性还原反应中。

主要论著

- [1] Huang Yaozeng, Shi Lilan, Yang Jianhua et al., 1990, Facile synthesis of unsaturated aldehydes, ketones, amides and related natural products via arsonium salts, In "Heteroatom Chemistry", Eric Block Ed., VCH Publishers, Inc., 189—206.
- [2] Shi Lilan, Wang Weibo, Huang Yaozeng et al., 1989, The first example of a catalytic wittig-type reaction, tri-*n*-butyl-arsine catalyzed olefination in the presence of tri-phenylphosphite, J. Org. Chem., 54 (9), 2028.
- [3] Yang Jianhua, Shi Lilan, Huang Yaozeng et al., 1990 Facile synthesis of 2, 4-dienals via an arsonium salt and its application to some natural products, Heteroatom Chemistry, 1 (1), 75.
- [4] Huang Yaozeng, Shi Lilan, and Li Saowei, 1988, An efficient and stereoselective synthesis of (E)- α -enones via arsonium salts, preparation of the intermediates for the synthesis of brassinosteroid and prostaglandin, Synthesis, 1988, 975.
- [5] Shi Lilan, Xiao Wengjuan, and Huang Yaozeng, 1987, The use of arsorane as isoprenoid reagent: synthesis of 5-substituted-3-methyl-2, 4-pentadienoic esters (ABA ester analogs), Synthesis, 4, 370.
- [6] Wang Yanfang, Yu Yulin, Huang Yaozeng et al., 1986, A facile stereoselective synthesis of leukotriene A₄ (LTA₄) methyl ester, Tetrahedron Lett., 27 (38), 4583.
- [7] Shi Lilan, Xiao Wenjuan, Huang Yaozeng et al., 1987, A facile synthesis of ω -substituted conjugated polyenones via arsonium salts and its application towards the synthesis of navenone A, Tetrahedron Lett., 28, 2155.
- [8] Shi Lilan, Yang Jianhua, Huang Yaozeng et al., 1988, A facile and highly stereoselective synthesis of trichonine by two consecutive reactions of arsonium salts, Liebigs Ann. Chem., 377.
- [9] Huang Yaozeng, Shi Lilan, Yang Jianhua et al., 1987, Highly stereoselective synthesis of (Z, E)-conjugated diene type sex pheromone, J. Org. Chem., 52, 3558.
- [10] Shi Lilan, Yang Jianhua, Huang Yaozeng et al., 1988, A general and highly stereoselective approach to unsaturated isobutylamides via arsonium salt, New synthesis of pellitorine, Tetrahedron Lett., 29 (32), 3949.
- [11] Huang Yaozeng, Chen Chen, and Shen Yanchang, 1988, Reaction of α -halogeno carboxylic derivatives with carbonyl compounds promoted by tributylstibine, J. Organomet. Chem., 366, 87.
- [12] Huang Yaozeng, Zhang Lijun, Chen Chen et al., 1991, Stereoselective addition of allylstibonium bromide to aldehydes, J. Organomet. Chem., 412, 47.
- [13] Chen Chen, Yi Liao, and Huang Yaozeng, 1989, Tributylstibine mediated synthesis of 1, 1, 2-trisubstituted cyclopropanes, Tetrahedron, 45 (10), 3011.
- [14] Huang Yaozeng, Chen Chen, and Shen Yanchang, 1988, β -hydroxy ketones from the iodine-catalysed reaction of α -bromo ketone with aldehydes mediated by trialkylstibine, J. Chem. Soc. Perkin Trans., 1, 2855.
- [15] Huang Yaozeng, Yi Liao, 1991, Pentaalkylstiboranes, 1, synthesis of homobenzylic alcohols, homoallylic alcohols, ethyl 5-aryl-5-hydroxypent-2-enoates, and β -hydroxypropionic acid derivatives via pentaalkylstiboranes, J. Org.

- Chem., 56, 1381.
- [16] Zhang Lijun, Huang Yaozeng, and Huang Zhehui, 1991, Selective synthesis of allenic and acetylenic derivatives via pentaorganylstiboranes, *Tetrahedron Lett.*, 32 (45), 6579.
- [17] Huang Yaozeng, Yi Liao, and Chen Chen, 1990, Reactions of carbonyl compounds with benzyltrialkylstibonium bromide mediated by different strong bases, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 85.
- [18] Wang Weibo, Shi Lilan, and Huang Yaozeng, 1990, An efficient SbCl_3 -metal system for allylation, reduction and acetalization of aldehydes, *Tetrahedron*, 46 (9), 3315.
- [19] Yi Liao, Huang Yaozeng, and Zhu Fanhua, 1990, Selective acetalization of aldehydes with trialkoxystibine using allyl bromide, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 493.
- [20] Huang Yaozeng, 1992, Synthetic applications of organoantimony compounds, *Acc. Chem. Res.*, 25, 182.

第一研究者



黄耀曾 男 1912年11月生 江苏省南通市人。1934年毕业于中央大学化学系，获理学士学位。毕业后在中央研究院化学研究所工作。1939年至1946年在上海医科大学生物化学系任教并兼做研究工作。1946年重返中央研究院化学所任副研究员。1950年参加筹建上海有机化学研究所并工作至今，历任副研究员、研究员、研究室主任、副所长等职。1980年当选为中国科学院学部委员，曾任化学部常委、副主任等职。主要研究领域为有机合成化学，涉及多环化合物化学、氟化学以及金属有机化学等诸方面。发表学术论文220篇，著译九部。“从发酵液提取金霉素”获1956年中国科学院科学研究奖；“国防用塑料粘结炸药”获1978年中国科学院科技进步奖和上海市科技进步奖；“高活性砷叶立德在有机合成中的应用”获1982年国家自然科学奖三等奖；“电刷镀技术及其推广应用”获1985年国家科技进步一等奖；“有机砷、锑化合物在合成应用中的方法”获1991年中国科学院自然科学奖一等奖。1988年获国防科工委颁发的“献身国防科技事业荣誉证书。”

半导体超晶格的电子态 与声子模理论

主要研究者 黄 昆 朱邦芬 夏建白 (中国科学院半导体研究所)

奖励等级 2 等

关键词 半导体超晶格、电子态、声子模

黄昆及其合作者自 1986 年开展半导体超晶格的电子态和声子模理论研究以来,对声子和激子基本理论的发展作出了重要的贡献,在电子态理论计算上也发展了有特色的方法,作出了多项有国际影响的成果。

1. 超晶格的光学声子模的理论是超晶格有关晶格振动以及电子-声子相互作用的重要基础,在国际上,20 多年来一直沿用连续介电模型。本项目在声子方面最重要的工作是创造性地利用一个与连续介电模型可以完全相容的微观模型,澄清和解决了连续介电模型理论与 Raman 散射实验结果完全相反的疑难,建立了正确的光学振动模式以及与电子弗洛里希互作用的解析表达式。这项工作还阐明了类体模与界面模之间的相互关系,体声子色散造成两者间相互耦合的作用等,把超晶格光学声子模置于正确的理论基础之上^[1-3]。

2. 发展了一套研究超晶格电子态的新方法——有限平面波展开法,并将此方法分别应用于有效质量理论和赝势理论中^[4,5]。以此研究了超晶格的各种电子态问题^[6-10]。

3. 导出了具有正确角动量的准二维激子旋量波函数,并给出了量子阱中的激子跃迁选择定则。以此不但正确估计了轻重空穴混合对激子结合能与振子强度的影响,并且成功地解释了无法解释的实验 h_{12} 峰的机制问题^[11,12]。

4. 对半导体纳米小球空穴能态的研究,指出空穴能级与电子能级有本质的差别,每一个空穴能态都包含了轨道量子数 L 与 $L+2$ 态的混合,这种态的混合直接影响了纳米小球的光跃迁选择定则^[13]。

5. 研究了半导体双势垒结构的空穴共振隧穿问题^[14]。指出由于重、轻空穴态的混合,在隧穿过程中会发生重、轻空穴互相转化的现象。同时提出了一种研究任意势垒形状、多分量电子态共振隧穿的方法。

6. 利用有限平面波展开的赝势方法研究短周期超晶格 Γ -X 交叉的问题^[8,15]。正确地指出 Γ -X 能级交叉发生在 $(\text{GaAs})_n \cdot (\text{AlAs})_n$ 的单原子层 n 大于 10 的超晶格中,为以后的实