

中国半导体材料科学的开拓者——林兰英*

何春藩

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

1 求学生涯



林兰英院士照片

林兰英 1918 年 2 月 7 日出生在福建莆田的一个工商业者家庭。莆田一带地少人多,素有“地瘦栽松柏,家贫子读书”的遗风。虽然当地念书风气甚浓,科举人才辈出,但与女子无缘。林兰英自幼性格倔强,当她懂得两个姐姐被遗弃送人的根由之后,对封建社会重男轻女的罪恶有所领悟,下定

决心要上学、要读书。为此,她和长辈们进行了坚决的抗争。她不屈不挠的精神换来了求学的机会,6岁的小兰英终于上了小学。

1930年,林兰英在砺青小学毕业,但母亲坚决反对她继续升学,要她跟堂姐、堂妹那样,在家纳鞋挣钱。当时莆田私立砺青中学有个规定:入学考试、升学考试,成绩名列前三名的,不交学杂费。林兰英据此力争,母亲见女儿求学态度坚决,升学考试又名列第一,只得同意她继续升学。

林兰英学习刻苦勤奋。1936年,以优异成绩高中毕业后,又考上了福州协和大学物理系。女儿的志气、顽强刻苦的学习精神和名列前茅的学习成绩,终于感动了母亲。她卖掉结婚戒指做学费,供女儿上大学深造。1940年,林兰英毕业后留校任助教,4年后晋升为讲师。任教8年间,她主讲过普通物理、高等数学、热力学等几门课程,还编写了《光学实验教程》。

在协和大学理学院中,物理、生物、英语三系各有一名以“英”命名的女教师。她们以教学水平高、管教学生严而著称,被誉为“三英”。林兰英就是其中之一,她工作勤奋,很有威望和成绩,本应享受校方的奖学金出国留学,只因协和大学是外国人在我国办的十大教会学校之一,林兰英不信教,不信上

帝,在校十多年间竟未参加过一次礼拜,她的“不轨”行为受到当权者的忌恨。因此林兰英没有能够出国留学。

协和大学生物系的一位教授非常爱才,对校方的做法异常愤懑,为林兰英鸣不平。凭借他与美国狄金逊学院生物系教授的密切交往关系,求得该校的资助,林兰英才得以出国深造。1948年6月,林兰英先来到美国狄金逊学院攻读数学,同时选学物理和化学。

林兰英在狄金逊学院学习成绩优异,尤以数学才华出众,一年后就在该校获得学士学位。为表彰林兰英的数学天才,1949年夏,美国荣誉学会狄金逊分会给她颁发了铸有本人英文名字的金钥匙。

数学系主任 Ayres 教授非常器重林兰英的才华,决意介绍她赴芝加哥大学攻读数学博士学位,并已为她争得该校的奖学金。林兰英认为,当前社会最为迫切需要的是先进的现代科学技术,她谢绝了 Ayres 教授的盛情,于1949年秋去宾州大学学习固体物理。

1948年,美国贝尔实验室的物理学家制成了世界上第一根半导体锗单晶材料,轰动了世界。接着 P-N 结的发明、晶体管的诞生,使电子科学的发展迈出了划时代的一步,也开创了半导体物理学的新篇章。这些科学史上的伟大创举,引起了林兰英的浓厚兴趣,并执意在新兴的半导体科技领域里广学博识,增长才干。她打消了获得博士学位后就“荣归故里”的念头,于1955年11月赴索文尼亚(Sylvania)公司担任高级工程师,专门研究半导体物理。从此,林兰英与半导体单晶材料结下了不解之缘,为之奋斗了一生,成为我国半导体科学领域少有的女科学家。

在索文尼亚公司,林兰英开阔了视野,增长了学识和才干,也干出了一番喜人的成绩。公司非常赏识

* 2003-08-29 收到

经作者和编者同意,本文摘自《中国科学技术专家传略》(理学篇,物理学卷2)。北京:中国科学技术出版社,2000年,第258—271页

她的才华,一年的时间相继给她提升了三次年薪.正在这时,林兰英一再收到胞弟和父母的来信,告知她新中国领导人盼她回国效力的意愿.对祖国充满赤诚之爱的林兰英此时急欲回归故土,为重展新颜的祖国作出自己力所能及的贡献.决心一定,林兰英便于1956年11月以父亲病重为由,并依据1954年周恩来总理与美国国务卿杜勒斯在日内瓦达成的协议,向美国当局正式提出了回国的申请.

1957年4月,林兰英冲破重重困难和阻挠,终于回到祖国怀抱,被派到中国科学院应用物理研究所工作.在随后的半个世纪中,她把毕生精力奉献给新中国科学事业,为祖国建设做出了重大贡献.

2 锗单晶、硅单晶和单晶炉的研制

1957年,古老而年轻的中华大地,正激荡起一个全国规模的“向科学进军”的大潮.

林兰英便满怀激情地开始了祖国半导体科学事业的征程,参与半导体锗单晶的研究.

美国有的学者曾断言,中国要到60年代才能着手于半导体单晶材料的研制.林兰英不以为然,她与她的新同事们亲密合作,急切地想尽尽快填补国内这一空白,打破洋人的预言.林兰英语熟国外的单晶技术,与另一位在机械工程方面有相当造诣的归国专家一起,通力合作,一个设计制作单晶炉,一个研究、指导锗单晶的拉制工艺.在“为国争光”精神鼓舞下,1957年11月间,终于拉制成功了我国第一根锗单晶.这一重要研究成果,在我国半导体材料科学这张白纸上,写下了辉煌的一页.

在国外,制备硅单晶工艺都采用氩气做炉膛内的保护气体,以防氧化物等杂质对晶体的沾污,保证单晶生长质量.这一惰性气体,当时国内还不能生产,国外又对我实行禁运.林兰英依据国情,决定采用抽高真空的炉腔进行拉制.

林兰英和她率领的同事们,费尽百般周折,才使炉膛达到最起码的真空度要求,终于在1958年底拉制成功了我国第一根硅单晶.这一消息振奋人心,为我国独立自主地发展硅单晶材料和硅电子器件工业奠定了基础.

用制取锗单晶的炉子,虽已成功地拉制出硅单晶,但受设备条件的限制,晶体完整性差,位错密度大,不能满足制作硅器件的要求.因此,林兰英提出,另行研制新的单晶炉.

正在这时,有几位清华大学机械系的毕业生被分配到材料研究室工作,林兰英把他们组织起来,成

立设计研究小组,从事新型单晶炉的研究工作.在设计过程中,她大胆提出“开门式”的设计方案.但是,门应是什么形状,开门后又如何保证炉膛内的真空度,设计组拿不出行之有效的办法.林兰英就率领设计组人员去北京机械学院邀请老工人座谈,集思广益,终于解决了这一难题.

自1960年到1962年,林兰英及其设计组在机械学院的帮助下,终于研制成功新型硅单晶炉,还很好地解决了炉体震动和籽晶杆对中等问题.在参加日本的一次展览会上,该单晶炉受到同行们的青睐和赞誉.机械学院接连生产了70多台硅单晶炉,提供给国内外用户.新型单晶炉的研制成功在我国半导体材料设备史上是一项突出成就,受到国家有关部门的奖励.

1962年秋,林兰英悉心指导科研人员,利用自行设计制作的硅单晶炉拉制成功了无位错的硅单晶,质量接近当时的国际先进水平.正因为有了高质量的硅单晶,满足了制作硅器件的要求.在1963年至1965年间,我国才得以有高频小功率晶体管、高频功率管、高速开关管等5种硅平面晶体管问世,对我国电子工业的大发展起着举足轻重的作用.无位错硅单晶的研制成功,硅平面工艺及5种硅平面晶体管的研制成功,于1964年分别获得国家科委科研成果一等奖.

在60年代的前5年间,林兰英和她的半导体材料研究生取得了多项成果.她与同事们一起,为我国第一颗人造地球卫星用的“硅太阳能电池”提供了N型高电阻率、高少数载流子寿命的硅单晶;开创了区熔硅单晶的制备及硅外延薄层工艺;在国内首次研制成功铋化镓、铋化铟、砷化铟等多种半导体材料,并根据国际发展趋势,对铋化铟材料的性能进行过较为深入的研究.

3 研制砷化镓单晶

50年代初,国际上首次采用水平布里奇曼法制得砷化镓单晶,它是一种可取代锗、硅等元素半导体的新材料.后来的发展史实证明,这种化合物半导体材料,是微波器件与集成、高速数字电路集成、光电器件及其集成等高新技术领域不可缺少的重要基础材料.

作为学术带头人的林兰英,以她的洞察力和预见力,早在1960年就把注意力从元素半导体材料转向了化合物半导体材料,着手致力于砷化镓单晶材料的研究.

林兰英和她的同事在开创新业的初期,把砷和

镓两种元素各放在石英管的两端,再把石英管抽成真空后密封起来,希望通过对反应管的温度控制来合成砷化镓。未曾料到,石英管爆炸了。砷有剧毒,危害人身安全,试验很危险,但是,她和同事们仍摸索着进行多次试验。

试验失败了。林兰英同具体进行实验操作的人员一起,从物理角度和化学反应角度查找了屡遭失败的主要原因。后来,他们吸取国际同行的经验,把镓盛在石英舟里,再放进石英管的一端,将砷放在石英管的另一端,两端分别加热,才得到了链条状的砷化镓。

试验终于成功了。砷化镓材料虽已合成,但这是一种多晶体,要让它具有使用价值,还得拉制成单晶。这一工艺过程比起元素半导体的锗和硅来,更加困难。

林兰英同她的研制组经历多次失败,于1962年采用水平布里奇曼生长法,制备成功了砷化镓单晶。此后数年间,研制组虽仍在继续开展提高单晶纯度的研究工作,由于“文化大革命”的干扰和石英舟的沾污难以避免,未取得显著成效。

1970年,国内外掀起了半导体固体微波源的研制大潮,它所用的基础材料就是单晶体的砷化镓。得以恢复研究室领导职务的林兰英,一方面积极支持提高砷化镓单晶纯度的研究,以满足兄弟研究室研制限累二极管这一微波器件的需求。另一方面,针对器件质量很不稳定、成品率很低的问题,对砷化镓单晶材料的热学、场强稳定性等方面进行系统的分析研究,探索材料的纯度、均匀性、完整性等表征材料质量指标要素不过关的根本原因。到了1973年,成效仍不显著,林兰英果断决定,将研究重点由体单晶的生长方法,转向了外延生长方法。

用外延法制取砷化镓单晶薄膜有两条途径:一是气相外延生长法,一是液相外延生长法。

1974年初,林兰英兼任组长的气相外延生长研制小组决定采用“镓-三氯化砷-氮”系统开展研制工作。1976年6月,一套高气密性、抗强腐蚀的外延生长系统研制成功。1979年9月,林兰英冒“崇洋媚外”风险,从日本订购了“惰性气体纯化器”,使系统所用氮气的纯度有了保证。在对这一外延生长系统的物理化学过程进行的研究中,了解到对砷化镓纯度有很大影响的某些热力学因素和反应动力学因素,解决了热处理过程中氧的沾污问题,确定了必须在富镓条件下进行生长,才能得到高电子迁移率的外延层的实验规律。光致发光研究表明,影响其纯度

的主要因素是残存的受主杂质硅,进而采取了抑制石英器皿(含硅)对砷化镓材料沾污的工艺措施,终于在1981年得到了高质量的气相外延砷化镓单晶。

液相外延研制组也是由林兰英兼任组长。她发扬学术民主,调动组员的积极性,含辛茹苦,才得以建成一套密封可靠的硬接系统。与物理测试相配合,进行外延生长条件对外延层质量影响的研究,弄清了工艺中的主要残留杂质是氧、硅、碳,她摸索出一套有利于减少杂质沾污的外延工艺,终于能重复地制得高纯、高迁移率、低补偿度的液相外延砷化镓单晶。

采用这两种提高砷化镓单晶质量的外延生长方法,使材料的电子浓度和低温电子迁移率两大标志材料纯度的重要指标相继达到国际先进水平。经美国著名砷化镓材料专家用它与美国、日本、原联邦德国提供的同类材料样片全面地进行分析对比,证明我国研制的这两种外延砷化镓单晶材料质量好,纯度高,在国际同行中产生了大的影响。

国际半导体材料物理学界对中国不但能研制高纯的N型外延砷化镓材料,还能自如地控制制备高纯P型砷化镓的外延材料,给予了很高的评价。

提高砷化镓单晶材料质量研究这一重大成果,于1981年荣获中国科学院科技成果一等奖,后又获得国家科技进步二等奖。

4 开创太空砷化镓单晶材料的研究

20世纪90年代,国际上虽然在砷化镓材料质量的研究方面已取得很大进展,但与硅单晶材料的纯度、完整性相比,还存在着较大的差距。特别是在地面进行单晶生长时,由于重力驱动热对流中引起的热不稳定性,熔体材料与反应容器接触而造成的杂质沾污等问题,已成为在地面上改善砷化镓材料性能的重大障碍。为了克服这些困难,寻求提高砷化镓单晶质量的有效途径,以适应制作新一代电子器件的需要,林兰英从1986年开始,致力于开创我国在太空生长砷化镓单晶的研究工作。

自1969年以来,前苏、美、法、原联邦德国等国不惜耗费巨资,采用气相生长、熔液生长和熔体生长等方法,在太空相继对铋化铟、锗、硅、铋化镓、碲化铟、碲化锗、硒化锗等半导体材料进行单晶生长的研究,取得了一系列可喜的成果。但是,由于空间能源的局限性和技术的复杂性,除仅有苏、法合作在800℃下采用溶液合成和溶质扩散的方法,制得一块直径为8mm、厚度为3mm的砷化镓单晶外,一直还

没有对熔点高达 1238℃ 的砷化镓材料进行过熔体生长单晶的试验。

1986 年 8 月 林兰英自原联邦德国参加空间材料科学研讨会归来 ,对寻求国际合作开展太空生长砷化镓单晶研究感到失望 ,决心利用我国的返回式人造地球卫星从事这一研究工作 ,自力更生地发展我国的空间材料科学。

林兰英的倡议得到国家科委和中国科学院的经费支持 ,得到航空航天部某院的热情协助。自 1987 年 1 月开始 ,双方分工合作 ,航天部研制单晶生长炉 ,林兰英负责设计具体的单晶生长方案。经过半年多的紧张筹备 ,终于在 1987 年 8 月 5 日发射的返回式卫星上 ,成功地从熔体中生长出直径为 1cm ,长度分别为 1cm 和 0.7cm 的两块火炬状的砷化镓单晶。这一成功的试验 ,证明了我国砷化镓单晶工艺的成熟 ,证明了我国从事太空熔体生长砷化镓单晶的研究工作居国际领先地位。

太空生长砷化镓单晶成功后 ,有人急于报道这一振奋人心的消息。崇尚实事求是精神的林兰英坚决不让 ,她说 :“ 实验是做成了 ,但重熔后的砷化镓

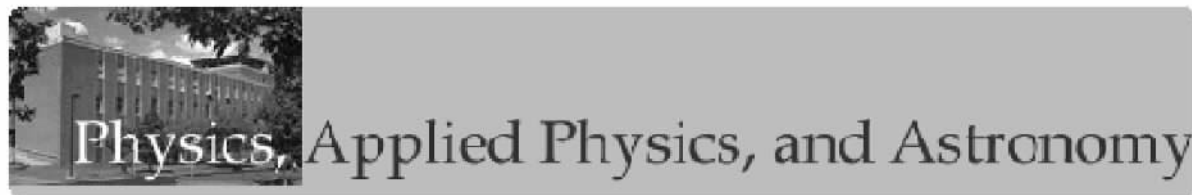
是不是单晶 ,单晶的质量如何 ,是不是比地面生长的单晶优越 ,都一问三不知 ,不能想当然 ,要测试 ,要分析 ,待有了可靠的科学结论 ,再报道也不迟。”在她的坚持下 ,直到当年的 10 月才公开报道。经物理测量分析表明 ,太空生长的这一掺碲砷化镓单晶 ,与地面生长的单晶相比 ,杂质条纹消失 ,均匀性得到改善 ,深能级密度降低 ,并具有较好的完整性。在测试分析过程中 ,用化学腐蚀方法已证明单晶无杂质条纹 ,完整性好。学风严谨的林兰英还不放心 ,又让用 X 射线作形貌分析 ,待得出相同结论后才算数。这一具有国际领先水平的研制成果 ,获中国科学院科技进步一等奖 ,国家级科技进步三等奖。

1988 年 8 月 林兰英领导的联合研究组再次在返回式卫星上进行了掺硅砷化镓的无坩埚区熔法的单晶生长试验 ,也获成功 ,并利用这种空间材料作衬底 ,制得了室温连续相干双异质结激光器 ,证明了空间材料的可用性。这在国际同行中还是首创。

1990 年 10 月 ,由林兰英具体组织、指导的研制组 ,又对广泛用于高技术领域的半绝缘砷化镓单晶进行了重熔生长试验 ,再获成功。



· 信息服务 ·



Rensselaer

Troy, New York, U.S.A.

美国伦斯勒理工学院招生信息

JOIN OUR GRADUATE SCHOOL IN PHYSICS

Ph. D. in Department of Physics ,Applied Physics ,and Astronomy Areas of Research :Astronomy , Elementary Particles Physics ,Nano-Structure Physics ,Origins of Life ,THz Imaging ,THz Electronics.

Teaching research assistantships and fellowships are available.

Application <http://www.rpi.edu/dept/grad-services/>

Information <http://www.rpi.edu/dept/phys/>

E-mail gradphysics@rpi.edu