

对国内读者而言,越南数学界是比较陌生的。但就像出乎意料的那样,就在2010年8月19日,在印度海得拉巴市召开的第26届国际数学家大会上,38岁的越南数学家吴宝珠获得国际数学界大奖——菲尔茨奖。吴宝珠“通过引入新的代数—几何学方法,证明了朗兰兹纲领自守形式中的‘基本引理’”,该成果于2009年被美国《时代》周刊列为年度十大科学发现之一。

吴宝珠的脱颖而出让人们人们对越南数学刮目相看;而其本人的成长经历亦引起世界人们的好奇与关注。

越南数学家吴宝珠:

# 从奥数冠军到菲尔茨奖获得者

□本报记者 王丹红  
美国密歇根大学教授 季理真

不久前,吴宝珠在接受《科学时报》采访时说:“我只是证明了朗兰兹纲领的基本引理,不是整个纲领,我认为整个纲领的证明也许需要我用一生的时间。”

吴宝珠1972年出生于越南一个学者家庭,15岁时进入越南国立河内大学附属高中的数学专修班,1988年和1989年,他连续两届参加国际奥林匹克数学竞赛,获两枚金牌。他在法国完成大学学习,在博士研究生阶段开始研究朗兰兹纲领,2008年,他证明了朗兰兹纲领的“基本引理”。

朗兰兹纲领由加拿大裔美国数学家罗伯特·朗兰兹(Robert Langlands)发起,1979年,朗兰兹提出一项雄心勃勃的革命性理论:将数学中两大分支——数论和表示论联系起来,其中包含一系列的猜想和洞见,最终发展出“朗兰兹纲领”。朗兰兹认为,纲领的证明需要几代人的努力,但他相信证明纲领的前提需要一个基石——“基本引理”,而且这个证明应该比较容易。然而,基本引理在越南实在是太难了,直到29年后,2008年,年轻的吴宝珠才用自己天才的方法,将之证明。

2009年,美国《时代》周刊将“基本引理”的证明列为年度十大科学发现之一,2010年9月1日,吴宝珠成为美国芝加哥大学的正教授。

前段时间,应哈佛大学数学教授、清华大学数学科学中心主任丘成桐邀请,吴宝珠到北京作为为期一周的学术访问,其间,他接受了《科学时报》记者采访,谈及自己的数学之路。

## 在越南展露数学天分

“从参加奥林匹克数学竞赛开始,我就真正喜欢上数学,高中毕业后,我决定以数学为职业。”

1972年6月,吴宝珠在越南河内市出生,父亲吴辉璋是越南国家物理学研究所物理学教授,母亲陈刘云贤是越南中央传统医学院的医学副教授,他是家中唯一的孩子。

因为父亲在苏联获得应用数学博士学位并在那里工作和生活了很长一段时间,吴宝珠的幼年时光是在母亲的家族中度过的,直到他上小学后,父亲才回到越南。

父亲对吴宝珠有很大影响:“我在河内一所实验小学读书,这所学校用特别的方法教育学生,比如鼓励我们独立阅读、自由表达等。但父亲回来后,不滿意我上的小学,决定让我离开,并将我送到针对有数学天分学生的天才学校。从初中开始,因为父母的缘故,我做了许多数学练习,也喜欢上了数学。”

越南河内的征王基础中学是一所特殊的学校,学生们是通过考试挑选出来的,吴宝珠就是这所中学的特别班。1987年初毕业后,他考入越南国立河内大学附属高中的数学专修班。这是一所针对全国天才学生的高中,规模很小,学生都被大学挑选。高中时代,他参加了两届奥林匹克数学竞赛。

“天才学校有很好的系统来组织奥林匹克数学竞赛,参赛选手都是通过市级、省级和国家级的层层考试选拔出来的。我们通过了许多考试,就像是体育竞赛,年轻人都喜欢体育,但我不喜欢参加奥林匹克数学竞赛,因为太多的挑战项目,准备参赛和参赛的过程都非常紧张。我参加过两次这样的竞赛,一次在1988年,参加第29届国际奥林匹克数学竞赛,获得了满分和金牌,但之后我对参赛不再有兴趣了。后来,在学校的要求下,我第二次参加了奥数竞赛,也得了金牌,但这一次我真的没有多少乐趣。”吴宝珠说。

在越南,获得国际奥林匹克数学竞赛是一个特殊的荣誉,吴宝珠受到了一位将军的接见,“他向我表示祝贺,我非常高兴,这是一种认可,但我记不得是否有过奖金。”而且,奥林匹克竞赛的获奖者还会得到奖学金到苏联或东欧国家的大学留学。

吴宝珠得到匈牙利共和国政府的一笔奖学金,1989年高中毕业后,因为太喜欢组合数学,他准备到匈牙利上大学。

“我学了一年的匈牙利语,然而,柏林墙倒塌,匈牙利政府和我国政府间的协议取消,我失去了奖学金,这是一个意外。”

## 在法国开始数学研究

“作朗兰兹纲领的研究,是一个因缘际会,我也想做一些事,在那个伟大的时代,这是一个好的选择。”



吴宝珠在清华大学接受采访。

王丹红/摄

也是在这时,一位法国教授来到越南,访问吴宝珠父亲所在的力学研究所,父亲的同事向这位教授谈起了他获得奥林匹克数学竞赛金牌的情况,于是,教授设法为他争取到一个法国政府的奖学金。

“感谢这笔奖学金,用了这笔奖学金,我到了巴黎。”

吴宝珠的祖父曾留学法国,于是,祖父开始教他法语。“法国的教育体系不同于其他国家,在法国,我接受建议从高中开始,在高中待了两年,之后在法国高等师范学校上大学,当时,我的指导老师迈克·布鲁意(Michel Broue)建议我报考巴黎第十一大学的热拉尔·洛蒙(Gérard Laumon)教授作研究,所以,我在大学阶段就开始了博士研究。”

在法国高中的学习对吴宝珠产生了相当的影响,“在法国,高中阶段有两年的大学预备学习,法国的预科非常不同于越南的‘奥数’班,法国的高中学习是为研究作准备,越南的高中学习是为考试作准备。”

法国的博士训练体系也非常不同于美国。当吴宝珠开始博士研究时,朗兰兹纲领是法国数学界一个有口皆碑的题目,数学家罗杰·戈德特(Roger Godement)被称为是法国自守形式之父,他在法国向大家广泛介绍朗兰兹纲领和自守形式的研究,对当时拍的数学家产生了巨大影响,包括洛蒙教授。

“当时,几乎所有的数学家都在作自守形式的研究,好多人来到这个领域,几乎所有做自守形式的人都与戈德特有关,他们很强,这个领域非常活跃……几乎数学系所有的学生都想证明这个难题,在洛蒙教授的建议下,我从1993年开始研究朗兰兹纲领的问题。”

1997年,25岁的吴宝珠在法国第十一大学获得博士学位,“在我的博士论文里,我解决一个非常类似于基本引理的问题,也开始明白,解决问题的关键应该是针对迹公式的一个几何模型。”

从1998年开始,他成为法国国家科学研究中心(CNRS)的研究员,在巴黎第十三大学工作,这是他的第一份工作,当时,他的目标是希望有一天能证明朗兰兹纲领的基本引理。

吴宝珠说:“法国的系统非常不同于美国。在美国,获得博士学位后,需要做2-3年的博士后,有相当大的压力发表文章,然后再申请工作;当获得一份工作后,又有发表文章的压力。在法国,我没有这些压力,我不需要生产论文,我所需要做的是作好数学研究。”

博士毕业后的第一个7年里,他不是教授,只是一般研究人员。“开始时,我与洛蒙教授一块做,当我回到朗兰兹纲领的基本引理问题时,我尝试用不同的方法,我得到新的想法。”

因为能做好数学,吴宝珠在法国感到非常愉快。“CNRS类似于中国科学院,研究人员隶属于CNRS,也就是说CNRS为其支付薪水,却在相关大学里和教授们一起工作,而没有教学任务。我不知道这是好是坏,但我博士毕业后的那段时间真是黄金时光。”

## (上接 A1版)

其中,由博士生朱光、王思溢和博士后杨如森组成的课题组,设计和制作出了基于水平氧化锌纳米线阵列的柔性交流发电机。他们首先利用物理气相法在水平基底上合成出垂直的氧化锌纳米线阵列,然后通过巧妙的实验装置将纳米线转移到柔性基底上,形成排列取向和晶格取向都一致的水平氧化锌纳米线阵列;再经过光刻、溅射等工艺,将等间距的条状金属电极和纳米线紧密贴合,最后利用弹性材料将器件封装完毕。在

我成为CNRS的研究员,这是一个终身职位,没有申请经费、发表文章、晋升职位和教学任务的压力,我所需要做的是选择留在这里,用更多的时间作数学研究,而不是别的事。”

根据美国数学会 MathSciNet 的统计,迄今为止,吴宝珠共发表15篇论文。他说:“我没有兴趣写糟糕的论文,我只写几篇好论文。我的同事告诉我,‘不要浪费时间写糟糕的论文,一篇好论文胜过100篇垃圾论文’。这不是我的方式,这是法国的标准。”

如果没有论文,同行怎么评价他的研究呢?“我每年都要接受评估,我只需要报告我在这一年所做的工作。法国国家研究委员会每5年评估我一次,我向他们报告我已经做的事和打算做的事,如果他们感觉不错,给我一个好评, CNRS就继续支持我。”吴宝珠说。

在基本引理的证明中,2003年是一个转折点。“当时,我确切地想清楚了与几何学相关的每一个问题,事情变得顺畅、清晰,我相信我已经得到了新想法,但那只是开始。”那年夏天,他邀请洛蒙到越南河内观光,而洛蒙却对他的想法产生了兴趣,他们共同证明了基本引理的西群情形。2004年,两人因此获得美国克莱研究奖。

2005年,经过专门的教师资格考试,33岁的吴宝珠成为巴黎第十一大学的教授,也是在这一年,他成为越南有史以来最年轻的正教授。

## 普林斯顿高等研究院的贵宾

“我想,最激动的一刻是得到解决这个问题的那一刹那,当时我非常激动。之后,我几乎耗尽了,我得到了想法,但不知道所需要的细节,我写出了所有的细节,超过了200页。这是一个漫长的过程,这个过程充满痛苦和压力,曲折坎坷,其中一个严重错误,我用了两个月的时间去修正。”吴宝珠说。

对吴宝珠来说,朗兰兹纲领如此迷人,从博士研究开始,他用了近17年的时间来做这个问题。

吴宝珠说:“每个数学家都明白它的重要性,如果你知道朗兰兹纲领,你就会用一种全新的方式去理解数学和几何。安德鲁·怀尔斯在费马大定理的证明中用了朗兰兹纲领中的思想,你可以看见它的美丽和力量,这真是激动人心的领域。”

在证明了基本引理的西群情形后,洛蒙不想再做了,但吴宝珠还想继续。“西群情形不适用于普通形式,于是,我用了很长时间来做这个问题。但到2006年时,我几乎相信它是不可能证明了。”

事情在这时出现了转机。2006年,吴宝珠应邀到美国普林斯顿高等研究院访问,这是他第一次到这里访问。“大约是2006年12月的一天,与普林斯顿高等研究院的马克·戈德斯班(Mark Goresky)的交谈,为我的迷途提供了失落的一角,我意识到我得到了证明,我相信我得到了一般情形下基本引理的证明。我用了一年多的时间得出完整的证明。”

仅仅0.1%的拉伸应变下,这种集成了大量纳米线的纳米发电机能够输出高达2伏的电压。为了实现基于纳米发电机的自驱动纳米技术,这个课题组将该集成纳米发电机整合到全桥整流电路中,在充电阶段,纳米发电机输出的交流电被电容器有效地储存起来。当储存的电量和电压达到一定数值时,储存的电能被成功用于驱动一发光二极管。王中林说,这是纳米发电机首次成功地驱动常规电子器件,为自驱动纳米技术的实际应用提供了一条有效途径。

那一次,吴宝珠本来打算在普林斯顿待3个月,但普林斯顿高等研究院希望他能待得长一些:5年。但是,他还是回到了法国,“因为我属于法国的CNRS,2007年,我再次回到普林斯顿,之后就一直呆在那里。”

2007年,他开始写论文,6月,完成了长达200页的第一稿。之后,他在法国举行的研讨会上报告他的证明,“有些人持怀疑态度,但绝大多数人相信我的证明。”回到普林斯顿后,他继续在许多讨论会上发表演讲。

“在5个月的期间里,我不停地举行讲座,努力解释自己的想法,纠正其中的错误,2008年5月,我将论文投送给法国《高等科学研究所数学出版物》,审稿时间比这长多了,只有极少数人能检查其中的细节,但我不知道他们是誰。”

到2009年底,几乎这个领域的每个人都相信吴宝珠真正证明了这个问题,美国《时代》周刊将朗兰兹纲领选为2009年度十大科学发现之一。《时代》的文章指出:

“过去几年中,在巴黎第十一大学和普林斯顿高等研究院的越南数学家吴宝珠,用独创性的公式证明了‘基本引理’,当这一证明的正确性在今年被检查并确认正确时,全世界的数学家终于松了一口气。在过去30年中,数学家在这一领域的工作都是在假定‘基本引理’正确并且终将有一天会得到证明的基础上进行的。高等研究院数论学家萨纳克这样形容该成果:‘就好比人们在河对岸工作,等着有人能架好这座桥梁。突然之间桥梁架好了,每个人的工作都有了意义。’”

2010年1月,吴宝珠的论文《李代数的基本引理》(The fundamental lemma for Lie algebras)被法国《高等科学研究所数学出版物》接受发表。

吴宝珠说:“我知道《时代》杂志的评选结果,但我不知道他们是怎么知道这件事的。”

## 芝加哥大学的邀请

“他是我们这个时代的伟大的数学家之一,非常聪明,我真的期望这个年轻人还会做出伟大的事。”

——罗伯特·费弗曼 芝加哥大学物质科学学院院长、数学系教授

当然,还有一个人为“基本引理”的证明而特别兴奋,他就是罗伯特·朗兰兹。这位曾经一度离开这个领域的王者,如今又回来了。

“当朗兰兹写出‘基本引理’的公式时,他一定认为这是容易证明的一个定理。他和学生花了10年的时间来证明它,这也是他将之称为‘基本引理’的原因。但他遇到了越来越多的几何问题,这些问题在他那个时代还看不清楚。他离开了自守形式领域,开始从事数学物理的研究。当他第一次在巴黎看到我用的方法证明‘基本引理’时,我非常高兴,又重新回到自守形式领域。也许是我鼓励了他,但我并不确切地知道他回来的理由。”吴宝珠说。

2010年,吴宝珠和朗兰兹合作发表了一篇文章。

2010年1月,芝加哥大学发表公告,宣布吴宝珠接受邀请,将于2010年9月以正教授身份正式加入芝加哥大学数学系。

谈到吴宝珠,芝加哥大学数学系主任康斯坦丁说:“他证明了一个基本结论,一个称为‘基本引理’的猜想,这样命名是因为它代表了朗兰兹纲领进展的一个关键大门……吴的证明戏剧化地打开了这扇窗。”

“什么决定去芝加哥大学呢?吴宝珠说:‘芝加哥大学给了我非常好的条件,如果喜欢,我可以教书,如果我只想作我的研究,我就可以停止教书。我有终身教职的职位,我能做我想做的事。在法国,如果你是一位教授,那你必须教书,有繁重的教学任务,但在芝加哥,他们没有要求我必须教书,人们支持我。而且,在芝加哥大学,许多人们做的数学都是我喜欢的,像罗伯特·

科特维茨(Robert Kottwitz)、Alexander Beilinson、Kazuya Kato、Vladimir Drinfeld、Spencer Bloch等,所以,那里有更多的同事可以讨论数学。’”

芝加哥大学的数学家罗伯特·科特维茨曾来自普林斯顿大学(高等研究院)的两位同事 Mark Goresky 和 Robert MacPherson 合作,发展了解决朗兰兹纲领基本引理问题的方法,吴宝珠说:“除了我的博士生导师洛蒙,科特维茨教授对我有相当大的影响,我习惯每年到芝加哥大学,他总是慷慨地告诉我许多想法,他没有和我竞争,他帮助我澄清了许多问题。”

吴宝珠决定到芝加哥大学的另一个重要原因是为了孩子,“因为芝加哥有非常好的实验小学和中学。”

2010年初,吴宝珠加入法国国籍,“当我在法国时,我有法国永久居留证,所以没有必要成为法国公民。但当我决定到美国后,我再回法国就不容易了。在法国,我是离职而不是辞职,我保留了在法国大学的职位,我希望能常回法国与朋友和同事交谈,而在美国要获得法国签证是很难的。”

## “与数学在一起是愉快的”

“参加好的讨论班非常重要,要不停地与人说话,我第一年参加讨论班时,一个字也听不懂,但我还是坚持听下去了。”

从一名国际奥林匹克数学竞赛冠军成长为数学家,吴宝珠说这不是一件容易的事,并不是所有的奥数冠军后来都以数学为职业。然而,在越南,几乎所有的数学家都来自奥数获奖者。

回顾自己的数学之路,吴宝珠说:“参加奥数竞赛不同于作数学研究。参加奥数竞赛,你需要在有限的时间里精通各种技能,这些有助于人们解决复杂和技巧性问题,有助于帮助学生理解复杂的具有挑战性的数学问题;但危险是,它们没有尊重数学自然的简洁和美。是否成为一名数学家主要取决于个人,以及他对数学的品位,但这种转化不是直接的。我认为,对数学家来说品位非常重要。”

如何才能培养自己的数学品位呢?“培养品位需要相当长的时间与数学在一起,花时间学习。”

谈到对开始作数学研究的学生的建议,吴宝珠说:“在法国,学生要参加许多基础课程和好的讨论班。在本科生阶段,你能从讨论班学到好的品位;在好的数学家的演讲中,看他怎么提出问题,怎么产生对它的兴趣,怎么谈论它,怎么证明它。我有幸参加了很多讨论班和项目,从中学到许多东西。在博士研究生阶段,我自己证明了问题,但如果我没有参加讨论班,我可以选择问题。”

吴宝珠夫妇有三个孩子,太太全职在家,不外出工作。在通常情况下,他在办公室作研究,“工作时,我不和任何人说话。在家里,当我感到压力大时,我会和孩子们聊天,当她们睡着后,我就开始工作了。我也睡觉,但睡觉的时间不多。”

谈到数学,他说:“当你想作数学研究的时候,与数学在一起是愉快的。在数学中,你会感到它的自然;数学是描述世界的最美语言,它很简单,因此也是最经济的语言,不多也不少。”

吴宝珠用英文接受记者采访,他的英文是自学的,“因为我读了很多书和论文,读书一直是我最喜欢的休闲活动。”

谈到未来,吴宝珠说:“我只是证明了纲领的‘基本引理’,不是整个纲领,我下一个目标是整个朗兰兹纲领,‘基本引理’只是它的基础,是其中一座小山峰。爬过这座小山峰后,现在可以眺望朗兰兹纲领了。前面是一座大山,我们的问题是如何爬上去。其中一件事是朗兰兹回来了,他将为我们指示突破整个纲领的路线图。我认为,整个纲领也许需要我一生的时间。”

(清华大学数学系博士生吴朝中对本文亦有贡献)

## 上海高楼火灾 提出保温材料新课题

(上接 A1版)

据统计,仅北京市内,90%以上的高层建筑保温材料采用的都是这类高分子发泡保温板。因此,“亟须研究高层建筑典型保温材料在风速、湿度、辐射强度等多环境参数与复杂安装条件下的产烟特性、烟雾毒性及其火蔓延特性”,从而为高层建筑火灾的逃生、救援和高层建筑保温系统的防火设计提供技术指导,为消防管理部门规范保温材料的使用提供理论和数据支撑。

据张和平介绍,高层建筑的火灾特点可概括为楼层多、室内装修多、电气设备多、管道竖井多、聚集人员多和建筑功能多,这“六多”决定了高层建筑较其他民用建筑潜伏着更多的火灾危险性。高层建筑防火是国际性的消防难题。

“这次上海高楼火灾,火势蔓延非常快,一是因为高楼火灾有烟囱效应,烟气上升快,楼层有七八十米高,风力会比较大,火借风势,风借火威,供氧充足,使火猛烈燃烧,顷刻间整幢大楼成为一片火海。二是因为高楼在装修,搭满了脚手架,而且防止装修材料散落和人员跌落的尼龙网是可燃的,脚踏板也可能存在可燃的竹片板,导致火势迅速上下左右蔓延。再加上居民家中的可燃物比较多,管道燃气关闭后还有一定余量,燃烧迅速。一般是火势从里往外烧,这次是火势从外往里烧,火灾在外立面迅速蔓延,三管齐下,形成了一个典型的立体火灾。”张和平说,立体火灾使得人员疏散非常困难,这可能是这次伤亡较重的原因。

“高层建筑火灾中除个别火灾救援人员可利用直升机和举高车登高进行灭火救援外,主要还是立足于自救,也就是依靠高层建筑自身的消防设施抑制火灾的发生、发展和蔓延。”

“一是需要室内灭火设施完善,二是居民在火灾燃起初期要把消防设施用上。因为目前普通火灾装备达不到许多高层建筑的上层,一般云梯式消防车登高只有24米,最先进的也就101米左右;灭火用的高喷水车臂筒30米,加上喷水高度大约五六十米,对于高层建筑,特别是高度大于100米的超高层建筑,这些装备的性能和数量都明显不足。”张和平认为,针对这次火灾,消防部门尽了很大力量,但作业条件受到现场情况的限制——起火的高楼为塔式建筑,体量大,火灾控制难度大;而且起火建筑的东侧、南侧都没有消防登高面,云梯车、举高车无法靠近。

据报道,11月15日15时50分,3架警用直升机飞抵着火大楼顶部,实施索降救援被困在楼顶的居民。16时,警用直升机飞离楼顶。这是否是上海的消防设备落后,且上海是否有消防专用直升机用于高层建筑救援呢?张和平对此表示了不同意见,“1997年的高层建筑还没有设置楼顶停机坪,再加上火灾时楼顶浓烟太大,上海市消防部门便出动了直升机,也无法展开救援。英雄无用武之地。”

## 小果蝇 大文章

(上接 A1版)在中国,果蝇为研究工具,神经生物学家们同样取得了令人关注的成果。

被人称为“果蝇院士”的中科院院士郭爱克,是刘力和龚辉峰学生时代的共同导师。作为新中国第一位留德博士,郭爱克近年来已经连续3次在《科学》杂志上发表文章。

2001年,郭爱克研究小组首次发现了果蝇具有简单抉择能力,并且“蘑菇体”参与其中;2005年,该小组继续深入“两难抉择”研究,发现了果蝇跨视觉和嗅觉记忆的“共赢机制”;2007年,他们则聚焦于面临冲突环境时果蝇价值抉择的神经回路机制。

名师出高徒。刘力也曾两次在英国《自然》杂志发表文章。2006年,他在中科院生物物理所的研究小组从基因、细胞、脑结构以及行为等多个层面,第一次精确定位了果蝇视觉学习记忆的脑功能区——扇形体。

这些喜欢环绕着腐败水果飞行的小家伙,为什么会成为生命科学家宠爱至极,并且占据生命科学研究舞台百年之久呢?

“果蝇是人类窥见自己复杂神经的一扇窗口。它结构简单,繁殖快速,易于改造,非常适宜做神经科学的实验模型。”面对记者的疑问,龚辉峰道出了果蝇的妙处。

果蝇容易饲养,平均一年30代的繁殖速度,使科学家能够在较短的时间内培养出大量的特定种系。随着2000年果蝇基因组的测序完成,研究者更是可以准确、迅速地对其进行改造。

此外,小小果蝇的神经系统 and 人类也颇具相似之处,在人类的大脑中,活跃着大约1000亿个神经元,而果蝇只相当于人类的大约1%。因此,果蝇也已成为研究神经结构和定位记忆方面最好的生物模型。

物体进入人的眼中,大脑会对图像分类后加以储存,从而构建出思维与情感,或者发出指令。那么,果蝇眼中的刺激传到脑中,又是如何学习和记忆的呢?

在刘力的实验室里,记者见到了一套果蝇量身打造的“飞行装置”。该装置可以呈现出不同的视觉图案——正T和倒T字母,主要作用是教导果蝇“学习”。

果蝇在明亮的圆筒形空间向前进的视觉目标飞去,如果它总是飞向倒T字母,电脑就会立即发出指令,改变它的屁股。慢慢地,果蝇学会了“吃一堑,长一智”,认识到倒T字母是危险的,而自觉地转向正T字母。

通过这套设备,就可以模拟出果蝇的学习过程,建立视觉、神经和行为之间的动态神经网络。

“总之,上述研究成果的获得,小伙伴们功不可没。果蝇和人类大脑在基本功能上有着相似性,探究果蝇视觉行为的深入机理,对我们自己大脑的解读颇有启示。”龚辉峰说。

实现了利用化学法生长PZT纳米线阵列,而且成功展示了由它组装的纳米发电机可以间隔地驱动激光二极管管的能力。

从基础科学到工程设计再到技术应用,王中林10年潜心氧化锌研究,打造了纳米发电机的研究品牌。他表示,纳米发电机为真正实现自驱动纳米技术打下了坚实的理论和工程技术基础。

博士生徐升等组成的课题组将铅锆铋氧化物(PZT)压电材料引入到纳米发电机的设计中,不但首次

(王丹红)