

PEKING
UNIVERSITY

北京大学院士文库

吴全德文集



北京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

吴全德文集/吴全德著. —北京:北京大学出版社,1999.3
ISBN 7-301-04008-3

I. 吴… II. 吴… III. 电子学-文集 IV. TN01-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 02721 号

书 名: 吴全德文集

著作责任者: 吴全德

责任编辑: 李采华

标准书号: ISBN 7-301-04008-3/TN·0Q14

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

电 话: 出版部 62752015 发行部 62754140 编辑部 62752021

排 印 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 390 千字

1999 年 3 月第一版 1999 年 3 月第一次印刷

定 价: 54.00 元

北京大学资源集团出版基金资助出版

谨以此书献给北京大学校庆 100 周年

《北京大学院士文库》编委会名单

主 任：陈佳洱

副主任：王义道

委 员：(按姓氏笔画为序)

王 选 甘子钊 巩运明

侯仁之 赵亨利 姜伯驹

徐光宪 翟中和

序

最近,北京大学出版社告诉我,北京大学资源集团设立出版基金,资助出版一套《北京大学院士文库》,为北京大学的中科院院士和工程院院士每人出一本学术专著或学术论文集,以记载他们为祖国的科学技术事业所作出的贡献。北大出版社邀我为这套书写个序。

考虑到我较长时间在中国科学院工作,为科学家树碑立传,把他们的伟业记载下来并留传给后人,自然是我应该大力支持的事情。同时,我也曾在北大学习过,这些院士中有的就是我过去的老师,他们对我精心培育的情景,使我终生难忘;有的曾是我的同学或同事,我们之间有着非常深厚的友谊,他们为科学事业无私奉献的精神,给我留下了极为深刻的印象,至今历历在目。无论从工作上考虑还是从师生、同事情义出发,我都愿意为这本书写个序。

我认为,北京大学出版社出版《北京大学院士文库》这套书,是一件非常有意义的事。

首先,《北京大学院士文库》将为我国科学技术文献宝库增添新的内容。北京大学是我国一所著名的高等学府,也是世界上一所有影响的大学。它不仅为国家培养了大批栋梁之材,而且为国家提供了大批重要的科技成果,成为我国一个重要的科学中心。在这所大学里聚集了一批我国最著名的专家和学者,其中仅就自然科学而言,就有中科院院士和工程院院士 30 人。他们中既有学识渊博、造诣精深、蜚声中外的老专家、学者,也有一批成绩卓著,近年来为祖国科学技术事业作出过重大贡献的中年学者。他们在我国科学技术发展史上占有重要的地位,是我国科技大军中的中坚力量。现在,北大出版社把他们的科学技术著作收集起来,集中出版,无论是他们当年成名之作,还是新发表的学术专著和学术论文,都将为我国科

学技术文献宝库增添重要的内容。

其次,《北京大学院士文库》还将为我国科学技术事业的发展提供宝贵的经验。这套学术文库不仅完整地记载了这些学术大师的发明和创造,而且还生动地描绘了他们在不同历史时期为科学事业奋斗的历程。他们以亲身的经历,丰富的史料,独特的见解,深奥的思想,总结了科学技术发展的规律。例如,科学家最需要什么样的支持,在什么样的条件下最容易出成果等。这里既有成功的经验,也有失败的教训;既有成功的喜悦,也有受挫的苦恼。有的院士还从他们的切身感受出发,对我国科技人才的培养,科技体制的改革提出了很好的建议。这些都为我们科技管理部门和科技管理工作,特别是为我国制定有关的科技政策,提供了很好的经验和借鉴。

第三,《北京大学院士文库》不仅是一套科学技术著作,而且是一套富有教育意义的人生教科书。这套文库详细地记载了这30位科学家的学术成就,也如实地记载了他们的人生经历。他们不仅学问好,而且人品好。他们的一生是在爱国主义旗帜下,为科学事业奋斗的一生。他们通过自己的勤奋努力,走了一条成功之路。他们的成功经验无论对年轻人,还是对一切有志于献身科学事业的人,都有极好的教育意义。

最后,我向这30位院士为祖国科技事业作出的贡献表示衷心的感谢!对《北京大学院士文库》的出版表示热烈的祝贺!也希望能有更多的科学家的学术著作和传记问世,因为科学是推动我们社会发展的强大动力。

中国科学院院长

周光召

1996年10月

序

北京大学出版社决定编辑出版《北京大学院士文库》，这件事情很有意义，我非常赞成。

从世界高等教育的发展看，教师是大学的核心，他们构成学校的基调。世界一流大学都具有很强的教师阵容，拥有一批世界公认的学术权威和知名学者。正是他们能够培养出世界公认的优秀人才。其中一部分毕业生能够成为当代世界政治、经济、文化、科学领域里的杰出代表。同时，他们能够取得重大的科研成果，特别是在基础研究方面，能取得具有划时代意义的科研成果。

在中国科技、教育界，院士是最高学术水平的象征。他们对国家科学技术的发展起着相当重要的作用。北大是拥有院士最多的大学，北大人一直为此而自豪。北大的几十位院士可分为两部分，一部分是老院士，他们在中国科学院成立之初就因为各自取得的成就而成为最早的一批院士（当时称学部委员）。这些老院士德高望重、学风严谨、蜚声国内外，为北大乃至中国的科学技术和文化事业的发展作出了奠基性贡献。他们当中有理科的王竹溪、叶企孙、江泽涵、许宝騄、周培源、胡宁、段学复、饶毓泰、黄昆、张青莲、黄子卿、傅鹰、汤佩松、李继侗、张景钺、陈桢、乐森瑋等教授。北大的盛名，在很大程度上是与这些堪称大师的第一代院士的名字联系在一起。这一长串院士名单，奠定了北大在中国学术界、科学界的地位。谈起他们，像我这样的后辈无不怀有敬仰之情。他们像一块块强力磁铁，吸引着一代代中华学子到燕园求学，在他们的教诲、指导、影响下，新中国急需的大批优秀人才源源不断地从北大培养出来，成为社会主义建设的栋梁之材。当院士文库推出的时候，这些老院士当中已不少人离开了我们，但他们为北大、为国家建立的功勋，他们的英名将永远为人们铭记！

北大的学术生命是长青的，继第一批院士之后，80年代、90年代，北大又一批理科教师，其中许多是建国以后培养出来的，成为中

115 072

中国科学院院士和中国工程院院士，他们可以说是北大那些与新中国风雨同舟、不畏清贫、不怕艰险、为教育和科学事业执着奉献的中年教师的代表，是今日北大的骨干依靠力量、学术中坚。

人类就要进入 21 世纪，北大也即将迎来建校 100 周年，当此世纪交替之际，北大雄心勃勃地提出：到 21 世纪初叶建成世界一流的社会主义大学。这是一个需要为之付出极其艰苦努力的、振奋人心的目标。以院士为代表的一流教师队伍是我们实现这一目标在学术上的最重要依托。有这样一支老年、中年教师队伍，再加上我们正在迅速成长起来的生气蓬勃、富有想象力和创造力、奋发向上、成为北大未来希望所在的青年教师，我们的目标是一定能够达到的。

院士们的工作成就，有很多都是在相当困难的条件下取得的，他们的奋斗精神和他们的成果一样，都是我们建设世界一流大学的宝贵财富和源泉。为院士出版文集，将他们的代表性学术成果或成名之作结集出版，是对院士们成就的肯定，也将使人们从他们的奋斗足迹中，得到某种启迪和鼓舞。院士文库将为我校的学术宝库增添重要的内容，成为哺育青年学生成长的极好教材。

北大出版社的决定得到了北大资源集团的热情支持，他们出资建立北大资源集团出版基金，资助院士文库的出版。我作为北大校长和一个院士、一个教师，要向北大出版社和北大资源集团为学术专著的出版和学校建设所作的努力表示敬意！

北京大学校长
中科院院士

陈佳洱

1997 年 1 月

作者自序

我于1947年毕业于清华大学,在清华大学和北京大学物理系和电子学系执教已有五十余年.我曾想把几十年的主要科研工作做一小结,成为完整的资料.适逢北京大学出版社获得北京大学资源集团的资助,拟出版《北京大学院士文库》,于是我提出了题为《超微粒和薄膜的形成、特性及应用》的文集,定于1998年上半年交稿.按统一要求,此书改为现名.

自1958年开始,我们电子物理教研组进行了红外变像管及它的银氧铯光电阴极的研制工作.历史上,第一只电视摄像管和第一只红外变像管就是利用这种阴极制成的,在科学技术发展史上起过重要作用.有关器件现在仍在生产.这种阴极对红外超短激光脉冲有很好的时间响应.在实验上,它为皮秒红外检测及非线性物理和化学瞬态研究提供手段.但它的光电发射机理长时期未能解决.1962年北京大学校庆的学术讨论会上,我首次提出“阴极的固溶胶理论”.后来从理论上阐明银氧铯光电阴极的长波响应来自小银胶粒;经与典型实验结果比较,得出小银胶粒的平均粒度为 3.1 nm .这样,就解开了它的发射机理之谜;并得到国外学者的验证和承认.自此以后,我就与‘胶粒’结下不解之缘.所谓胶粒就是指 $(1\sim 100)\text{ nm}$ 的粒子,也可称为纳米粒或超微粒,最近有人称之为纳米岛或量子点.超微粒对人类有许多有用的特性.从胶体化学和气象学中有关液溶胶和气溶胶的书中可以知道,人们对胶粒的研究已有较长的历史,但对固溶胶体研究的历史稍短些.人们也知道在宇宙和一些生物体内存在有超微粒.此外,含金胶粒的红宝石玻璃、制墨时的碳粉粒、能杀菌的银胶粒、具有催化作用的超微粒、战场上用的烟雾、隐身飞机的材料等等无不与超微粒发生联系.因此,80年代初期日本把超微粒的研究定为科技立国之本.超微粒本身的结构和在各种环境中的特性还有待深入研究和开发利用.本书记述了我对超微粒

认识逐步深化的过程,也记录了我和我的同事、研究生辛勤劳动的成果.我深信随着人们研究的深入,超微粒在信息(诸如红外超短脉冲检测、纳米电子学等)、能源(例如含 TiO_2 的太阳能电池)和材料(例如含纳米粒的不脆陶瓷等)三大领域以及军事领域都可更大地发挥作用.超微粒还可能对生物活性的认识、水资源的利用、远离平衡状态艺术形象的形成等研究中发挥作用.

几十年来,我在教学上开了十几门课,为培养人才尽我的心力.我为学生的成就而高兴,也为他们的不幸而苦恼.在教学和行政工作之余,我孜孜不倦,用心钻研科研工作.每当取得一些新进展,总使我感到异常兴奋和无穷乐趣.我的体会是:从事教学和科研,一要耐得清贫,淡泊名利;二要有锲而不舍的毅力.我循着这条路走,尝尽其中的滋味.屈原说:“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索.”我深有体会.上下者:天上地下,“上穷碧落下黄泉”,宇宙之浩瀚,微观之毫末;上亿年之太古下至即将来临的明天.如此广阔的时空,任凭思想遨游,无拘无束,倒也自在.但如何找到求索的答案,却会“云深不知处”,不知路在何方,烦恼自不堪言.王国维在《人间词话》中曾有一段名言:“众里寻人千百度,蓦然回首,那人却在,灯火阑珊处.”经过多年探索,突然提出新的设想或模型,经多方考验而能立住脚.这时,“更上一层楼”的愉悦心情,便会终生难忘.这就是攀登.

文集共分四个部分.开头是序和小传.目前国内外出版的中、英文传记书籍中可以找到一些我的传略.这里只选 1998 年出版的《中国高等学校中的中国科学院院士传略》(张笛梅、杨陵康主编)中的资料,并作了少量增添.第一部分是我执笔的关于超微粒和薄膜形成的理论和实验的主要论著,是从 1966 年到 1990 年发表的论文中挑选出来的.第二部分是以我的同事和研究生为主写的有关薄膜特性的论文,除 3 篇涉及有机存储材料的论文外,其他均属无机材料薄膜的特性,包括它们的电学、光学、光电特性等.它们都有应用背景.第三部分是我执笔的有关艺术形象的文章,企图把科学与艺术融合起来.我在艺术上首次提出实验造化艺术,并提供北大实验室

拍摄的彩色图片多幅;在科学上提出远离平衡态的分区协同和非协同扩散生长,这些都有待于理论上和实验作深入研究.其中第三篇涉及我对素质教育的一些看法,供有兴趣者参考.第四部分较杂,涉及我对开展微电子学下一代的纳米电子学研究的看法、国家自然科学基金委员会重大项目“纳米电子学基础研究”的建议书,以及北京大学纳米科学与技术研究中心筹建的情况等.

最后,感谢北京大学资源集团巩运明总裁的鼓励和北京大学出版社的鼎力支持,使这本文集得以问世.由于本人水平有限和时间紧迫,文集中的错误和不当之处在所难免,敬请读者指正并提出意见.

吴全德

于北京大学中关园

一九九八年一月

吴全德小传

吴全德出生于 1923 年,浙江黄岩人.吴全德自幼聪明好学,中小学时学习成绩一直优秀,名列前茅.1943 年中学毕业后他离开家乡,入西南联合大学学习.大学生活虽然非常清贫,但他刻苦学习,成绩优异.他勤奋好学的精神给当时的同学和教师留下了深刻的印象.抗战胜利后,1946 年他随清华大学回到北平继续学习.1947 年毕业于清华大学电机系,同年进入该校物理系任助教.1952 年院系调整时转到北京大学物理系,在电子学组,任讲师.1953 年任电子学教研室代主任.1955 年任电子物理教研室主任,并开展了电子学方面的研究.1958 年该室承担国家任务,开始研制红外变像管,这是用于隐蔽夜视和雾天观察的核心器件,这类器件的光电转换功能材料是 Ag-O-Cs 光电发射阴极.从此吴全德开始了光电阴极的发射机理研究.1959 年北大建立无线电电子学系,电子物理专业被划归到该系.他也转到该系,继续任原职.1961 年吴全德被提升为副教授,1978 年晋升为教授.

吴全德长期在教学第一线工作,从任教以来给大学生和研究生讲授的课程有:无线电电子学,原子能应用电子学,阴极电子学,电子物理,原子物理,电子发射与电子能谱,电子材料的原子结构和电子结构,薄膜物理,表面电子学等课程.40 多年来培养了相当数量的大学生和数十名硕士生和十来名博士生.

吴全德任电子物理教研室主任多年,他所领导的电子物理专业在 1984 年被批准为博士点.电子物理专业在薄膜物理、表面电子学、非晶材料物理、电子离子束光学和真空物理等学科领域有较坚实的研究基础,1988 年国家教委批准电子和离子束物理专业为国家重点专业,物理学科博士后流动站.

吴全德热爱自己的事业,在教学工作中既强调要有一定的系统性,又注意随时吸收科技发展的新成果,指出可以开展研究的方向,以开阔眼界,

活跃思路,因而受到学生欢迎.

从 1956 至 1998 年,吴全德在国内外刊物和学术会议上共发表论文 140 多篇. 吴全德的科学研究主要在阴极电子学和薄膜电子学领域,尤其在光电阴极理论、原子团和超微粒子的成核和生长、埋藏有超微金属粒子的半导体薄膜的结构和特性、薄膜的形成过程包括成核、生长、连续成膜和外延生长的物理条件、远离平衡态的分区协同和非协同扩散生长的实验观察等方面有深入的研究.

在光电阴极方面,他进行了较深入的理论和实验研究,尤其是对银氧铯 (Ag-O-Cs) 光电阴极的结构和光电子发射机理的研究取得了重要的成果. Ag-O-Cs 光电阴极 (也称 S-1 阴极) 是最早 (1929 年) 发明的实用光电阴极. 世界上第一只电视摄像管和第一只红外变像管就是利用这种阴极制成的,它具有较高的近红外灵敏度和光谱响应特性,至今在红外光电转换和探测仪器中仍被广泛应用. 在激光出现以后,它的优越的超短脉冲检测特性和多光子效应受到光电专家的重视. 但它的发射机理长期没有被认识清楚. 近半个世纪以来多数人认为这个阴极是半导体结构. 但用半导体模型解释该阴极特性时又遇到很多矛盾. 这样,有些学者认为 S-1 阴极的发射机理是一个谜. 吴全德于 1963 年首先提出了这种光电阴极的固溶胶模型,指出这种光电阴极的结构是金属银超微粒子埋藏于氧化铯半导体的基质中. 他从理论上讨论了基质中金属微粒的成核、生长条件,提出了离子晶体或共价晶体中固溶胶粒的形成和生长理论,并给出了金属微粒-半导体薄膜的能带结构和电子态分布,以此为基础讨论了 Ag-O-Cs 光电阴极的导电机理、光吸收、光电激发和光电子输运过程以及光电子发射的量子产额公式. 在这个领域中吴全德最先用这种模型、理论和公式定量地阐明了 Ag-O-Cs 光电阴极的结构和特性,并从理论上得出对长波光电发射有贡献的平均银超微粒的直径为 3.1 nm. 大量的科学实验证实了这个模型是合理的,解开了这个发射机理之谜. 这些结果得到了国内外同行学者的验证和引用,并称这个理论为“吴氏理论”. 他的研究成果也被国内一些学者在专著和高等学校教科书中引用. 在 60 年代后期,多碱光电阴极获得广泛应用,这是在可见光、近紫外和近红外范围有较高灵敏度的实用光电阴极,它是高增益高分辨率像增强器发展的基础. 但对它的光电发射机理的讨论都采用单晶半导体模型. 他在 1985 年与合作者一起对“多碱效应”作出了

实质性的解释,并提出多晶光电发射模型和对光谱响应有影响的两个参量,即晶粒间界处的势垒高度和光电子的界面损失率,从而能对光谱响应的变化给出解释.

吴全德在光电阴极的研究取得突破性成果的同时,扩展了他的研究范围.他研究了在更普遍的情况下,原子团和超微粒子成核和生长的理论,给出了在介质或半导体中形成原子团和超微粒子的理论公式和物理条件.在这个理论指导下,可以有目的地控制制备金属超微粒子-半导体薄膜和金属超微粒子-绝缘体薄膜.这类薄膜具有独特的光学、电学、磁学和光电性质.它可以制成光和电磁波强吸收材料,超短光脉冲检测薄膜,光学双稳态材料以及多种气体敏感薄膜.而这类薄膜是目前人们感兴趣的研究课题.

吴全德意识到薄膜技术在高科技各个领域的重要性,而薄膜生长的基础包括成核、生长、连续成膜和外延等还没有完整理论.因此他研究了在固体表面原子团形成的物理条件,讨论了薄膜形成的一般过程和稳定外延生长的条件;指出了成核、生长和外延生长的互补性,给出了有关公式.这一理论工作在薄膜制备和固体器件加工及外延生长条件等方面是非常有意义的.

在上述研究的基础上,吴全德与合作者以及他所指导的研究生进行了金属超微粒子的结构和特性的系统实验研究.超微粒子是指尺寸小于 100 nm 的微粒,其中小于 20 nm 的称为原子团.原子团具有不同于原子物理所描述的原子、分子和固体物理所描述的块体的结构和特性,描述原子团的结构和特性的学科为原子团物理.至今人们在这个领域中研究较多的是在惰性气体中制备原子团和测试原子团的特性.而吴全德则已比较深入地研究了悬浮在介质或半导体基质中的金属超微粒子薄膜的结构与特性,特别是它们的光电特性,从理论和实验上给出了一系列的研究结果.这些成果表明了吴全德的研究工作有其独到的开创性和先进性.因此获得了 1987 年国家自然科学三等奖和 1988 年国家教委科学技术进步二等奖.在其理论指导下,他所在的科学研究小组发明了一种全新型的银超微粒子-氧化钡 (Ag-BaO) 薄膜,它是可以在大气中存放、耐恶劣环境的用于超短激光脉冲检测的光电发射薄膜,1992 年通过了中国科学院主持的鉴定,认为研究成果达到了国际领先水平,并被评为中国科学院自然科学二等奖.他们的理论和实验研究成果反映在两本专著中:《薄膜物理》、《电子发射与电

子能谱》。

吴全德曾任《物理学报》编委,中国电子学会理事,国防科工委夜视专业组副组长,电子工业出版社顾问,北京大学学术委员会委员,国家计委世界银行贷款项目“重点学科发展项目”专家组成员,基金委信息科学部电子学学科评审成员;现任《光子学报》杂志编委,中国科学院真空物理实验室学术委员会副主任,北京大学纳米科学与技术研究中心主任,国家自然科学基金委员会重大项目“纳米电子学基础研究”的负责人,北京理工大学顾问教授,西安交通大学电子物理与器件国家教委开放实验室学术委员会主任,中国电子学会会士评审组成员和学术委员会委员等职务。

薛增泉



吴全德院士



吴全德院士与夫人张增慧研究员