

从量子力学到信息技术

眭平

提到量子力学,现代人们都知道它是现代物理学中重要的基础理论,也是现代科学技术中的两大重要基石之一,它是一门能使人类把握宏观物体的各种性能,并能深入认识物体微观结构的科学。提到信息技术,人们都知道它同样是现代高新技术,也是20世纪五大尖端技术之一。然而,谈到两者是否存在关系、是何种关系时,则鲜为人知。当我们翻开科技发展的史册,对信息技术进行追源探因,就可以发现:量子力学是信息技术的源泉,是信息技术的原创理论基础;信息技术是量子力学理论的技术应用和技术开发。下面我们不妨从科学技术发展的历程中追源探因。

20世纪20年代无疑是理论物理学的黄金时代,在短短几年之内,为了解决旧量子论的困难,物理学家在不同地点、从不同角度、以不同形式,建立起一种描述微观世界的统一的基本理论——量子力学。它用严格的数学语言调和了波和粒子这两种对

立的经典概念在描述同一微观客体时出现的矛盾。量子力学的建立为人类了解物质结构奠定了基础。

1926年,狄拉克在薛定谔的多体波函数启示下,开始研究全同粒子系统。他发现,若描述全同粒子的多体波函数是对称的,这些粒子将服从玻色-爱因斯坦统计;若这一波函数是反对称的,这些粒子将服从另一种统计,即费米-狄拉克统计。虽然费米在几个月前就提出了这种统计方法,但狄拉克却更深刻地揭示了统计类型与波函数对称性质间的关系,并证明了在波函数反对称条件下,新的统计是量子力学的必然结果。这一统计法的提出,使人类得知固体中的电子服从泡利原理。

1928年普朗克在应用量子力学研究金属导电问题中,提出固体能带理论的基本思想——能带论。根据能带论,在外电场作用下,半导体导电是靠满带中的“空穴”和导带中的电子这两种载流子进行的。“空穴”参与的导电过程称为P型导电,电子参与的

三、常用光电器件的检测

光敏电阻的检测 光敏电阻是用硫化镉(CdS)或硒化镉(CdSe)材料制成的特殊电阻器,它对光线非常敏感。无光线照射时呈高阻态,随着照度的增高,电阻值迅速降低。对于光敏电阻,在没有光照($E=0$)时器件的电阻称为暗阻,一般为一百千欧至几十兆欧。在规定的照度下,电阻值降至几千欧,甚至几百欧,称之为亮阻。显然,暗阻愈高愈好,亮阻越低越好。

检查光敏电阻时可选择万用表的 $R \times 1 \text{ k}$ 档,表笔分别与管脚接通。用黑纸遮住光敏电阻时,电阻读数接近无穷大,有光照时电阻减小;也可以将器件管帽对准入射光线,用小纸片在其上面晃动,改变光敏电阻的照度,万用表的指针将随接收光线的强弱而左右摆动。假若万用表的指针始终停在无穷大处,说明光敏材料损坏或内部引线开路。

光电耦合器的检测 用万用表检测光电耦合器,首先用 $R \times 100$ (或 $R \times 1 \text{ k}$)档测量发射管的正、反向电阻,检查单向导电性。其次分别测量接收管的集电结与发射结的正、反向电阻,均应单向导电;

然后测穿透电流,其值应为零。最后用 $R \times 10 \text{ k}$ 档检查发射管与接收管的绝缘电阻,其值应为无穷大。

硅光电池的检测 用万用表检查硅光电池有三种方法:第一,测量电阻:将万用表拨至 $R \times 1 \text{ k}$ 档,红表笔接“+”、黑表笔接“-”。当硅光电池置于暗处时,电阻值呈无穷大;当它靠近白炽灯时,电阻值迅速减小。注意,因硅光电池是电源,故表笔不得接反,否则表针将打表。第二,测量开路电压:将万用表拨至适当的直流电压档(档位可由被测对象的参数来定,不知道参数的情况下,可选择较高档位),红表笔接“+”、黑表笔接“-”,以白炽灯作光源,当两者之间距离变化时,开路电压值也随之变化。第三,测量短路电流:将万用表拨至适当的直流电流档(档位可由被测对象的参数来定,不知道参数的情况下,可选择较高档位),红表笔接“+”、黑表笔接“-”,以白炽灯作光源,当两者之间距离变化时,短路电流值也随之变化。在日光下测短路电流时间应尽量短,以免硅光电池发热损坏。

(郑冬梅,福建三明学院应用物理系 365004;
闫迎利,河南安阳师范学院物理系 455000)

导电过程称为 N 型导电。半导体的许多奇异特性正是由“空穴”和电子共同决定的,能带论第一次科学地阐明了固体为什么可按导电能力的强弱分为绝缘体、导体、半导体。

1931 年英国物理学家威尔逊在能带理论的基础上,提出半导体的物理模型。他认为,由于半导体自身存在的晶体缺陷和杂质原子,使得半导体具有两种导电类型:一种是“杂质导电”,即由于半导体中的杂质电离能远比禁带宽度小,所以在较低温度下可以把电子从施主能级上激发到导带,或把满带上的电子激发到受主能级上,从而使电导率升高;另一种是“本征导电”,即把满带中的电子直接激发到导带上,从而使电导率升高。显然,按照这两种导电机理,半导体所有变化多端的性能和广泛的应用价值,都是由杂质导电机理决定的。因为杂质导电随样品而异,而本征导电则是固定不变的。威尔逊模型相当圆满地解释了与体内性质有关的半导体行为特征,它奠定了半导体学科的理论基础。

1939 年肖特基、莫特和达维多夫,在弗兰克尔金属半导体接触的表面理论基础上,应用金属与半导体接触的“势垒”概念,建立了解释金属半导体接触整流作用的“扩散理论”。这样,能带论、导电机理模型和扩散理论这三个相互关联、逐步发展起来的半导体理论模型,便大体上构成了确立晶体管这一技术发明目标的理论背景。

大致同时,随着无线电技术的发展,短波和超短波通信在 1930 年后发展起来,并出现了雷达技术。第二次世界大战的到来使这两方面的研究显得愈加重要,真空管已不能响应这两种技术中变化如此迅速的电信号,人们又回头重新研究半导体检波器和整流器。由于检波器的性能与半导体材料的纯度关系很大,为获得好的材料,人们对 III 族元素 Ge、Si 的提纯、多晶制备,以及 Ge、Si 的电学性质作了大量研究工作。1935 年后,贝尔实验室的一批科学家转向研究 Si 材料。1940 年,用真空熔炼方法拉制出多晶 Si 棒并且掌握了掺入 II 族杂质元素来制造 P 型和 N 型多晶 Si 的技术。还用生长过程中掺杂的方法制造出第一个 Si 的 PN 结,发现了 Si 中杂质元素的分凝现象,以及施主和受主杂质的补偿作用。1942 年,普尔都大学物理系对 Ge 开展全面研究,同年夏天制造出第一个 Ge 的结,第二年研制出反向击穿电压为 100V 的 Ge 二极管,并研究了 Ge 整流器

的设计与应用方面的问题。到战争结束时,半导体科学已经奠定了较为坚实的实验和理论基础。

由于真空管在应用中暴露了坚固性、可靠性不够好,响应速度有限等缺点,科学家从 20 世纪 30 年代就开始寻找一种固体放大器来代替它。1945 年,二战刚结束,贝尔实验室就成立了一个固体物理研究组,主要成员有物理学家肖克利、布拉顿、巴丁,还有一些电子线路专家、物理化学家、冶金学家,在大家的共同努力下,于 1947 年 12 月 23 日成功发明了晶体管。晶体管是在半导体理论和实验基础上发明的。它的良好应用前景,激起人们改善晶体管、努力研究半导体物理和技术的极大热情。20 世纪 50 年代,一批原理、工艺新颖,性能优良的半导体二极管、晶体管,投入应用。其中有结型场效应晶体管(1951 年)、齐纳二极管(1952 年)、可控硅(1957 年)、肖特基势垒二极管(1960 年)等,使晶体管在多方面已经能够代替真空管。同时,属于化合物半导体系列的 InSb、AlSb 和 GaAs,也相继研制出来。

早在 1946 年,为了科研计算的需要,世界上第一台电子计算机“埃尼阿克(ENIAC)”就已经诞生了,但它体积大、功能少,并不实用。晶体管发明以后,替代了真空管,使电子计算机的体积大大减小。可是,随着人们对电子计算机功能要求的不断提高,所使用的晶体管、电阻和电容等元件又不断增多。在一些复杂的电子设备中,数目已达几十万,甚至几百万个。积少成多,电子计算机又“胖”了起来。于是人们又想方设法尝试缩小晶体管的体积。从理论上说,晶体管可以小到和分子差不多,但即使把晶体管做到那么小,还是解决不了问题。因为每个晶体管都有三只脚,它们既是晶体管对外沟通的导线,又是晶体管的支架,这三只脚一个也不能少。再说,即使用最细的导线做成这三只脚,也必须和其他构件焊接到一起。这样反而弄巧成拙,晶体管容易断裂,整个机器也会因此发生故障。那么,怎样才能使晶体管等元件变得更加小巧轻便,再一次缩小电子计算机的体积呢?

电路集成化就是为这个问题而提出的最初设想,它是由英国科学家达默提出的。他认为虽然单个的晶体管不能做得太小,但可以将许多晶体管、电阻、电容等元件做在一起,而不是连在一起,通过减少它们之间的连线,达到既缩小体积又不影响性能的目的。他设想按照电子线路的要求,把一个线

路中的晶体管和二极管,以及其他元件集合在一块半导体晶片上,从而构成一块具有预定功能的电路。1952年,达默在一次学术会议上公开提出:“随着晶体管的发明和半导体研究的进展,目前看来,有理由期待将电子设备制作在一个不用引线的固体半导体板块中。这种固体板块由若干个绝缘的、导电的、整流的以及放大的材料层构成,各层彼此分割的区域直接相连,可以实现某种功能。”这就是半导体集成电路的思想,它可以说是电子学观念上的一次革命。但由于当时科技水平的限制,达默未能亲自将他的科学设想变为现实。

20世纪50年代末期,由于科学家在研究半导体表面理论和技术的基础上,实现了在半导体表面形成晶体管工艺。这为研制集成电路做好了必要的准备。1958年夏天,美国德克萨斯仪器公司的电机工程师基尔比开始负责一项设计电子微型组件的任务。所谓微型组件,就是把分立的电子元件做得尽可能小,将它们尽可能地紧密封装在一个管壳中。在规划设计过程中,基尔比发现这种微型组件成本非常高,以致制造这种微型组件根本就不切实际。这时,他想到了达默的理论,便下决心按照他的新奇想法试一试。他决定用半导体材料制成包括电阻、电容在内的一切元件,然后直接做一块完整的微型固体电路。基尔比深知这项研究在未来电子设备,尤其是电子计算机设备中的重要作用,并且预感到这种研究会带来新的技术突破。他把自己关在实验室里,分两步进行试制工作。他先用硅材料制成电阻、电容、晶体管等单个元件,再把它们连接成一个触发电路。1958年9月12日,经过许多个日日夜夜的冥思苦想与重复试验,世界上第一个平面型集成触发电路终于被他研制成功。这块集成电路共集成了12个元件(2个晶体管、2个电容和8个电阻),是一种小规模集成电路。然而,就在基尔比展开研制工作的同时,另一位美国科学家——后来与摩尔共同创办著名的英特尔公司的罗伯特·诺伊斯,也在按照达默的理论独立进行集成电路的研制与开发工作,而且也取得了成功。但两者的研制方法却有不同之处,基尔比的集成电路是将元器件集中在一块固体板上,需要焊接相连;而诺伊斯研制的集成电路的独特之处在于,创造性地把二氧化硅膜上沉淀的金属作为连线,使元件和连线合为一体,这样既能减小尺寸、重量,又能降低生产成本。这为半导体集成

电路的平面制作工艺和大批量工业生产奠定了坚实的基础。

1959年,德克萨斯仪器公司首先建成世界上第一条集成电路生产线,并于1962年生产出了世界上第一块集成电路正式产品。集成电路的发明,是以电子元件为主的电子技术的第三次重大突破。这一突破,使电子技术沿着集成电路所开创的电子元件微型化的新道路大踏步前进,它不仅是微电子技术发展的标志,也是现代计算机技术发展的基础,更是现代信息技术的基石。

此后,世界范围内掀起了集成电路的研制热潮。随着集成电路集成度的不断提高,到1964年研制成功了中规模集成电路;1968年又研制成功了大规模集成电路;1973年大规模集成电路开始进入工业化生产阶段,这个阶段已经出现了集成20多万个元器件的芯片。大规模集成电路与小规模集成电路相比较,元件的功能发生了质的变化。后者需要大量的元件,甚至是整个设备才能完成的功能,由前者一个元件就代替了。有源元件、无源元件及线路三者之间的内部矛盾关系也发生了根本改变,矛盾的主要方面从开关逻辑元件转化为传输线路连结系统,逻辑元件的主要矛盾也从逻辑的简单性转化为逻辑的规则性和品种的单一性,这就为成批生产大规模集成电路创造了条件。因此,大规模集成电路的出现,是以电子元件为主的电子技术的第四次重大突破。20世纪80年代则是超大规模集成电路时代,集成度实际上已经突破了百万大关,从80年代后期开始,集成电路技术步入 $1\mu\text{m}$ 和亚微米时代($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$,80年代初芯片的电连接宽度为 $4\sim 6\mu\text{m}$),真正实现了微型化。当时间进入21世纪,集成度则以每年100倍的平均速度增长,集成电路的集成度达到几十亿。

集成电路从20世纪50年代末出现至今,其发展速度之快,对社会生产、生活的影响之大是人们始料未及的。以集成电路为核心的微电子技术发展极大地促进了现代通信技术、微电子技术、计算机技术、光导技术、人工智能技术等许多领域技术的进步发展,从而开创了以上述技术为基础的现代信息技术,并以迅猛的速度发展着。

由此可见,在信息技术发展的源头和过程中,量子力学等物理科学的研究成果起了极大的作用。其实,在空间技术、核能技术、材料技术、生物工程技术

燃料电池的应用和发展

石新军



燃料电池 (fuel cells, FCs) 是继火电、水电和核电之后的第四代发电技术。它是一种将储存在燃料 (如氢气) 和氧化剂 (如氧气) 中的化学能, 通过电化学反应过程直接转化为电能电的学发电装置。它是唯一同时兼备无污染、高效率、适用广、无噪声和具有连续工作和模块化的动力装置, 被认为是 21 世纪最有发展前景的高效清洁发电技术。

表 1 5 种燃料电池的主要特征

燃料电池	典型电解质	工作温度(°C)	优点	缺点	转换效率(%)
碱性燃料电池	KOH、H ₂ O	80	启动快、室 温常压 下工作	需以纯氧 作氧化剂、 成本高	70
磷酸燃料电池	H ₃ PO ₄	200	对 CO ₂ 不 敏感	对 CO 敏 感、工作温 度高、成本 高、低于峰 值功率输出 时性能下降	40
固体氧化物燃料电池	ZrO ₂ Y ₂ O ₃	1000	可用空气 作氧化剂、 可用天然 气或甲烷 作燃料	工作温度 过高	> 60
熔融碳酸盐燃料电池	Na ₂ CO ₃	650	可用空气 作氧化剂、 可用天然 气或甲烷 作燃料	工作温度 过高	> 60
质子交换膜燃料电池	含氟质 子交换膜	80 ~ 100	寿命长、可 用空气作 氧化剂、室 温工作、比 功率大、启 动迅速、输 出功率可 随意调整	对 CO 非 常敏感、反 应物需要 加湿	60

燃料电池已有 160 多年的发展史。早在 1839 年, 英国学者格罗夫 (W. R. Grove) 就首先提出通过

等其他新技术的发展过程中, 物理科学研究成果也同样起到了很大的作用。可以说没有物理科学的创新成果, 就不可能有这些新技术的发明或迅速发展。而且在 21 世纪的今天, 我们仍然可以看到, 在物理科学研究的新成果带动下, 许多领域的应用科学技术得到了进一步发展, 并出现了一个又一个新的产业部门, 其影响遍及生产、科研、国防、医学, 乃至每

氢和氧的电化学反应发电的原理。直到 20 世纪 60 年代, 随着航天工业的发展, 燃料电池作为主电源系统

被成功应用到航天飞行中。经过百年的发展历程, 燃料电池在国防、航天和民用的移动电站、分立电源、潜艇、电动车、计算机与通信等众多领域具有非常广泛的应用前景和巨大的市场潜力。随着科技进步和氢能技术的全面发展, 燃料电池将会深入到人类活动的各个领域, 直至走进千家万户。因此, 氢能利用和燃料电池技术研究开发的重要意义, 已受到世界各国的普遍关注和高度重视。

根据工作温度的不同, 可将燃料电池分为低温 (工作温度低于 100 °C)、中温 (工作温度在 100 ~ 300 °C) 和高温 (工作温度在 600 ~ 1000 °C) 三种。而最常用的是根据燃料电池所用电解质分类, 据此可分为 5 种主要类型, 即碱性燃料电池 (AFC)、磷酸型燃料电池 (PAFC)、固体氧化物燃料电池 (SOFC)、熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC) 和质子交换膜燃料电池 (PEMFC)。其中后 3 种燃料电池是目前世界各国竞相研究开发的重点。表 1 列出了上述 5 种燃料电池的主要特点。

燃料电池的工作原理及特点

燃料电池是一种电化学装置, 其组成与一般电池相同。单体燃料电池是由正负两个电极 (负极即燃料电极, 正极即氧化剂电极) 以及电解质组成。不同的是, 一般电池的活性物质贮存在电池内部, 电池容量因此受到限制。而燃料电池的正、负极本身不

一个家庭, 大大改变了当代社会的结构和面貌, 甚至影响到人们的思维方式。历史和经验告诉我们, 无论是过去, 还是现在, 乃至将来, 社会和经济的发展总是离不开科学技术的进步, 科学技术的进步离不开物理科学的创新成果, 而物理科学的创新成果, 靠的是具有高素质的物理科学人才。

(广东梅州嘉应学院物理系 514015)