

近代电子学概说

[美] B.H.肖尔 著



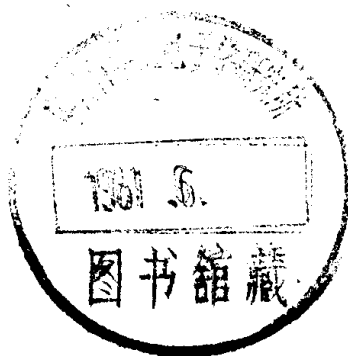
科学普及出版社

73.611
934

近代电子学概说

[美] B. H. 肖尔 著

李锦林 熊大传 译



科学普及出版社

1109389

内 容 提 要

本书是近代电子学发展的历史回顾，特别是对固体电子学发展，在本书中有精辟的阐述。它例举了电子学的理论和实践的许多动人事例，并且阐述了对未来发展的瞻望。美国麦克劳——希尔书籍公司将此书列为工程师进修丛书之一。

本书文笔生动，通俗易懂，可供有关科研、生产和教学部门的科技人员、干部参考阅读；也可作为有关专业大专院校学生课外读物。

THE NEW ELECTRONICS
Bruce H. Shore
McGraw-Hill Book Company
1970

近代电子学概说

[美] B. H. 肖尔 著

李锦林 熊大传 译

责任编辑：朱桂兰

封面设计：洪 涛

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防科委印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：5 $\frac{1}{2}$ 字数：116千字
1981年3月第1版 1981年3月第1次印刷
印数：1—15,700册 定价：0.48元
统一书号：13051·1171 本社书号：0203

译者序

本书是近代电子学的历史回顾，特别是对于固体电子学的发展，在本书中有精辟的阐述。它比较系统地和全面地阐述了电子学从理论到应用的起源、发展及其瞻望。全书以流畅的文学笔调写成，内容深入浅出，通俗易懂。

本书作者曾担任美国无线电公司科技情报负责人，多年收集资料，编写成书，于1970年出版。由于电子学的迅速发展，书中所预测的成就大部分已经实现或有所超过，少部分尚未达到或没有成功，但从了解近代电子学历史的全貌的角度来看，仍不失其一定参考意义。因此，美国麦格劳-希尔书籍公司将此书列为工程师进修丛书之一。

对于作者在书中有些夸张的描述，以及某些非唯物的科学观点，希望读者注意。

由于译者水平所限，译文必然存在缺点和错误，尚请专家和读者指正。

译稿承蒙陶枋教授、俞天麟工程师校订，在此并致谢意。

译者

1980年6月

目 录

引 言	(1)
第 一 章 研究理论家	(3)
第 二 章 量子的进跳	(11)
第 三 章 精神与物质	(20)
第 四 章 培养的元件	(27)
第 五 章 电子薄膜	(35)
第 六 章 表面电子	(44)
第 七 章 科学机器	(53)
第 八 章 电子存储器	(61)
第 九 章 向能思考的机器迈进	(72)
第 十 章 物质的磁性	(80)
第 十 一 章 声波电子	(89)
第 十 二 章 超导	(95)
第 十 三 章 物质的第四态	(100)
第 十 四 章 电能的新来源	(107)
第 十 五 章 微波功率的作用	(115)
第 十 六 章 超越微波	(124)
第 十 七 章 电子摄影术	(130)
第 十 八 章 进入光的时代	(138)
第 十 九 章 激光	(144)
第 二 十 章 华丽的电子	(150)
第 二 十 一 章 全息摄影	(158)
第 二 十 二 章 永远象琥珀一样	(165)

引 言

1948年点接触型晶体三极管的产生，标志着电子学作为科学和实践在性质和应用上发生深刻变化的开端。在这以前，从1897年汤姆逊(J.J.Thomson)发现电子和1907年福雷斯特(L.Forest)发明三极管开始，电子学活跃在对真空中电子的研究、控制和应用方面。以后，电子学变为主要活跃在对束缚在固体状态内的电子的研究、控制和应用方面。

在大约五十年间的第一阶段，也就是真空管时代，电子学取得给人以最深刻印象的成就，包括收音机、有声电影、电视、电子显微镜、微波雷达和电子计算机。从1948年到现在的第二阶段，电子学在其引人注目的记录中又增加了晶体三极管、隧道二极管、可控硅整流器、集成电路、激光器、超导磁体以及全息摄影等成就。还可以期望获得更多的成就。

在过去的七年期间内，作为美国无线电公司(RCA)新泽西州普林斯顿实验室的科学情报的行政负责人和纽约市美国无线电总公司的工作人员，我曾处于一个极为有利的地位来观察第二阶段的迅速发展。而且我还生活在第一阶段并研究过这一时期的技术成果和现象。因此，虽然本书内容着重于固体电子学方面，但我仍尽量回顾一下真空电子学在初期的实验、研究、理论和器件方面的自然发展过程。此外，在可

1109389

1

能情况下，我对两时期的人名、日期和历史资料都有所记述，以加深本文的内容。为便于那些要求较多和水平较高的读者，对所叙述的课题寻求更专深的论述，我为他们提供了参考文献。

最后，由于近代固体电子学与日常经验如此脱节，而且与量子力学理论以及博谢-爱因斯坦 (Bose-Einstein) 和费米-狄拉克 (Fermi-Dirac) 统计学那样的数学奥妙密切相关，因而我在本书中借助简明的文学体裁来叙述，以保证有更广泛的读者爱读这本书并有所得益。

B. H. 肖尔

第一章 研究理论家

理论是数学的诗篇，而且和诗一样，它的实质是隐喻——首次把一些分离的概念加以阐述、系统化并结合起来的意想不到的方程式。

诗人大声疾呼：“整个世界就是一个舞台。”

理论家高声喊道：“ $E=mc^2$ 。”

两种陈述都是用各自的语言表示的隐喻，而且都是崭新地洞察它们的本质，并深刻地理解它们的意义，以新颖的和强有力的方式表达的前所未有的概念。

数学是一种语言，就和英语是一种语言一样。它有主语、宾语、谓语、状语和句法。它的名词为数字，动词为加、减、乘、除和等于——“等于”相当于语言的主要动词“是”。

还有，它是一种特殊形式的语言，它总是用第三人称和现在时态说话。它的名词具有完整而明确的数的含义，它的句子仅仅就是描述这些数学名词相互关系的方程式。

然而，这里有奥秘。比如，无论是人或事物的相互依赖关系都是一种因果关系——这可认为是构成自然界中各种事物，从银河系的形成到原子裂变的基本法则。因此，数学这种语言是设计成抽象地从纯数字的角度，或是具体地从已数字化的自然现象的角度来表达因果关系。第一种是数学家的惯用语言，而第二种则是科学家的惯用语言。

有各种各样的科学家，他们可用各种不同的方式来运用

数学语言。理论家与其他科学家的不同是，他不仅运用数学来表述自然界的因果，而且去发现它们。他象诗人一样运用他的语言，不仅把他观察到的现象记录下来，而且叙述和解释这些现象；象诗人一样，他借助于洞察力和语言的创造



图1.1 科学家把一根顶部装有微小的耿氏效应振荡器的金属杆插入微波谐振腔内，用来产生实验性通信系统的几瓦的高频微波功率。

力，也借助于隐喻和词藻，形式和韵律。而主要的区别在于他所用的手段是数学，隐喻是方程式，韵律则是自然界的宇宙节奏。

还有一个不同点，诗人所洞察的真相从来不能最终表现出来，它仅成立于我们的主观想象之中。理论家的洞察力就不是这样。理论必须是客观的，它必须不仅在一代时间内，而且世代能够解释事件并预言事件。是的，理论具有诗意，而且比诗更高级。

理论家精通数学，结合写诗的禀赋，从而形成有确实根据的隐喻，它以独创的和令人信服的方法把物质与能量、时间与空间结合起来。近来，理论家在美国工业中就赢得了数量虽少但是作用重大的胜利。特别是在电子学领域，随着1948年晶体管的发明，对理论家的需要就更为迫切。

晶体管和真空管一样，是能使通过它的电流得到开关、放大和调制的器件。然而，二者之间有一重大差别。真空管是装在玻璃密封的真空内的一些分离部件——阴极、栅极、阳极——的精细组合。晶体管则是一块不比砂粒大的固体锗。（后来，在五十年代中期随着硅晶体的出现，晶体管确实成为砂的，当然是人造砂的产品了。）

这种意想不到的发展的重要意义是，正象美国政府所面临的那样，电子器件制造商突然发现进入了自己独特的方式的原子时代。他们下一代的产品不能用机械零件来装配，而必须用原子原料来合成。

但是用什么原子呢？支配它们行动的规律是什么？在这种奇特的环境里电子怎样动作？怎样确定产生有用的电子现象的环境条件？

这些都是带有重要的业务性质广泛的难题，在电子工业内部也没有现成的答案可循。极需要的是了解固体理论并知道如何应用这种理论的人。唯一适合这种要求的人就是固体理论家。

幸而电子工业还不是毫无准备的。对某些固体的研究已进行了二十年以上。譬如，在晶体三极管发表之前两年，一些工业研究小组就曾试图了解，为什么当电流在真空管内流经阴极的氧化物表面时，开始电流大，然后就衰变为小而稳定的流动。当然这个研究是含糊的，但却对半导体内电子导电的原理——晶体三极管的基础——作了意想不到的深入观察。

由于有了这种先驱的研究，因而当贝尔电话实验室发明晶体三极管的班子中的一位成员肖克莱 (W. Shockley)，在1950年出版关于这个题目的决定性的书籍时，电子工业就能立即行动起来。不久之后，工业就把理论转到实际，在1952年便首先制造出供助听器和袖珍收音机用的锗晶体三极管。

此外，随着1942年可控原子核裂变所取得的成就，理论家证实了他所具有的经济价值。他的方程和公式，他的原理和证明，都不再只是抽象的课题。它们和真实世界有着奥妙的联系，并给人们以支配自然的强大力量。美国工业界深受触动，许多大公司的人事档案中，“理论家”开始作为一项职业分类而突然出现，与那些受尊敬的职别，如“工程师”、“化学家”和“物理学家”并列在一起。

为什么工业界花了这么长的时间，去评价利用理论作为加强它的运营中的生产线，并为其未来奠定基础的力量呢？至少必须从三方面来回答这个问题。

首先，能够被人用来分裂原子、驾驭电子和控制电磁波的物理学理论主体，在一代人的时间以前还没有出现。这些理论的形成，开始于1873年麦克斯韦(J.C.Maxwell)发表的关于光的电磁性原理，完成于1925年薛定谔(E.Schrödinger)发表的有关物质的波动性和粒子性的划时代的波动方程式。

在这期间，还有其他一些作出深远贡献的天才人物，如玻尔兹曼(L.Boltzmann)、吉布斯(J.W.Gibbs)、普朗克(M.Planck)、爱因斯坦(A.Einstein)、玻尔(N.Bohr)、海森堡(W.Heisenberg)和德布罗意(L.de Broglie)。作为一个整体，就是这些人组成了近代物理学的制宪会议，写下法律，拟出条款，至今我们与物理学现实的关系仍未越过这个界限。有趣的是他们所有的人都写下过令人信服的隐喻：

- 光是电和磁；
- 热是原子运动；
- 质量就是能量；
- 重力是加速度；
- 物质既是粒子又是波。

工业界推迟雇用理论家的第二个原因在于理论家自己的性格。他过去和现在都是孤独的人，习惯于隐居和思想方面的“闭门读书”生活。他的本性，他的背景，他的训练——合在一起都引导他到大学物理系去获得一席位置。因此他无意进入以实用主义的骚扰为标记的商业生活。

最后的原因是工业本身。它过去和现在都是实行者。设计产品，投入生产，降低成本，提高利润，击败竞争者——这就是方针！要是需要一种新产品，那就发明它。要是

材料不能用，就换一种。在这种社会环境里，很难看出雇用
一个只是整天坐在那里思考的人有什么价值。

但是在第二次世界大战末期，所有这些都开始转变了。
理论的实际力量在新墨西哥州的阿拉默果多[●]得到证实，理
论家也开始看到他的数字隐喻所具有的社会的、政治的和经
济的意义。

工业家也开始有了改变。战争的作用力推动他到达现存
工艺的极限，进入一种在物质上和现象上都力不能及的境地。
在这个关键时刻，特别在电子工业实现了晶体三极管，接踵
而来的是数字计算机。

就晶体三极管来说，对理论家的需求是即时而且明显的。
而对计算机来说，开始时还不那么迫切和明显。计算机制造
厂不是和工业界早就十分熟悉的工艺过程一样，只简单地装
配零件吗？

确实是这样，但又不仅是这样。计算机具有解决差不多
任何问题——从空间卫星的轨道速度到生产上的薄弱环节的
潜在能力，只要这些问题能转化为数学语言。只要知道如何编
写程序，计算机就能完全依靠它自己的“智力”加以处理。

需要的不只是理论物理学家，而且是擅长于形态严谨的
信息处理的设计理论家。幸而世界上的大学从1940年左右就
培养出这样的埋头于符号逻辑、命题演算、组合学、集论和
概率论等学问的怪杰。他们就在那里，工业界也极需征聘他
们。今天，他们已是处在幕后完成成千种任务的计算机的成
长着的控制力量。

● 美国于1945年7月16日第一次进行原子弹爆炸试验的地方。——译者注

举例来说，正如现今在国家的许多第一流电子实验室里，经过挑选的团体的成员们领导着一批第一流的信息处理理论家，跨过开关网络和存储程序的空白区，奔向那令人惊异的目的——做出能适应情况变化，能阅读印刷品和甚至显示出初步智力的机器。

探索新概念，创造出沟通自然界的不连续性的新隐喻，建立现实的数学模型——这些仍然是理论家的甚至是工业理论家的首要事业。但是随着时间和使用带来了其他的工作和职责。例如，经常要求理论家在公认的理论范围内应用他的数学描述能力，去解释材料和器件实验室内出现的新材料和新元件的问题。这样，他可能把时间分开，既要试图解决超导性本质之谜，又要试图描述已知的超导性材料的性能。

对于工业实验室来说，了解已发展的器件和系统的极限性能也是重要的。最低限度，这种知识可防止去做那些不可能的事情。最高限度勾画出可能达到的性能目标。诺思(D. North)博士于第二次世界大战期间在美国无线电公司进行的对脉冲雷达系统噪声源的经典研究，就取得了这样的效果。这篇论文在全世界广为传播，在它写成二十五年之后，仍然被认为是任何想要建立这种系统的人的基础参考书。

学习科技文献，与科学团体的核心成员保持个人接触，与实验室中进行的关键性研究工作并肩前进，这些是工艺理论家为了他自己以及他的管理部门的利益所执行的另一些职责。

理论家的一个最有价值的辅助作用可能就是作为发明的催化剂。由于他自己不做试验，也不合成材料，他自己必须

满足于激励旁人去做这些事。因此，他到处巡回访问，与他感兴趣的各实验室接触，与他认为能从他的概念中获益的同事长谈，鼓励别人畅谈他们研究的问题。总之，他试图为发明的过程点火。

最后，理论家有责任告诉研究管理部门，哪些重要的科学方向在发展中，哪些研究的新方向可以开辟，哪里的现行活动应该缩减，以及其他科学研究管理者继承的成千上万的日常管理事项。

评议、催化、创造——这些就是现代工业理论家的职责。总之，所有这三方面都直接来自他的能力，不只是描述而且是发现数学隐喻中自然界秘密的能力。

第二章 量子的进跳

带有负电荷的电子和带有正电荷的“空穴”是现代固体物理的亚当和夏娃^①，1948年晶体管的发明把它们从晶格的伊甸乐园^②中赶了出来。电子科学家和电子工程师让它们在许多量子器件和电路中参加工作。这些器件和电路的数目、种类和用途正与日俱增。

电子和空穴已经被单独地或者一起用来实现三种类型的晶体管（即点接触型、结型和场效应型），以放大无线电信号或在计算机中开关电流。同时，至少有五种二极管用来在电路内阻塞和控制交流电流，或者产生高频微波，这包括普通整流管和可控硅整流器，齐纳二极管、隧道二极管和雪崩渡越时间二极管。另外，还得到若干特殊器件，诸如可把光直接转换为电的太阳能电池，把热转换为电或用电致冷的半导体热电堆；直接由电流产生相干光的强烈射线的“注入型”或半导体激光器，以及产生在微波区域的毫米波段的射频耿氏（J.Gunn）效应器件。

产生这么多奇迹的电子-空穴概念，是在1931年由英国物理学家威尔逊（A·Wilson）在解释电流是怎样流过半导体时第一次引入的。受到这些把理论假设转变为实用能力的出

● <圣经>故事中所说的世界上第一个男人和女人的名字。

● 亚当和夏娃居住的地方。——译者注

色成就的鼓励，现代固体物理学家已开始在固体物质的量子力学的希望宝库中作深入探索。结果，他们揭露了并开始研究一些全新类型的奇异的能量形式和一些准粒子，如激发子，双激发子，极化子，声子，等离子，自旋波和螺旋波。

虽然预言这些东西中的大多数的存在已有许多年了，但把它们揭示出来，则是近来对某些半金属和半导体采用高度先进的实验技术的结果。为了了解它们本身和对电子学前途的影响，有必要简单地勾划一下物理学家所常见的固体物质的图画。

这个图画开始形成于1879年。美国巴尔的摩市霍普金斯大学的研究人员霍尔(E·Hall)在电磁铁两极之间伸展的金属条上通以电流，使他惊奇的是，当电磁铁通电时，发现有部分电流转向金属条的边缘，并与主电流相垂直，就象河流里的水转向灌溉渠道一样。他进一步发现，只要简单地把导线接到金属条相对的两个边缘，就能利用这个垂直电流去做功。

事实上，他显示出的是某种带负电的“流体”穿过金属的原子而运动，就产生一股电流。为了报偿这一发现，这种现象从此被命名为**霍尔效应**。

八年后，在德国的埃廷斯豪森(A·Von Ettingshausen)和奈因斯特(W·Nernst)作了一次相同的实验，但是以一块加有锡的铋来作为试验材料。一切都按所期望的进行，除了有一点小的异常：在铋样品的两侧所产生的霍尔电流是正号而不是负号。他们把所观察到的现象称为**异常霍尔效应**，这就不会使人感到惊奇了。

两个实验在科学界引起许多困惑，直到1897年，英国物