

2000年诺贝尔物理奖

林 晓 满

(北京工商大学 100037)

根据瑞典皇家科学院10月10日发布的消息,瑞典皇家科学院已决定把2000年度的诺贝尔物理奖授予在信息和通讯技术方面作出了基础性工作的3位科学家,其中的一半授予俄罗斯圣彼得堡A.F约飞物理技术研究所的科学家泽罗斯·阿尔费罗夫(Zhores I. Alferov)和美国加利福尼亚圣巴巴拉的加利福尼亚大学的科学家赫伯特·克勒默(Herbert Kroemer),以嘉奖他们研制了用于高速光电子学的半导体异质结结构;另一半授予美国得克萨斯达拉斯的得克萨斯仪器设备公司的科学家杰克·基尔比(Jack S. Kilby),以嘉奖他在发明集成电路中的作用。

物理学和信息技术

在最近的几个十年中,由电子计算机技术和通信技术组成的信息技术(IT)已经彻底改变了我们的社会。信息技术发展的基础是尖端科学技术的进步,而这些进步的大部分来源于物理学中基础科学的发明。

实际上,电子计算机的迅速发展开始于1960年前后集成电路以及20世纪70年代微处理机的发明,那时候一块芯片上的元件数目已经大到足以制造一台完整的微形计算机。元件数目的迅速增加正如“摩尔定律”所预言的那样:一块芯片上的元件数目每18个月要翻一番。从20世纪60年代以来,这个预言已被证实,今天已经有了包含数百万个独立元件的芯片,而价格却基本上没有变化。

芯片的研制已经和通信技术的大力发展相适应。正如集成电路已经成为电子计算机的原动力那样,基于半导体异质结结构的超高速晶体管和半导体激光器已经在现代通信中起到了决定性的作用。

移动电话,CD激光唱机,条形码阅读器,光-闸等设备中的异质结结构

电子元件通常是由半导体制成的,它是一种介于导体和绝缘体之间的材料。一种半导体,它是否类似于导体还是类似于绝缘体决定于它的能带间隙,即使载荷子(电子和“空穴”)产生运动所需要能

量的大小。

大多数半导体元件是由硅制作的,而砷化镓的混合型半导体逐渐变得重要起来。由能带间隙不同的几个薄层构成的半导体被称做异质结结构的半导体。这种薄层的厚度能在几个原子层到微米之间变化,它可以由砷化镓(GaAs)和铝砷化镓(AlGaAs)构成。一般地这些薄层的安排要使它们的晶体结构相互吻合,并能使载荷子在接触面上几乎能自由移动。正是异质结结构的这种特性,以致于人们用各种不同的方法来开发它。

异质结结构在技术中非常重要。在卫星通信中,应用由异质结结构晶体管制成的低噪音高频放大器,改善了移动通信中的信噪比。根据异质结结构制成的半导体激光器可应用于光纤通信中的光数据存储,如CD激光唱机、条形码识别器、激光标识器等。根据异质结结构制成的发光二极管可应用于汽车光-闸及其他警报信号中,并终有一天会代替电灯泡。

异质结结构对科学研究也具有非常重要的意义。在半导体接触层中形成的2维电子气所具有的特性是研究量子霍尔效应的出发点(1985年的诺贝尔物理奖授予冯·克利青及1998年的诺贝尔物理奖授予劳克林·施特默和崔琦)。另外,电导的量子化也已经在—维沟道和点接触、以“量子点”为基础的人工原子和分子、单电子元件等方面得到了研究。所谓“量子点”是指包围着有限个自由传导电子的微小空间。

异质结结构晶体管



图1 在单元电话基地的快速晶体管中有半导体异质结结构

现代物理知识

第一个关于异质结结构晶体管的建议是赫伯特·克勒默于1957年发表的,那时他在美国普林斯顿美国无线电公司工作。他的理论工作表明,异质结结构晶体管比传统晶体管要优越,尤其是在电流放大器和高频中的应用。在异质结结构晶体管中已经有了高达600GHz的频率,它要比最好的普通晶体管高出大约100倍。另外,由这些元件组成的放大器是低噪音的。

异质结结构激光器

异质结结构对半导体激光器的发展起到了决定性的重要作用。1963年,泽罗斯·阿尔费罗夫和赫伯特·克勒默各自独立地提出异质结结构激光器的原理,这是一项和异质结结构晶体管同样重要的发明。

阿尔费罗夫第一个成功地制造了晶格适配的异质结结构(铝砷化镓/砷化镓)。它的薄层之间有清晰的边界。阿尔费罗夫的研究小组很快就研制出制造异质结结构的多种元件,其中包括阿尔费罗夫在1963年取得专利的喷射激光器。技术上的重大突破大约出现在1970年,那时的异质结结构激光器已经

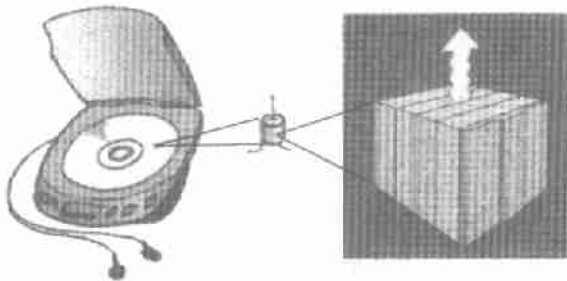


图2 CD激光唱机的激光二极管包含半导体异质结结构

能在室温下连续工作,这些性能使得光纤通信成为可能。

集成电路——芯片

通常把1947年圣诞节前夕晶体管的发明认为是现代半导体技术发展的开端(1956年的诺贝尔物

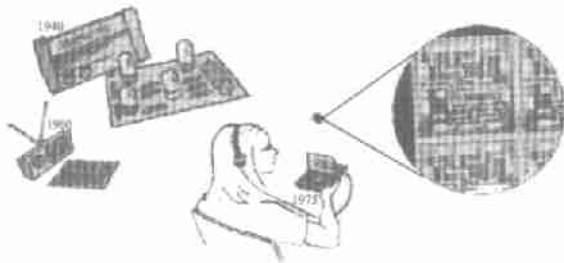


图3 整个现代电子学的发展,就是从电子管,经过晶体管,到集成电路,芯片的过程

理奖授予威廉·肖克利、约翰·巴丁和沃尔特·布拉顿)。采用比电子管更小、更可靠、而且能耗更低的晶体管作为元件,使得电子管失去了它的重要性。使用越来越多的电子管增加了系统的复杂性,这意味着使用电子管的数目是有限制的,实际上的最高限度大约是1000个电子管。通过把很多晶体管焊接在一块印刷电路板上,就可使系统的晶体管数目增加到1万个以上。但是,晶体管的数目显然是计算机产业发展的制约因素。早在20世纪50年代初,就有在组合半导体块中制造晶体管、电阻器和电容器,即集成电路的设想和意见。

证明集成电路具有实际可能性的是两位年轻工程师杰克·基尔比和罗伯特·诺伊斯(Robert·Noyce)各自独立完成的。不过基尔比是第一个申请专利的。

与物理学的发现相比,集成电路是一项更加技术性的发明。然而它却明显地包含着很多物理问题。例如,铝和金是集成电路的组成部分,如何有区别地把它粘到硅上,就是一个问题。另一个问题是如何生产只有几个原子厚的密集层。

显然,集成电路的研制促使了在固体物理研究和开发中的大量投资。这不仅导致了半导体技术的发展,而且也促进了器械和仪器设备的巨大发展。元件的不断小型化克服了物质材料的限制,使问题得到了解决。

集成电路的概念是有了,然而从晶体管的发明到工艺技术的成熟足以把各种各样的元件组装成一个基本器件,甚至组装成一小片,几乎过去了10年。这一项发明使得信息技术的大发展成为可能。40年后,集成电路的发展仍然保持生气勃勃,并没有任何衰退的迹象。

杰克·基尔比和罗伯特·诺伊斯二人都被认为是集成电路的发明者。基尔比是制造第一个集成电路的人;诺伊斯研制的集成电路,就像后来用硅和二氧化硅作为半导体和绝缘体以及用铝作为电导元件制造的集成电路。他们两个都有理由获得奖赏和荣誉。

诺伊斯是1990年去世的。当时他被誉为硅谷最重要的缔造者之一,在以集成电路为奠基石的信息技术的发展中,他的公司起到了主导作用。

基尔比继续了他作为发明家的生涯,大约有60项专利。特别是,他还是口袋计算机的共同发明者,也是首先应用集成电路的人之一。