

·科学顿悟·
文/潜伟

信息时代的物质基础——晶体管的发明



栏目主持人 潜伟, 北京科技大学科学与技术文明研究中心教授。电子信箱: williamq@263.net。

人类正处于一个以半导体材料为物质基础的信息时代。在整个半导体材料的发展史上, 没有什么比威廉·肖克利(William Shockley, 1910–1989)及其领导的科研小组发明的晶体管更具有传奇色彩了。

肖克利 1910 年生于英国伦敦, 3 岁随父母迁往美国加州。从事矿业的双亲从小给他灌输科学知识和方法, 加上中学教师斯拉特的熏陶, 他如愿考入加州理工学院, 后进入麻省理工学院, 1936 年获得博士学位留校任教。不久, 他加入具有“全美最大发明工厂”美称的贝尔实验室, 开始了晶体管的研究工作。

1946 年 1 月贝尔实验室正式成立固体物理研究组, 其宗旨就是要对固体物理学进行深入探讨, 从而指导半导体器件的研制。最初的成员共有 7 位, 组长是理论物理学家肖克利, 副组长是物理学家摩根(S. Morgan), 另外还有半导体专家皮尔逊(G. L. Pearson)、实验物理学家布拉坦(Walter Brattain, 1902–1987)、固体物理学家巴丁(John Bardeen, 1908–1991)、物理学家吉布尼(R. B. Gibney)和电子线路专家摩尔(H. R. Moore)。这个小组还与冶金学家、电子技术专家保持着密切联系。就在这个时候, 贝尔实验室的奥尔(R. S. Ohl)等人已经掌握了有效的提纯工艺, 能够用掺杂的方法控制半导体的导电类型, 为制备高质量的半导体材料准备了条件。他们通力协作, 互补长短, 很快就取得了骄人的成果。

首先, 肖克利根据莫特-肖特基的整流理论和当时的实践经验, 提出了一个预言: 假如半导体片的厚度与表面空间电荷层相近, 就有可能用垂直于表面的电场来调节表面层的电阻率, 从而使平行于表面的电流受到控制。这样, 就有可能产生放大效应。后来, 巴丁提出了表面态理论。他认为, 半导体的表面上有可能吸附一些正离子或负离子, 从而使半导体表面形成表面能级, 就像半导体内的杂质会使半导体内部形成杂质能级一样。接着, 布拉坦在实验中注意到, 光照射到硅的表面会引起接触电位的变化, 产生了光生电动势。

为了研究光生电动势的变化, 小组成员做了大量实验, 其中包括测量锗和硅的接触电位与温度的关系。为了避免水汽凝结在半导体表面, 他们把样品和参考电极浸在液体中, 所用的液体实际上是电解质, 例如普通的水。他们发现, 液滴浸润会使光生电动势大大增加。而且, 如果改变样品与电极之间电压的大小和极性时, 光生电动势也随之改变。经过讨论, 他们很快就明白了, 这正是肖克利指出的场效应。电解质改变了半导体表面的电荷分布和电位分布, 从而影响到半导体表面的导电性。据此, 巴丁提出了新的方案, 并立即和布拉坦到实验室做实验。他们用一层薄石蜡封住金属针尖, 再把针尖插入 p 型硅片经过处理已经变成 n 型硅片的表面内。在针尖周围放一滴水做电解液, 使水接触到硅表面, 而针与水互相绝缘。果然, 实验结果与预期相符: 加在水和硅片之间的电压会改变从硅片流向针尖的电流。就在这天, 他们获得了半导体器件的功率放大效应。然而水很容易蒸发, 难以维持稳定的表面态, 只能在 8 赫兹以下的频率工作。

在进一步的实验中, 他们注意到电解液下面的锗表面有一层氧化膜, 氧化膜是绝缘的, 于是就直接在氧化膜上蒸镀一个金点作为电极, 氧化膜在金点与锗片之间起绝缘作用。在金点中央留一小孔以便让针尖与锗片接触。然而当他们在两极之间加上电压时, 针尖与金点之间发生了放电现象, 显然这一方案行不通。他们决定在锗表面上做两个充分靠近的点接触, 实验技术非常高明的布拉坦想出用三角形的塑料片, 在其狭窄而平坦的侧面上牢固地粘上金箔, 金箔两端连接引线, 以便接通

电源进行检查。然后小心地用薄刀片从三角形塑料片的顶端把金箔割开。由于顶端非常尖细, 可以做到两侧的间距非常小。再用弹簧加压的方法把塑料片连同金箔一起压在经过处理的锗片上。这一方法果然有效, 他们得到了一个放大倍数达 100 量级的半导体放大器。接着, 他们又做了振荡实验, 证明半导体器件也可以用作振荡器。这就是点接触型晶体管的雏形。

晶体管的发明实际上是在 1947 年的 6 月份, 当时贝尔实验室的研究人员已经看出了晶体管的商业价值, 为写专利, 他们保密了半年。到 1947 年 12 月 23 日, 巴丁和布拉坦才正式公布了他们的发明, 这也成为晶体管的正式发明日。肖克利是当时那个研究小组的组长, 但是在发明专利上没有他的名字, 他心里很不愉快。为此, 在很短的时间内, 即在第一个晶体管发明不久之后的 1948 年 1 月 23 日, 他提出了一个不是点接触而是面接触式晶体管结构。后来证明这种结构才真正有价值。

巴丁和布拉坦在保密了将近半年后才公布了他们的发明, 当时的反应并不如期望的热烈。1948 年 7 月 1 日的《纽约时报》将这个信息放在了第 46 版收音机谈话的最后, 只有短短的几句话。当时美国的许多真空管公司对半导体晶体管的意见不以为然, 不是非常感兴趣。但是学术界却对这项发明评价甚高, 终于在 1956 年 1 月, 肖克利、巴丁和布拉坦 3 人被授予了诺贝尔物理学奖。肖克利将他的成果带到加州, 促使了仙童公司和英特尔公司的诞生, 成为硅谷发展史上的一段传奇。

基于多种学科发展出来的晶体管, 比起电子管, 有着体积小、耗电省、寿命长、易固化等优点, 它的诞生使电子技术发生了根本性的变革, 加快了信息化的步伐, 对人类社会的经济和文化产生了不可估量的影响。

参考文献

- [1] 童诗白. 世纪回眸: 纪念晶体管的发明和由此引出的启发 [J]. 电气电子教学学报, 2001(3): 3–6.
- [2] 祝汉民. 电子时代的奠基人和两次诺贝尔物理学奖获得者——巴丁 [J]. 自然杂志, 1998(5): 294–296.

(责任编辑 王芷)