

精确到年月日的晶体管发明思路及若干细节

——读《他们创造了美国》、《创新者》、《挑战极限》笔记

□吴锦才

2018年入秋，在全世界范围关于集成电路诞生60周年的纪念活动陆续开始了。我们不妨从中信出版社翻译出版的 《他们创造了美国》、《创新者》、《挑战极限》这三本书中，回顾一下集成电路这项堪同与蒸汽机相比肩的划时代发明，在创造过程中的一些具体脉络，理解这些伟大的科学家们异于常人的思路是怎样萌生的。

1939年12月29日，贝尔实验室的威廉·肖克利在他的实验笔记里写下这么一条思路：“用半导体做放大器比用真空电子管更合适，这在原理上也可行。”《他们创造了美国》中《硅谷的微电子业精灵们》这章用一个很形象的比方描述肖克利的思路：在掺杂少量别的元素后，硅和锗能把电子招待得特别周到，半导体就能让电子继续上路，形成正电荷或负电荷，并因混合物材质不同而产生不同的性质：N型”半导体携带负电荷，P型”半导体携带正电荷。当一个P型半导体紧接上一个N型半导体，半导体就变成了一个二极管或整流器，就像约翰·弗莱明最初的真空电子管，电流只能向一个方向流动，从负极流向正极。

1947年12月16日，沃尔特·布拉顿和约翰·巴丁在贝尔实验室做成一个装置：两片相距很近的金箔，导入一块不到1/60英寸长的处理过的锗片上，正是这个装置，把两位发明者的音频信号放大了100倍。巴丁和布拉顿用刀片把金箔切出一条细缝，以形成两个距离很近的电极，得到了功率较大的P-N点接触晶体管。待·艾萨克森在《创新者》一书中，甚至还有如此生动而有趣的细节记录：离开实验室回家途中，布拉顿向同车的其他同事说刚刚完成了“人生中最重要的一次实验”，然后又请求他们保证不要将此事外传。而在车上一直沉默不语的巴丁，则是当晚在家里向正在厨房水槽削萝卜的妻子谈当天的工作，说“今天我们有一个重大的发现。”23日，另一个星期二，肖克利为半导体研究小组的其他成员和贝尔实验室的几位高管组织了一场演示，高管人员戴上耳机然后轮流对着一个话筒讲话，他们在耳机中听到各自说话的声音，这些声音都是由这台简易的装置放大而成的。巴丁的实验记录是这样的：将两个金制电极接触到经过特别处理的锗材料表面可实现电压放大。”后来，比尔·盖茨对这两个星期二发生的事情作过这样的评价：任何一次时空之旅，我的第一站都会定格在1947年12月的贝尔实验室。”

1948年1月23日，肖克利写出了关于“接面晶体管”的构想，去除了在大量生产时非常复杂的金箔。他的构想是三片半导体的平层，像三明治一样，一片N型，一片薄的P型，再一片N型，用以替代简单的P-N点接触金箔。电流流经中间层，或者称为“门”，以控制电流从负极流进流出，阻断或放大电流。按肖克利的这个构想，半导体能缩小到分子尺度，快速、及时、神奇地控制电信号的开和关，不像以前用作放大器的发热的、不稳定的真空电子管。个头大、发热的真空电子管，只能让开关电流每秒开、关1万次，而体积只相当电子管十分之一的晶体管却能让开关每秒开、关10亿次。罗伯特·诺伊斯说：当你接受这十亿分之一秒，计算机操作在概念上就会相当简单。”

有意思的是，肖克利关于这一设计的论文，《物理评论》杂志认为论文中所用的量子力学不够精确因而拒绝发表。肖克利于1948年6月为结型晶体管的设计申请了专利，又在1949年写了《半导体中P-N结和P-N型晶体管的理论》，发表在贝尔实验室内部的杂志

上。接着，他在1950年出版的著作《半导体中的电子和空穴》中详尽地讨论了结型晶体管的原理。但由于半导体材料的单晶化长期没有解决，拖延了对他的理论进行验证。直到蒂尔（G.K.Teal）和利特尔（J.B.Little）研究成功生长大单晶锗的工艺后，肖克利才在1950年4月制成第一个结型晶体管。结型晶体管的实际应用比点接触型晶体管广泛得多，从此开辟了电子技术的新纪元。

1956年11月1日，肖克利、布拉顿、巴丁得到共同获得当年诺贝尔物理学奖的通知。巴丁对固体导电理论有很深造诣，他和库珀（L.N.Cooper）、施里弗（J.R.Schrieffer）于1957年提出的被称为“BCS理论”的超导电性理论，1972年获得诺贝尔物理学奖】

1957年9月18日，戈登·摩尔和诺伊斯等八人，在肖克利宣称只搞二极管、不搞其他晶体管之后，从肖克利半导体公司辞职，在华尔街牵线下投身仙童半导体公司。《纽约时报》后来曾把这天评选为美国历史上最重要的十个日子之一，1958年1月仙童得到了IBM公司给的第一张100个硅晶体管订单。（这真是一个由事实所形成的莫大讽刺，肖克利的性格和行事习惯导致了这一结果。当年他在获得诺贝尔奖时，颁奖委员会主席指出了天才个人和团队协作的结合对晶体管发明的重要性，称这个发明是远见、创造和坚持的最高成就，这是通过个人和团队的结合而实现的。）

1957年10月4日，仙童半导体公司成立的三天之后，苏联发射了斯普特尼克号人造卫星·美苏太空大战各种项目的需求，推动了计算机和晶体管的进步，计算机需要被做成能够装进火箭头锥的大小，所以找出将成千上万个晶体管塞入小型设备当中的方法成了紧迫的事情。

1958年9月12日，杰克·基尔比向德州仪器公司董事长马克·谢泼德演示了一个“相移振荡器”电路测试所实现的原始装置：一块锗，上面有一些突出的电线，粘合在载玻片上。当基尔比按下开关，一束正弦曲线穿过了示波镜屏幕，这个装置使直流电变成了交流电。在此之前，基尔比在实验室得出结论，用大量不完全的晶体管消除焊接，肯定能降低成本。这预设了一个潜在的思路：即便电路的复杂程度不断

增加，但电路的尺寸可以不断缩小。

1959年1月23日，罗伯特·诺伊斯在实验室笔记写下这样的思路：在单片硅上制作若干装置，使装置之间相互连接，成为工艺处理的一个部件，以此缩减尺寸、重量，以及每个部件的成本。

1959年2月6日，德州仪器申请了基尔比的集成电路专利。6个月后仙童半导体公司也提出了诺伊斯做出来的专利申请。1961年4月26日，专利局宣布诺伊斯申请到了集成电路专利，其核心在于诺伊斯的集成电路消除了电线。（另外，基尔比用的半导体材料是锗，诺伊斯用的则是硅。）之后，德州仙童半导体公司签署了分享特许权的许可协议。（集成电路发明42年之后的2000年，诺贝尔物理学奖将这一世纪级重大发明的荣誉授予了基尔比，表彰他“为现代信息技术奠定了基础”。诺伊斯因为在1990年逝世而无从并列获奖。基尔比在获奖致辞中说：我的工作可能引入了看待电路部件的一种新角度，并开创了一个新领域，自此以后的多数成果和我的工作并无直接联系。”）

到上世纪60年代末，这八人中只有诺伊斯和摩尔还留在仙童。他们又创立了英特尔公司。戈登·摩尔则以为英特尔公司所提出的一个神奇的定律而著称于今：一块芯片上的晶体管数量将会每年翻一番。2000年，一块芯片上有上千万个晶体管。2001年，半导体产业中微芯片的销售额达1390亿美元，换言之，地球上每人平均拥有的晶体管达到6000万个。到如今，集成电路按照“摩尔定律”几十年来年的发展，则面临失效的可能——晶体管存在原子般大小的限制，很快就会小得不能再小，其尺寸已经比可见光的波长还要小。在这个尺度上，会发生不可捉摸、不可控制的量子效应，电子会自行穿越通道，产生隧道效应，而不管晶体管材质的化学特性如何。

1973年10月23日，在美国IBM研究所工作的日本科学家江崎玲于奈，因发现隧道二极管、发明半导体超晶格及其前导性的研究，在斯德哥尔摩接受了当年诺贝尔物理学奖。（1934年，美国物理学家齐纳通过量子的隧道效应，对绝缘破坏展开了理论建构。1957年，江崎玲于奈用自己的方法把PN结合层逐渐做

薄，其顺向特性没有发生变化，但逆向的耐压不断降低，这样一来，逆向就比顺向更容易产生电流，前所未有的新二极管就此诞生。江崎玲于奈写道：“齐纳的理论在这里得到了运用，我也终于确信观测到了隧道电流。”其成果1957年10月在日本物理学会年会上发表，论文则刊登在1958年1月的美国物理学会学报上。

安信证券最近在题为《走进“芯”时代》的系列分析报告中称，化合物半导体突出的物理特性有望在高频/高速/高功率等领域，延续另一个维度的摩尔定律，产业具有非常强的爆发力。以GaAs、GaN、SiC等为代表的化合物半导体具有一定的禁带宽度和能带结构等半导体性质，能够承受更高的功率、频率和温度，从而在射频、功率等领域具有更佳的性能。5G、VCSEL和功率器件等领域化合物半导体应用的快速发展，市场的需求不断增长。未来，随着制造工艺的完善和大尺寸晶圆产线的成熟，化合物半导体器件的性价比将进一步提升，从而再度拓展应用场景，形成良性的发展循环，在未来两三年内化合物半导体将进入高速发展通道。

在5G通讯领域，通信的核心是射频，5G将新增多个更高频的频段，无论是终端还是基站端都需要增加新的PA，5G时代对于PA的需求量将是4G时代的2-3倍，化合物半导体作为PA的最佳载体，需求量也将同步上行。在VCSEL领域，VCSEL可采用GaAs/AlGaAs系统等方式制成，随着人脸识别领域的应用，3D Sensing在手机中渗透率不断提升，VCSEL的需求量也一路攀升，3D Sensing技术未来也有望在汽车等领域进行延伸应用，届时VCSEL的增速将进一步提升。根据麦姆斯咨询预测，VCSEL在2016-2022年期间的复合年增长率可达17.3%。新能源汽车、高铁、光伏和电力电子等功率器件领域需要高击穿电压和高电子迁移率，宽禁带的化合物半导体是目前的最佳载体，能够让能量转换效率的大幅提升并使得高端功率器件性价比更加合理，从而大幅提升市场渗透率并成为化合物半导体最高增速的细分市场。IHS预估全球碳化硅(SiC)与氮化镓（GaN）功率半导体市场将从2015年的2.1亿美元，到2025年飙升至37亿美元，预计复合年增长率超过33%。

黑石集团创始人彼得·彼得森以睿智、老练的文笔描述了他非凡的生命故事：他是投资银行家、政治家、美联储官员、慈善家、反对财政赤字公众人士。巴菲特赞誉这本书：“彼得森的旅程是一个了不起的故事，他的书展现了他在商业和生活上坦诚的态度。”

作者简介：

彼得·彼得森，他是华盛顿的“经济基辛格”，44岁时受尼克松邀请出任总统国际经济事务助理和新国际经济政策委员会主席，后转任美国商务部长。他是全球私募巨头黑石集团联合创始人兼名誉董事长，与施瓦茨曼以40万美元创建黑石，并将其发展为华尔街真正的PE之王。

什么是“超级资本主义”



书名：《天下为公》
作者：鄢一龙、白钢等
出版社：中国人民大学出版社

□张晓波

要说明白《天下为公：中国社会主义与漫长的21世纪》这本书，先要讲清楚这本书终章的核心概念，什么是“超级资本主义”。

2008年，北京奥运会烟花灿烂，而此时资本主义世界的金融中心华尔街，正在雪崩之中。克林顿与小布什时代的美国，地产在货币宽松政策的配合下，走出了一轮长牛。电影《大空头》形容疯狂的房地产市场，用了一个经典的讽刺：一条狗只要金融中介悉心包装，它就能获得银行的贷款零首付买房。

金融一直就是附着在实体上的两面人。好的金融，是实体经济发展的润滑剂，助推经济发展、活跃市场。但在次贷危机这个案例上，金融只负责扮演嗜血魔鬼。附着在地产之上的华尔街炼金术，仿佛成了能够“点石成金”的魔术师，眼花缭乱的金融创新被创制出来，投向市场。放贷公司、投资银行和评估公司，则将一大堆垃圾债，层层拆分包装发售，通过华尔街的世界资本主义纽带推向世界。

次贷危机造成的结果，是万亿资产灰飞烟灭，经济萧条之下800万人失业。灾难不仅止于美国，热衷于效仿美式金融炼金术的冰岛等国，一夜之间经济体系崩溃。

2008年，为平抑这场金融危机，美国抛出了一系列对银行进行资产注入的办法。换句话说，政府为银行家的贪婪买单，没有贪婪的银行家为此受到审判。只有那场占领华尔街运动，在历史上写了民众对于贪婪的愤怒。

次贷危机，留下一道长长的历史阴影，逼迫我们去思考，我们正在面对的，到底是什么样的资本主义？“历史终结”后的盛宴中，这个披着新自由主义意识形态外衣的资本主义，到底对今天社会，造成了什么样的冲击，又当如何应对？

《天下为公》的作者之一鄢一龙，用了一个词来概括今天意义上的资本主义——“超级资本主义”。书中指出，21世纪初，以虚拟化、信息化、智能化三大浪潮为标志，资本主义进入了超级资本主义阶段。虚拟化使得资本的自我增殖过程更为独立化，代替了经由产品生产实现增殖的过程；信息化使得价值创造从物质端向信息端转移；智能化使得机器对于劳动者的替代加速。这三个趋势深刻改变了资本主义的生产组织方式与全球资本主义体系，推动资本主义进入了一个全新的阶段。

“超级资本主义”的三个面向，即虚拟化、信息化、智能化。作者认为，第二次世界大战之后，人类世界经历了信息革命与智能革命，催生了超级资本主义的两个面向。

信息化与智能化，这两个“超级资本主义”的面向，是完全崭新的，作者采用的是一种分析并探讨的方式。但更为重要的是超级资本主义的第一个面向，即虚拟化。在这里，作者采用的词汇“虚拟”，对应是实体。20世纪80年代以来，“金融密集度”不断上升。与虚拟经济的海量交易相比，实体经济的增长显然不在同一个数量级。2013年全球外汇交易量约为全球产品和服务贸易量73倍，2014年6月份，未平仓的金融衍生品合约名义本金，相当于全球GDP的10倍。在产业资本主义的阶段，资本追逐利润需要进入生产环节，而在虚拟资本主义阶段已经将这种苦活累活一股脑抛开，就通过钱生钱的游戏来收割财富。

金融得以建立的前提，即信用认证。通过对信用加以认证，授以各个不同信用主体相应的负债能力，这是金融的魔术。信用主体的负债能力，可以转化为对实体经济的投资、对产品的消费，也可以转化为对投资品的再投资。证券与商品房市场，都属于投资市场。唯一的区别在于，商品房具有居住属性，是人类生产、生活所必不可少的。

实体经济收益率大幅下降，也会拖累对实体经济投资的欲望。而金融机构为自身利益冲动，盲目授信，扩张信用主体的负债率，大量的投资就会涌向证券市场或者商品房市场。资金的注入，催生投资品价格的疯狂增长。对于金融业本身而言，利益是唯一驱动力。金融业的大幅创新扩张，势必走向不断的自我膨胀。2008年的次贷危机，正是在这样的背景下展开的。

在本书中，作者探讨了大量金融治理手段，以防止坏的金融成为经济的吸血怪兽。作者提供了几条思路，一是拓展实体经济发展空间，例如引导产业向中西部转移，这是从根源上解决金融的投放问题；二是发展普惠金融，即信贷精准投放，把钱借给真正需要的人；三是打造国家与居民的金融利益共同体，引导社会资金投向国家建设资金不足的行业；四是避免住房市场的过度金融化，使其回归居住属性，即“房住不炒”。

在证券市场方面，作者关于建立国家平准基金的建议，也很有见地。证券市场的正常波动在所难免。但是，证券市场的非正常波动，容易让投资者发生亏损，平准基金则是为保障真正投资人的利益而建立。

本书是《大道之行：中国共产党与中国社会主义》的姊妹篇。在笔者看来，《大道之行》讲的是“新党新民”的中国道路；《天下为公》则讲的是“为国为民”的治理理想，这个理想是人人都能安居乐业、自由伸展的天下大同。理想主义者的旗帜是高扬的，革命的道路是曲折的，但前途终究是光明的。

■ 财富书架

