Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng

News & Focus

一个时代的终结

Lance A. Davis

Senior Advisor, US National Academy of Engineering

许多人都撰写过有关摩尔定律即将消亡和集成电路芯片晶体管密度将呈指数级扩展的文章。当我们在思索这一即将到来的转变所带来的后果时，我们应该适当花些时间去关注在2016年3月21日逝世的享年79岁的安迪•格鲁夫。1987年至1998年，格鲁夫担任英特尔公司的首席执行官(CEO)，之后，作为戈登•摩尔的继任者担任该公司的董事长，直到2005年。和其他人一样，格鲁夫负责将摩尔定律和信息革命变成现实。

安迪•格鲁夫的人生十分引人关注，很多人都说是传奇式的。在逃离了二战大屠杀和经历了匈牙利11年的政治动荡后，他以移民的身份逃到了美国，身无分文，不会说英语，并且还患有由于儿童时期的疾病导致的听力丧失。但他成功地从纽约市立学院毕业，然后转到加利福尼亚大学伯克利分校，并于1963年在伯克利获得了化学工程博士学位。此后不久，他加入了仙童半导体公司，并于1968年协助创立了英特尔。

显然，格鲁夫是一个令人敬畏的技术人才，但是他的专长似乎在管理方面。这一点可以在1996年出版的《只有偏执狂才能生存》[1]一书中得到印证。据他的CEO继任者克雷格•贝瑞特描述，他的管理方式就是采用激烈的个人竞争，这在当事者看来就像是被木板击中头部。许多管理顾问或心理学家可能会说，这种方法过于极端，但正是这种方法多次将英特尔从灾难的边缘拉回来，使其成为历史上最成功的公司之一，成为计算机行业微处理器芯片的主要供应商。

成功并不总是等同于正确。当一种新型奔腾处理器在1994年被推出时，一些用户注意到，该处理器存在处理缺陷。但是格鲁夫反驳到，除高级用户外，对大多数人而言这无关紧要，中低端用户也不必担心。然而，之后出现了大量的用户投诉。格鲁夫和英特尔不得不走回头路，斥资数亿美元纠正该缺陷。正如乔纳森•坎德尔在纽约时报上报道他逝世的消息一样[2]，这种情形可以称得上是从错误中绝地反击。品牌计算机上安装的奔腾处理器在其长期维护过程中持续占据显著位置，并且已经成为了一个与安装此处理器的计算机一样知名的品牌。

无论采用何种标准衡量，难以置信的密集程度和功能卓越的集成电路，在创造技术环境方面都起到了主导作用，尽管我们现在视其为理所当然。从最初电脑公司(通常失败)试图说服家庭主妇购买家用计算机以存储美食菜谱，到首个不可抗拒的电子邮件“应用程序”的出现以及成为互联网、智能手机和嵌入式处理器的组成部分，各种惊人的进步都归功于对摩尔定律的持续追求和集成电路的不断发展。对于这些进步，我们需要感谢安迪•格鲁夫这些人。

格鲁夫的经营方针以“只有偏执狂才能生存”为主要特点，需要时刻留意可能破坏重要业务的新技术或新经营方针的突然出现。未雨绸缪，提前预测此类事件的发生是他每日的挑战。对于当今的半导体公司而言，这一挑战仍然是激烈的。自始至终遵循摩尔定律的“一切照旧”模式就意味着结束。摩尔定律在未来十年左右的时间内有可能达到其物理或实际制造的极限，因此半导体公司必须考虑如何实现变革。

2095-8099/© 2016 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company.
This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).
英文原文: Engineering 2016, 2(2): 149–150
引用本文: Lance A. Davis. The Passing of an Era. *Engineering*, http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2016.02.001

摩尔定律由戈登•摩尔在1965年提出，并在1970年略有修改，以规定集成电路芯片的功能每隔两年翻一番且价格每隔两年下降一半，从而淘汰前几代的芯片。如此，就形成了一个良性循环：随着每次芯片尺寸的变小，其性能会自动提升。然而，当90 nm芯片在21世纪初首次出现时，如何散去操作过程中产生的热量成为了一个主要难题。在250 MHz的4核处理器与1 GHz 的单核处理器在处理速度上一样快的设想下，在相关问题可以同时解决的前提下，时钟速度和计算执行速度显著提高，多核(如2、4、8核等)微处理器已经被制造。虽然这些措施可以使芯片尺寸继续缩小，但是散热问题仍然是一个瓶颈。将芯片缩小至5 nm的研究计划已经被提出，预计在2020—2021年实现。然而，在可以实现的前提下，将芯片进一步缩小至2~3 nm，突破可能的物理限制需要付出巨大的努力。M•米切尔•沃尔德罗普在最近出版的《自然》杂志中详细说明了集成电路技术的关键部件以及摩尔定律进一步发展所遇到的挑战[3]。

随着芯片尺寸的逐步缩小，对生产芯片所需的精度要求更高，制造芯片所需的仪器和这些仪器的成本都令人咋舌。要实现大量芯片的经济化生产，需要一条成本达数十亿美元的现代化工厂生产线。此外，来自众多供应商的必要的材料和仪器必须彼此兼容。这些条件的演变导致美国半导体产业协会(SIA)成员在1993年制定了首个半导体的技术路线图。该路线图允许同行业的与会者制定研究计划，发展其独特的技术，从而通过满足行业需求在商业上变得可行。1998年，SIA将欧洲、日本、韩国和其他国家和地区纳入其中，并创建了首个全球性路线图——国际半导体技术路线图(ITRS) [4]。

公平地说，如果不是从路线图了解到专家预测的协调，半导体革命将不会以这样一种持续且高效的方式发生。

虽然对一些人而言，技术路线图令人畏惧，但专家明白，它们涉及到许多相互依存部分的演变。其涉及范围从晶体生长炉到巨硅单晶晶柱，从切割及抛光晶片设备到形成芯片图案的光刻化学品和光刻机，从蚀刻机到处理晶圆和芯片的机器人设备及验证芯片性能的测试设备等。在本杂志的以前卷期中，例如，屠海令[5]注意到，实现10 nm大小所需的单晶硅技术的下一步为将单晶体的直径从300 mm增加到450 mm，即，从类似于树干粗的晶柱变为类似于更粗树干的晶柱。在确保低缺陷密度和切割硅片平整度的同时处理这样的晶柱，将会是一项非常艰巨的任务。

该技术路线图通常在偶数年更新，奇数年修订。最新一期的ITRS在2013年发布，下一期也即将出版；然而，本期意味着一个阶段的结束，因为下一期将首次不再关注摩尔定律。此外，为了避免形成新的ITRS，SIA将制定自己的研究计划，重点强调适用于特殊用途的特殊芯片，而不是更小的芯片。

为了超越摩尔定律，包括主要半导体制造商采用的方法在内的广泛的研究方法被调查。然而，目前的经济形势是，到处都是毫无生气的技术公司，他们并没有为继续生存下去而进行必要的转变。正如安迪•格鲁夫自己所指出的，为使英特尔转变成为微处理器芯片的主导者(此种转变使公司获得了巨大成功)，必须将主要精力倾注于内存芯片。向“超摩尔定律”的过渡对于当今的半导体制造商而言可能更困难。对他们来说，严重的危险是，在他们试图长时间待在舒适环境中以及从前期已经投入数十亿美元的集成电路晶圆厂生产线中榨干所有利润的同时，其他人成功地掌握了使当前晶圆厂生产线过时的全新计算技术或商业模型，正如晶体管和集成电路的出现使真空管过时一样。

References

[1] Grove AS. Only the paranoid survive. New York: Doubleday; 1996.

[2] Kandell J. Andrew S. Grove dies at 79; Intel chief spurred semiconductor revolution [Internet]. 2016 Mar [cited 2016 Apr 11]. Available form: http://www.nytimes.com/2016/03/22/technology/andrew-grove-intel-obituary.html?emc=edit_th_20160322&nl=todaysheadlines&nlid=35255817&_r=0.

[3] Waldrop MM. The chips are down for Moore's law [Internet]. 2016 Feb [cited 2016 Apr 11]. Available form: http://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338?WT.mc_id=TWT_NatureNews.

[4] Wikipedia. International technology roadmap for semiconductors. [updated 2016 Feb 9, cited 2016 Apr 11]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Technology_Roadmap_for_Semiconductors.

[5] Tu HL. 450 mm silicon wafers are imperative for Moore's Law but maybe postponed. Engineering 2015;1(2):162–3.