

75 岁每天工作 14 小时, 他乐在其中

■本报见习记者 江庆龄

卢志远已经 75 岁了。作为旺宏电子股份有限公司总经理、首席技术官, 以及欣铨科技股份有限公司董事长, 他依然每天工作 14 个小时, 在处理公司事务的同时, 关注半导体领域前沿技术发展, 以此判断公司未来的发展方向。

在外人看来, 这样的工作节奏颇为超负荷, 但卢志远却乐在其中, 因为“从事的工作给自己带来很大乐趣”。

自 20 世纪 70 年代以来, 卢志远就进入了半导体领域, 亲历了信息时代的快速发展, 更为存储器技术的发展作出了重要贡献。卢志远在国际上率先发明了新一代非易失性存储器(NVM)技术, 并带领团队成功开发相应的 NVM 存储产品, 为易失性存储技术奠定了技术基础。近年来, 卢志远团队开发的 NVM 技术推动了人工智能(AI)、移动通信、云计算及边缘计算等领域的广泛应用。

8 月 6 日, 2025 未来科学大奖公布。因为在非易失性半导体存储单元密度、器件集成度和数据可靠性领域的发明和引领性贡献, 卢志远获 2025 未来科学大奖—数学与计算机科学奖。

发布会后, 卢志远接受了多家媒体采访, 以下是主要采访内容。

准备好“粮食”, 确保公司“活着”

问: 你在非易失性存储器技术领域做出了开创性工作, 为什么选择在半导体领域深耕?

卢志远: 我本科学的是物理, 1972 年毕业后, 到美国哥伦比亚大学继续求学, 开展半导体相关的研究。我很幸运, 在半导体存储器发展初期就进入了这个领域。当然, 我最初进入半导体领域是出于科学探索。随着对半导体认识的不断深入, 我逐渐发现半导体是一项十分重要的技术, 很自然地开始思考如何利用好这类材料, 创造更多的社会价值。

问: 你既是科学家, 也是企业家, “用好材料”是你进入产业界的初衷吗?

卢志远: 科学研究和技术发展向来是互相推动的, 同时科学和技术之间存在显著差异。如果你去阅读物理学和电机工程学的书籍, 会发现前者强调解释机制原理; 后者则重视提供解决问题的方法。两者之间互相激荡, 持续推动一个领域的发展。我有物理方面的科学基础, 了解如何从科学原理出发优化技术, 也可以在技术落地过程中发现新的科学问题。

我进入产业界是在 20 世纪 80 年代。彼时, 随着晶体管发展到 2 至 3 微米工艺, 学界和业界普遍认为, 集成电路尺寸将进一步缩小至 1 微米以下会面临短沟道效应、光刻极限、杂散电容增加等重大挑战, 也就是所谓的“1 微米障碍”。我参与的“次微米计划”就是为了突破这一瓶颈。

之后, 在科学界和企业界的共同努力下, “1 微米障碍”被顺利突破。集成电路的发展如同江

很多人觉得做科研的底色是“苦学”二字。但我认为, 如果觉得做科研很辛苦, 那就没必要坚持下去了。一旦能从科研之中找到乐趣, 自然就不觉得苦, 就能发现科研多姿多彩。

图片来源: 未来科学大奖

河奔涌, 持续突破技术瓶颈, 到今天已经接近 1 纳米了。包括我在内的从业者, 也经历了事业的快速上升期, 可谓如鱼得水。

问: 你是在如何在经营公司的同时发表了这么多论文的? 作为一名“50 后”, 你现在的日常工作大致是怎么安排的?

卢志远: 确实两个都很花时间, 但工作是我的兴趣所在, 所以我并不觉得辛苦。此外, 旺宏是一家高科技公司, 需要具备竞争力的核心技术, 我的研究工作很容易落地, 进而为我带来更多正反馈。

我是 1950 年出生的, 今年已经 75 岁了, 我的兴趣和工作安排和 50 年前没有太大差别。我几乎没有其他娱乐, 每天会投入约 14 个小时在工作上。和我共事的人都知道, 我常常凌晨 2 点多还在发邮件讨论工作。当然, 我不要求团队其他人也这样, 他们每天工作 8 小时足够了。

关于我每天的工作安排, 一方面, 作为公司管理者, 我需要处理公司政策制定及决策层面的管理事务; 另一方面, 我是旺宏的首席技术官, 我也需要了解技术和市场前沿, 进而规划公司未来的发展方向。

很多人说我现在的工作节奏超负荷, 但我自己并不觉得辛苦。对我来说, 吸收知识、思考问题, 有了想法后再和团队交流, 这个过程非常有趣。

这里我必须强调一点, 很多人觉得做科研的底色是“苦学”二字。但我认为, 如果觉得做科研很辛苦, 那就没必要坚持下去了。一旦能从科研之中找到乐趣, 自然就不觉得苦, 就能发现科研多姿多彩。

问: 你和团队关注的是存储器“材料—器件—系统”的协同问题, 攻关过程中有哪些技术取舍或决策?

卢志远: 这个问题非常关键。我们常说“产品越便宜越受欢迎”, 但这并非绝对。在产业界, 任何产品都只是整个系统的一部分, 需要综合考虑各部分之间的关联, 让系统功能达到最强。比如有产品单价稍高, 但能让其所在的系统整体成本降低; 有的产品性能未必最佳, 却能让系统整体运行更高效, 客户显然会倾向于选用这类看似



不够完美的产品。若能提前洞察这些需求, 就能抢占先机。

问: 在创业过程中, 你是否遭遇过“死亡之谷”, 又是如何带领团队跨越这个阶段的?

卢志远: 我想超过 95% 的创业者都面临过这个问题。“死亡之谷”往往发生在公司成立后的 3 到 5 年间。创业初期, 大家都热情高涨, 投资人也愿意投入资源, 但到一定阶段后, 资金已所剩不多, 却还未有成果落地。此时, 产品已接近成功, 但投资人未必能看到潜力, 会因为担心“没有回报”而不愿继续投资。最终, 创业者被迫在“临门一脚”的时候停下。

有经验的创业者往往能够预判“死亡之谷”来临的时间, 并提前进行准备。就像穿越沙漠前, 必须准备好充足的粮食和水才能活下去, 创业者必须清楚自己的产品在市场上还需多久才能落地、产生资金回报。

另一个折中的办法是, 专注创新的同时开展一些能盈利的、相对不那么创新的业务, 确保能够在一定程度上实现自我造血。需要提醒的是, 这可能是一个甜蜜的“陷阱”。如果专注于挣钱, 企业可能会逐渐把重心放在这类业务上, 导致核心创新项目被荒废, 最终沦为缺乏核心技术的普通企业, 也违背了创业者的初心。

我们的做法就是提前准备好“粮食”, 经营好现有业务, 确保公司“活着”。同时协调各种资源, 让核心创新项目有机会冲刺、突破。

先在科学上“弯道超车”

问: 自修复技术对于闪存有哪些影响? 决定闪存次数和容量的关键因素还有哪些?

卢志远: 我们发明的加热自修复技术, 主要目标是让闪存的寿命无限延长。

闪存的存取次数直接影响其寿命。就像用铅笔在白纸上写字, 写满了之后需要用橡皮把字擦掉, 才能写新的内容。橡皮在同样的地方反复擦了多次后, 纸不可避免地会破损。过去, 闪存通常存取约 1 万次就会损坏, 要想提高次数, 就要减少“擦除”时对“纸张”的损害, 或者一旦出现损害就及时修复。

我们把存储单元理解为一个房间, 里面有电子代表“0”, 没有则代表“1”。但要知道, 这个房间既没有窗也没有门, 电子需要通过量子隧穿效应进出“墙壁”。在电子穿越“墙壁”的过程中, 墙内的原子不可避免会被撞歪, “歪”得严重了, 墙可能就倒了。

加热自修复技术则能够通过加热, 把这些被撞得东倒西歪的原子“扶正”, 让存储单元始终如新。在实验中, 我们的闪存存在擦写 1 亿次、10 亿次、100 亿次后仍然完好, 因此有媒体称其为“flash forever”(闪存永存)。

我和团队在提高 NVM 存储密度方面也开展了系列工作。所谓闪存密度, 就是在一定空间里可以容纳的存储单元。每个单元越小, 密度就越大。这里有一个重要问题, 当存储单元缩小到原子尺度时, 可能就无法正常工作了, 此时必须更换材料。

我们发明的三维单栅垂直沟道结构 NVM, 能够让存储器从“平房”变成“大厦”。此时, 尽管密度没有变化, 但总容量无疑大幅增加了。需要注意的是, 堆叠也带来了新的问题。就像城市中房屋密集引起的隔音不好等“邻里问题”, 当存储单元距离很近时, 互相会产生影响, 也就是噪声问题。目前, 存储单元已经能够堆叠到 300 层, 通过持续技术攻关解决噪声等问题, 我们预计未来能堆叠至 1000 层。这种结构的存储元件, 预计还有 10–20 年的发展空间。

问: 你取得这些突破性进展的秘诀是什么? 这是否是你和团队在存储器领域“弯道超车”的原因?

卢志远: 每当我在研究中遇到困难时, 我都会回到物理学的第一性原理。在科学探索过程中, 我们其实无法判断哪条路能走通, 可能会因为目前的能力跨不过某个坎, 也可能因为走了一条死路而无法继续往前。这时, 我就会及时抽身, 尽快探索新方向。

关于“弯道超车”的问题, 在我看来, 科研层面完全可以实现弯道超车, 但在产业层面则很难实现, 更适合“斜道优化”。我们的客户也更喜欢在现有技术路径上优化, 常常会强调: “不要那么着急超车, 否则可能会脱轨。”

首先, 一个成熟的产业前期已经投入了大量资源, “弯道”意味着要搭建与新技术匹配的装备和工艺体系, 导致前期的投资全部浪费。其次, 应用端涉及上下游产品, “弯道”必然会“牵一发而动全身”, 导致所有环节都需调整, 这无疑会引发新的风险。

不过, 我们可以先在科学上“弯道超车”, 再等待时机, 逐步落地应用, 最终实现商业价值。

“趋异”与“趋同”的持续互动

问: 目前集成电路已经进入纳米时代, 你认为什么时候可以突破纳米级的物理极限?

卢志远: 按照传统的工艺路径, 要想突破

纳米级制程, 最大的技术瓶颈在于光刻机。从物理原理看, 目前最先进的 EUV (极紫外线) 光刻机最多只能实现 3 纳米级制程。通过多种优化技术, 现在芯片制程上限已接近 1.4 纳米, 能够进一步缩小到 1 纳米以下。但是, 到 0.7 纳米之后, EUV 就彻底无能为力了, 只能期待新技术出现。

老实说, 我们现在无法预言具体什么时候突破纳米级的物理极限。但我很有信心, 在应用需求带动和不同领域学者的通力合作下, 一步步赢得这些极限挑战, 未来很值得期待。

问: 未来 10 至 20 年, 半导体领域会有哪些颠覆性的突破? 你接下来的研究重点是什么?

卢志远: 首先, 我们知道, AI 的快速发展对存储器提出了新的要求。按照摩尔定律, 集成电路可容纳的晶体管数目大约每 18 个月到 24 个月便会增加一倍。而现在 AI 则要求每年增加 2.5 倍。对存储器领域的从业者来说, 需要研发容量更大、成本更低的存储器。

其次, 我很关注“存算一体”, 这也是我们团队正在全力攻关的。“存算一体”就是要建一个既能放食材又能做饭的“房屋”。国际上的代表性企业都在为此努力, 原本专注于逻辑芯片的企业开始涉足存储器, 擅于做存储器的则开始尝试在存储器中嵌入逻辑运算功能。同时, 如台积电等企业采用了“近存运算”的过渡方案, 好比把仓库建在厨房隔壁, 这样取食材的时间就大幅缩短了。

此外, 将非易失性存储与易失性存储的优势融合是存储器领域的“圣杯”——既实现数据长期稳定保存, 又实现高速读写性能。但这需要依赖底层物理原理的创新, 目前尚无明确的突破路径, 未来需通过新材料、新结构的探索逐步攻克。我认为这是年轻科研人员可以深耕的重要领域。

问: 你提到目前很多团队和企业都在攻关, 未来集成电路技术发展路径是趋异还是趋同?

卢志远: 我认为两者是动态平衡、互相影响的。每个团队肯定都希望“我做得比其他人更好”, 以此赢得市场的认可, 因此会出现不同的技术路径。同时, “趋同”也时刻都在发生, 从业者通过参加学术会议、阅读论文、研究专利等多种方式互相学习。正是“趋异”与“趋同”的持续互动, 催生了业内良性竞争的生态, 最终推动整个行业的技术升级。

问: 在这种良性竞争的局势下, 中国的核心竞争力体现在哪里?

卢志远: 中国在半导体领域的进步是举世瞩目的, 这得益于过去 20 多年间国家对教育、科研的大量投入, 培养了大量优秀人才。这些人才现在大多三四十岁, 正是最具创造力的阶段。当前, 国家非常重视高科技发展, 也为各类人才提供了施展才能的平台以及优厚的待遇。同时, 中国具有仅次于美国的市场优势, 这也将直接影响半导体产业未来的发展方向。因此, 我认为中国在半导体领域的发展前途十分光明, 非常具有竞争力。



罗博深是谁? 他是美国卡内基·梅隆大学数学系教授, 1982 年出生, 父母为新加坡华人。但他为更多人所熟知的身份是一位奥赛教练。

他不仅自己在 1999 年荣获国际奥林匹克数学竞赛银牌, 还曾在 2013 到 2023 年担任美国数学奥林匹克国家队主教练, 并带领团队在 2015、2016、2018 和 2019 年多次夺冠。此外, 他还创办了开源学习平台 Expii, 并担任首席执行官。如今, 罗博深却在反思竞赛的意义。接受《中国科学报》采访时, 他指出: “过去的数学竞赛考查的是谁会思考, 现在却变成了谁会刷题。”在他看来, 单纯的重复练习毫无价值, “作为公司创始人, 我想要的是能提出新办法的人”。

“我不会去教怎么做题”

《中国科学报》: 我曾经在中学课堂上问老师, 虚数和复数有什么实际意义, 可惜老师没能解答。回头想, 如果老师当年不仅仅让我们做题, 还能把这样的数学概念和定义讲清楚, 可能会教出数学家。这样的经历可能在中国是比较普遍的, 对此你怎么看?

罗博深: 很多人在高中数学的时候, 更关心怎么解题, 却很少知晓这些知识点和概念是怎么连接起来的。

平时老师会说, 这个跟考试没有关系, 所以不用讲。但是我的教学理念是, 不应该只关注考试内容, 而应该看学生们有什么问题、有什么想法。“虚数和复数有什么实际意义”就是非常好的

罗博深: 数学竞赛不该考查谁会“刷题”

■本报记者 孙涛 王兆昱

只是教孩子怎么做题, 是没价值的。当某个问题不在考试大纲里, 可能 99.99% 的学生不会问那个问题。这是非常可惜的。

图片来源: 卡内基·梅隆大学官网

问题。这样的问题比做一大堆题好得多。我们应该鼓励学生问这样的问题, 然后深挖到底。

其实我们应该改变教育方式。只是教孩子怎么做题, 是没价值的。当某个问题不在考试大纲里, 可能 99.99% 的学生不会问那个问题。这是非常可惜的。他们做的题目是人工智能(AI)可以解决的, 那些复杂的(超纲)问题才是我们应该教的。

《中国科学报》: 你在教学里是怎么训练学生批判性思维的?

罗博深: 无论在大学课堂, 还是在我临时带的中学课堂, 我都不会去教怎么做题, 而是会把那个题目写在黑板上, 问大家有什么想法。我会很小心地设计这些题目, 不希望学生说出“我记得应该用这个方法或者那个方法”。我要考查孩子们怎么思考, 也希望孩子们踊跃举手发言, 来一场头脑风暴, 说出他们的想法, 最后就会找到解题思路。

我不会拿出 PPT 来讲课, 这让很多中国家长不习惯。他们反馈说: 为什么你不直接告诉学生怎么做? 这样可以节省时间, 还可以多教一倍的知识点。

我认为那完全没有价值, 那只是在训练机器人。很多家长习惯了标准化考试。那些内容是固定的, 只需要掌握教材里的内容就可以了, 每一种题型可以做好几十遍。

以前没有 AI, 很多公司需要那样刷题的人, 但是现在我们不需要这些人了。很多人已经做过的事情, 如今用 AI 要方便得多, 而且成本也低得多。对我来说, AI 的成本是每个月 20 美元, 比员工成本低很多。

如果深挖到底, 我们就会发现很多人对教育

的理解只是考试和排名, 但是我们要找的是那些具有原始创造力的人。

“教育系统不应该是一项比赛”

《中国科学报》: 你说过, 每个孩子都应该尝试学习竞赛数学。当时大家公认只有班里数学成绩最优秀的学生才应该学竞赛数学, 那么你认为普通孩子学习竞赛数学的意义是什么?

罗博深: 很多人学竞赛数学的目标是希望考得很好, 希望排名进入前 5% 或者前 1%。如果你现在的排名在前 75%, 要跳到前 1%, 这非常难。那是错误的做法, 是在浪费人才, 而不是培养人才。

他们的目标是错的。对竞赛教练来说, 肯定不能让所有人都进入前 1%。我所在大学有一个数学竞赛班, 分了 5 个层次, 同一层次的人一起学。他们不需要考虑自己是不是排在前 1%, 因为我们最需要的是那些情商排在前 1% 的人。

教育系统不应该是一项比赛, 不是为了找出谁是最聪明的人, 而是让所有人都具备创新和解决问题的能力。

《中国科学报》: 你如今的理念是怎么形成的? 你小时候的教育是这样的吗?

罗博深: 我小时候参加数学竞赛是没有教练的, 现在很多人报培训机构, 去学竞赛数学的内容。

那些数学竞赛班会直接告诉孩子们怎么做题比较快, 那并非数学竞赛带来的好处。数学竞赛的好处是, 碰到一个新题目, 慢慢想办法解决。但是现在很多家长眼里只有数学竞赛分数。

现在数学竞赛的价值已经下降了。以前的数学竞赛考查的是谁会想(思考), 现在考查的却是谁会练(刷题)。

我自己也办了一个线上学校, 是关于数学竞赛的。我们的教育方式就是我刚才提到的头脑风暴做法。

《中国科学报》: 现在不能判断数学竞赛选手的创造力, 是因为他们刷题刷得太多了, 对吧?

罗博深: 现在我也在带高中生。我更想找那

些会思考同时有大爱的人, 大爱就是让我看到他能够满足其他人的需求, 这两个方面都很重要。怎么知道谁擅长思考呢? 通过面试。从面试中可以发现, 他不是从来没见过那个问题, 从他的眼睛可以看出来。

当设计出一种考试方式, 立刻会有一大堆培训机构跳出来, 研究以前给过的考试题, 发展出一个刷题的体系。这就完全错了。真正需要研究的不是考试本身, 我看到很多人其实在用错误的方式备考。

《中国科学报》: 你是怎么面试的? 能举个例子吗?

罗博深: 我最近刚招的两个人很有意思, 其中一个人近期开始上班。他以前学计算机, 后来转学商学。他对创业感兴趣, 之前开过两个小的创业公司, 本科时还是美国大学里的中国学生会主席。

我特别喜欢这样的人——会编程, 同时也很有想法。他认识到当程序员是没未来的, 所以他研究商业方向——将来到底应该做什么。他也有创业经验, 知道要做什么样的东西去满足客户的需求。他特别喜欢中国文化, 一心想让美国大学里所有的学生都来学习中国文化。其实我不知道他考试分数是多少。

我们是在洛杉矶认识的。吃过午饭, 我要去另一个城市做演讲。他就问, 可不可以搭我的车, 去看我怎么做这个演讲。他说对这个事情很感兴趣, 要亲自去看。我认为这是一个创业企业家的想法。我喜欢这样的人。

第二个人有两个学位——艺术和心理学。认识她, 是因为她参加了卡内基·梅隆大学的社会企业竞赛, 她的团队拿到了第一, 我是裁判。当天我们有一些互动, 但印象不深。第二天她又来找我, 告诉我, 她有很多新的问题想知道答案。这说明她钻进去了。这时候我就知道她是那种在寻找变化世界中恒定价值的人。很多人并不是在寻找, 而是在等, 她不是。

我招人不看面试官选了什么样的专业, 那不重要。我也从来不会问面试官考试的分, 我看重的是面试官有没有创造价值的能力和热情。