

“老科学家学术成长资料采集工程”系列报道 ③4

从原子弹核心元件铀-235 甲种分离膜的攻关到集成电路领域“中国芯”的艰难求索，每一场突破“卡脖子”技术的战役，都镌刻着中国科学家的坚守。

在这两次关键的技术突围征程中，有一位科学家始终挺立潮头、带队出征，他就是邹世昌。他将一生锚定于国家需求，把个人理想融入家国命运。



为国之所需转学

1931 年 7 月 27 日，邹世昌出生于上海的一个普通家庭。家里一共 8 位兄弟姐妹，邹世昌排行第四。

邹世昌自小学阶段起，学业成绩便一直名列前茅。中学阶段，他考入中华职业学校，但因日军轰炸、时局动荡、人心惶惶，学业几度被迫中断。1945 年，日本投降，离家较近的重点中学格致中学复归国人主办，邹世昌转入该校，继续求学。

1949 年新中国成立前夕，邹世昌被中国纺织工学院（现东华大学）录取。这所大学免学费，录取率仅为 3%~4%。不过，邹世昌仅在那里学习了一年，便选择北上，转入北方交通大学唐山工学院（原唐山交通大学，以下简称唐山交大，现西南交通大学）。

谈及转校缘由，邹世昌说：“进入中国纺织工学院不久，国家开始搞建设，建设的重点是重工业。当时我想为国家建设出力，觉得学纺织好像不行。我就想放弃一年学业，再考大学……后来看到唐山交大招转学学生，可以插班读二年级，就到了唐山交大。”邹世昌积极响应新中国建设的召唤，个人前途发展以国家需求为指引。

唐山交大素有“东方康奈尔”之誉，是万千学子向往的梦想之地。青年邹世昌在此攻读冶金专业，自此与冶金事业结下不解之缘。冶金是唐山交大的优势专业，更是当时国家重工业发展急需的紧缺门类。新中国全面建设的浪潮初起，正需要朝气蓬勃、肯干实干的青年才俊。

唐山交大名师云集。冶金专业有一位留美归国博士，名叫吴自良，是后来的“两弹一星功勋奖章”获得者。1950 年，邹世昌转学至唐山交大后不久，吴自良自美国回国，辗转加盟唐山交大冶金系。两人相遇，从此开启日后长达半个世纪的师生之缘、合作之谊。

接受“绝密”重任

1960 年 8 月，正在长春出差的邹世昌，接到国家第二机械工业部（以下简称二机部）副部长、中国科学院原子能研究所所长钱三强的紧急电报，要他立即赶赴北京，接受重要任务。这一任务便是研制原子弹的关键元件之一——浓缩铀-235 甲种分离膜。

“原子弹项目已经开展一半了……由于中苏关系恶化，现在苏联撤走专家，分离膜也不提供了，因为甲种分离膜被苏联视为社会主义阵营的‘心脏’，被列为绝密。他们扬言，没有甲种分离膜，中国的浓缩铀工厂将成为一堆废铜烂铁……现在，党和国家决定把研制分离膜的任务交给你们去完成。”邹世昌回忆起当年抵京后见到钱三强的情景，一字一句记忆深刻。钱三强向包括上海冶金所在内的全国 4 家单位正式布置了这一重大任务。

起初，各单位均独立开展相关研究，但此项工作的难度与复杂程度远超预期，整体进展未达预期。在此情况下，大家一致决定采用协同攻关模式：以上海冶金所为牵头单位，联合各方力量组建研究室，由吴自良出任研究室主任并承担技术总负责。研究室下设三大组，各组分工明确：第一组负责分离膜原料——超细镍基复合粉的研制及小批量生产，第二组负责成膜工艺研发与分离膜制备，第三大组负责分离膜的性能检测、分析及后处理工艺。邹世昌受命担任第二组组长。

第二大组要做的工作具体包括粉末成型、压力加工、热处理、焊接、物理性能测量等多个关键环节，这些环节基本没有现成方案可借鉴，团队只能从零开始摸索。其中，焊接工序是首个亟待攻克的难题。要达到高质量焊接效果，首要任务是研制专用的高能接触缝焊机。然而，面对时间紧、要货急的要求，一时竟无单位愿意承接合作。

在此困境下，邹世昌积极统筹协调，最终恳请时任上海市市长曹荻秋直接向具备技术实力的上海电器科学研究所下达研制任务，才得以成功解决这一难题。邹世昌还善于调配组内资源，以发挥各方优势，在大队长岗位上赢得了认可与信赖。

而另一项关键的“成膜”问题随之出现。“成膜”需要把粉末涂到膜上，团队在相关试验中屡遭失败，进展受阻。

为了增加粉的黏度，邹世昌在常规路径之外想尽各种偏方、土方。然而，粉末的调制搅拌并不简单，单次调制流程往往需要耗时一整天，一旦配方或工艺稍有偏差，就会导致此前的全部努力付诸东流。尽管如此，邹世昌带领团队历经一年多不分昼夜的集中攻关，攻克了“成膜”技术难题。

难关一个接着一个。1963 年 9 月，整个甲种分离膜元件大部分实验工作已完成，即将批量投产，这时粘电极问题让进度再次停滞。邹世昌带领团队查明问题来源，发现是炉膛温度不均匀导致。于是相应调节炉温，并采取内外水冷电极措施，可是问题仍未解决。在此紧要关头，邹世昌带着团队从金属物理理论出发，从电极合金材料角度考虑……经过多轮尝试，试验虽有向好迹象，但仍不尽如人意。

这时，邹世昌想起在苏联留学时的课题，当时研究的正是一种新型合金材料，材料测定的性能好、强度高、耐性好、导电率高，何不拿来作为焊接电极试试？他立即找来博士论文，先做出合金，再制成电极，然后用到焊接甲种分离膜上去……它竟然奏效了！甲种分离膜终于成功制出来了！这真是柳暗花明、峰回路转。

1964 年 10 月 16 日，中国第一颗原子弹爆炸成功！那是一个让中华儿女扬眉吐气、忘情欢呼的时刻，同时也让无数为之默默奋斗的人喜极而泣。

1984 年，“甲种分离膜的制造技术”获得国家发明奖一等奖，吴自良位列第一，邹世昌位列第二。



上世纪 60 年代，科技人员（前排右二为邹世昌，右三为吴自良）讨论甲种分离膜技术方案。

「卡脖子」之战不休，我辈仍需努力

李志良

邹世昌（1931—）

江苏太仓人，材料科学家、集成电路领域专家。1952 年毕业于唐山交通大学冶金工程系。1958 年获苏联莫斯科有色金属与黄金学院副博士学位。1979 年至 1980 年受聘为德国慕尼黑弗朗霍夫学会固体技术研究所客座教授。在国内较早开展了离子束材料改性研究与离子束分析的科研工作。曾获国家发明奖一等奖、中国科学院自然科学奖、科技进步奖等 14 项奖励，发表学术论文 200 多篇，培养博士 20 余人。曾任中国科学院上海冶金研究所（现中国科学院上海微系统与信息技术研究所）所长、上海市集成电路行业协会会长、上海宏力半导体制造有限公司董事长等。1991 年当选为中国科学院学部委员（院士）。

本版组稿负责人：张佳静

20 世纪 70 年代初，邹世昌的研究方向开始转向“离子注入”，这是一种与半导体及集成电路产业紧密关联的技术。

离子束技术是当时国际新兴的一项半导体材料处理技术，也是集成电路产业的基础。离子束技术研究离不开离子注入机等精密设备的支撑，但当时上海冶金所乃至国内只有比较初级的 20 万电子伏特离子注入机。而在国外，百万电子伏特以上的设备已属常规，但对中国是禁运的。从那时起，西方开始对中国实行技术封锁，且从未断过。

求人不如求己，图强唯有自强。邹世昌下定决心，与同事一起自主研制离子注入机。他们对现有设备进行改造，使其成为离子注入和分析两用机：他们将磁开关由一路分为两路，一路到注入靶室，一路到背散射分析靶室，并提高真空效率，扩大主抽空系统的抽气量……经过一年的不懈努力，终于实现目标。在此基础上，邹世昌主导完成了离子注入技术的第一项应用课题“背散射能谱测量及沟道效应分析”。

1975 年 9 月，邹世昌在德国卡尔斯鲁厄“离子束表面分析”国际学术会议上发表了这篇论文，引发国际同行好

因解封锁再转向

评。令西方同行倍感惊奇的是，国际上普遍需借助百万电子伏特以上能量的加速器及精密仪器完成的实验，中国团队竟凭借自制的初级设备就完成了。相关论文被收录在翌年出版的离子束表面分析论文集中，是我国第一篇在国际学术界发表的利用离子背散射能谱分析开展半导体研究的论文。

这是邹世昌在科研转向后打出的第一个“漂亮仗”。他信心大增，也提振了同事们的士气——西方的领先只是暂时的，只要努力，保持自信，就一定能够超过他们。

自立自强并不意味着闭门造车，加强国际合作交流非常重要。邹世昌向来重视国际合作。在他带领的“激光退火”技术攻关中，国际合作发挥了重要作用。

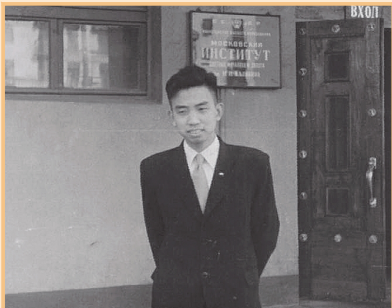
激光退火的主要目的是提高离子注入杂质的激活率，控制退火过程中杂质的再分布，以满足大规模集成电路的应用要求。当时，丹麦奥胡斯大学教授道许是该领域的国际顶尖学者之一，他与中国联系素来密切，且对中国文化怀有浓厚兴趣。邹世昌积极邀请道许到访上海冶金所，由此开启了双方围绕激光退火技术的合作。这一举措，亦是上海冶金所离子束实验室迈向开放与国际

化的重要开端。

1978 年秋冬时节，道许应邀到上海冶金所进行为期 3 个月的合作研究。1979 年 1 月 3 日至 5 日，上海冶金所牵头举行了全国离子注入激光退火学术讨论会。来自国内高校、研究所 30 多个单位共 120 多人参加了会议，极大促进了我国半导体离子注入激光退火技术的交流发展。

20 世纪 80 年代，邹世昌在背散射、激光退火等离子束研究方向深耕并获得诸多成果，包括独创二氧化碳激光背面辐照的离子注入损伤的增强退火效应，用金离子注入技术研制出中国第一块 120 门砷化镓门阵列电路，用反应离子束加工成中国第一批闪光全息光栅，研究 SOI（绝缘体上硅）材料并制成 CMOS（互补金属氧化物半导体）电路，此外，还发展了离子束增强沉积技术并合成了氮化硅、氮化钛薄膜等。

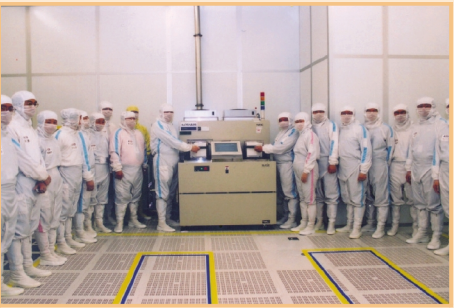
特别值得一提的是 SOI 技术，在邹世昌 20 世纪 80 年代以来的研究工作上，上海冶金所相关团队突破材料工程化一系列关键技术，并于 2001 年孵化成立了上海新傲科技有限公司，建成中国唯一的 SOI 工业化生产线，为我国在国际集成电路产业的新一轮竞争中赢得先机。



1957 年，邹世昌在莫斯科。



1975 年，邹世昌在德国卡尔斯鲁厄。



2003 年 4 月，宏力公司生产线投产开仪式。设备旁右一为邹世昌。

耄耋再建“芯”功

实现自主知识产权便成为迫在眉睫的任务。华虹 NEC 虽属中国公司，但管理却是日本 NEC 公司派团队负责，订单也全由日本 NEC 提供，相当于日本 NEC 在华的一个车间。如果没有自主开发设计的产品，只满足成为日本 NEC 公司的产品加工厂，不掌握核心技术，那么华虹 NEC 就不能起到带动中国集成电路行业发展的作用。

事实上，华虹 NEC 顺利投产后，邹世昌便带领公司管理层将目光投向先进工艺的自主开发，而此时恰好迎来重要合作契机——与比利时微电子研究中心（IMEC）达成合作。IMEC 作为非营利性、开放性研究机构，资金来源除政府资助外，主要依托与企业合作的工艺研发项目。双方以项目合作为纽带，IMEC 分享相关研究成果与知识产权。经过 4 年的深度合作，华虹 NEC 成功培育出一支具备大生产工艺技术开发能力的骨干团队，形成了自主工艺开发体系。

2003 年，邹世昌转任上海宏力半导体制造有限公司董事长，率队出征，并实现各个既定目标。除了推动公司具体实务的发展，邹世昌更大的贡献还在于对人才的培养与选拔，尤其是本土人才。他常说，集成电路行业，终归要掌握在中国人自己的手里。经过长期、精心的投入，邹世昌带领团队培养出一批技术过硬、擅长管理，可独当一面的复合型人才。

2007 年，邹世昌退休了，但他依然为国家集成电路行业的发展奔忙不息，他是一个工作上停不下来的人。又十年，他成为耄耋老人，体力渐衰，无奈“被迫”休息。他不必再忧心下一个实验而前往现场了，不必再时刻关注下一个会议的召开时间了……但他仍关心着这一切。

邹世昌在一次自述中深情告白：“我一辈子主要做了两件事，一是攻克了‘甲种分离膜’制造工艺，为原子弹装上‘心脏’，二是研制‘中国芯’。第二件事情还没有做完，我要一直做下去，也有待年轻一辈继续下去……”

老骥伏枥，志在千里。邹世昌曾掷地有声地说，只要世界技术竞争不止，“卡脖子”之战不休，我辈仍需努力，接力奋斗，以不负先驱前辈们之托，不丢掉他们打下的阵地基业。

（作者系南通理工学院讲师）

作者手记

从理论实战到服饰搭配，他对年轻人倾囊相授

李志良

科学无国界，但科学家有祖国。邹世昌多次强调：“国外专家不可能致力于帮助我国发展集成电路产业，他们在中国都有利益考量，技术上对我们多有保留，因此我们的当务之急是要培养本土自有人才。”

基于这一现实，自 2003 年起，担任上海宏力半导体制造有限公司董事长的邹世昌和中国科学院上海微系统与信息技术研究所发起了“联合自主培养博士项目”。联合培养模式下，研究生入学后第一年在中国科学技术大学修读研究生课程。邹世昌对学生的要求很高，第一年读的课程，除了基础课，都由他亲自选定。后面的几年在公司产线上开展，邹世昌也都高要求、严管理，同时给予优于一般高校博士生的大力、物力的支持。

邹世昌在学生眼中的形象，最开始都是“严格严厉，不苟言笑”，但相处久了，就会知道他其实也是很有趣的人，在生活小事等方面很有独特的想法，于是就会平添几分亲近。邹世昌在仪表仪态上常常对学生们加以指导。他说原来他也不会搭配衣服，但是有一些场合，还是需要着装礼仪。曾经，邹世昌跟电影明星一起出席会议，他有意识观察电影明星们怎么搭配服饰，学有所得后传授给学生：当里面穿浅色的衬衫时，外套可以选深色的；上衣穿深色的，裤子可以配浅色的……这些细节，体现了邹世昌热爱生活、善于学习。

邹世昌也喜欢电子产品，使用社交软件“赶潮流”。他关注这些产品，也愿意跟年轻人一起逛街，现场体验新产

品。以前研究所附近有家专门卖电子产品的商店，他常去了解最热门的产品、最新的趋势。这可能也是因为他做集成电路研究，所以很关心消费电子产品中的芯片。

早期做过邹世昌科研秘书的武爱民总记得先生跟他讲过，学会“弹钢琴”的工作方法。这指的并不是弹真正的“钢琴”，而是一个比喻——要学会同时处理很多事情，不要只会单线程的工作，而是要像弹钢琴一样，会弹多个键，左右手还不一样。不但要有统筹全局的本领，也要有落细、落小、落实的作风和能。要有这样的意识，有这样的能力，并且要注意怎么平衡。武爱民感慨后来担任管理工作，能做到多件事情并行不悖、游刃有余，与自己之前受到的训练是分不开的。