

“最纯净硅”量产，到底意味着什么

□ 科普时报记者 陈杰

在量子计算领域，硅量子芯片是实现量子计算大规模落地的核心路线，超丰度（一种元素在物质中的相对含量）硅-28则是制造芯片必不可少的原料。

6月15日，中核集团旗下核工业理化工程研究院首次成功实现丰度超过99.99%的硅-28同位素自主量产，性能对标国际顶尖水准。一时间，“世界上最纯净的硅”“量子芯片救命稻草”等说法迅速传开。但抛开这些热词，真正值得关注的并不在硅的“丰度”上，而是其背后一条极为关键的材料链条。

为什么非得是硅-28

硅是地球储量极丰富的元素，也是手机、电脑等传统半导体芯片的基础原料。但很多人并不知道，量子芯片使用的硅跟普通芯片的硅完全不同。

天然硅并不是纯净物，它混合了硅-28、硅-29、硅-30三种同位素，其中硅-28占92.2%，剩下近8%都是另外两种同位素杂质。

普通商用硅，只需满足传统半导体的导电、绝缘性能即可，无需区分细微的同位素差异。但在量子计算领域，细微杂质也是致命“干扰源”，会造成运算错误。

硅的三种同位素中，硅-29自带核自旋，会彻底扰乱量子比特的运算状态；硅-30虽没有核自旋，但天然丰度太低；硅-28无核自旋，如果能将其丰度提升至99.99%以上，就能最大程度剔除硅-29和硅-30，是适配量子计算的优质材料。

实验数据表明，硅-28的丰度每往上提一个量级，量子比特的相干性能就会有量级的改善——从92%到99.99%，相当于把喧闹的菜市场，换成一个安静的隔音室。

提升硅-28丰度有多难

很多人好奇，提升一种物质的丰度真的很难吗？有人甚至认为，用某种化学反应就能去除硅-29、硅-30杂质！



AI制图



◀ 科研人员正在制备丰度超99.99%的硅-28。



▶ 丰度超99.99%的硅-28。

图片来源：央视新闻客户端

但这些都行不通。硅的三种同位素仅中子数量不同、质量存在细微差异，化学性质完全一模一样。燃烧、分解、化合等所有常规化学提纯方法，都无法区分、分离它们，这也是此前超丰度硅-28长期被国外垄断、国产化难以突破的核心原因。

我国科研团队另辟蹊径，创新采用物理分离富集技术，依托精密分离设备捕捉三种同位素的质量差值，在不改变硅原料总质量、不发生化学反应的前提下，实现了精准筛分。“提升硅-28丰度，不是靠化学反应变魔术，而是像‘筛豆子’一样把不同质量的同位素分开——让较轻的硅-28富集到一侧，较重的硅-29、硅-30富集到另一侧，总量不变，但各组分的丰度被改变了。”核工业理化工程研究院院长姜宏民解释。

这套技术原理易懂，但工程落地难度极高，需要攻克精密操控、环境控制、规模化稳定生产等多重难题。超丰度硅-28的自主量产，标志着我国掌握了高精度同位素物理分离产业化技术，有望填补国内高端硅基同位素材料的产业空白。

远不止于量子计算

超丰度硅-28量产突破，到底能带来

什么？

最直接受益者肯定是硅基量子计算。中国科学院院士俞大鹏的评价很务实——这一突破解决了硅基量子计算“无米之炊”的问题，为规模化比特操控铺平了道路。此前高端硅-28原料高度依赖进口、价格昂贵且供应不稳定，现在有了自主量产能力，至少先把“被人卡原料”这层不确定性降下来。

当然，超丰度硅-28的价值并不局限于量子芯片，而是支撑多条前沿产业链的关键基材。

高端半导体方面，超丰度硅-28能减少芯片内部干扰，提升稳定性与使用寿命，助力国产先进芯片突破制程限制，推动半导体产业链自主可控；航空航天、精密探测领域，用它制作的元器件精度、抗干扰能力大幅提升，可用于高精度卫星导航，强化高端装备作业水准；此外，它还是国际标准计量材料，支撑长度、物理常数精准测算，完善国家计量体系。

将硅-28的丰度提升至99.99%并量产，看似是材料丰度数字的变化，实则是成熟核工业技术向量子、高端半导体产业延伸。它并不保证明天就能让每个人用上量子计算机，但它能确保那一天真正到来时，我们不会在原料上就被挡在门外。

《延伸阅读

沙子的“逆袭”

脚下随处可见的普通沙子，看似平平无奇，却是前沿科技核心基材——硅的原料。

沙子的主要成分是二氧化硅，蕴藏着丰富的硅元素。不过，原生态沙子杂质满满，结构粗糙杂乱，完全无法用于芯片制造，只能算是硅原料的“毛坯”，褪去杂质、提纯塑形是它脱胎换骨的关键。

首先，工人会筛选出纯度较高的石英砂，通过高温冶炼、化学反应等工业手段，剔除金属、碳等各类杂质，去除沙子中的多余成分，初步提炼出工业粗硅。

此时的粗硅依旧质地粗糙、纯度有限，只能用于普通工业制造，距离芯片级材料还有

巨大差距。经过精馏、还原等一系列复杂工艺，一遍遍净化粗硅，逐步提升硅的纯度，去除微量杂质，最终就能提炼出高纯度的多晶硅、单晶硅。

经过千锤百炼的硅，彻底告别了沙子的粗糙模样，变得质地纯净、性能稳定，拥有了极佳的半导体特性。后续再经过切片、抛光、蚀刻等精密加工，就能变成薄薄的硅晶圆，成为承载亿万晶体管、支撑手机、电脑等所有电子设备运转的核心载体。

从默默无闻的黄沙，到科技产业的核心基材，一捧沙子的逆袭，是现代工业精耕细作、极致突破的最好见证。