

“一电子、一比特”，单电子存储器来了

■本报记者 江庆龄

一个在上世纪末一度成为国际热点、后来却逐渐淡出主流视野的问题，还值得重新捡起来吗？

1967 年，浮栅晶体管在美国贝尔实验室诞生，为现代非易失性存储技术奠定了基础。此后近 60 年，提高存储密度、加快读写速度、降低器件能耗，成为一代代科研人员和产业从业者持续追求的目标。

20 世纪 80 年代中期，随着单电子隧穿与库仑阻塞理论逐步建立，科学家开始设想，能否只用 1 个电子存储 1 个比特的信息。到 20 世纪 90 年代，“一电子、一比特”已成为信息存储的“终极目标”。

然而，1997 年美国科学家演示硅基单电子存储器后，这一新兴“赛道”的问题却开始暴露。一个电子仅能引起约 55 毫伏的阈值电压变化，状态保持时间也大概只有 5 秒。这让全球科学界一度对单电子存储的观测与应用不抱希望。

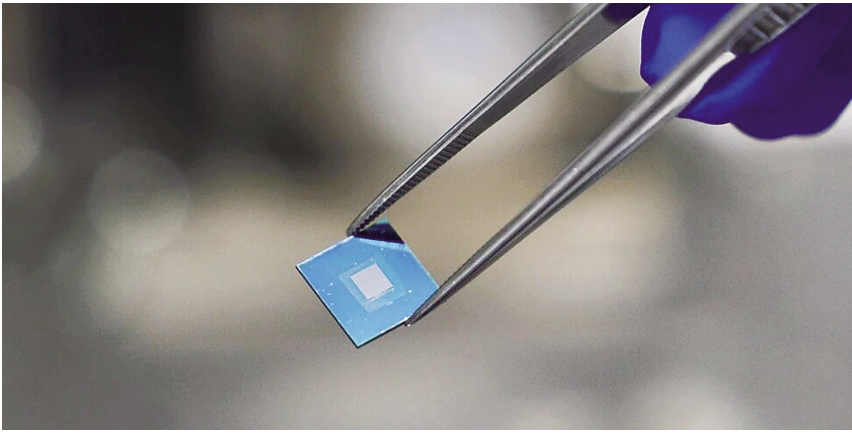
复旦大学青年研究员刘春森、教授周鹏团队对这个困扰业界多年的问题发起了挑战。他们利用二维材料原子级厚度的天然“囚禁”优势，提出自对准平面裁剪方案，构建出共面的漏极－沟道－源极“归壹”结构，首次在室温下清晰观测到单电子的非易失性存储行为。近日，相关研究成果发表于《科学》。

发明量子闪存，实现“归壹”

计算机的世界建立在“0”和“1”之上。电子存储则构成了现代信息存储的基础。

倘若把芯片不断放大，便会发现，这个看似简单的二元选择需要大量电子共同完成。

以先进动态随机存取存储器（DRAM）为例，大约需要在器件中保持 20 万个电子才能够独立表示一个信息位。即使是依靠三维（3D）堆叠提高密度



与硅工艺兼容的“归壹”单电子存储器件。

戚心茹 / 摄

的 3D NAND 闪存，一个信息位仍需 100 至 500 个电子。

为什么存储一个简单的“0”或“1”，需要如此多的电子？

在存储器件中，电子进入或离开存储区域，会改变晶体管开启所需的阈值电压。读取电路正是通过辨认这一变化，判断器件存储的是“0”还是“1”。

然而，单个电子携带的电荷量极小，由它引起的阈值电压变化很容易被热噪声、器件波动等干扰“淹没”。为此，存储器件只能依靠大量电子“集体发声”。周鹏将其比作一座大水库，需要灌进或放出足够多的水，外界才能判断水位发生了变化。

人们很自然地想到，倘若把容器由水库变成水杯甚至变得更小，需要的“水”自然就会大幅减少。在 20 世纪末，研究者围绕这个目标开展了大量工作，以期为测量单电子存储提供新的技术路径。

然而，随着器件缩小，栅极与沟道侧壁之间的边缘寄生电容越来越难以忽略。“这像一条能量泄漏通道，单个电子产生的量子效应原本已经被放大，但

又会被这些额外的电容分走，最终能够观测到的信号依然十分微弱。”刘春森表示。

周鹏、刘春森团队重新梳理了前人的研究，分析他们的“卡点”后得出结论——把器件做小还不够，还要把材料压薄、把结构放平。仅有原子级厚度的二维材料具有天然的优势。

他们提出自对准平面裁剪方案，在一片连续的石墨烯上构建共面的漏极－沟道－源极结构。其中，中间区域的沟道与栅极自对准，两侧区域则分别被定义为漏极和源极区域。金属电极则移到远离有效沟道的位置，通过边缘接触与石墨烯相连。仿真结果显示，边缘寄生电容在器件总电容中的占比可降至约 2.4%。

研究团队将这一独特的结构命名为“归壹”，并进一步制备出栅长约 20 纳米的二维单电子存储器件。在 27 摄氏度下，随着电子逐个进入或离开存储层，器件阈值电压呈现出约 0.5 伏的阶梯式跃迁。撤去外加电压后，不同单电子状态在 5000 秒的直接测量中仍保持稳定，显示出非易失保持特性。

刘春森表示，这意味着单电子量子闪存技术跨过了商业化应用的门槛，这也是电荷存储领域的“圣杯”。

从应用视角来看，这一突破极具现实意义。“以往搬运 20 万个电子才能代表一个信息，现在只需搬运 1 个电子，能耗无疑将指数级降低。”周鹏说。

在基础研究方面，团队也有新突破，在低温实验中发现了一种反常的量子存储现象。在－263 摄氏度条件下，他们通过构筑双狄拉克结构，在微观世界中引入了无法容纳电子的“零态密度”区间。团队将这一机制称为“态密度剪刀”，即在能量空间中，用一把无形的“量子剪刀”将特定的量子态精准“裁剪”，使其凭空消失。

对此，刘春森形象地解释：“房间里原本放着一把椅子，我们把它搬走了，电子进来一看没椅子，只能退出去。”

这项工作得到了《科学》编辑和审稿人的认可。今年 2 月向编辑部投稿后，研究团队很快收到了意见。在补充了必要的数字之后，论文于 5 月被正式接收。审稿人评价认为，研究“前景广阔、有潜在高影响力，在存储物理学和纳米器件工程领域备受关注”，“引入新理论机制（态密度剪刀），使得量子态的工程化操控成为可能”。

找到正确的路，换道超车

这是团队在过去 15 个月内围绕二维闪存技术发表的第 3 篇论文。

2025 年 4 月，团队研制的“破晓（PoX）”二维闪存原型器件实现 400 皮秒超高速非易失存储；同年 10 月，他们又推出二维－硅基混合架构“长缨（CY-01）”，将二维闪存器件直接融入成熟的互补金属氧化物半导体（CMOS）工艺平台。两项成果均发表于《自然》。

（下转第 2 版）

西伯利亚甲烷排放激增 可能抵消全球人为减排目标 1/5

本报讯（记者高雅丽）中国科学院大气物理研究所研究员刘毅团队联合国际合作者聚焦气候变化背景下西伯利亚地区甲烷排放演变过程，发现 2010 至 2023 年该地区甲烷年排放量以平均每年增加约 5% 的速度加速增长，相当于同期全球湿地年均增量的 92%。到本世纪中期，该地甲烷排放的增加量甚至可能抵消全球人为甲烷减排目标的 1/5。近日，相关研究成果发表于《科学》。

在北极快速变暖的背景下，西伯利亚地区多年冻土持续退化、野火活动加剧，由湿地及冻土产生和野火释放的甲烷不断增加。受观测资料稀缺和环境条件复杂等因素限制，不同研究的估算差异较大。

对此，研究团队开展了“双重求证”工作：一方面，通过多源观测与多方法对比，对结果进行全方位验证；另一方面，深入剖析西伯利亚排放增长背后的物理机制。

研究人员利用自主研发的甲烷排放同化反演系统，融合温室气体观测卫星和全球近地面观测数据，将西伯利亚甲烷排放总量和趋势的估算不确定性降低至 10% 左右。研究发现，以叶尼塞河为界，西伯利亚东西

两侧呈现出两种不同的气候图景——西部更湿，东部则更暖、更干。两地甲烷排放增长的核心驱动机制存在显著差异，西西伯利亚主要受到冬季斯堪的纳维亚型大气环流影响，增加的海洋水汽和热量输送加剧该地季节性冻土融化，促进甲烷释放；东西伯利亚则与北极涛动引发的高压异常有关，高压系统带来的持续性暖干化加剧野火强度和频次，加速永久冻土突发性解冻，进而增加甲烷排放。

在探究机制的过程中，团队发现，随着最高气温升高，甲烷排放并非匀速增加，而是呈现轻微加速上升的非线性特征。在高排放情景下，到本世纪中期该地甲烷排放的增加甚至可能抵消全球人为甲烷减排目标的 1/5。

“如果我们忽略这种区域性的、非线性的反馈，全球甲烷预算将出现严重偏差。我们的减排努力也可能被自然源变化‘抵消’一部分。因此，全球气候评估工作必须重视此类‘超调效应’，并将这一反馈更充分地纳入未来气候预测与风险评估。”刘毅说。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1126/science.aea5828>

我国发现首个稀散金属 独立新矿物乌斯河锗矿

本报讯（记者李媛）记者从长安大学获悉，由长安大学、中国科学院广州地球化学研究所、中国科学院地球化学研究所等单位科研团队联合发现、命名并申报的新矿物——乌斯河锗矿（Wushiite），于近日正式获得国际矿物学协会新矿物命名及分类委员会批准。这是我国发现的首个独立锗酸盐矿物。

金属锗是一种稀缺的战略性关键金属。由于锗在地壳中的丰度低且极难独立成矿，长期以来主要作为伴生元素产于铅锌矿及煤矿中。我国川滇黔地区是全球著名的富锗铅锌矿床富集区，锗主要以类质同象替代锌进入闪锌矿中，作为伴生资源回收，而位于四川的乌斯河铅锌矿床是这些矿床中的典型代表。

自 2023 年起，长安大学教授温

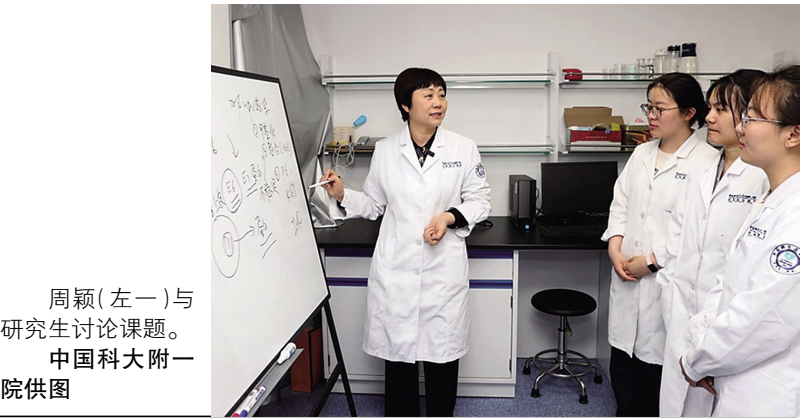
汉捷团队联合中国科学院广州地球化学研究所研究员朱建喜团队对四川乌斯河矿床喷流沉积期的结核状矿石开展系统的矿物学研究，在矿石中发现了大量锗的独立矿物，其中乌斯河锗矿是本次新发现的富锗新矿物。

研究表明，乌斯河锗矿属于蓝锥矿族，三方晶系。该矿物在显微镜下呈透明片状、半自形晶，粒径约为 1~20 微米，通常小于 10 微米；在反射光下呈现深灰色，无多色性。

乌斯河锗矿氧化锗的平均含量高达 72%，仅次于锗石，也是继瑞忠锗矿、文庆锗矿后，在该矿区发现的第 3 个富锗矿物。该发现不仅明确了乌斯河铅锌矿床中关键的富锗载体矿物，也为揭示富锗热液流体演化 and 稀散金属锗的超常富集机制提供了至关重要的矿物学直接证据。

门诊手术连轴转， 她依然坚持扎进实验室

■本报记者 王敏



周颖（左一）与研究生讨论课题。
中国科大附一院供图

7 月一个周一的上午，安徽合肥暴雨如注，中国科学技术大学附属第一医院（安徽省立医院）以下简称中国科大附一院）妇产科门诊等候区，早已坐满了慕名前来问诊的患者。

“你这个情况要尽快手术，我来安排住院。”诊室内，今年全国五一劳动奖章获得者、中国科大附一院妇产科主任周颖一边研究电脑屏幕上的影像片子，一边温和而坚定地对患者说。

与患者充分沟通后，还不等其离开诊室，她的手指就习惯性地按下呼叫下一位患者的按钮。“这样能节省几十秒。一天下来，就能多为一两位患者看上病。”她解释道。

一上午，周颖接诊了 40 位患者。从医二十余载，周颖始终把患者需求放在首位，深耕妇科肿瘤病因、耐药机制及生育力保护的临床与医学研究，为万千女性守护健康。

“学医很有用”

18 岁那年，班主任建议数理化成绩优异的周颖报考南开大学，但她早已“心有所属”。

“我的姑姑是一位助产士，平日里亲戚邻居都找她。”这让年幼的周颖明白了一个道理——“学医很有用”。

更重要的是，周颖了解到，医学是一门需要终身学习的学科，永无止境，挑战性让她深深着迷。

选择背后还有一份超越年龄的担当。“弟弟只比我小一岁，第二年就要参加高考。如果两人都去省外读书，父母的压力太大了。”于是，这个懂事的女孩报考了吉林省内的白求恩医科大

学（现吉林大学白求恩医学部）。

那是一所诞生在战火中的大学。白求恩救死扶伤的故事，周颖听过无数遍。医者的崇高，在她心中埋下了“精诚大医”的种子。

本科毕业后，她被分配到河南省洛阳正骨医院，按部就班的工作并没有消磨她的进取心。两年后，她辞职考取了安徽医科大学硕士研究生。其间，她被送到原军事医学科学院接受系统的科研培训。“从早上 8 点到深夜 12 点，甚至通宵达旦，我都泡在实验室。”周颖说，“那段时间给了我非常好的基础研究启蒙，让我明白临床问题可以通过科学手段去追问、解答。”

2004 年，周颖进入安徽省立医院妇产科。自此，她与这门关于生命起源的学科，结下了不解之缘。

做“生命与生育”的守护者

“周医生，我当妈妈了。”这是周颖最盼望听到的一句话。

对于妇科肿瘤患者而言，手术往往意味着子宫和卵巢的切除，将永久失去生育能力。“治病”还是“保生育”，对年轻未育的妇科肿瘤患者来说，是一道残酷的选择题。周颖听过太多患者的请求：“周主任，我还没有做过妈妈。”

（下转第 2 版）

验证达尔文 150 年前猜想 食虫植物添新成员

本报讯（记者高雅丽）中国科学院院士、中国科学院昆明植物研究所研究员孙航团队联合国内外科研人员，证实分布于青藏高原东南缘横断山区的灯架虎耳草具有吸引、捕获昆虫和消化、吸收昆虫营养的完整食虫功能。这是目前在被子植物虎耳草目中确认的首个食虫植物，也为达尔文 150 年前关于部分虎耳草可能具有食虫性的科学猜想提供了直接证据。近日，相关成果发表于《自然－通讯》。

1875 年，达尔文在专著中研究了两种欧洲虎耳草的腺毛，并推测虎耳草属中可能存在食虫植物。然而，受限于当时的技术条件，达尔文未能获得决定性证据。

灯架虎耳草主要分布于川西南和滇北的亚高山环境，常生长在养分贫乏的岩石缝隙中，全株密布黏性腺毛，常可见小型昆虫黏附于植株表面。

为判断捕虫是偶发现象还是稳定特征，研究人员结合野外植株观察和馆藏标本调查开展验证。馆藏的 45 份灯架虎耳草标本中，有 43 份保存着被腺

毛捕获的昆虫，表明腺毛捕虫是灯架虎耳草长期而广泛存在的物种特征。

真正的食虫植物不能只是黏住昆虫，还应具备猎物吸引、捕获、消化和营养吸收的功能。研究团队通过气味和视觉阻隔实验发现，即使遮挡花部视觉信号，只要花部气味仍可扩散，植株依然能够吸引较多昆虫；而阻隔气味扩散后，昆虫访问量明显下降，说明气味信号参与了吸引昆虫的过程。

昆虫接近植株后，密布于花序的黏性腺毛构成了类似“黏纸”的黏捕型陷阱。小型昆虫一旦接触，便难以挣脱。研究发现，被捕获的昆虫主要是摇蚊科等小型昆虫；灯架虎耳草的主要有效传粉者是丽蝇科、蝇科等较大型昆虫，它们极少被腺毛捕获。这可能使植物在获得猎物的同时，减少对主要传粉者的影响。

捕获昆虫仍不足以证明一种植物是真正的食虫植物。研究团队使用 ELFP97 荧光底物检测腺毛中的磷酸酶活性并开展氮 15 同位素追踪实验，证明了灯架虎耳草能够消化猎物并吸收其营养。



灯架虎耳草通过腺毛大量捕获昆虫。

中国科学院昆明植物研究所供图

研究团队还完成了灯架虎耳草染色体水平基因组组装，并将其与茅膏菜、猪笼草等食虫植物进行比较，为灯架虎耳草食虫性演化提供了基因组层

面的证据。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-026-75288-y>

英国物理和天文学家对削减科研经费感到愤怒



本报讯 据《自然》报道，越来越多的声音要求 7 月 20 日正式就任的英国首相安迪·伯纳姆恢复对英国洛弗尔射电望远镜的资金支持。

洛弗尔射电望远镜于 1957 年投入运营，不仅用于研究宇宙，还用于追踪人造物体，比如全世界第一颗人造卫星“斯普特尼克 1 号”。其位于曼彻斯特附近的焦德雷尔班克天文台，后者是平方公里阵列射电望远镜总部所在地。

近日，该国最大的公立研发资助机构英国研究与创新署（UKRI）宣布，将于 2028 年停止向“e-Merlin”项目提供

280 万英镑的年度资助。e-Merlin 是受 UKRI 下属机构“科学与技术设施理事会”（STFC）资助的、由 7 座英国射电望远镜组成的网络。e-Merlin 是洛弗尔射电望远镜唯一的科研经费来源，除非找到其他资金来源，否则届时该望远镜将停止运行。

一封旨在“挽救”该望远镜的公开信写道，“关闭它，无异于戳瞎了世界上观察天空最清晰的眼睛之一”，并称此举“愚蠢且短视”。这封公开信得到英国科学与艺术界多位知名人士的支持，包括英国宇航员蒂姆·皮克、英国桂冠诗人西蒙·阿米蒂奇等。

此次削减资金是更广泛削减措施的一部分，是 STFC 在前首相基尔·斯塔默领导下，与科学、创新和技术部（现已被裁撤）进行优先事项排序后的结

果。未来 4 年，UKRI 的资金将增加，但新增资金主要投向人工智能、量子技术等优先发展领域，这两个领域将分别获得 16 亿英镑和 10 亿英镑。

不久前，STFC 宣布其资助的科学设施不得从商业渠道筹集资金才能维持运营。这些科学设施包括“钻石光源”以及其他拥有大型仪器和国家实验室的研究中心。最新的经费削减计划揭示了 STFC 的“粒子物理、天文学和核物理”（PPAN）项目将受到何种影响——到 2030 年，该资助渠道的年度预算将减少 2.7%，即 600 万英镑。STFC 执行主席 Michele Dougherty 表示，削减这些经费是为了保障博士后研究人员和博士生的经费，并维持“英国的国际领导地位”。

与此同时，英国取消了对欧洲核子

研究中心（CERN）大型强子对撞机底夸克实验（LHCb）升级项目约 4900 万英镑的资助。长期以来，英国一直是该实验的领导者。该实验领导层的一份简报显示，英国不再为 LHCb 升级项目提供资助，可能导致“实验提前终止，造成 80% 的数据无法收集”。此外，原计划向美国电子－离子对撞机提供的 5880 万英镑资助也被撤回。

一些研究人员认为，如果政府的目的是促进长期经济增长，那么削减基础研究经费将适得其反。“削减基础物理研究经费意味着限制技术人才储备，失去驱动工业发展的技术创新，最终将导致经济增长停滞。”英国利物浦大学物理学家 Tara Shears 表示，“这对科学和经济都将造成极大损害。”

（文乐乐）

