

原子制造 未来在途



智能化、数字化、自动化……未来制造业会是什么样？科学家们如今有了一个新的选择：原子制造。原子制造就是逐一精确地操控原子去制造产品，构筑原子级细锐、精准、完美而且具备超常规物性的产品。有人说，这可能是人类改造物质世界的终极能力之一。如今，这个听上去有些科幻的技术，正逐步照进现实。

构筑原子级细锐、精准、完美，且具备超常规物性的产品

什么是原子制造？顾名思义，就是以原子为原料制造所需的材料和器件产品。它是近来被高度关注的原子级制造技术体系中的核心部分之一，将史无前例地实现对原子的逐一精确操控，将原子按需垒砌，构筑原子级细锐、精准、完美，而且具备从物理上远超常规块材物性的产品。微纳制造已成为耳熟能详的高新技术，原子制造将会成为微纳制造后人类制造技术继续微缩发展的趋势，也将成为新物质创制中的极限。

我们需要强调的是，原子制造应是原子级的通用化技术体系，具有颠覆性意义。绝非是传统的纳米化制造，也不是现在制造技术的线性、体系化发展。

可以想象，原子制造有非常广阔的应用前景。比如以下两个应用场景：

极限集成芯片与未来信息器件。当今微纳制造的芯片能力正在趋于极限，而原子制造能够突破这一极限，甚至有可能在集成电路中实现量子计算。一方面，如果我们突破了原子制造技术，让芯片特征尺度沿着微纳制造的路线继续缩小，就可以获得器件性能的千百倍提高。根据公开的数据，IBM的2纳米工艺每平方毫米集成了3.33亿个晶体管，也就是在100纳米×100纳米的面积上集成了3.3个晶体管。如果我们能实现单原子的垒砌、操控、存储和计算，每个原子不到0.5纳米，当代芯片的集成度还有3-5个数量级的提升空间，业已证明，这种芯片还是存算一体的智能芯片。另一方面，单原子器件量子相干性特别好，有可能让器件尺寸远远小于量子相干长度。这将带来一个重要的效果：在一个高相干的量子体积里面，有可能出现成百上千的高质量量子逻辑比特。很多人相信，50多个高质量的量子逻辑比特就可以实现超越经典的计算能力，实现量子计算机对传统计算机的量子优势。我们知道，量子技术的比特数实际上是一个维度，所以从50位到上千位不是信息量增加了20倍，而是维度上的增加，因而有可能出现计算能力的巨大上涨，这样1毫米大的器件的计算能力，就有可能超过一个当代的超算中心。

人工材料创制与未来机体定制。曾有测算，一种新材料从设计到应用开发需要18年；而以往的研究告诉我们，可能要上千个材料才有1个有应用价值。很多化学家和材料学家可能终其一生都无法获得真正具有应用价值的新材料。但如果人类能实现原子制造，

那就可以用原子垒砌，避开部分困难的合成路径，直接搭建分子和材料，从而形成一种快速制备新物质和新材料的物理路线，工程化地加速新材料的开发。这最起码可以让研究人员在高效合成探索之前就可以知道这些材料的基本物性，这将极大地节约科学家们的精力！我们可以工程化地设计、合成，加上检测相互迭代，每年都开发出成千上万的新材料，使人类的材料进入原子定制的时代。而类似的技术如果在尺度和效率上持续突破，人类甚至有可能实现器件和机体的定制。

从操控技术到科学原理，都面临重大挑战

从原子底层实现自由定制的未来非常美妙，然而，科学家们也不得不承认，原子制造太难了，无论是操控技术、科学原理还是制度建设都面临着重大的挑战。我们仅以原子制造的一个典型动作——原子的定位和垒砌来说明其难度。

首先，操控技术上需要极致精巧。在宏观的工件上定位一个原子，相当于在地球赤道上找到一块糖；逐个垒砌原子，相当于反复多次找到这块糖，并且在这个位置上精确地逐个放糖。要分清垒砌了一个原子还是两个原子，就相当于达到分辨约为10-25千克质量的精巧控制能力。这谈何容易！更不要说，垒砌一个原子根本不够，我们需要一个线程甚至多个线程垒砌原子，实现效率、规模更是难上加难！

其次，科学原理上遇到挑战。在一个自由体系中，垒砌100个原子，从热力学来看，不是线性的100个原子累加，而是随着原子数的增加，面临着体系熵非线性急剧上涨。简单点说，在第1个原子上垒砌第2个原子，垒砌位置从能量上看只有一个可能，但当垒砌到第100个原子的时候，可能有数百万种相同能量优先级垒砌方式，获得所期待的加工原子构型产品的可能性将逼近零！这就意味着原子制造对外界控制的巨大需求！更不要说，尺寸更小以后，原子结构的量子特征将带来更多的科学挑战了。

初探原子制造的基础已经具备，并有望支撑产业

科学家对原子制造的未来充满信心。原子制造虽然是未来技术，但是我们可以将其划分为多个阶段，当前就能找到几个确定的路线初探原子制造，而且可能有用。以原子团簇为例，虽然从控制原子团簇的原子数目、控制原子结构到最终的高效智能定制，整个技术的发展可能需要上百年，

但探索过程中的进步，哪怕是一些初级技术，都有巨大的价值和很好的产业化前景。举几个近年来或将可能初探的原子制造范例。

——原子操纵与分子手术。1990年，IBM公司的科学家利用扫描隧道显微镜（STM）操纵原子撰写了“IBM”字形，我国很快也撰写出了“中国”字形。到今天，中国科学院和很多大学的实验室已经在大批量地开展原子操控，修整和制备全新的分子，已经可以操控冷原子制备冷分子。2022年，美国科技公司已经实现原子精度图案的批量制备，图案分辨率可达0.768纳米。

——原子团簇材料与装备。当代初级阶段的原子数控制就有很大的价值：人类发现的C60已经成为当今光伏产业中的一个核心材料；南京原子制造研究所能让硅、镍等团簇粉体的焊接、烧结温度从1400摄氏度下降到400摄氏度甚至更低；实现半导体注入深度降到5纳米以下；实现选键式的表面处理等等，这些已经部分开始产业化。

——单原子晶体管。2002年美国康奈尔大学报道了第一个单原子晶体管的原型器件；同年美国哈佛大学等单位报道了类似的器件工作；2012年，澳大利亚新南威尔士大学宣布基于STM技术制造出硅基磷单原子晶体管；2022年，他们又制造出世界上第一个原子级量子集成电路，利用10个量子点（每个量子点约含25个磷原子）为核心的电路进行了量子模拟。2020年，我国南京大学等单位也报道了基于三端晶体管架构的单原子存储晶体管，其中利用栅压调控单个Gd原子的位置；2022年，同样的思路厦门大学等单位又演示了室温的14种布尔逻辑操作；最近南方科技大学等单位在沿着澳大利亚团队的路线开拓，并正在探索集成的可能。

——原子层后摩尔芯片。原子层器件具有天生的原子级锐利，因为没有粗糙度的影响，所以可以保持理想的电子迁移率，非常适于叠层，可以进一步提高器件的集成度。这一路线近年来受到了英特尔、台积电和国际微电子中心等业界单位的关注，已经演示了万门级晶体管电路，我国在这一领域也取得很多的进展。

应该说，在探索原子制造的过程中，我们会不断探索“完美工件、定制材料、量子信息、机体制造”的极限，每一个阶段都有全新的应用场景，通过持续的技术革新，源源不断地获得更高性能的产品。

在原子制造新赛道上，各国站在同一起点

其实，对科技界而言，原子制造并

不是新事物——1986年，美国科技智库就提出，原子制造技术与人工智能可以并称为对人类未来具有根本意义的两大技术。但其时，人类还并不具备这样的能力。到了21世纪，科学技术的迅猛发展让科学家们看到了发展原子制造的可能和契机。

笔者认为，原子制造将是所有国家的必然选择。它史无前例地实现对原子的逐一精确操控来构筑超常规块材物性的产品，会是人类未来上百年致力开发的技术，也是长期保障国家安全的必争之地。

如今，在原子制造这个新赛道，所有国家站在同一起点。

我国在这方面有很好的基础和积累。我国物质科学界从20世纪80年代起就开始关注这些基础方向，包括STM原子操控、原子团簇、原子层器件、色心、单原子器件、原子级装配等方向。最近几年，这些方向快速发展，开始具备与国外接近的基础研究能力。90年代，机械学科的学者就开始思考将这些能力推向加工制造，并取得初步进展。

近年来，我国在原子制造方面持续布局。2016年，原子制造就得到国家层面的关注；2018年，中科院推出了“功能导向的原子制造前沿科学问题”先导计划，南京大学成立了全国第一个原子制造创新研究中心；2019年，华为成立了战略研究院，其三大科学问题之一就是原子制造；2021年浙江大学成立了原子精度制造平台，之后，天津大学、北京航空航天大学 and 西南交通大学等单位相继成立专门的研究机构；2022年，两院院士选出的十大科学问题，关注了原子制造；2023年3月，国家自然科学基金委员会两个学部连续召开两次高端论坛，分别讨论了“原子级制造的基础科学问题”与“原子制造的物质科学基础”；不久前，在以“高端制造”为题的中科院雁栖湖论坛上，与会的国内外专家票选了高端制造前沿十大科学问题，原子制造位列其中。

发展原子制造，没有可供参考的路线图，没人能回答哪条技术路线能成功，需要我们自主探路。这对科技工作者和管理者都提出了更高的要求：需要我们鼓起勇气，直面物质科学的核心难题；需要我们谨守学术理念，谨守人们对于制造的期待，不能把一些没有进入原子尺度的工作简单改个名字；需要我们进一步夯实原子尺度物质科学的基础研究，从中深刻挖掘，集合物质科学、制造科学等领域的科研力量；需要我们从制度上创新，鼓励探索、允许失败、摸索前行，在原子制造新赛道实现先进制造技术的创新超越。（据《光明日报》）

研究发现半数海洋颜色生变与人类活动有关

在过去20年里，科学家通过人造卫星观测数据发现，半数以上海洋表面颜色发生显著变化，这与全球浮游生物爆炸式增长有关。该研究报告合著作者、美国麻省理工学院气候建模师斯蒂芬妮·杜特凯维奇表示，发现海洋颜色出现变化并不奇怪，但这个结果令人感到恐惧，这些变化与人类引起的气候变化是一致的。

人类肉眼观察到的海洋颜色变化并不明显，但根据人造卫星的观测数据，目前全球超过56%的海洋已发生颜色变化，该面积超过了全球陆地总面积。从近地轨道收集的颜色数据显示，赤道附近较热的热带海洋随着时间推移而变得更绿。浮游生物是海洋食物链的基础，帮助维持磷

虾、鱼类、海鸟和海洋哺乳动物的生存，浮游生物正常生长被视为海洋健康的迹象。但是，过去十几年来，大量海洋浮游生物过度增长和吸氧腐烂。虽然包括绿藻在内的许多微生物在吸收太阳能时能吸收二氧化碳，但它们数量骤增导致了全球范围内海洋出现缺氧“死亡区”。

杜特凯维奇说：“多年以来，我一直在进行计算机模拟分析，结果显示海洋颜色正在悄然发生变化，所以我们希望大家认真看待这件事情。事实上，海洋绿化并不能单纯地用任何自然发生的、季节性的或者逐年变化的浮游生物繁殖来解释，这是人类活动影响地球生态系统的额外证据，是人类影响生物圈的另一方式。”

大丽花瓣提取物有助稳定患者血糖水平



新西兰奥塔哥大学的研究人员最近发现，大丽花瓣提取物可以改善2型糖尿病患者的血糖水平，为糖尿病的新型自然治疗提供了新方向。

此前有研究发现，从植物中提取的物质丁烯，在肥胖和不耐受葡萄糖小鼠的身上产生了明显的降低葡萄糖和胰岛素敏感效应。于是，科研人员探索一种大丽花瓣提取物丁烯，看能否用于人类糖尿病前期和2型糖尿病的治疗。他们先在高脂肪食谱小鼠身上进行了不同剂量的试验，小鼠表现出葡萄糖耐量和胰岛素敏感性的改善，且其肝脏没

有出现毒性反应。研究人员发现，除了丁烯，大丽花瓣的提取物中还含有异甘草素和硫黄素两种成份。当这3种物质合在一起使用时，对改善葡萄糖耐量效果明显。随后进行的首次人体试验中，13名糖尿病前期或2型糖尿病患者喝的葡萄糖耐量得到了改善。在符合2型糖尿病诊断标准的患者身上，大丽花提取物60毫克/m2的剂量产生了更加明显的降糖效果。该研究通讯作者亚历山大称，血糖调节受损影响到世界数百万人，希望此次研究结果未来能使更多糖尿病患者受益。

每天服用维生素D或使癌症死亡率下降

德国癌症研究中心最新统计分析表明，每天服用维生素D可使癌症死亡率下降12%。

人体缺乏维生素D是一个普遍的全球性问题，在癌症患者中尤为普遍。科学家对补充维生素D和癌症发展或预后的潜在影响进行了大量研究，依据目前的研究结果，补充维生素D3可能不能预防癌症，但可以降低癌症死亡率。

为了研究维生素D3对癌症死亡率和癌症患者生存率的影响，德国癌症研究中心流行病学学家本·史霍特克和同事进行了系统性文献检索，发现了14项相关研究，共涉及10.5万名参与者，这些参与者被随

机分配到维生素D3组或者安慰剂组。针对这14项相关研究的统计结果显示：其中4项研究数据中，不经服用高剂量维生素D3，对癌症死亡率并无影响；另外10项研究数据中，每天坚持服用维生素D3的人群，癌症死亡率显著降低12%。因此研究人员认为，对于是否缺乏维生素D，当他们服用非靶向维生素D3之后，癌症死亡率降低了12%。因此研究人员认为，对于实际上缺乏维生素D的人群而言，这种影响将更为显著。史霍特克称，这可能是因为维生素D3中的活性物质“1,25-二羟维生素D3”可以抑制肿瘤生长。

研究预测生态崩溃或最早于2038年出现

在气候学中，“引爆点”是局部气候系统或者“引爆因素”发生不可逆变化的阈值。然而，人们对这些戏剧性变化背后的科学机制了解甚少。日前发表在《自然》杂志上的一项最新研究揭开了全球潜在灾难性临界点的内部运行，可能比我们想象的更早。

研究报告合著作者、英国班戈大学的西蒙·威尔科克教授称，全球超过五分之一的生态系统正面临崩溃的危险，如北极永久冻土融化、格陵兰冰盖崩塌、亚马逊雨林突然转变为稀树草原等，可能最早会在2038年发生。持续的压力和极端事件的相互作用加速了这种变化，一旦达到临界点，就太晚了。较化石燃料燃烧与气候变化

之间已确立的联系不同，关于灾难性临界点的研究是一门富有争议的学科。科学家使用计算机模型来简化生态系统的动态变化，以便预测生态系统的发展变化，以及何时达到临界点。但如果这些模拟错过一个重要的因素或者相互作用，预测就可能偏离目标几十年时间。

依据研究人员的最新观点，大多数基于数学模型的灾难性临界点研究聚焦一个重要的崩溃驱动因素，如亚马逊雨林的森林砍伐。然而，生态系统面临的不仅是一个问题，还有诸多相互叠加的不稳定因素，如亚马逊雨林也面临着气温升高、土壤退化、水质污染和水资源压力等困境。

本组稿件均据《北京日报》