

# 第三代半导体来势汹汹 前代材料将全面退赛？

## 集成电路系列报道②

◎本报记者 刘艳

半导体行业中有“一代材料、一代技术、一代产业”的说法。

与一些人将“工业皇冠上的钻石”生产制造上的断言相似，在芯片制造中，材料若缺席，技术充其量就是一纸PPT，无法落地为产品。

## 化合物半导体制造产业迎来新风貌

当第一代、第二代半导体材料工艺逐渐接近物理极限，有望突破传统半导体技术瓶颈的第三代半导体材料成为行业发展的宠儿。

事实上，国内之所以将半导体材料以“代”来划分，多少缘自于随着半导体材料的大规模应用而来的三次产业革命。

第一代半导体材料以硅(Si)为代表，其取代了笨重的电子管，推动了以集成电路为核心的微电子产业的迅猛发展。

第二代半导体材料以砷化镓(GaAs)、碲化镉(InSb)等为主，碲化镉半导体激光器是光通信系统的关键器件，砷化镓高速器件更开拓了光纤及移动通信新产业。

而以碳化硅(SiC)、氮化镓(GaN)为代表的第三代半导体材料则有效推动着半导体照明、显示、电力汽车等产业的发展。

从半导体材料的三项重要参数看，第三代半导体材料在电子迁移率(低压条件下的高频工作性能)、饱和漂移速率(高压条件下的高频工作性能)、禁带宽度(器件的耐压性能、最高工作温度与光学性能)三项指标上均强于硅材料器件。

其中，最引人注目的是第三代半导体的“宽禁带(Wide Band-Gap, WBG)”。宽禁带宽度的

随着以碳化硅、氮化镓等宽禁带化合物为代表的第三代半导体应用技术的进步，5G、毫米波通讯、新能源汽车、光伏发电、航空航天等战略新兴产业的关键核心器件的性能将获得质的提升。

以氮化镓材料切入电源管理应用为标志，第三代半导体的“超级风口”已呼啸而至。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》已将推动“碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体发展”写入了“科技前沿领域攻关”部分。

好处是，器件耐高压、耐高温，并且功率大、抗辐射、导电性能强、工作速度快、工作损耗低。

但参数的优异并不意味着半导体材料一代更比一代好。事实上，一、二、三代半导体材料各有其适合的应用范畴，在未来很长的时间中，这三代半导体材料还将共存。

虽然硅材料没有那么牛的参数，但在可靠性和整体性能上，目前还没有任何半导体材料可以和它抗衡。作为半导体行业人士心中的“终极半导体”，金刚石甚至连实验室都还没走出。

但同时我们可以看到，随着氮化镓材料切入电源管理，化合物半导体制造产业的风貌迎来改变。

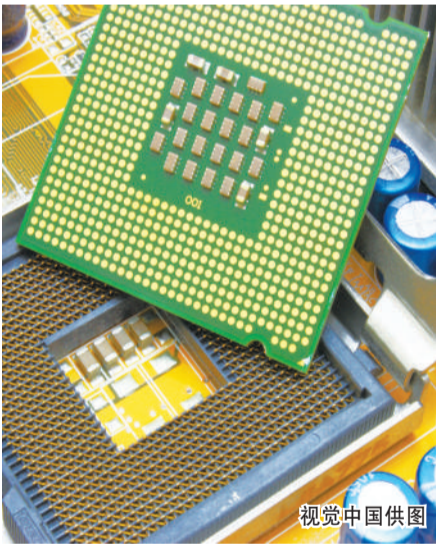
化合物半导体泛指各种不以硅为基础的半导体材料，通常可分成三五族半导体与二六族半导体。

三五族半导体由三族的元素铝、镓、铟及五族的元素氮、磷、砷、锑等组成。二六族半导体则是由二族的元素铍、镉、汞和六族元素硫、硒、碲形成的化合物。

所有电子设备都需要电源管理，当氮化镓敞开电源管理这个庞大市场的大门，化合物半导体也开始展现出不容小觑的商业潜力。

## 第三代半导体尚待产品导入

由于制备工艺成熟、自然界储量巨大且应用广泛，硅材料器件有着难以逾越的价格优势。



视觉中国供图

从半导体材料的三项重要参数看，第三代半导体材料在电子迁移率、饱和漂移速率、禁带宽度三项指标上均有着优异的表现。

然而，当特斯拉为了行驶里程仅5%的提升，不惜以成本高几倍的代价率先全面采用碳化硅时，这种新材料在新能源汽车及配套领域



视觉中国供图

的应用潜力就得到了验证，为将节能视为首要需求的行业树立了一块样板。

虽然成本高昂，生产工艺不成熟等问题还待解决，但第三代半导体的应用之门已经拉开了一条缝。

阿里巴巴达摩院发布的2021十大科技趋势将“第三代半导体迎来应用大爆发”列在首位。

达摩院认为，未来五年，第三代半导体材料将在材料生长、器件制备等技术上实现突破，基于第三代半导体材料的产品线将广泛应用于5G基站、新能源汽车、特高压、数据中心等场景，大幅降低整体能耗。

可以预见的是，随着5G、新能源汽车等市场对第三代半导体的需求扩大，以及制备技术特别是大尺寸材料生长技术不断获得突破，第三代半导体的性价比也将得到提升。

第三代半导体在高温、强辐射、大功率等特

殊场景中的优势显著。但在可预见的功率器件等第三代半导体最有潜力的市场中，硅材料目前仍占主导地位，让企业从已经成熟的硅产品线切换到第三代半导体，并不是件容易的事。

第三代半导体的难点不在设备和逻辑电路设计，要走向规模商用，如何有效降低衬底价格、提高尺寸，如何配合不同材料的制程条件形成有效开发流程，持续渗透功率半导体领域，相关企业还需努力。

在达摩院十大科技趋势项目组专家看来，第三代半导体要走向规模化、商用化，有些必要条件还需满足。

比如，细分领域的代际优势获得市场进一步验证，元器件可靠性能够满足整机厂商对消费端及工业端的差异化需求，应用端利润可基本覆盖材料到制程的投入，代工体系有效支撑通用芯片的稳定供货及面向第三代半导体器件与电路的专业工程师群体的成长。

## 不能错过新一列半导体列车

和设计环节相比，半导体制造环节的规模小得多，但技术要求更高，是整个半导体产业的根基。

芯片不是半导体行业的全部，却对材料性能要求最为苛刻，生产工艺最为复杂，显示面板次之，光伏面板最低。

半导体材料涉及各种金属、合金、非金属，各类元素以及酸、碱等各类试剂，细分行业多达上百个，也潜藏着很多隐形冠军。

在全球半导体材料供应链中，日企占据主导地位。第三代半导体行业中，欧美日厂商三足鼎立，全球70%—80%的碳化硅市场由美国把控。

近年来，我国半导体厂商在设计、制造和封测三个半导体芯片产业关键环节取得了长足的进步，一些设计和封测厂商已进入全球领先阵营。

但是，在半导体制造环节我们与国外厂商的差距依然很大，其所需的关键设备和半导体材料尤为薄弱。国内第三代半导体企业多数

还处于研发、项目建设或小批量供货阶段。

相比传统硅半导体动辄高达千亿美元级别的投资，第三代半导体投资强度小，但战略意义大，被产学研各界视为我国摆脱集成电路产业对外依赖，实现技术追赶和产业发展的突破口。

中科院院士郝跃等专家认为，我国第三代半导体发展水平与国际先进水平差距不大，可以成为国家集成电路产业发展突破口。

第三代半导体是科研领域的重要发展方向，企业在集成电路和半导体技术领域也开始大规模投入。

但正如今年全国两会期间全国政协委员王文银表达的观点，第三代半导体盈利释放缓慢，应避免产业发展从一拥而上变为一地狼藉，通过规划引导将地方付出变为真正的产能。

人们期待第三代半导体市场出现这样一个群体——规模不必大却拥有话语权及产业链把控能力，既能为常规经济高质量运行提供保障和支撑，也能在关键时刻发挥奇兵效应。

# 为清除体内寄生虫 它们选择自行“斩首”

一直以来，人们对于强大的“再生能力”总有一种执念。不管是从前炼金术师中的万能金丹，还是游戏小说里频频出现的“再生药水”，人们总是希望有一种办法能够使残破的躯体自愈复原。

只可惜，人类至今也没有办法得到这种想象中的超能力。于是那些对再生能力的奇思妙想，便一股脑挤进了“文艺创作”中。

然而，最近科学家真的发现了一类海蛞蝓，它们竟然真的拥有断头重生的恐怖再生能力，相关研究成果已于近日发表在《当代生物学》杂志上。

## 惊人的再生能力

动物世界中，大多数的再生案例其实都发生在那些看起来没那么致命的部位，如四肢或尾巴等。然而出乎意料的是，对于一些“顽强”的生物，即使是断头也根本无法摧毁它们。近期，日本科学家发现有两种囊舌目的海蛞蝓，它们能够在断头之后长出完整的身躯，而且这种重生在同一个个体身上可以发生多次。

这些海蛞蝓的“超能力”在2018年首次被发现，奈良女子大学的三藤清香(Sayaka Mitoh)偶

然观察到海蛞蝓的这种奇怪行为。当时她发现饲养在水箱中的一只个体的头部和身体分离开了，而且它的头还在围绕着身体不停扭动旋转。三藤以为这个除了头以外失去了几乎所有重要器官的小可怜会直接去往极乐世界，然而出乎她意料的是，这只海蛞蝓非但没有死亡，反而很快愈合了头部的伤口，并长出了一个全新的身体。

之后，三藤详细地观察了两种海蛞蝓(在实验室中生长的E.marginata和从野外采集的E.atroviridis)的“重生”过程。实验中，15只E.marginata中有5只自行“斩首”，其颈上的伤口通常在1天内愈合，而断开的头部在数小时内便能开始食用藻类。完整的再生过程大约持续三周，在20天的时间里，海蛞蝓没有任何重要脏器，但是它却重新长出了80%的新身体。更令三藤惊讶的是，失去了头部的尸体也不会立刻死亡，它的心脏还会继续跳动，并持续存活数天到数月。但是，被砍头的尸体并不会再长出一个新的头部。

这些海蛞蝓是如何仅从一个头部生长出整个身体的？目前仍不得而知，但研究人员将目光放在了干细胞身上，这种特殊的未分化的细胞在生物体内有着重大作用，它们能够转化成任何类型的细胞。三藤认为海蛞蝓的超强再生力可能

就是因为一些多功能干细胞参与了再生过程，她和团队将进一步在组织和细胞水平上探索这种现象背后的机制。

## 断头背后的原因

另一个困扰科学家们的的问题是：这些海蛞蝓为什么要主动将头和身体分开？

有理论提出，海蛞蝓的断头行为可能是为了清除它们旧身体中的寄生虫。为此，研究团队设计了一系列实验进行探究，他们选取了82只被小型甲壳类动物寄生的E.atroviridis作为实验组，观察过程中有3只主动断了头，其中有两只最终长出了新的身体。而对照组一共有64只不携带寄生虫的个体，它们之中没有一只选择了断头。

三藤曾认为这种断头行为类似于壁虎断尾，是一种逃脱捕食者攻击的应激行为。但当研究人员在实验室模仿捕食者攻击海蛞蝓时，却没有一只舍弃身体。而且它们的这一断头过程需要好几个小时，如果真的是作为一种逃跑手段，看起来并没有太明显的作用。

在三藤和团队的进一步研究中，他们发现这种断头之后完美再生的能力往往只有年轻的海蛞蝓才拥有。对于那些年长的海蛞蝓，它们断掉的

脑袋只能存活十天左右，且它们断头后无法进食，也不会再生。研究人员认为这是因为一个个体只能经历有限次数的再生，在生命的某个阶段之后，海蛞蝓可能会失去这种超强的再生能力。

海蛞蝓的再生过程需要消耗大量的能量，而这对于仅剩的一个小小的头部来说是一个巨大挑战，毕竟负责日常生命生产的大部分脏器都被丢弃了，一切都要从零开始。那它们是如何做到完美再生的？科学家们发现了这些海蛞蝓的秘密武器。

它们能够从吃到的藻类体内窃取叶绿体，也就是说它们通过吃掉藻类，变成了“藻类”。那些从食物中得到的叶绿体能够帮助它们通过光合作用，将阳光转化成能量，并将其用于自己基本生存和再生过程的能量供给。三藤发现，它们只在断头后和食物匮乏的时候依靠光合作用供能，因为被偷走的叶绿体只能维持几天的有效期，其余的时候它们还是需要靠进食来完成再生。

总而言之，这种神奇的生物满足了很多关于“再生超能力”的幻想，而科学家也将更深入地研究它们，不只是想要了解它们的断头原因、再生原理，更是希望能够寻找到更多的以这种方式再生的囊舌目物种。

(周璟臻编译、杨心舟审校，据《环球科学》)

## 新知

## 集成光子芯片上 实现高效光子频率转换

科技日报讯(记者吴长锋)记者4月7日从中国科技大学获悉，该校郭光灿院士团队、邹长铃研究组，在集成光子芯片上实现了基于微腔简并模式的高效光子频率转换，并进一步探究了微腔内的级联非线性光学效应，实现跨波段的频率转换和放大。相关成果日前在线发表于国际学术期刊《物理评论快报》上。

相干光学频率转换在经典和量子信息领域都有广泛的应用，如通信、探测、传感、成像，同时也是连接光纤通信波段和各种原子的跃迁波段的工具，对分布式量子计算和量子网络而言更是不可或缺的接口，是实现高效率光学频率转换和其他非线性光学效应的重要平台。然而，在芯片上实现腔增强的频率转换过程，需要满足3个或更多光学模式的相位匹配，这对于器件的设计、加工和调控提出了非常苛刻的要求。特别是在针对原子分子光谱相关的应用中，集成光子芯片的微纳加工工艺带来的误差使得微腔的共振频率与原子的跃迁线几乎不可能实现匹配。

为此，研究人员提出了一种新颖的简并和频效应，仅需要两个光学模式就可以实现高效率的相干频率转换。并且，他们还实现了工作波长的精确调控：通过控制芯片基底温度实现了频率转换匹配窗口的粗调，范围可达100GHz(吉赫)；基于前期光致微腔加热效应的相关工作，实现了MHz(兆赫)量级的精细调控。他们在实验中实现的1560纳米到780纳米波长的光子数转换效率最高可达42%，频率带宽可达250GHz。研究组进一步从理论出发，发现模式简并频率转换的信号还有可能获得一定的增益，这在之前的光学相干频率转换的研究中被忽略了。他们在实验上验证并预言可以通过对芯片的工艺参数的进一步调控实现效率超过100%的频率转换，同时实现信号的转换和放大。

审稿人对该工作给予了高度评价：“这对片上量子信息处理极其重要，转换效率的每一个百分比在这些应用中都至关重要。”

## 植物如何分配物质能量？ 科学家找到一般性规律

科技日报讯(把雯文 杜英)植物物质能量或生物量的分配模式是植物生态学的核心科学问题之一。不同环境条件下，植物如何定量将合成的有机物与工业端差异化需求，应用端利润可基本覆盖材料到制程的投入，代工体系有效支撑通用芯片的稳定供货及面向第三代半导体器件与电路的专业工程师群体的成长。

4月2日，来自兰州大学的邓建明团队在《国家科学评论》(National Science Review)上发表研究论文，提出了“生物与非生物因子调控植物生物量分配的一般性规律”。该文推导并建立了植物群落中个体生物量分配由植物个体高度、邻体竞争强度(密度)以及均降雨量和温度共同调控的一般性理论模型。

通过收集全球2841个森林群落数据对所建立的模型进行检验，该文得出以下发现。第一，树木叶比(即叶生物量/总生物量)主要受树高和密度以及年均降雨量和温度共同调控，而且叶比与植物个体高的-1次方呈正比，且树高对叶比变化的解释率最高。第二，树木地上-地下生物量比与树高、密度、年均温度、降雨量和土壤营养条件均无显著关系。第三，在一定科或种分类水平上，不论植物叶比还是地上、地下生物量分配比例的相对变异程度均与年均降雨量或年均温度的变异程度呈正比。同时，作者通过蒙特卡罗模拟分析，发现植物群落物种组成或物种多样性随地理环境或纬度梯度的变化，在相当程度上缓冲了全球尺度上植物生物量分配随环境或纬度梯度的变异程度。

近年来，邓建明团队围绕“不同环境条件下植物物质能量代谢与分配规律”开展了系列深入研究，取得系列原创性研究成果。此次研究成果，对理论生态学、植物学和植物生理学的发展具有深远影响和科学意义，而且对进一步了解和解释全球气候变化背景下尤其干旱地区生态系统的生态功能、生物多样性与稳定性以及生态修复等方面具有理论指导意义。

## 新技术可高效采收页岩气 并完成二氧化碳地下封存

新华社讯(记者柯高阳)我国科研人员提出一项利用超临界二氧化碳开采页岩气的技术，在提高页岩气采收率的同时完成二氧化碳气态的地下封存，有助于实现开采过程中的碳中和。

重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室主任卢义玉教授介绍，目前国际上页岩气开采主要采用水力压裂技术，单口页岩气井耗水量1.5万吨以上。但我国的陆相页岩气大多处于重点缺水地区，水资源缺乏制约页岩气的工业化开采。此外，我国页岩气储层黏土含量较高，黏土遇水会产生膨胀，导致储层改造效果差、采收率低。

针对这些问题，卢义玉研究团队基于超临界二氧化碳兼具气体的低黏度、高扩散性和液体的高密度等特性展开科研攻关，提出了“超临界二氧化碳强化非常规天然气高效开发与地质封存一体化”技术。该技术的原理是将二氧化碳变成介于气体和液体之间的超临界态，注入页岩层压裂页岩，构建页岩气流动通道，置换出页岩气。同时，页岩气开采过程中产生的二氧化碳和封存的二氧化碳相抵消，从而实现开采过程的碳中和。

目前，卢义玉研究团队与企业合作，在延长石油延安国家级陆相页岩气示范区开展了超临界二氧化碳压裂现场试验，取得圆满成功。试验证明，该技术在提高页岩气采收率的同时，能够有效节约水资源，同时为二氧化碳规模化封存提供新选择。