

军工材料是武器装备发展的物质基础，其技术发展既受装备的需求牵引，又遵循自身的科学发展规律。2019年是材料技术快速发展的一年。一方面，传统材料依然进行着不断改进，支撑近、中期装备应用；另一方面，以量子材料、超材料、智能材料及其交叉学科为代表的新材料新技术发展迅速，不断推进着前沿材料创新。此外，人工智能、大数据、计算材料等技术手段引领材料呈现井喷式发展态势，将所有尺度、所有类型的材料纳入集成数据科学，产生深远影响。

2020年1月13日，中国航空工业发展研究中心在北京组织专家召开了2019年度国外军用材料重大动向评选会。与会专家成立了评选小组，本着重大性、先进性、前沿性、基础性、共用性五大原则，从高性能金属材料、先进复合材料、特种功能材料、电子信息功能材料、关键原材料等五大领域共45条发展动向中遴选出了以下10条重大发展动向，供决策机构、科研单位和广大读者参考。

# 2019年度国外军工材料技术重大发展动向

## 帝人推出日本首个耐高温兼抗冲击的双马碳纤维预浸料



帝人耐280℃高性能双马碳纤维预浸料

传统双马预浸料存在两方面难题：一是性能上，提升其耐高温性能，通常会以牺牲其抗冲击性能为代价；二是成形工艺上，双马树脂自身的流动性也会加大模塑成形的难度。针对以上问题，日本帝人公司于2019年3月推出全日本第一款首款兼具高耐热性和高耐冲击性的碳纤维增强双马树脂预浸料。该预浸料玻璃化转变温度达到280℃，冲击后压缩强度（CAI）达到220兆帕，特别适用于生产航空发动机部件。同时，这款新的预浸料产品的线热膨胀系数较小，能够在低温和高温环境下保持较高的尺寸稳定性。通过调整配方中的树脂黏稠度，对树脂在流经模具中预制品时的速度进行控制，帝人成功地缩短了双马预浸料的固化时间。

## 稀土材料的开发和回收成为美欧高度关注焦点

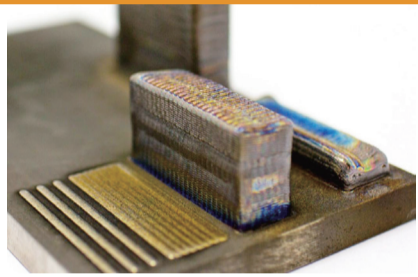


英国伯明翰大学推出稀土回收项目，计划在欧洲建立一条吨级规模的稀土磁性材料回收供应链

美国国防部在2018年10月发布《评估并加强美国制造业、国防工业基础和供应链弹性》报告要求保障美国的稀土供应。该报告明确了美国为这类材料提供强大且具有竞争力的供应链的必要性。2019年8月，美国负责采购和维护的国防部副部长劳德在一份新闻稿中表示，美国与澳大利亚正商谈联合开设一家加工国防用稀土的工厂。该计划旨在应对中方主导全球稀土市场，并采取措施限制一系列军用稀土出口的相关物资供应。美方表示，美国保障稀土供应的难点在于稀土加工的过程及相关设备，与澳大利亚合作是解决这个问题的有效举措之一。澳大利亚国防部发言人证实，澳大利亚和美国在包括稀土在内的关键矿产领域的合作从2018年就开始了。

2019年8月，英国伯明翰大学宣布，作为欧盟资助的地平线2020计划中的重点项目——“循环经济环境下的稀土磁性材料可持续回收、再加工和再利用”（SUSMAGPRO）的重要参研单位，获得了超过400万欧元的经费支持，建立从废料中回收稀土金属的试点设施。该回收设施将专注于回收由钕、钐和铁制成的磁性材料，关键技术是磁性材料废料的氢处理系统（HPMS）。传统稀土金属元素提取方法需要拆卸和去除磁性材料。HPMS工艺利用“氢爆”技术，将磁性金属合金分解成粉末，该粉末易于与其余组分分离，从而节约大量的时间、劳动力和成本。这种方法还可以在回收单一金属元素的同时，处理多个其他组分。该项回收技术对于欧洲完成一条完整稀土磁性金属材料回收供应链的开发目标具有里程碑意义。

## 美澳研究团队发现铜可强化3D打印钛合金零部件



铜强化3D打印钛合金零部件

增材制造的钛合金，通常会在3D打印冷却过程中形成柱状晶体，易造成变形或裂纹。与铝合金或其他常用金属不同，目前并没有已经商用的钛合金晶粒细化剂可供制造商用来有效地精细化微观结构，避免上述问题的发生。2019年12月，澳大利亚墨尔本皇家理工大学工程学院研究发现，3D打印钛合金不需要任何特殊过程控制或其他处理方式，就具有完全等轴的晶粒结构。这意味着晶粒在各个方向上都平等地生长产生牢固的结合，具有这种微观结构的合金可以承受更高的外部作用力，在制造过程中出现裂纹或变形等缺陷的可能性要小得多。新型合金可以提高制造商的生产效率，并允许制造更加复杂的零部件，是解决钛合金3D打印工程应用中材料组织结构不均匀问题的重要技术途径。

## 美国研制出轻量化大尺寸透明氧化铝陶瓷装甲



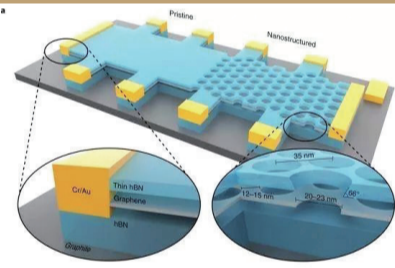
透明氧化铝陶瓷装甲视窗

透明陶瓷装甲具有优异防弹性能，重量和厚度仅为传统防弹玻璃的一半，目前已装备于美国陆军黑鹰和支奴干直升机。2019年7月，在美国空军研究实验室以及美国国防部制造科学与技术计划支持下，美国Surmet公司开发出一种氧化铝（AlON）陶瓷粉末，经过高温高压制成透明装甲材料，具有优异防弹性能、耐冲击性和耐久性。此前，最大的AlON视窗尺寸约0.26平方米。此次Surmet公司通过大量复杂的工序放大比例生产，得到了8平方英尺（约0.74平方米）的AlON视窗。研究人员表示，新工艺制造的AlON视窗轻巧且耐用，可使美军保持巨大作战优势。鉴于AlON优异的耐用性和抗冲击性，NASA有意将其应用于国际空间站的穹顶舱视窗。

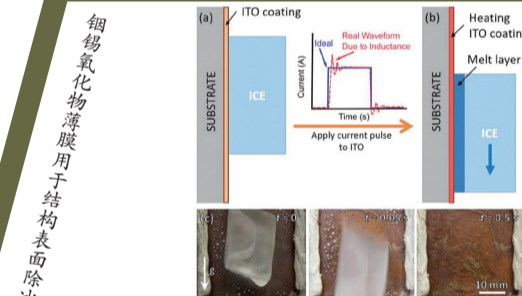
## 丹麦在利用石墨烯制造电子器件方面取得突破

氮化硼保护层下的石墨烯超小阵列结构示意图

石墨烯在制造晶体管和光电器件应用上面临的巨大挑战之一就是如何排列石墨烯结构从而构造出“诱导带隙”。为解决这个问题，2019年2月，丹麦技术大学的研究人员首先将石墨烯封装在另一种二维材料六方氮化硼中。六方氮化硼是一种非导电材料，用于保护石墨烯的固有特性。随后，使用一种被称为电子束光刻的技术，刻蚀出一系列密集排列的超小孔，精细地针对保护层氮化硼和它下面的石墨烯层进行自主式设计。这些小孔的直径约为20纳米，每个孔的间距仅有12纳米。每个小孔边缘的粗糙度小于1纳米（十亿分之一米）。这种结构设计将使得通过这样小尺寸石墨烯器件的电流比目前所能达到的水平还要高1000倍。研究人员通过结构设计，使得某些石墨烯结构中微妙的量子、电子效应，在设计密集孔阵列组成样式中留存了下来，从而实现了石墨烯的能带结构的控制，向创造尺寸极小的新电子产品迈出了一大步。



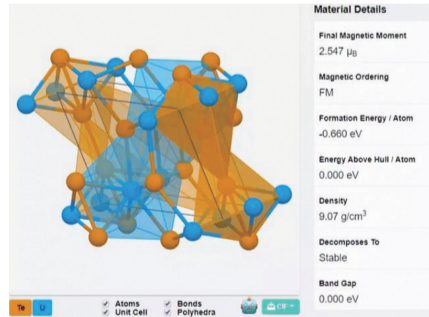
## 美国和日本联合开发结构表面快速除冰除霜技术



细锡氧化物薄膜用于结构表面除冰

传统的除冰除霜技术是将结构表面上的所有冰或霜融化，其效率低下的最大原因是除冰除霜时所用的大部分能量都用于加热系统内部的其他组件，而不是直接加热冰或霜，这会增加能耗和相关系统停机时间。2019年9月，美国伊利诺伊大学厄本那-香槟分校和日本九州大学联合开发出一种新方法，通过在结构材料表面涂一层细锡氧化物薄膜（ITO），在冰和结构表面交界处施加能量非常高的电流脉冲，形成水流层，使得表面冰或霜自然滑落。这种新技术只需要消耗不到传统除冰除霜能源消耗的1%，且所需时间不到传统除冰除霜时间的0.01%。测试过程在零下15.1℃至零下71℃的温度梯度区间内，分别模拟供热、通风、空调、制冷以及航空航天领域等使用环境。在所有测试项目中，该技术均以持续不到1秒电流脉冲实现了除冰除霜。该技术将是未来装备防除冰领域的重要应用方向。

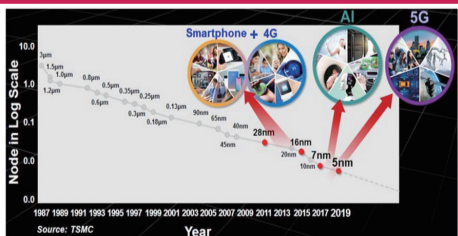
## 美发现二碲化铀超导材料或可成为量子计算机中的“硅”



UTe2的晶体结构及相关材料数据

拓扑绝缘体内部是绝缘的，但表面呈现超导特点，由此引出的“拓扑超导体”，则为量子计算机的逻辑电路设计提供了相对有效的材料。目前人们已经发现了很多种超导材料，大多数超导体是自旋单态。2019年9月，美国国家标准技术研究院与马里兰大学、艾姆斯国家实验室等联合研究发现了一种新型超导体UTe2（二碲化铀）具有一种罕见的自旋三重态，UTe2对磁场有异常高的抵抗力，能极大程度地减小量子计算中极易产生的误差。UTe2的特殊表现可能使其在新兴的量子计算机行业极具吸引力，很可能克服工业中的“量子退相干”问题，制造出可以让这种计算机的内存存储单元（即为量子比特）运行足够长时间的元件，以便在它们失去作为一个整体运行的微妙物理关系之前完成一次运算。这种材料有望扮演量子计算机中“硅”的角色，进一步推动量子计算机的发展。

## 台积电有望在2020年上半年实现硅基电子器件5纳米工艺



台积电5纳米制程工艺比竞争对手领先

台湾积体电路制造股份有限公司于2019年12月在旧金山举行的IEEE国际电子器件会议上宣布，台积电的5纳米工艺有望在2020年上半年实现大批量生产。与该公司利用193纳米浸入式光刻技术制造iPhoneX处理器的7纳米工艺相比，新工艺采用了13.5纳米波长的极紫外光刻技术，光刻步骤节省3步以上，器件速度提高15%，器件功率效率提高30%。芯片性能提升的部分原因在于，台积电首次将晶体管内部采用了硅基“高电子迁移率沟道”。目前，该工艺处于风险评估阶段，将其用于芯片设计后最初的静态存储器的平均良率约为80%，后期良率有望得到快速提升。

## 人工智能在新材料成分、性能预测方面成果卓著



机器学习算法主导的人工智能技术正加速材料研发

传统研发方法识别新材料，特别是用于下一代应用的高性能材料需要大量的试验试错及实验室实验。因此，研究人员总是在寻找捷径和方法来缩短传统材料发现的时间。

2019年2月，新加坡南洋理工大学与美国麻省理工学院、俄罗斯斯科尔科沃理工学院的一项联合研究表明，利用机器学习算法可以预测材料在应力性能的变化情况。研究人员利用神经网络算法，在六维应变空间高精度地预测了不同的应变量和方向对带隙的影响，从而确认最节能的应变路径，将金刚石转化为更为高效的半导体。此前麻省理工学院研究人员已经在某些硅芯片中引入了一定程度的弹性应变。在某些情况下，即使结构发生1%的变化，也可以使电子更快地穿过材料，从而将设备的运行速度提高50%。利用AI人们可能发现更多电子功能材料及特性，这些材料可以广泛大量的用于通信、信息处理和能源领域中。

2019年12月，日本东京理工大学创造了一种独特的机器学习方法，由正向和反向预测两个不同的预测步骤组成，从一个世界上最大的聚合物数据库PloyInf中抽取聚合物传热特性的小数据集，识别新的导热高分子材料。该方法能够识别导热聚合物——特别是三种被选择用于合成和加工的导热聚合物——并预测具有高性能。测试证实，这种新型聚合物的导热率高达每米0.41瓦/米开尔文——比典型的聚酰亚胺高80%。这种导热新材料可用于在一些关键的电子和其他应用中替代金属，更具成本效益。这项研究展示了在辅助寻找高性能材料方面，人工智能提供的解决方案比传统方式更具优势。

（胡燕萍 陈济彬 陈亚莉 黄培生 刘代军）