

编者按 为满足节能环保、智能制造、新一代信息技术等领域对战略性先进电子材料的迫切需求,2016年,国家重点研发计划启动“战略性先进电子材料”重点专项。实施过程中,该专项瞄准全球技术和产业制高点,培养了一批创新创业团队,培育了一批具有国际竞争力的龙头企业,形成了各具特色的产业基地。本报今起推出该项目优秀成果系列报道,展现该项目的攻关历程及其取得的重大突破。

# 材料上做文章 OLED屏幕将进入喷墨打印时代

关注国家重点研发计划  
“战略性先进电子材料”重点专项①

◎本报记者 金凤

轻、薄、功耗低、主动发光、无视角限制……在显示领域,有机发光二极管(OLED)因这些特性,被寄予厚望,已经成为智能手机显示屏的主流。

不过,现阶段的OLED面板普遍采用真空蒸镀制备工艺,其苛刻的工艺要求与高昂的成品价格,限制了其在更大尺寸显示产品上的大规模普及及应用。

## 如同打印文稿,将发光材料打成像素图案

“中国在信息显示领域长期处于落后追赶的境地,而以OLED为代表的第三代显示技术的诞生,为我们在显示领域的弯道超车提供了契机。”在南京工业大学先进材料研究院江苏省柔性电子重点实验室,课题牵头人秦天石教授一边说着,一边拿出两个装满OLED粉末的小瓶子。

这是他的课题团队正在研发的黄光OLED材料,在手电筒的光照下,瓶子内的粉末正发出耀眼的黄光。“该黄光材料可以提升显示面板的色彩饱和度,同时有效降低面板能耗。”秦天石说。

OLED显示技术是一种主动式发光技术,当驱动电压施加在红绿蓝三基色像素上时,显示面板会发出红绿蓝三色光,再通过不同排列组合产生人眼可视的全部色彩。与被动式液晶显示技术相比,OLED技术无需背光源,亮度高、能效低,可视角度大、色彩鲜艳,成为最有发展潜力的下一代显示技术。

## 百里挑一,筛选出最佳发光材料

相比蒸镀技术,喷墨印刷技术可大大提高生产效率和发光材料的利用率,显著降低制造OLED显示屏的直接成本,有效制备大面积OLED显示屏。

但是,搭建印刷OLED生产示范线,面临诸多挑战。这也是印刷OLED显示产业化立项的意义所在。

OLED发光材料是显示技术的源头活水。“目前成熟的OLED发光材料,主要是真空蒸镀工艺的小分子发光材料,并不一定适用于印刷工艺。因此,如何通过分子设计,用溶剂使OLED材料溶解成墨水,并兼容印刷制备工艺,是本课题需要攻关的难点之一。”秦天石表示,更重要的是,目前兼容印刷工艺的OLED材料,大部分都是日韩企业的专利材料,国内研发出来的,开发出具有中国核心技术优势的发光材料,迫在眉睫。

# 焊接机器人出马,磁悬浮列车焊缝探伤合格率100%

◎本报记者 过国忠  
通讯员 许加彬 王琴琳

多年来,在航空航天、交通、深海装备领域,一些非标准关键零部件需靠人工焊接。用中国中车集团有限公司相关专家的话来说,这些关键零部件焊接技术精度高,如达不到要求,将会造成零件加工报废或运行中发生事故。

2月8日,科技日报记者从江苏无锡锡山经济开发区科技部门了解到,该区无锡汉神电气股份有限公司何晓阳科研团队,针对我国高端制造业加工的难题,成功研发出新型手持激光焊接机器人,已在中国中车新型高速磁悬浮列车项目上成功应用,既解决了焊缝美观无缺陷问题,也使得后期处理不易发生变形,探伤合格率100%。

## 高速轻量化,对焊接技术提出更高要求

相关专家介绍,发展高速客车、地铁客车、

而喷墨打印可以在常温常压的环境下,在更大尺寸玻璃基板上快速连续地制备红绿蓝像素阵列,为制备大尺寸OLED显示屏创造了条件。然而,目前OLED印刷技术才刚刚起步,产业化印刷OLED还面临着诸多挑战。

前路漫漫,但曙光已现。近日,科技日报记者从科技部高技术研究中心获悉,“战略性先进电子材料”重点专项项目——国家重点研发计划8.5代印刷OLED显示产业化示范中的“基于产业化印刷材料器件与工艺开发”课题,已经取得一系列成果,例如开发出评测出超过10种面向印刷工艺的新型发光层、空穴传输层、电极层材料;制备出让像素点均匀分布,且耐受打印溶剂溶解的围栏材料;研发出膜表面粗糙度小于5纳米的大面积发光薄膜。

目前,OLED面板主要有两种制作工艺,一种是真空蒸镀工艺,另一种则是喷墨印刷工艺。

“这两种工艺有很大差别,主要在于制备OLED显示屏的装备和材料不同。”秦天石说,现阶段量产OLED屏幕主要是依靠真空蒸镀工艺来制备,即在高真空环境的腔室内,将OLED发光材料放在蒸发源上高温加热,材料受热升华成气体,再重新凝结到基板上形成OLED像素阵列。但蒸镀工艺也存在一些难以克服的问题,蒸镀过程中像素周围的掩膜版上会有很多材料残留,造成材料浪费和腔室污染。

“更重要的是,蒸镀装备的制造难度大、成本高,达到高真空环境需要更严格的条件,所以蒸镀工艺难以规模化制备大尺寸的OLED电视屏幕。即使个别厂商用蒸镀工艺制备出一些高端产品,其成本和价格也远超大众的接受能力。”秦天石说。

秦天石说。

“我们在研究中发现,目前大部分商用的发光材料都是基于稀土元素铕和钕配合物体系的,这两种元素在自然界分布稀少,原料成本极高。”

于是,团队尝试开发金属铂基发光材料,虽然铂属于贵金属,但市场价格比起以上两种稀土元素低了很多。此外,铂的化学稳定性比铕和钕好,这意味着做成显示器件的话,其使用寿命会比铕和钕基配合物材料更长。同时,铂基材料也更易于突破国外的专利壁垒。对此,他们在一点点摸索中寻找希望。

“例如,传统铕基发光材料利用的是一种六配位化学结构,我们最初也将铂基材料设计成六

轻轨车以及高速重载货车,列车的轻量化是提高列车速度的优选条件。

中车戚墅堰所副总工程师告诉记者,CRH380A高速动车组在京沪线上跑出了486.1公里的最高运营时速,刷新了世界高铁速度。如此高的转速,对材料和齿轮本身性能、箱体的密封可靠等,都提出了极大的挑战。

“目前,我国高速车体材料也通过普通合金钢材料,发展到不锈钢、铝合金型材。”无锡汉神电气股份有限公司董事长何晓阳说,材料的变更,对焊接技术提出更高要求,自然也就带动了加工技术的改进,激光焊接切割一体机的高新技术,也随之引进到铁道车辆的制造生产线中。

“高速运行的列车车体是高强度铝合金材料,目前依靠传统焊接设备已难以达到焊缝质量要求。”南京理工大学王克鸿教授说,而采用我国自主研发的手持激光焊接机器人,相较传统手工氩弧焊工艺,激光焊接速度更快,激光通过电磁场时光束不会偏移,能在真空以及特定气体环境中施焊,精准定位,可应用于大批量自



配位的,但其发光效率并不高。随着研究的深入,我们发现将其制备成四配位结构,材料可以发出很好的深蓝色磷光,发光效率是此前的3倍。”秦天石说,三年间,团队共设计开发了百余种发光材料,最终才制备出一款高效深蓝色磷光

## “强健”像素围栏,让发光材料指哪打哪

我们在手机上、电视上看到的画面,由许多肉眼难以察觉的彩色颗粒组成,这些颗粒就是像素点。每个像素点包括红绿蓝三种颜色,红绿蓝通过不同的发光组合,形成所有颜色。像素点体积越小、排布越紧密,形成的画面就越细腻、真实。

如何让发光材料形成一个像素,均匀地分布在显示屏幕上,对印刷工艺是一大挑战。

“喷墨印刷时,需要用溶剂将OLED发光材料溶解形成配方墨水,再将红黄蓝三种配方墨水按照一定的阵列分布,打印到相应的位置中。因此,在打印墨水之前,需要在基板上铺一层‘围栏’材料,从而使打印的每一滴墨水都准确进入预设的围栏中,实现高分辨率显示。而目前的围栏材料仍依赖进口,国产材料的溶剂耐受性差,在打印OLED墨水时,围栏容易被溶解,导致薄膜

## 均匀成膜,表面粗糙度小于5纳米

打印均匀度对于打印效果至关重要,围栏将融合了发光材料和溶剂的墨水,圈在一个个圆形的围栏中,却也迎来了另一个挑战——“咖啡环”。喜欢喝咖啡的人会发现一个有趣的现象,一滴咖啡蒸发后,会在液滴的边缘形成一个比中间区域颜色深得多的暗环,这种不均匀的沉积现象就是“咖啡环效应”。

当显示薄膜上出现咖啡环,将意味着显示的图像色彩不均匀,严重的话,这些区域无法显示图像。

“这就对墨水的配方、墨滴间的距离、基板与膜层的处理温度提出了很高的要求,为了让膜层的均匀性好一些,我们在两年时间里,尝试了三

## 提高焊接精度,让激光焊接装备替代进口

无锡汉神电气股份有限公司副总经理刘海军告诉记者,激光焊接技术属于精密制造的一种先进工艺。在国际上一些发达国家,很早就用在航空航天、船舶制造、轨道交通制造、钣金加工、汽车制造等行业上应用。之前,国内激光焊接技术一直还处于实验室阶段,投入使用的少量激光焊接设备,也主要依靠进口,价格昂贵。

“为打破激光焊接设备的技术壁垒,促进国内精密制造发展,我们从2008年起,就与科研院所合作,联合开发大功率激光焊接装备,起初主要针对船舶等特殊领域的应用需求,开发新型焊接设备。近10年来,我们以智能化理念为指导,集中科研力量,瞄准轨道交通进行激光焊接工艺及激光焊接智能设备研发,攻克了从材料到技术、工艺等多方面关键技术难题,终于研发

成功,替代了进口。”何晓阳说。

相关专家介绍,目前,新型手持激光焊接机器人是一种比较先进的连接技术,和传统焊接方法相比,其焊接技术的优点、优势非常明显:焊接速度快,表面成型美观;激光聚焦后,功率密度高;焊缝深度大,且焊缝强度高;既能在室温或特殊条件下进行焊接,还可焊接难熔的钛、石英等材料,有效提高了焊接精度和效率。

但在相关专家看来,目前,尽管我国在激光焊接领域已取得了新突破,但应用领域仍然有限,要实现多领域大规模应用,亟待通过深化协同创新,在更高功率的激光器光源稳定性上,以及焊接工艺及材料、焊接工艺对设备要求及焊接过程参数监测和控制技术等方面进行研究,提升全省激光焊接产业的核心竞争力。同时,要加快制定相关国家标准和出台鼓励焊接设备采购国产化的政策,更好地推动激光焊接产业的创新发展,为建设航空航天、交通、海洋强国,提供重要的装备技术支撑。

## 成果播报

## 超高温油气勘探 我国有了自己的“火眼金睛”

科技日报讯(记者翟剑)中国海油旗下中海油服2月19日宣布,由我国自主研发的235摄氏度、175兆帕超高温满贯测井系统“ESCOOL系统”,在渤海油田钻井作业中创造了5572米井深和193摄氏度并温的作业纪录,其成像质量达到国际主流设备水平。

中海油服表示,测井堪称“油气勘探之眼”。它是通过电缆将精密仪器下放到几千米的井下,利用声、电、放射性、核磁等高精度技术,将地层参数实时传输至地面,以达到发现油气藏、评价油气储量的目的。“ESCOOL系统”是中海油服自主研发的“三高”(超高温高压高速)网络化测井系统,融合了电缆高速数据传输和井下总线高速通信技术,最高可实现1Mbps的数据传输,能在复杂恶劣地质环境下准确获取地层各项参数,并实时上传到地面,让地下油气藏无所遁形。“如果说常规测井仪器是油气勘探开发的眼睛,那么超高温测井仪器就是在极端环境下仍能看清油气藏的‘火眼金睛’。”中海油服油田技术事业部电缆测井项目负责人黄琳如是说。

黄琳介绍,该系统在实现常规作业的基础上,有效提升了大数据量仪器的测井速度,缩短了作业时间,在当今高端电缆测井服务市场有着刚性需求。

为应对油气资源开发向深层高温高压进军所带来的挑战,2013年,中海油服启动了超高温测井系列仪器研制首期科研攻关,解决了现场急需的高温高压测井作业需求。2016年,成功研发出具有自主知识产权且技术指标为耐温205摄氏度、耐压140兆帕的ESCOOL超高温高压满贯测井装备,并于2018年9月在青海干热岩地质井(189摄氏度)圆满完成首次作业;与此同时,该系统持续加大信息化技术应用力度,开发了记录测井作业全过程的“黑匣子”监控系统,并可以将所有数据通过卫星网络实时传输到作业支持中心,大幅提升了作业效率和成功率。

截至目前,“ESCOOL系统”已在国内成功完成35井次作业,逐渐形成了品牌效应,为超高温高压油气藏测井提供了中国方案。据预测,未来5年,国内每年基于“ESCOOL系统”的作业量可达30井次,对国内油气增储上产具有重要意义。

## 精度高、可靠性高 电网“咽喉”设备实现实时监测

科技日报讯(记者翟剑)据中国电力科学研究院最新消息,由其自主研发的套管状态感知及预警系统,2月22日在1000千伏特高压泉城变电站成功投运,其中套管介电损耗因数的实验室测量误差小于±0.0003。至此,我国首次实现对特高压交流变压器套管运行状态的实时监测,并完全掌握了相关监测及预警技术。

中国电科院介绍,套管是电网的核心“咽喉”设备,其运行可靠性直接关系到电网安全。套管状态感知及预警系统好比人体健康监测仪,监测套管的实时运行状态,便于提前发现运行隐患,及时采取措施。但传统的套管监测技术和产品测量误差较大、抗干扰能力较弱、环境适应性不强;在特高压变电站中更会受到过电压、强电磁干扰的显著影响。国内外均无应用于特高压套管状态监测的先例。

中国电科院研发团队历时6年自主攻关,解决了强电磁干扰下末屏电流信号精确感知和末屏可靠接地“兼容”难题,攻克了系统频率泄漏、栅栏效应条件下绝缘状态精确测量等技术,开发了套管油状态多节点无线智能传感技术。研发的超高压交流变压器套管状态感知及预警系统不改变末屏接地方式,有效屏蔽强磁场影响,并具有高精度分析算法,硬件可靠性高,可以实时精确感知特高压交流变压器套管的介电损耗因数、电容量和末屏泄漏电流等绝缘状态参量。

## 高速列车 关键部件可以打印了

科技日报讯(记者刘志伟 通讯员徐小丹)2月9日记者从华中科技大学获悉,第三代同步辐射光源高分辨三维成像技术揭开了该校张海鸥团队“铸铝一体化金属3D打印”不为人知的秘密:微铸铝铝合金中缺陷尺寸和数量显著低于传统电弧增材,组织得到细化,韧性指标有明显提升。

近期,西南交通大学吴圣川教授将这一研究发表在金属加工领域顶级杂志《材料加工技术》上。

“这一结果表明‘铸铝一体化金属3D打印’应用于以高铁为代表的大型高端装备中的巨大潜力。”中车青岛四方机车车辆股份有限公司丁叁叁副总工程师介绍,当列车在高速行驶状态下,空气动力学作用急剧恶化,对材料及结构可靠性要求与既有技术显著不同。“铸铝一体化金属3D打印”技术所特有的组织通体细晶和基体高强韧等优势,可为未来超高速、长寿命地面交通装备制造提供全新方案。

基于该技术,张海鸥团队成功打印出时速600公里及以上磁浮列车悬浮架关键支撑部件,目前正与吴圣川教授制造或修复更高速度的高速列车铝合金齿轮箱,并合作开展损伤车轴和铝合金结构的表面修复及结构完整性评价。

“材料内部损伤演化及定量表征是重大装备服役中的瓶颈技术。”吴圣川说,长期以来,一直依赖于破坏性试验和表面观察方法推断材料疲劳程度,设计、制造以及服役评估都难以准确定量。近十年来,以同步辐射光源为代表的先进光源,突破这一技术的瓶颈,为了解重大装备的服役过程提供了“超级显微镜”。