



视觉中国供图

在光伏产业中，近几年钙钛矿炙手可热。其之所以能异军突起，成为太阳能电池领域的“宠儿”，离不开其得天独厚的自身条件。钙钛矿具有众多优异的光电特性、制备工艺简单、原材料来源广泛且含量丰富。除此之外，钙钛矿还可应用于地面电站、航空、建筑、可穿戴式发电器件等众多领域。

# 钙钛矿在太阳能电池应用上的喜与忧

## 走近超材料③

◎本报记者 陈曦

3月21日，宁德时代申请的“钙钛矿太阳能电池及其制备方法”专利公布。近年来，在国内相继出台的政策措施的支持下，以钙钛矿太阳能电池为代表的钙钛矿产业取得了长足的发展。那么什么是钙钛矿？钙钛矿产业化情况如何？还面临哪些挑战？科技日报记者就此采访了相关专家。

### 钙钛矿既不是钙也不是钛

所谓钙钛矿，既不是钙也不是钛，而是具备相同晶体结构的一类“陶瓷氧化物”的统称，分子式为 $ABX_3$ 。A代表“大半径阳离子”，B代表“金属阳离子”，X则代表“卤族阴离子”。这三种离子通过不同元素的排列组合，或者调整彼此之间的距离，可以呈现许多神奇的物理特性，包括但不限于绝缘、铁电、反铁磁、巨磁致效应等。

“根据材料的元素组成，可以将钙钛矿大致分为三类：复合金属氧化物钙钛矿、有机杂化钙钛矿、无机卤素钙钛矿。”南开大学电子信息与光学工程学院教授罗景山介绍，现在用于光伏的钙钛矿通常是后两种。

钙钛矿可应用于地面电站、航空、建筑、可穿戴式发电器件等众多领域。其中，光伏领域是钙钛矿的主要应用领域。钙钛矿结构可设计性强，具有非常好的光伏性能，是光伏领域近年来的热门研究方向。

钙钛矿产业化进程加速，国内企业争相布局。据悉，杭州纤纳光电科技有限公司首批5000片钙钛矿组件出货；仁烁光能(苏州)有限公司也正在加速建设全球最大的150兆瓦级全钙钛矿叠层中试线；昆山协鑫光电材料有限公司2021年年中，完成100兆瓦钙钛矿量产生产线建设并进行试生产；极电光能有限公司150兆瓦的钙钛矿光伏组件生产线已于2022年12月建成投产，达产后年产值可达3亿元。

## 可用于生物成像、药物递送、骨骼修复……

# 科学家为多肽仿生材料应用“画像”

◎本报记者 陈曦 通讯员 刘晓艳

“多肽仿生材料是指借鉴自然界中的天然蛋白质、病毒、生物矿物等的结构与功能设计特定的肽序列，进而通过非共价或共价作用力调控形成的具有特定结构与功能的一类生物材料。”3月27日，天津大学化工学院副研究员王跃飞向记者介绍。多肽仿生材料近年来备受学界和产业界关注。日前，王跃飞对多肽仿生矿化材料的合成机制、独特性质及其应用进行了系统介绍和讨论，并以通讯作者身份在国际期刊《化学学会评论》上发表了综述论文。

### 多肽仿生材料生物相容性好、种类丰富

由于多肽的组成结构与人体蛋白质有高度的相似性，作为一类内源性分子，其具有很好的生物相容性。此外，多肽的结构变化丰富。常见的组成多肽分子的氨基酸有20种，因此对于一条由30个氨基酸构成的多肽分子，就具有高达 $20^{30}$ 种不同的氨基酸的组成方式。

“随着肽链长度的增加，其组成方式将变得更为多样。不同的氨基酸有不同的物化性质和生物活性，因此通过改变多肽的氨基酸序列长度以及组成，可以获得

不同性质的多肽分子，满足不同的应用需求。”王跃飞说。

“由于多肽具有生物相容性好、结构多样等优点，且表面含有丰富的活性基团，因此可以制成多种多肽仿生材料。”王跃飞介绍。

其中多肽仿生矿化材料是近些年多肽仿生材料中发展较为迅猛的类型。仿生矿化是模拟自然界中生物的矿化过程，如骨骼、牙齿、贝壳等的形成，利用生物分子在温和条件下合成无机矿物。

王跃飞介绍：“多肽仿生矿化材料由于具有独特的光学、催化以及生物活性，在传感检测、生物成像、抗肿瘤、药物递送、牙齿和骨骼修复等领域均有广泛应用。”

### 多肽仿生材料创新研究层出不穷

近年来，在医药健康等领域，由多肽分子构成的水凝胶、药物载体等仿生材料同样得到了广泛的应用。王跃飞举例，多肽分子能够形成具有特定生物活性的超分子水凝胶，能够模拟体内细胞外基质的环境，促进细胞的黏附、增殖、迁移、分化等，可用于细胞培养、组织工程、再生医学等领域。目前已有数家公司推出了基于多肽水凝胶的产品，在软组织的创面处理、手术过程中使用的止血材料以及高端化妆品等领域实现了成功应用。

目前，多肽仿生材料在众多领域都

多肽仿生材料是指借鉴自然界中的天然蛋白质、病毒、生物矿物等的结构与功能设计特定的肽序列，进而通过非共价或共价作用力调控形成的具有特定结构与功能的一类生物材料。

现出新的研究成果。

在生物成像与检测领域，通过模拟海洋生物母中天然绿色荧光蛋白的结构和功能，王跃飞联合天津大学齐威教授设计了一系列富含苯丙氨酸、组氨酸或酪氨酸残基的仿生多肽。这些多肽能够组装成多色系的荧光纳米颗粒，发出覆盖整个可见光区域以及近红外区域的荧光色彩，在生物成像与检测等领域有着广泛的应用前景。

“在材料设计方面，精确控制多肽分子之间的组装结构和行为是领域内的研究难点。”王跃飞介绍，近年来，研究人员能够利用人工智能软件，设计成多肽的氨基酸序列，精确控制多肽分子之间的组装方式，从而极大提高了多肽仿生材料的

## 在光伏领域钙钛矿优势明显

在光伏产业中，近几年钙钛矿炙手可热。其之所以能异军突起，成为太阳能电池领域的“宠儿”，离不开其得天独厚的自身条件。

“首先，钙钛矿具有众多优异的光电特性，如可调节的带隙、高吸光系数、低激子束缚能、高载流子迁移率、高缺陷容忍度等；其次，钙钛矿制备工艺简单，可实现半透明、超轻、超薄、柔性等。最后，钙钛矿原材料来源广泛且含量丰富。”罗景山介绍。而且钙钛矿的制备对原材料纯度要求也比较低。

目前光伏领域大量使用的是硅基太阳能电池，可分为单晶硅、多晶硅、非晶硅太阳能电池。晶硅电池理论上的光电转化极值为29.4%，目前实验室环境最高能达到26.7%，距离转化的天花板已经很近了；可以预见的是，技术改进的边际收益也会越来越小。相比之下，钙钛矿电池的光电转化效率理论极值更高，可达33%，如果把两块钙钛矿电池上下叠在一起，理论转化效率可达45%。

而“效率”之外，另一个重要因素是“成本”。比如，初代薄膜电池的成本之所以降不下来，是镉、铟这些稀有元素在地球上的储量实在太少，结果是产业越发达、需求量越大，生产成本反而越高，始终无法成为市场主流产品。而钙钛矿的原料在地球上都有大量分布，价格也很便宜。

此外，钙钛矿电池钙钛矿涂层的厚度只需几百纳米，大约是硅片的1/500，这意味着对材料的需求量非常少。比如目前全球晶硅电池每年对硅料的需求大约是50万吨，若全部替换为钙钛矿电池，则只需要约1000吨钙钛矿。

在制造成本方面，晶硅电池需要将硅提纯到99.9999%，因此必须把硅料加热到1400摄氏度，融化成液体，拉成圆棒切片，再组装成电池，中间至少要经历4家工厂和两三天时间，能源消耗也更大。而如果是生产钙钛矿电池，只需要将钙钛矿基液涂在基板上，然后等待结晶即可，整个过程只用到玻璃、胶膜、钙钛矿和化工原料，在一家工厂内即可完成，全程只需45分钟左右。

“钙钛矿制备的太阳能电池具有优异的光电转化效

率，现阶段其转化效率已经达到了25.7%，未来可能会取代传统的硅基太阳能电池，成为商业主流。”罗景山表示。

## 推进产业化亟须解决三大问题

在推进钙钛矿产业化进程中，人们还需要解决3个问题，即钙钛矿的长期稳定性、大面积制备和铅的毒性问题。

首先，钙钛矿对环境十分敏感，温度、湿度、光照、电路负载等因素都会导致钙钛矿的分解和电池效率的降低。目前大部分实验室钙钛矿组件还达不到用于光伏产品的IEC 61215国际标准，也达不到硅太阳能电池10—20年的寿命，所以在传统光伏领域钙钛矿的成本依然不占优势。另外，钙钛矿及其器件的降解机制非常复杂，领域内对这个过程并没有非常清晰的认识，也没有统一的量化标准，这对稳定性的研究是不利的。

另一个主要问题是如何大面积制备。目前在实验室里进行器件优化研究的时候，使用的器件有效光照面积通常在1平方厘米以下，而到了大规模组件的商业化应用阶段，就需要对实验室的制备方法进行修改或替换。目前适用于大面积制备钙钛矿薄膜的方法主要是溶液法和真空蒸镀法。在溶液法中，前驱体溶液的浓度、比例、溶剂种类、存储时间等都会对钙钛矿薄膜的质量产生很大影响。真空蒸镀法制备的钙钛矿薄膜质量好、沉积量可控，但前驱体与基底之间又很难做到良好的接触。另外，因为钙钛矿器件的电荷传输层也需要大面积制备，所以在工业化生产中需要建立各层连续沉积的产线。总体来说，钙钛矿薄膜大面积制备的工艺依然需要进一步优化。

最后，铅的毒性也是需要关注的问题。目前高效的钙钛矿器件在老化过程中，钙钛矿会分解产生游离的铅离子和铅单质，这些铅一旦进入人体，将对健康造成危害。

罗景山认为，稳定性等问题，可以通过器件封装来解决。“如果在未来，这两个问题解决了，也有了成熟的制备工艺，也可以把钙钛矿器件做成半透明玻璃或者做在建筑物表面实现光伏建筑一体化，或做成柔性可折叠设备用于航空航天等领域，让钙钛矿在太空无水无氧的环境下发挥最大作用。”罗景山对于钙钛矿的未来充满信心。

## 寻材问料

### 抗水树聚丙烯绝缘材料为电缆安全保驾护航

◎本报记者 叶青 通讯员 孔德淇 丘映丹 张育宾

3月28日，科技日报记者从中国南方电网有限责任公司(以下简称南方电网公司)获悉，国内首条10千伏抗水树聚丙烯环保电缆近日在广东省东莞市成功投运，标志着面向南方地区湿热运行环境的电缆绝缘材料研究取得突破性进展。

电力电缆作为传输电能的重要载体，广泛应用于城市地下电网、过江海水下输电线等。随着城市化进程加快以及海上风电等可再生资源的开发，电力电缆的应用规模不断扩大。其中，目前高压电缆绝缘材料主要采用一种名为交联聚乙烯的热固性材料，最高工作温度仅为90摄氏度，限制了电缆的输送容量，且电缆退役后产生的固体废物难以回收，造成环境污染和资源浪费。

为加快电力装备绿色低碳创新发展，南方电网公司将目光投向环保型绝缘材料，联合南方电网科学研究院有限责任公司、清华大学、中石化(北京)化工研究院有限公司等单位，采用链调控及接枝改性方法，改变聚丙烯分子链结构，获得综合性能优良的抗水树聚丙烯绝缘材料，并借此研制出具有低生产能耗、高运行温度、可回收利用等特性的环保型绝缘高压电缆。据了解，此次投运的电缆位于东莞220千伏培厚变电站成田二线泗沙支线，总长约200米。

“南方地区降雨偏多，电缆沟进水，水分侵入电缆绝缘层情况较为普遍，电缆长期带电运行容易导致水树现象，引起绝缘层降解甚至击穿，威胁电网安全。”南方电网广东电网电力科学研究院输电所专家余欣告诉记者，该电缆绝缘材料还可抑制绝缘层中的水树生长，降低中压电缆的故障发生率。本次选取进行电缆示范敷设的东莞市沙田镇新建公用箱变工程临近河道、鱼塘，地下水位较高易浸没电缆本体，这也有助于进一步验证抗水树聚丙烯绝缘材料电缆在湿热、水浸条件下运行的可靠性。

### “化学剪刀”置换元素另辟蹊径创制MAX相材料

◎洪恒飞 高晓静 本报记者 江耘

用一把特制工具，不需要拆解整个魔方，就能巧妙地替换其中的方块组件，在微观材料领域，类似的工具悄然成真。

3月27日，科技日报记者从中国科学院宁波材料技术与工程研究所获悉，该院黄庆研究员团队联合美国德雷塞尔大学和瑞典林雪平大学科研人员，提出一种利用路易斯酸熔盐和还原性金属作为“化学剪刀”的插层策略，创制出了更多常规合成路径无法实现的新型MAX相材料和MXene材料。相关研究论文发表于《科学》杂志。

MAX相材料是指一类具有六方晶体结构的纳米层状化合物，由元素周期表上的M、A、X三类元素构成，因此被统称为“MAX相”。其晶体结构由过渡金属碳氮化物层(MX层)和A位原子层交替堆叠而成，从而兼具金属材料与陶瓷材料的特性，在高热电导、高温加热元件、涡轮机叶片、耐磨涂层等领域具有极大的应用前景。

据介绍，MAX相材料在抽掉A元素之后会衍生为一种新型二维碳氮化物材料MXene。MXene材料具有与石墨烯相似的原子排列方式，而且晶格组分和表面端基丰富可调，在光电器件、电化学储能、电磁屏蔽、表面催化、分离膜等领域极具应用潜力。

已有研究证明，MAX相材料存在A位原子晶格位精确置换行为。该联合团队科研人员介绍，精确调控MAX相材料和MXene材料二维层间的组分和结构，是制约其实现特定功能应用的重大挑战。“打个比方，通过调控组分、结构来实现特定功能，就像把三明治中间的一层换掉，口味和营养价值就不同了。”联合团队科研人员说。

在此项研究中，路易斯酸熔盐和金属元素这两把剪刀各有妙用。其中，路易斯酸熔盐剪刀具有氧化性，用于剪裁MAX相材料中的金属原子；金属元素剪刀具有还原性，用于剪裁MXene材料中的阴离子端基。打开MAX相材料或MXene材料的层间，相当于转动魔方的中间方块；然后引入不同的客体插层物质，即金属原子和阴离子等进行层间插层，相当于将另外的特定方块放入魔方中间方块原有位置。

联合团队利用“化学剪刀”策略辅助的结构编辑方法，最终得到了一系列A位元素含有传统元素(铝、镓、铟和锡)和非传统元素(铋、铊、铁、钴、镍等)的MAX相材料。

黄庆介绍，非传统A位元素的引入，如磁性元素和贵金属等，有望将MAX材料的合成研究从高温结构领域拓展到磁性、光电、催化、超导等功能应用领域。

### 专家齐聚北京 号脉碳化硅纤维产业化发展

科技日报讯(记者华凌)3月28日，科技日报记者获悉，由中国复合材料学会指导、湖南泽睿新材料有限公司(以下简称泽睿新材)主办的“我国掺杂系列碳化硅纤维产业化应用研讨会”日前在北京召开。国内掺杂碳化硅纤维研制生产、应用领域的专家和学者，深入研讨了掺杂系列碳化硅纤维在前沿新材料领域的发展及其多样化、多场景应用的可能性。

“碳化硅纤维是制造航空发动机、燃气轮机热端部件的重要材料。”中国科学院院士李贺军表示。碳化硅纤维是一种以碳和硅为主要成分的高性能陶瓷材料，具有高温抗氧化性、高硬度、高强度、高热稳定性、耐腐蚀性和密度小等优点，是最为理想的航空航天耐高温、增强和隐身材料之一。

此外，北京科技大学的专家表示，在耐火材料中加入碳化硅纤维，制备的耐火陶瓷将有非常广泛的应用前景。

中南大学教授、泽睿新材董事长黄小忠介绍，欧美等地区的发达国家已经在航空发动机、航天热结构、核电等领域开展了对碳化硅纤维的广泛应用。我国碳化硅纤维产品性能、产业规模发展较慢，产品价格始终居高不下，严重影响了碳化硅纤维的规模化应用。未来，我国应继续加大科研投入、持续创新，不断推动碳化硅纤维产业的发展。