

香山科学会议上，专家提出—— 以材料发展促激光产业变革

◎ 实习记者 沈唯

“固体高功率和短波激光是满足国家重大战略需求、支撑国民经济发展的‘国之重器’，是科技基础前沿、高端制造业发展的‘动力源泉’。”在10月14日—15日举行的香山科学会议第754次学术讨论会上，会议执行主席、中国科学院大学教授樊仲维如是说。

我国以非线性光学晶体、激光晶体为代表的人工晶体处于国际领先地位，是我国发展固体激光技术和激光产业的优势所在。我国激光产业从晶体材料到激光器再到应用技术的链条逐步发展完整，然而，整个激光行业仍存在需要解决的科学问题，我国也依然面临着亟须突破的技术难题。

此次会议上，与会专家围绕长期制约固体高功率和短波激光发展的主要问题开展基础理论和新方法研讨，梳理固体高功率和短波激光器实现高功率和高效率工作的新途径，优化完善我国固体高功率和短波激光技术发展路线图，为我国自主发展高功率激光以及短波光源提供有力的技术支撑。



视觉中国供图

体的发现，有望解决电力传输过程中的废热损耗问题。樊仲维表示，受超导现象的启发，未来如果能够发现“超热导”激光增益介质材料，就能实现激光热量的瞬态散逸，彻底解决激光器的废热问题。

寻找“超热导”激光介质材料

激光功率增加的过程总是伴随着热能，而热能往往无用且有害。“激光的本质是微观粒子的有序运动，而热是微观粒子的无序运动，高功率激光的发展史就是一部与废热斗争的历史。”国防科技大学教授许晓军说。

激光的产生必须选择合适的增益介质。对增益介质产生的废热进行热管理是高功率激光行业普遍面临的难题。要解决这一问题，一方面可以通过选择掺杂离子减少量子亏损，另一方面可以提升增益介质的散热能力。

在热量传输的过程中，增益介质材料的热导率是最为关键的物理参数。在目前所用的激光增益介质材料中，玻璃材料的热导率较低，晶体材料如常用的YAG由于具有有序的周期性结构而热导率较高。

选择高热导率的晶体作为激光增益介质材料，是发展超高热导率激光材料的思路之一。与会专家介绍，金刚石是目前已发现的热导率最高的固态物质。同时研究发现，具有高热导率的晶体的晶体结构主要为金刚石型或类金刚石型，其室温热导率较目前常用的激光增益介质材料高约2个数量级，金刚石有潜力成为“终极”激光增益介质材料，且已用于扩展波段、承载大功率的拉曼晶体（利用受激拉曼散射这种非线性光学效应来实现激光频率转换的晶体）。

高热导率使得金刚石器件可以实现高功率工作而无需过分担心散热问题，具有优异光学和热学性能的金金刚石有望实现大功率激光技术的跨越式发展。目前，我国已开始金刚石大功率激光增益介质的初步探索，并实现将稀土离子掺入金刚石晶体。

但基于金刚石等晶体的激光增益介质材料仍存在两大研制难题。一方面这些材料熔点高，难以通过成熟的熔体法生长，其晶体的大尺寸制备本身存在困难；另一方面，材料组成的离子半径小，与稀土或过渡族金属离子的离子半径差异大，激活离子难以掺入，导致掺杂浓度极低，不具备使用价值。

1911年，荷兰物理学家海克·卡末林发现了超导现象，即导体在某一温度下电阻为零的状态。超导

破解激光调控元件辐照损伤难题

在高功率激光系统中，有数量巨大、种类繁多的光学元件对激光光束进行时空调控，典型元件包括光学透镜、反射镜、偏振器件和光栅等。这些光学元件在激光辐照下的损伤问题直接影响着激光系统输出功率的提升。樊仲维表示，目前，研究人员主要通过优化基质材料、提升材料处理工艺等方式提高元件的抗损伤能力，进而提升我国高功率激光器输出水平。

同济大学教授王占山介绍，在材料优化方面，熔石英因其硬度高、弹性模量大、热膨胀系数高、耐高温、化学性能稳定，在大光谱范围内具有优异的透射性能和抗强激光损伤能力，是目前高功率激光系统中大口径光学元件选用的主要材料。

在提升材料处理工艺方面，激光调控元件表面通常镀有高损伤阈值薄膜，可通过加镀保护层和缓冲层、掺杂光学材料、对薄膜表面进行微结构处理等方法来提高薄膜的抗损伤能力。另外，已有实践表明，用低于光学元件损伤阈值的激光对元件表面进行预处理，也可以有效提高元件的抗损伤能力。

樊仲维表示，在重大工程的牵引下，我国在若干种光学调控器件抗损伤技术方面已达到国际先进水平，但目前技术在推广应用方面还有待提高。开展标准化技术研究，通过产学研用合作，将已经形成的技术工艺进行固化和规范，形成系列标准，在有效保护知识产权的基础上进行应用推广，将有利于国内整体行业水平的提升。

保持传统晶体材料优势的同时实现再突破

紫外/深紫外等短波长激光因具有波长短、光子能量高等特点，可用于非常精确的材料加工，使热

影响区最小。还可引发光化学作用，直接导致材料化学键断裂、重组，生成新物质，在时间、空间、能量分辨率和自旋分辨上具有明显优势，在诸多领域有重要应用价值。

“目前，以高功率可见、近红外全固态激光为基频光源，通过非线性光学晶体的多级变频技术产生深紫外激光的非线性光学晶体变频方案，是获取实用深紫外激光光源的有效途径。”樊仲维介绍。

20世纪八九十年代，我国著名材料科学家陈创天院士带领团队运用阴离子基团理论，预测无机晶体数据库中的KBBF是一种优秀的深紫外非线性光学晶体。此后该团队联合众多科学家在激光测试和晶体生长方面取得突破，使我国在深紫外KBBF晶体生长方面国际领先，也使中国成为世界上唯一能研制实用化深紫外全固态激光器的国家。

与此同时，深紫外全固态激光器研究仍存在倍频晶体单一、生长尺寸小、转换效率低等问题。一方面，研究人员在继续探索晶体生长工艺以及非线性光学性能超越KBBF的新晶体；另一方面，也在尝试开发基于深紫外全固态激光源的先进仪器，将我国在短波晶体方面的优势拓展到器件及集成系统方面。

随着应用领域的不断扩展，实现高功率、大能量、高效率及性能精密调控成为紫外/深紫外激光发展的必然趋势。研制具有自主知识产权、高转换效率、无层状生长习性的优质变频晶体，实现短波长激光输出，成为当前深紫外全固态激光技术的重要发展领域。

在保持我国传统晶体优势的基础上，研究者们希望探索出制备高效紫外/深紫外激光材料的新思路。中国科学院新疆理化技术研究所研究员潘世烈介绍，我国提出了全波段相位匹配新思路及氟化设计策略，并成功研制了新型非线性光学晶体GFB及系列新型氟化硼酸盐深紫外非线性光学晶体。未来科研人员还有望在人工智能+数据新范式驱动下实现新材料的精准预测设计、基于自动化生长技术开发大尺寸晶体生长，在光学性能和尺寸等方面突破紫外/深紫外晶体材料的研究瓶颈。

与会专家建议，在目前通过近红外波段多次倍频产生紫外光源的基础上，重视发展可见光波段的泵浦光源和激光晶体，是高效产生紫外光源的创新方式。樊仲维认为，能否借鉴超材料相关技术，提高光学器件对极紫外波段的调控能力也是一个有待探索的技术问题。

寻材问料

可拉伸导电水凝胶 让传感器伸长率达900%

科技日报讯（记者叶青 通讯员李 晓芝）记者10月15日获悉，广东省科学院化工研究所研究员曾炜团队联合五邑大学副教授温锦秀，在可拉伸导电水凝胶用于应变传感研究方面取得新进展。该相关研究刊发于《材料化学杂志C》。

柔性应变传感器作为可穿戴设备的一个核心组成部分，在个人健康管理、运动检测和电子皮肤等领域得到了广泛应用。导电水凝胶具有优异的柔韧性、拉伸性和生物相容性，是一种潜力巨大的柔性应变传感器候选材料。然而，水凝胶应变传感器在大应变（指形变量大于30%）内恢复性差的问题有待解决。

研究团队采用物理交联和化学交

联的方式制备双网络水凝胶。通过聚丙烯酰胺构成的化学交联网络保证水凝胶的机械强度，将二价钙离子与海藻酸钠中羧基的络合作为物理交联网络，赋予水凝胶优异的恢复性和高灵敏度。组装后的水凝胶传感器在可拉伸性和灵敏度等方面表现出优异的性能，其伸长率达到900%，响应时间短、电导率高、灵敏度好、抗疲劳性强。

“将水凝胶应变传感器粘贴在手指上或身体的不同部位，设计采集电路，连接微型单片机，将采集到的传感信号上传到上位机进行显示，可实现良好的数据采集效果。”曾炜表示，该研究工作为水凝胶应变传感器在人体运动监测方面的应用提供了一个新思路。

高性能液体橡胶首次实现国产化

科技日报讯（记者操秀英）记者10月15日从中国石化获悉，中国石化茂名分公司5000吨/年液体橡胶装置近日成功产出合格产品——高频覆铜板用液体橡胶。该装置采用的是中国石化北京化工研究院自主研发的技术，它的顺利投产标志着我国高性能液体橡胶首次实现国产化，将为我国信息产业安全提供关键原材料支撑。

据介绍，高频覆铜板是应用于高频电子电路的超低介电损耗电子电路基材。高性能液体橡胶是高频覆铜板主要基材之一的优选材料，由高性能液体橡胶制备的高频覆铜板具有低介电常数、低介电损耗和低吸水性等特性，信号传播速度快，传输过程不失真。



工作人员展示高频覆铜板用液体橡胶。 中国石化供图

新型“分子阻塞”凝胶 保护鸡蛋从1米掉下不破裂

科技日报讯（记者史俊斌 通讯员崔可嘉）记者10月15日从西安交通大学获悉，该校化学学院“智能高分子”团队吴宥伸副教授和张彦峰教授等提出了“分子阻塞”超分子机制，设计并制备了系列新型“分子阻塞”凝胶。相关研究成果近期发表于《先进材料》期刊。

近年来，凝胶材料因具有灵活的力学特性与丰富的功能，受到极大关注。然而，凝胶材料面临着溶剂易迁移、稳定性低的瓶颈问题。吴宥伸和张彦峰从机械互锁超分子原理中汲取灵感，提出了“分子阻塞”超分子机制，利用溶剂分子与交联网状结构之间的尺寸差异带来的阻滞，有效抑制溶剂在凝胶内的迁移。通过设计和合成分子尺寸超过1.4纳米

的液态支链柠檬酸酯，并将这种大体积分子作为溶剂与交联聚脲原位聚合，制备获得系列新型“分子阻塞”凝胶。

吴宥伸介绍，“分子阻塞”凝胶具有可与普通聚合物或弹性体相媲美的卓越稳定性，可储存10个月而无任何形貌或力学性能改变，并能耐受高温烘烤，保持质量和性能稳定。特别是其杨氏模量能够在1.3吉帕至30千帕的大范围内连续调控，变化幅度创纪录地达到了4.3万倍，有效覆盖了现有交联树脂、塑料、弹性体和凝胶的范围。该材料具有高阻尼、抗冲击特性，最大阻尼系数达1.9。新型“分子阻塞”凝胶可有效保护鸡蛋从1米高处掉落而不发生破裂，在诸多领域具有重要应用潜力。

一体化气体扩散层 助氢燃料电池提升性能

◎ 本报记者 张晔
实习生 普京文

质子交换膜燃料电池即氢燃料电池由于具有高效、环境友好、工作条件温和等优势，一直以来备受关注。但目前其面临气体传质和水管理薄弱的问题，导致体积比功率较低。日前，记者从中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所获悉，该所周小春研究员团队利用激光雕刻技术，以东丽碳纸为基材，设计制备了具有波形流道和微通道的新型一体化气体扩散层。其具有丰富的多孔结构，具备优异的气体传质和水管理能力，可提升质子交换膜燃料电池的性能。近日，该成果论文发表在《国际期刊《科学进展》》上。

质子交换膜燃料电池，由流场板、气体扩散层、微孔层、催化层、质子交换膜等组件构成，可用于电动汽车、电动自行车、电动三轮车等交通工具以及小型发电站等。气体扩散层位于流场板

和催化层之间，在燃料电池中起着导电、支撑膜电极、传质、水管理的作用。在质子交换膜燃料电池工作时，反应气体经气体扩散层传递到催化层，催化层生成的水经气体扩散层排出。而反应气体的传质和水的排出直接影响着膜的电极性能，较差的气体传质和水管理能力都会导致膜电极性能的降低。

目前，气体扩散层通常是由基底层和微孔层构成，其中构成基底层的材料一般是碳纸、碳布等。周小春团队经过多年积累，从燃料电池结构入手，经过不断调试和优化，最终以碳纸为基材，利用激光雕刻的方法在碳纸上制备出了流场结构，从而得到了新型一体化气体扩散层。这种新型一体化气体扩散层将传统质子交换膜燃料电池中的流场板和气体扩散层的功能合二为一，能有效解决传统燃料电池传质和水管理薄弱的问题。未来，团队希望能继续在一体化气体扩散层领域进行深入研究，并将其广泛应用于质子交换膜燃料电池和其他能量转换器件中。

仿生低碳建筑材料既绿色又耐用

科技日报讯（记者陆成宽）10月15日，记者从中国科学院理化所获悉，受沙塔蠕虫筑巢过程启发，该所研究人员在低温常压条件下，制备出力学性能优异的仿生新型低碳建筑材料。该研究为发展新型低碳建筑材料提供了新思路。相关研究成果在线发表于《物质》杂志。

传统水泥建材的生产不仅能耗大，而且还会排放大量二氧化碳。因

此，发展新型低碳建筑材料，特别是基于天然原料的低碳建筑材料，对于降低建筑领域碳排放量具有重要意义。近年来，国内外开展了大量的研究工作，提出多种用于构筑建筑材料的基于天然原料的粘结剂，比如生物高分子粘结剂、细菌矿化粘结剂及酶矿化粘结剂等。

“然而，目前利用各类天然基粘结剂粘结沙粒及其他固体颗粒，所形成的

块状建筑材料的强度普遍较低，难以满足实际应用需求。”论文通讯作者、中国科学院理化所研究员王树涛说。

自然界中，沙塔蠕虫可通过分泌同时含有正电性蛋白与负电性蛋白的黏液粘结沙粒构筑坚固的巢穴。“受此过程启发，我们将由正电性季铵化壳聚糖与负电性海藻酸钠形成的仿生天然粘结剂，用于沙粒、矿渣等各类固体颗粒的粘结，在低温常压条件下，制备

出高强度的仿生新型低碳建筑材料。”论文第一作者、中国科学院理化所博士生徐雪涛说。

王树涛表示，该新型低碳建筑材料的抗压强度为17兆帕，达到了常规建筑材料的要求标准。更重要的是，该仿生新型低碳建筑材料具有优异的抗老化性能、防水性能以及独特的可循环利用性，在低碳建筑领域具有巨大应用潜力。

生物碳含量达76%以上

全新生物基氨纶材料问世

科技日报讯（记者金凤 通讯员朱琳）10月15日记者获悉，南京工业大学（以下简称南工大）郭凯教授团队近日与连云港杜钟新奥神氨纶有限公司、苏美达轻纺国际集团携手设计并开发出全新生物基氨纶材料，该材料各项性能达到优等品级。项目还开发形成了三个牌号的生物基氨纶新品种，相关专利的新结构已获授权国内外发明专利保护。

纺织服装行业素有“无氨不成布”

的说法。氨纶被誉为纺织品中的“味精”，全球含有氨纶纤维的纺织品产值每年超过3300亿元。

郭凯介绍，与常规氨纶相比，生物基氨纶取代不可再生的石油基原料，采用可再生的生物基为原材料，具有环境友好、原料可再生、生产碳足迹少、可降解等优势，是国际纺织材料领域的重点在研产品。然而，现有的美国和韩国同类产品价格极高，生物碳含量低于40%。

“常规的制备生物基氨纶的思路是以生物基的聚四氢呋喃来制备，其工艺路线长，产品成本高。我们利用全新的生物基原料和氨纶制备思路，经过分子结构设计和聚合工艺改造后，让生物基氨纶保持了与传统莱卡纤维相同的性能参数，生物碳含量达76%以上。”该项目团队成员、南工大教授孙戒介绍，氨纶纤维对纺丝原料和产品性能的要求极为苛刻，纺丝原液黏度要适中，所纺出来的纤维在伸长率、回复率、张度、张

力衰减率等方面均要达标。研究团队经过近5年的联合攻关，数百次调整实验方案、技术配方、工艺路线，才开发出这款生物基氨纶新材料。

郭凯介绍，为了进一步加快生物基氨纶产品工业化进度并加大市场推广力度，团队日前联合连云港杜钟新奥神氨纶公司、苏美达轻纺国际集团和南京先进生物材料与过程装备研究院，正在就“生物基氨纶研发、工业化及推广”项目进行进一步合作。