

# 超材料:科技突破新机遇

田恬

《科技导报》编辑部,北京 100081

**摘要** 超材料是一类具有天然材料所不具备的超常物理性质的人工复合材料,这类材料的独特性能来自于它的人工结构而非材料本身。本文综述了主题为“超材料:科技突破新机遇”的中国科协第99期“新观点新学说学术沙龙”的多方观点,介绍了超材料的内涵和外延、研究现状,展望了超材料的发展方向。

**关键词** 超材料;左手材料;光子晶体

超材料是一项新兴的国际重点发展领域,得到美国、欧洲等发达国家的重视和支持,美国国防部就把超材料列为一个颠覆性基础领域。随着中国“十三五”规划纲要的实施,超材料也被列为目前应大力发展的领域。2015年6月27—28日,主题为“超材料:科技突破新机遇”的中国科协第99期“新观点新学说学术沙龙”在浙江省杭州举行(图1)。本次沙龙由中国复合材料学会承办,40余位分属材料、力学、电子、纺织、光学、数学等不同学科领域,来自高校、科研单位和企业的专家学者参加沙龙活动,共同探讨超材料行业的研究

现状与发展趋势(图2)。本文根据中国科协第99期“新观点新学说学术沙龙”速记整理。

## 1 超材料的内涵和外延

2000年,美国加州大学圣地亚哥分校的物理学家戴维·史密斯和同事首次向公众展示了“超材料”的神奇魔力:他们利用微波技术把一个直径5 cm的铜制小圆筒成功地隐藏起来。其实,英国帝国理工学院的约翰·潘德瑞爵士才是“超材料”的发明者。20世纪90年代中期,潘德瑞进行的实验就证明,一排细小的铜线和铜环对微波的折射率为

负数,而所有天然材料的折射率都为正,并在此基础上提出了负折射理论。潘德瑞认为,人眼之所以能看见物体,是因为光线反射的缘故,而未来纳米技术的发展,使科学家能够研发出一种改变光线方向的材料,这就是“超材料”。

从材料学角度对超材料下定义可以认为,超材料是一类具有天然材料所不具备的超常物理性质的人工复合材料,而材料的独特性能来自于它的人工结构而非材料本身。这类材料具有人工制造出来的单元结构,功能特殊并具有超常的物理性质,包括左手材料、光子晶体等。其中左手材料是一类介电常数和磁导率同时为负数的材料,具有反向波、负折射系数等反常物理特性。左手材料虽然物理本质是等效连续介质,但实际上都是各种人工金属结构,物理特性决定于结构参数而非组成材料的特性。直接利用功能材料的本征物理特性产生负电磁参数进而获得左手特性,可以大大丰富左手材料的物理特性,并且将其跳出超材料设计的范畴,是左手材料领域中的特色研究领域。光子晶体是一种人工有序微结构材料,其介电常数在空间周期性变化,且变化周期与光波相当。该材料具有可以控制和抑制光子运动的特性,在光学器件、显示、信息、新能源和国防等诸多领域有着广阔的应用前景。



图1 中国科协第99期“新观点新学说学术沙龙”专家合影  
(图片来源:中国复合材料学会)

收稿日期:2016-04-11;修回日期:2016-04-21

引用格式:田恬.超材料:科技突破新机遇[J].科技导报,2016,34(18):79-80;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.18.008



图2 中国科协第99期“新观点新学说学术沙龙”会场  
(图片来源:中国科协学会学术部)

## 2 超材料的研究现状

超材料发展到今天,越来越有工业化背景,从微观角度看,超材料的细微结构通常通过纳米技术来实现,但具有可调性差、自由性差、成本较高等问题;从宏观角度来看,如果可以通过传统的加工方法,加入纳米技术构建的超材料结构单元,就可以实现超材料的复合性能。

目前超材料可以用在电磁领域、光学领域、声学理论、热学理论,应用行业包括通信行业、医疗行业、航空航天行业、军工行业、集成电路(IC)行业,例如红外线雷达、吸波材料、纺织涂层等等,超材料还有很大的发展空间。从电磁也就是就是微结构的角度对超材料进行理解,再从电磁波进行推广,可以衍生出编码超材料、数字超材料和可编程超材料。从航天工程实践等出发,目前进行的研究有有序微结构,包括填充材料的光晶体,当填充不同材料后,光晶体有了很多灵活性,加入电场调控,这样就可以做成人们想要的材料。航天领域的探索还包括具有激光防护作用的智能热控材料。光子晶体在红外波段同时具有高反射率和高辐射率,可作为高超声速飞行器的防热材料。超材料在通信、隐身领域也有很多重要的工程应用。这里面主要包括了隐身和

电磁波的波数汇聚方面的东西,在实物方面就体现为天线、隐身装备等。以陶瓷基为基础的超材料目前也有了一定的研究进展,其发展方向主要是,提高材料的强韧性,实现纳米吸波界面的效应,实现抗氧化、强韧、宽频吸波型陶瓷基复合材料。

从宏观角度上来说,影响超材料领域发展的主要有两方面的技术,包括计算技术和微加工技术。计算机是指从需求和用途出发,逆向把超材料的内部结构设计出来,计算出来的过程;而微纳加工技术则是把计算产物实体化的技术。

超材料作为新兴的学科,从基础理论到应用,有很多路径,目前相关行业有很多都处于初期阶段。如同每一个新兴学科的发展,它的新科学技术的工程应用和产业价值的展现,需要长期的大量关注和投入,从最初的原理到一项技术,到实验室的样品,到上市产品,再形成产业,是一个非常漫长的过程。

## 3 超材料的发展方向

超材料的设计理念,可与普通工程材料相结合。基于结构材料的超材料化,或基于超材料的结构材料化,达到最终的结合。超材料与常规材料的融合这一理念,对超材料本身发展也提供

了一个方向。

从材料的制备、加工方面看,从微纳加工,到目前可编码设计,包含了计算机技术,耦合技术,这是发展的前沿,仍需进一步完善。为了实现这个目标,需要多学科的调查,结合计算、模拟、材料、制造、表征与评价相关研究的人都投入进来,从学科交叉的领域开展研究工作,拓展研发链条。超材料和相关材料的工程化,是下一步发展的重要方向。

从基础研究角度考虑,超材料是一个年轻并不断发展的学科,需着重发展相关数学、物理、磁学基础理论。关于实验测试的标准化研究也急需加强,通过标准化实验测试得出可信的数据,便于行业内交流和跨行业交流。

超材料作为一个概念,应向其他领域延伸。如微结构单元的多场耦合,例如电磁与力学结合衍生出一些新现象,如再引入热、电等因素则耦合更复杂,会产生新的反应,对这些新现象的解读可以带动其他新领域新技术的发展。

从制备角度来说,关于超材料的原材料研究仍需发展。目前很多材料设计很好,但损耗太大,生产成本较高,如能找到零损耗的材料,很多问题便可迎刃而解。

## 4 超材料研发展望

美国国防部长办公室(ASD-R&E)把超材料列为“六大颠覆性基础研究领域”之一,美国国防部先进研究项目局(DARPA)把超材料定义为“强力推进增长领域”,美国空军科学研究办公室(AFOSR)把超材料列入“十大关键领域”。美国权威调研机构 n-tech Research 研究表明,2015年,DARPA在超材料领域的投资增长了75%。

伴随着超材料被中国“十三五”规划纲要列为大力发展的领域,超材料行业将迎来发展的春天,超材料技术将推动中国尖端装备的前沿研究和实际应用,对这些领域产生颠覆式的影响。中国超材料开始进入一个全面跃升的重要时期,正处于由突破性研究成果向实际应用转化的关键阶段。