

超材料专利技术创新态势研究^①

王旖旎^② 郑彦宁^③

(中国科学技术信息研究所 北京 100038)

摘 要 通过对德温特专利数据库中收录的超材料技术专利进行深入分析,从专利技术的发展、技术来源国家分布、主要国家技术申请趋势、技术研发热点以及技术研发主体五个方面揭示了全球超材料技术创新的趋势,以期为我国科研机构的技术研发提供决策支持。研究表明,全球超材料技术目前正处于深入研究阶段,专利申请主要围绕高性能天线、光学透镜、超材料自身结构的实现等技术主题展开;中美等国是发展超材料技术的中坚力量,其中深圳光启是技术申请的领军人物,美、韩、日等国的多家企业和科研院所也在积极研发,全球市场竞争态势正在逐渐形成。

关键词 超材料,专利技术,创新态势,技术研发

0 引言

超材料 (metamaterial) 是一种区别于天然材料的特殊人工复合材料,其特殊性源于人工微单元复合而成的结构。材料学家通过对材料的关键物理尺寸进行结构设计,使超材料具备了常规材料所不具有的负折射率、负介电常数等特殊物理特性。超材料在隐身、成像、传感、通信等技术中的应用,拓宽了人们对相关领域的认知和探索,对新一代电子通信、军事、尖端装备等重要领域将产生颠覆式的影响。

各国政府、科研机构以及企业对超材料的技术研发和实际应用给予了高度关注。2004 年欧洲发起了一项由 24 所欧洲大学参与的 METAMORPHOSE NoE 项目,正式开启了欧洲超材料的系统研究^[1]。2010 年美国《科学》杂志将其列为本世纪前十年的十大重要科学进展之一。随后美国国防部发布的《2013-2017 年科技发展五年计划》将超材料纳入未来重点关注的六大颠覆性基础研究领域。近年来,我国对超材料领域科研创新也始终保持着高度

的关注。2016 年我国发布的“十三五”规划纲要将超材料列入未来五年的百大重大工程和项目中。这意味着超材料技术研发正式上升到国家战略层面,相关科研课题的开展也将会得到各个层面的重视和支持。2016 年我国正式实施了全球首个超材料领域国家标准《电磁超材料术语》(GB/T 32005-2015),借此推动我国超材料基础研究在科研、教学和生产等领域的广泛应用。由于超材料具有改变材料科学未来的巨大潜力,并且广泛地影响着多个尖端研究领域,追踪对其技术发展趋势,把握其研发动向,显得十分有必要。

专利是技术知识和科技创新活动的重要载体,同时还具有一定的法律效力。专利本身包含科技、法律、商业多重价值,体现了技术的新颖性、先进性和实用性特点,可以反映出科技应用的发展水平^[2,3]。专利信息由此成为了重要的科技情报信息来源。通过对专利情报的分析,可以较为全面地掌握相关技术领域的研发情况和最新进展,避免研发工作的重复,从而提高后续科学研究的起点和水平,大幅降低科研活动的经费投入^[4]。

① 国家重点研发计划(2016YFC0503407)资助项目。
② 女,1993 年生,硕士生;研究方向:专利分析与竞争情报;E-mail: wangyn2015@istic.ac.cn
③ 通讯作者,E-mail: ynzhen@istic.ac.cn
(收稿日期:2017-03-05)

近年来,已有部分研究人员开始从专利角度关注超材料技术的发展。龙平^[5]对2000年到2012年的国内外专利数据做了分析,指出超材料技术的主要应用集中于天线、微波器件、光学器件领域,认为当时国内超材料研究还处于成长阶段。张小军等^[6]以中国专利数据库为数据来源,指出截至2014年,我国超材料专利领域呈现出以深圳光启为代表的“一家独大”的申请态势。娄莺等^[7]通过分析2000年到2015年超材料专利申请,认为当前超材料的研究热点集中于超材料人造结构的构建、具体参数特性的应用以及高精尖领域的研发三个方面。然而,随着超材料研发的日益发展,以上研究已无法准确揭示这一技术领域当前的研发水平。因此,本文将以全球超材料相关专利申请情况为基础,分析超材料领域当前的技术创新现状与发展趋势,以期为我国政府、科研机构以及相关企业的技术研发和科技计划提供决策支持。

1 数据来源与分析方法

本文选用德温特专利索引数据库(Derwent Innovation Index, DII)获取的专利数据,该数据库收录了自1963年至今的世界多国专利信息。考虑到超材料内涵颇为广泛,尚无清晰明确的内涵外延,因此

在实际检索中,本文将检索关键词限定为“超材料”,使用主题检索并以TS=(metamaterial * OR "Meta Materials" OR Meta-material *)为检索式,对公开日期截止到2016年12月10日的数据进行检索,最终获得以超材料为主题进行标引的专利家族共计921件。并采用TDA、excel等分析工具对检索获得的专利信息主要字段进行清洗、加工和处理。以此为基础,从专利申请量、技术来源国家、专利IPC技术分布、专利发明人及申请人等多个方面,对超材料相关技术专利的申请情况展开分析。

2 超材料技术专利态势分析

2.1 超材料技术专利的发展

德温特专利数据库收录的专利信息是以专利家族形式呈现的,这一方式能反映出一项技术的分布情况。专利家族中的专利是具有共同优先权的在不同国家或国际组织进行多次申请、公布或批准的一组专利的集合,这一组专利文献具有完全相同或基本相同的内容^[8]。专利家族的数量变化可以直观反映出技术创新的活跃程度。

图1反映了全球超材料专利申请量的逐年变化趋势。结合超材料理论研究的发展形势来看,目前全球超材料专利申请可以划分为三个阶段:

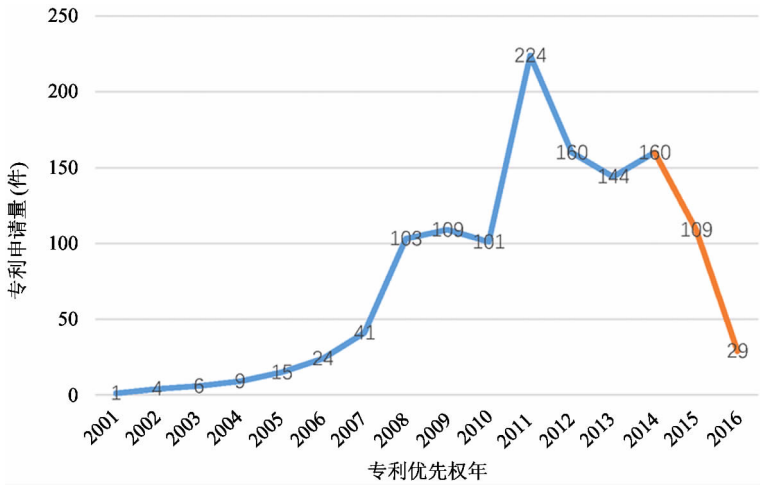


图1 超材料专利家族申请量逐年变化

(1)萌芽阶段(2001年~2006年)。超材料的理论萌芽可以追溯到20世纪60年代。一直到

2001年,美国学者Shelby、Smith等^[9]结合前人研究成果,在实验室研制了具有负折射率的超材料,验证

了负折射现象的存在,由此证实了 Veselago 于 1968 年提出的假设^[10]。伴随着超材料重要理论研究成果的发布,2001 年成为了超材料技术专利申请记录第一次出现的重要时间节点。超材料领域第一件专利家族申请记录是一件有关于将超材料应用于天线的电磁感应装置的专利,发明人为 Isaacs 等。随后 5 年,随着理论研究逐渐步入正轨,超材料技术专利的申请数量稳步上升。

(2) 快速发展阶段(2007 年~2011 年)。2006 年,英国学者彭德里教授、美国学者史密斯教授及其团队设计并证实了基于超材料的“隐身衣”,以此表明人工材料在电磁波隐身方面的可应用性^[11,12]。以超材料理论取得重大突破的这一年为分水岭,从 2007 年开始,超材料的技术创新走向了快速发展的道路。仅 2007 年到 2008 年一年间,超材料专利申请量增长了 144%。2009 年,美国杜克大学 Liu 等^[13]成功实现了宽频带响应复杂超材料的制备,并

在《科学》杂志上公布了其成果,在一定程度上也促进了超材料技术研发和专利申请。2011 年,全球专利申请量更是出现了一个峰值,由 2010 年 101 件攀升到 297 件,申请量增加两倍之多。

(3) 深入研发阶段(2012 年至今)。结合超材料技术生命周期图来看(图 2),专利技术在理论上遵循技术引入期、发展期、成熟期和淘汰期四个阶段的周期性变化,而超材料作为一门于 2001 年才正式独立发展起来的新兴学科,综合考虑技术出现时长以及专利申请趋势可以判断,目前超材料技术正处于深入研发的技术发展期。超材料技术专利经历 2011 年第一次明显的数量提升之后,2012 年以来,专利申请进入了稳步上升的阶段,年平均申请量超过 150 件。尽管近两年的专利数据尚未完全公开,但从理论研究与技术应用的发展趋势来看,超材料技术创新在未来一段时期内将会保持良好的发展势头。

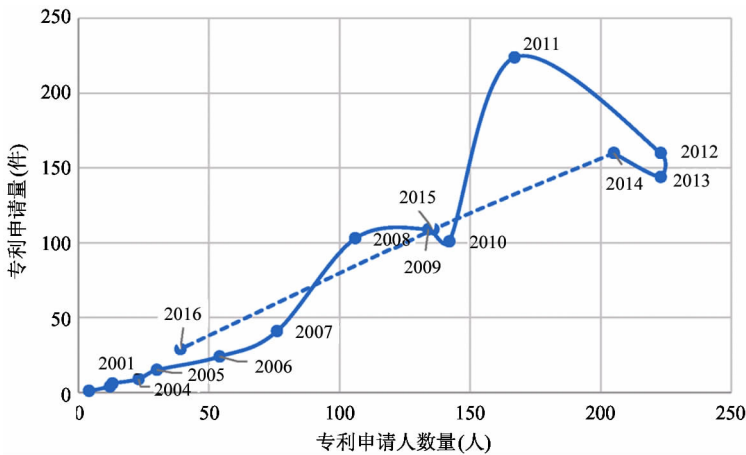


图 2 超材料专利技术生命周期图

2.2 技术来源国分布

目前,全球超材料专利技术来源国已超过 30 个国家和地区。主要技术来源国家和地区有美国、中国、日本、俄罗斯、韩国、法国、德国、英国、印度、加拿大、台湾地区、澳大利亚、巴西、捷克、波兰、西班牙等国家和地区。表 1 是主要国家专利申请和受理的具体情况,其中技术来源国按专利优先权国家情况,选取了专利申请数量大于 5 件的国家和地区,专利受理国家地区/组织选取的是专利受理数量大于 10 件

的国家和地区及国际组织。

从各国的专利申请情况来看,美国、韩国、中国、加拿大、英国等国家的多国专利申请数量较多、地域覆盖较为广泛,说明上述国家的专利申请人超材料领域活动十分活跃,并且具有较强的专利布局意识,重视同一专利发明在多国的专利权益保护。而以俄罗斯为代表的部分国家,其专利申请主要是国内申请,仅在世界知识产权组织、欧洲知识产权局、美国等主要组织和国家进行了少量的专利申请,这

与该国技术发展水平和技术保护策略相关。此外，台湾地区在超材料领域也有专利申请记录。除了本

国、本地区申请外，其申请国家还覆盖了美、日、韩、世界知识产权组织、欧洲专利局等国家和组织。

表 1 主要国家和地区的专利申请与受理分布情况

专利受理国家 地区/组织	专利技术来源国家和地区										
	美国	中国	韩国	日本	俄罗斯	英国	加拿大	德国	法国	台湾 地区	澳大利 亚
美国	399	26	49	26	1	14	14	4	4	6	3
中国	52	288	26	7	-	6	11	-	1	2	2
世界知识产权组织	179	61	37	21	2	19	15	5	5	1	4
欧洲专利局	93	20	26	6	1	14	14	4	4	1	2
日本	52	2	24	63	-	6	10	1	2	1	3
韩国	42	3	74	4	-	4	10	-	1	1	3
俄罗斯	-	-	-	1	27	-	1	-	-	-	-
台湾地区	14	3	5	1	-	2	-	-	-	8	-
加拿大	24	1	7	1	-	2	16	-	-	-	3
印度	11	1	6	1	-	1	3	-	1	1	2
德国	7	-	1	-	-	-	-	10	-	-	-
澳大利亚	13	1	5	1	-	1	7	-	-	-	5
法国	3	-	1	-	-	-	-	-	9	-	-
西班牙	4	2	1	-	-	2	-	-	-	-	-
英国	-	-	2	-	-	10	1	-	-	-	-

从主要国家和组织的专利受理情况来看,美国是最为主要的专利受理国,受理数量为 484 件,其中本国专利的受理占到了 82.4%。从这一点可以反映出,美国是目前超材料技术竞争最为激烈的地区。其次是中国、世界知识产权组织、欧洲专利局、日本等国家和组织。上述国家和组织的最低专利受理量也超过了 100 件,说明上述国家和组织专利权所覆盖的地区是超材料技术应用的主要市场或具有潜力的发展区域。

由此可见,在超材料研发上,正在逐步形成国际竞争的趋势。在未来一段时间内,随着技术的发展与成熟,超材料的国际竞争态势将变得日加激烈。

2.3 主要国家技术申请趋势

伴随着超材料在实验室中的成功研制,美国于 2001 年最早实现了超材料的专利申请布局。结合全球和各主要国家的专利申请趋势来看(图 1、图 3),2007 年开始,美国的超材料专利申请量与全

球申请变化趋势呈现出同样的大幅增加态势。到 2014 年为止,美国已累计申请专利家族超过 650 件。如果说美国是超材料技术专利申请的第一梯队,那么英国、韩国、法国、日本、德国则是第二梯队。英国于 2003 年产生了该国首个超材料技术专利,韩国、法国于 2004 年开始出现超材料技术专利的申请,德国、日本于 2005 年也产生了相关技术领域的专利布局。随着超材料技术进入快速成长阶段,从 2006 年开始,加拿大、澳大利亚、中国作为第三梯队也加入到超材料技术专利申请大军中。

从图 3 所示的主要国家历年专利申请量变化趋势可以看到,美国在超材料领域的技术研发一直处于领军地位,在申请时间和数量上都明显领先于第二梯队和第三梯队的国家。在超材料技术快速成长阶段(2007 年~2011 年),韩国、日本是除美国之外的专利申请数量最多的两个国家。2009 年日本当年申请量为 16 件,2010 年韩国当年申请量为 25 件,两国专利权人的技术申请对超材料领域产生了

不小的推动力。更值得注意的是,中国于 2007 年加入超材料领域的专利研发,起步虽晚于其他国家,但在短短三年内实现了专利申请量的百倍增长,当年申请量峰值一度达到 112 件。结合图 1 和图 3 可以看到,2011 年之后,全球超材料专利申请量的增长

主要源于美国和中国的专利申请,这两股强劲的研发力量推动着全球超材料技术研发向前迈进。预计未来一段时间,超材料技术领域的专利申请仍将主要集中在美、中、韩、日、英等国家。

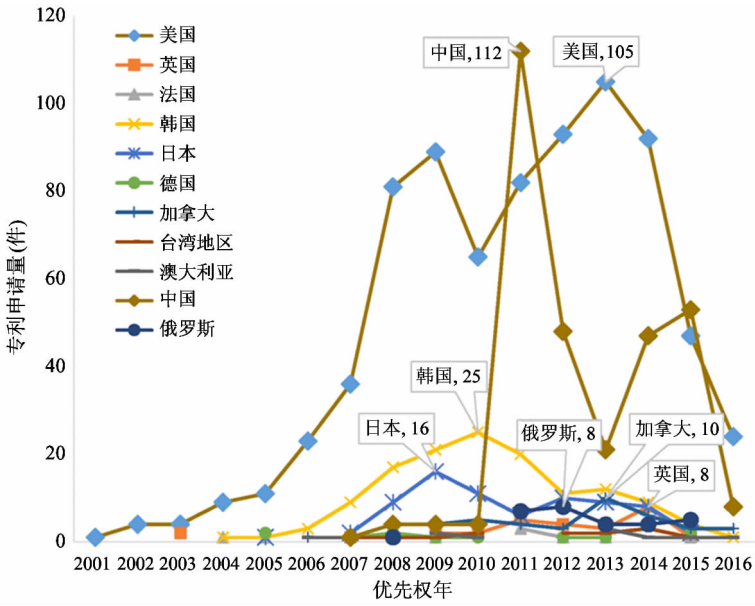


图 3 主要国家历年专利申请量变化

2.4 主要国家技术研发分布

目前,超材料的研究正处于多学科交叉融合的阶段^[14]。全球超材料技术专利在 IPC 分类体系的 A 到 H 八部中均有分布,共涉及 178 个 IPC 分类号(小类)。这在一定程度上印证了超材料的技术创新和发展,正在融合物理、材料、光学、电子、通信等多个领域的技术。其中,全球超材料专利申请主要

集中于天线(H01Q)、光学元件或仪器(G02B)、波导器件(H01P)、半导体器件(H01L)等技术主题,占专利申请总量的85.3%。

表 2 是以完整的 IPC 分类号进行统计得到的超材料专利技术中排名前十的技术热点。从统计数据来看,全球超材料技术研发热点主要为高性能天线、光学元件等技术。其中,天线领域的技术创新更多

表 2 专利研发关注的技术热点(排名前十)

IPC 分类号(专利件数)	技术热点
H01Q015/00(164)	用于对天线辐射波进行反射、折射、绕射或极化的装置,例如准光学装置
H01Q001/38(81)	在绝缘支架上由导电层构成的天线零部件或与天线结合的装置
H01Q015/02(80)	折射或绕射装置,例如透镜或棱镜
H01Q019/06(75)	应用折射或绕射装置的一次有源天线单元和部件与二次装置的组合,例如透镜
G02B001/00(65)	按制造材料区分的光学元件
H01Q001/24(31)	与接收机相结合的天线零部件或与天线结合的装置
H01Q013/08(30)	双导线微波传输线的辐射终端,例如同轴线的、微带传输线的
G02B003/00(29)	简单或复合透镜
H01Q019/10(28)	应用反射面的一次有源天线单元和部件与二次装置的组合
H01Q015/14(26)	反射面;等效结构

关注用于电子通讯领域的天线外壳、天线绝缘支架、辐射波反射/折射/绕射装置、接收装置、辐射终端、反射面结构研发以及天线增益和小尺寸天线等性能研发,光学元件方面主要关注的是超材料在光纤波导中的复合使用以及光栅、偏振器等元件的制作。

从图 4 中各主要国家的专利研发重点分布看,美国、中国、日本在上述十个技术热点(参见表 2)均有专利申请,但是这三个国家的专利申请各有特点。美国在十个技术热点的专利技术布局十分均衡,在光学元件技术(G02B001/00、G02B003/00 等)上占明显数量优势,而在天线反射面的一次有源天线部件与二次装置的组合技术(H01Q019/10)上申请量较少。中国则与此相反,在天线反射面组合技术(H01Q019/10)方面,专利申请量是美国的 8 倍,远超过其他超材料技术持有国。此外,在天线辐射波反射/折射/绕射/极化装置(H01Q015/00、H01Q015/

02)、透镜组合(H01Q019/06)等技术上,中国的专利数量都超过了其他国家;而在光学元件(G02B001/00)、简单/复合透镜(G02B003/00)、天线结合装置(H01Q001/24)、双导线微波传输线的辐射终端(H01Q013/08)等技术上,与美国等技术持有国相比,中国的专利申请量明显减少。通过对比可以发现,中国专利权人在技术研发上有所侧重,在天线折射装置技术研发活动中更为活跃。而日本的技术申请总量与中美两国相比明显变少,但在反射面 and 等效结构技术(H01Q015/14)上,日本的持有量在所有国家中处于领先。此外,韩国和日本在天线绝缘支架技术(H01Q001/38)、折射或绕射装置(H01Q015/02)、双导线微波传输线的辐射终端(H01Q013/08)等技术上一直紧跟中美步伐,其发展势头不容忽视。

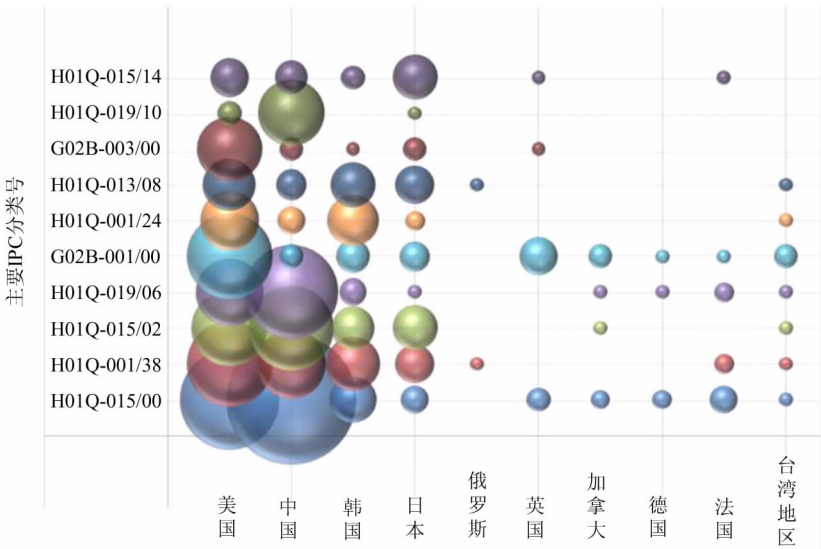


图 4 主要国家/地区研发热点对比

2.5 技术研发与申请

专利发明人是技术创新的研发主体,其数量变化在一定程度上可以反映出技术成熟程度;专利申请人是技术市场的竞争主体,其数量变化可以从侧面反映出市场竞争的强度。从图 5 超材料技术专利发明人和申请人数量逐年变化情况来看,近年来发明人和申请人数量都呈现出快速上升的趋势,截至 2014 年,发明人总数超过 1700 人,专利权人超过

300 个,在一定程度上说明超材料相关技术的研发正在逐渐深入。近年来,专利申请人数量虽有增长,但增幅较小,说明该领域的技术持有主要集中于少数的关键专利权人,而专利权人之间存在着一定的技术竞争关系。由于目前大部分技术仍处于实验室研发状态,市场应用相对较少,因此可以判断超材料技术市场的总体竞争强度变化不大。

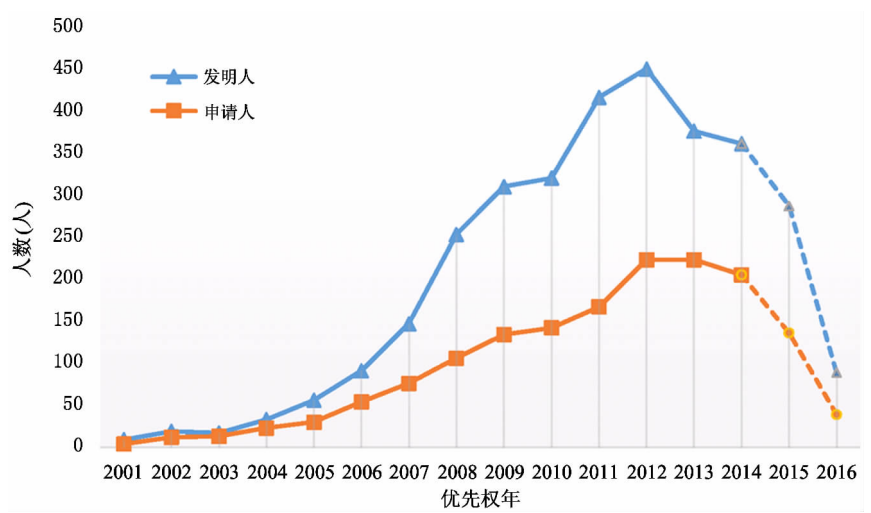


图 5 专利发明人及申请人数量逐年变化情况

全球超材料技术专利申请人主要集中在美国、中国、日本、韩国、英国等国家,申请主体以企业为主,也有部分高校参与技术研发和申请。表 3 是专利申请量排名前十的企业和高校专利申请人,可以看到在排名前十的企业中,中国企业深圳光启以遥遥领先的专利申请量排名第一;美国企业机构在前十中占据 5 席,分别是洛克希德马丁公司、Rayspan 公司、泰科电子有限公司以及美国海军部;日本在此领域研发活动较为活跃的是丰田汽车有限公司、日本电信电话株式会社;韩国电子通信研究院、EMW 天线公司在此领域也进行了大量研发。从高校专利

申请量来看,美中两国的高校专利表现较为突出:美国的高校申请人主要有杜克大学、加利福尼亚大学、东北大学、塔夫茨大学 4 所高校,中国高校主要有华中科技大学、香港浸会大学、西北工业大学以及大连理工大学 4 所高校。此外,英国南安普顿大学、俄罗斯乌里扬诺夫斯克州立大学也在超材料研发中取得了一定的专利成果。从企业和高校申请量分布可以看到,美国企业和高校的研发形势比较均衡,而中国的高校研发形势良好,但在企业研发方面,技术申请者相对比较单一,主要依靠深圳光启这一家企业的技术研发来占据绝大部分的市场。

表 3 主要的企业和高校专利申请人

企业专利申请人		高校专利申请人	
申请人 (申请件数)	所属国家 (地区)	申请人 (申请件数)	所属国家 (地区)
深圳光启 (360)	中国	杜克大学 (11)	美国
洛克希德马丁公司 (21)	美国	华中科技大学 (11)	中国
Rayspan 公司 (20)	美国	香港浸会大学 (8)	中国香港
波音公司 (16)	美国	加利福尼亚大学 (6)	美国
丰田汽车有限公司 (16)	日本	南安普顿大学 (6)	英国
泰科电子有限公司 (15)	美国	美国东北大学 (5)	美国
美国海军部 (15)	美国	西北工业大学 (5)	中国
韩国电子通信研究院 (14)	韩国	乌里扬诺夫斯克州立大学 (5)	俄罗斯
EMW 天线公司 (10)	韩国	塔夫茨大学 (4)	美国
日本电信电话株式会社 (10)	日本	大连理工大学 (4)	中国

3 结 论

通过对全球超材料技术专利的分析可以看到,超材料专利技术申请虽然仅有 16 年时间,但申请数量增长迅速,相关研发工作已经进入一个全面发展的重要时期,关注点主要集中在 3 个方面:

(1)核心技术能力。超材料自身结构的实现、高性能天线器件、光学元件制备等技术主题是技术研发人员关注的重点,其中用于对天线辐射波进行反射、折射、绕射或极化的装置是专利申请的热点,其次是天线绝缘支架、接收装置、辐射终端、反射面结构以及光学透镜等技术方向。目前,中、美、日三国在上述技术领域均有专利分布,其他国家的技术发展并不均衡。

(2)全球专利布局。目前,超材料技术的来源国已覆盖 30 多个国家和地区。其中,美国、中国、日本、韩国、俄罗斯、英国等国家在此领域的申请活动比较活跃,专利布局意识较强。而美国是目前超材料技术竞争最为激烈的地区,各国专利申请人倾向于在美国进行专利布局。随着中国、世界知识产权组织、欧洲专利局等国家和国际组织的专利受理量逐渐增加,超材料国际市场竞争形势正在逐渐成形。

(3)各国研发力量。超材料目前正处于深入研究阶段,技术研发主体数量也在不断增加。中国深圳光启以极高的专利申请量独占鳌头,可以看出深圳光启的技术研发实力之强大。以华中科技大学为代表的中国高校也在加强超材料科研开发。在美国,企业和高校在超材料的研发中表现出比较均衡的研发实力。此外,日本丰田公司、韩国电子通信研究院等机构也是不容忽视的重要技术来源。

在我国,随着十三五发展规划的发布,超材料技术已从独立学科研究上升至国家战略层面的研究。可见,超材料在基础领域的深入和前沿领域的研究,对于推进我国尖端科学技术的发展有着重大而深远的影响。从专利申请表现来看,我国在超材料领域的技术研发具有一定的优势。但同时也应该注意到,未来超材料要想维持良好的发展态势,更需要在

保持现有技术领域研发优势的基础上,积极拓宽超材料相关领域的技术研发范围,加强产学研多方合作,攻克关键核心技术,促进技术到产品的成果转化,力争在超材料的尖端制造中占据优势地位。

参考文献

- [1] Metamaterials TVIF. METAMORPHOSE VI AISBL. <http://www.metamorphose-vi.org>; Metamaterials TVIF, 2007
- [2] 朱雪忠, 万小丽. 竞争力视角下的专利质量界定. 知识产权, 2009,19(4):7-14
- [3] 中华人民共和国国家知识产权局制定. 专利审查指南. 北京:知识产权出版社, 2010
- [4] WIPO. 常见问题:专利. http://www.wipo.int/patents/zh/faq_patents.html; WIPO, 2017
- [5] 龙平. 超材料技术专利申请分析. 中国新通信, 2015, 5: 87-88
- [6] 张小军, 任帅. 基于专利数据库探析超材料的研发进展. 电子元件与材料, 2014,33(9):101-102
- [7] 娄莺, 杨艳. 超材料领域专利申请趋势浅析. 中国新通信, 2015,17: 64
- [8] Reuters Thomson. 应用技巧:专利家族. <http://www.thomsonscientific.com.cn/searchtips/tisearchtips/tisearch13>; Reuters Thomson, 2017
- [9] Shelby R A, Smith D R, Schultz S. Experimental verification of a negative index of refraction. *Science*, 2001, 292(292):77-79
- [10] Veselago V G. The Electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . *Soviet Physics Uspekhi*, 1968,10(4):509
- [11] Schurig D, Mock J J, Justice B J, et al. Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies. *Science*, 2006, 314(5801):977-980
- [12] Cummer S A, Popa B I, Schurig D, et al. Full-wave simulations of electromagnetic cloaking structures. *Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2006,74(2):92-100
- [13] Liu R, Ji C, Mock J J, et al. Broadband ground-plane cloak. *Science*, 2009, 323(5912):366-369
- [14] 唐塞丽, 冷传航, 李东昊等. 超材料研究进展及其应用分析. 军民两用技术与产品, 2015,14: 135-136

Innovation trend analysis of the proprietary technology of metamaterial research

Wang Yini, Zheng Yanning

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract

The patents related to metamaterials searched from the Derwent Innovation Index are analyzed in detail, and the trends of global technology innovation in metamaterials are revealed from the five aspects of proprietary technique developing, distribution of technology sources, trends of major countries' patent application, R&D hotspots, and main assignees, with a view to providing support for China's decision-making in metamaterial research and development. The results show that metamaterials technology is currently in a stage of further research, and the main technical topics are high-performance antenna, optical lens, metamaterials structure, etc.. China and the United States are the backbone of developing metamaterials technology. Shenzhen Kuang-chi, which is from China, is a leader in this field, while the enterprises and research institutes from the United States, Korea, Japan and other countries are also actively applying for patents. The global competitive situation in the metamaterials technology market is taking shape.

Key words: metamaterial, proprietary technology, innovation trend, technical research and development