

# 超材料(Metamaterial)行业研究框架

## ——新技术前瞻专题系列（四）

分析师	刘航	执业证书编号：S1480522060001
研究助理	李科融	执业证书编号：S1480124050020
分析师	刘蒙	执业证书编号：S1480522090001
分析师	张永嘉	执业证书编号：S1480523070001
分析师	石伟晶	执业证书编号：S1480518080001

2024年10月28日

**Q1:超材料是什么？**超材料是指具有人工设计的结构并呈现出天然材料所不具备的超常物理性质的复合材料。超材料具备超常的电磁、声、热、力等功能，能实现自然材料无法实现或很难实现的特殊物理特性。典型的超材料有左手材料、光子晶体、超磁性材料、金属水等。

**Q2:超材料与天然材料相比有哪些优势？**和天然材料相比，超材料具备如下优势：（1）可设计性，超材料通过人工设计和制造，使微米或纳米级的结构单元按照特定的设计规则排列；（2）非天然材料所有的超常态物理性能。

**Q3:超材料的应用领域有哪些，市场前景如何？**超材料在隐身伪装、导航通讯、成像识别、医疗、能源等领域具有巨大的应用潜力。2010-2020年，全球超材料市场保持快速增长态势，发展到2020年，市场规模已达到15.4亿美元。得益于应用领域扩展、市场需求升级，超材料市场将保持快速增长趋势。

**Q4:超材料技术对于各大科技强国和行业巨头的重要性如何？**超材料技术是国际上应用于现代高端军事装备领域最热门的新兴技术之一，美国国防部将其列为“六大颠覆性基础研究领域”之首，并专门启动了超材料研究计划，英特尔、AMD和IBM等6家公司为此成立了联合基金。日本和俄罗斯将超材料技术列为下一代隐身装备的核心关键技术。我国也对超材料研究重视度较高，973计划、863计划、新材料重大专项、国家自然科学基金等项目中均对超材料研究予以立项支持。

**Q5:超材料技术的发展会使哪些上下游产业受益？**制造超材料的原材料主要有石墨烯、玻璃纤维等，相关原材料行业市场需求总量有望提升。超材料技术下游产业主要有军工、通信、能源产业，超材料技术成果在军工领域的应用较早，在其他下游产业的商业化水平低，应用较少，随着技术的进一步成熟和市场需求的增加，超材料的商业应用领域有望继续扩大。

**投资建议：**超材料技术应用领域广泛，市场前景广阔。全球科技强国及行业巨头争相布局。受益于技术发展，上下游产业链有望迎来加速成长，受益标的：光启技术等。

**风险提示：**技术导入不及预期风险、客户需求不及预期风险、贸易摩擦加剧风险等。



# Q1

## 超材料是什么？



# 1.超材料是通过人工设计和制造，具有超常物理性质的材料

超材料是一种由人工微结构组成的特种复合材料，通过对材料关键物理尺寸上进行有序结构设计，使其获得常规材料所不具备的超常物理性质。超材料的应用与原有的材料制备有很大的区别，以往是自然界有什么材料，就能制造出什么物品，而超材料完全是根据需求逆向设计。超材料的超常物理特性主要表现为负介电常数、负磁导率、负折射率、逆多普勒效应等。

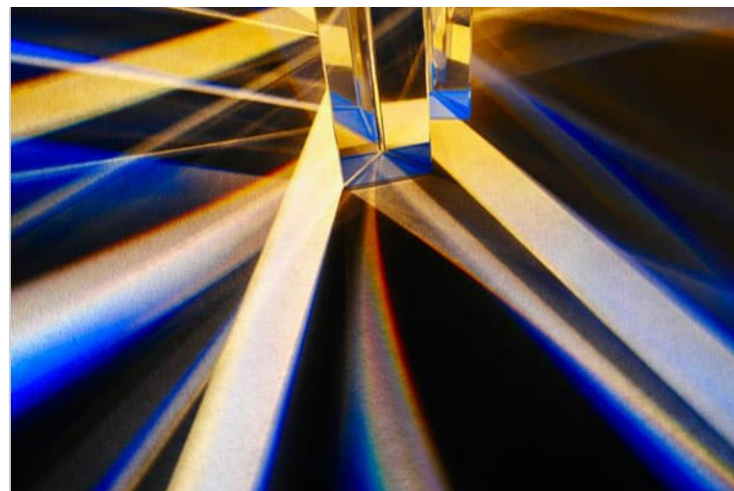
超材料根据设计原理主要分为电磁超材料、声学超材料、热超材料。通过电磁超材料来应用和控制负折射率就能改变人类看到物体的方式，有望应用于光学领域。通过应用电磁超材料，理论上可以制造出可以看到更小物体的特优透镜（理想透镜）和光学迷彩（隐形衣）。热超材料可以通过对阳光的反射或吸收来降低设备内部的温升，保护电子设备免受剧烈温差的影响。声学超材料除了作为轻量且有效的隔音材料外，还有望提高超声波传感器的设置和运用方法以及医学中超声波检查的灵活性。

图1:超材料的分类、功能及应用前景

分类	电磁超材料	声学超材料	热超材料
功能	可以控制特定波长的电磁波（光波、电波）	可以对声波（包括超声波）和振动的吸收和反射进行控制	可以控制热量传播，通过发射红外线波长的波来散热，从而调节设备内部等处的温度
应用前景	特优透镜、隐身衣	吸音、隔音材料 医学领域超声波回声检查	红外线辐射片（用于电子设备及其内部元件散热） 热电转换材料

资料来源: muRata, 东兴证券研究所

图2:使用电磁超材料控制光折射率的示意图



资料来源: muRata, 东兴证券研究所



**Q2**

**超材料与天然材料相比有哪些优势？**

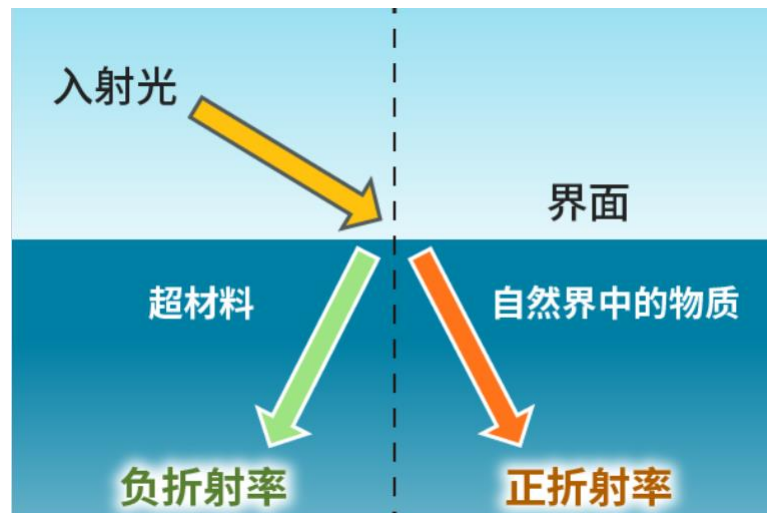


## 2.超材料的人工可设计性使其突破自然限制，获得天然材料不具备的性质

与天然材料相比，超材料的优势是可以由人工设计的结构单元制造出来。天然材料来自自然，易于获得却难于设计。超材料正好相反，易于设计，但在很多情况下却难于获得。超材料通常由微米或纳米级的人工结构单元组成，这些单元按照特定的设计规则排列，赋予材料独特的电磁、光学、声学或力学特性。与传统材料相比，超材料由人工设计，从而实现对光波、声波或电磁波的操控，展现出如负折射、完美隐身、超分辨率成像等奇异现象。

超材料的特殊物理性质是由人工结构决定的，这些特性使超材料能突破一些表现自然规律的限制。超材料可以通过控制电磁波（光、电波）和声波等特定波长波的反射和透射，表现出与自然界中的物质不同的行为。超材料中的左手材料同时具有负介电常数和负磁导率。电磁波在该材料中传播时的电场矢量、磁场矢量以及波矢量之间的关系将不再遵循经典电磁学中的“右手定则”，而呈现出与之相反的“左手关系”，这时材料中电磁波的波动方向和能量传播方向相反，并表现出一系列有违常理的特性，例如光的负折射、反常多普勒效应、倏逝波放大、完美透镜效应，以及反常切连科夫辐射等。

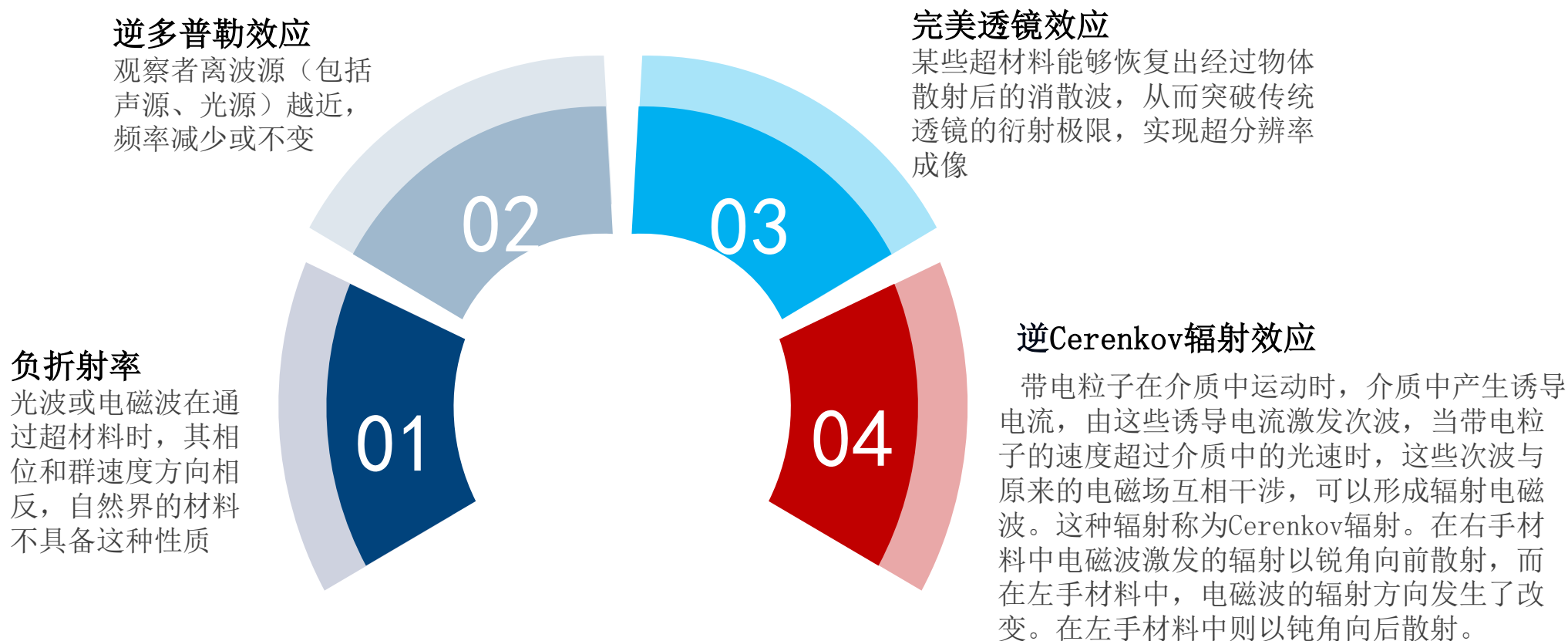
图3：超材料的超常特性之一：负折射概念图



## 2. 超材料的超常物理特性

超材料的超常物理特性主要有：负介电常数、负磁导率、负折射率、逆多普勒效应、完美透镜效应等。这些奇异特性不主要取决于构成材料的本征属性，而是由超材料单元结构的图案形状、尺寸、排列方式以及介质层的电磁参数等因素决定。

图4：超材料的主要超常物理特性



资料来源：前瞻产业研究院，科学网，东兴证券研究所

## 2.超材料技术难点

作为一大类全新的材料系统，从超材料的研发到产生颠覆性技术需克服一系列技术障碍。根据装备对电磁调制的不同需求，通过反向设计和特殊工艺实现材料的微结构，就可使该材料在保持承载功能的同时还具备装备所需的电磁调制功能。

图5：超材料的主要难点







## Q3

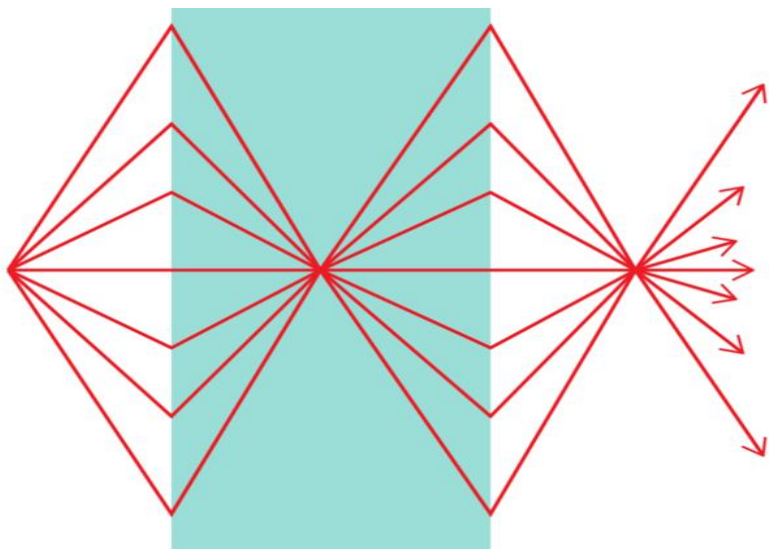
超材料的应用领域有哪些，市场前景如何？



### 3.电磁超材料应用领域：超材料透镜

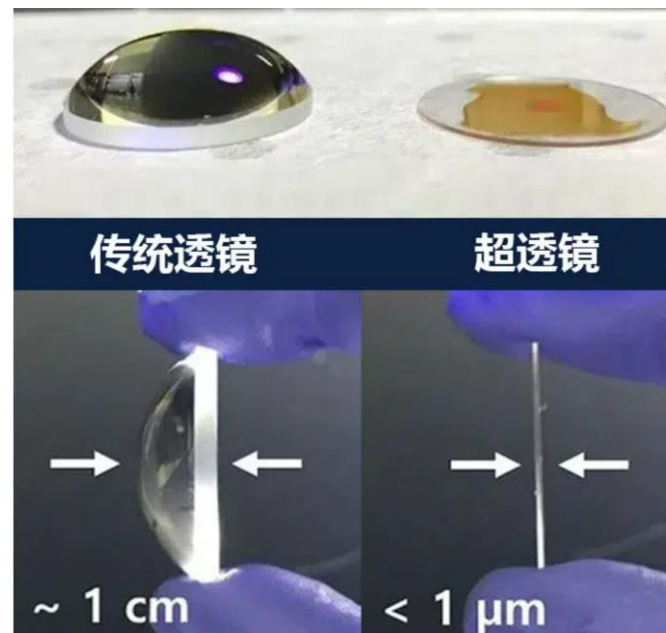
超材料透镜是一类典型的颠覆性技术，打破传统透镜受到衍射极限的约束限制。传统光学器件无法对尺度小于半个工作光波长的物体成像，其深层物理原因是常规介质中消逝波的衰减。超材料透镜会使电磁波中的消逝波成分被放大，其中所携带的信息就可以在负折射率介质材料中传播。由负折射率材料制备的平板具有成像的功能，物体发射出的光线会经负折射率平板前后界面两次折射后重新汇聚在一起，进而实现无衍射极限的成像。

图6：超材料透镜原理示意图



资料来源：中国工程科学，东兴证券研究所

图7：超材料透镜与传统透镜对比

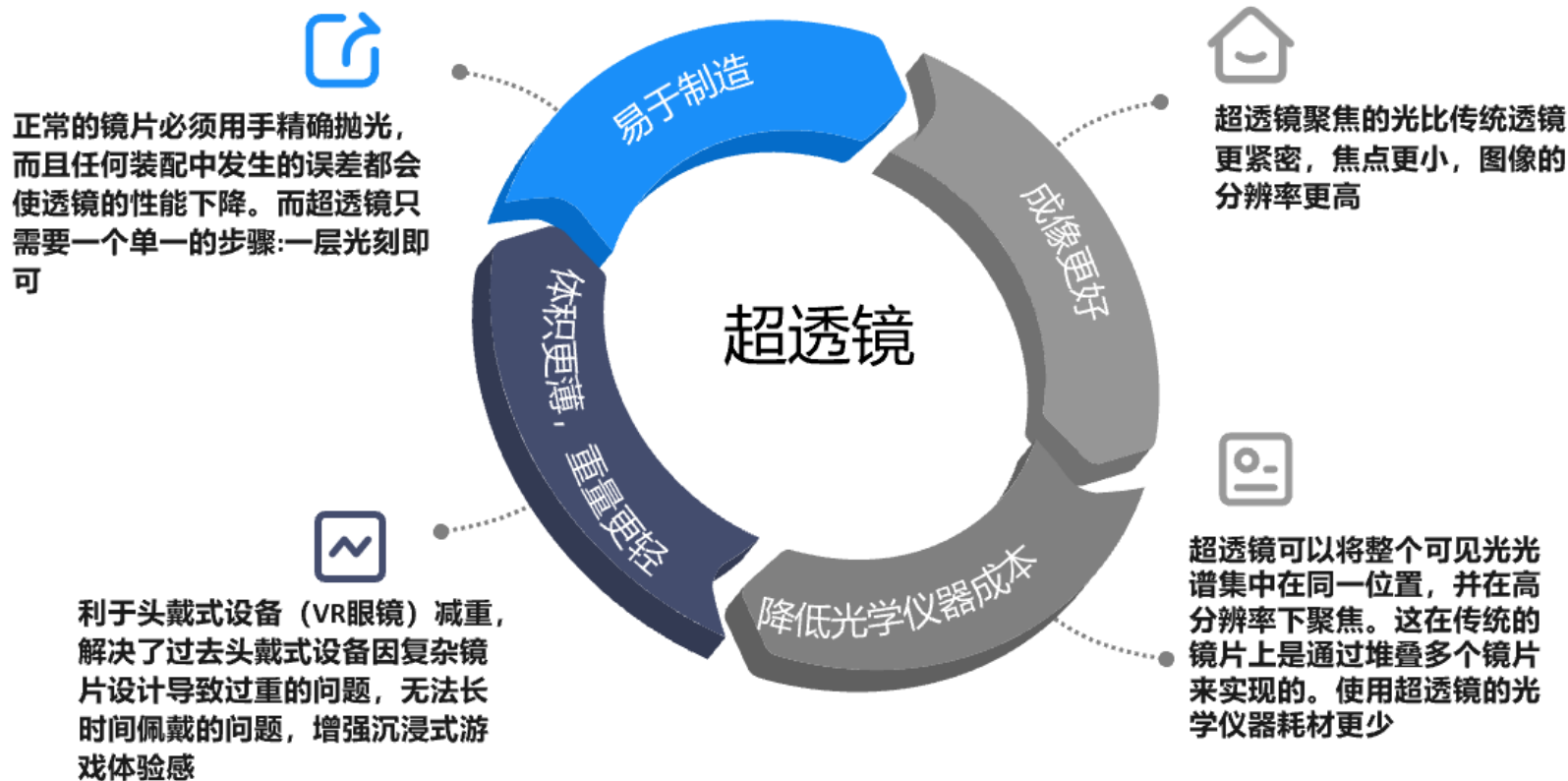


资料来源：AccSci，东兴证券研究所

### 3.电磁超材料应用领域：超材料透镜

超材料透镜在生物、材料、微电子学、光学工程领域都有急切的需求，还可应用到虚拟现实领域（VR眼镜）上。超透镜可以对病毒和 DNA 分子、细胞以及各种材料的显微结构等在自然环境中进行直接观察。同时，基于超材料的完美透镜可实现亚波长尺度的光刻，一旦实现将使微电子加工技术水平大幅度提高，从而进一步延续集成电路的摩尔定律。

图8：超材料透镜的特点



资料来源：《中国工程科学》（清华大学材料学院），东兴证券研究所整理

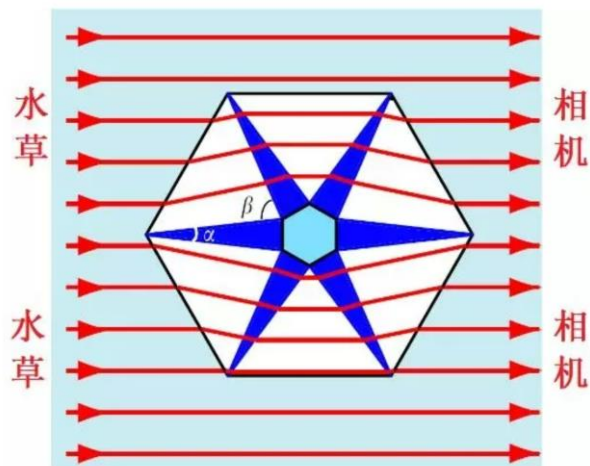
### 3. 超材料应用领域：隐身伪装、通信和声学器件领域

超材料隐身斗篷技术已开始在军事装备中获得应用，超材料隐身技术得到了各国军工界的广泛重视。超材料通过控制电磁波的散射和反射，使物体在雷达、红外线等探测手段下难以被发现。与传统隐身技术相比，超材料隐身的特点是靠导引电磁波，而不是靠吸收电磁波，因此没有目标影子，是国防军工领域的一项颠覆性技术。该技术也可应用于民用领域，如保护个人隐私等。

超材料可以用于制作高灵敏度的天线，实现更高效的信息传输。由于超材料对电磁波的高效调控，超材料天线可以用于检测微弱信号并增强天线的辐射效率。利用超材料超常的电磁性质和高度可设计的特点，人们成功实现了天线的小型化、高效、高增益、共型化、高信号选择性等优势。

由声学超材料制成的器件可作为吸音、隔音材料被应用于建筑工地或室内吸音板，实现降噪。还可以应用于医疗检查，为疾病的早期诊断提供更精确的依据。例如，通过应用超声波透射超材料能提高物质的超声波透射性，可以进行通常因超声波无法透过头骨而无法用于医学领域脑部检查的超声波回声检查。

图9：超材料隐身斗篷技术示意图（以水缸隐身块为例）



水缸隐身块原理示意图

资料来源：中国科学院声学研究所，东兴证券研究所

图10：通过对超声波透射性的控制扩大可检查部位



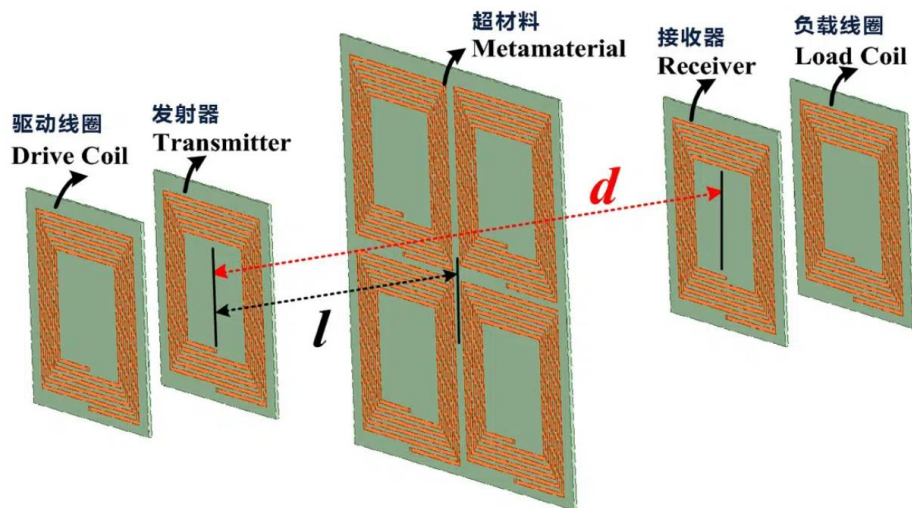
资料来源：muRata，东兴证券研究所

### 3. 超材料应用领域：能源领域

超材料的高效光捕获能力为太阳能电池的发展注入了新活力。由超材料推动的一项重大进步是开发用于吸光技术的表面等离子体和等离子体光学天线。表面等离子体具有在纳米尺度上引导、集中和散射光的能力，这让它成为增强太阳能电池光吸收的理想选择。

超材料在能源传输领域的应用也具有广阔前景。无线电力传输技术：在设备之间没有物理连接的电能传输。在发射器和接收器之间产生电磁场以传输电力，该技术用于无线充电器、生物医学植入物和电动汽车等设备。随着越来越多的设备走向无线化，并且超材料已经呈现出使这些系统更高效的希望，对更高效的无线电力传输（WPT）系统的需求不断增长。

图11：无线电能传输(WPT)系统示意图



资料来源：AccSci，东兴证券研究所

图12：超材料在光伏领域应用优势

传统光伏太阳能电池的局限性

#### 设备尺寸较大

当太阳能电池的厚度小于  $100\ \mu\text{m}$ ，光能转换效率会变得低下，无法减小电池厚度

#### 光能转换效率较低

只能转换有限的太阳光谱，并且光伏设备的效率受到肖克利-奎伊瑟极限（单p-n节太阳能电池所能达到的理论能量转换极限）的限制

资料来源：AccSci，东兴证券研究所

使用超材料的吸光表面等离子体和等离子体光学天线的优势

#### 电池厚度更薄

等离子体结构可以解决减小电池厚度，效率降低的问题。因此可以在增强电场同时，使电池的厚度更薄

#### 显著提升太阳能电池效率

等离子体光学天线类似于光收集器，可减少反射损耗，同时增加吸收截面。

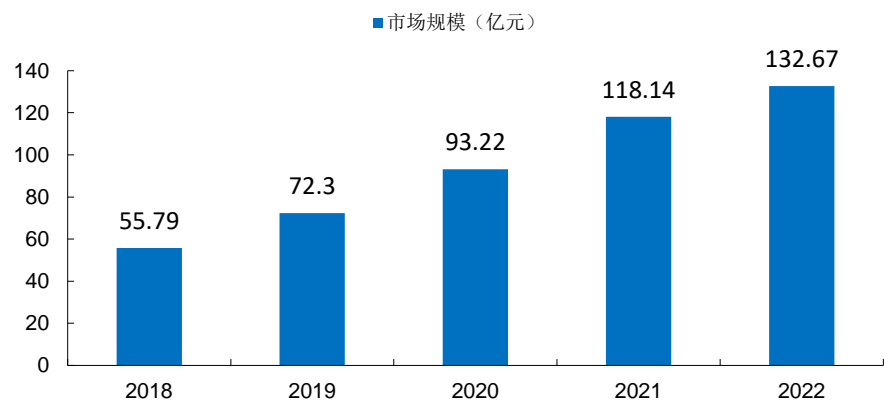


### 3. 中国及全球超材料市场规模快速发展，全球市场竞争格局较分散

中国超材料市场规模快速发展，预计2029年规模达316.05亿元。鉴于中国在超材料研发领域的实力，产业链正在逐步完善的趋势以及在应用领域的拓展方面还有较大发展空间的现状，2022年中国超材料市场规模总额达到132.67亿元，同比增长12.3%。中国超材料市场规模2018-2022年均复合增长率为24.18%，据智研瞻产业研究院预测，市场规模在2024-2029年均复合增长率为13.4%，中国市场对超材料的需求仍在快速增长。

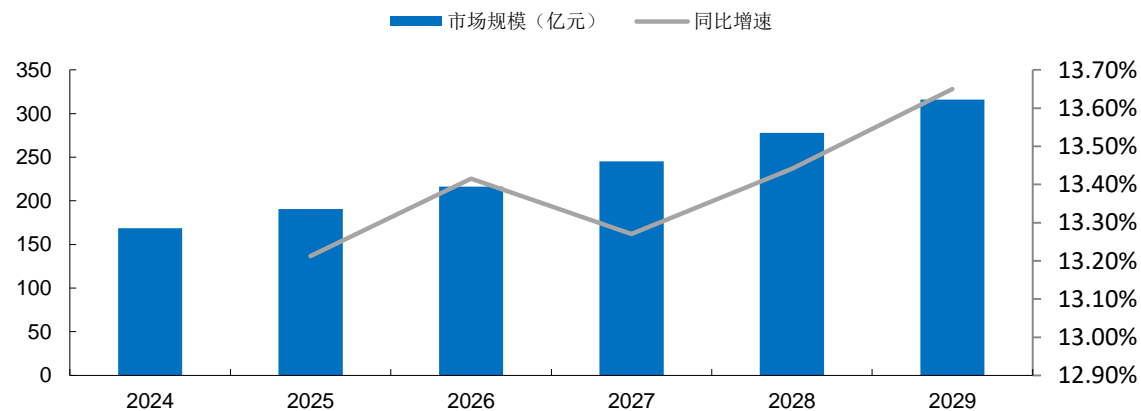
全球超材料市场总量增长趋势迅猛，竞争格局为分散型。根据QYResearch（恒州博智）的统计及预测，2023年全球超材料市场销售额达到了20.93亿美元，预计2030年将达到548.6亿美元，2024-2030年全球超材料市场销售额的CAGR为60.3%。全球超材料的核心厂商包括光启科技、Evolv Technology、MetaShield LLC、Pivotal Commware、Echodyne等，前5大厂商共占有全球市场15%的份额。全球超材料市场竞争日益激烈，主要厂商在技术研发、市场应用等方面展开竞争，这种竞争有望推动超材料技术不断进步和应用领域不断拓展。

图13： 2018年-2022年中国超材料产业的市场规模



资料来源：智研瞻产业研究院，东兴证券研究所

图14： 2024年-2029年中国超材料产业的市场规模及同比增速预测



资料来源：智研瞻产业研究院，东兴证券研究所



## Q4

超材料技术对于各大科技强国和行业巨头的重要性如何？



## 4. 超材料技术的革命性应用前景引发科技强国和行业巨头的重点关注

超材料研究的重大科学价值及其在诸多应用领域呈现出的革命性应用前景，使其得到了美国、中国、俄罗斯、日本等国政府，以及波音、雷神、光启技术、英特尔、AMD等军工巨头或科技龙头公司的强力关注。近年来，超材料在隐身、电子对抗、雷达等领域的应用成果不断涌现，展现出巨大应用潜力和发展空间。未来，超材料在电磁隐身、光隐身和声隐身等方面具有巨大应用潜力，在各类飞机、导弹、卫星、舰艇和地面车辆等方面将得到广泛应用，使军事隐身技术发生革命性变革。超材料实现隐身与传统隐身技术的区别是，超材料使入射的电磁波、可见光或声波绕过被隐藏的物体，在技术上实现真正意义上的隐身。2010年，美国《科学》杂志将超材料列为21世纪前10年自然科学领域的10项重大突破之一。美国国防部把超材料列为“六大颠覆性基础研究领域”之一，专门启动了关于超材料的研究计划。美国最大的6家半导体公司英特尔、AMD 和 IBM 等也成立了联合基金资助这方面的研究。日本和俄罗斯将超材料技术列为下一代隐身装备的核心关键技术。我国也对超材料研究重视度较高，973计划、863计划、新材料重大专项、国家自然科学基金等项目中均对超材料研究予以立项支持。

图15：波音、雷神、光启技术、英特尔、AMD布局超材料领域



资料来源：各公司官网，财富网，百度图片，东兴证券研究所





## Q5

超材料技术的发展会使哪些上下游产业受益？

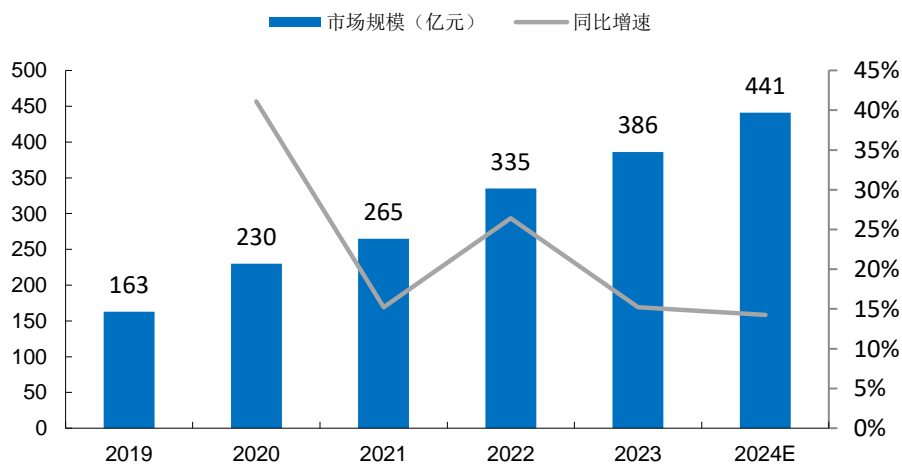


## 5. 原料：石墨烯、玻璃纤维产业有望受益

超材料产业链上游原料、生产环节有望受益。石墨烯和玻璃纤维作为制造超材料的主要原材料，随着超材料的应用领域不断扩展和市场需求总量的提升，相关产业的需求和市场规模有望进一步水涨船高。

过去5年内中国石墨烯和玻璃纤维行业的市场规模、需求量持续增长，增长势头明显。2023年中国石墨烯产业市场规模为386亿元，同比增长15.22%，预计2024年市场规模达到441亿元，2019-2023年均复合增速为24.05%。2016-2023年中国玻璃纤维市场规模年均复合增长率为6.11%。据华经产业研究院统计，2022年中国玻璃纤维表观需求量为516.47万吨，同比增长8.98%。

图16：2019-2024E中国石墨烯产业市场规模及同比增速（亿元，%）



资料来源：中商产业研究院，东兴证券研究所

玻璃纤维市场规模

CAGR=6.11%

181.78亿元  
2016

275.28亿元  
2023

玻璃纤维市场表观需求量

473.9亿元  
2021

516.47亿元  
2022

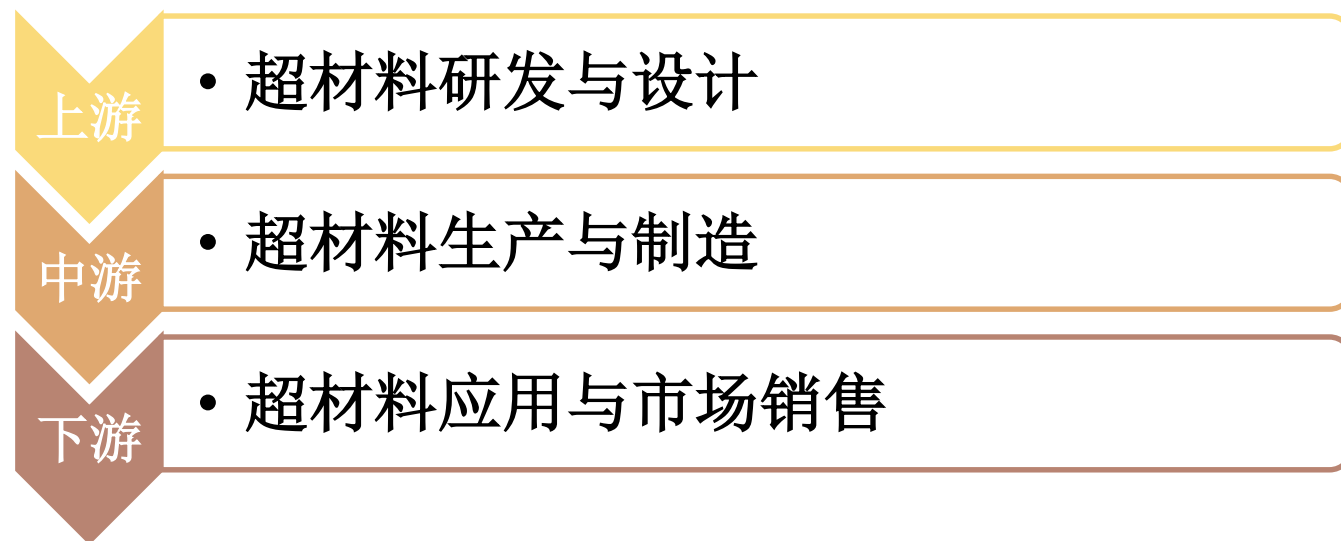
## 5. 超材料产业链概况

**超材料产业链上游还包括超材料的研发和设计。**在这个阶段，研究机构、大学和科研院所扮演着重要的角色，致力于超材料的基础研究和技术创新。

**中游主要包括超材料的生产与制造。**在这个阶段，企业通过研发和生产超材料产品，满足市场需求。这些企业通常具备先进的制备和加工技术，能够将超材料的设计和研发成果转化为实际产品。

**下游主要包括超材料的应用和市场销售。**在这个阶段，超材料被应用于光学、声学、电磁等领域，满足不同行业的需求。超材料的应用领域广泛，包括通信、传感、能源等多个领域。

图17 超材料产业链



资料来源：智研瞻产业研究院，东兴证券研究所

## 5. 技术和产业链：光启技术带来的超材料产业链有望带动多个下游领域发展

光启技术七大平台能力中的先进检验检测能力赋能新能源汽车行业。2023年12月，中汽研与光启技术达成战略合作，双方携手打造全球首个汽车紧缩场联合创新实验室，将光启技术在超材料领域积累的成熟方案直接应用于智能网联汽车行业。该实验室在全球率先采用开创性的航空试验方法，通过紧缩场实验室来打造完整的汽车整车通信测试方案，精准测量通信发射和接收能力，一举填补了全球汽车行业整车天线测试的ISO/IEC标准的空白，也彻底解决了困扰全球新能源汽车厂商的通讯难题，帮助我国智能网联汽车产业赢得发展先机和行业话语权。

据光启技术董事长刘若鹏透露，七大平台全面赋能各先进制造领域。通过此重大战略部署的有效实施，光启已经为飞机制造、电子装备、舰艇制造、无人机、智能汽车等多个先进制造行业提供了深度的方案定制、产品制造、技术服务，推动了以上行业在相关技术、产品、产业链等方面实现了创新性的发展。

随着光启超材料产业链七大能力平台的持续迭代，光启超材料的应用潜力将被陆续释放出来，为未来在新材料、智能装备、复合材料、低空经济等领域的场景赋能提供底层技术支撑。光启凭借超材料与民用市场越来越多的深度融合与赋能，也将为光启开辟出一个无比广阔的蓝海市场，促使民用市场加速成长为光启在国防领域之外的另一个强劲增长引擎。

图18：超材料用于低空经济



资料来源：中国民用航空网，东兴证券研究所

图19：超材料用于智能汽车



资料来源：摄图网，东兴证券研究所

光启技术七大平台赋能多个先进制造领域

- 超算设计
- 高分子原材料
- 复合材料及制件
- 高精密机械加工
- 先进检验检测
- 微波射频综合孔径
- 超材料微电子

- ❁ Q1:超材料是什么?
- ❁ Q2:超材料与天然材料相比有哪些优势?
- ❁ Q3:超材料的应用领域有哪些,市场前景如何?
- ❁ Q4:超材料技术对于各大科技强国和行业巨头的重要性如何?
- ❁ Q5:超材料技术的发展会使哪些上下游产业受益?
- ❁ **投资建议与风险提示**

### 投资建议：

超材料技术应用领域广泛，市场前景广阔。全球科技强国及行业巨头争相布局。受益于技术发展，上下游产业链有望迎来加速成长，受益标的：光启技术等。

### 风险提示：

技术导入不及预期风险、客户需求不及预期风险、贸易摩擦加剧风险等。

## 分析师简介

### 刘航

复旦大学工学硕士，2022年6月加入东兴证券研究所，现任电子行业首席分析师。曾就职于Foundry厂、研究所和券商资管，分别担任工艺集成工程师、研究员和投资经理。证书编号：S1480522060001。

### 石伟晶

首席分析师，覆盖传媒、互联网、云计算、通信等行业。上海交通大学工学硕士。8年证券从业经验，曾供职于华创证券、安信证券，2018年加入东兴证券研究所。

### 刘蒙

计算机行业分析师，清华五道口金融硕士。2020年加入东兴证券，2021年新浪财经金麒麟计算机行业新锐分析师团队核心成员，主要覆盖数字经济、信创、信息安全、人工智能等细分领域。

### 张永嘉

计算机行业分析师，对外经济贸易大学金融硕士，2021年加入东兴证券，主要覆盖基础软件、数据要素、金融科技、汽车智能化等板块。

## 研究助理简介

### 李科融

电子行业研究助理，曼彻斯特大学金融硕士，2024年加入东兴证券，主要覆盖OLED、消费电子防护、半导体检测设备、模拟芯片等板块。

## 分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，在此申明，本报告的观点、逻辑和论据均为分析师本人研究成果，引用的相关信息和文字均已注明出处。本报告依据公开的信息来源，力求清晰、准确地反映分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

## 风险提示

本证券研究报告所载的信息、观点、结论等内容仅供投资者决策参考。在任何情况下，本公司证券研究报告均不构成对任何机构和个人的投资建议，市场有风险，投资者在决定投资前，务必要审慎。投资者应自主作出投资决策，自行承担投资风险。

## 免责声明

本研究报告由东兴证券股份有限公司研究所撰写，东兴证券股份有限公司是具有合法证券投资咨询业务资格的机构。本研究报告中所引用信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，报告中的信息或意见并不构成所述证券的买卖出价或征价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。

我公司及报告作者在自身所知情的范围内，与本报告所评价或推荐的证券或投资标的的存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，我公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本报告版权仅为我公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为东兴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本研究报告仅供东兴证券股份有限公司客户和经本公司授权刊载机构的客户使用，未经授权私自刊载研究报告的机构以及其阅读和使用者应慎重使用报告、防止被误导，本公司不承担由于非授权机构私自刊发和非授权客户使用该报告所产生的相关风险和责任。



**公司投资评级（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数）：**

以报告日后的6个月内，公司股价相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

强烈推荐：相对强于市场基准指数收益率15%以上；

推荐：相对强于市场基准指数收益率15%~15%之间；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5%~+5%之间；

回避：相对弱于市场基准指数收益率5%以上。

**行业投资评级（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数）：**

以报告日后的6个月内，行业指数相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

看好：相对强于市场基准指数收益率5%以上；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5%~+5%之间；

看淡：相对弱于市场基准指数收益率5%以上。

# 感谢观看， 欢迎交流

## 东兴证券研究所

---

### 北京

西城区金融大街5号新盛大厦B座16层

邮编：100033

电话：010-66554070

传真：010-66554008

### 上海

虹口区杨树浦路248号瑞丰国际大厦23层

邮编：200082

电话：021-25102800

传真：021-25102881

### 深圳

福田区益田路6009号新世界中心46F

邮编：518038

电话：0755-83239601

传真：0755-23824526