

信息学院林丰涵课题组与合作者在电磁超材料的模式理论研究取得进展

ON 2021-06-25

CATEGORY 科研进展

上科大信息科学与技术学院林丰涵课题组与新加坡国立大学陈志宁院士团队合作，在二维电磁超材料的模式理论与应用研究中取得重要进展。该成果以Resonant Metasurface Antennas With Resonant Apertures: Characteristic Mode Analysis and Dual-Polarized Broadband Low-Profile Design为题在电磁场与微波技术领域代表期刊《电气电子工程师学会天线与传播学报》(IEEE Transactions on Antennas and Propagation) 上在线发表。

1968年，苏联理论物理学家Veselago在理论上预测了当介电常数和磁导率均为负值时，物质的“反常”电磁性质，成为电磁超构材料(Metamaterials)概念的起源，以下简称“超材料”。2001年，美国加州大学圣迭戈分校制造出世界首例负折射率的超材料样品并实验验证成功，自此拉开了国际上对超材料的超常物理特性及其在雷达、通信、感知、天线、隐身、遥感遥测和新型太赫兹与光电器件等多方面的应用研究的序幕。2010年，《科学》期刊将超材料列入本世纪前十年的10项重要科学进展之一。超材料也被更广义地定义为“具有自然界中天然存在的材料所不具备的超常物理性质的人工复合结构或复合材料”。

由于超材料体积较大不易制造，在近五年来，超材料开始向二维发展，衍生出二维超材料，即“超构表面(Metasurface)”的概念，旨在通过对一个表面上的二维薄层序构单元进行设计和排布，从亚波长尺度实现对电磁波的任意调控，极大推进了超材料概念向使用技术的演变，成为国际物理学、电磁学界、通信界新的研究热点。

早期研究主要针对“尺寸较大”的“均匀”超构表面的平面电磁波散射问题，是远场问题，其核心思想之一是“远场近似”。但是，也正是由于远场近似忽略了近场效应，尤其是近场问题中的边缘绕射和近场耦合问题，使得远场研究方法对有限尺寸的近场问题无法直接适用。研究近场问题不仅是电磁场理论中的重要课题之一，也是5G通信技术持续演进至6G通信技术中极为重要的一环。对近场超构表面的电磁行为展开基础研究和建模分析，具有重要的科学意义和工程经济价值。

在最近的研究中，研究人员将特征模理论引入了近场超构表面的研究，提供了全新的“角度”对近场超构表面进行重新审视。特征模理论主要研究算子的本征特性，与源场无关，因此该结合从理论和分析方法上突破了超构表面研究对源的依赖。

在本工作中，研究人员利用特征模理论的无源特性，对新奇的超构表面，尤其是超构表面与谐振孔径的近场耦合特性与行为进行了“解构式”研究，不仅完整地观测到了超构表面的多模频谱以及多谐振器耦合对该多模频谱的调控作用，阐明了电磁超构表面的近场谐振机理与多模多通道高效辐射的基本原理，利用该现象所设计的超薄双极化超构表面天线，通过一腔多模实现了辐射带宽的显著增强，为电磁超材料和超构表面的分析，以及下一代移动通信天线系统的设计提供了新的思路和技术手段。



此项工作由上海科技大学与新加坡国立大学协作完成，上海科技大学为第一完成单位，上海科技大学的林丰涵教授为第一作者和通讯作者。该研究得到上海科技大学启动基金和新加坡教育部基金的大力支持。

文章链接：<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9216496>

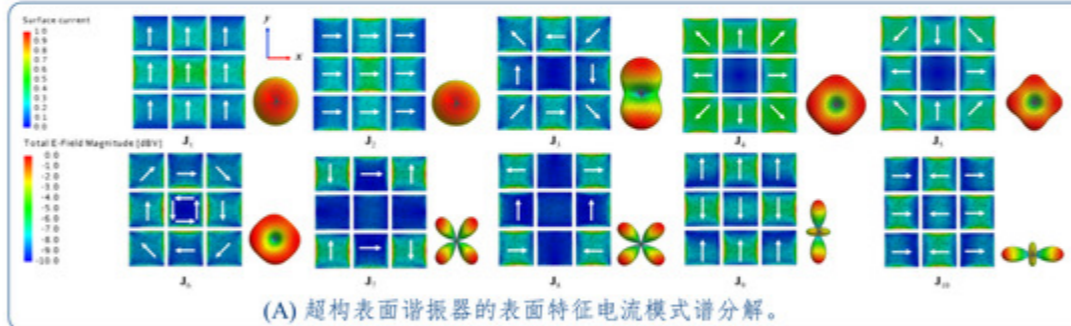




Resonant Metasurface Antennas With Resonant Apertures: Characteristic Mode Analysis and Dual-Polarized Broadband Low-Profile Design

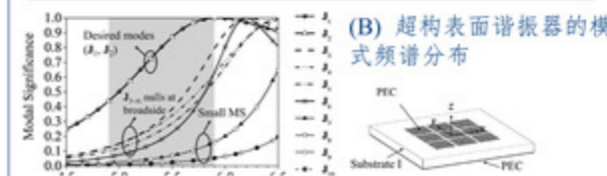
Published in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*

问题的提出 已知由大量的散射体周期性排布可以等效构成均匀的具有新奇物理现象的“材料”，只有少数几个分子时构成什么？性质是否一样？非周期非均匀的情况呢？是否有什么不一样的现象？如何分析？如何对新的现象进行表征？如何控制？有什么用处？

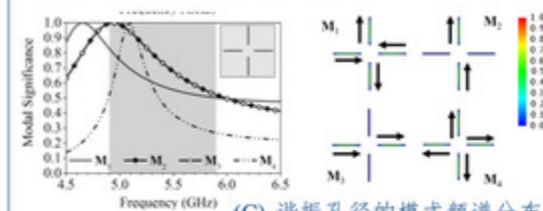


(A) 超构表面谐振器的表面特征电流模式谱分解。

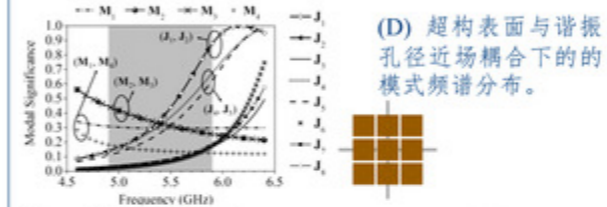
电磁超构表面的模式解



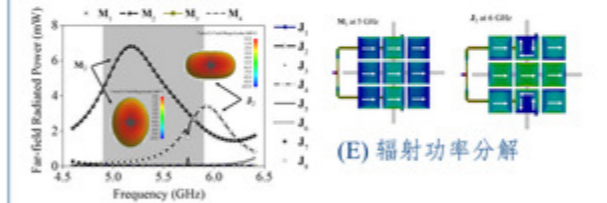
(B) 超构表面谐振器的模式频谱分布



(C) 谐振孔径的模式频谱分布。

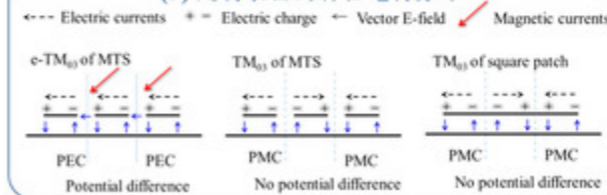


(D) 超构表面与谐振孔径近场耦合下的模式频谱分布。



(E) 辐射功率分解

(F) 超构表面的特征电荷分布



电磁超构表面的模式解构

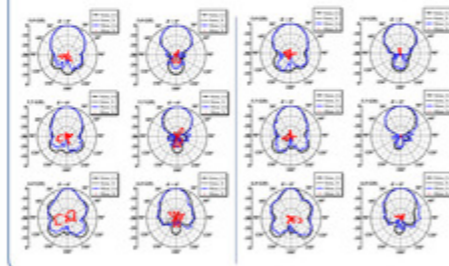
图(A)和(B)表示了超构表面谐振器具有独特的多模谐振特性可供资用，而已利用的模式不超过10%。

图(C)和(D)显示，多谐振器近场耦合可对模式产生调控作用，从而对基于结构的电磁场近场调控提供全新的思路和方法。

图(E)提供了定量评价模式激励效用的方式。

图(F)显示超构表面的微观电荷分布和多模产生机理，表明其可产生均匀金属表面不具备的模式，为电磁调控提供额外的可能。

实测宽带方向图



Contact Person
 林丰涵 LIN Feng Han (Ph.D.)
 E-mail: linfh@shanghaitech.edu.cn
 sist.shanghaitech.edu.cn
 Tel: +86 (21) 2068 4438
 School of Information Science and Technology
 ShanghaiTech University
 Block 3, #03-212, 393 Huaxia Middle Road,
 Shanghai 201210



上海市浦东新区华夏中路393号 201210 (浦东校区)

上海市徐汇区岳阳路319号8号楼 200031 (岳阳路校区)

Copyright © 上海科技大学 版权所有沪ICP备13001436号-1

 沪公网安备 31011502006855号

附属学校

附属幼儿园

