

---

# 太赫兹实时可编程超表面：准连续波束扫描跟踪传输

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/24994.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

**太赫兹实时可编程超表面：准连续波束扫描跟踪传输。**近日，电子科技大学杨梓强教授和张雅鑫教授带领的太赫兹调控与通信团队与中电科第十三研究所全国重点实验室团队共同提出了一种基于AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>二维电子气调控的非对称谐振结构太赫兹实时可编程超表面，该超表面突破了包括多波束合成和漫散射场调控在内的多功能波束实时可编程调控等关键技术，实现了准连续步进的宽带太赫兹波束高精度扫描。采用该超表面作为反射面的0.34 THz的直接调制通信系统成功实现了点对点波束快速扫描与跟踪的信息传输。该技术为推动太赫兹智能可重构表面（IRS）赋能的多场景应用系统发展提供了新的思路和方法。

## 研究背景

太赫兹波在高速无线通信和高分辨成像探测等领域具有重要的应用前景，然而太赫兹波束窄、跟踪难，传统机械式波束扫描速度慢、集成度低，相控阵系统复杂度高、成本高，难以满足6G通感一体网络对低成本、高集成、低延迟的要求，亟需发展高性能的波束扫描器件。

近年来信息超表面的发展为太赫兹波束扫描器件带来了全新的发展方向，将动态可调控材料与人工超表面相结合成为了一种行之有效的技术方案。领域内的学者们采用液晶、二氧化钒、石墨烯、CMOS等多种调控开关与超表面结构相结合的方式不断的尝试突破，文中从响应速率、波束扫描精度、功能性等方面对当下具有代表性的太赫兹可编程平面阵列器件进行了归纳对比。在此基础上，本文提出了基于异质结二维电子气与非对称谐振结构人工超表面相结合的太赫兹可编程超表面，实现了0.33 – 0.4 THz频率、扫描范围覆盖了20° – 60°；扫描精度最高1°的准连续高精度扫描，扫描速度小于10ns。

## 创新研究

器件三维结构示意图如图1所示，通过构建非对称谐振人工微结构与HEMT集成的共面单元，利用栅控二维电子气（2DEG）浓度变化导致的谐振电流阻抗失配，形成一种低延迟非对称电磁场调控的宽带相位编码单元，结合数字相位分布编码实现实时多功能波束调控。器件单元的低复杂度共面架构易于满足1-bit相位编码需求，并且基于二维电子气的高电子迁移率特性实现了10 ns的编码切换速率。图1a中，阵列排布设计上采用准二维的平面布线控制方式，以共地馈线所在的x轴作为对称轴，±y方向的上下两个对称子阵可相互独立控制。相比完全列控的传统方式，该控制方式提高了波束调控的灵活度和多波束区域协同合成的能力。不同于传统的整数化编码构建均匀相位梯度实现波束扫描，器件首次在电控高动态器件上应用分数化编码方式实现了更高精度的

相位补偿和阵列梯度，从而显著提高了阵列扫描的视场范围和步进精度。

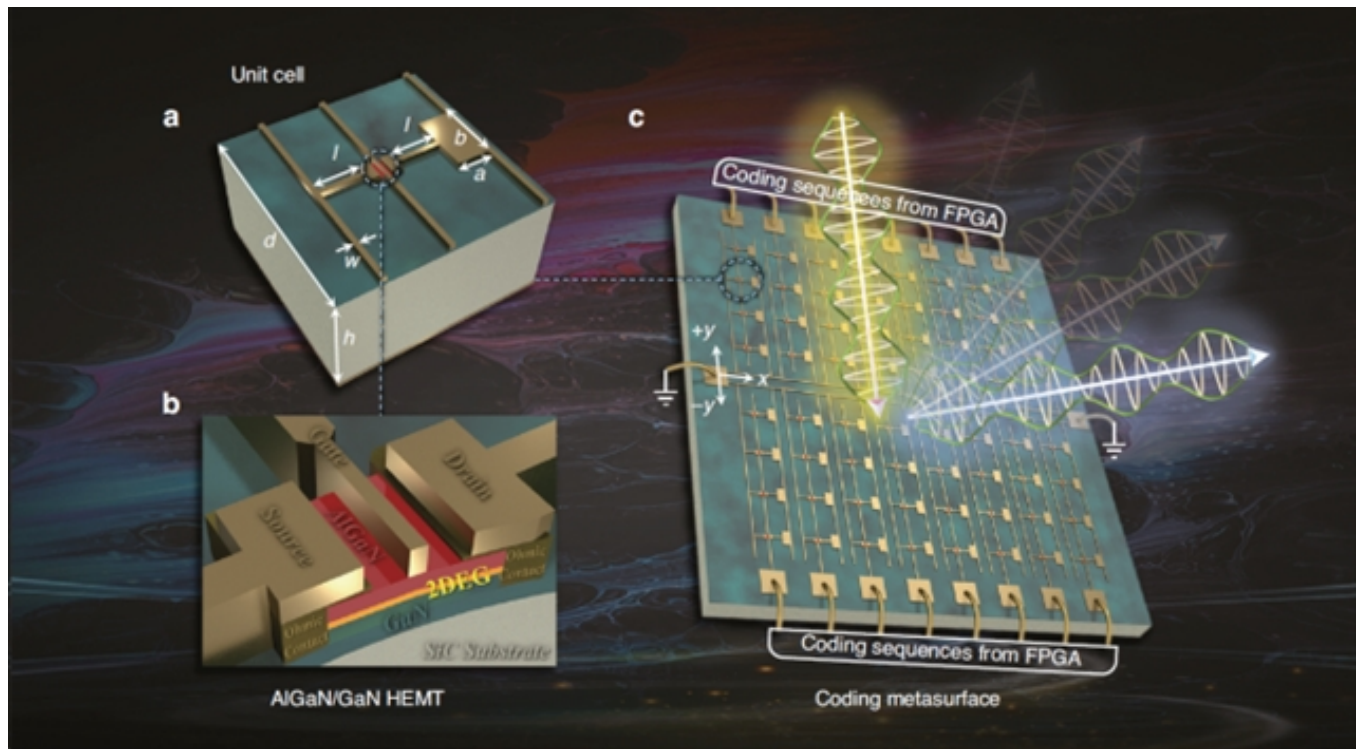


图1：可编程超表面三维示意图。（a）二维电子气集成的超表面单元；（b）AlGaIn/GaN HEMT内部剖面；（c）编码超表面阵列。

所制备的超表面阵列由 $64 \times 64$ 个阵元构成，其中每 $1 \times 32$ 个阵元构成一个最小控制单元，超表面阵列面积为 $13 \times 13 \text{ mm}^2$ 。为便于与外部控制模块相连，阵列装配于PCB板上，并通过金丝键合的方式连接对应焊盘，此外阵列周围铺设了一圈太赫兹吸波海绵来避免PCB板产生额外的散射干扰。通过加载不同的编码序列，所测方向图如图2所示，在 $0.33 - 0.4$  THz范围内呈现出了波束准连续扫描的能力，扫描范围覆盖了 $20^\circ - 60^\circ$ ；在中心工作频点 $0.34$  THz处，扫描精度最高可按 $1^\circ$ 步进扫描。此外，通过加载不同的功能编码序列和进行编码卷积，该超表面进一步实现了多波束合成以及具有RCS缩减能力的漫散射场调控，其灵活的功能复用能力将更适应多样化系统的需要。

---

图2：波束扫描测试方向图。（a）0.33 – 0.4 THz频段的波束方向图；（b）中心工作频段0.34 THz的波束方向图；（c）以1 ° 步进扫描的波束峰值增益。

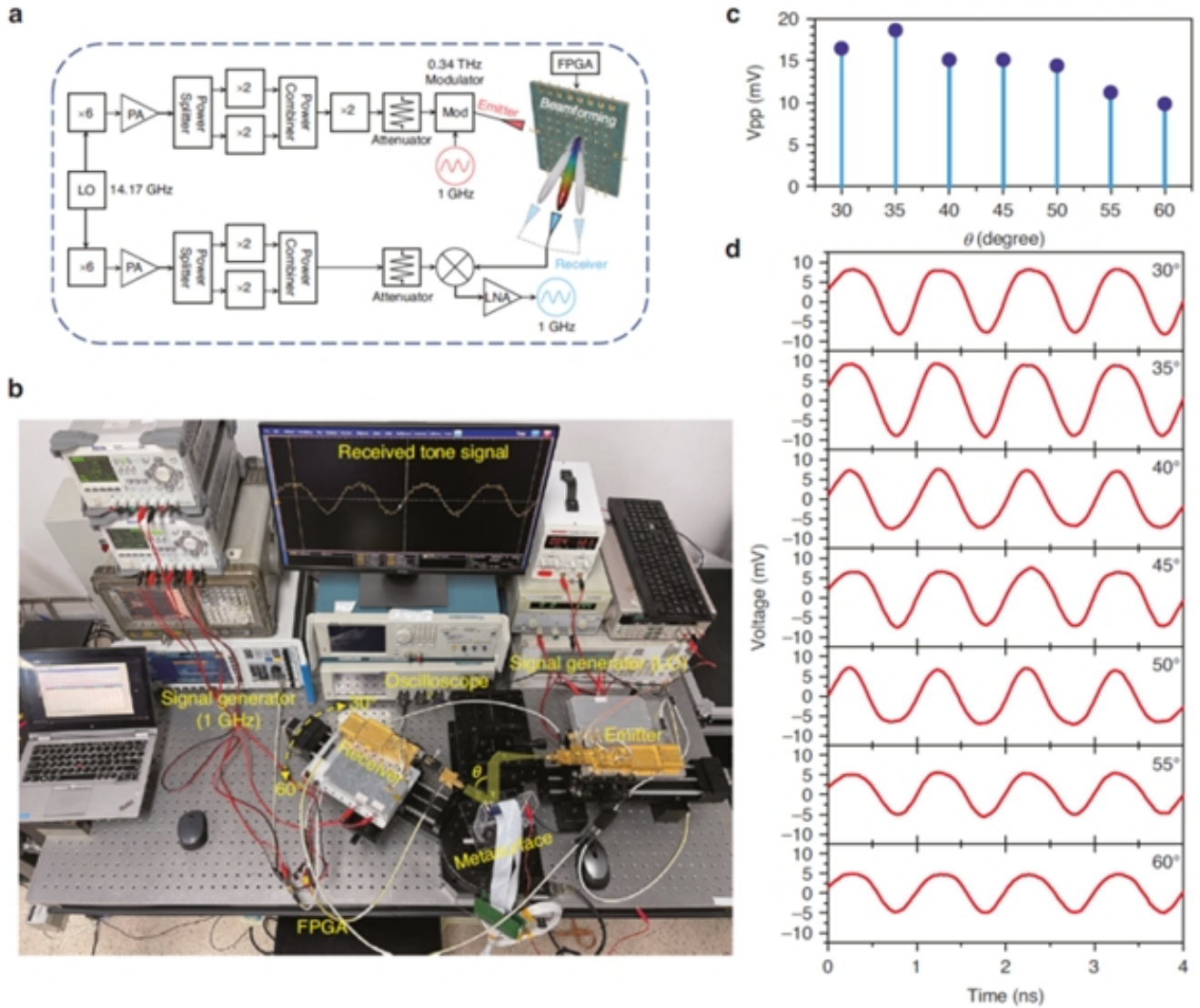


图3：0.34 THz点对点波束跟瞄传输系统。（a）系统链路图；（b）现场测试照片；（c）解调信号峰峰值；（d）解调信号波形。

最后，基于0.34 THz的直接调制通信系统，构建了超表面辅助的点对点实时波束跟瞄传输原理验证系统。系统链路图如图3a所示，以传输1 GHz单音信号作为演示，接收端置于转台转动来模拟跟瞄通信用户的运动过程，只有当调制波经超表面编码，通过点对点传输至接收端所在方位时，接收端才可成功接收并解调信号，由于超表面的编码波束宽度约为8度，为展现信号传输成功与否，演示过程采取5度步进移动。由于器件扫描的实时可编程特性，控制程序可根据接收端角度方位计算出对应位置波束所需的编码序列，并实时操控波束闭合传输链路。系统演示了在 $30^\circ - 60^\circ$ 范围内移动接收端的效果，结果表明初始1 GHz的单音信号在超表面波束赋形的方向均能够实现接收解调。该成果得到了国家重点研发计划(2021YFA1401000)及国家自然科学基金(U20A20212, 61931006, 62131007)支持。

该文章发表在期刊Light: Science Applications，题为Real-time programmable metasurface for terahertz multifunctional wave front engineering，兰峰教授和王禄杨博士生为本文的共同第一作者，曾泓鑫博士、张雅鑫教授、Daniel Mittleman教授为本文的共同通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

---

相关论文信息：↑ ↑ <https://www.nature.com/articles/s41377-023-01228-w>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：兰峰教授等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发