

Nature | 电子学“超构器件”

原创 Light新媒体 中国光学 2023-04-15 18:32 发表于吉林
收录于合集
#Nature



Banner | 推广



撰稿：张天宇（电子科技大学 博士生）

近年来，以5G代表的新型信息技术和相关产业的飞速发展，为人们在高速通信、人工智能、自动驾驶等重要场景中提供了许多新的实现方式和应用体验。尽管如此，随着人们的应用需求日益增长，如实时交互感知、物联网、人工智能等场景的出现，对以电子学器件为核心的信息技术的发展提出了更高的要求。事实上，长期以来，以晶体管、二极管等作为核心的电子学器件性能的提升，主要是基于缩小器件尺寸的原则来进行的。但是，随着器件的物理尺寸逐渐达到极限，这种方法似乎已经走到了尽头。

当器件尺寸缩小时，将会出现一系列问题。比如：

- 1、电场是一种对电荷施加作用力的物质形式，而电压将为电荷提供势能。当器件尺寸缩小时，器件中的电场将会迅速增大，可能会损坏器件（击穿效应），这往往导致器件的工作电压相对较低，并将最终限制器件的最大输出功率。
- 2、电容是一种可以储存电荷的电子学元件。当器件尺寸缩小时，会不可避免地产生寄生电容，这些额外的电容将会降低器件在高频状态下的工作性能，并最终限制其最大工作频率。
- 3、隧道结是一种基于量子隧穿效应产生电流的电子学元件。随着器件尺寸的缩小，由于隧道结等元件接触面积的减小，将会导致电子学器件具有更高的接触电阻，这也同样会降低其工作性能和效率。

以上这些问题都制约了电子学器件的发展。因此，如何在不断缩小电子学器件尺寸的情况下，继续提升器件的工作性能，是目前科研人员关注的重点问题。

为了解决这一难题，近期，来自瑞士洛桑联邦理工学院（EPFL）的Elison Matioli教授团队，从光学超材料（结构尺寸远小于工作波长，可以对电磁媒质的光学特性进行调控的新型人工材料）的相关研究中汲取了灵感，实现了一种全新的电子学器件——**电子学超构器件（Electronic Metadevices）**。

他们利用金属亚波长超材料和半导体材料相结合的全新思路，在不缩小器件尺寸的情况下，实现了器件中电场特性的高效调控，将现有电子学器件的工作频率提高近一个数量级（进入太赫兹频段），有望推动新一轮高频电子学器件的研究和应用。

相关工作以“**Electronic metadevices for terahertz applications**”为题发表在Nature上。

对于传统电子学器件来说，太赫兹波的频率相对过高，至少是目前5G技术中工作频率的十倍以上。但对光频段来说，太赫兹波的频率又相对较低。因此，这一位于传统电子学和光子学研究之间的特殊频段，往往被称为“**太赫兹间隙**”。

此前，利用金属亚波长超材料，在光子学研究中已经实现了太赫兹波的高效操控。但是，本工作的重要意义在于，即使利用电子学方式，也同样可以实现太赫兹波的控制。

具体来说，利用这种新的电子学超构器件，可以高效地实现器件中金属-介质-半导体三者之间的耦合过程，将太赫兹波的能量更好地局域在整个器件中，降低了能量损耗，提高了工作效率。此外，由于电场分量在器件中的分布具有连续性，使得太赫兹信号的传输更加高效，如图1所示。并且，这种传输和分布特性是可以通

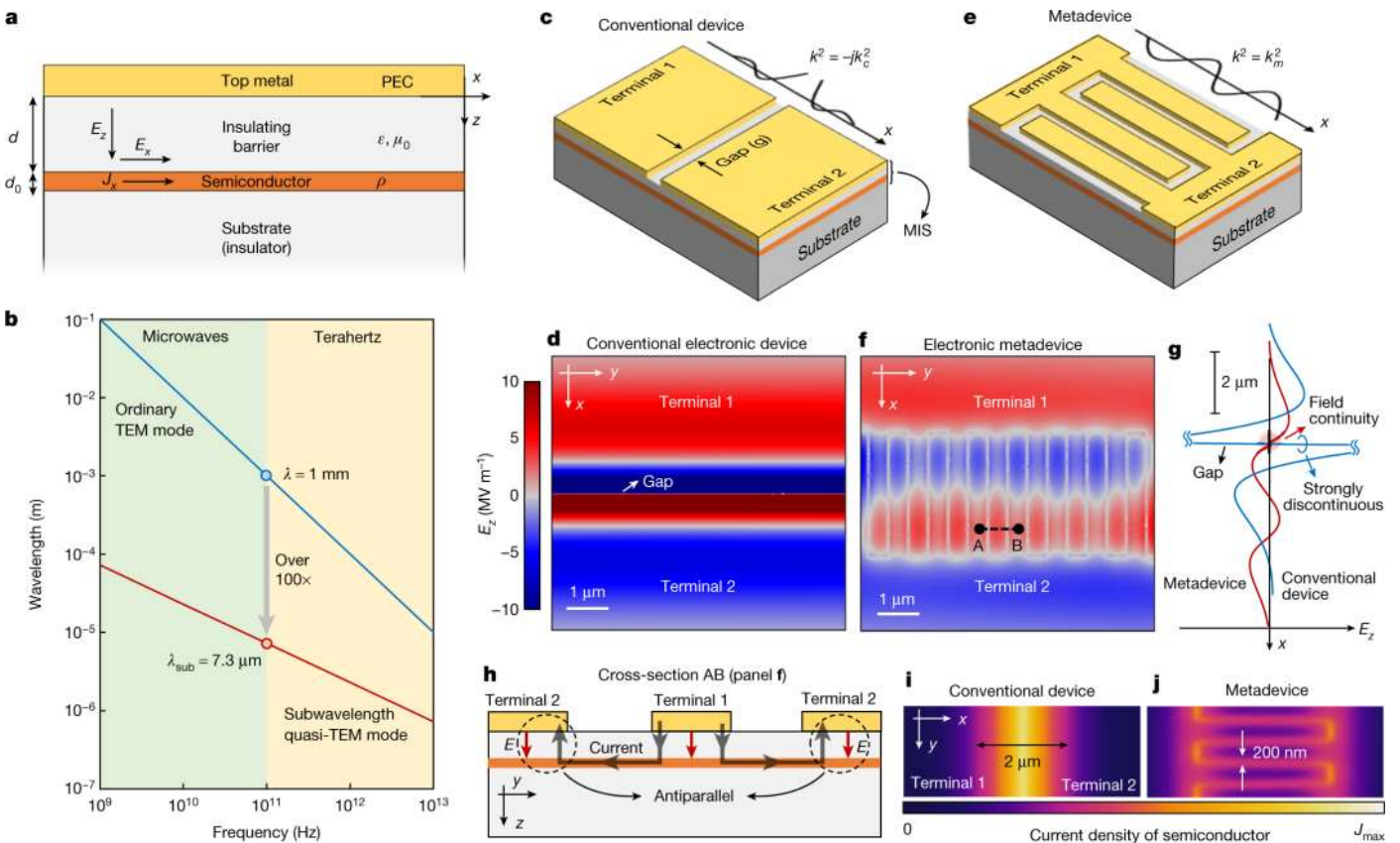


图1：太赫兹电子学超构器件的基本工作原理

图源：Nature 614, 451–455 (2023)

相比于传统太赫兹电子学器件，这种基于全新机制的电子学超构器件可以将接触电阻控制在理论极限的最低值，并将截止工作频率和击穿电压分别提升一个数量级。研究表明，与传统电子学器件相比，这种电子学超构器件的最高工作频率、最大输出功率和工作效率，都有着明显提升，如图2所示。

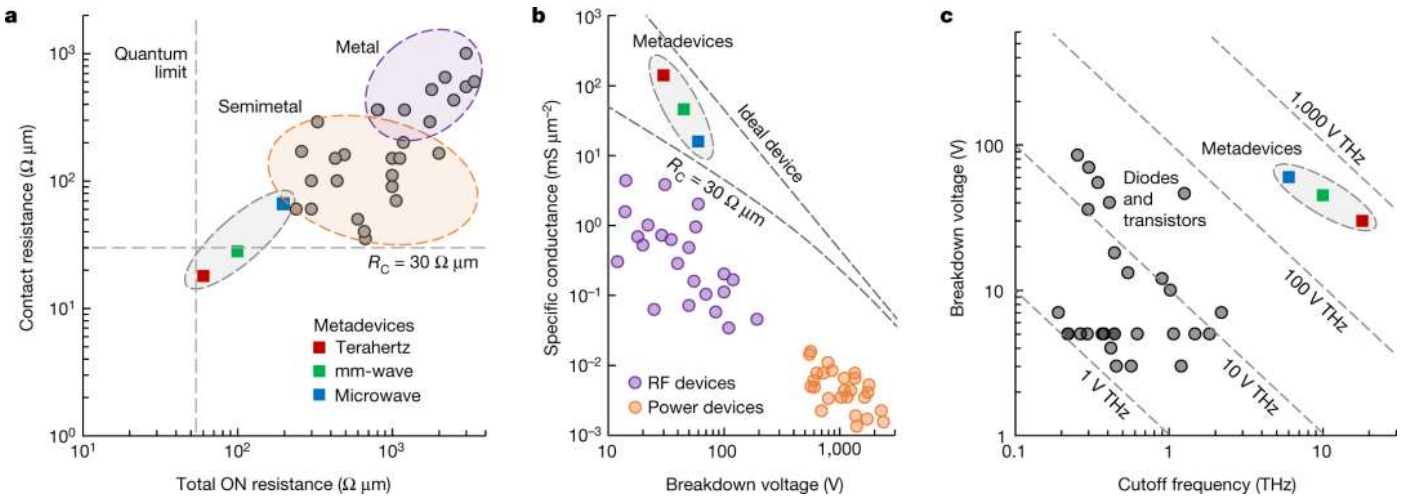


图2：太赫兹电子学超构器件的优越特性

图源：Nature 614, 451–455 (2023)

此外，以工作频率位于太赫兹频段的信号为例，本研究中还初步展示了这种新型器件在信号高速调制方面的应用。并且，这种新的概念既可以用于其它电子学器件中，还可以与目前先进的半导体工艺和二维材料等相结合。

论文信息

Samizadeh Nikoo, M., Matioli, E. Electronic metamaterials for terahertz applications. Nature 614, 451–455 (2023).