
太赫兹内窥镜：攻克深部肿瘤诊断的“盲区”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36435.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！

太赫兹内窥镜：攻克深部肿瘤诊断的“盲区”。 导读

癌症作为全球致死率最高的疾病之一，其诊断和治疗一直面临巨大挑战。尤其是位于消化道、肝脏及脑部等深部器官的肿瘤，由于位置隐蔽、获取困难，常常难以及时、准确地检测。传统的影像学手段要么穿透深度不足，要么依赖有创操作，存在一定局限。

近年来，太赫兹（Terahertz, THz）成像技术逐渐走进医学研究者的视野。凭借对组织水含量和微观结构的高度敏感性，它被认为是实现无创、实时肿瘤诊断的潜力工具。然而，如何突破太赫兹波在组织中穿透深度有限的瓶颈，将其应用于临床，特别是深部可及性差的部位，一直是难题。

近日，俄罗斯科学院普罗霍罗夫普通物理研究所联合多家科研机构在 *Light: Advanced Manufacturing* 上发表综述论文 *Terahertz endoscopy of hard-to-access objects in the context of neoplasms diagnosis – A review*，系统总结了太赫兹内窥镜的最新进展。这一方向试图突破传统THz成像受限于浅表组织的缺陷，为消化道、脑部、肝脏等深部肿瘤的非创、实时检测提供新途径。

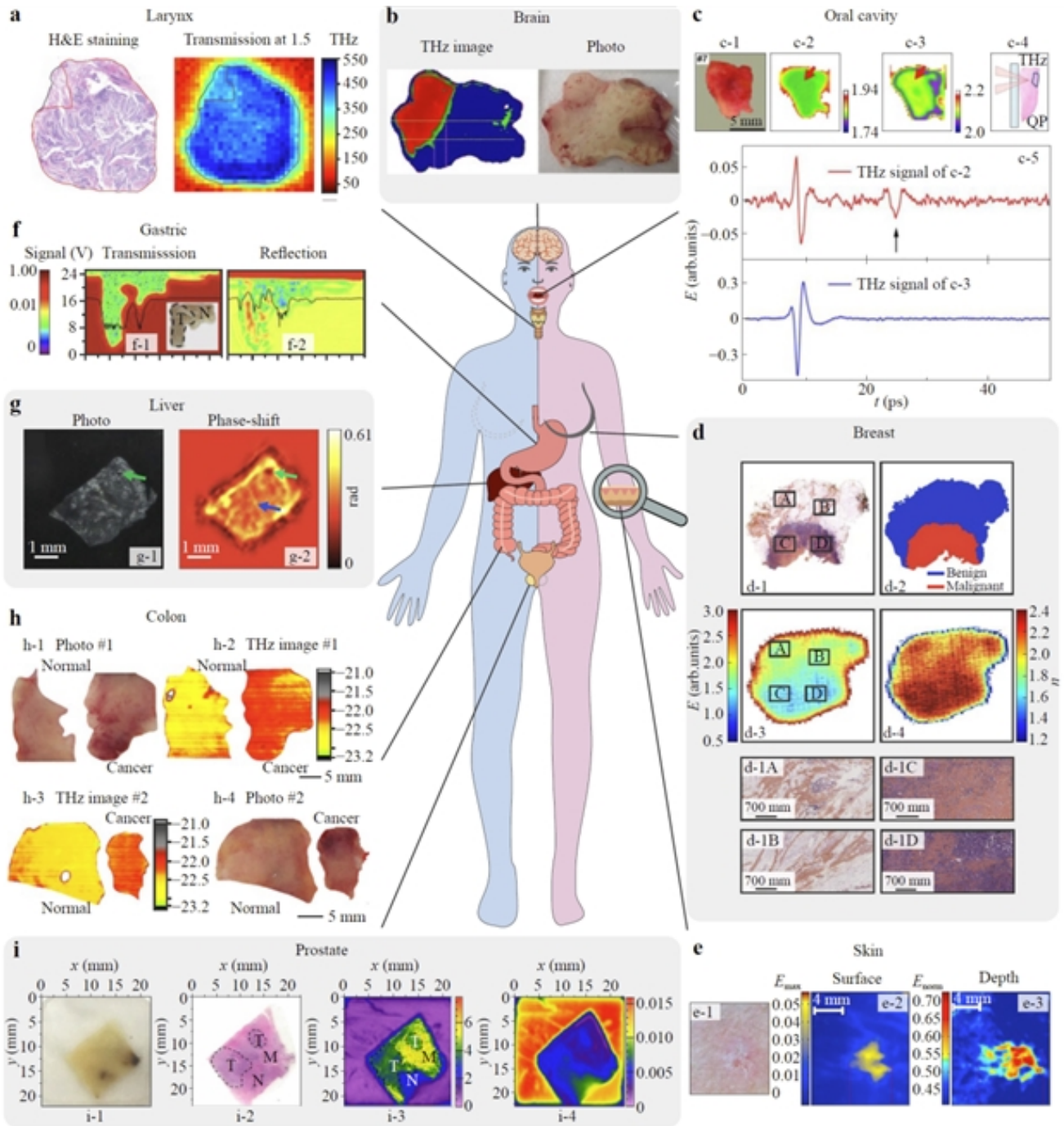


图1：THz技术在医学肿瘤诊断中的潜力

小百科：何为太赫兹成像？

太赫兹波（频率范围0.1–10 THz）介于微波和红外之间，具有以下独特优势：

- 高灵敏度于水分变化：肿瘤组织通常表现出水含量和结合状态的改变，THz波能敏锐捕捉这些信号。
- 无电离辐射：不同于X射线，THz成像无辐射损伤，安全性高。

· 无标记检测：无需外源性造影剂，即可区分良恶性病灶。

但其穿透深度仅限于 10 – 100 μm ，严重限制了临床应用。太赫兹内窥镜的提出，正是为解决这一难题。

目前，太赫兹内窥镜的研究主要集中在两条技术路径：

1. 光纤耦合型光导天线（photoconductive antennas, PCA）方案

该路径是利用光纤将近红外激光的泵浦光与探测光灵活传输至体内病灶附近，在那里驱动微型化的太赫兹发射器和接收器，从而实现局部信号的产生与检测。由于检测点靠近目标区域，这一方案能够有效提升信噪比，并充分利用成熟的光纤技术实现柔性进入。相关实验已在皮肤癌和口腔癌的离体样本中证明了可行性，未来有望进一步应用于消化道肿瘤的微创诊断。然而，这种方式需要在狭小空间内集成复杂的发射和接收组件，如何保证临床环境下的稳定性仍是亟待解决的问题。

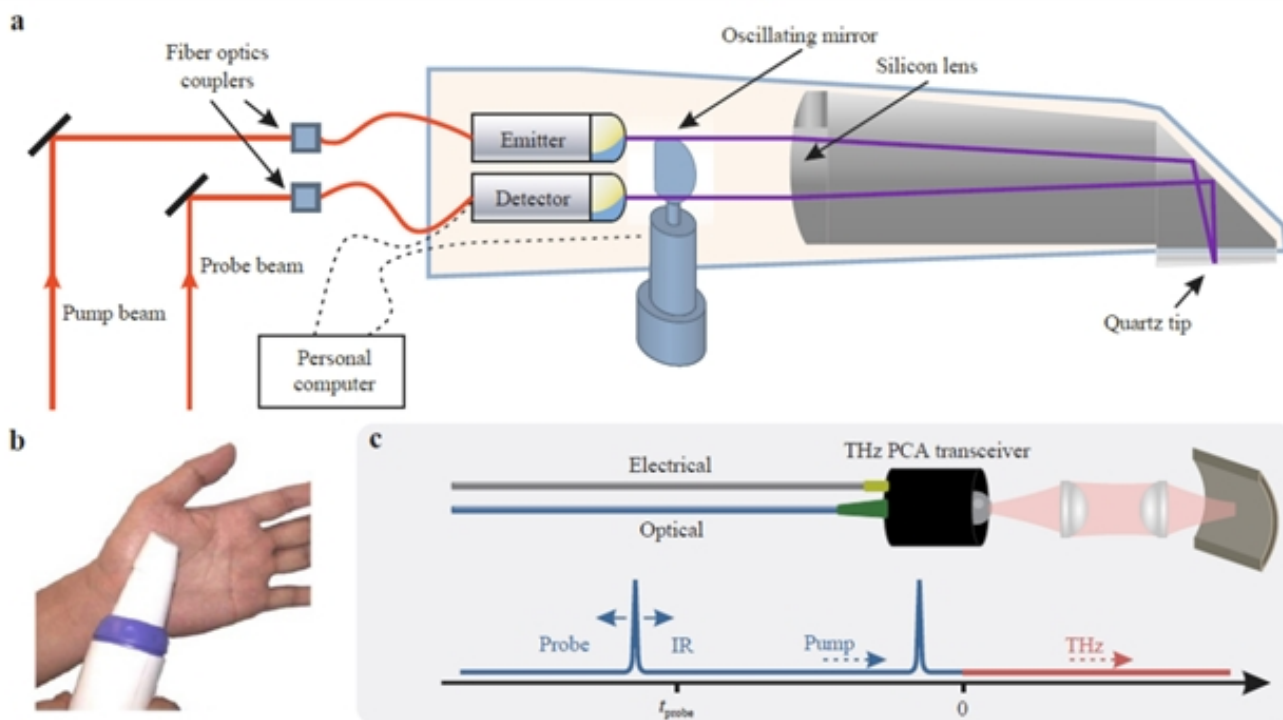


图2：基于光纤耦合型 PCA 的 THz 内窥镜系统

2. 太赫兹光纤 / 波导传输方案

这一方案的思路不再依赖近红外激光与 PCA 组件，而是尝试通过柔性光纤或波导直接将太赫兹波传输到深部组织，再将反射或散射信号回传检测。与前者相比，它的系统结构更为简洁，在理论上更适合深部组织的实时诊断与术中导航。在乳腺癌和脑胶质瘤的离体研究中，这一路径展现出能够清晰描绘肿瘤边界的能力；在胃癌、结直肠癌和肝癌等组织中，相关实验同样显示出与病理切片高度一致的对比如。但目前高性能太赫兹光纤和波导仍属稀缺资源，传输损耗大、制造成本高，商用化产品尚不成熟，这在一定程度上制约了其临床转化。

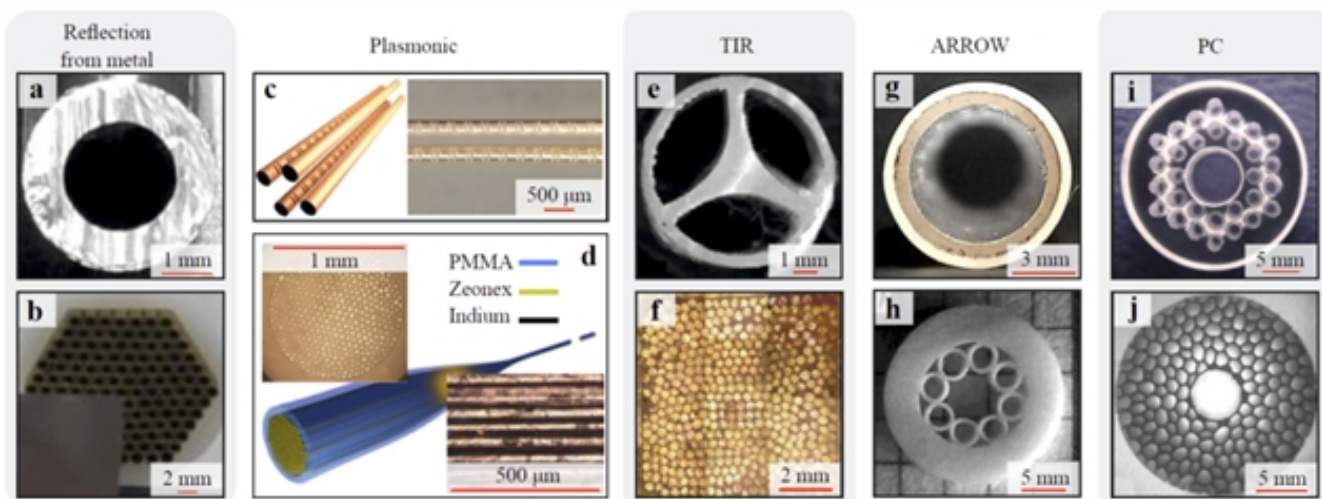


图3：THz波导和光纤代表性例子

尽管现阶段缺乏高效、商用的THz光纤元件，但多种材料平台与制造策略已取得突破性进展，为临床转化铺平道路。

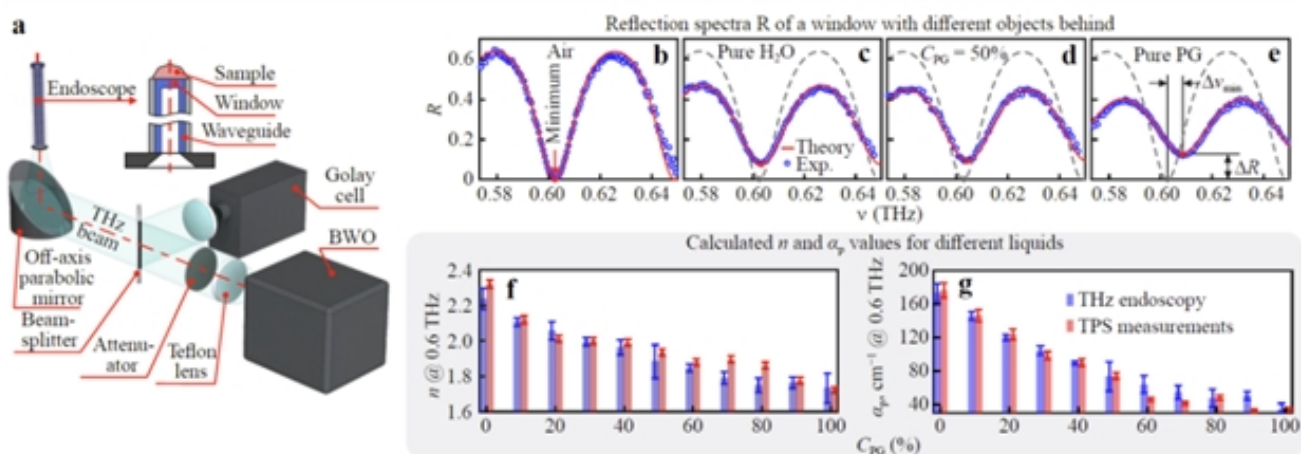


图4：THz光学常数的内窥镜测量

未来展望

尽管太赫兹内窥镜展现了巨大的前景，但要实现从实验室到临床的跨越仍需解决多重挑战。首先，硬件层面的瓶颈不容忽视，目前缺乏兼具柔性与高传输效率的太赫兹光纤和波导，导致设备在性能和实用性上受到限制。其次，太赫兹波的穿透深度有限，组织中水分的强吸收使其在厚组织诊断中存在天然劣势，这对深部肿瘤的应用提出了更高要求。此外，当前大多数研究仍停留在离体样本或动物模型阶段，真正面向人体的临床试验尚未开展，转化应用任重道远。

展望未来，研究人员认为，解决这些问题需要多方协同努力。一方面，应加快新型太赫兹光纤材料和制造技术的研发，提升其灵活性与传输效率，从而满足临床使用需求。另一方面，借助人工智能等先进算法，可以大幅提升太赫兹数据的处理速度与解读精度，为医生提供自动化诊断辅助。同时，将太赫兹内窥镜与光学、超声、多光子成像等多模态影像技术结合，也将成为提升诊断准确性和临床价值的重要方向。

结语

太赫兹内窥镜的出现，意味着医学界正在积极探索攻克深部肿瘤诊断的盲区。随着材料科学、光子学与人工智能的不断突破，这一技术未来有望逐渐走向临床，不仅服务于早期筛查，还可在术中为医生提供实时导航，并在治疗后实现疗效监测，从而构建起癌症诊疗的全链条闭环。正如论文作者所强调的那样，太赫兹内窥镜并非单一工具，而是未来精准医疗体系中不可或缺的重要拼图。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<http://dx.doi.org/10.37188/lam.2025.058>

作者：Kirill I. Zaytsev 来源：《光：先进制造》

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