

等离子激元“拉满”红外“技能”

作者：writer 来源：爱科学

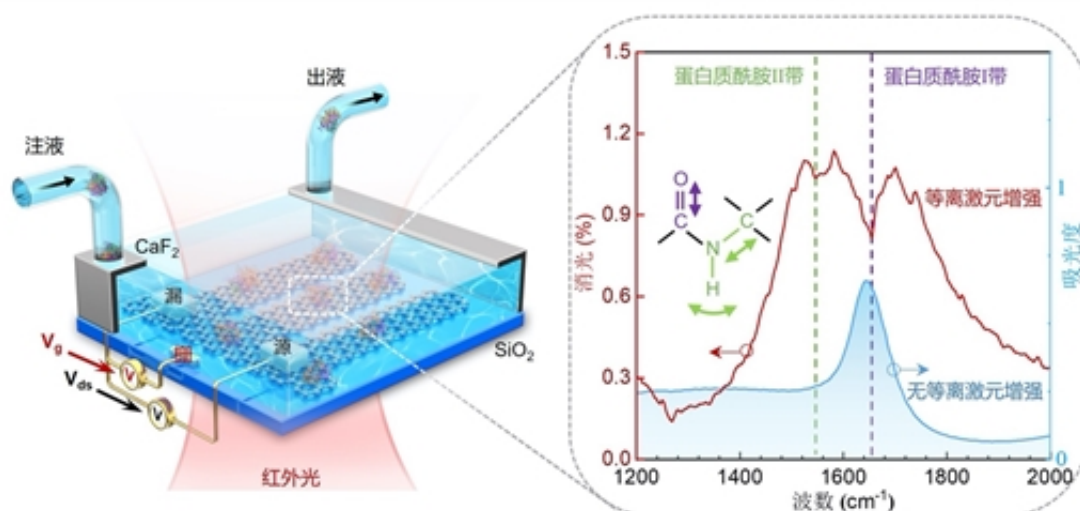
本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18574.html>

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！

等离子激元“拉满”红外“技能”。红外光谱技术是一种通过检测分子内部振动/转动能级的跃迁频率来确定物质分子结构从而鉴别化合物的分析方法。其快速、无损的特点，对研究生物分子的化学键和官能团十分有利，因此受到生物、化学等领域的广泛关注。不过，微米级别的红外光波长和纳米级别的生物分子相互作用微弱，成为红外光谱技术长期难以突破的限制。更重要的是，生物分子原位检测的水环境，是红外光谱最大的忌讳。

为此，来自国家纳米科学中心（以下简称纳米中心）纳米光子材料与器件实验室（以下简称光子室）研究团队自主开发出一种石墨烯增强液相红外传感器，拉满红外光谱的技能。这一传感器不仅实现了在生理环境下原位识别纳米级蛋白质的振动指纹，还创新性地采用电学调控的方法有效消除了液相环境水信号干扰。

5月30日，这项研究成果在《先进材料》（Advanced Materials）上在线发表。



石墨烯增强液相红外技术原理示意图及相关实验数据（研究团队供图）

红外光谱难题待解

在生物科学研究中，蛋白质作为复杂的纳米级分子机器，其纳米蛋白冠界面、病毒蛋白结构域与受体的结合界面以及纳米药物靶向作用位点也都在纳米尺度。作为论文通讯作者之一、国家纳米科学中心研究员杨晓霞告诉《中国科学报》：开发具有纳米级分辨率的原位和非侵入性检测技术以了解生理环境中的生物界面和过程非常重要。

许多研究者心目中，目前已经广泛应用于物质鉴定的红外光谱技术备受期待。一束红外光通过某种物质，当物质分子中基团的振动/转动频率和红外光谱中的特定频率一样时，分子会吸收红外光的能量完成跃迁，该处波长的光就被物质吸收，形成具有不同特征的振动指纹。这便是红外光谱技术用来鉴别化合物的基本原理。

然而，红外波长普遍在微米尺度，与纳米尺度的生物分子存在超过3个数量级的尺寸失配，导致光与物质相互作用十分微弱。与此同时，水作为一种极性分子，强烈的红外吸收总是掩盖生物分子关键频段的振动指纹。

因此，如何克服信号微弱和水的干扰这两个短板成为红外光谱探测研究领域面临的大挑战。

石墨烯+等离激元

多年来，学者们想尽各种办法，希望用增强红外光谱的策略实现原位检测生物分子的目标。

作为导电材料上一种独特的物理现象，等离激元的应用被视为增强红外光谱的新方法之一。在等离激元现象中，入射光驱动材料中的自由电荷产生光频的集体振荡，形成的电磁模式可以聚焦和放大入射光的信号。

与此同时，2010年前后，石墨烯作为一种新型低维纳米材料，逐渐走进科研人员视野。石墨烯具有单原子层的厚度、高载流子迁移率、狄拉克电子特性以及电学可调的优势，是实现增强红外光谱的理想介质。

石墨烯+等离激元，会迸发出什么火花？过去已有研究证明，石墨烯等离激元在红外波段表现优异，其可以将90%的电磁场能量圈定在表面10纳米范围内，形成热点，处在热点区域的待测分子红外信号被有效放大。

但是，实际操作中，研究人员却遭遇新的困难。石墨烯的特殊结构带来性能突破的同时，也使其等离激元效应容易遭受周围介电环境的强烈干扰。最新发表论文一作、国家纳米科学中心博士生吴晨晨告诉《中国科学报》。

为解决石墨烯等离激元易受干扰的问题，2015年以来，纳米中心光子室研究团队通过对石墨烯纳米结构设计和等离激元调控规律研究，突破了基底介电环境干扰，已经实现了微量固相有机分子薄膜和有害气体分子的高灵敏检测，相关研究成果陆续在《自然-通讯》《先进材料》等期刊上发表。

想法变成现实

科研团队在攻克固相和气相分子检测之后，又对石墨烯等离激元进行了新技能开发，即液相分子检测。

吴晨晨介绍，消除水的干扰是生理环境中分子检测遇到的最大挑战。一方面，通过双电层对石墨烯进行电学调控可将等离激元热点外的背景信号原位扣除；另一方面，石墨烯的疏水表面可以有效吸附溶液中的蛋白质分子到其热点区域，并把水分子排除在热点区域以外，这两者协同作用，可有效放大蛋白质分子的红外信号。

这个想法看起来容易，想要真正做出一个实物却没那么简单。研究团队首先通过设计超薄透射红外液体流通池，保证了红外光在液体环境下的稳定光程和高透过率。然后，构筑了在生理环境中进行有效电学调控的石墨烯纳米结构。经过3年不懈努力，一种可调谐的石墨烯等离激元增强液相红外传感器终于出炉。

从一进入团队开始，吴晨晨几乎每天从早到晚都泡在这个实验上，辗转于微纳加工实验室和红外光谱实验室。从红外液体流通池到传感器的电路设计，理论上看起来是能走通的，但是在微纳加工实验室制备完传感器，去测试红外光谱之后又发现没有预期的结果。她说，就这样反复失败，反复查阅文献、找老师们讨论、总结原因，重新设计、重新制备传感器。当然，她也获得一个意外的收获，微纳加工技术得到大大精进。

实验证明，这一液相红外传感器在生理环境下，有效激发了可调谐的石墨烯等离激元响应，不仅成功抑制了水环境的信号干扰，还将光谱检测的灵敏度提高到了2纳米水平。在此基础上，进一步实验原位识别了纳米级蛋白质酰胺I带和酰胺II带的振动指纹，并成功监测了纳米蛋白质的氢氘质子交换过程。

几乎从零起步，看着这个一步步研究出来的实实在在的技术，有很强烈的成就感。吴晨晨坦承。

更令人期待的是，这种自主设计的可调谐石墨烯等离激元增强液相红外传感器作为可拆卸附件，可以兼容商用显微红外光谱仪的测量模式。

国家纳米科学中心博士生吴晨晨为本文的第一作者，戴庆研究员和杨晓霞研究员为共同通讯作者。（来源：中国科学报甘晓）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/adma.202110525>

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。

作者：杨晓霞等 来源：《先进材料》

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