



Ocean Optics

```
placement>*/
require('inherits');
placement>*/
debugUtil = require('debug');
debug = debugUtil('oceanoptics');
debug = function () {};
/replace>*/

BufferList = require('./internal/streams/BufferList');
StringDecoder;

util.inherits(Readable, Stream);

function prependListener(emitter, event, fn) {
  // Sadly this is not cacheable as some libraries bound their own
  // event emitter implementation with them.
  if (typeof emitter.prependListener === 'function') {
    return emitter.prependListener(event, fn);
  } else {
    // This is a hack to make sure that our error handler is
    // userland ones. NEVER DO THIS. This is here only
    // to continue to work with older versions of Node.js
    // that do not have the prependListener() method. The goal is
    // to continue to work with older versions of Node.js
    if (!emitter._events || !emitter._events[event]) {
      emitter._events[event] = [];
    }
    emitter._events[event].unshift(fn);
  }
}

function ReadableState(options, stream) {
  Duplex = Duplex || require('./_stream_duplex');
  options = options || {};
}
```



拉曼应用手册

拉曼光谱仪 | 附件 | 软件 | 应用案例



ASIA 400-623-2690
asiamkt@oceanoptics.com
www.oceanoptics.cn

口袋光谱世界

We Measure What Matters

目录

拉曼光谱简介

拉曼光谱原理	03
拉曼光谱能提供哪些关键信息	03
拉曼光谱的优势	03
海洋光学拉曼方案的优势	03

拉曼光谱系统

模块化系统（灵活，可定制）	04
集成化系统（满足特定应用的交钥匙产品）	10

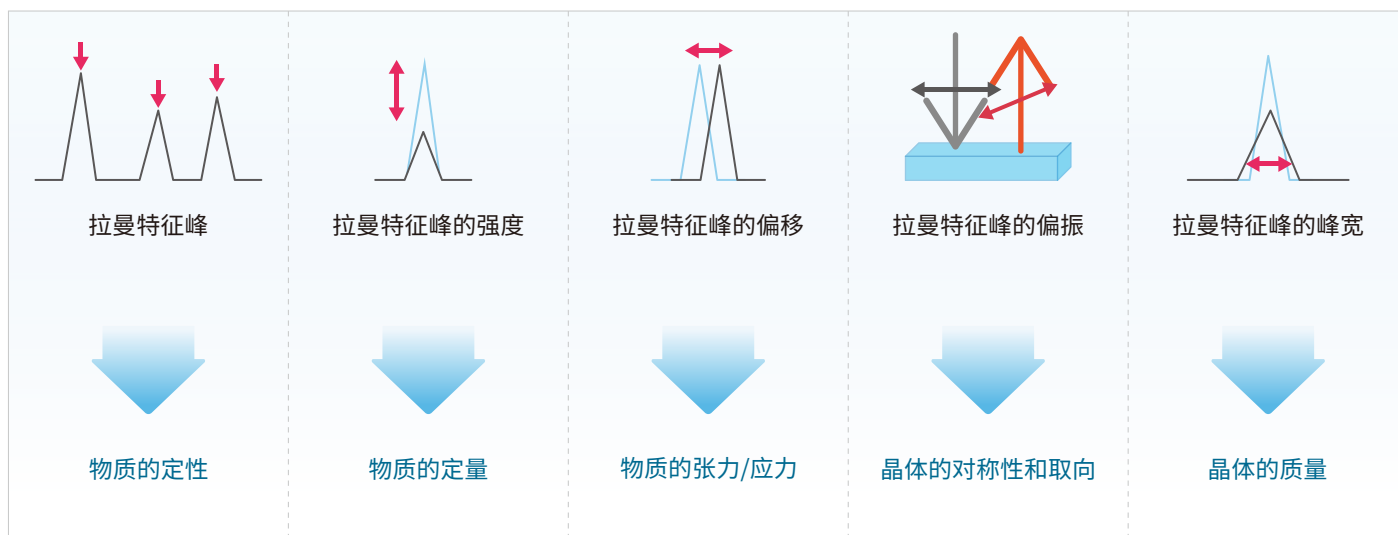
拉曼光谱典型应用领域与应用案例

医疗与生物制药	12
食品安全	13
安检与刑侦	15
工业检测	16
珠宝考古	17
环境保护	18
材料科学	19

拉曼光谱原理

拉曼光谱是一种基于拉曼散射原理的分析技术。当激光与分子作用时，极少数光子会与分子交换能量，导致散射光频率改变。分析这种频率变化所形成的散射光光谱，即可获得分子独特的振动和转动能级信息，如同分子的“指纹”。凭借其准确、快速、无损的检测优势，拉曼光谱能够揭示物质的化学结构、相和形态、结晶度及分子相互作用等信息，已成为材料、化学、医学、验伪、工业质控等众多领域不可或缺的分析工具。

拉曼光谱能提供哪些关键信息？



拉曼光谱的优势

- 无需复杂的样品前处理
- 与FTIR不同，可以兼容水性样品
- 与拉曼光谱库匹配，快速鉴别材料
- 无损检测，适用于液体，固体，凝胶和表面检测
- 原位与穿透检测，能通过包装袋，瓶子和比色皿进行测量

海洋光学拉曼方案的优势

海洋光学深耕拉曼测量技术三十载，提供从模块化产品到集成化系统的全套解决方案。我们的产品体积小、性能高、成本低，让您轻松将拉曼检测运用现场和各个领域。

- **模块化产品：**灵活性高，从激光波长到检测速度，都可以根据您的需求自由选择和搭配。
- **集成化系统：**适用于特定应用，其拉曼位移范围，分辨率，激发波长都是预制的。
- **客户定制OEM拉曼系统：**我们拥有本地技术及工程师团队，提供从概念验证到量产的完整解决方案。合作方式灵活多样，为您提供各个环节的支持。

如何构建拉曼光谱系统？

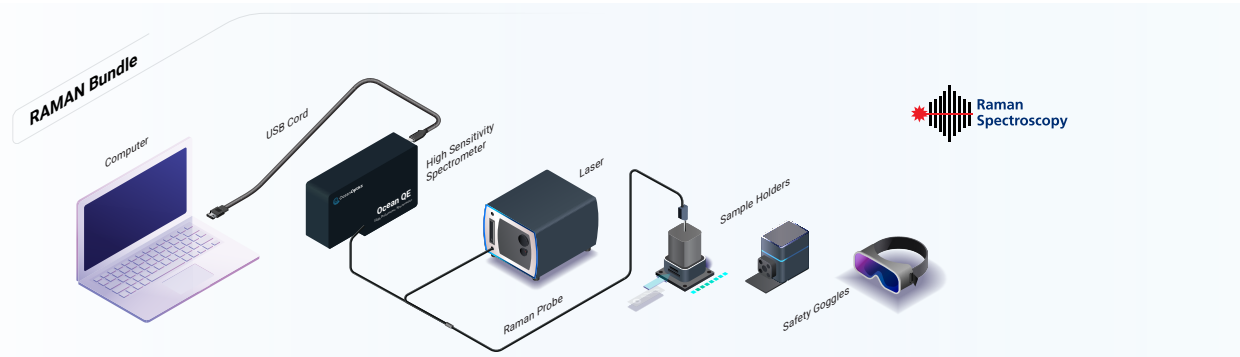
构建拉曼光谱系统时，需综合权衡激光波长、拉曼位移范围和分辨率等关键性能：激光波长的选择会直接影响信号强度和背景荧光；光谱仪的选择则需在拉曼位移范围和分辨率之间做出平衡；而具体应用往往决定了所需的光谱仪性能与最佳激光波长。对于常规标准化检测，**集成化系统**是便捷可靠的选择；若在激光波长、分辨率等方面有特殊要求，可定制的**模块化系统**是更好的选择。

模块化系统

灵活，可定制

模块化系统方便灵活，易于验证新拉曼应用方案的可行性，后续基于该系统开发量产产品也较为容易。我们的模块化方案可按需求精确定制，还可按客户要求更换或优化各组件。我们的模块化组件包含：可定制光谱仪、多种激光器、探头和样品支架等，能满足各类不同应用需求。

模块化系统一般先选择激发激光，再通过光纤和拉曼探头传导至样品（也可采用空间光路方式），产生的拉曼光谱由同一探头采集并导入光谱仪。光谱仪的灵敏度、光学分辨率及拉曼位移范围等参数，均按客户应用配置。



模块化系统	
激发激光	多种选择：532 nm，638 nm，785 nm，1064 nm，定制款
拉曼探头	多种选择：标准拉曼探头，双波长拉曼探头，过程拉曼探头
SERS芯片基底	一致、稳定且耐用的SERS基底，实现可靠的定量分析
拉曼样品支架	适用于液体和固体的拉曼分析
拉曼光谱仪	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>QE Pro 系列</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>NR</p> </div> </div>
特点	<ul style="list-style-type: none"> • 灵敏度高 • 适合弱拉曼信号 • 配置灵活，满足不同的拉曼需求
预配置光谱仪	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> QEPRO-RAMAN-532/QEPRO-RAMAN-638 QEPRO-RAMAN-785/QEPRO-RAMAN-830 </div> <div> NR-RAMAN-1064 </div> </div>
定制	<ul style="list-style-type: none"> • 可配置光谱范围：200-1100 nm • 可更换狭缝，优化分辨率

拉曼光谱仪

拉曼光谱仪是模块化系统强大的核心组件，我们的拉曼光谱仪可以根据您所需要的激发波长，分辨率，范围和灵敏度进行自定义配置。预配置的拉曼光谱仪适合常见的532 nm、638 nm、785 nm或1064 nm激发波长的测量。

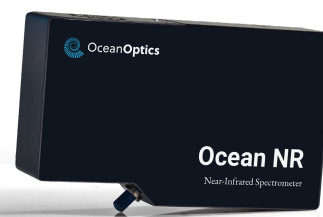
QE Pro 高灵敏度拉曼光谱仪

The QE Pro是一款高性能的光谱仪，具有高灵敏度，高分辨率和高信噪比的特点，能获得最佳的拉曼光谱。采用镀金的反射镜，制冷型（低于环境温度-40°C）背照减薄式FFT-CCD探测器，即使在长时间积分的情况下，基底噪音也很小。即使拉曼信号很微弱，它也能获得显著的特征峰。当您的应用需求尚不明确的时候，QE Pro是极佳的全能探索工具。



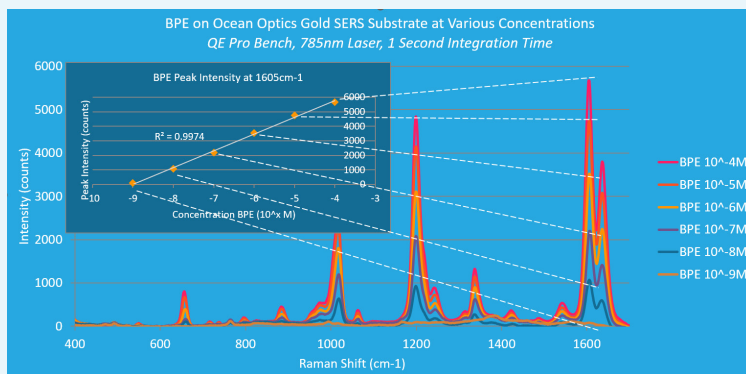
NR 近红外光谱仪

Ocean NR系列光谱仪专为高性能近红外光谱分析而设计，集更高信噪比、更宽动态范围和更优分辨率于一体，具备卓越的测量精度与可靠性。创新的高增益模式，极大提升对微弱拉曼信号的灵敏度。该系列内置热电制冷系统，可确保优异的热稳定性和测量结果的一致性。



技术小贴士：拉曼光谱——定性与定量

拉曼光谱以其独特的分子“指纹”特性，通常被视为一种定性的分析方法，通过特征峰指纹识别物质。然而，它同样能实现可靠的定量分析，其核心原理是：在特定条件下，分子的拉曼散射强度与其浓度成正比。最直接的方法是基于特征峰的强度，以燃料标记物1, 2-二(2-吡啶基)乙烯(BPE)为例，其在1605 cm^{-1} 处的特征峰强度与浓度呈线性关系。面对更复杂的实际样品，则需借助内标法、主成分分析(PCA)等方法来保证定量分析的准确性和可靠性。



拉曼附件

为了应对千变万化的样品类型和实验条件，我们提供一系列经过光学优化和验证的附件。您可以根据具体需求，像搭积木一样自由选配，构建最适合您应用的拉曼系统。

拉曼探头

我们可以提供高品质的光纤耦合拉曼探头，探头前端内置滤光片，可有效滤除激发光与瑞利散射干扰，只将斯托克斯拉曼散射信号传入光谱仪，无需加装额外的过滤装置。

标准拉曼探头 (ORP-XXX)

ORP系列标准拉曼探头采用紧凑坚固的设计，可有效滤除激发光与瑞利散射干扰，实现高信号采集。该探头兼容Ocean Optics拉曼系统，适用于实验室、工业及环境应用，并提供多种激发波长选择。



过程拉曼探头 (ORP-P785-6)

过程拉曼探头专为严苛的应用设计，其套筒采用密封式、可挤压设计，适用于浸入、高压及真空环境。探头采用后向散射光学技术，具有很高的收集效率，可兼容包括固体、液体和气体在内的多种样品类型。



双波长拉曼探头 (ORP-DW-532-785)

双波长拉曼探头采用共线光学设计和高通量光学元件，可在532/785 nm波长下实现高效同步测量，是复杂样品分析的理想选择。



	标准拉曼探头	过程拉曼探头	双波长拉曼探头
激发波长	532/638/785/830/1064 nm	785 nm, 其他定制波长	532/785 nm
光谱范围	100-4000 cm^{-1} (取决于光谱仪型号)		
焦距	标配9 mm (12、15和18 mm可选) 注意: 探头效率随焦距增加而降低		
样品光斑直径	100 μm (纤芯直径为100 μm)		
工作温度	0-85°C	0-325°C	0-85°C (非浸入式套筒) 0-325°C (密封式套筒)
工作压力	15 psi	6000 psi	15 psi (非浸入式套筒) 6000 psi (密封式套筒)

套筒

参数	ORP-LWD-47	ORP-LB-6 (工业)	ORP-SWD-LB
	 非接触式长工作距离套筒	 密封浸入式套筒	 短工作距离密封式套筒
套筒材料	316不锈钢	316不锈钢 (其他金属材料可选, 如哈氏合金、英科耐尔、蒙乃尔或钛。)	
聚焦透镜工作距离	47 mm 注: 20至100 mm可选	5 mm	<0.5 mm
尺寸	直径1英寸, 长度3.9英寸	直径3/8英寸, 长度6英寸	直径3/8英寸, 长度6英寸
O型密封圈	NA	特氟龙O型圈 注: Kalrez® O型圈可选	Kalrez® O型圈 注: 特氟龙、镀金O型圈可选
数值孔径	0.20	NA	NA
工作温度	0°C至125°C	-40°C至350°C	-40°C至250°C
最大工作压力	15 psi	常压至>3000 psi	>3000 psi
套筒窗口	NA	蓝宝石 (可提供熔融石英)	蓝宝石

激光器

要获得纯净的, 高质量的拉曼光谱, 激光光源必须稳定和具有很好的单色性。我们提供的532 nm、638 nm、785 nm及1064 nm多模激光器, 采用创新的稳定和冷却技术, 可实现有效锁定波长, 具备功率高、光谱线宽窄、边模抑制能力大于40 dB等优势, 有助于获取高信噪比的拉曼光谱。

标准型532 nm与785 nm激光器, 集成激光驱动和TEC控制电路, 支持前面板或远程调节驱动电流; 紧凑型532 nm激光器适用于OEM集成, 并支持外部远程驱动。



技术小贴士：选择合适的拉曼激发波长

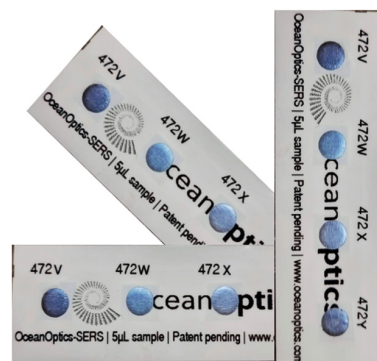
拉曼信号的强度与激发波长的关系为 $(1/\lambda^4)$, 所以短波激光产生的拉曼信号更强, 但导致的荧光干扰也更严重, 使得拉曼峰难以辨识。

- 有机物质特别容易产生荧光, 所以一般采用红光或近红外段的激光进行激发 (660-830 nm)
- 无机物质荧光干扰要小很多, 如碳纳米管和C60, 通常采用532 nm激发光
- 如果采用1064 nm激光, 激发荧光的干扰基本就没有了, 这个谱段可以用我们的NR系列产品进行检测

SERS基底

表面增强拉曼光谱（SERS）是一种强大的检测工具，能够显著增强微弱拉曼信号。在SERS分析中，待测物在检测前会被吸附到三维颗粒表面，这种相互作用会诱导表面等离子体共振效应，从而将拉曼信号强度放大数百万倍。

我们的高性能SERS基底采用了独特的专利SIGNAL ENHANCING HEAT SINK技术。每片载玻片包含四个带有序列号的大面积活性SERS芯片。这些芯片具有极高的灵敏度，能够实现对炸药和农药等样品的痕量检测。

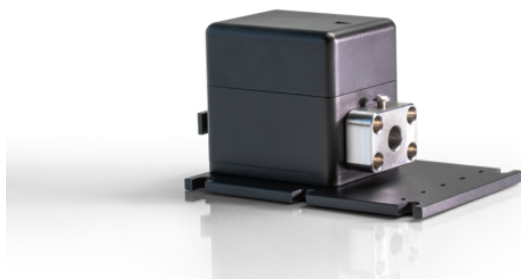


参数	规格
基底尺寸	75 x 24 x 0.2 mm
活性区（裸芯片尺寸）	6 mm
活性区数量（芯片数量）	4
分析物体积	5 - 10 µL
基底表面	聚乙烯柔性胶膜
激光激发波长	671/785/830/1064 nm
最佳性能保存期限	8个月
长期储存温度	5 - 60°C (40 - 140°F)
长期储存湿度	< 50 % RH, 无冷凝

其他配件

拉曼样品支架

提供适用于液体与固体拉曼分析的样品支架，适配直径9.5 mm-12.7 mm的拉曼探头，并兼容1 cm光程比色皿及多种尺寸样品瓶。



激光护目镜

拉曼激光护目镜在保障良好的视野和佩戴舒适度的同时，提供出色的激光防护性能。专为应对直射及漫反射光而设计，符合EN207标准，并已通过CE认证。



拉曼软件

OceanView 2.0是一款功能强大的桌面光谱分析软件。该软件拥有简洁的图形界面，可实现快速、稳定的数据采集和处理。升级后的OceanView 2.0 GUI界面采用了易于识别的图标，并优化了视觉对比度，有助于减轻眼睛疲劳。与早期版本相比，还包括提升了软件功能等改进，旨在提供更稳健、流畅的用户体验。

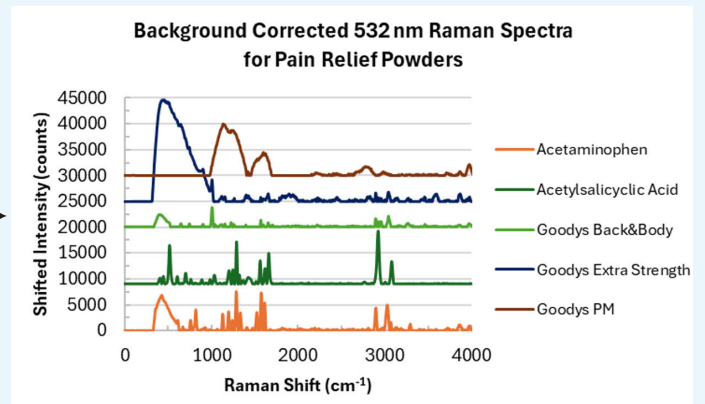
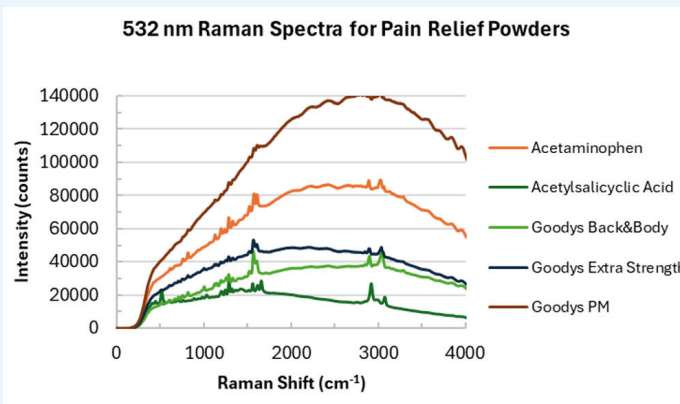


系统要求	
通讯接口	USB, RS232, 以太网
硬盘空间	300 MB 可用空间
显示器分辨率	1024 x 768 或更高
操作系统	Windows 7/8.x/10, MacOS X 10.7.3, Linux 32/64
处理器	Intel Core II Duo @ 1.4 GHz或更高 Intel Core Duo @ 2.0 GHz或更高 AMD Athlon Neo X2 @ 1.6 GHz或更高 Intel Atom @ 2.13 GHz或更高 AMD Athlon 64 x2 @ 1.7 GHz或更高
内存 (RAM)	1.5 GB或更高
光谱库	不包含光谱库



技术小贴士：如何去除荧光背景干扰？

OceanView的Clean Peaks功能可有效消除荧光背景，提供卓越的基线校正效果。该功能能够获得更纯净、更尖锐的拉曼峰，从而确保光谱分析的准确性与可靠性。



拉曼集成系统

满足特定应用的交钥匙产品

当您的应用激发波长、拉曼位移范围和分辨率需求明确，且不会轻易改变时，集成化拉曼系统是更为便捷的选择。我们的系统产品在性能和价格上都具有很强竞争力。

Accuman SR-510科研级便携式拉曼光谱仪

硬件配置全新升级，具有堪比大型台式拉曼的优异性能。快速容易上手的配套软件和丰富的采样套件，大大简化了拉曼科研研究中的测试过程，简单几个步骤就能够实现样品光谱获取、定性及定量分析，适用于实验室以及科研用户。



MicroTEQ-S1显微光谱测量系统

集成荧光、拉曼和反射光谱测量功能。通过把光谱模块集成到显微镜上，实现显微荧光、拉曼和其他光谱信息的测量。系统由光谱仪、激光器、光源、显微镜等模块构成，配置灵活，帮助用户快速快速获取样品微观结构与光谱信息。



定制化显微拉曼测量系统

采用高精度微区光路平台，通过加装于显微镜光路中的拉曼光谱模块，实现了共焦拉曼*测量功能。帮助用户快速的对样品微观结构，光谱信息进行测试和分析，显著降低微观测试复杂度。可以根据需求，提供多激发波长，1 μm*级别的聚焦光斑和探测区域等参数。



拉曼集成系统			
拉曼系统	科研级便携式拉曼 ACCUMAN SR-510	显微拉曼 MicroTEQ-S1	定制化显微拉曼
产品特点	<ul style="list-style-type: none"> 轻巧便携 优异的光谱性能 现场，实验室均可使用 	<ul style="list-style-type: none"> 高度定制，完美适配测试需求 支持Mapping，热力图等测试形式 可拓展荧光、透射、吸收、反射等测试功能 	<ul style="list-style-type: none"> 高精度微区光路平台与正置显微镜集成，具备优异的共焦能力 空间分辨率高，可实现约1微米级别的聚焦光斑与探测区域
激发波长	785 nm	532 nm, 785 nm	532 nm (可定制其他波长)
应用	<ul style="list-style-type: none"> 材料 生命科学 食品安全 珠宝考古 生物医学 石油化工 	<ul style="list-style-type: none"> 材料分析 地质考古 地质研究 	<ul style="list-style-type: none"> 公安安全 珠宝鉴定 医学生物 SERS研究 半导体 微流控过程

典型应用领域

医疗与生物制药

- 药品细菌检测
- 原辅料鉴别
- 中药中添加西药检测
- 癌症诊断

食品安全

- 掺假和真伪识别
- 农残检测
- 违禁添加剂的检测（例如孔雀石绿）
- 维生素，糖分，油脂，蛋白质定性定量分析

安检与刑侦

- 毒品或违禁药品快速检测
- 爆炸物检测
- 物证鉴定

工业检测

- 生物反应过程监控
- 环氧树脂固化过程监测

珠宝考古

- 珠宝鉴定
- 矿石成分和结构分析
- 文物修复

环境保护

- 土壤污染分析
- 水质分析
- 大气污染分析

材料科学

- 材料结构鉴定
- 聚合物检测和鉴别

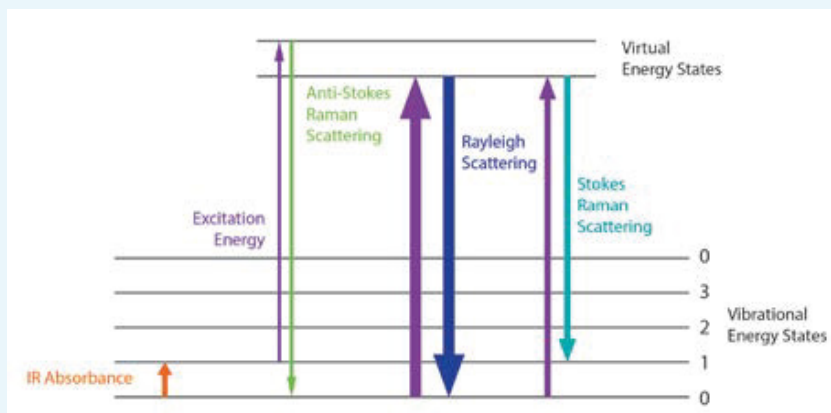


技术小贴士：计算拉曼位移

当激发光与样品分子作用时，如果光子与分子碰撞后发生了能量交换，光子将一部分能量传递给样品分子或从样品分子获得一部分能量，从而改变了光的频率。散射光频率与入射光频率差值称为拉曼位移。

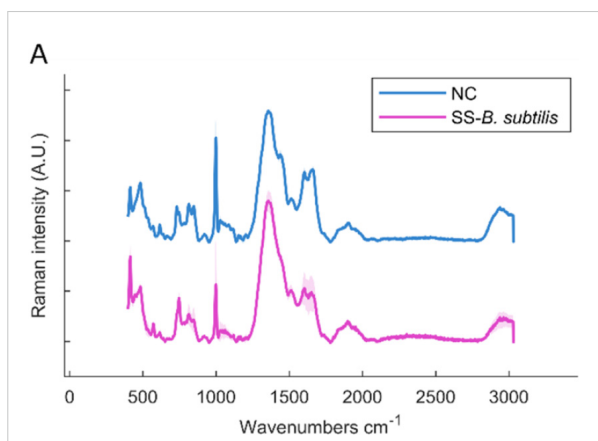
下列公式表明了如何通过激光波长 (λ_0) 和拉曼峰波长 (λ_x) 计算拉曼位移 $\Delta\nu$ ，单位是 cm^{-1} ：

$$\Delta\nu_x(\text{cm}^{-1}) = \left(\frac{1}{\lambda_0(\text{nm})} - \frac{1}{\lambda_x(\text{nm})} \right) \times \left(\frac{10^7(\text{nm})}{\text{cm}} \right)$$



药品中的细菌检测

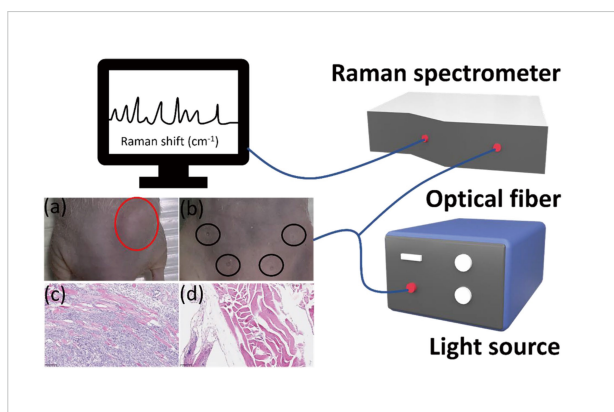
传统药品的无菌检测方法繁琐且耗时。拉曼光谱作为一种非侵入、无需开瓶、快速无损的分析技术，能够通过分子振动指纹直接识别细菌特有的生化成分（如核酸、蛋白质、脂质等），无需培养即可实现微生物的快速筛查。本研究采用海洋光学的QE Pro 785 nm拉曼光谱仪，在药品原包装中实现了对低至10 CFU/mL的细菌（包括芽孢）的高灵敏度检测^[1]，这种快速且经济高效的方法在制药行业的质量控制中具有巨大的应用潜力。



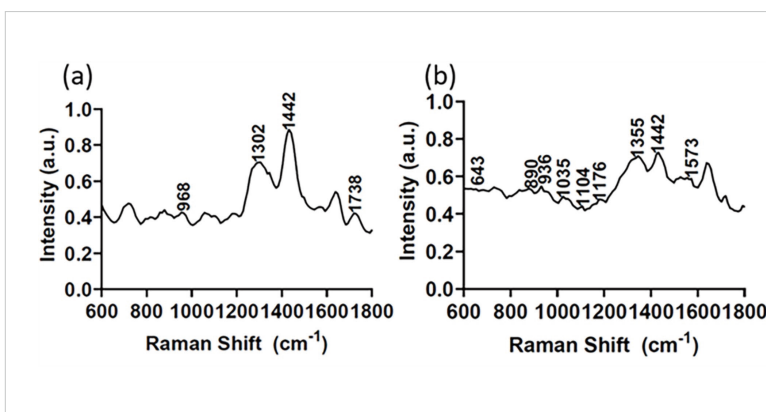
此图展示了无菌样品（NC）与有细菌样品（SS-vBS）的拉曼光谱对比。经过基线校正与归一化处理，两者光谱图整体相似，但在700–1800 cm^{-1} 和 2800–3200 cm^{-1} 波数范围内，污染样品在关键特征峰（包括786 cm^{-1} 、1090 cm^{-1} 处的核酸信号，1656 cm^{-1} 处的酰胺I带等）表现出明显强度差异，这些差异反映了细菌生物分子的特征振动。直观证明了拉曼光谱能够从复杂的药物基质中特异性地识别出细菌信号。

乳腺癌诊断

在临床手术过程中，在线从非癌性组织中识别出癌性乳腺组织对于彻底切除肿瘤至关重要。采用海洋光学QE Pro 785 nm拉曼光谱仪结合机器学习算法实现了对小鼠晚期乳腺癌组织与正常乳腺组织的准确区分，为乳腺癌提供了一种无创、快速的诊断工具，在术中环境中提供了有前途的应用^[2]。



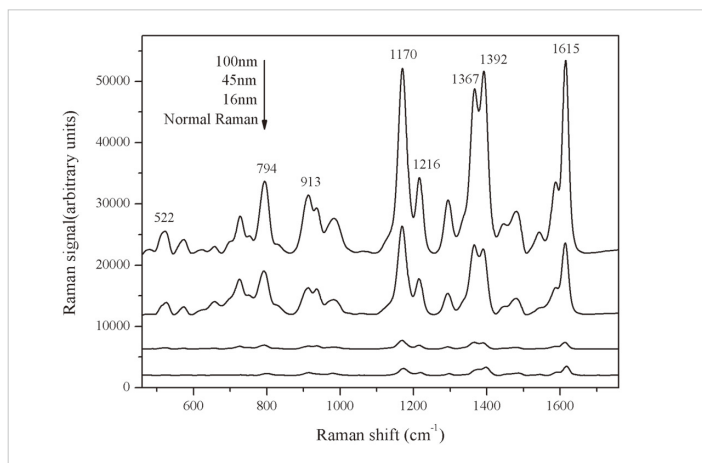
小鼠癌症模型中拉曼系统的示意图。(a)肿瘤；(b)正常乳腺；(c)经H&E染色的肿瘤；(d)经H&E染色的正常乳腺。



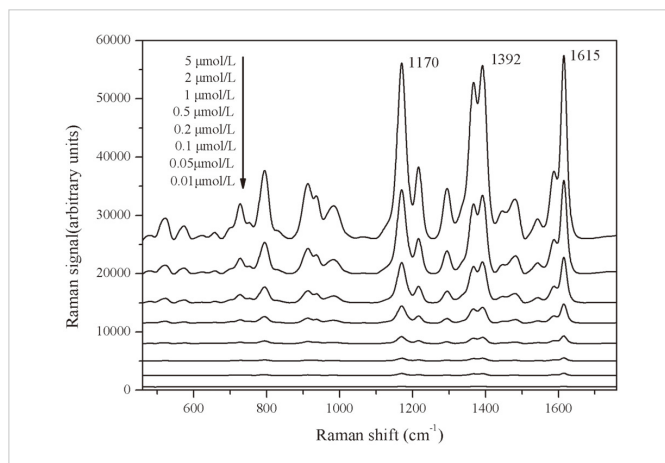
图示为正常组织(a)与乳腺癌组织(b)的拉曼光谱。谱图中正常组织在968、1442、1738 cm^{-1} 等处具有显著的脂质特征峰；而癌变组织则在890、1104、1176、1573 cm^{-1} 等处表现出明显的蛋白质特征峰增强，且脂质相关峰（如1442 cm^{-1} ）强度显著降低。这些光谱差异直观反映了癌变组织中脂质减少、蛋白质增多的生化改变。

孔雀石绿检测

孔雀石绿是一种高毒性、国家明令禁用的水产养殖药剂，其残留检测对食品安全至关重要。传统检测方法过程繁琐、耗时较长。本案例采用海洋光学QE Pro 785 nm拉曼光谱仪，通过SERS技术，结合数据分析模型，实现了对水产养殖水中极低浓度孔雀石绿的快速、高灵敏度检测，适用于现场筛查与实时监测，为水产品安全提供了可靠的技术支持^[3]。



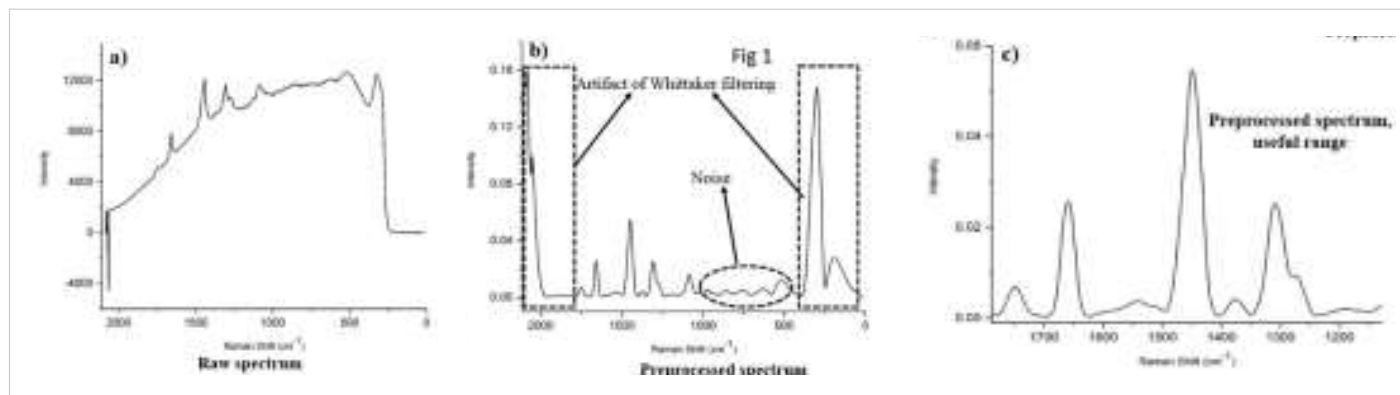
图示为 $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 孔雀石绿的无增强拉曼光谱与 $5.0 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 孔雀石绿在不同尺寸金纳米颗粒（16 nm、45 nm、100 nm）的SERS光谱。谱图显示100 nm金颗粒的SERS信号显著增强，孔雀石绿特征峰（如 1615 cm^{-1} ）清晰可辨。



图示为 $0.01\text{--}5.0 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 不同浓度孔雀石绿的SERS光谱。随着浓度降低，信号强度减弱但仍可识别，该方法在宽浓度范围内具有可靠的定量能力。

食用油的区分与鉴别

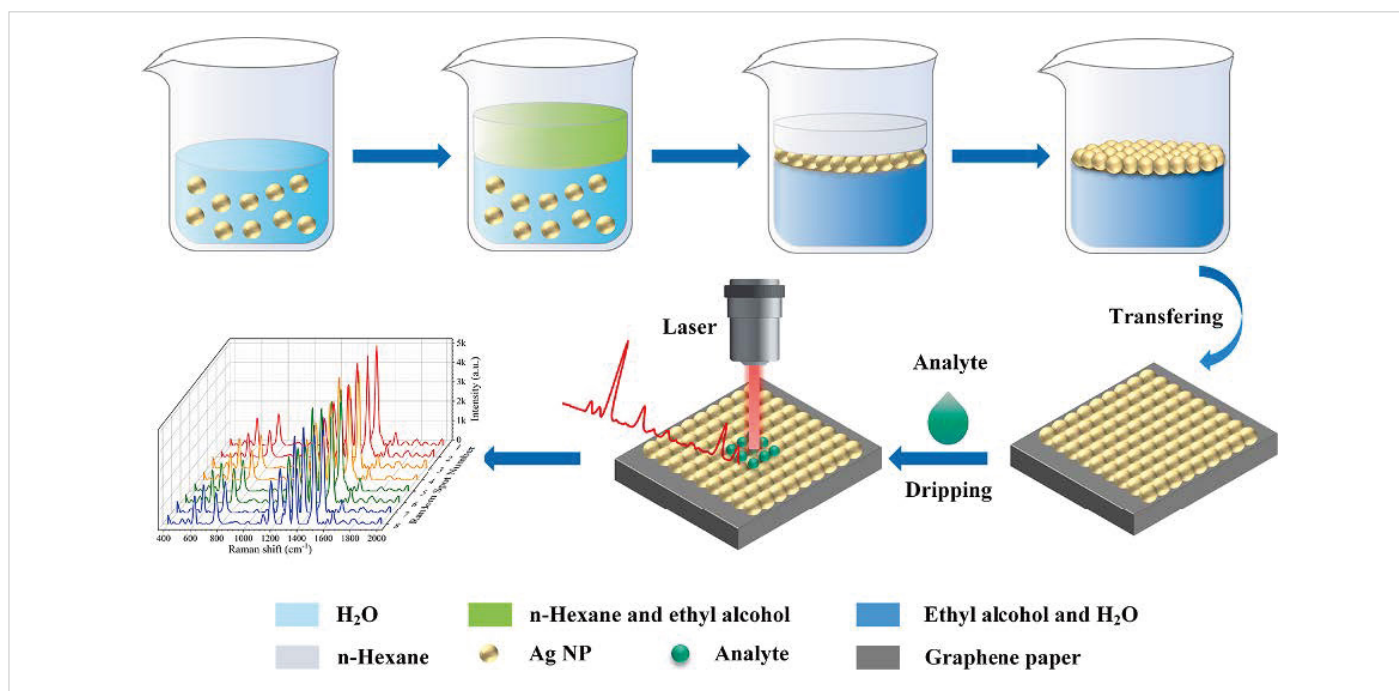
拉曼光谱能够快速、无损地分析食用油，无需复杂前处理。本案例采用海洋光学QE 65000（现已升级为QE Pro）785 nm拉曼光谱仪结合数据分析，成功实现了对15种常见食用油的区分与鉴别，为食用油种类识别和掺假筛查提供了一种高效可靠的现场检测手段^[4]。



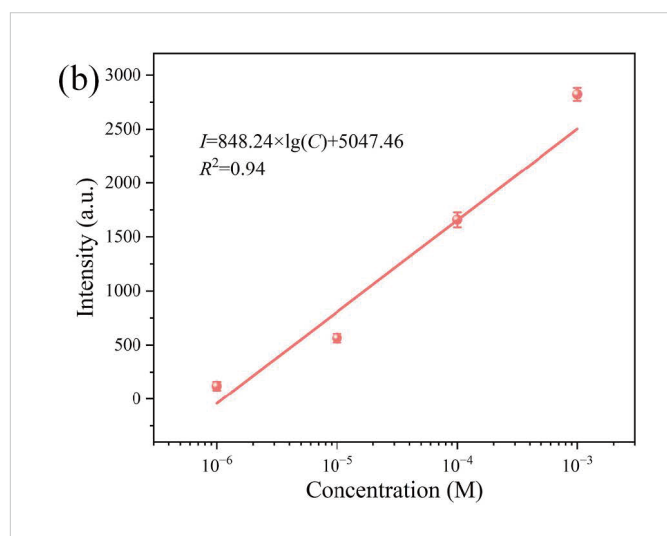
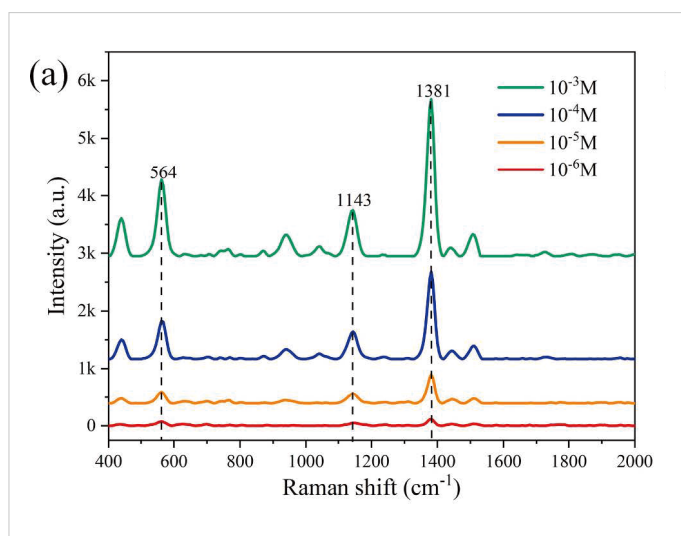
图示为玉米油的拉曼光谱图，原始光谱(a)经过荧光背景扣除和信号处理后，得到清晰的特征信号(c)。这些特征峰直接反映了食用油的分子结构差异，使不同种类的油得以被准确区分。

基于SERS技术的农药残留检测

表面增强拉曼散射（SERS）是一种高灵敏度光谱技术，在检测分子指纹方面表现优异。该案例开发了一种基于银纳米颗粒/石墨烯纸的新型柔性SERS基底，采用海洋光学QE Pro 785 nm拉曼光谱仪，实现了对橙汁中福美双（thiram）农药残留的准确识别和定量分析，凸显了拉曼光谱在农药残留筛查中的实用价值^[5]。



银纳米粒子/石墨烯纸SERS基底的制备及检测过程示意图

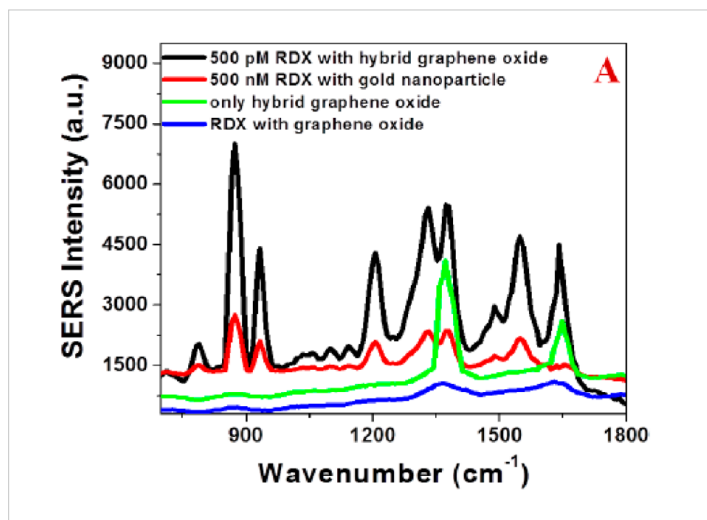


图a展示了不同浓度福美双的SERS光谱。图中可以观察到福美双的多个拉曼特征峰（如1381 cm^{-1} 的C-N伸缩振动和 CH_3 变形振动），随着福美双浓度的降低，拉曼特征峰的强度逐渐减弱，表明该SERS技术能够有效地检测低浓度的福美双。

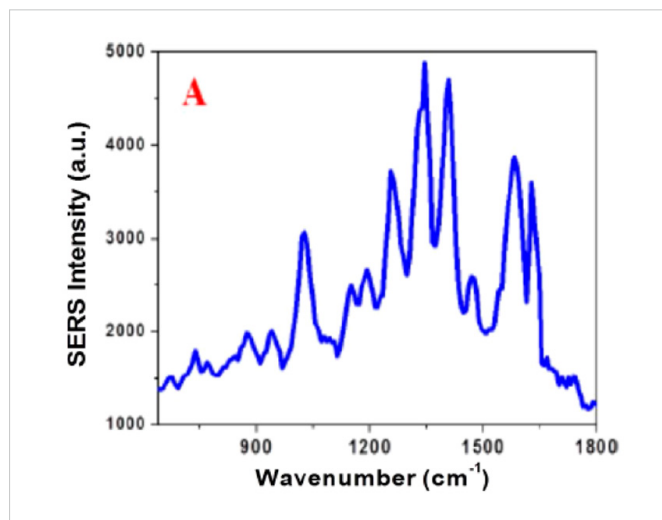
图b展示了SERS基底上福美双在1381 cm^{-1} 处的特征峰强度与浓度之间的线性关系。该线性关系表明，该基底可以实现福美双的定量分析，并具有较高的灵敏度。

基于SERS技术爆炸物检测

痕量爆炸物分子的识别对安全筛查、环境保护和人类健康至关重要。拉曼光谱能提供物质的特征“指纹”，但常规拉曼信号弱，难以直接检测痕量物质。表面增强拉曼散射（SERS）技术可大幅提升检测灵敏度。本案例构建了一种氧化石墨烯—金纳米笼混合型SERS平台，利用海洋光学QE 65000（现已升级为QE Pro）670 nm拉曼光谱仪，实现了对硝基爆炸物RDX和TNT的超灵敏、无标记检测，检测限低至飞摩尔级^[6]。



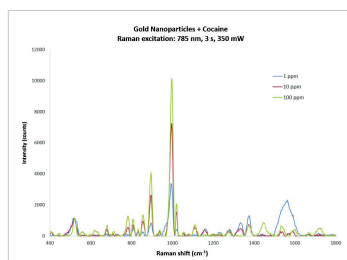
即使在500 pM的浓度下，RDX的关键拉曼特征峰（如870 cm^{-1} 的环呼吸振动峰）在金纳米笼—氧化石墨烯混合型SERS平台上依然清晰可见。



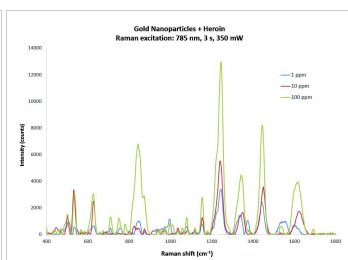
浓度低至800 fM时，TNT的特征峰（如1360 cm^{-1} 处 NO_2 的对称伸缩振动峰）在金纳米笼—氧化石墨烯混合型SERS平台上也很显著。

基于SERS技术毒品或违禁药品快速检测

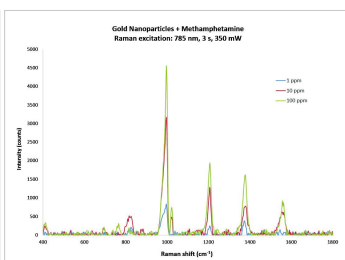
表面增强拉曼光谱（SERS）技术能够将拉曼信号放大数百万倍，可实现对痕量毒品的快速、准确检测。使用海洋光学QE Pro 785 nm拉曼光谱仪结合金纳米颗粒SERS技术，实现了对可卡因、海洛因、甲基苯丙胺和四氢大麻酚（THC）等非法药物在低至ppm级的检测。该方法不仅避免了荧光干扰，还大幅提升了检测限，适用于安检、缉毒等现场快速筛查场景。



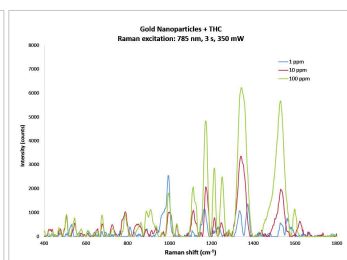
可卡因的增强拉曼谱图，谱图中出现多个典型拉曼特征峰。



海洛因的增强拉曼谱图，谱图中出现多个典型的拉曼特征峰。



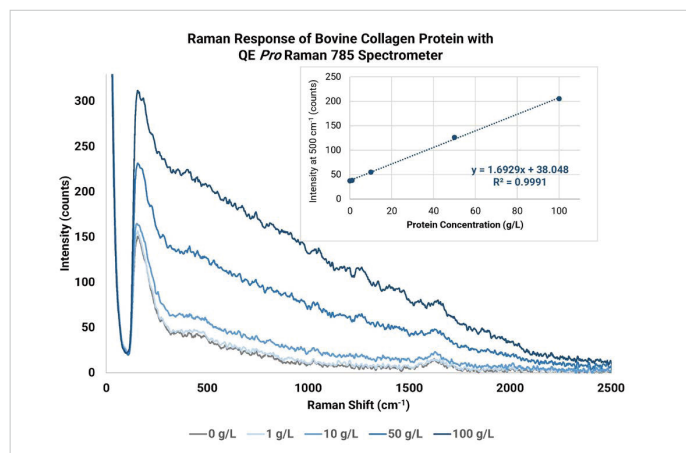
甲基苯丙胺的增强拉曼谱图，谱图中1000 cm^{-1} 附近出现强的拉曼特征峰。



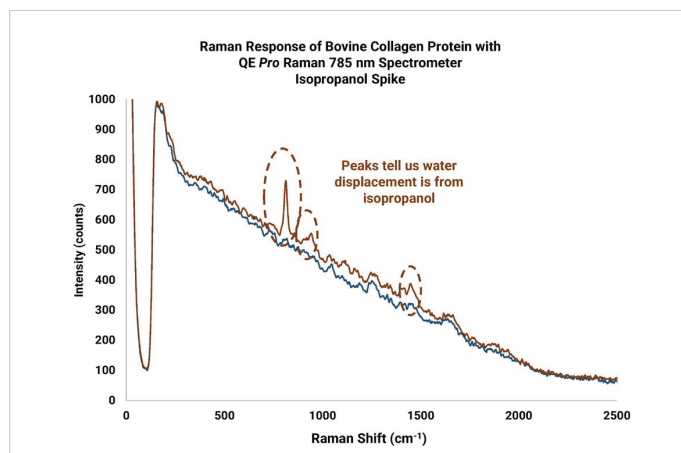
THC的增强拉曼谱图，尽管存在一些荧光干扰，谱图仍观察到明显的拉曼特征峰。

生物反应过程监控

在生物制药领域复杂生物反应过程中，常需同时监测蛋白质浓度与有机小分子产物，传统UV-Vis光谱虽能准确测定蛋白质浓度，却无法识别混合物中具体哪种小分子。使用海洋光学QE Pro 785 nm拉曼光谱仪，通过分子指纹峰特性，成功检测出蛋白质溶液中的痕量异丙醇，并与UV-Vis互补，实现了对生物反应过程中蛋白质浓度与有机分子成分的同时监测，为工艺优化提供可靠依据。



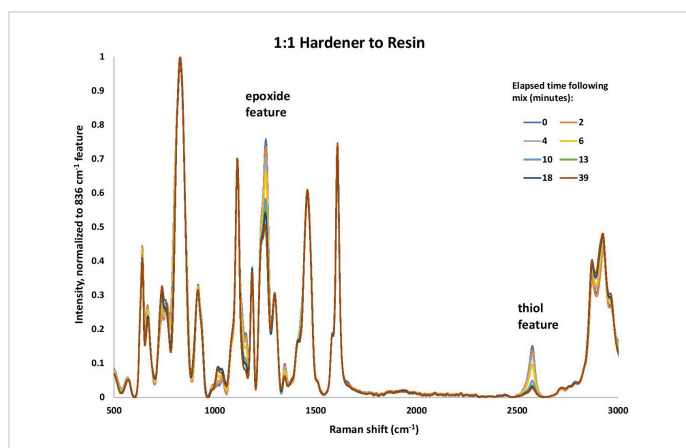
图示为QE Pro 785 nm拉曼光谱仪测得的牛胶原蛋白的拉曼响应。虽然拉曼对蛋白质的定量灵敏度低于UV-Vis，但其谱峰特征仍能反映蛋白质浓度变化趋势。



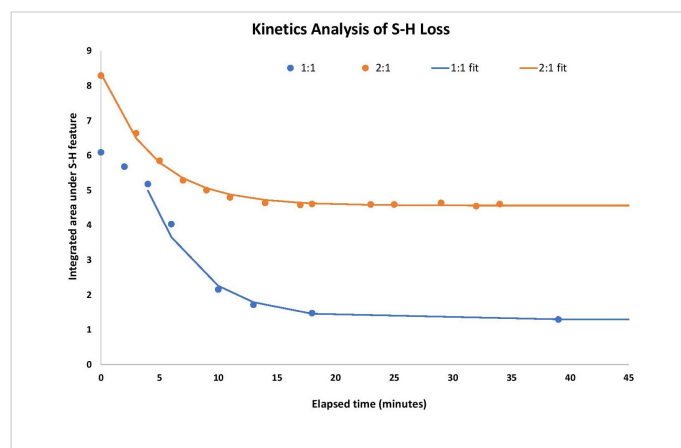
图示为牛胶原蛋白溶液中添加异丙醇后的拉曼光谱。在约800–1200 cm^{-1} 范围内出异丙醇的特征峰，表明体系中存在该有机物，验证了拉曼在复杂混合物中小分子识别方面的独特价值。

环氧树脂固化过程监测

拉曼光谱技术因其非破坏性、高化学特异性与实时监测能力，在反应过程监控中具有独特优势。使用海洋光学QE Pro 785 nm拉曼光谱仪，监测环氧树脂固化过程，通过直接检测体系中环氧基（1254 cm^{-1} ）与硫醇基（2575 cm^{-1} ）的特征峰强度变化，实时追踪反应动力学与固化完成程度，实现反应进程的原位、无损分析。该方法不仅适用于慢速固化过程，也可扩展至更快速的反应体系，为工业过程控制与材料分析提供了可靠的光谱工具。



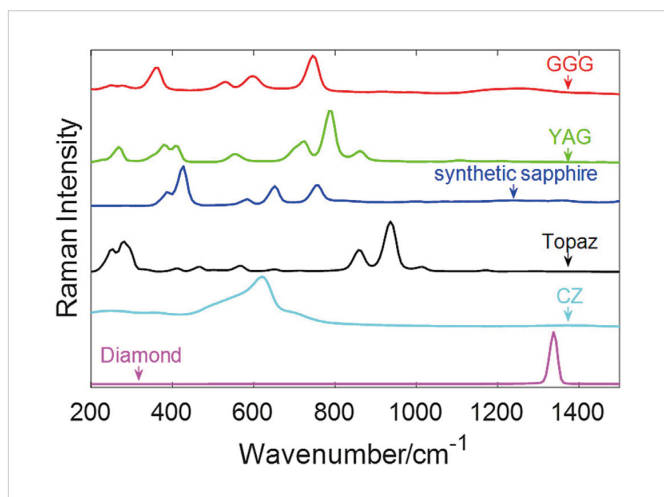
图示为固化剂与环氧树脂以1:1比例固化过程的拉曼光谱，其中，1254 cm^{-1} 处特征峰强度的降低，对应于固化过程中游离环氧基的消耗；而2575 cm^{-1} 处特征峰强度的减弱，则反映了固化剂中硫醇基（-SH）的消耗。



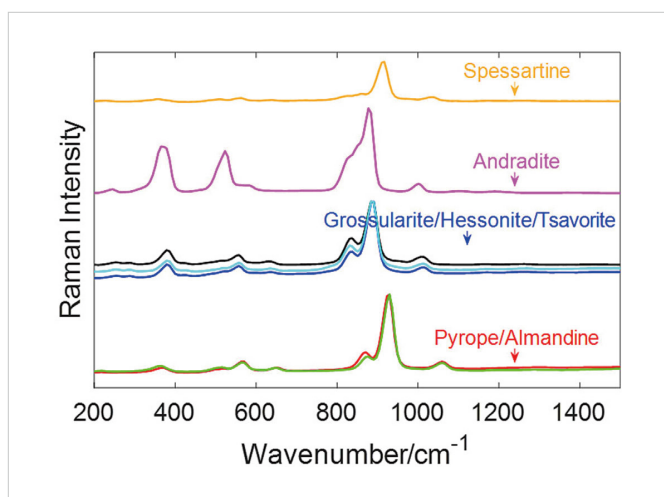
图示为基于硫醇基峰面积，对1:1及2:1两种配比下固化体系进行的动力学拟合分析，尽管两种配比的主反应阶段动力学特征相似，但2:1体系的硫醇基残留量更高，表明该体系中固化剂过量。

宝石鉴定

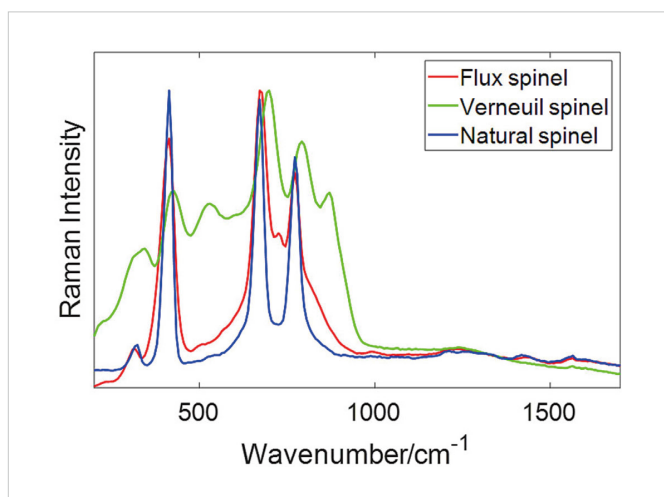
拉曼光谱法因其无需样品制备、快速无损的特点，被广泛应用于宝石鉴定领域。本案例采用海洋光学QE Pro 405 nm拉曼光谱仪，成功实现了对57种常见宝石的矿物识别，并能区分天然宝石与合成宝石，为珠宝检测提供了一种高效、低成本的鉴定工具^[7]。



钻石及其仿制品的拉曼光谱。钻石（特征峰位于1332 cm⁻¹）与常见仿制品的拉曼特征差异，可快速区分真钻石与仿品。



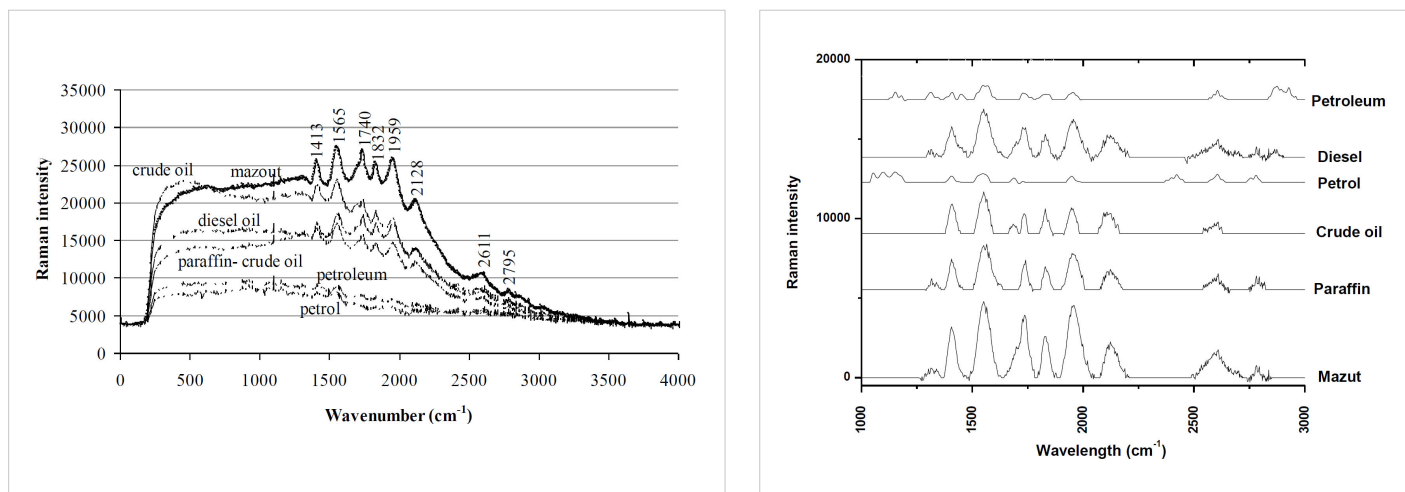
不同种类石榴石的拉曼光谱。石榴石族中多个品种的特征峰差异，能区分同一矿物族内的不同变种，用于宝石品种的鉴定。



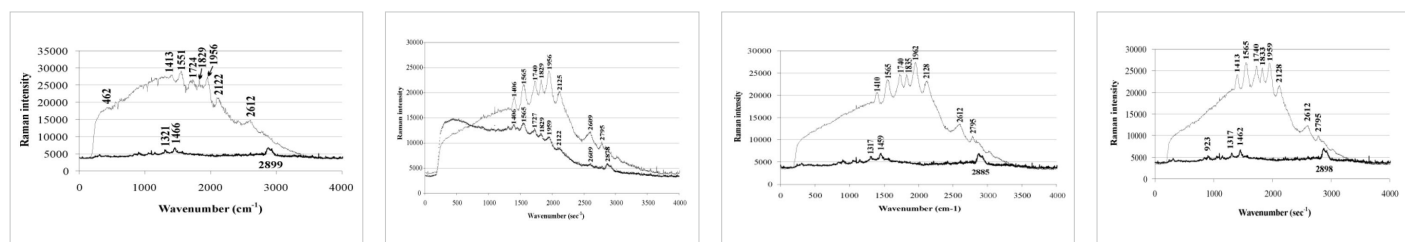
天然尖晶石与合成尖晶石的拉曼光谱图。通过特征峰位、峰形及背景信号的差异，可区分天然尖晶石、焰熔法合成尖晶石与助熔剂法合成尖晶石，为合成宝石的鉴定提供依据。

土壤污染快速筛查

在工业用地的环境评估中，传统实验室方法（如GC-MS）虽然精确，但耗时长、成本高，难以满足大面积污染场地的快速筛查需求。拉曼光谱技术基于分子振动指纹特征，能快速识别土壤中的烷烃、烯烃、炔烃及芳香烃等不同类型的碳氢化合物，尤其适用于复杂地质背景下的污染源识别。本案例采用海洋光学便携式拉曼光谱仪（785 nm激光），对某工业区的土壤污染进行了快速现场筛查，并结合GC-MS进行验证，实现了对土壤样品中烃类污染物的快速定性分析，为污染场地提供了低成本、高效率的现场筛查手段^[8]。



图示为初始污染类型（原油、重油、柴油、汽油等）的拉曼光谱（a）及去背景后的谱图（b）。图中可见，随着碳链长度的增加（汽油<柴油<重油），拉曼特征峰更加明显。主要特征峰包括：1413 cm⁻¹和1565 cm⁻¹（C-C键振动）、1740 cm⁻¹和1832 cm⁻¹（C=O伸缩振动，脂肪族醛类特征）、1959 cm⁻¹（环烷烃）、2128 cm⁻¹（C≡C三键，烷基乙炔类）。这些特征峰为识别土壤样品中的不同石油烃污染来源提供了指纹依据。



样品PHA（下游溪流沉积物）的固相和液相拉曼光谱

样品C3-50（煤球厂附近50cm深度）的固相和液相拉曼光谱

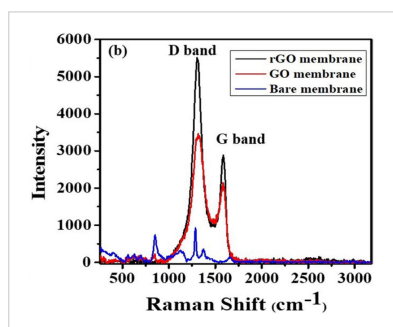
样品F2（地表样品）的固相和液相拉曼光谱

样品PHF（上游溪流沉积物）的固相和液相拉曼光谱

碳纳米材料的结构缺陷表征

拉曼光谱对碳材料的结构缺陷和化学键变化极为敏感，它能够有效区分氧化石墨烯（GO）与还原氧化石墨烯（rGO）之间的结构差异，特别是通过D峰与G峰的强度比（ I_D/I_G ）来评估材料的缺陷密度和石墨化程度。

该案例采用拉曼光谱技术表征GO和rGO膜的结构缺陷与还原程度，成功证实了还原处理后rGO膜材料表面缺陷增加，为膜性能优化提供了结构依据^[9]。



图示为GO、rGO及空白膜的拉曼光谱图。从图中可以清晰看出，rGO的 I_D/I_G 比值（1.9）明显高于GO（1.6），这直接证明了还原过程中材料表面引入了更多的结构缺陷。这一微观结构的改变，正是rGO膜水通量提升的根本原因，完美展示了拉曼光谱在连接材料微观结构与宏观应用性能中的核心作用。

参考文献

1. R. A. Grosso, et al. Detection of low numbers of bacterial cells in a pharmaceutical drug product using Raman spectroscopy and PLS-DA multivariate analysis, *Analyst*, 2022, 147, 3593
2. Ya Zhang, et al. Employing Raman Spectroscopy and Machine Learning for the Identification of Breast Cancer, *Biological Procedures Online* (2024) 26:28
3. Xinhui Zhou, et al. Surface-enhanced Raman spectroscopy with partial least squares regression for rapid and accurate detection of malachite green in aquaculture water using large-size gold nanoparticles, *Spectroscopy Letter*, 2020, VOL. 53, NO. 1, 63–75
4. Francis Kwofie, et al. Differentiation of Edible Oils by Type Using Raman Spectroscopy and Pattern Recognition Methods, *Applied spectroscopy*, April 06, 2020
5. Jinyang Wang, et al. Uniformly aligned Ag NPs/graphene paper for enhanced SERS detection of pesticide residue, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 329 (2025) 125535
6. Rajashekhar Kanchanapally, et al. Graphene Oxide–Gold Nanocage Hybrid Platform for Trace Level Identification of Nitro Explosives Using a Raman Fingerprint, *Phys. Chem. C* 2014, 118, 7070–7075
7. Tsung-Han Tsai, et al. Rapid gemstone mineral identification using portable Raman spectroscopy, *J Raman Spectrosc.* 2023; 54:640–650.
8. J Dens, et al. Screening of pollution for the reclamation of industrial land: Evaluation of geological background data, <https://doi.org/10.2298/GSGD1901045D>
9. Jephin K. Jose, et al. Synthesis and characterization of graphene oxide and reduced graphene oxide membranes for water purification applications, *Emergent Materials* (2023) 6:911–916

2004年，海洋光学成为豪迈（英国）集团旗下一员，并加速拓展中国市场，深耕本土发展。随着团队的不断壮大，海洋光学持续推进本地化战略，致力于以更高效的响应和优质的服务满足中国客户的多样化需求。

发展历程

