

光电子技术实验

波长检测型表面等离子体共振 (SPR) 传感

芦迪 王莘景

Department of Electronic Engineering,
Tsinghua University

November 29, 2017



目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理
- 3 理论仿真
- 4 实验系统
- 5 方法步骤
- 6 实验结果及分析
- 7 总结反思



目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理
- 3 理论仿真
- 4 实验系统
- 5 方法步骤
- 6 实验结果及分析
- 7 总结反思



实验任务

本次实验的实验目的为：

- ① 了解表面等离子体共振 (SPR) 波长检测原理
- ② 了解实现波长检测表面等离子体共振检测的系统结构
- ③ 结合理论分析结果，探索研究影响系统检测性能的各项因素



实验任务

本次实验的实验目的为：

- ① 了解表面等离子体共振 (SPR) 波长检测原理
- ② 了解实现波长检测表面等离子体共振检测的系统结构
- ③ 结合理论分析结果，探索研究影响系统检测性能的各项因素

为达到以上目的，实验设计了如下任务：

- ① 利用波长调整型 SPR 传感系统对纯水、苏打水和食盐水等物质进行检测，得到检测光谱
- ② 探索研究入射光角度、偏振态、金膜厚度等因素对检测光谱特性的影响



目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理**
- 3 理论仿真
- 4 实验系统
- 5 方法步骤
- 6 实验结果及分析
- 7 总结反思



检测原理

- 表面等离子体共振 (简称 SPR) 是一种物理光学现象, 利用光在玻璃界面处发生全内反射时的消逝波, 激发出沿金属薄膜表面传播的表面等离子体波 (SPW)
- 在入射角或波长为某一适当值的条件下, 入射光与 SPW 发生共振, 此时全反射的反射光能量急剧下降, 在反射光谱上出现共振吸收峰

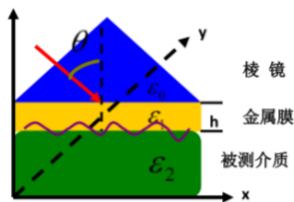


Figure: 棱镜型 SPR 传感器结构



检测原理

- 当紧靠在金属薄膜表面的介质折射率不同时, 共振峰位置将不同
- SPR 的共振峰位置与被测介质的性质密切相关, 根据对这个信号的检测就可以获得被测物质的折射率、浓度、膜层厚度、反应进程等信息, 从而达到生化检测的目的

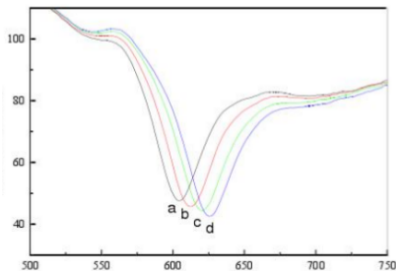


Figure: 波长调制检测方法对不同物质检测的仿真结果



目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理
- 3 理论仿真**
- 4 实验系统
- 5 方法步骤
- 6 实验结果及分析
- 7 总结反思



利用 MATLAB 软件对波长检测型 SPR 传感结果进行仿真，并研究了实验条件对检测结果的影响，用以对实验条件建设提供理论依据。结论如下：

- ① 当被测物质一定时，入射角变小，共振波长变大，共振半峰宽度变大，共振深度增大灵敏度变大。
- ② 当入射角度不变时，被测物质折射率增大，共振波长变大，共振半峰宽度变大，共振深度增大，灵敏度变大。
- ③ 存在一个合适大小的金属膜厚度使得实验效果最好，反射率最低点最低吸收效果最好而且半峰宽较窄。本次仿真中的最佳结果为 50nm，当厚度小于 50 时半峰宽较大而且吸收峰的共振深度较小；当厚度大于 50nm 时半峰宽降低但是吸收峰共振深度也减小。
- ④ 入射角度的改变会使得被测物质的检测范围发生改变。入射角度变大，检测范围变大，检测灵敏度变小。



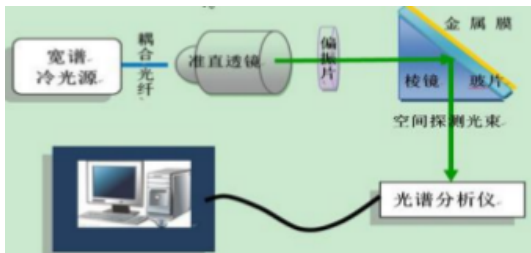
目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理
- 3 理论仿真
- 4 实验系统**
- 5 方法步骤
- 6 实验结果及分析
- 7 总结反思



实验系统

- 实验所用 SPR 检测系统依据 Kretschmann 棱镜型结构和波长调制原理搭建，主体结构如下：



装置简述

入射光路 宽谱光源 + 光纤 + 准直镜 + 偏振片，产生宽谱平行光
传感探头 Kretschmann 棱镜型结构，采用金膜作为金属膜
信号采集 聚焦棱镜 + 多模光纤 + SMA 接头 + 光纤光谱仪

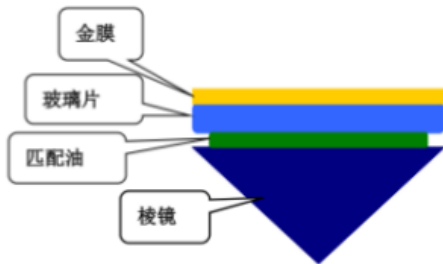


Figure: 探头的结构



目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理
- 3 理论仿真
- 4 实验系统
- 5 方法步骤**
- 6 实验结果及分析
- 7 总结反思



- ① 入射角调到需要的角度，根据发射机上的角度刻度值实现
- ② 调节棱镜和发射机的高度使得传感区位于棱镜底部的中心位置，使用擦镜纸在棱镜两侧相同距离处观察光斑的垂直位置，基本保证两个光斑在同一竖直高度即可
- ③ 打开电脑光谱仪，接收棱镜反射回来的光，调整接收机使得收到的光谱尽量大。这一步是实验中最困难的，要确保光线与接收机同轴。接收机接收处可以发现两个光斑，分别为棱镜和接收机后光纤端面反射过来的，应调整接收机角度、高度，使得这两个光斑尽量重合与接收面中心处



- ① 设定棱镜全反射光作为参考光，用于波长域上归一化处理
- ② 放置金膜：注意清洁，先滴匹配油，再用镊子将金片放置在棱镜上，注意将金属膜朝上放置
- ③ 将光谱仪软件调整至 transmission 状态，即显示归一化后结果
- ④ 在金属膜上滴加纯水、食盐水、苏打水等液体，观察并保存光谱图的变化，得到共振波长、共振半峰宽和共振深度



- ① 设定棱镜全反射光作为参考光，用于波长域上归一化处理
- ② 放置金膜：注意清洁，先滴匹配油，再用镊子将金片放置在棱镜上，注意将金属膜朝上放置
- ③ 将光谱仪软件调整至 transmission 状态，即显示归一化后结果
- ④ 在金属膜上滴加纯水、食盐水、苏打水等液体，观察并保存光谱图的变化，得到共振波长、共振半峰宽和共振深度

时间所限，未对入射光角度、偏振态金膜厚度等因素对检测光谱特性的影响进行探究。



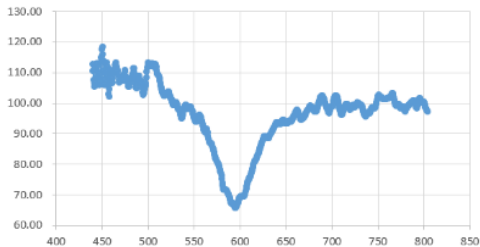
目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理
- 3 理论仿真
- 4 实验系统
- 5 方法步骤
- 6 实验结果及分析**
- 7 总结反思

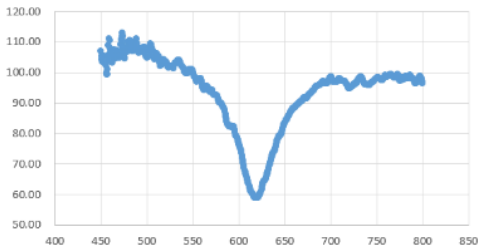


各液体光谱图像

滴加纯水

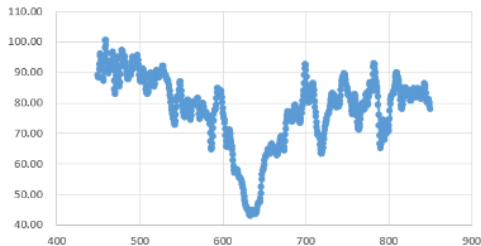


10%盐水

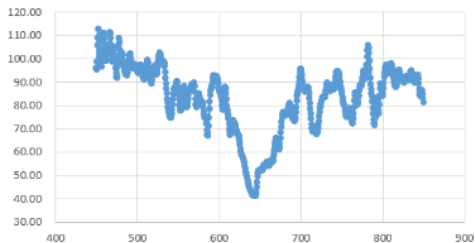


各液体光谱图像

15%盐水

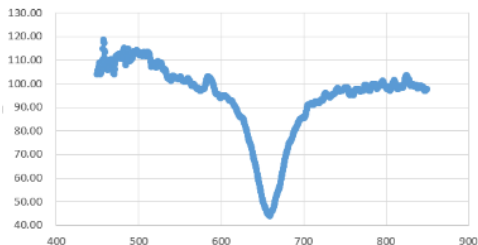


20%盐水

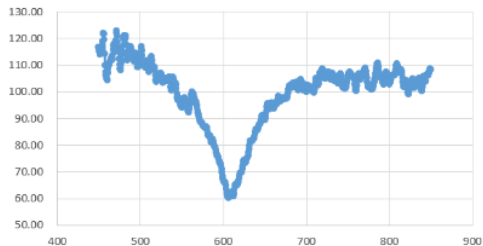


各液体光谱图像

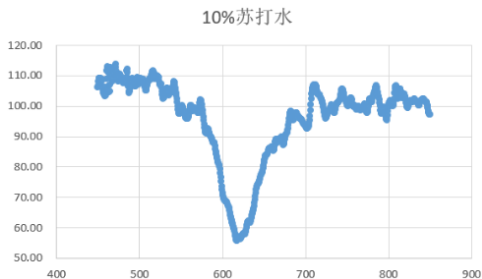
乙酸



5%苏打水



各液体光谱图像

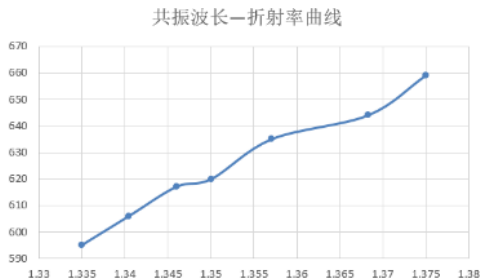


将数据总结，表格如下：

液体	纯水	5% 苏打	10% 苏打	10% 盐水	15% 盐水	20% 盐水	乙酸
折射率	1.335	1.3405	1.3460	1.3501	1.3571	1.3683	1.375
共振波长	595	606	617	620	635	644	659
共振深度	34.2	45	46.2	38.1	40	49.9	55
共振宽度	45	51	52	45	50	53	53



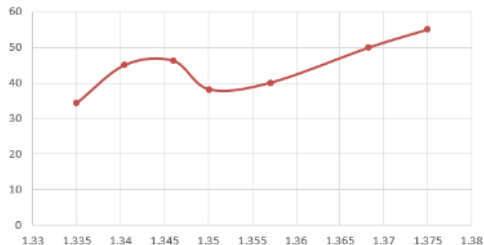
绘制图像为：



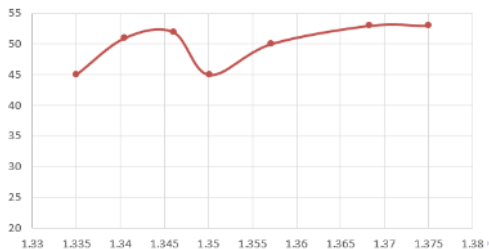
共振波长呈单调递增趋势，与理论仿真是相符合的。



共振深度—折射率曲线



共振半峰宽度—折射率曲线



实验分析

- 共振深度和共振半峰宽度理论上也应该是单调递增关系，但是我们测得的数据却有两个不正常的点，是 5% 的苏打水和 10% 的苏打水
- 之所这两个点偏离了曲线，是因为我们在测量完盐水和乙酸后，去测苏打水时，觉得金片受溶液污染较严重，于是重新拿下来清洗后再放上去重新调光路
- 在这一步我们犯的错误就是改变了参考光，理论上在这个实验中，为了控制变量，我们必须保证测所有液体时参考光是不变的，一旦改变参考光，对于实验结果会有很大的影响



目录

- 1 实验任务
- 2 实验原理
- 3 理论仿真
- 4 实验系统
- 5 方法步骤
- 6 实验结果及分析
- 7 总结反思**



遇到的问题

- 调整光路时，始终测不到光谱值，尽管在接收处已经看到光斑，还是看不到光谱。在老师的指点下，我们知道我们首先需要调整接收机与光线同轴，需要用擦镜纸在接收处观察棱镜反射过来的光斑和光纤端面反射过来的光斑，将二者调整到重合与接收面中心处。然后，我们可以先将光纤拆下来，在接收机后用擦镜纸观察是否有光线透射出来，是否在光纤端面中心，调整后再将光纤接上，最后观察到光谱之后再进行微调，尽量使得光谱值最大
- 实验中，发现被测液体的滴加数量对实验图像也有较大影响，不知道应控制在多少合适，问过老师后才知道其实只要液体将棱镜的传感区覆盖即可，实验中要求的是将其调整至中心，我们开始忽略了这一点，后来调整后就改进了许多



- 思考问题、解决问题的能力
- 面对困难问题的心态调整能力
- 合作协助的重要性



Thank you!

