



INSTRUMENTO SPR COM SISTEMAS DE INTERROGAÇÃO ANGULAR E DE INTENSIDADE

Palavras-Chave: PLASMONS DE SUPERFÍCIE, SPECKLES, SENSOR PLASMÔNICO

Autores(as):

VINÍCIUS ACIOLY ELIAS DA SILVA, FEEC – UNICAMP

Prof. Dr. HUGO E. HERNÁNDEZ FIGUEROA (orientador), FEEC – UNICAMP

JORGE RUFINO FERNÁNDEZ HERRERA (coautor), FEEC - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Novas soluções acessíveis e de mínimo custo sempre foram alvo de inúmeros investimentos durante a história humana, entretanto ainda há muito a ser pesquisado e desenvolvido, a área de eletromagnetismo ainda é uma porta aberta de inúmeras possibilidades para a ciência, por conta disso essa pesquisa de iniciação científica procura trazer uma solução viável para análise de amostras por meio de um sensor de SPR na configuração Kretschmann, Figura 1, dado por meio de interrogação angular e de intensidade.

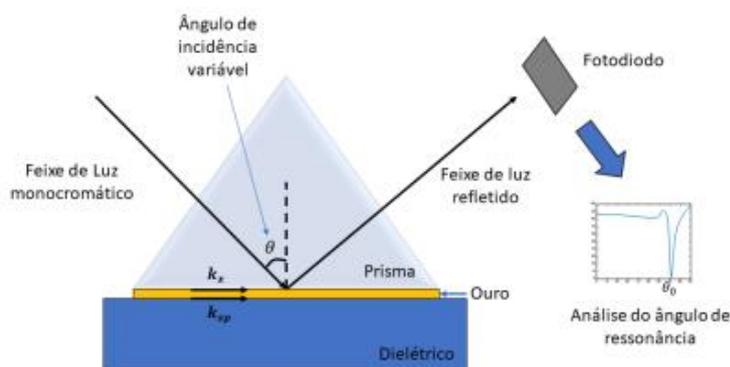


Figura 1 – Sensor de SPR na configuração Kretschmann com interrogação por variação angular.

Os estudos de plasmons de superfície têm suas aplicações em dispositivos nanofotônicos, guias de onda, nanocircuitos, sensores químicos e biológicos e entre outros, e nesse estudo exploramos sua aplicação para sensoriamento químico e biológico. O comportamento de uma frente de onda, a um ângulo de incidência conhecido, quando entra em contato com uma superfície metálica que está em contato com um outro dielétrico, fazendo com que, caso estejamos no seu ângulo de ressonância, possamos observar um feixe de luz refletido idealmente inexistente.

Desta forma pode-se observar que esta pesquisa é uma introdução a sensores eletromagnéticos, no sensoriamento refractométrico de fluídos na faixa óptica. Para que, ao fim, possa haver uma inserção

ao desenvolvimento de sensores biológicos e de esquemas fotônicos mais complexos, como os embasados em óptica integrada.

METODOLOGIA:

O setup para realização do experimento pode ser visto por meio da Figura 2 e 3, nas quais a primeira apresenta o fotodetector Hamamatsu S5870, o qual utilizamos para identificar o ângulo de ressonância, já a segunda figura trocamos o sensor por uma câmera Thorlabs para realização do sistema de interrogação de intensidade. Além do mais, para as respectivas abordagens utilizamos a configuração Kretschmann com interrogação por variação angular e de intensidade.

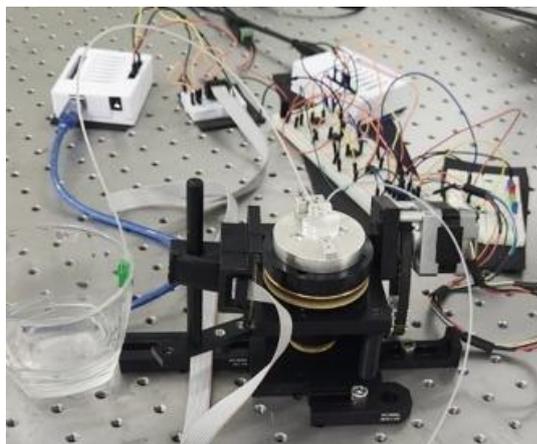


Figura 2 – Sensor de SPR na configuração Kretschmann com interrogação por variação angular por meio do fotodetector Hamamatsu.

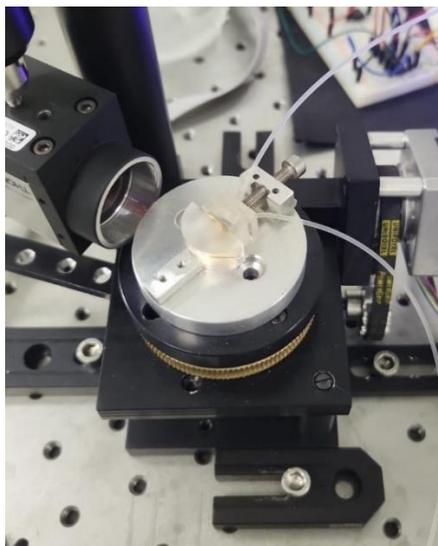


Figura 3 – Sensor de SPR na configuração Kretschmann com interrogação de intensidade por meio da câmera Thorlabs.

Para a realização desses experimentos foram de suma importância os seguintes elementos:

- Lâmina de ouro da ordem de 48 nm;
- Bomba de seringa de infusão (ajuste fixo);
- Refratômetro;
- Mesa alinhada;
- Fonte de feixe luminoso de 632.5 nm;

- Um controlador, no qual usamos 1 Arduino, para captura do fotodetector Hamamatsu s5870 e um controlador, no qual também usamos outro Arduino, para controle do motor de passos;
- Câmera Thorlabs.

O procedimento para a realização dos experimentos é dado da seguinte forma:

- Controle do motor de passos em Python;
- Preparar amostra líquida;
- Lâmina de ouro (48nm) em contato com a amostra líquida, sendo que passamos o feixe por um prisma antes da lâmina de ouro;
- Se certificar que o feixe de luz entra em contato com a amostra;
- Identificar o ângulo de ressonância;
- Posicionar fixamente a câmera no ângulo de ressonância;
- Configurar o aplicativo Thorlabs Cam responsável pela câmera (capturar 100 frames para cada amostra);
- Ajustar o atenuador de maneira fixa;
- Alternar as amostras, obtendo seus índices de refração.

Para cada rodada de experimento devemos nos atentar a um mínimo nível de desvio padrão das amostras, além de fazer rodadas de sensibilidade tentando obter um ruído mínimo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Para a análise de qualidade das amostras é utilizado o coeficiente de correlação de Pearson para os speckles de duas concentrações de amostras líquidas, sendo que usamos a primeira amostra para julgar as amostras seguintes, dado pela seguinte equação:

$$C = \frac{\sum_{n=1}^N (I_n - \bar{I})(J_n - \bar{J})}{[\sum_{n=1}^N (I_n - \bar{I})^2 \sum_{n=1}^N (J_n - \bar{J})^2]^{1/2}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo I_n cada speckle obtido da primeira concentração de amostra líquida, \bar{I} a média de todos speckles capturados, J_n cada speckle obtido de outra concentração de amostra líquida e \bar{J} a sua média de speckles capturados, dado n igual a quantidade de frames capturados.

Onde temos $C = 1$ para imagens idênticas, e $C = 0$ para imagens completamente diferentes.

Além disso, também obtemos a determinação do limite de detecção (LOD) das amostras e a sensibilidade do sensor.

Para a realização do experimento foram capturados 100 frames para cada concentração de amostras, para que com isso possamos observar a variação de speckles ou de intensidade, por meio da câmera, em cada amostra, é possível observar isso na Figura 4, onde temos as amostras de (a) a (f), dados os seguintes índices de refração: (a) $n = 1.3319$, (b) $n = 1.3353$, (c) $n = 1.3413$, (d) $n = 1.3462$, (e) $n = 1.3505$, (f) $n = 1.3551$; de forma que a concentração é de 100% água em (a) até 50% água e 50% etanol em (f) dado o ângulo fixo de ressonância da água.

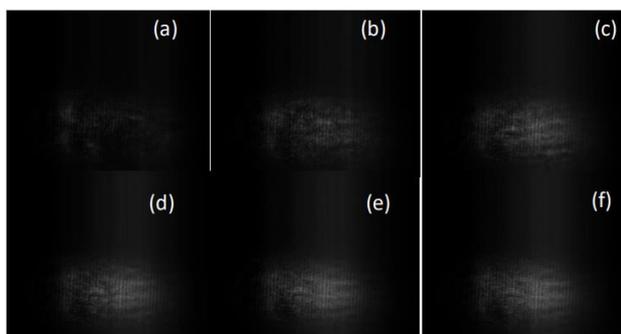


Figura 4 – Variância de speckles de (a) a (f), dada o ângulo de ressonância da água.

Além disso, temos para essas amostras os seguintes resultados na Figura 5, onde podemos observar como elas se comportam de forma gráfica e analítica.

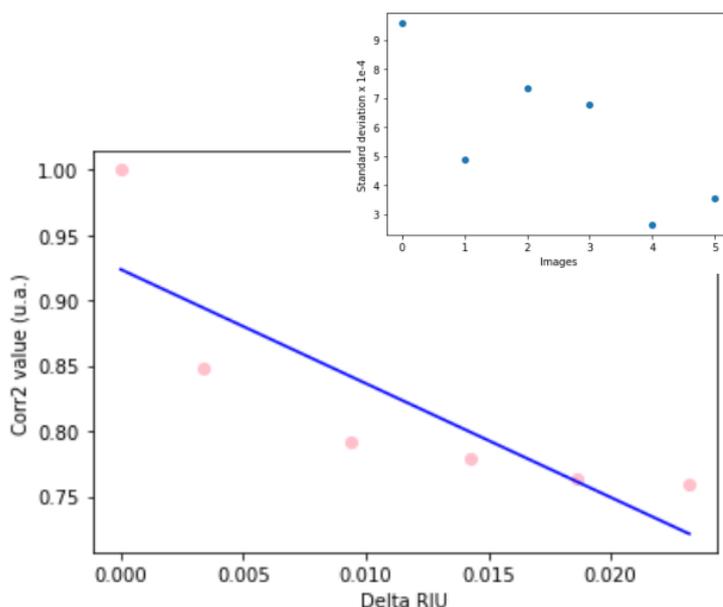


Figura 5 – Desvio padrão das 5 amostras na imagem menor e a correlação de Pearson (pontos vermelhos) em comparação a uma regressão linear (reta azul) para as 5 amostras, dadas as diferenças de seus índices de refração.

Sendo que desses dados experimentais, extraímos os seguintes dados:

- Sensibilidade: 8.7 a.u./RIU, representa a taxa de mudança de sinal de saída por unidade de índice de refração;
- Coeficiente de determinação: 0.71, representa o qual bem um modelo estatístico prevê um resultado e é um valor entre 0 e 1;
- LoD = 3.3e-4 RIU, representa a menor alteração do índice de refração que pode ser detectada de forma confiável.

Experimentalmente têm-se resultados desejados, entretanto, para que possamos confiar no sensor desenvolvido ainda é necessário algum desenvolvimento no setup trabalhado. Na Tabela 1 podemos observar outros LoD extraídos de da análise de speckles coletados experimentalmente de outras rodadas, sendo que o último resultado provém da rodada analisada anteriormente.

| Tabela 1 de análise de limite de detecção para 5 rodadas experimentais – Dado LoD x | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Dado N° | | | | | |
| | 1ª Rodada | 2ª Rodada | 3ª Rodada | 4ª Rodada | 5ª Rodada |
| LoD (RIU) | 4.5e-4 | 1.9e-3 | 0.13 | 6e-4 | 3.3e-4 |

Tabela 1 – LoD para diferentes rodadas experimentais de análise de speckles.

Apesar dos resultados gerais de 5 rodadas experimentais apresentarem alguns valores satisfatórios LoD e conseqüentemente de sensibilidade e desvio padrão de cada amostra de speckles para cada rodada, ainda há espaço para a realização de uma experimentação com mais precisão, permitindo com que o setup possa ser um sensor muito mais confiável e robusto para ser usado academicamente ou industrialmente.

CONCLUSÕES:

O estudo na área de eletromagnetismo é muito promissor e a área de estudos de plasmons de superfície possui muitas utilidades, o que faz com que o estudo de sensores utilizando essas ideias algo de muito interesse.

No caso desse estudo, podemos observar que o setup proporciona resultados consistentes e esperados, além de possibilitar uma versatilidade com relação ao manuseio dos equipamentos e de ajustes finos em sua confecção. Apesar disso ainda é possível torná-lo mais robusto, pois além de pequenas distrações poderem custar a necessidade de fazer uma rodada do zero, também temos que os elementos necessários para o experimento são muito sensíveis e cobram muita atenção em seu manuseio, como a lâmina de ouro, o fotodetector e os controladores que têm seus componentes eletrônicos em protoboard.

Por fim, é possível concluir que o método de análise de speckles é capaz de analisar diferentes amostras líquidas entre si e de forma não invasiva. Além disso, proporciona uma análise do sensoriamento do setup desenvolvido, além de promover um monitoramento para pequenas mudanças na metodologia do experimento, fazendo com que mais melhoramentos possam ser desenvolvidos, sem o comprometimento da qualidade dos resultados.

BIBLIOGRAFIA

- CHENG, David K. Field and wave electromagnetics. 2nd ed. Reading [Estados Unidos]: Addison-Wesley, c1989. 703 p., il. (The Addison-Wesley series in electrical engineering). ISBN 9780201128192 (broch.).
- S. J. Orfanidis, Electromagnetic Waves and Antennas, New Brunswick, NJ: Rutgers University, 2002.
- CABRAL, Thiago D. et al. Enhancing the measurement range of laser speckle systems. Microw Opt Technol Lett, 2022.1-5. doi:10.1002/mop.33388
- AKIB, Tarik Bin Abdul et al. Design and numerical analysis of a graphene-coated SPR biosensor for rapid detection of the novel coronavirus. Sensors, 2021, 21, 3491. <https://doi.org/10.3390/s21103491>