

## Génération des plasmons polaritons de surface en configuration de Kretschmann

Rida AHMED AMMAR\*

Laboratoire de Physique Théorique, Département de Physique, Faculté des Sciences, Université d'Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 13000, Algérie

**Abstract.** In summary, we studied the surface plasmon modes in a kretschmann geometry corresponding to a thin metal layer bounded by a dielectric layer. The influence of Ag and Ti thickness separately on the Plasmon surface polariton resonance for Air and ITO dielectric debris, which are excited by an electromagnetic wave in the visible band ( $\lambda = 633$  nm), was investigated and compared. Four P/Ag/ITO and P/Ag/Air and P/Ti /Air and P/Ti/ITO structures were taken and the dielectric permittivity of the metals is described by the Drude model.

**Keywords:** Surface Plasmon polariton, Kretschmann configuration, drude model

**Résumé.** En résumé, nous avons étudié les modes de plasmons de surface dans une géométrie de kretschmann correspondant à une couche mince métallique limitée par une couche diélectrique. On a étudié et comparé l'influence de l'épaisseur de l'Ag et Ti séparément sur la résonance du Plasmon polariton de surface pour des diélectriques Air et ITO, qui sont excités par une onde électromagnétique dans la bande visible ( $\lambda = 633$  nm). On a pris quatre structures P/Ag/ITO et P/Ag/Air et P/Ti/Air et P/Ti/ITO et la permittivité diélectrique des métaux est décrite par le modèle de Drude.

**Mots clés:** Plasmon polariton de surface, configuration de Kretschmann, modèle de Drude

### 1. Introduction

Un plasmon est un quantum d'oscillation d'un plasma, par exemple d'un gaz d'électrons libres. C'est donc une quasi-particule résultant de la quantification des oscillations d'un plasma, tout comme les photons et les phonons sont les quantifications respectivement des ondes de lumière et des ondes mécaniques. Ces oscillations collectives de charges peuvent se coupler à un photon, créant ainsi une autre quasi-particule appelée plasmon polariton (SP) [1]. Les plasmons polaritons de surface sont des ondes transverses magnétiques (TM), et électro-magnétiques qui se propagent le long de l'interface d'un métal (or, argent...) et un diélectrique. Les ondes SP se propagent parallèlement à l'interface de manière exponentielle et sont atténuées dans la direction normale à la fois dans le métal et le diélectrique. L'excitation optique des ondes SP a été démontrée par Otto [2] l'aide d'une réflexion totale frustrée. Kretschmann [3] a montré que l'onde SP pourrait être excitée dans un film métallique mince évaporée sur une base d'un cylindre totalement réfléchissant moitié de quartz. Depuis, la réflexion interne totale atténuée (ATR) a été largement utilisée pour étudier les ondes non rayonnantes SP sur surfaces métalliques.

\* Corresponding author.

E-mail: [ri.ahmedammar@gmail.com](mailto:ri.ahmedammar@gmail.com)

Address: Laboratoire de Physique Théorique, Tlemcen, 13000, Algérie

L'onde SP peut être décrite comme une oscillation collective de la densité d'électrons à l'interface de métal et de diélectrique. On a choisi le modèle de Kretschmann pour exciter les ondes électromagnétique de surface, qui se caractérise par un empilement de trois milieux (3 couches) voir Figure 1. Dans la Configuration Kretschmann [3], une couche fine de métal de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur est directement en contact avec la base du prisme. Lors de la réflexion de la lumière sur la couche métallique à l'intérieur du prisme, l'excitation du plasmon métal-milieu d'indice  $n$  n'est pas possible. Le champ évanescent s'étend dans le métal et se couple avec le plasmon de surface sur la deuxième face de la couche métallique, à l'interface entre le métal et l'air.

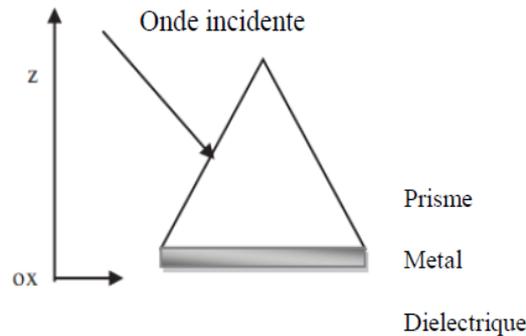


Fig. 1: Géométrie de Kretschmann-Raether

## 2. Modèle de Drude

Le modèle de Drude des électrons libres proposé en 1908 par P. Drude, pour la fonction diélectrique qui, bien que basé sur une approche purement classique, peut bien expliquer les transitions intrabandes. Dans ce modèle, un gaz d'électrons libres se déplaçant dans un réseau d'ions métalliques immobiles. Ainsi, les interactions électron-électron et les électrons-ions ne sont pas pris en compte et le mouvement de tout le nuage électronique est donc la moyenne des mouvements des électrons individuels. La permittivité relative donnée par ce modèle est:

$$\epsilon_D(\omega) = \epsilon_\infty - \frac{\omega_D^2}{\omega^2 + i\omega\gamma_D}$$

où  $\omega_D$  est la "fréquence du plasma" du métal et  $\epsilon_\infty$  sa permittivité relative aux fréquences infinies,  $\gamma_D$  représente un terme d'amortissement inversement proportionnel au temps de relaxation [4-6].

## 3. Résultats et interprétations :

On a basé l'étude sur la configuration Kretschmann, où le couplage optique d'une lumière incidente à l'oscillation collective est régie par l'épaisseur métallique au long d'une interface entre un métal et un diélectrique. Le milieu incident de cette structure est considéré comme semi-infini et possède une permittivité  $\epsilon_p=2.31$ , correspondant au prisme. Le milieu émergent, semi-infini également, est constitué par l'air ambiant, de permittivité  $\epsilon_{Air}=1$  d'une part et d'autre part par l'Indium Tin Oxyde (ITO), de permittivité  $\epsilon_{ITO}=4+i0$ . On a pris le cas de l'argent (Ag ou  $\epsilon_{Ag} = -22.54 + i1.33$ ) qui fait contact avec le prisme optique et un diélectrique (air ou Indium Titanium Oxyde ITO) et une autre fois le Titanium (Ti ou  $\epsilon_{Ti} = -5.22+i15.9$ ) qui fait contact avec le prisme optique et un diélectrique (air ou Indium Titanium Oxyde ITO). L'onde électromagnétique incidente est de longueur d'onde dans le domaine visible ( $\lambda= 633nm$ ) et l'angle d'incidence varie entre  $\theta_{min} = 0^\circ$ ,  $\theta_{max} = 80^\circ$ .

On a appliqué ce formalisme analytique sur deux cas d'interfaces dont les résultats obtenus sont les suivants [7-10] :

### 3.1.Interface P/Ti /ITO et P/Ti/Air

Un milieu diélectrique de faible permittivité  $\epsilon_d$  permet de contrôler différemment la résonance plasmonique par rapport au cas précédent (Fig. 2 (a)). La contribution de ce milieu faiblement dispersif génère différents ordres des modes plasmons (deux résonances PS). En outre, le taux de la réflectivité reste lié à l'épaisseur du Titanium qui doit être plus importante que dans le cas de la fig.1.

Le creux de la réflectivité est optimum à la résonance plasmonique pour  $d_{Ti} = 1.5\text{nm}$  dont la largeur est fortement élargie par absorption. Cet effet est due en particulier à l'angle de perte du Ti

( $\tan(\alpha) = \frac{\text{Im} \epsilon_{Ti}}{\text{Re} \epsilon_{Ti}} = 3.0$ ). Dans le sens d'appuyer l'influence de la nature optique du matériau qui joue un rôle très important à la manipulation de la résonance plasmon de surface, on a fait une comparaison systématique du profil de la réflectivité sur la structure P/Ag/Air à la même longueur d'onde  $\lambda = 633\text{nm}$ .

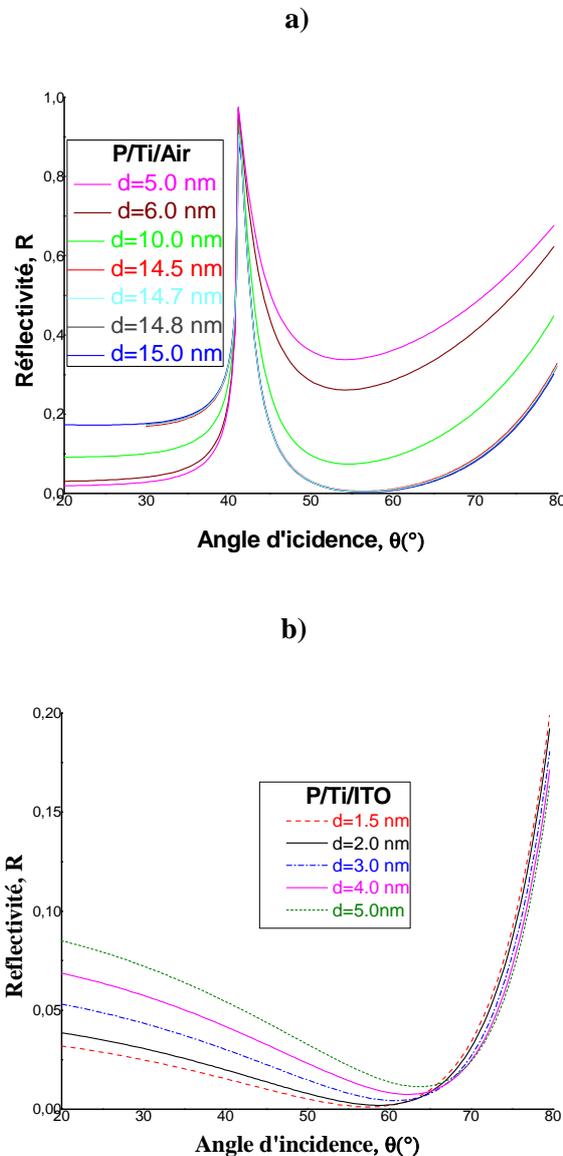


Fig. 2: (a) Influence du milieu diélectrique environnant  $\epsilon_d=1$  sur le profil de la résonance plasmonique pour différentes conditions sur l'épaisseur du Ti pour la même géométrie de la figure 1, et (b) Influence de l'épaisseur

du Titanium sur la résonance plasmonique sur la structure P/Ti/ITO excitée à la longueur d'onde  $\lambda = 633\text{nm}$  et  $\epsilon_{\text{ITO}} = 4$ .

### 3.2. Interface P/Ag /ITO et P/Ag/Air

A l'appui de ce profil de la réflectivité en fonction de l'angle d'incidence, la résonance plasmonique sur l'Ag faisant un contact avec un milieu diélectrique de faible dispersion est plus sélective angulairement (Cf. Fig. 3a)). La caractéristique sur la résonance PS est qu'un matériau à faible contribution en dispersion ( $\text{Im}\epsilon_m$ ) affine la SPR et où l'épaisseur fiable est plus importante que celle d'un matériau à fort angle de perte. Par contre, la résonance PS est fortement élargie dans le cas d'un diélectrique de forte dispersion et où l'épaisseur du métal (Ag) contrôle le taux énergétique de transfert au plasmon de surface.

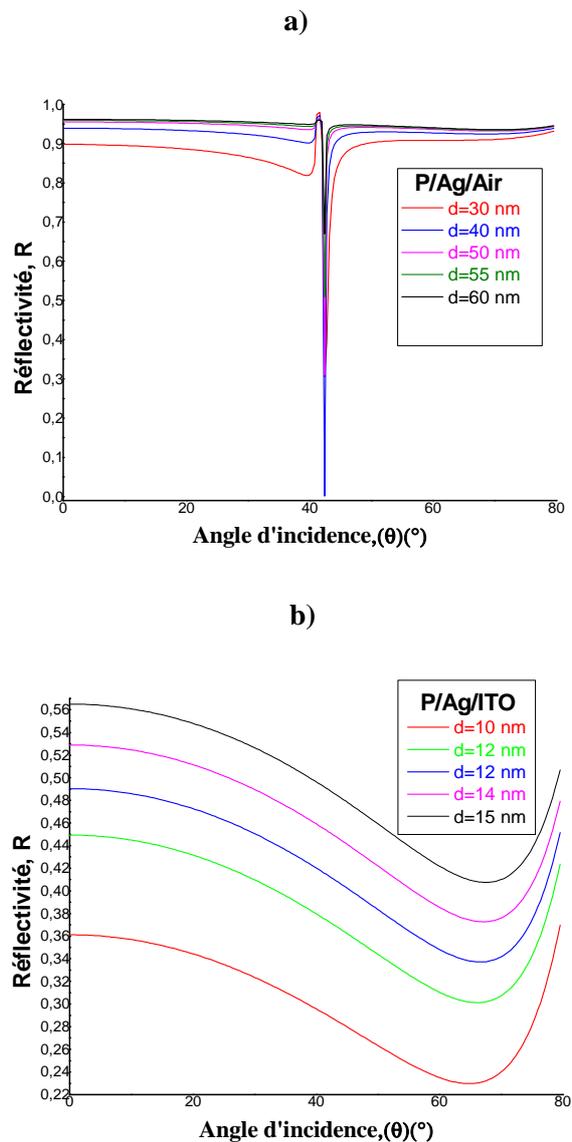


Figure 3: Influence de l'épaisseur  $d$  sur le profil de la réflectivité sur la structure (a) P/Ag/air et (b)P/Ag/ITO.

## 4. Conclusion

D'après les interprétations reportées dans cette partie, nous pouvons retenir que la résonance plasmon de surface qui se génère sur une structure typique dite de Kretschmann est un moyen de caractérisation de la nature des milieux diélectriques environnants un matériau conducteur et est sensible à tous les paramètres de la structure. L'intérêt particulier porté à de telle structure sur laquelle existe la résonance plasmon est la réalisation d'un guide d'onde dont les performances optiques reviennent à l'optimisation des paramètres impliqués dans la géométrie.

## 5. References

- [1] H. Raether, "Excitation of Plasmons and Interband Transitions by Electrons," Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1980).
- [2] A. Otto, Zeitschrift fur Physik, "Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by the method of frustrated total reflection," 216, 398-410 (1968).
- [3] E. Kretschmann and H. Raether, "Radiative Decay of Non Radiative Surface Plasmons Excited by Light," Z. Naturforsch. 23 a, 2135—2136 (1968)
- [4] F. I. Baida and A. Belkhir. "Finite Difference Time Domain Method for Grating Structures, Gratings: Theory and Numeric Applications," E. Popov (Ed.) chapter 9, pp 1-36. (2012).
- [5] C. F. Bohren and D. R. Huffman. Absorption and Scattering of Light by Small Particles. Wiley-Interscience, New York, (1983).
- [6] N. Ashcroft and N. D. Mermin. Physique des Solides. EDP Sciences, Les Ulis, (2002).
- [7] M. Benaïssa and R. Ahmed Ammar, "Les propriétés optiques des nanostructures plasmonique," thèse de master université de Tlemcen (2011).
- [8] P. B. Johnson and R. W. Christy, "Optical Constants of the Noble Metals," Phys. Rev. B 6, 4370, (1972).
- [9] M. Couture, L.S. Live, A. Dhawanb and J.F. Masson, "EOT or Kretschmann configuration? Comparative study of the plasmonic modes in gold nanohole arrays," Analyst, 137, 4162, (2012).
- [10] S.M.A. Uddin, S.S. Chowdhury, E. Kabir, "A Theoretical Model for Determination of Optimum Metal Thickness in Kretschmann Configuration Based Surface Plasmon Resonance Biosensors," International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), February 16-18, (2017), Cox's Bazar, Bangladesh.