

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Optique et Photonique Appliquée

Mémoire de Master

**Etudes des oxydes transparents conducteurs pour l'amélioration de la
sensibilité de biocapteur optique**

Étudié par : Ferdi Nesrine

Bouraoui Messaouda

Dirigé Par : Manallah Aissa.

Devant le jury :

(Président) : Meguellati.Said

(Examineur) : Belkhir. Abdellhak

Soutenue le : 02/ 07 /2023

Tables de matières

REMERCIEMENTS

Dédicace

Table des matières	
Liste des abréviations	vi
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
Introduction générale :	2

Chapitre 1 **Dépôt d'une couche minces TCO**

1.1 Introduction :	4
1.2 Définition :	4
1.3 Les propriétés optiques des TCOs :	5
1.4. Elaboration d'une couche mince	7
1. 4.1 .dépôt en phase vapeur(PVD	8
1.4.1.1 .L'évaporation sous vide	8
• Faisceau d'électron (Electron beam	8
• Effet joule	9
1.4.1.2. Pulvérisation cathodique	10
1. 4.2. Dépôts chimiques en phase vapeur	10
1. 4.2.1. Spray pyrolyse	10
1. 4.2.2. Sol-gel	11
1.5. Méthodes de caractérisation des couches minces	11
1.5.1. Caractérisations optiques	11
1.5.1.1. Mesure l'épaisseur	11
• La microscopie électronique à balayage	12
• La spectrophotométrie	12
• L'ellipsométrie	14
1.6. L'épaisseur optique de TCO	14
1.7. Techniques d'analyses des couches minces	15
• Microscope à Force Atomique(AFM	15
1.8. L'avantage de la méthode évaporation sous vide pour les plasmon	16
Bibliographies	17

Chapitre 2 **Les biocapteurs et la résonance plasmonique de surface**

Tables de matières

2.1. Introduction.....	20
2.2. Définition.....	20
2.3. Classification des biocapteurs	21
2.4. Classification des biocapteurs optiques	21
2.5. Biocapteur à résonance plasmonique de surface (SPR).....	22
2.6. La Résonance plasmonique de surface	23
2.6.1. Le principe	23
2.7. Les types des SPR.....	24
2.7.1. Résonance plasmonique de surface localisée (LSPR).....	24
2.7.2. Résonance plasmonique de surface délocalisée(DLSPR)	25
2.7.3. SPRI (Imagerie de Résonance Plasmonique de Surface)	25
2.8. Excitation des plasmons de surface	26
2.8.1 Couplage par prisme	26
2.8.1.1. Configuration Otto	26
2.8.1.2. Configuration de Kretschmann	27
2.8.2. Couplage par réseau de diffraction.....	27
2.9. La réflexion totale interne	28
2.10. La réflexion totale atténuée	29
2.11. Théorie du plasmon de surface	29
2.11.1. Les équations de maxwell	29
2.11.2. Les conditions limites à l'interface	29
2.11.3. Cas particulier d'une interface plan entre deux milieux	30
2.11.4. Cas particulier de trois milieux.....	31
2.11.5. Cas d'un système multicouche.....	31
2.12. Conditions d'existence des plasmons de surface.....	33
2.12.1 La relation de dispersion	33
2.13. Les propriétés géométriques.....	34
2.13.1. La profondeur de pénétration des PS	34
2.13.2. Longueur de propagation L_{sp}	34
2.14. Les milieux métalliques	34
2.14.1. Propriétés électriques des métaux nobles.....	34
• Modèle de Drude.....	35
• Modèle de Drude-Lorentz	35

Tables de matières

2.14.2. Fonction diélectrique de l'or et l'argent.....	35
• Model de la fonction diélectrique de l'argent.....	36
• Model de la fonction diélectrique de l'or.....	36
2.15. Les critères de performances des biocapteurs SPR	38
2.15.1. La sensibilité	39
➤ Interrogation angulaire	39
➤ Interrogation spectrale.....	39
2.15.2. FOM (Figure de mérite).....	39
2.15.3. Limite de détection LOD.....	40
2.15.4. Précision de détection (DA).....	40
Bibliographies.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 3 **Simulation et résultats**

3.1. Introduction.....	44
3.2. Schéma proposé	44
3.3. Optimisation de l'épaisseur optimale de la couche métallique (dopt	45
a) Cas de l'argent(Ag)	45
b) Cas de l'Or (Au).....	46
3.4. L'étude du milieu biologique.....	47
• L'hémoglobine	47
2.1. Cas d'Argent(Ag).....	48
2.2. Cas d'Au	48
Interprétation.....	49
3.5. La variation de réflectivité en fonction de concentrations de Hb.....	49
3.5.1. Cas d'Argent(Ag).....	49
3.5.2. Cas d'Au	50
Interprétation.....	51
3.6. Étude des performances de biocapteur avec TCO :	51
3.6.1. Cas d'une couche adhésive	51
• Optimisation de l'épaisseur des TCOs.....	52
a) Cas d'Argent(Ag)	52
b) Cas d'Or (Au)	54

Tables de matières

3.6.2. Cas d'une couche protectrice.....	56
b) Cas d'Agent(Ag).....	57
b) Cas d'Or (Au)	59
4) La comparaison entre les TCOs	61
a) Avant Agent(Ag) et Or (Au).....	61
b) Après Agent(Ag) et Or (Au)	62
3) la variation de tissu biologique(Hémoglobine) avec TCOs.....	63
a) Cas TCO avant le métal(agent et l'Or	63
b) cas TCO après le métal(agent et l'Or).....	69
Conclusion	76
Bibliographies.....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion général	78

Liste des abréviations

TCO	oxydes transparents conducteurs.
BV	bande de valence
BC	bande de conduction
ZnO	oxyde de zinc.
SPR	résonance plasmonique de surface.
IRIF	spectroscopie interférentielle réflectométrique
SERS	diffusion Raman exaltée de surface.
TIRF	fluorescences réflexion interne totale.
TM	transversal magnétique.
SPRi	image par résonance plasmonique de surface.
LSPR	résonance plasmonique de surface localisée.
FOM	Figure de mérite.
LOD	Limite de détection.
DA	Précision de détection

Liste des abréviations

Liste des figures

Figure 1: Bandes d'énergie(interdite)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2Spectres de transmission, réflexion et absorption d'un échantillon de SnO ₂ : F de 1.14 μm d'épaisseur.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 3Présentation des principaux procédés de dépôt de couches minces	Erreur ! Signet non défini.
Figure 4Dépôt par faisceau d'électron	Erreur ! Signet non défini.
Figure 5Dépôt par faisceau d'électron	Erreur ! Signet non défini.
Figure 6Dépôt par pulvérisation cathodique	Erreur ! Signet non défini.
Figure 7Technique de dépôt par spray pyrolyse	Erreur ! Signet non défini.
Figure 8: Schéma de principe de sol-gel	Erreur ! Signet non défini.
Figure 9: principe de fonctionnement de BEM	Erreur ! Signet non défini.
Figure 10principe de fonctionnement de spectrophotométrie	Erreur ! Signet non défini.
Figure 11Principe de l'ellipsométrie	Erreur ! Signet non défini.
Figure 12Principe de fonctionnement de l'AFM	Erreur ! Signet non défini.
Figure 13Schéma de base d'un biocapteur	Erreur ! Signet non défini.
Figure 14Organigramme montrant les différents types de biocapteurs classés en fonction de leurs éléments transducteurs et éléments de reconnaissance biologique	Erreur ! Signet non défini.
Figure 15Organigramme montrant les différents types de biocapteurs optiques	Erreur ! Signet non défini.
Figure 16concept d'un biocapteur à résonance plasmonique de surface	Erreur ! Signet non défini.
Figure 17Schéma représentant le phénomène de SPR	Erreur ! Signet non défini.
Figure 18illustration schématique des modes LSPR et réflexion..	Erreur ! Signet non défini.
Figure 19Oscillations électroniques à l'interface métal / diélectrique.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 20Configuration d'Otto.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 21Configuration Kretschmann.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 22Une onde lumineuse incidente avec l'angle polaire θ et azimutal ϕ , les rainures sont parallèles à la direction x.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 23Réflexion totale interne.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 24Réflexion et réfraction d'une onde électromagnétique....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 25Propagation d'une onde monochromatique plane dans trois milieux homogènes et isotropes avec des interfaces planes	Erreur ! Signet non défini.
Figure 26Schéma d'un système multicouche	Erreur ! Signet non défini.
Figure 27Géométrie de l'interface métal diélectrique.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 28Parties : (a) réelle et (b) imaginaire de la fonction diélectrique de l'argent.	36
Figure 29Parties : (a) réelle et (b) imaginaire de la fonction diélectrique de l'or, comparaison du modèle de Drude avec les données de J&C et celles de Palik.	Erreur ! Signet non défini.

Figure 2.18 : Parties : (a) réelle et (b) imaginaire de la fonction diélectrique de l'or, comparaison du modèle de Drude-Lorentz avec les données de J&C et celles de Palik	Figure 30
Parties : (a) réelle et (b) imaginaire de la fonction diélectrique de l'or, comparaison du modèle de Drude avec les données de J&C et celles de Palik.	38
Figure 31Schéma descriptif des capteurs proposé	Erreur ! Signet non défini.
Figure 32Courbes de réflectance d'Argent (Ag)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 33Courbes de réflectance de Au.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 34Courbes des réflectivités des milieux biologiques à la présence d'Ag.	48
Figure 35Courbes des réflectivités des milieux biologiques à la présence d'Au	Erreur ! Signet non défini.
Figure 36la courbe de réflectivité pour des différentes concentrations.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 37la courbe réflectivité pour des différentes concentrations	Erreur ! Signet non défini.
Figure 38la courbe réflectivité de ZnO/Ag	Erreur ! Signet non défini.
Figure 39la courbe réflectivité de SiO ₂ /Ag.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 40la courbe réflectivité de TiO ₂ /Ag.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 41la courbe réflectivité de ZnO/Au.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 42: la courbe réflectivité de SiO ₂ /Au	Erreur ! Signet non défini.
Figure 43: la courbe réflectivité de TiO ₂ /Au.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 44la courbe réflectivité de Ag/ ZnO.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 45la courbe réflectivité de Ag/ SiO ₂	Erreur ! Signet non défini.
Figure 46: la courbe réflectivité de Ag/ TiO ₂	Erreur ! Signet non défini.
Figure 47la courbe réflectivité de Au/ ZnO	Erreur ! Signet non défini.
Figure 48la courbe réflectivité de Au/ SiO ₂	Erreur ! Signet non défini.
Figure 49: la courbe réflectivité de Au/ TiO ₂	Erreur ! Signet non défini.
Figure 50la courbe réflectivité des ZnO et SiO ₂ et TiO ₂ avant l'agent(Ag).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 51la courbe réflectivité des ZnO et SiO ₂ et TiO ₂ avant Or (Au). ...	Erreur ! Signet non défini.
Figure 52: la courbe réflectivité des ZnO et SiO ₂ et TiO ₂ après l'agent(Ag). ..	Erreur ! Signet non défini.
Figure 53la courbe réflectivité des ZnO et SiO ₂ et TiO ₂ après l'Or (Au)..	Erreur ! Signet non défini.
Figure 54la courbe réflectivité de ZnO /Ag/Hb	Erreur ! Signet non défini.
Figure 55: la courbe réflectivité de ZnO /Au/Hb	Erreur ! Signet non défini.
Figure 56: la courbe réflectivité de TiO ₂ /Ag/Hb	Erreur ! Signet non défini.
Figure 57la courbe réflectivité de TiO ₂ /Au/Hb	Erreur ! Signet non défini.
Figure 58: la courbe réflectivité de SiO ₂ /Ag/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 59: la courbe réflectivité de SiO ₂ /Au/Hb	Erreur ! Signet non défini.
Figure 60la courbe réflectivité de Ag /ZnO /Hb	Erreur ! Signet non défini.
Figure 61la courbe réflectivité de Au /ZnO /Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 62la courbe réflectivité de Ag /SiO ₂ /Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 63la courbe réflectivité de Au /SiO ₂ /Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 64: la courbe réflectivité de Ag /TiO ₂ /Hb.	Erreur ! Signet non défini.

Figure 65la courbe réflectivité de Au /TiO2 /Hb.**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Paramètres du modèle de Drude-Lorentz.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2: les données pour cinq concentrations différentes d'hémoglobine	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 3: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/Ag/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 4: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/Au/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5: les propriétés optiques des TCOs.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 6: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ZnO/Ag/Hb.....	64
Tableau 7: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ZnO/Au/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 8: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/TiO ₂ /Ag/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 9: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/SiO ₂ /Ag/Hb	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 10: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/SiO ₂ /Ag/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 11: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ Ag/ZnO/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 12: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ Au/ZnO/Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 13: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ Ag/SiO ₂ /Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 14: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ Au/SiO ₂ /Hb.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 15: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ Ag/TiO ₂ /Hb	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 16: Paramètres de performances du biocapteur SPR basé sur BK7/ Au/TiO ₂ /Hb	Erreur ! Signet non défini.

Résumé :

Au cours des deux dernières décennies, les capteurs à résonance plasmonique de surface (SPR) ont gagné une grande attention dans le domaine biomédical pour ses propriétés uniques qui peuvent être utilisées pour diverses applications, telles que le diagnostic et le pronostic biomédical, le contrôle de l'environnement, la sécurité alimentaire, le développement de médicaments et la détection sans étiquette. C'est une technique éprouvée, très sensible et fiable. Le premier avantage de la technique SPR est qu'elle peut détecter des changements très mineurs dans l'indice de réfraction (IR) du milieu diélectrique (ordre de 10^{-7}). Les chercheurs se concentrent actuellement sur les oxydes métalliques conducteurs et extrêmement ultrafins ayant un indice de réfraction élevée en raison de leurs excellentes propriétés optiques et électriques, comme l'oxyde de zinc (ZnO), le dioxyde de titane (TiO₂), le dioxyde de silicium (SiO₂) et l'oxyde d'étain d'indium (ITO) pour la couche adhésive. Ces couches sont utilisées comme couche d'adhésion entre le prisme et la couche métallique. Afin d'améliorer les performances des biocapteurs avec des TCO, un biocapteur basé sur SPR avec ZnO, TiO₂ et SiO₂ est donc proposé, ce capteur peut être utilisé pour détecter l'activité biologique ou les réactions chimiques dans la région proche infrarouge.

Mots clé : biocapteur – SPR – indice de réfraction – les oxydes transparents conducteurs – la sensibilité.

Abstract:

Over the two decades, surface plasmon resonance (SPR) sensors have gained great attention in the biomedical field for its unique properties, which can be used for various applications, such as biomedical diagnosis and prognosis, food safety, monitoring of environment drug development and label-free detection. It is a proven technique, very sensitive and reliable. The first advantage of the SPR technique is that it can detect minor changes in the refractive index (IR) of the dielectric medium (order of 10^{-7}). Researchers are currently focusing on conductive and extremely ultrathin metal oxides with a high refractive index due to their excellent optical and electrical properties, such as zinc oxide (ZnO), titanium dioxide (TiO₂), Silicon (SiO₂) and indium tin oxide (ITO) for the adhesive layer are used as an adhesion layer between the prism glass and the metal layer. In order to improve the performance of biosensors with TCOs, an SPR-based biosensor with ZnO, TiO₂ and SiO₂ is therefore proposed, this sensor can be used to detect biological activity or chemical reactions in the near infrared region.

ملخص:

على مدى عقدين من الزمن، اكتسبت مستشعرات الرنين السطحي اهتماما كبيرا في المجال الطبي الحيوي لخصائصها الفريدة , والتي يمكن استخدامها في تطبيقات مختلفة. مثل التشخيص والتشخيص الطبيين وسلامة الغذاء، ومراقبة تطوير الادوية البيئية والتسمية-كشف مجاني. انها تقنية مجربة وحساسة للغاية وموثوقة. الميزة الأولى لتقنية الرنين السطحي هي انها يمكن ان تكتشف التغيرات الطفيفة في معامل الانكسار للوسط العازل. يركز الباحثون حاليا على اكاسيد معدنية موصلة وفائقة الرقة للغاية ذات معامل انكسار عال نظرا لخصائصها البصرية والكهربائية الممتازة، مثل أكسيد الزنك وثاني أكسيد التيتانيوم، والسيليكون واكسيد القصدير الانديوم تستخدم طبقة اللاصقة كطبقة لصق بين زجاج المنشور والطبقة المعدنية من اجل تحسين أداء اجهزة الاستشعار الحيوية باستخدام هذه الاكاسيد، جهاز استشعر حيوي قائم على الرنين السطحي مع أكسيد الزنك. لذلك تم اقتراح أكسيد القصدير الانديوم وثاني أكسيد التيتانيوم، ويمكن استخدام هذا المستشعر للكشف عن النشاط البيولوجي او التفاعلات الكيميائية في منطقة الاشعة تحت الحمراء القريبة.

الكلمات المفتاحية: مستشعر حيوي , معامل انكسار, SPR , أكسيد موصل شفاف , حساسية.

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale :

La recherche et le développement technologique des biocapteurs ont connu une croissance exponentielle au cours de la dernière d'année, car les biocapteurs sont simples, rapides, et très sensibles. Les biocapteurs sont aujourd'hui omniprésents dans le diagnostic biomédical ainsi que dans un large éventail d'autres domaines tel que la progression de la maladie, le contrôle des aliments, le développement de biocapteurs.

Les biocapteurs optiques sont la classe de biocapteurs la plus couramment rapportée, la détection optique est réalisée en exploitant l'interaction du champ optique avec un élément de bio-reconnaissance. Parmi de ce type de biocapteurs les biocapteurs à résonance plasmonique de surface (SPR) qui appartiennent aux technologies de détection.

La nécessité de trouver un instrument rapide sophistiqué et précis pour l'analyse chimique ainsi le diagnostic et pronostique des pathologies. Où notre objectif dans ce travail est d'améliorer les performances de cet instrument en utilisant les oxydes transparents conducteurs.

Un intérêt particulier a été accordé durant ces dernières années aux oxydes transparents et conducteurs (OTC) en raison de leurs propriétés qui conjuguent entre la conductivité électrique et la transparence optique dans le domaine spectral du visible. Ces propriétés les rendent idéals pour des nombreuses applications, des applications en optoélectronique, en fenêtres électrochromiques, ou encore en photovoltaïque.

Le premier chapitre : Décrit une définition d'un TCO et leurs propriétés et définit les méthodes de dépôts d'une couche mince TCO et les techniques d'analyse des couches minces.

Le second chapitre : de ce document présente généralité sur les biocapteurs et leurs classifications, aussi les différents types de biocapteurs optiques, en passe revue les principes de base des biocapteurs optique à résonance plasmonique de surface et l'excitation des plasmons de surface à l'aide d'un système de couplage par prisme, et Electromagnétisme du plasmon de surface.

Le troisième chapitre : présentera l'étude mathématique pour contribuer au développement d'un biocapteur SPR, utilisant des oxydes transparents conducteurs, ainsi des résultats de simulations seront présentés afin de comprendre l'influence des TCO sur les performances de biocapteur.