



**HAL**  
open science

## Caractérisation de couches minces de ZnS et design de guides d'ondes en ZnS pour la photonique non linéaire

Antoine Lemoine, Antoine Letoublon, Alex Naïm, Thomas Batte, Yannick Dumeige, Christophe Levallois, Yoan Léger

### ► To cite this version:

Antoine Lemoine, Antoine Letoublon, Alex Naïm, Thomas Batte, Yannick Dumeige, et al.. Caractérisation de couches minces de ZnS et design de guides d'ondes en ZnS pour la photonique non linéaire. Journée nationale de l'optique guidée, Jul 2023, Lyon, France. hal-04197066

**HAL Id: hal-04197066**

**<https://hal.science/hal-04197066>**

Submitted on 29 Nov 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Caractérisation de couches minces de ZnS et design de guides d'ondes en ZnS pour la photonique non linéaire

Antoine Lemoine<sup>1</sup>, Antoine Letoublon<sup>1</sup>, Alex Naïm<sup>1</sup>, Thomas Batte<sup>1</sup>, Yannick Dumeige<sup>1</sup>,  
Christophe Levallois<sup>1</sup>, Yoan Léger<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR FOTON, CNRS, INSA Rennes, Université de Rennes 1, Enssat, F35708, Rennes, France

[antoine.lemoine@insa-rennes.fr](mailto:antoine.lemoine@insa-rennes.fr)

## RESUME

Cet article présente les atouts sulfure de zinc (ZnS) pour la photonique non linéaire au travers de caractérisations structurales et optiques de couches minces de ZnS déposées par pulvérisation cathodique. Le design de guide d'onde de ZnS et une première méthode de réalisation par gravure sèche sont également discutés.

**MOTS-CLEFS :** *ZnS ; Caractérisation de couches minces ; Photonique non linéaire*

## 1. INTRODUCTION

L'optique non linéaire est aujourd'hui omniprésente dans de nombreux champs applicatifs comme les télécommunications ou les technologies quantiques. Ce domaine de l'optique résultant directement de l'interaction matière-rayonnement, le développement de composants photoniques permettant un fort confinement du champ électromagnétique au sein du matériau non-linéaire a permis d'accroître considérablement les effets observés auparavant dans les matériaux massifs [1]. Néanmoins, peu de recherches ont jusqu'ici été menées sur le sulfure de Zinc (ZnS). Ce matériau présente pourtant des caractéristiques avantageuses pour l'optique non-linéaire comme un indice de réfraction élevé au longueur d'onde télécom [2], une grande bande spectrale de transparence, des coefficients non-linéaires du second [3] et troisième ordre élevés [4] ainsi qu'une structure cristalline pouvant potentiellement être mise à profit dans les processus non-linéaires. La variété de méthodes de dépôt du ZnS, dont certaines à bas coût, représente également un avantage technologique intéressant du point de vue applicatif. Dans cet article, nous décrivons les propriétés structurales et optiques de couches minces de ZnS réalisées par pulvérisation cathodique ainsi que le design de guide d'onde basés sur cette plateforme et enfin une méthode de fabrication. Les composants prochainement réalisés nous permettront en premier lieu de caractériser les pertes optiques dans cette nouvelle plateforme photonique intégrée, étape préliminaire à la caractérisation de propriétés non-linéaires de composants photoniques intégrés à base de ZnS.

## 2. CARACTERISATION DE COUCHES MINCES DE ZNS DEPOSEES PAR PULVERISATION CATHODIQUE

L'ensemble des différentes couches minces de ZnS sont déposées par pulvérisation cathodique magnétron. Afin de s'assurer un environnement de dépôt sain, un pompage permettant d'atteindre un vide limite de  $6.4 \times 10^{-7}$  mbar est effectué et une pré-pulvérisation de 5 min à 85W de la cible de ZnS est systématiquement réalisée. Le dépôt de 500 nm de ZnS sur un substrat hôte se réalise ensuite en 30 min avec les mêmes conditions. L'imagerie à force atomique (AFM) (fig 1.a) de la surface des couches minces de ZnS permet d'obtenir une rugosité RMS de 5.72 nm compatible avec la réalisation de futures structures photoniques bien que l'échelle latérale de la granularité soit proche de longueurs d'onde dans le visible et

le proche infrarouge. L'analyse des courbes de dispersion ( $n, \alpha$ ) obtenue par ellipsométrie (fig 1.b) permet quant à elle d'estimer l'énergie de bande interdite à environ 3,5 eV. Une valeur légèrement inférieure à celle mesurée pour un ZnS purement zinc blende [5]. Ce décalage pourrait s'expliquer par la présence de défauts profonds dans les couches minces de ZnS déposées. Les mesures effectuées présentent un seuil de mesure en  $\alpha$  de l'ordre de  $1000 \text{ cm}^{-1}$  atteint au-dessous de 450 nm, confirmant ainsi la large plage de transparence du matériau. De plus, dans les conditions expérimentales du dépôt réalisé, la couche mince de ZnS présente une structuration colonnaire comme le montre la section de couche mince imagée par microscopie électronique à balayage (MEB) (fig 1.c), qui laisse supposer une structure polycristalline. L'analyse du diagramme de diffraction aux rayons X (fig 1.d) permet, en comparant à des diagrammes théoriques disponibles sur des bases de données telle que crystallography open data base, d'identifier le pic de diffraction attendu pour du ZnS zinc blende orienté selon son axe 111. L'évaluation de la rotation du cristal autour de cet axe, d'une colonne à l'autre, requiert une analyse structurale plus poussée. Cet aspect polycristallin pourra potentiellement être mis à profit dans l'exploration de processus non-linéaires du second ordre [6].

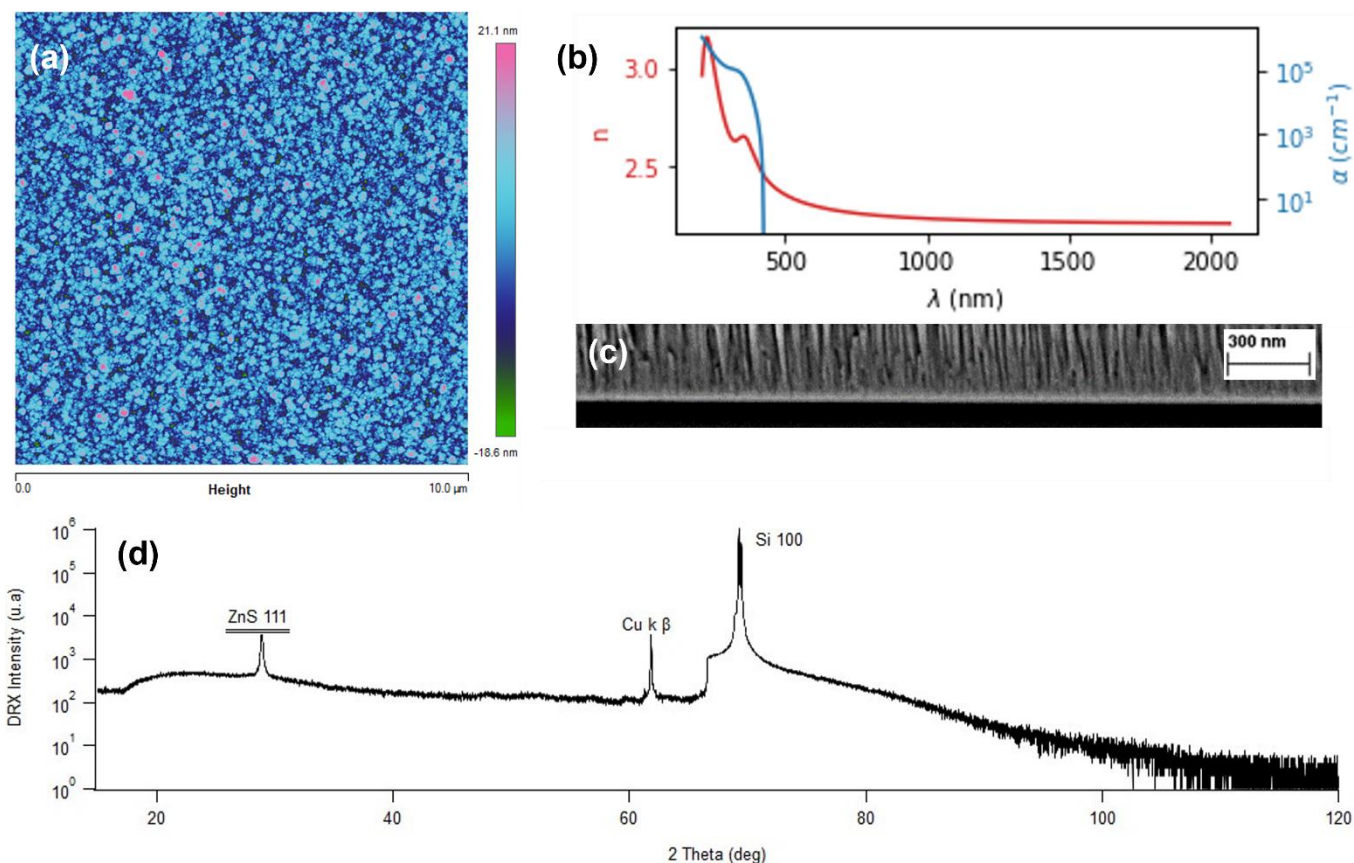


Figure 1 (a) Image AFM d'une couche mince de ZnS déposée par pulvérisation cathodique (b) Courbe de dispersion, obtenue par ellipsométrie, de l'indice de réfraction ( $n$ ) et du coefficient d'absorption ( $\alpha$ ) d'une couche mince de ZnS. (c) Image MEB d'une couche mince de ZnS déposé sur germanium. (d) Diagramme de diffraction X d'une couche mince de ZnS déposée sur  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ . Le pic de diffraction  $\text{Cu } k \beta$  est intrinsèque au diffractomètre utilisé.

### 3. DESIGN DE GUIDES D'ONDE A BASE DE ZNS

Les premiers guides d'ondes en ZnS seront réalisés dans le but de déterminer leurs pertes optiques avant l'exploration de leurs propriétés non-linéaires. La méthode utilisée pour cette caractérisation étant basée sur l'analyse d'interférences Fabry-Perot au sein du guide, il est d'usage de travailler avec des guides monomodes transverses [7].

Par ailleurs, les technologies de gravure du ZnS étant peu matures, il est préférable d'opter pour une géométrie de guide minimisant l'impact d'une éventuelle rugosité latérale.

Une section de type « rib » a donc été choisie afin de limiter la profondeur de gravure du ZnS

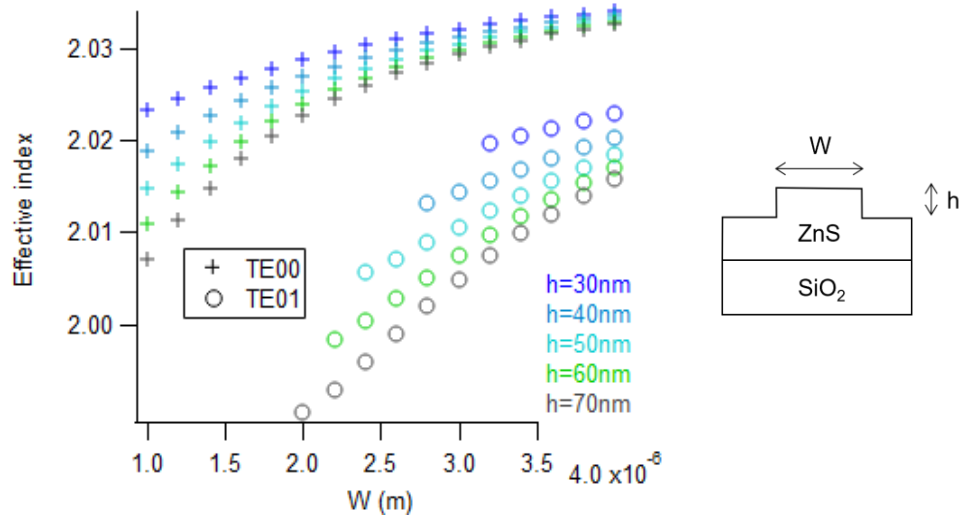


Figure 2 Evolution de l'indice effectif des modes  $TE_{00}$  et  $TE_{01}$  en fonction de la largeur du guide ruban et pour différentes hauteurs de gravure.

tout en garantissant la possibilité de réaliser des guides monomodes. La figure 2 montre l'évolution de l'indice effectif des deux premiers modes TE confinés en fonction de la largeur du guide pour différentes hauteurs de gravure. A partir de ces résultats, la géométrie choisie est celle d'un guide rib d'une hauteur de 60 nm et d'une largeur de 2  $\mu\text{m}$ , géométrie pour laquelle les guides rubans sont strictement monomodes  $TE_{00}$ , tout en conservant des dimensions accessibles par photolithographie et une bonne tolérance sur la profondeur de gravure.

### 4. REALISATION DES GUIDES D'ONDES DE ZNS

La réalisation de ces guides se découpe en 6 étapes. Premièrement, une couche de 2  $\mu\text{m}$  de  $\text{SiO}_2$  est déposée sur un substrat de silicium par PECVD afin de servir de gaine pour les futurs guides de ZnS. Ensuite, une couche de ZnS de 500 nm d'épaisseur est déposée par pulvérisation cathodique comme décrit plus haut puis une couche de 300 nm de Germanium (Ge) est déposée par le même procédé afin de servir de masque solide pour la gravure du ZnS. Une lithographie optique puis une gravure du Ge par gravure ionique réactive (RIE) à base de hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ) sont ensuite réalisées, définissant la structuration photonique. Après le retrait de la résine utilisée pour la photolithographie, la gravure du ZnS est ensuite réalisée par RIE  $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{Ar}$ . Enfin, le masque de Ge est retiré par une dernière gravure RIE  $\text{SF}_6$ .

## CONCLUSION

En conclusion, nous avons étudié les propriétés structurales et optiques de couches minces de ZnS déposées par pulvérisation cathodique, confirmant les avantages de ce matériau pour la photonique intégrée. Un premier design de guide ruban à également était proposé ainsi qu'une méthode de réalisation de guides d'onde de type rib basés sur cette nouvelle plateforme photonique. Suite à ces résultats préliminaires, les travaux à venir porteront sur l'analyse fine de l'orientation cristalline des structures colonnaires présentes dans les couches mince de ZnS et sur la caractérisation optique en régime linéaire des guides de ZnS, sur une plage de longueur d'onde allant du visible au moyen infrarouge.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence "ANR-22-PEEL-0005

## REFERENCES

- [1] P. S. Kuo, J. S. Pelc, O. Slattery, L. Ma, et X. Tang, « Domain-engineered PPLN for entangled photon generation and other quantum information applications », présenté à SPIE Photonics Europe, Brussels, Belgium, mai 2014, p. 913603. doi: 10.1117/12.2058567.
- [2] M. Debenham, « Refractive indices of zinc sulfide in the 0405–13- $\mu\text{m}$  wavelength range », *Appl. Opt.*, vol. 23, n° 14, p. 2238, juill. 1984, doi: 10.1364/AO.23.002238.
- [3] H. P. Wagner, M. Kühnelt, W. Langbein, et J. M. Hvam, « Dispersion of the second-order nonlinear susceptibility in ZnTe, ZnSe, and ZnS », *Phys. Rev. B*, vol. 58, n° 16, p. 10494-10501, oct. 1998, doi: 10.1103/PhysRevB.58.10494.
- [4] T.-Y. Zhou, Y.-L. Song, J.-M. Hong, et X.-Q. Xin, « Investigation of the room-temperature solid-state reactions leading to ZnS nanotubes and the third-order nonlinear optical properties of the nanotubes obtained », *Nanotechnology*, vol. 16, n° 4, p. 536-541, avr. 2005, doi: 10.1088/0957-4484/16/4/034.
- [5] O. Brafman et I. T. Steinberger, « Optical Band Gap and Birefringence of ZnS Polytypes », *Phys. Rev.*, vol. 143, n° 2, p. 501-505, mars 1966, doi: 10.1103/PhysRev.143.501.
- [6] M. Baudrier-Raybaut, R. Haïdar, Ph. Kupecek, Ph. Lemasson, et E. Rosencher, « Random quasi-phase-matching in bulk polycrystalline isotropic nonlinear materials », *Nature*, vol. 432, n° 7015, p. 374-376, nov. 2004, doi: 10.1038/nature03027.
- [7] R. Regener et W. Sohler, « Loss in low-finesse Ti:LiNbO<sub>3</sub> optical waveguide resonators », *Appl. Phys. B Photophysics Laser Chem.*, vol. 36, n° 3, p. 143-147, mars 1985, doi: 10.1007/BF00691779.